

Evaluation der Zusammenhänge zwischen Stallmerkmalen, gemessenen Stallklimaparametern und Indikatoren für Tiergesundheit in Schweizer Kälbermastbetrieben

C. Weber, P. Bucher-Schnyder, L. Schönecker, D. Stucki, M. Meylan

Wiederkäuferklinik, Vetsuisse-Fakultät, Universität Bern

Zusammenfassung

Benutzerfreundliche digitale Geräte zur Messung von Klimaparametern sind seit einiger Zeit erhältlich und können auch in Kälberställen eingesetzt werden. Um die Aussagekraft von gemessenen Klimawerten, deren Assoziationen mit gegebenen Stallparametern, sowie Zusammenhänge zwischen Klimamesswerten respektive Stallparametern und Kälbergesundheitsindikatoren zu prüfen, wurden Daten ausgewertet, welche im Rahmen einer prospektiven Kohortenstudie in 43 Schweizer Kälbermastbetrieben erhoben wurden. Neben einmaliger Erfassung von Stallparametern (z.B. Lüftungssystem, Zugang zu einem Auslauf, Stallfläche) wurden in jedem Betrieb während durchschnittlich sechs Betriebsbesuchen jeweils punktuelle Messungen von Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Ammoniak- und Kohlendioxidkonzentration an fünf verschiedenen Orten in den Ställen durchgeführt. Pro Betrieb wurden ausserdem jeweils einmal im Sommer und Winter kontinuierliche Messungen (über 72 Stunden) von Temperatur und Luftfeuchtigkeit vorgenommen. Mit statistischen Modellen wurde überprüft, ob Stallparameter und Klimamesswerte als relevante Risikofaktoren mit Kälbergesundheitsindikatoren (Antibiotikaverbrauch, Mortalität und Tageszunahmen) assoziiert sind. Messwerte ausserhalb des Optimalbereichs wurden bei sämtlichen punktuell gemessenen Parametern und in jeder Saison festgestellt. Mittels kontinuierlicher Messungen wurden Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsmesswerte ausserhalb des Optimalbereichs häufiger beobachtet als durch punktuell gemessenen Klimawerten, sowie zwischen Klimamesswerten und Anzahl aufgestallter Kälber, Gesamtfläche des Stalls, eingestreuter Fläche und Luftvolumen wurden nicht festgestellt. Die maximale Gruppengrösse und das Vorhandensein einer mechanischen Lüftung waren positiv mit dem Antibiotikaverbrauch assoziiert. Eine hohe maximale Gruppengrösse

Evaluation of associations between barn characteristics, results of barn climate parameter measurements and health indicators in Swiss veal calf herds

Easy-to-use digital devices to measure climate parameters that can also be used in calf barns have become available commercially in recent years. Data collected in a prospective cohort study in 43 Swiss veal calf operations were evaluated with regard to validity of measured climate parameters, potential associations of those with barn features, and relationships between values of climate parameters and barn characteristics, respectively, with indicators of calf health. Barn parameters, such as ventilation system, access to an outdoor pen and barn size, were recorded, and temperature, air humidity, ammonia and carbone dioxide concentrations were measured at five different locations in each barn during an average of six farm visits over a year. Furthermore, continuous measurements of temperature and humidity (over a period of 72 hours each) were performed once in summer and once in winter in each farm. Whether barn parameters and measured barn climate values are associated as significant risk factors with indicators of calf health (antimicrobial use, mortality and daily weight gain) was explored with statistical methods. Values outside the optimal range were observed for all parameters measured punctually during farm visits and in all seasons. Values of temperature and humidity outside the optimal range were observed more often by continuous than by punctual measurements. Relevant correlations were observed neither among the barn climate values measured punctually nor among measured barn climate values and number of calves, barn surface, bedded surface and barn volume. High maximal group size and presence of mechanic ventilation were positively associated with high antimicrobial use, and high maximal group size and high number of fattening groups

<https://doi.org/10.17236/sat00348>

Eingereicht: 07.06.2021
Angenommen: 17.01.2022

Evaluation der Zusammenhänge zwischen Stallmerkmalen, gemessenen Stallklimaparametern und Indikatoren für Tiergesundheit in Schweizer Kälbermastbetrieben

C. Weber et al.

und eine hohe Anzahl Mastgruppen waren mit einer Mortalität über 3% assoziiert. Geographische Lage in der Talzone sowie das Luftvolumen pro Kalb waren positiv mit der Tageszunahme assoziiert. Keiner der punktuell gemessenen Klimaparameter zeigte Assoziationen mit den Kälbergesundheitsindikatoren Antibiotikaverbrauch, Mortalität und Tageszunahme. Sie erscheinen somit als ungeeignet, um Rückschlüsse auf die Mastkälbergesundheit abzuleiten. Unsere Resultate zeigen, dass insbesondere punktuell gemessene Klimaparameter schwierig zu interpretieren sind und kritisch beurteilt werden müssen.

Schlüsselwörter: Ammoniak, Luftfeuchtigkeit, Kohlendioxid, Lüftung, Messgeräte, Temperatur

were associated with mortality >3%. Farms in lowland regions and high air volume per calf were positively associated with daily weight gain. None of the measured barn climate parameters was associated with the calf health indicators antimicrobial use, mortality and daily weight gain. Therefore, climate parameter measurements appear inadequate to predict calf health in veal fattening operations. The present results show that these (easily) measured parameters are difficult to interpret and should be considered critically.

Keywords: ammonia, humidity, carbon dioxide, ventilation, measuring instruments, temperature

Einleitung

In der Schweiz werden im Jahr etwa 700'000 Kälber von Milchkühen geboren, wovon rund die Hälfte der Grossvieh- oder Kälbermast zugeführt werden.³⁶ Im Jahr 2019 wurden in der Schweiz etwa 211'000 Mastkälber geschlachtet.³⁴ Schweizer Kälbermastbetriebe unterscheiden sich hinsichtlich Topographie und Betriebsstruktur voneinander;³⁵ ein Grossteil befindet sich im Berggebiet und wird als Familienbetrieb geführt. Die Kälberbuchten sind dabei häufig in den Kuhstall integriert und nicht spezifisch auf die Haltung von Mastkälbern ausgelegt. In solchen Betrieben werden vorwiegend eigene Kälber und Kälber aus der näheren Region in kleineren Gruppen (10–30 Kälber) mit Vollmilch und teils Milchaustauscher gemästet. Eine andere in der Schweiz verbreitete Form der Kälbermast ist die Integrationsmast, wobei Kälbermäster einem Unternehmen Arbeitskraft und Stall zur Verfügung stellen, in der Regel spezifisch auf die Haltung von Mastkälbern zugeschnitten. Die Mastkälber und das Futter werden vom Unternehmen gestellt. Die Kälber werden über den Handel bezogen, mit Milchaustauscher gefüttert und in Gruppen von bis zu 60 Kälbern gehalten.

In verschiedenen Studien wurden Unterschiede der Aufstallungssysteme erfasst. Dabei zeigte sich, dass sich Schweizer Mastkälberställe bezüglich Bauweise (offen oder geschlossen), Zugang zu einem Auslauf, Ausrichtung des Auslaufes, Windschutzvorrichtung, Lüftungssystem, Buchtenfläche und Luftvolumen pro Kalb, sowie geteiltem Luftraum mit Kühen unterscheiden.^{2,14,15}

Bei den meisten relevanten Kälbererkrankungen handelt es sich um sogenannte Faktorenkrankheiten, in deren Pathogenese verschiedene Risikofaktoren wie zum Beispiel Abkalbmanagement, Kolostrumversorgung oder auch Haltungsbedingungen eine wichtige Rolle spielen.^{17,39} In der Schweiz sind Atemwegserkrankungen die

häufigste Ursache für den Einsatz von Antibiotika bei Kälbern. In entsprechenden Studien wurde gezeigt, dass auch Faktoren, die einen Einfluss auf das Stallklima haben (z.B. Zugang zu einem Auslauf), mit dem Vorkommen von Atemwegserkrankungen assoziiert sind.^{14,15}

Überdies wurde in verschiedenen Studien gezeigt, dass Klimaparameter wie Temperatur, Luftfeuchtigkeit oder Schadgaskonzentration die Kälbergesundheit beeinflussen können.^{5,6,7,16,20,25,33,40} Jedoch ist es schwierig, anhand von im Stall gemessenen Werten direkte Rückschlüsse auf das Stallklima und dessen Konsequenzen auf die Kälbergesundheit zu ziehen. Eine Studie, bei welcher Klimaparameter als Indikatoren für Lungenentzündungen bei Kälbern in Gruppenhaltung getestet wurden, zeigte, dass nur eine höhere gemessene Durchschnittstemperatur über 24 Stunden, eine längere Dauer einer Ammoniakkonzentration über 4 ppm innerhalb von 24 Stunden sowie Luftgeschwindigkeiten über 0,8 m/s positiv mit einer Lungenkonsolidierung in der Ultraschalluntersuchung assoziiert waren.⁴²

Gleichermassen sind auch physikalische Zusammenhänge zwischen gewissen Klimaparametern wie zum Beispiel der Temperatur und der Luftfeuchtigkeit bekannt. Wenn der Wassergehalt der Luft gleich bleibt und die Temperatur steigt, sinkt die relative Luftfeuchtigkeit, weil heisse Luft mehr Wasser aufnehmen kann als kältere Luft.⁴² Jedoch ist anderweitig wenig bekannt über allfällige Zusammenhänge einzelner Klimaparameter in Kälberställen. In einer Studie, in welcher kontinuierliche Messungen der Ammoniakkonzentration, Lufttemperatur, relativen Luftfeuchtigkeit und Luftgeschwindigkeit während vier aufeinanderfolgender Tage in Milchviehställen durchgeführt wurden, konnten keine Zusammenhänge zwischen Ammoniakkonzentration und Temperatur, respektive Luftfeuchtigkeit gezeigt werden.³⁷ Studien, in welchen direkte Zusammen-

hänge zwischen Klimaparametern und Stallflächen sowie Stallvolumen in Kälberställen untersucht wurden, wurden bei der Recherche nicht gefunden.

In der Schweiz wurden 2020 insgesamt 28'871 kg Antibiotika für die Veterinärmedizin verkauft. Davon werden 57% oral verabreicht, wobei schätzungsweise rund die Hälfte bei Mastkälbern eingesetzt wird.^{15,32} Antibiotikaverbrauch und Mortalität werden häufig als Mass für die Kälbergesundheit verwendet.^{21,22,28,29} In verschiedenen Studien wurden Haltungsbedingungen, welche einen Einfluss auf das Klima im Kälberstall vermuten lassen, auf Zusammenhänge mit Kälbergesundheit, Antibiotikaverbrauch und Mortalität untersucht.^{2,4,14,15} Ein weiterer Kälbergesundheitsindikator ist die Tageszunahme, die erwiesenermassen bei kranken und behandelten Kälbern geringer ist als bei gesunden, unbehandelten Kälbern.^{3,38,41}

Bisher wurden Temperatur-, Luftfeuchtigkeits- und Schadgaskonzentrationsmessungen in Schweizer Mastkälberställen weder prospektiv noch quantitativ ausgewertet. Ziel der vorliegenden Arbeit ist, die Aussagekraft von Klimamesswerten in Mastkälberställen in Hinsicht auf allfällige Assoziationen mit der Kälbergesundheit zu überprüfen. Im Rahmen eines übergeordneten Forschungsprojekts³⁰ über Zusammenhänge zwischen Managementfaktoren und Kälbergesundheit in Schweizer Kälbermastbetrieben wurden Messwerte für Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Ammoniak und Kohlendioxid erhoben. Auf dieser Datenbasis wurden die Hypothesen überprüft: i) dass mit verschiedenen Methoden und in unterschiedlichen Lokalisationen erhobene Klimamesswerte in Mastkälberställen sich nicht signifikant unterscheiden, ii) dass signifikante Korrelationen zwischen gemessenen Klimawerten und Merkmalen des Kälberstalls (z.B. Luftvolumen) vorhanden sind, und iii) dass signifikante Korrelationen zwischen gemessenen Klimawerten respektive Stallmerkmalen und Indikatoren für Kälbergesundheit (Antibiotikaverbrauch, Mortalität und Tageszunahmen) vorhanden sind.

Material und Methoden

Betriebe, Betriebsbesuche und Datenerfassung

Zielgruppe dieser prospektiven Kohortenstudie waren alle Schweizer Kälbermastbetriebe, in denen ohne saisonale Unterbrüche mehr als 25 Kälber pro Jahr gemästet werden. Die Betriebe wurden mittels Fachzeitschriften und über den Schweizer Kälbermästerverband über das Projekt informiert. In einem ersten Telefongespräch zwischen interessierten Betriebsleitenden und dem Studienteam wurde sichergestellt, dass die Betriebsstrukturen den vorausgesetzten Bedingungen entsprachen.³⁰ Jeder Betrieb wurde im Zeitraum zwischen Juli 2016 und November 2017 wäh-

rend rund eines Jahres begleitet. Bei Betrieben, bei denen nach dem Rein-Raus System eingestellt wurde, fand der Besuch am Anfang und Ende jeder Mastperiode statt. Bei Betrieben, bei denen kontinuierlich Kälber eingestellt wurden, fand der Besuch in regelmässigen Abständen alle zwei bis drei Monate statt. Im Rahmen des ersten Betriebsbesuchs wurden verschiedene Stallparameter erfasst (Tabelle 1), deren Aktualität bei darauffolgenden Besuchen überprüft wurde. Mittels eines erweiterten Behandlungsjournals, welches beim ersten Besuch abgegeben wurde, erfassen die Landwirte fortlaufend Informationen zu erkrankten Tieren. Die erhobenen Daten wurden nach Saison in Sommer (Juni bis August), Herbst (September bis November), Winter (Dezember bis Februar) und Frühling (März bis Mai) eingeteilt.³⁰

Punktuelle Messung der Klimaparameter

Pro Betrieb wurden bei jedem Besuch jeweils fünf punktuelle Messungen von Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Kohlendioxidkonzentration (Handheld Indoor Air Quality CO₂-Meter Model CO240, Extech Instruments, Distrelec AG, 8606 Nänikon, Schweiz) und Ammoniakkonzentration (Eingasmessgerät Dräger Pac 7000 – Ammoniak, Dräger AG, 3097 Liebfeld, Schweiz) auf Nasenhöhe der Kälber vorgenommen. Bei jedem Besuch wurden die Messungen anhand einer Skizze an denselben fünf Orten des jeweiligen Betriebs vorgenommen.

Kontinuierliche Messung der Klimaparameter

Pro Betrieb wurden jeweils einmal im Sommer und Winter über 72 Stunden kontinuierlich Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsmessungen mittels eines Datenloggers (Testo 174H Mini-Datenlogger, Testo AG, 8617 Mönchaldorf, Schweiz; eine Messung alle 15 Minuten) durchgeführt. Dafür wurden jeweils zwei Messgeräte im Stallinnern an zwei verschiedenen Orten in den Kälber-

Evaluation der Zusammenhänge zwischen Stallmerkmalen, gemessenen Stallklimaparametern und Indikatoren für Tiergesundheit in Schweizer Kälbermastbetrieben

C. Weber et al.



Abbildung 1: Datenlogger (Testo 174H Mini-Datenlogger, Testo AG, 8617 Mönchaldorf, Schweiz) für die kontinuierlichen Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsmessungen. Der Datenlogger wurde durch eine Metallbox vor den Kälbern geschützt.

Evaluation der Zusammenhänge zwischen Stallmerkmalen, gemessenen Stallklimaparametern und Indikatoren für Tiergesundheit in Schweizer Kälbermastbetrieben

C. Weber et al.

buchten (wenn möglich in zwei verschiedenen Buchten) installiert. Die Geräte wurden auf Tierhöhe, möglichst unzugänglich für die Kälber (z.B. hinter einem Gatter) und nicht in der Nähe einer Tür, einer Auslauföffnung oder eines Fensters installiert. Zusätzlich waren sie von einer Metallbox geschützt (Abbildung 1).

Tageszunahme, Mortalität und Antibiotikaverbrauch

Für jeden Betrieb wurden pro Saison der Antibiotikaverbrauch (als TI_{UDD} in Behandlungstagen pro Kalb und Jahr), die Mortalität (in %) und die Tageszunahme (in kg/Tag), wie anderswo im Detail beschrieben,³⁰ berechnet.

Datenanalyse und Statistik

Die deskriptiven Datenauswertungen wurden mit Microsoft Excel (Microsoft Excel 2010, Microsoft Corp. Redmond WA, Vereinigte Staaten) durchgeführt.

Punktuell gemessene Klimaparameter

Die punktuellen Klimamessungen wurden für jede Saison separat ausgewertet. Dabei wurde für jeden gemessenen Parameter Mittelwert mit Standardabweichung sowie Maximum und Minimum über alle Besuche in der gegebenen Saison berechnet. Zusätzlich wurde kontrolliert, bei wie vielen Besuchen mindestens ein Messwert ausserhalb des Optimalbereichs gemessen wurde. Die Optimalbereiche wurden anhand von etablierten Empfehlungen übernommen (Temperatur: 5° – 20°C, Luftfeuchtigkeit: 50% – 80%, Ammoniakkonzentration: <10 ppm, Kohlendioxidkonzentration: <1500 ppm).³³

Übereinstimmung der punktuellen Einzelmessungen

Für die punktuellen Klimamessungen wurde überprüft, in wie vielen Fällen (Betriebsbesuchen) Abweichungen von den Optimalbereichen vorhanden waren, und wenn es Abweichungen gab, in wie vielen der fünf gemessenen Werte.

Kontinuierlich gemessene Klimaparameter

Die kontinuierlichen Klimamessungen wurden für Sommer und Winter separat ausgewertet. Über alle Messungen wurden Mittelwert mit Standardabweichung berechnet sowie Maximum und Minimum erfasst. Zusätzlich wurde auch hier ausgewertet, in wie vielen Betrieben jeweils Werte ausserhalb des Optimalbereichs gemessen wurden und wie hoch der Anteil an Messpunkten (alle 15 Minuten) ausserhalb des Optimalbereichs war.

Übereinstimmung der Aussage der punktuellen und kontinuierlichen Messungen

Die kontinuierlichen Messungen wurden jeweils bei einem normalen Betriebsbesuch (mit punktuellen Messungen) gestartet. Somit konnte überprüft werden, wie häufig bei Betrieben, in denen während der dreitägigen

kontinuierlichen Messungen Werte ausserhalb des Optimalbereichs beobachtet wurden, dies ebenfalls bei den punktuellen Messungen am Starttag der Fall war. Dies wurde jeweils separat für Temperatur und Luftfeuchtigkeit ausgewertet.

Temperaturschwankungen >10°C innerhalb von zwei oder fünf Stunden bei kontinuierlichen Messungen

Anhand der über drei Tage kontinuierlich gemessenen Temperaturverläufe im Stallinnern wurde überprüft, ob es innerhalb von zwei respektive fünf Stunden zu Temperaturschwankungen von mehr als 10°C gekommen war. Weiter wurde visuell überprüft, ob Auffälligkeiten in Bezug auf Stallparameter, Antibiotikaverbrauch, Mortalität und Tageszunahmen bei solchen Betrieben mit Temperaturschwankungen >10°C feststellbar waren.

Korrelationen

Korrelationen zwischen den einzelnen punktuell gemessenen Parametern (Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Ammoniak- und CO₂-Konzentrationen) wurden mittels Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman berechnet. Weiter wurden Korrelationen zwischen diesen Klimaparametern und der vorhandenen Gesamtfläche pro Kalb (ohne Auslauf), der eingestreuten Fläche pro Kalb, dem Luftvolumen pro Kalb und der beim jeweiligen Besuch festgestellten Anzahl Mastkälber berechnet.

Assoziationen von Stallparametern und punktuellen Klimamesswerten mit Kälbergesundheitsindikatoren

Mit statistischen Modellen wurde überprüft, ob anhand von Stallparametern (Tabelle 1) und gemessenen Klimawerten Kälbergesundheitsindikatoren (Antibiotikaverbrauch, Mortalität und Tageszunahmen) bestimmt werden können. Aufgrund ihrer Verteilung wurden die Mortalitätswerte dichotomisiert (\leq oder $>3\%$).^{2,14,30} Als Klimavariablen wurden die punktuellen Messungen der Besuche der jeweiligen Saison verwendet. Für Temperatur und Luftfeuchtigkeit wurden Minimal- und Maximalwerte, die Frage ob mindestens ein Wert oberhalb oder unterhalb des Optimalbereichs lag, sowie die Anzahl Werte oberhalb oder unterhalb des Optimalbereichs verwendet. Für Ammoniak- und Kohlendioxidkonzentration wurden jeweils Maximalwert, die Frage ob mindestens ein Wert oberhalb des Optimalbereichs lag, sowie die Anzahl Werte oberhalb des Optimalbereichs verwendet. Die potenzielle Relevanz der abhängigen Variablen wurde separat für Stall- und gemessene Klimaparameter durch einen Variablenselektionsalgorithmus abgeschätzt. Dabei wurden die Daten durch wiederholte zufällige Auswahl von Teilmengen auf konsistente Effekte innerhalb jeder Teilmenge untersucht. In einem ersten Schritt wurden

redundante Variablen über Spearman Rangkorrelationen eliminiert. Dabei wurden alle Korrelationen mit einem absoluten Spearman-Rangkoeffizienten von mehr als 0,7 isoliert und jeweils jene Variable mit der höheren mittleren absoluten Korrelation mit den anderen Variablen entfernt. In einem zweiten Schritt wurden die verbleibenden Variablen einem Variablen-selektionsalgorithmus unterzogen, um Variablen zu identifizieren, die einen vielversprechenden Zusammenhang mit den Ergebnisvariablen (Antibiotikaverbrauch, Mortalität und Tageszunahmen) aufwiesen. Auswahlverfahren, die auf univariablen Modellen und p-Werten basieren, sind in den letzten Jahren in die Kritik geraten.¹⁰ Deshalb wurde hier das Konzept der repeated elastic net technique verwendet (RENT).¹¹ Für den Algorithmus wurde ein elastic net Regressionsmodell mit allen ausgewählten Variablen ohne Interaktionseffekte auf eine zufällig ausgewählte Teilmenge trainiert, die 50% der verfügbaren Beobachtungen entsprach. Das trainierte Modell wurde anhand der verbleibenden 50% der Beobachtungen validiert. Der gesamte Vorgang wurde 100 Mal mit jeweils einer anderen zufälligen Teilmenge der Daten wiederholt. Für jede Wiederholung wurden für den Antibiotikaverbrauch und die Tageszunahme der R^2 Wert sowie die

Parameterschätzungen für jede Variable aufgezeichnet. Für die Mortalität wurden Spezifität, Sensitivität und Genauigkeit der Modellvalidierung sowie die Parameterschätzungen aufgezeichnet. Für den Variablen-selektionsalgorithmus wurden alle Beobachtungen mit mindestens einem fehlenden Wert unter allen Variablen entfernt. Anschliessend wurde über alle 100 Wiederholungen der Mittelwert, Median sowie das untere und obere 95%-Konfidenzintervall (95% CI) für die aufgezeichneten Werte berechnet. Es wurde berechnet, wie oft jede Variable eine Parameterschätzung ungleich Null unter allen 100 Wiederholungen hatte und die Konsistenz der Parameterschätzungen anhand des 95% CI über die 100 Wiederholungen wurde bewertet.¹¹

Alle statistischen Analysen wurden in R (Version 3.6.3, R Core Team 2020) durchgeführt, unter Verwendung der Pakete dplyr,⁴⁴ Hmisc,⁹ caret,¹² glmnet⁸ und reshape2.⁴³

Resultate

Betriebe und Betriebsbesuche

In den 43 teilnehmenden Betrieben³⁰ wurden zwischen 21 und 667 Kälber pro Jahr gemästet (Median: 54, In-

Evaluation der Zusammenhänge zwischen Stallmerkmalen, gemessenen Stallklimaparametern und Indikatoren für Tiergesundheit in Schweizer Kälbermastbetrieben

C. Weber et al.

Tabelle 1: Während den Betriebsbesuchen erhobene Stallparameter in Schweizer Kälbermastbetrieben.

Stallparameter	Ordnung	Einheit / Kategorie
Höhenlage Betrieb	Linear	m ü. M.
Zone	Kategorisch	Talzone, Hügelzone, Bergzone I – IV
Auslauf	Kategorisch	Ja, nein
Heulager im Kälberbereich	Kategorisch	Ja, nein
Lüftung	Kategorisch	Mechanisch, natürlich, gemischt, keine Lüftung ¹
Dachisolation	Kategorisch	Ja, nein
Kondenswasser ²	Kategorisch	Ja, nein
Gesamtfläche ohne Auslauf	Linear	m ² /Kalb
Eingestreute Fläche	Linear	m ² /Kalb
Feuchtigkeit Liegefläche	Kategorisch	Trocken, feucht, durchnässt
Nicht eingestreute Fläche	Linear	m ² /Kalb
Luftvolumen	Linear	m ³ /Kalb
Geteilter Luftraum mit Kühen	Kategorisch	Ja, nein
Luftrichtung	Kategorisch	Kein Kontakt/kein Austausch, von Kühen zu Kälbern, von Kälbern zu Kühen, in beide Richtungen
Subjektive Luftqualität	Kategorisch	Gut, akzeptabel, schlecht
Anzahl Mastkälber bei Besuch	Linear	Anzahl Käber
Anzahl Mastgruppen bei Besuch	Linear	Anzahl Gruppen
Maximale Gruppengrösse bei Besuch	Linear	Anzahl Kälber in der grössten Gruppe
Effektiv gemästete Kälber pro Jahr	Linear	Anzahl Kälber

¹Mechanisch: Ventilatoren, Deckenluftauslässe oder Rieselkanal/Schlauchlüftung; natürlich: Offenfront oder Trauf-First-Lüftung; gemischt: mechanisches und natürliches System vorhanden; keine Lüftung: keines der beschriebenen mechanischen oder natürlichen Systeme vorhanden

²Visuelle Überprüfung, ob im Stallinnern feuchte Stellen an Bauteilen oder Fenstern vorhanden waren

Evaluation der Zusammenhänge zwischen Stallmerkmalen, gemessenen Stallklimaparametern und Indikatoren für Tiergesundheit in Schweizer Kälbermastbetrieben

C. Weber et al.

terquartilabstand: 39–102). Gesamthaft wurden 257 Betriebsbesuche zur Datenerfassung durchgeführt (sechs Besuche über 12 Monate pro Betrieb, mit Ausnahme zweier Betriebe mit überdurchschnittlich langer (vier Besuche) beziehungsweise kurzer (sieben Besuche) Mastdauer). Dreizehn (30,2%) Betriebe befanden sich in der Talzone, sechs (14,0%) in der Hügelzone und 24 (55,8%) in Bergzonen (sieben, elf, vier und zwei in den Bergzonen I-IV). Zugang zu einem Auslauf war in 24 Betrieben (55,8%) gewährt, während in 18 (41,9%) kein Auslauf für die Kälber verfügbar war. Im fehlenden Betrieb wurden die Kälber in Aussenhaltung gemästet, wobei sie unter einem an ein bestehendes Gebäude angegliedertem Vordach gehalten wurden und ein Iglu als Unterstand vorhanden war. Eine Übersicht über einzelne Betriebsmerkmale geht aus Tabelle 2 hervor.

Punktuell gemessene Klimaparameter

Für Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Kohlendioxidkonzentration konnten jeweils 1285 Einzelmessungen (fünf pro Besuch) ausgewertet werden. Lediglich 1270 Ammoniakkonzentrations-Einzelmessungen standen

zur Auswertung zur Verfügung, da bei drei Betriebsbesuchen das Ammoniakmessgerät nicht funktionierte. Eine nach Saison aufgeteilte Übersicht der Ergebnisse ist der Tabelle 3 zu entnehmen.

Übereinstimmung der punktuellen Einzelmessungen pro Messzeitpunkt

Aus Tabelle 4 geht hervor, in wie vielen Betrieben Abweichungen von den Optimalbereichen beobachtet wurden und wie häufig dabei eine, zwei, drei, vier oder alle fünf Messungen ausserhalb des Optimalbereichs lagen.

Kontinuierlich gemessene Klimaparameter

Über alle Betriebe ergaben sich total 24'682 Messpunkte pro Saison für die Temperatur (Messung alle 15 Minuten). Die kontinuierlichen Luftfeuchtigkeitsmessungen resultierten in 24'591 beziehungsweise 23'818 Einzelmesswerte im Sommer respektive Winter, da es bei der Aufzeichnung zu zeitweisen Ausfällen der Messgeräte kam. Eine Übersicht der Ergebnisse ist der Tabelle 5 zu entnehmen.

Tabelle 2: Stallcharakteristika in den 43 teilnehmenden Kälbermastbetrieben

Lüftungssystem	Kategorie	Totale Anzahl (%)	Lüftungstyp	Anzahl ¹
	Mechanisch	20 (46,5)	Ventilatoren	12
			Deckenluftauslässe	10
			Rieselkanal oder Schlauchlüftung	4
	Natürlich	8 (18,6)	Offenfront	5
			Trauf-First-Lüftung	5
	Gemischt ²	3 (7,0)	Ventilatoren und Offenfront	2
			Rieselkanal und Offenfront	1
		Keine Lüftung ³	7 (16,3)	
Saisonale Unterschiede ⁴		3 (7,0)		
N/A ⁵		2 (4,7)		
Stallparameter ⁶	Einheit	Median	Minimum – Maximum	1. Quartil / 3. Quartil
Gesamtfläche ohne Auslauf	m ² /Kalb	3	1,3 – 10,9	2,4 / 4,2
Eingestreute Fläche	m ² /Kalb	2,6	1,3 – 10,9	2,1 / 3,5
Luftvolumen	m ³ /Kalb	15,8	3,4 – 328,1	10,8 / 39,5
Anzahl Mastkälber	Anzahl Kälber	18,5	2 – 235	12 / 30,3
Anzahl Mastgruppen	Anzahl Gruppen	2	1 – 7	2 / 2
Maximale Gruppengrösse	Anzahl Kälber in der grössten Gruppe	15	5 – 50	10 / 25

¹Pro Betrieb mehrere Systeme möglich

²Gemischt: mechanisches und natürliches System vorhanden

³Keine Lüftung: keines der beschriebenen mechanischen oder natürlichen Systeme vorhanden, häufig ältere umgebaute oder umgenutzte Ställe

⁴Betriebe, welche je nach Saison unterschiedliche Lüftungssysteme hatten

⁵N/A=nicht anwendbar, Aufstallung lässt keine eindeutige Einteilung des Lüftungssystems zu, ein Betrieb mit Aussenhaltung, ein Betrieb mit zwei komplett unterschiedlichen Kälberbuchten

⁶Aus den bei Betriebsbesuchen beobachteten Werten über alle Saisons jedes Betriebes berechnet

Übereinstimmung der punktuellen und kontinuierlichen Messungen bezüglich Vorkommen von Werten ausserhalb des Optimalbereichs

Aus Tabelle 6 geht hervor, wie häufig Werte ausserhalb des Optimalbereichs gleichzeitig bei punktuellen und kontinuierlichen Messungen im selben Betrieb beobachtet wurden.

Temperaturschwankungen >10°C innerhalb von zwei oder fünf Stunden bei kontinuierlichen Messungen

Eine Übersicht der Resultate ist in Tabelle 7 dargestellt. Vier der fünf Betriebe, bei welchen im Winter eine Schwankung von über 10°C innerhalb von fünf Stunden gemessen wurde, hatten eine mechanische Lüftung. Andere Auffälligkeiten waren bei Betrieben mit Temperaturschwankungen über 10°C nicht erkennbar. Der durchschnittliche Antibiotikaverbrauch betrug für die Betriebe mit starken Temperaturschwankungen 7,0 Tagesdosen pro Kalb pro Jahr im Sommer und 11,8 im Winter, für Betriebe ohne starke Temperaturschwankungen 6,1 im Sommer und 14,7 im Winter. Eine durchschnittliche Mortalität von 0% im Sommer und 6,3%

im Winter wurde in Betrieben mit, 2,8% im Sommer und 4,3% im Winter in Betrieben ohne starke Temperaturschwankungen beobachtet. Die durchschnittliche Tageszunahme betrug 1,2 kg im Sommer respektive 1,6 kg im Winter bei Betrieben mit, und 1,4 kg im Sommer und 1,3 kg im Winter bei Betrieben ohne starke Temperaturschwankungen.

Korrelation unter den punktuell gemessenen Klimaparametern

Die nach Saison gegliederten Resultate sind der Tabelle 8 zu entnehmen. Über das ganze Jahr berechnet, war der Spearman Korrelationskoeffizient zwischen Temperatur und Ammoniakkonzentration mit 0,282 am höchsten und zwischen Luftfeuchtigkeit und Kohlendioxidkonzentration mit 0,244 am zweithöchsten. Alle anderen Korrelationswerte lagen über das ganze Jahr zusammengefasst unter 0,2.

Korrelation zwischen punktuell gemessenen Klimaparametern und Stallflächen, Luftvolumen und Anzahl aufgestallter Kälber

Die nach Saison aufgeteilten Resultate sind der Tabelle 9 zu entnehmen. Über das ganze Jahr berechnet, war

Evaluation der Zusammenhänge zwischen Stallmerkmalen, gemessenen Stallklimaparametern und Indikatoren für Tiergesundheit in Schweizer Kälbermastbetrieben

C. Weber et al.

Tabelle 3: Nach Saison aufgeteilte Übersicht über Mittelwert mit Standardabweichung, Minimum und Maximum der punktuellen Klimamessungen in Schweizer Kälbermastbetrieben sowie Anzahl Besuche mit Messungen ausserhalb des Optimalbereichs

Gemessener Parameter	Saison	Anzahl Besuche/ Messungen (jeweils 5 pro Besuch)	Mittelwert	SD ¹	Minimum der gemessenen Einzelwerte	Maximum der gemessenen Einzelwerte	Anzahl Besuche mit mind. einem Messwert ausserhalb des Optimalbereichs	
							Oberhalb n ² (%)	Unterhalb n (%)
Temperatur (°C)	Frühling	60/300	15,3	4,4	5,5	28,5	9 (15,0)	0 (0)
	Sommer	84/420	22,5	3,9	13	33,5	68 (81,0)	0 (0)
	Herbst	56/280	14,6	4,7	3,3	26,1	8 (14,3)	1 (1,8)
	Winter	57/285	7,6	4,3	-5,1	18,4	0 (0)	18 (31,6)
Luftfeuchtigkeit (%)	Frühling	60/300	58	7,6	42	75	0 (0)	14 (23,3)
	Sommer	84/420	62	8	37	80	1 (1,2)	7 (8,3)
	Herbst	56/280	63,1	7,2	46	81	1 (1,8)	4 (7,1)
	Winter	57/285	62	8,7	40	83	2 (3,5)	8 (14,0)
Ammoniak (ppm)	Frühling	58/290 ³	2,7	4,2	0	22	9 (15,5)	N/A ⁴
	Sommer	84/420	2,9	4,7	0	25	13 (15,5)	N/A
	Herbst	55/275 ³	1,8	4,2	0	21	9 (16,4)	N/A
	Winter	57/285	1	2,3	0	10	1 (1,8)	N/A
Kohlendioxid (ppm)	Frühling	60/300	769,8	355,4	79	2114	5 (8,3)	N/A
	Sommer	84/420	748,4	414,4	288	4055	5 (6,0)	N/A
	Herbst	56/280	816,7	616,7	211	4673	5 (8,9)	N/A
	Winter	57/285	830,1	466,8	111	2550	8 (14,0)	N/A

¹SD=Standardabweichung

²n=Anzahl

³Defektes Ammoniakmessgerät bei zwei Betrieben im Frühling und bei einem Betrieb im Herbst

⁴N/A=nicht anwendbar

Evaluation der Zusammenhänge zwischen Stallmerkmalen, gemessenen Stallklimaparametern und Indikatoren für Tiergesundheit in Schweizer Kälbermastbetrieben

C. Weber et al.

der Spearman Korrelationskoeffizient mit 0,254 am höchsten zwischen Luftfeuchtigkeit und Anzahl aufgestallter Kälber, gefolgt von dem zwischen Kohlendioxidkonzentration und der Gesamtfläche des Stalls mit -0,206. Die anderen Korrelationen lagen übers ganze Jahr zusammengefasst deutlich unter 0,2.

Identifikation von Stallparametern und punktuellen Klimamesswerten mit relevanter Assoziation zu den Kälbergesundheitsindikatoren

Für den Variablenselektionsalgorithmus blieben von anfänglich 213 Beobachtungen insgesamt 206, 207 und 177 bei den Stallparametern, sowie 204, 205 und 175 Beobachtungen bei den Klimavariablen für Antibiotikaverbrauch, Mortalität und Tageszunahme übrig. Die Ergebnisse des Variablenselektionsalgorithmus für die Stallparameter gehen aus Tabelle 10 hervor. Es wurden nur Variablen abgebildet, welche in 95% oder mehr der Modelle vorkamen. Für den Antibiotikaverbrauch lag der durchschnittliche R^2 Wert bei 0,21 (95% CI: 0,11 – 0,31) und für die Tageszunahme bei 0,21 (95% CI: 0,09 – 0,34). Für die Mortalität lag die durchschnittliche Gesamtgenauigkeit bei 0,70 (95% CI: 0,63 – 0,74). Diese setzte sich aus einer durchschnittlichen Sensitivität von 0,92 und einer durchschnittlichen Spezifität von 0,23 zusammen. Die Modellgenauigkeit für die Stallparameter war somit für alle drei Ergebnisvariablen nicht ausreichend für eine präzise Vorhersage der Kälbergesundheitsindikatoren.

Auch die Modellgenauigkeit für die Klimavariablen war für alle drei Ergebnisvariablen schlecht. Für den Antibiotikaverbrauch lag der durchschnittliche R^2 Wert bei 0,01 (95% CI: 0,00003 – 0,04) und für die Tageszunahme bei 0,01 (95% CI: 0,00003 – 0,04). Für die Mortalität lag die durchschnittliche Gesamtgenauigkeit bei 0,67 (95% CI: 0,60 – 0,70) mit einer durchschnittlichen Sensitivität von 0,96 und einer durchschnittlichen Spezifität von 0,05. Für keine der Ergebnisvariablen gab es punktuell gemessene Klimaparameter, die in 95% oder mehr der Modelle vorkamen.

Diskussion

Seit einigen Jahren sind einfach zu bedienende, digitale Messgeräte für Klimaparameter kommerziell erhältlich, mit welchen auch Messungen in Mastkälberställen durchgeführt werden können. Während solche Messungen eine Objektivierung der Klimaqualität in Kälberstallungen erlauben sollten, ist es wichtig zu wissen, ob die gemessenen Werte die Effekte des Stallklimas auf die Tiergesundheit widerspiegeln. Anhand einer grossen Datenmenge aus 43 Betrieben wurde in der vorliegenden Studie festgestellt, dass keine engen oder zuverlässigen Zusammenhänge zwischen punktuell erfassten Klimamesswerten und Tiergesundheitsindikatoren bestehen.

Am einfachsten zu erfassen sind punktuelle Messwerte, die mit Handmessgeräten bei einer Stallbegehung erhoben werden können. Solche Geräte sind für Messungen von Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Ammoniak und Kohlendioxid verfügbar. Die in dieser Studie nach Saison ausgewerteten punktuell gemessenen Klimaparameter zeigten, dass es in jeder Jahreszeit zu Abweichungen von etablierten Empfehlungen³³ kam. Während die Mittelwerte – abgesehen von der mit 22,5°C leicht erhöhten mittleren Sommertemperatur – für alle Parameter und Saisons innerhalb der Optimalbereiche lagen, wurden in sämtlichen Saisons bei allen Parametern Minimal- oder Maximalwerte ausserhalb des empfohlenen Bereichs festgestellt. Hervorzuheben ist, dass im Sommer in 81% der Betriebe Temperaturmessungen oberhalb und im Winter in 14% der Betriebe Messwerte unterhalb des Optimalbereichs festgestellt wurden. Dies ist aufgrund der klimatischen Bedingungen (hohe Temperaturen im Sommer, tiefe Temperaturen im Winter) nicht besonders erstaunlich. Jedoch zeigt es, dass die Stallsysteme bezüglich der Temperaturregulation die Optimalwerte für Kälber nicht konsequent aufrechterhalten können. Es muss beachtet werden, dass die punktuellen Messungen jeweils am Tag durchgeführt wurden und folglich die Maximaltemperatur im Sommer besser als die Minimaltemperatur im Winter (i.d.R. in der Nacht) erfasst wurde. Der Anteil Betriebe mit Temperaturen unterhalb des Optimalbe-

Tabelle 4: Anzahl punktueller Messungen ausserhalb des Optimalbereichs pro Besuch in Schweizer Kälbermastbetrieben. Bei jedem Besuch wurden fünf punktuelle Messungen jeweils an den gleichen fünf verschiedenen Orten in den Kälberbuchten durchgeführt

Gemessener Parameter	Total Besuche	Besuche mit Werten ausserhalb Optimalbereich n ¹ (%)	Anzahl punktueller Messungen, die pro Besuch mit abweichenden Werten ausserhalb des Optimalbereichs lagen, n (%)				
			1 von 5	2 von 5	3 von 5	4 von 5	5 von 5
Temperatur	257	101 (39,3)	5 (5,0%)	3 (3,0%)	6 (5,9%)	0 (0%)	87 (86,1%)
Luftfeuchtigkeit	257	31 (12,1)	3 (9,7%)	3 (9,7%)	2 (6,5%)	7 (22,6%)	16 (51,6%)
Ammoniak	254 ²	25 (9,8)	7 (28,0%)	6 (24,0%)	3 (12,0%)	7 (28,0%)	2 (8,0%)
Kohlendioxid	257	23 (8,9)	3 (13,0%)	8 (34,8%)	1 (4,3%)	4 (17,4%)	7 (30,4%)

¹n=Anzahl

²Bei drei Besuchen defektes Ammoniakmessgerät

reichs im Winter liegt dementsprechend wahrscheinlich höher als unsere Resultate zeigen. Diese Vermutung wird durch die Ergebnisse der kontinuierlichen Messungen bestätigt. Luftfeuchtigkeitsmesswerte ausserhalb des Optimalbereichs waren häufiger zu niedrig als zu hoch. Dies kann ebenfalls mit dem Zeitpunkt der punktuellen Messung zusammenhängen (tagsüber), da die Luft bei höherer Temperatur mehr Feuchtigkeit speichern kann und somit die relative Luftfeuchtigkeit sinkt.⁴² Ein Vergleich mit den kontinuierlichen Klimamessungen, bei denen deutlich häufiger Abweichungen der Luftfeuchtigkeit vom Optimalbereich festgestellt wurden, lässt vermuten, dass anhand punktueller Messungen am Tag die Luftfeuchtigkeitsbedingungen in Kälberställen unzureichend erfasst werden. Bezüglich der Ammoniakkonzentrationen wurden tiefe Mittelwerte für sämtliche Saisons beobachtet. Ein Grund ist, dass gängige Messgeräte (wie von uns verwendet) Konzentrationen zwischen 0 und 5 ppm nicht messen können und Werte <5 ppm als 0 anzeigen, was zu einer Unterschätzung des tatsächlichen Mittelwerts führen dürfte. Jedoch ist für die Ammoniakkonzentration der Maximalwert ohnehin relevanter; in den Saisons Frühling, Sommer und Herbst wurden relativ gleichmässig bei mehr als 15% der Besuche Messwerte über dem Optimalbereich festgestellt. Im Winter lag der Anteil bei nur knapp zwei Prozent. Für die Kohlendio-

xidkonzentration zeigte sich gerade das Gegenteil, mit Messwerten oberhalb des Optimalbereichs vorwiegend im Winter. Diese Beobachtung stimmt mit den Resultaten einer Studie über Ammoniakemissionen in Milchviehställen überein, welche erhöhte Ammoniakkonzentrationen im Sommer und erhöhte Kohlendioxidkonzentrationen im Winter zeigten.²⁷ Jahreszeitliche Schwankungen der Ammoniakkonzentrationen können damit erklärt werden, dass höhere Temperaturen mit erhöhter Ammoniakfreisetzung verbunden sind.^{1,19,27,31,45} Ammoniak entsteht aus Harnstoff, welcher hauptsächlich im Harn der Kälber ausgeschieden wird, durch Wirkung des von gewissen Mikroorganismen gebildeten Enzyms Urease. Dessen Aktivität ist ebenso positiv mit der Temperatur assoziiert wie die Ammoniakfreisetzung in die Luft.¹⁹ Höhere Kohlendioxidkonzentrationen im Winter lassen sich am ehesten mit einer reduzierten Lüftung aufgrund der kalten Temperaturen erklären. In einer Übersichtsarbeit wurde gezeigt, dass mit Hilfe der Kohlendioxidkonzentration die Lüftungsrate abgeleitet werden kann.²³ Diese wird bei natürlicher Lüftung durch thermische Bedingungen und Wind beeinflusst, bei mechanischer Lüftung durch die ab- oder zugeführte Luft. Sie hat einen wichtigen Einfluss auf die Erregerdichte und die Staubbelastung im Stall.¹³ In unserer Studie wurde die Lüftungsrate nur subjektiv erhoben und deshalb nicht weiter ausgewertet.

Evaluation der Zusammenhänge zwischen Stallmerkmalen, gemessenen Stallklimaparametern und Indikatoren für Tiergesundheit in Schweizer Kälbermastbetrieben

C. Weber et al.

Tabelle 5: Nach Saison aufgeteilte Übersicht über Mittelwert mit Standardabweichung, Minimum und Maximum der kontinuierlichen Klimamessungen in Schweizer Kälbermastbetrieben über drei Tage mittels zwei Messgeräten sowie Anzahl Betriebe mit Messungen ausserhalb des Optimalbereichs und Anteil Einzelmesswerte ausserhalb des Optimalbereichs

Gemessener Parameter	Saison	Anzahl Betriebe/ Anzahl Messpunkte (alle 15min)	Mittelwert	SD ¹	Minimum der gemessenen Messpunkte	Maximum der gemessenen Messpunkte	Anzahl Betriebe mit mind. einem Messwert bei einem der Geräte ausserhalb des Optimalbereichs		Anteil Einzelmesswerte ausserhalb Optimalbereich (beide Geräte)	
							Oberhalb n ² (%)	Unterhalb n (%)	Oberhalb (%)	Unterhalb (%)
Temperatur (°C)	Sommer	43/24'682	20,4	3,9	8,9	47	42 (97,7)	0 (0)	53,1	0
	Winter	43/24'682	6,2	4,9	-11,9	27,8	1 (2,3)	34 (79,1)	0,1	37,1
Luftfeuchtigkeit (%)	Sommer	43/24'591 ³	70,8	11,1	18,1	99,9	37 (86,0)	25 (58,1)	19,6	4,2
	Winter	43/23'818 ³	78,6	10,3	30,8	99,9	41 (95,3)	15 (34,9)	45,1	4,8

¹SD=Standardabweichung

²n=Anzahl

³Partielle Ausfälle der Messgeräte bei der Luftfeuchtigkeitsmessung

Tabelle 6: Übersicht, wie häufig Abweichungen vom Optimalbereich gemäss kontinuierlicher Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsmessung über drei Tage auch am Starttag bei der punktuellen Messung in 43 Kälbermastbetrieben erkannt wurden

Saison	Parameter	Betriebe mit Messwerten ausserhalb Optimalbereich bei kontinuierlichen Messungen n ¹ (%)	Bei punktueller Messung erfasst n (%)
Sommer	Temperatur	42 (97,7)	34 (81,0)
	Luftfeuchtigkeit	41 (95,3)	3 (7,3)
Winter	Temperatur	35 (81,4)	15 (42,9)
	Luftfeuchtigkeit	41 (95,3)	5 (12,2)

¹n=Anzahl

Evaluation der Zusammenhänge zwischen Stallmerkmalen, gemessenen Stallklimaparametern und Indikatoren für Tiergesundheit in Schweizer Kälbermastbetrieben

C. Weber et al.

Die Auswertungen der jeweils fünfmal an verschiedenen Orten im Stall wiederholten punktuellen Messungen zeigen, dass die Temperaturerfassung relativ konstante Resultate lieferte. Wurden bei einem Besuch Temperaturmesswerte ausserhalb des Optimalbereichs festgestellt, war dies in über 86% bei allen fünf Messungen der Fall. Für die Luftfeuchtigkeit war dies noch in gut 50% der Besuche der Fall. Entsprechend lagen für Temperatur und Luftfeuchtigkeit die fünf gemessenen Werte pro Besuch relativ eng zusammen. Teilweise bewegten sich die fünf Messwerte knapp über oder unter der Toleranzgrenze. Für diese Fälle ist die Aussagekraft unserer Auswertung anhand von Toleranzgrenzen beschränkt. Für die Schadgase Ammoniak und Kohlendioxid variierten die Anzahl Messungen, die ausserhalb der Optimalbereiche lagen, deutlich. Da die Ammoniakfreisetzung von Temperatur, Bodenbeschaffenheit und Entmistungsregime abhängt, kann es in verschiedenen Orten im Stall zu unterschiedlichen Messergebnissen kommen.^{1,19,27,31,45} In sämtlichen Betrieben war mindestens der Liegebereich mit Stroh eingestreut. Die Strohmatten stellen je nach Entmistungshäufigkeit eine wichtige Quelle für Ammoniakemissionen dar.¹⁹ Die

unterschiedlichen Kohlendioxidkonzentrationen lassen unterschiedliche Lüftungsverhältnisse als mögliche Ursache vermuten. Beim direkten, besuchsspezifischen Vergleich der Werte der punktuellen Ammoniak- und Kohlendioxidmessungen fiel auf, dass die einzelnen Messwerte innerhalb kurzer Zeit an den fünf verschiedenen Orten gehäuft deutlich divergieren. Die Resultate zeigen, dass die Aussagekraft einer einzelnen Messung als unzureichend erscheint und beim Vorliegen mehrerer deutlich voneinander abweichender Werte aus dem gleichen Stall die Interpretation in Hinsicht auf das Gesamtklima im Stall schwierig ist.

Bei den kontinuierlichen Klimamessungen zeigte sich eine etwas tiefere durchschnittliche Temperatur (Mittelwerte \pm Standardabweichung: Sommer $20,4^{\circ}\text{C} \pm 3,9$ vs. $22,5^{\circ}\text{C} \pm 3,9$ und Winter $6,2^{\circ}\text{C} \pm 4,9$ vs. $7,6^{\circ}\text{C} \pm 4,3$) und eine höhere durchschnittliche Luftfeuchtigkeit (Sommer $70,8\% \pm 11,1$ vs. $62,0\% \pm 8,0$ und Winter $78,6\% \pm 10,3$ vs. $62,0\% \pm 8,7$) im Vergleich zu den punktuellen Messwerten. Dies erklärt sich erneut dadurch, dass punktuellen Messungen nur tagsüber durchgeführt wurden. Der Anteil Betriebe mit Messwerten ausserhalb des Optimal-

Tabelle 7: Durchschnittliche Temperaturschwankungen und Anteil Betriebe mit Temperaturschwankungen über 10°C innerhalb zwei respektive fünf Stunden gemäss kontinuierlichen Temperaturmessungen während drei Tagen in 43 Kälbermastbetrieben (jeweils mit zwei Messgeräten erfasst, eine Messung alle 15 Minuten)

Saison	Durchschnittliche Temperaturschwankung ($^{\circ}\text{C}$)		Minimale Temperaturschwankung ($^{\circ}\text{C}$)		Maximale Temperaturschwankung ($^{\circ}\text{C}$)		Anzahl Betriebe mit Temperaturschwankungen über 10°C bei mind. einem der 2 Messgeräte n ¹ (%)	
	Innerhalb 2 Stunden	Innerhalb 5 Stunden	Innerhalb 2 Stunden	Innerhalb 5 Stunden	Innerhalb 2 Stunden	Innerhalb 5 Stunden	Innerhalb 2 Stunden	Innerhalb 5 Stunden
Sommer	4,5	6,7	1,3	2,4	18,2	21,3	3 (7,0)	8 (18,6)
Winter	4,4	5,6	1,4	2,2	11,3	16,6	1 (2,3)	5 (11,6)

¹n=Anzahl

Tabelle 8: Rangkorrelationskoeffizienten nach Spearman der punktuell gemessenen Klimaparameter in Schweizer Kälbermastbetrieben, aufgeteilt nach Saison

	Saison	Luftfeuchtigkeit	Ammoniak	Kohlendioxid
Temperatur	Frühling	-0,356	0,084	0,100
	Sommer	-0,550	0,269	-0,067
	Herbst	-0,026	0,457	0,116
	Winter	-0,078	0,193	0,049
Luftfeuchtigkeit	Frühling	/	0,388	0,404
	Sommer	/	-0,033	0,209
	Herbst	/	0,161	0,176
	Winter	/	0,279	0,280
Ammoniak	Frühling	/	/	0,324
	Sommer	/	/	0,129
	Herbst	/	/	0,216
	Winter	/	/	0,142

bereichs fiel für die kontinuierlichen Messungen deutlicher aus als bei den punktuellen Messungen. Vor allem der Anteil an als zu tief beurteilten Temperaturen lag im Winter mit fast 80% deutlich höher als bei den punktuellen Messungen (31.6%). Bei den Luftfeuchtigkeitsmessungen fiel der Unterschied noch extremer aus. Hier hatten über 86% (Sommer) respektive 95% (Winter) der Betriebe Messwerte oberhalb des Optimalbereichs, und mit 58% (Sommer) respektive 35% (Winter) traten auch gehäuft Messwerte unterhalb des Optimalbereichs auf. Ebenso ist der Tabelle 6 zu entnehmen, dass die Übereinstimmung bezüglich Vorkommen von Messwerten ausserhalb des Optimalbereichs zwischen kontinuierlichen und punktuellen Messungen beschränkt war. Diese Beobachtungen bestätigen, dass mittels punktueller Messung die Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsverhältnisse in einem Stall nicht nachhaltig beurteilt werden können. Die Maximal- und Minimalwerte aus kontinuierlichen Messungen waren für die Temperatur wie auch für die Luftfeuchtigkeit weiter vom Optimalbereich entfernt als bei den punktuellen Messungen. Die gemessene Maximal- (47°C) respektive Minimaltemperatur (-11,9°C) bedeuten für die Kälber eindeutig Hitze- beziehungsweise Kältestress.²⁶ Die gemessene Maximaltemperatur lässt eine direkte Sonneneinstrahlung vermuten, obwohl die Geräte möglichst so platziert wurden, dass dies nicht geschah. In einer vorgängigen Auswertung wurden allfällige Unterschiede zwischen den zwei Messgeräten im selben Betrieb ausgewertet.²⁴ Dabei zeigten sich teils Unterschiede zwischen den gemessenen Maximal- und Minimalwerten wie auch zwischen den Verlaufskurven. Diese Punkte weisen auf die Schwierigkeit der Wahl des optimalen Ortes für die Messungen wie auch der Anzahl

benötigter Messgeräte hin. Die kontinuierliche Messdauer von 3 Tagen war im Rahmen dieses Projektes gut umsetzbar und beinhaltet jeweils u.a. Temperaturschwankungen zwischen Tag und Nacht. Über die Aussagekraft von Messungen über mehr als 3 Tage können keine Aussagen gemacht werden und längere Messperioden sollten in weiteren Studien evaluiert werden.

In einer älteren Studie wurden Assoziationen zwischen grossen Temperaturschwankungen und erhöhter Mortalität festgestellt.¹⁸ Dabei wurden jedoch retrospektive Messdaten einer Wetterstation verwendet und nicht direkt Temperaturverläufe in den Ställen gemessen. Wir versuchten, in kontinuierlichen Messungen auftretende Temperaturschwankungen auszuwerten, wobei wir 10°C als biologisch sinnvolle Temperaturdifferenz annahmen. Da wir die Zeit, in der eine Temperaturschwankung stattfindet als relevanten Faktor vermuteten, untersuchten wir versuchsweise Schwankungen über 10°C innerhalb von zwei respektive fünf Stunden. Es zeigte sich, dass es schwierig war, die vielen Messpunkte sinnvoll auszuwerten. Es gab zu wenige Betriebe mit Schwankungen über 10°C in den vorgegebenen Zeiträumen, um statistische Vergleiche durchzuführen. Die Beobachtung, dass vier der fünf Betriebe mit starken Temperaturschwankungen im Winter (>10°C innerhalb von fünf Stunden) eine mechanische Lüftung hatten, lässt vermuten, dass die mechanische Lüftung vermehrt kalte Luft in die Kälberställe transportierte, was zu einer grösseren Schwankung führte. Anhand des Antibiotikaverbrauchs, der Mortalität und der Tageszunahme liess sich keine klare Tendenz für grössere Probleme bei Betrieben mit starken Schwankungen als bei Betrieben ohne er-

Evaluation der Zusammenhänge zwischen Stallmerkmalen, gemessenen Stallklimaparametern und Indikatoren für Tiergesundheit in Schweizer Kälbermastbetrieben

C. Weber et al.

Tabelle 9: Rangkorrelationskoeffizienten nach Spearman der in Schweizer Kälbermastbetrieben punktuell gemessenen Klimaparameter mit Stallparametern und Anzahl auf dem Betrieb vorhandener Kälber, aufgeteilt nach Saison

	Saison	Anzahl aufgestallter Kälber	Gesamtfläche Stall (ohne Auslauf) in m ²	Eingestreuete Fläche in m ²	Luftvolumen in m ³
Temperatur	Frühling	0,092	-0,103	-0,046	-0,058
	Sommer	0,005	-0,185	-0,174	0,126
	Herbst	0,079	-0,139	-0,118	-0,040
	Winter	0,051	-0,225	-0,291	-0,256
Luftfeuchtigkeit	Frühling	0,391	-0,237	-0,148	-0,042
	Sommer	0,176	-0,085	-0,011	0,051
	Herbst	0,325	-0,017	-0,023	-0,090
	Winter	0,215	-0,306	-0,049	-0,081
Ammoniak	Frühling	0,110	-0,286	-0,159	-0,153
	Sommer	-0,029	-0,195	-0,187	0,024
	Herbst	0,174	-0,154	-0,135	-0,162
	Winter	0,072	-0,020	-0,054	-0,151
Kohlendioxid	Frühling	0,267	-0,399	-0,314	-0,235
	Sommer	0,038	-0,159	-0,104	-0,089
	Herbst	0,129	-0,092	-0,124	-0,141
	Winter	0,215	-0,289	-0,139	-0,236

Evaluation der Zusammenhänge zwischen Stallmerkmalen, gemessenen Stallklimaparametern und Indikatoren für Tiergesundheit in Schweizer Kälbermastbetrieben

C. Weber et al.

kennen. In einer vorgängigen Arbeit wurde eine Kategorisierung der Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsverläufe über die drei Messtage angestrebt, jedoch konnten keine klaren Muster festgestellt werden.²⁴ Überdies bestanden grosse Unterschiede bezüglich Stallmerkmalen und Lüftung zwischen den 43 teilnehmenden Betrieben, was eine Einteilung in einfach zu definierenden Kategorien unmöglich machte.

Die Korrelationen unter den punktuell gemessenen Klimaparametern waren allgemein sehr niedrig. Über das ganze Jahr zusammengefasst hatten Temperatur und Ammoniakkonzentration die höchste Korrelation, was, wie vorgängig diskutiert, mit Beobachtungen aus anderen Studien einhergeht.^{1,19,27,31,45} Unter den saisonal aufgeteilten Korrelationen gab es zwar wenige, die etwas höher ausfielen, wie beispielsweise die Korrelation zwischen Temperatur und Luftfeuchtigkeit im Sommer, jedoch waren spezifische Korrelationen zu verschiedenen Jahreszeiten sehr unterschiedlich. Die vorhandenen Resultate zeigen, dass mittels Messung eines Klimaparameters keine Aussagen zu einem anderen Parameter möglich sind.

Die Korrelationen zwischen punktuell gemessenen Klimaparametern und Stallflächen, Luftvolumen und Anzahl aufgestallter Kälber waren sehr niedrig und die Resultate zwischen den Saisons unbeständig. Die Ergebnisse erlauben keine Rückschlüsse über einen Effekt dieser Stallparameter auf messbare Klimawerte.

Für die Identifikation von Stallklimaparametern mit relevanter Assoziation zu den Kälbergesundheitsindikatoren wurden hauptsächlich Variablen getestet, deren Effekte einen möglichen Einfluss auf das Stallklima vermuten lassen. Trotzdem erschienen schlussendlich hauptsächlich Variablen als relevant, die nur bedingt direkt mit dem Stallklima zusammenhängen. Die maximale Gruppengrösse wurde als relevanter Parameter für einen erhöhten Antibiotikaverbrauch sowie einer Mortalität über 3% festgestellt. Gruppengrösse war auch in einer anderen Schweizer Studie positiv mit dem metaphylaktischen Einsatz von Antibiotika während der Mast sowie einer Mortalität über 3% assoziiert.¹⁴ Einerseits ist bei grösseren Gruppen das Risiko für die Not-

wendigkeit einer Metaphylaxe vermutlich erhöht, andererseits führt Metaphylaxe aufgrund vereinzelter kranker Kälber in grossen Gruppen zu einem höheren Antibiotikaverbrauch als in kleinen Gruppen. Zusammenhänge zwischen Gruppengrösse und den gemessenen Klimaparametern wurden im Modell nicht direkt getestet, da als Ergebnisvariablen der Modelle nur die Gesundheitssindikatoren Antibiotikaverbrauch, Mortalität >3% und Tageszunahme überprüft wurden. Jedoch zeigen die Korrelationen mit Stallflächen, Luftvolumen und Anzahl Kälber keine auffallenden Zusammenhänge mit den Klimaparametern. Dies lässt vermuten, dass andere Einflüsse, die mit der Gruppengrösse assoziiert sind (z.B. Einstallungsart, Fütterung, Stress), eher enger mit dem Antibiotikaverbrauch zusammenhängen als die messbaren Klimaparameter. Der Faktor «keine mechanische Lüftung» war negativ mit dem Antibiotikaverbrauch assoziiert, d.h. der Antibiotikaeinsatz war tiefer in Betrieben ohne mechanische Lüftung als in solchen mit einer mechanischen Lüftung. In einer anderen Studie wurde das Vorhandensein einer mechanischen Lüftung als Risikofaktor für Nasenausfluss und milde Symptome einer Pneumonie erkannt.⁴ Ein Zusammenhang zwischen klinisch kranken Kälbern und erhöhtem Antibiotikaeinsatz ist naheliegend. Ein weiterer häufig diskutierter Grund ist, dass eine mechanische Lüftung zu Zugluft führen kann.^{4,26} In einer Studie wurde gezeigt, dass Zugluft (>0,5m/s) in den Kälberbuchten zu einer erhöhten Inzidenz von Kälbern mit verstärkten Lungengeräuschen führte.¹⁷ In unserer Studie wurde Zugluft in den Kälberbuchten nur subjektiv erhoben und deshalb nicht weiter ausgewertet. Als Hilfsmittel zur Visualisierung der Luftführung und Effizienz der Ventilation im Stall bietet sich eine Nebelmaschine an. Es ist auch möglich, dass eine mechanische Lüftung zu stärkeren Temperaturschwankungen führt. In unserer Studie hatten vier der fünf Betriebe, in welchen starke Temperaturschwankungen im Winter registriert wurden, eine mechanische Lüftung. Aufgrund der zu geringen Anzahl an Betrieben mit starken Temperaturschwankungen konnten aber keine weiteren Aussagen diesbezüglich getroffen werden.

Die Assoziation zwischen Betrieben in der Talzone mit erhöhten Tageszunahmen lässt sich am ehesten mit einer

Tabelle 10: Assoziationen zwischen Stallparametern und Kälbergesundheitsindikatoren in Schweizer Kälbermastbetrieben

Outcome	Variable	% im Modell vorkommend	Mittelwert über alle 100 Wiederholungen	95%-Konfidenzintervall
Antibiotikaverbrauch (TI_{UDD} in Behandlungstagen pro Kalb und Jahr)	Maximale Gruppengrösse bei Besuch	100	0,083	0,045 – 0,141
	Keine mechanische Lüftung	98	-0,996	-1,844 – -0,202
Mortalität >3%	Maximale Gruppengrösse bei Besuch	100	0,044	0,014 – 0,162
	Anzahl Mastgruppen bei Besuch	99	0,304	0,027 – 0,767
Tageszunahmen in kg/Tag	Luftvolumen in m ³	100	0,001	0,0003 – 0,002
	Zone: Talzone	99	0,107	0,021 – 0,255

intensiveren Maststrategie (Fütterung) der Betriebe in der Talzone erklären. In der Talzone befinden sich vermehrt grössere Lohnmastbetriebe, wobei in den höheren Lagen Familienbetriebe mit Kälbermast als Teilerwerb üblich sind.³⁵ Als Ursache für die Assoziation des Luftvolumens mit der Tageszunahme vermuten wir, dass die Betriebe in der Talzone mit einer intensiveren Fütterung auch vermehrt speziell für die Kälbermast gebaute Ställe mit mehr Luftvolumen betreiben und die Betriebe in höheren Lagen die Kälber eher in älteren und zum Teil umgebauten Ställen mit kleinerem Luftvolumen halten. Ein grosses Luftvolumen trägt zur Keimverdünnung bei und schützt dadurch möglicherweise vor Atemwegsinfektionen, welche sich negativ auf die Tageszunahmen auswirken.¹³

Unter den punktuell gemessenen Klimaparametern konnten keine Assoziationen zu Kälbergesundheitsindikatoren festgestellt werden. Für direkte Rückschlüsse auf die Kälbergesundheit im Mastbetrieb scheint die punktuelle Messung von Klimaparametern, wie sie in unserem Projekt durchgeführt wurde, somit nicht geeignet. Die Anzahl Beobachtungen bei kontinuierlich gemessenen Klimaparametern war zu niedrig, um sie in einem Modell auszuwerten.

In der vorgestellten Studie war eine grosse Zahl von Messungen und Parametern vorhanden. Es wurde versucht, möglichst relevante Parameter mit ausreichender Anzahl Messungen oder Beobachtungen in der Studie auszuwerten. Für alle Resultate in dieser Studie gilt, dass die Anzahl der teilnehmenden Betriebe recht niedrig und die Unterschiede zwischen den Betrieben bezüglich Stallparametern sehr ausgeprägt waren. Die Resultate dieser Studie sind somit im Hinblick darauf zu interpretieren.

Schlussfolgerungen

Messungen von Klimaparametern in Kälbermastbetrieben sind mit der heutigen Technik gut durchführbar. Mit punktuellen Messungen von Temperatur und Luftfeuchtigkeit sind zu einem gewissen Zeitpunkt relativ konstante Resultate in den Kälberbuchten ermittelbar. Jedoch zeigen unsere Auswertungen, dass Abweichungen von den Optimalbereichen mittels punktueller Messung schlecht erfasst werden und kontinuierliche Messungen zu bevorzugen sind. Punktuelle Messungen von Ammoniak- und Kohlendioxidkonzentrationen divergieren relativ stark an verschiedenen Stellen in den Kälberbuchten. Hier empfiehlt es sich, mehrere Messungen an unterschiedlichen Orten durchzuführen, wobei sich eine anschliessende Interpretation der verschiedenen Werte als schwierig erweist. Bei der statistischen Auswertung unserer Resultate wurden keine direkten Assoziationen zwischen den punktuell gemessenen Klimaparametern und Kälbergesundheitsindikatoren beobachtet. Unter den Stallparametern war «keine mechanische Lüftung» negativ mit dem Antibiotikaverbrauch assoziiert. Dies war unter den mit Kälbergesundheitsindikatoren assoziierten Stallparametern die einzige Variable, die einen relevanten Einfluss auf das Klima vermuten liess. Die gewonnenen Erkenntnisse zeigen, dass gemessene Klimaparameter schwierig zu interpretieren sind und kritisch beurteilt werden müssen.

Dank

Wir danken allen teilnehmenden Betriebsleitenden für die zur Verfügung gestellten Daten. Die in dieser Studie ausgewerteten Resultate wurden im Rahmen eines vom Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen finanzierten Projektes (1.16.10) erhoben.

Evaluation der Zusammenhänge zwischen Stallmerkmalen, gemessenen Stallklimaparametern und Indikatoren für Tiergesundheit in Schweizer Kälbermastbetrieben

C. Weber et al.

Evaluation des relations entre caractéristiques des étables, mesures de paramètres du climat et indicateurs de santé animale dans des exploitations d'engraissement de veaux en Suisse

Des instruments de mesure digitaux faciles à l'emploi pour les paramètres climatiques, qui peuvent aussi être utilisés dans les étables, sont disponibles depuis quelque temps. Afin d'évaluer la validité des valeurs de paramètres du climat mesurées, d'éventuelles associations de ces mesures avec certaines caractéristiques des étables, et les relations des mesures de paramètres associés au climat, respectivement des spécificités des étables, avec des indicateurs de santé animale, des données récoltées dans le cadre d'une étude prospective dans 43 exploitations

Valutazione della relazione tra le caratteristiche di stabulazione, le misurazioni dei parametri climatici e gli indicatori della salute degli animali nelle aziende di vitelli da ingrasso in Svizzera

Dispositivi digitali per la misurazione dei parametri climatici, di facile utilizzo anche nelle stalle, sono disponibili da qualche tempo. I dati raccolti in uno studio prospettico su 43 aziende di vitelli da ingrasso in Svizzera sono stati analizzati per valutare la validità dei valori climatici misurati, le possibili associazioni di queste misurazioni con alcune caratteristiche di stabulazione e le correlazioni delle misurazioni climatiche, con gli indicatori della salute dei vitelli. Da un lato, sono

Evaluation der Zusammenhänge zwischen Stallmerkmalen, gemessenen Stallklimaparametern und Indikatoren für Tiergesundheit in Schweizer Kälbermastbetrieben

C. Weber et al.

d'engraisement de veaux en Suisse ont été analysées. D'une part, différents paramètres des étables (tels que le système d'aération, l'accès à un enclos externe, la surface de l'étable) ont été répertoriés. D'autre part, des mesures ponctuelles de la température, de l'humidité de l'air et des concentrations d'ammoniac et de dioxyde de carbone ont été effectuées à cinq endroits de chaque étable lors de visites d'exploitation (en moyenne six par ferme sur une durée d'une année). De plus, des mesures continues de la température et de l'humidité ont été conduites sur 72 heures, une fois en été et une fois en hiver, dans chaque exploitation. À l'aide de méthodes statistiques, on a évalué si les caractéristiques des étables et les valeurs de climat mesurées sont associées en tant que facteurs de risque significatifs avec les indicateurs de santé animale (usage d'antibiotiques, mortalité et gain de poids journalier). Lors des mesures ponctuelles, des valeurs en dehors des domaines optimaux ont été observées pour tous les paramètres mesurés et à chaque saison. Des valeurs en dehors des domaines optimaux pour la température et l'humidité ont été constatées plus souvent par les mesures continues que par les mesures ponctuelles. Aucune corrélation significatrice n'a été observée entre les valeurs des paramètres de climat mesurées ponctuellement ou entre les valeurs des paramètres du climat mesurées et le nombre de veaux présents dans l'étable, la surface totale de l'étable, la surface paillée ou le volume de l'étable. Les groupes comptant beaucoup de veaux et la présence d'une ventilation mécanique étaient associés positivement à un usage élevé d'antibiotiques. Les groupes comprenant beaucoup de veaux et la présence d'un grand nombre de groupes étaient associés avec un taux de mortalité supérieur à 3%. Les exploitations en zone de plaine et le volume d'air par veau étaient associés positivement avec le gain de poids journalier. Aucun des paramètres de climat mesurés ne montrait d'association avec les indicateurs de santé animale (usage des antibiotiques, mortalité et gain de poids journalier). Ils semblent donc être inadéquats pour évaluer la santé des veaux dans des exploitations d'engraisement. Nos résultats montrent que les mesures de paramètres du climat sont difficiles à interpréter et doivent être considérés de manière critique.

Mots clés: ammoniac, humidité, dioxyde de carbone, ventilation, instruments de mesure, température

stati registrati vari parametri di stabulazione (come il sistema di ventilazione, l'accesso a un recinto esterno, la superficie della stalla). D'altra parte, le misurazioni a campione della temperatura, dell'umidità dell'aria, delle concentrazioni di ammoniaca e di anidride carbonica sono state prese in cinque punti di ogni stalla durante le visite all'azienda (in media sei per azienda su un periodo di un anno). Inoltre, le misurazioni continue di temperatura e umidità sono state condotte per 72 ore, una volta in estate e una volta in inverno, per ogni azienda. Utilizzando modelli statistici, è stato valutato se le caratteristiche di stabulazione e dei valori climatici misurati sono associati, come fattori di rischio significativi, con gli indicatori di salute degli animali (uso di antibiotici, mortalità e aumento di peso giornaliero). Durante le misurazioni puntuali, sono stati osservati valori al di fuori degli intervalli ottimali per tutti i parametri misurati e in ogni stagione. Le misurazioni continue sono state in grado di rilevare più sovente valori al di fuori dell'intervallo ottimale per la temperatura e l'umidità rispetto alle misurazioni puntuali. Nessuna correlazione significativa è stata osservata tra i valori dei parametri climatici misurati puntualmente o tra i valori dei parametri climatici e il numero di vitelli presenti nella stalla, la superficie totale della stalla, la superficie di paglia o il volume della stalla. I gruppi costituiti da gran numero di vitelli e la presenza di ventilazione meccanica erano positivamente associati a un maggior uso di antibiotici. I gruppi costituiti da molti vitelli e la presenza di un gran numero di gruppi erano associati a un tasso di mortalità superiore al 3%. Gli allevamenti in zone di pianura e il volume d'aria per vitello erano positivamente associati all'aumento di peso giornaliero. Nessuno dei parametri climatici misurati ha mostrato un'associazione con gli indicatori di salute dei vitelli: uso di antibiotici, mortalità e aumento di peso giornaliero. Questi sembrano pertanto essere inadeguati per valutare la salute dei vitelli negli allevamenti da ingrasso. I nostri risultati mostrano che le misurazioni dei parametri climatici sono difficili da interpretare e devono essere considerate in modo critico.

Parole chiave: ammoniaca, umidità, anidride carbonica, ventilazione, strumenti di misura, temperatura

Literaturnachweis

- 1 Arogo J, Zhang RH, Riskowski GL, Christianson LL, Day DL. Mass transfer coefficient of ammonia in liquid swine manure and aqueous solutions. *J Agric Eng Res.* 1999;73(1):77–86. doi:10.1006/jaer.1998.0390.
- 2 Bähler C, Steiner A, Luginbühl A, et al. Risk factors for death and unwanted early slaughter in Swiss veal calves kept at a specific animal welfare standard. *Res Vet Sci.* 2012;92(1):162–168. doi:10.1016/j.rvsc.2010.10.009.
- 3 Bateman KG, Martin SW, Shewen PE, Menzies PI. An evaluation of antimicrobial therapy for undifferentiated bovine respiratory disease. *Can Vet J.* 1990;31(10):689–696.
- 4 Brscic M, Leruste H, Heutinck LFM, et al. Prevalence of respiratory disorders in veal calves and potential risk factors. *J Dairy Sci.* 2012;95(5):2753–2764. doi:10.3168/jds.2011–4699.
- 5 Callan RJ, Garry FB. Biosecurity and bovine respiratory disease. *Vet Clin North Am – Food Anim Pract.* 2002;18(1):57–77. doi:10.1016/S0749-0720(02)00004-X.
- 6 Da Silva RG. Weather and climate and animal production. In: *Guide to Agricultural Meteorological Practices.* Vol. 134. Geneva: World Meteorological Organization; 2012:1–21.
- 7 Diesel DA, Lebel JL, Tucker A. Pulmonary particle deposition and airway mucociliary clearance in cold-exposed calves. *Am J Vet Res.* 1991;52(10):1665–1671.
- 8 Friedman J, Hastie T, Tibshirani R. Regularization paths for generalized linear models via coordinate descent. [Package version 4.0–2]. *J Stat Softw.* 2010;33(1):1–22. doi:10.18637/jss.v033.i01.
- 9 Harrell FE. Hmisc: Harrell miscellaneous. [R Package version 4.4–0]. 2020. <https://CRAN.R-project.org/package=Hmisc>
- 10 Heinze G, Dunkler D. Five myths about variable selection. *Transpl Int.* 2017;30(1):6–10. doi:10.1111/tri.12895.
- 11 Jenul A, Schrunner S, Liland KH, Indahl UG, Futsaether CM, Tomic O. RENT -- Repeated Elastic Net Technique for Feature Selection. 2020. <http://arxiv.org/abs/2009.12780>.
- 12 Kuhn M. Package ‘caret’ – Classification and Regression Training. [R package version 6.0–86]. CRAN Repos. 2020. <https://CRAN.R-project.org/package=caret> doi:10.1887/0750303123/b365c43.
- 13 Lago A, McGuirk SM, Bennett TB, Cook NB, Nordlund K V. Calf respiratory disease and pen microenvironments in naturally ventilated calf barns in winter. *J Dairy Sci.* 2006;89(10):4014–4025. doi:10.3168/jds.S0022-0302(06)72445-6.
- 14 Lava M, Pardon B, Schüpbach-Regula G, et al. Effect of calf purchase and other herd-level risk factors on mortality, unwanted early slaughter, and use of antimicrobial group treatments in Swiss veal calf operations. *Prev Vet Med.* 2016;126:81–88. doi:10.1016/j.prevetmed.2016.01.020.
- 15 Lava M, Schüpbach-Regula G, Steiner A, Meylan M. Antimicrobial drug use and risk factors associated with treatment incidence and mortality in Swiss veal calves reared under improved welfare conditions. *Prev Vet Med.* 2016;126:121–130. doi:10.1016/j.prevetmed.2016.02.002.
- 16 Louie AP, Rowe JD, Love WJ, Lehenbauer TW, Aly SS. Effect of the environment on the risk of respiratory disease in preweaning dairy calves during summer months. *J Dairy Sci.* 2018;101(11):10230–10247. doi:10.3168/jds.2017–13716.
- 17 Lundborg GK, Svensson EC, Oltenacu PA. Herd-level risk factors for infectious diseases in Swedish dairy calves aged 0–90 days. *Prev Vet Med.* 2005;68(2–4):123–143. doi:10.1016/j.prevetmed.2004.11.014.
- 18 Martin SW, Schwabe CW, Franti CE. Dairy calf mortality rate: the association of daily meteorological factors and calf mortality. *Can J Comp Med.* 1975;39(4):377–388.
- 19 Monteny GJ. Modelling of Ammonia Emissions from Dairy Cow Houses. Ph.D Thesis: Wageningen University, 2000. <http://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/65624>.
- 20 Nordlund K V. Practical Considerations for Ventilating Calf Barns in Winter. *Vet Clin North Am – Food Anim Pract.* 2008;24(1):41–54. doi:10.1016/j.cvfa.2007.10.006.
- 21 Pardon B, De Bleecker K, Hostens M, Callens J, Dewulf J, Deprez P. Longitudinal study on morbidity and mortality in white veal calves in Belgium. *BMC Vet Res.* 2012;8:26. doi:10.1186/1746-6148-8-26.
- 22 Pardon B, Hostens M, Duchateau L, Dewulf J, De Bleecker K, Deprez P. Impact of respiratory disease, diarrhea, otitis and arthritis on mortality and carcass traits in white veal calves. *BMC Vet Res.* 2013;9:79. doi:10.1186/1746-6148-9-79.
- 23 Pedersen S, Blanes-vidal V, Joergensen H, et al. Carbon Dioxide Production in Animal Houses: A Literature Review. *Agric Eng Int CIGR J.* 2008;X:1–19.
- 24 Perroud S. Stallklima in Schweizer Kälbermastbetrieben. Masterarbeit: Universität Bern, 2017.
- 25 Reinhold P, Elmer S. Die Auswirkungen kurzzeitiger Schwankungen der Umgebungstemperatur auf den Kälberorganismus-2. Mitteilung: Auswirkungen auf die Tiergesundheit bis drei Wochen post expositionem. *Dtsch Tierärztl Wochenschr.* 2002;109(4):193–200.
- 26 Roland L, Drillich M, Klein-Jöbstl D, Iwersen M. Invited review: Influence of climatic conditions on the development, performance, and health of calves. *J Dairy Sci.* 2016;99(4):2438–2452. doi:10.3168/jds.2015-9901.
- 27 Saha CK, Ammon C, Berg W, et al. Seasonal and diel variations of ammonia and methane emissions from a naturally ventilated dairy building and the associated factors influencing emissions. *Sci Total Environ.* 2014;468–469:53–62. doi:10.1016/j.scitotenv.2013.08.015.
- 28 Sargeant JM, Blackwell TE, Martin SW, Tremblay RR. Production indices, calf health and mortality on seven red veal farms in Ontario. *Can J Vet Res.* 1994;58(3):196–201.
- 29 Sargeant JM, Blackwell TE, Martin SW, Tremblay RR. Production practices, calf health and mortality on six white veal farms in Ontario. *Can J Vet Res.* 1994;58(3):189–195.
- 30 Schnyder P, Schönecker L, Schüpbach-Regula G, Meylan M. Effects of management practices, animal transport and barn climate on animal health and antimicrobial use in Swiss veal calf operations. *Prev Vet Med.* 2019;167:146–157. doi:10.1016/j.prevetmed.2019.03.007.
- 31 Schrade S, Zeyer K, Gyax L, Emmenegger L, Hartung E, Keck M. Ammonia emissions and emission factors of naturally ventilated dairy housing with solid floors and an outdoor exercise area in Switzerland. *Atmos Environ.* 2012;47:183–194. doi:10.1016/j.atmosenv.2011.11.015.

Evaluation der Zusammenhänge zwischen Stallmerkmalen, gemessenen Stallklimaparametern und Indikatoren für Tiergesundheit in Schweizer Kälbermastbetrieben

C. Weber et al.

Evaluation der Zusammenhänge zwischen Stallmerkmalen, gemessenen Stallklimaparametern und Indikatoren für Tiergesundheit in Schweizer Kälbermastbetrieben

C. Weber et al.

- 32 Schweizer Eidgenossenschaft. Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen. ARCH-Vet Bericht über den Vertrieb von Antibiotika und die Antibiotikaresistenzen in der Veterinärmedizin in der Schweiz GESAMTBERICHT 2020. <https://www.blv.admin.ch/blv/de/home/tiere/tierarzneimittel/antibiotika/vertrieb.html>. Published 2021. Accessed August 25, 2021.
- 33 Schweizer Eidgenossenschaft. Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen. Fachinformation Tierschutz Stallklimawerte und ihre Messung in Rinderhaltungen. <https://www.blv.admin.ch/blv/de/home/suche.html#stallklima>. Published 2009. Accessed December 31, 2020.
- 34 Schweizer Eidgenossenschaft. Bundesamt für Statistik. Fleischbilanz. <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/land-forstwirtschaft/landwirtschaft/produktion-finanzielle-aspekte.assetdetail.14856196.html>. Published 2020. Accessed December 31, 2020.
- 35 Schweizer Kälbermäster-Verband. Produktionsformen. <https://kaelbermaester.ch/de/kalbfleisch/kalbfleischproduktion.html>. Accessed July 29, 2020.
- 36 Schweizer Kälbermäster-Verband. Vom Kalb. https://www.kaelbermaester.ch/images/Broschüren/GzA_BroschKalb_A5_d.pdf. Published 2017. Accessed July 22, 2020.
- 37 Simsek E, Kilic I, Yaslioglu E, Arici I. Ammonia Emissions from Dairy Cattle in Summer Season. *J Anim Vet Adv*. 2012;11(12):2116–2120.
- 38 Svensson C, Liberg P. The effect of group size on health and growth rate of Swedish dairy calves housed in pens with automatic milk-feeders. *Prev Vet Med*. 2006;73(1):43–53. doi:10.1016/j.prevetmed.2005.08.021.
- 39 Svensson C, Lundborg K, Emanuelson U, Olsson SO. Morbidity in Swedish dairy calves from birth to 90 days of age and individual calf-level risk factors for infectious diseases. *Prev Vet Med*. 2003;58(3–4):179–197. doi:10.1016/S0167-5877(03)00046-1.
- 40 Takai H, Pedersen S, Johnsen JO, et al. Concentrations and emissions of airborne dust in livestock buildings in Northern Europe. *J Agric Engng Res*. 1998;70:59–77. doi:10.1006/jaer.1997.0280.
- 41 Thompson PN, Stone A, Schultheiss WA. Use of treatment records and lung lesion scoring to estimate the effect of respiratory disease on growth during early and late finishing periods in South African feedlot cattle. *J Anim Sci*. 2006;84(2):488–498. doi:10.2527/2006.842488x.
- 42 van Leenen K, Jouret J, Demeyer P, et al. Associations of barn air quality parameters with ultrasonographic lung lesions, airway inflammation and infection in group-housed calves. *Prev Vet Med*. 2020;181:105056. doi:10.1016/j.prevetmed.2020.105056.
- 43 Wickham H. Reshaping data with the reshape package. [R package version 2_1.4.4]. *J Stat Softw*. 2007;21(12):1–20. doi:10.18637/jss.v021.i12.
- 44 Wickham H, François R, Henry L, Müller K. dplyr: A Grammar of Data Manipulation. [R package version 1.0.2]. 2020. <https://CRAN.R-project.org/package=dplyr>
- 45 Wu W, Zhang G, Kai P. Ammonia and methane emissions from two naturally ventilated dairy cattle buildings and the influence of climatic factors on ammonia emissions. *Atmos Environ*. 2012;61:232–243. doi:10.1016/j.atmosenv.2012.07.050.

Korrespondenzadresse

Mireille Meylan
Wiederkäuerklinik, Vetsuisse-Fakultät, Universität Bern
Bremgartenstrasse 109a
CH-3012 Bern
Telefon: +41 31 684 23 44
E-Mail: mireille.meylan@vetsuisse.unibe.ch