

Forschungsbericht KLIMOPASS

Entwicklung und Optimierung
sensorgestützter komplexer Regelstrategien
für die optimale Stallklimatisierung
in frei belüfteten
Offenfrontställen für Schweine

von
Wilhelm Pflanz, W.

Gefördert mit Mitteln des Ministeriums für Umwelt, Klima und
Energiewirtschaft Baden-Württemberg (UM)

Juni 2012

HERAUSGEBER	LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg Postfach 100163, 76231 Karlsruhe
KONTAKT	Dr. Kai Höpker, Referat Medienübergreifende Umweltbeobachtung, Klimawandel; Tel.:0721/56001465, Kai.Hoepker@lubw.bwl.de ;
AUFTRAGGEBER	Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg - Forschungsprogramm Klimawandel und modellhafte Anpassung in Baden- Württemberg (KLIMOPASS)
BEARBEITER	Dr. Wilhelm Pflanz, Bildungs- und Wissenszentrum Boxberg, Seehöfer Straße 50 97944 Boxberg
BEZUG	http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/91063/ ID Umweltbeobachtung U81-W03-N12
STAND	Juni 2012, Internetausgabe Mai 2013

Nachdruck für kommerzielle Zwecke - auch auszugsweise - ist nur mit Zustimmung der LUBW unter Quellenangabe und Überlassung von Belegexemplaren gestattet.

ZUSAMMENFASSUNG	4
1) ZIELSETZUNG UND ARBEITSPLAN	5
2 VERFAHRENSTECHNISCHE UND MESSTECHNISCHE VORAUSSETZUNGEN	6
2.1 DEFINIERTE BE- UND ENTLÜFTUNGSELEMENTE IN DER AUSSCHREIBUNG:	7
2.2 UMGESetzte BE- UND ENTLÜFTUNGSELEMENTE IM PROJEKT	8
2.3 UMGESetzte REGEL- UND STEUERUNGSTECHNIK IM PROJEKT:	11
3) RECHERCHE, ABLEITUNG UND DEFINITION DER STALLKLIMAANSPRÜCHE VON STALLPERSONAL UND TIEREN IN DEN VERSCHIEDENEN JAHRESZEITEN SOWIE UMSETZUNG IN EINE REGEL- UND STEUERSOFTWARE	13
3.1) DEFINITION FUNKTIONEN FÜR DIE PROGRAMMIERBARKEIT EINES REGELGERÄTES:	14
3.2) DARSTELLUNG DER MESSWERTE UND EINGABE ÜBER EINE BENUTZEROBERFLÄCHE:	14
4) EINBAU EINES KONTROLLMESSSYSTEMS	14
5) ERGEBNISSE	15
5.1) MESSERGEBNISSE	16
5.1.1) ABGLEICH KONTROLLMESSSYSTEM	16
5.1.2) TEMPERATURDATENVERGLEICH INNERHALB DER ABTEILE	17
5.1.3) TEMPERATURDATENVERGLEICH ZWISCHEN DEN ABTEILEN	22
5.2) ERFAHRUNGEN AUS DEM BETRIEB DER TECHNIKEN	32
6) BEWERTUNG UND DISKUSSION	34
6.1) VERSUCHSAUFBAU UND DURCHFÜHRUNG	34
6.2) UMSETZUNG DER VIER VERSCHIEDENEN ÖFFNUNGSTECHNIKEN	34
6.3) STALLKLIMAANSPRÜCHE UND UMSETZUNG IN REGELSTRATEGIE	35
7) SCHLUSSFOLGERUNGEN	36
8) ANHANG: ENTWICKELTE GRUNDEINSTELLUNGEN FÜR DAS AUTOMATISIERTE REGEL- UND STEUERSYSTEM U.W.	37

Zusammenfassung

Ziel des Forschungsvorhabens war es, verschiedene Regelstrategien sowie die dazugehörige Verfahrenstechnik für eine tiergerechte Be- und Entlüftung von frei belüfteten Offenfrontställen zu entwickeln und zu optimieren. Die im Forschungsprojekt etablierte funktionssichere Öffnungs- und Schließtechnik in Kombination mit den automatisierten Regel- und Steuerungsstrategien sind ein konkreter Beitrag zur Anpassung der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung, insbesondere der Schweinehaltung, an den Klimawandel. Die entwickelten automatisierten Regelstrategien ermöglichen eine adäquate Anpassung der Stallklimaführung für Schweine bei zunehmend zu erwartenden heißen Sommern sowie kälteren Wintern. Die Tiere werden somit im Sommer vor Hitzstress sowie im Winter vor Kältestress geschützt, die relative Streuung der Zwischentemperaturen zwischen diesen Extrema sind hinsichtlich des Tierwohls positiv zu beurteilen. Klimareize in Form von Temperaturschwankungen in der Zone der Homeothermie können als positiv für die Fitness und die Gesundheit der Tiere gewertet werden und somit auch für die Tiergerechtheit der jeweiligen Stallung. Ein weiterer Aspekt ist, dass dieses mit dem vorliegenden Forschungsprojekt weiter optimierte bzw. automatisierte Stallsystem im Vergleich zu konventionellen Stallungen grundsätzlich geringere Investitions- und Betriebskosten bedingt und sich somit ein zusätzlicher ökonomischer Vorteil für den Betreiber einstellt.

1) Zielsetzung und Arbeitsplan

Ziel des Forschungsvorhabens war es, verschiedene Regelstrategien für eine tiergerechte Be- und Entlüftung von frei belüfteten Offenfrontställen zu entwickeln und zu optimieren. Basis der Versuchsdurchführung war die Entwicklung und Konstruktion einer funktionssicheren Öffnungs- und Schließtechnik der Frontseite eines Offenfrontstallgebäudes der LSZ Boxberg. Parallel waren die Stallklimaansprüche von Personal und Tieren zu definieren bzw. zu dokumentieren, welche in ein automatisches Regel- und Steuersystem umgesetzt wurden. Mit Hilfe systemintegrierter Sensoren für Temperatur und rel. Luftfeuchte wie auch zusätzlicher Sensoren für Kontrollmessungen konnte das System für die Wintersituation evaluiert werden. Auf der Basis dieser Sollwert-Ist-Abgleiche sowie den praktischen Erfahrungen aus dem Betrieb der Stallungen ist es möglich die automatisierten Regelstrategien ständig weiter anzupassen bzw. weiter zu optimieren. Als Ergebnis steht somit ein modellhaftes Regelsystem für die landwirtschaftliche Praxis zur Verfügung, welches eine adäquate Anpassung der Stallhaltung von Nutztieren, insbesondere von Schweinen, an den Klimawandel ermöglicht. Dies bedeutet, durch die entwickelnden Regelstrategien kann eine optimale Klimaführung in den Ställen erreicht werden, was zu einer Verminderung des Hitzestress bei den Tieren und somit zu einer besseren Tiergerechtheit wie auch einem höheren Gesundheitsstatus beiträgt. Dies führt im Ergebnis auch zu einer Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit von den Betrieben, welche dieses System einsetzen.

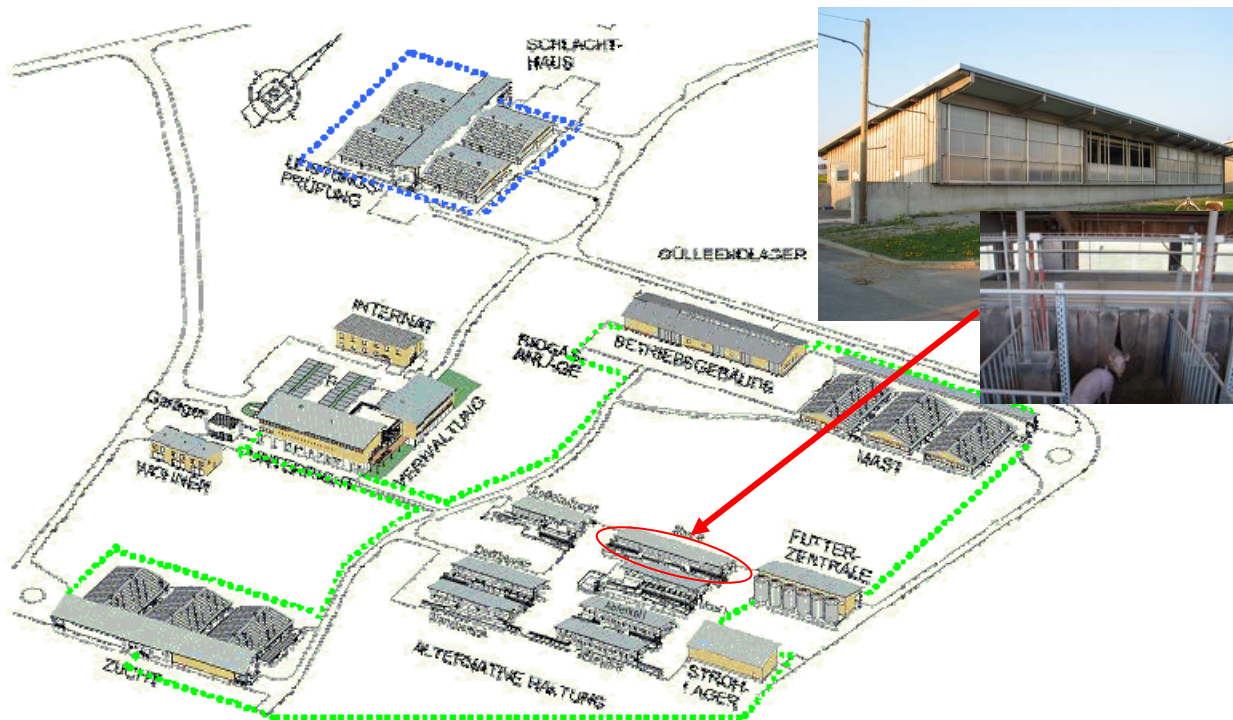
Der Arbeitsplan des Forschungsprojekts sah folgende Arbeitsschritte vor:

- 1) Recherche, Ableitung und Definition der Ansprüche von Stallpersonal und Tieren in den verschiedenen Jahreszeiten.
- 2) Ableitung von Regelstrategien aus den definierten Ansprüchen (mit Möglichkeit zur weiteren Optimierung)
- 3) Ausrüstung der Stallungen mit:
 - a) vier verschiedenen funktionssicheren Öffnungs- und Schließtechniken der Frontseiten zur vergleichbaren Bewertung (inklusive lufttechnische Trennung der einzelnen Versuchsabteile soweit möglich)
 - b) Stallklimaregeltechnik inkl. Sensoren, Steuer- und Eingabe-Software
 - c) Zusätzliches Messsystem für standardisierte Kontrollmessungen
- 4) Abgleich der systemintegrierten Messwerterfassung mit Kontrollmesswerten.
- 5) Bewertung von Hard- und Software für die Steuerungs- und Bewegungstechnik der Stallklimagegestaltung sowie der abgeleiteten Regelstrategien.

2 Verfahrenstechnische und messtechnische Voraussetzungen

Für eine erfolgreiche Durchführung des Projekts waren zuerst die verfahrenstechnischen Bedingungen zu schaffen (Antriebstechnik, Baumaterialien) um ein dementsprechendes automatisiertes Steuer- bzw. Regelsystem zu ermöglichen bzw. umzusetzen. Dies bedeutet, in einer begleitenden Arbeitsgruppe des Projekts wurden vier verschiedene Antriebs- bzw. Öffnungssysteme definiert, welche im Rahmen der Untersuchung in Kombination mit dem automatisierten Regel- und Steuersystem (Software) geprüft werden sollten. Diese vier Antriebs- bzw. Öffnungssysteme wurden in Maststall 2 der alternativen Bauweise an der Landesanstalt für Schweinezucht in Boxberg (siehe Abbildung 1) eingebaut.

Abbildung 1: Standort der Untersuchung an der Landesanstalt für Schweinezucht, Maststall 2 in der alternativen Bauweise



Der umgebaute Stall besteht aus 4 Abteilen mit je 10 Metern Länge. Je Abteil war eine Öffnungsfläche von ca. 3 x 10 m an der Südseite für die jeweilig zu prüfende Verfahrenstechnik vorhanden. Somit konnten vier verschiedene Antriebs- bzw. Bewegungstechniken für die vergleichende Untersuchung eingebaut werden. Die Bewegung der Be- und Entlüftungselemente der einzelnen Abteile (Lichtstegplatten Nordseite, Kistendeckel, Lichtsteg- bzw. Fensterplatten auf der Südseite) sowie

die Bodenheizung wurden jeweils an eine Regel- und Steuereinheit pro Abteil angeschlossen und anhand von Mess- und Sollwerten für die Temperatur (optional auch für rel. Luftfeuchte) geregelt.

2.1 DEFINIERTE BE- UND ENTLÜFTUNGSELEMENTE IN DER AUSSCHREIBUNG:

Die begleitende Arbeitsgruppe definierte vier verschiedene Antriebs- bzw. Öffnungssysteme, welche sich final in einer beschränkten Vergabeausschreibung zur Herstellung dieser Verfahrenstechnik wiederfanden. Diese waren wie folgt:

Abteil A: Wickelöffnung mit einer Gewebefolie und Hinterlagenetz, mittig wickelnd mit der Möglichkeit oben und unten zu öffnen

Funktionsbeschreibung: Die Wickelöffnung wickelt die Gewebeplane auf ein mittiges Zentralrohr mit Kletterantrieb auf. Sowohl eine ganzflächige Öffnung von oben wie auch von unten ist durch eine zusätzliche Obenaufwicklung möglich.



Abbildung 2: Skizze der definierten Wickelöffnung

Abteil B: Vertikales Bewegen von 3 Lichtstegplatten mit Zahnstangenantrieb

Funktionsbeschreibung: Die obere und die untere der 3 Lichtstegplatten werden aktiv über Zahnstangen bewegt. Die mittlere Platte wird jeweils von der oberen oder unteren Platte über entsprechende Mitnehmer mitgeführt.

Abteil C: Kippen von 2 Lichtstegplatten über Zahnstangenantrieb

Funktionsbeschreibung: Beide Fensterelemente werden aktiv über Zahnstangen bewegt. Das obere Fensterelement wird oben mit einem Öffnungswinkel von 50 Grad geöffnet. Das untere Fensterelement wird unten mit einem Öffnungswinkel von mindestens 90 Grad geöffnet. Die Fensteröffnung wird dabei im Verhältnis 1/3 oben zu 2/3 unten geteilt.

Abteil D: Vertikales Bewegen von 3 Lichtstegplatten mit Kettenantrieb

Funktionsbeschreibung: Die obere und die untere der 3 Lichtstegplatten werden aktiv über 6 Kettenantriebe bewegt (2 links, 2 rechts und 2 in der Mitte der Fensteröffnung). Die mittlere Platte wird jeweils von der oberen oder unteren Platte über entsprechende Mitnehmer mitgeführt.

Die verfahrenstechnische Komplexität der verschiedenen definierten Antriebs- und Öffnungssysteme erforderte die Unterstützung durch private Wirtschaftsbeteiligte, wie z.B. Maschinenbauunternehmen mit Schwerpunkt Antriebstechnik. Deshalb wurde sowohl der Rückbau der ursprünglich bestehenden Technik wie auch der Einbau der neu zu installierten Technik über Aufträge vergeben. Lieferung und Einbau der vier verschiedenen Öffnungstechniken wurde an die Stalleinrichtergesellschaft PAL, Abtshagen im Rahmen einer beschränkten Ausschreibung vergeben. Auch die Hard- und Software für das Regel- und Steuersystem wurde über diese Firma bezogen, jedoch wurde sie im Unterauftrag von der Firma Stuhl Regeltechnik, Spalt geliefert. Die Ausarbeitung der inhaltlichen Regel- und Steuermechanismen sowie der Inputdaten für die Regelstrategie (siehe Anhang) wurde von der begleitenden Arbeitsgruppe an der LSZ vorgenommen und in Absprache von der Firma Stuhl Regeltechnik, Spalt umgesetzt.

2.2 UMGESetzte BE- UND ENTLÜFTUNGSELEMENTE IM PROJEKT

Durch verschiedene verfahrenstechnische Aspekte und Zwänge bzw. örtliche Gegebenheiten konnten nicht alle Systeme und Definitionen wie in der Ausschreibung aufgeführt umgesetzt werden. In Absprache mit der begleitenden Arbeitsgruppe wurden schließlich die vier Abteile folgendermaßen ausgerüstet:

Abteil A: Wickelöffnung mit einer Gewebefolie und Hinterlagenetz, mittig wickelnd mit der Möglichkeit oben und unten zu öffnen (wie ausgeschrieben)



Abbildung 3/4: Wickelöffnung mit Möglichkeit oben und unten zu öffnen

Abteil B: Kippen von 2 Lichtstegplatten mit Zahnstangenantrieb (urspr. für Abteil C definiert)



Abbildung 5/6: Kippen von 2 Lichtstegplatten über Zahnstangen oben und unten

Abteil C: Vertikales Bewegen von 3 Lichtstegplatten mit Kettenantrieb (ursprünglich für Abteil D definiert)



Abbildung 7/8: vertikales Bewegen von 3 Lichtstegplatten mit Kettenantrieb

Abteil D: Kippen einer Lichtstegplatte mittels Zahnstangen (neu aufgenommen anstatt des Zahnstangenantriebs für vertikales Bewegen von 3 Lichtstegplatten)



Abbildung 9/10: Kippen einer Lichtstegplatte mittels Zahnstangen (Wendeklappe)

Das Gesamtsystem wurde so konzipiert dass die Frontöffnungen auch von unten zu öffnen sind und somit unmittelbar Einblick in die Stallungen durch Besucher genommen werden kann (Abbildung 11). Dies ist für ein Bildungs- und Wissenszentrum unerlässlich, kann aber auch auf die praktische Landwirtschaft übertragen werden, da auch hier von Seiten der Gesellschaft zunehmend transparenter Einblick in die Stallungen gefordert wird. Für den reinen Luftaustausch müssen die Frontöffnungen jedoch nur von oben nach unten zu öffnen sein (Abbildung 12). Dies bedeutet, je wärmer die Außentemperatur, desto größer muss der Lufteintritt von oben sein.



Abbildung 11: Frontöffnungen in Besucherstellung (von unten öffnend)



Abbildung 12: Frontöffnung in automatischer Lüftungsstellung (von oben öffnend)

2.3 UMGESETZTE REGEL- UND STEUERUNGSTECHNIK IM PROJEKT:

Zweiter Baustein der technischen Umsetzung war die Ausrüstung der einzelnen Abteile mit jeweils einer Regel- und Steuereinheit inklusive dazugehöriger Sensortechnik. Zusätzlich wurden jeweils noch händische Bedienmöglichkeiten für die Front- und Rücköffnungen geschaffen für den Einsatz im Sonderfall. Übergeordnet zu den einzelnen Abteilsteuereinheiten wurde ein Zentrales Mastergerät mit Zugriff auf die Einzelgeräte und Alarmfunktion bzw. der Möglichkeit zur Datenübertragung und -speicherung installiert. Weiterhin wurde noch eine zentrale Temperatur und Windmessung auf dem Dach des Stallgebäudes als Warn- und Referenzsystem aufgebaut (siehe Abbildungen 13 bis 20).



Abbildung 13/14: Schalttafel für Abteilregelsystem, Regel- und Steuergerät im Abteil



Abbildung 15/16: Steuergerät für händische Bedienung, Sensor im Kistenbereich



Abbildung 17/18: Sensor im Aktivitätsbereich, eingebauter Sensor im Bodenbereich



Abbildung 19/20: Zentrales Mastergerät, zentrale Messstelle auf dem Dach für Windgeschwindigkeit und Temperatur

3) Recherche, Ableitung und Definition der Stallklimaansprüche von Stallpersonal und Tieren in den verschiedenen Jahreszeiten sowie Umsetzung in eine Regel- und Steuersoftware

Paralleler Arbeitsschritt war die Recherche, Ableitung und Definition der Stallklimaansprüche von Stallpersonal und Tieren in den verschiedenen Jahreszeiten, welche durch dezidierte Vorgaben vom automatisierten Regel- und Steuersystem umgesetzt werden sollten. Die entwickelten Vorgaben zur Grundeinstellung der Regel- und Steuertechnik sind in Anlage 1 aufgeführt. Von dieser Grundeinstellung ausgehend sollen dann optimierte Regelstrategien abgeleitet werden. Die Umsetzung in eine automatisierte Regel- und Steuersoftware sowie die dazugehörige Hardware wurde ebenfalls im Rahmen der Ausschreibung vergeben. Die Hard- und Software musste hierbei folgende Eigenschaften erfüllen:

3.1) DEFINITION FUNKTIONEN FÜR DIE PROGRAMMIERBARKEIT EINES REGELGERÄTES

- a. Eingabemöglichkeit für Grenz-, Alarm-, Hysteresewerte, Reaktions- und Laufzeiten.
- b. Schaltmöglichkeit für die Besucherfunktion (Stegplatte Nordseite zu, Kistendeckel auf, Lüftungselemente Südseite von unten nach oben auf).
- c. Schaltmöglichkeit für den abteilweisen Hand- oder Automatikbetrieb aller Be- und Entlüftungselemente.
- d. Eingabemöglichkeit zur Kalibrierung der angeschlossenen Messgeräte und Sensoren.
- e. Bereitstellung von Messwerten und Motorstellungen zur Auswertung.
- f. Ausgabe der Alarmmeldungen nach vorgegebener Priorisierungsliste ans Telefonwahlgerät
- g. Ausgabe aller Alarmmeldungen an GLT

3.2) DARSTELLUNG DER MESSWERTE UND EINGABE ÜBER EINE BENUTZER-OBERFLÄCHE:

- a. Visualisierung aller Prozessdaten (mit Speicherung Messwerte und Alarmmeldungen).
- b. Passwortgeschützte Eingabe von Grenz-, Alarm-, Hysteresewerten, Reaktions- und Laufzeiten.
- c. Passwortgeschützte Eingabe zur Kalibrierung der angeschlossenen Messgeräte und Sensoren.

4) Einbau eines Kontrollmesssystems

Zur Absicherung und Kontrolle der im automatisierten Regel- und Steuersystem ermittelten Sensordaten wurden zusätzlich noch weitere unabhängige Sensoren im Rahmen der Winteruntersuchung eingebaut. Es wurden pro Abteil jeweils ein Temperatur und rel. Luftfeuchtesensor mit integriertem Datenspeicher des Typs Testo 177 im Aktivitäts- und Ruhebereich installiert (siehe Abbil-

dungen 21/22). Im Ruhe- bzw. Kistenbereich musste der Sensor mit einem Schutzkorb gegen Tierverschädigung geschützt werden. Für die Referenzmessung der Außentemperatur wurden die Daten der Wetterstation Boxberg-Windischbuch, welche sich in unmittelbarer Nähe der Stallungen befindet, verwendet. Die Werte für die Außentemperatur werden in hier in 2 m Höhe über Grund ermittelt.



Abbildung 21/22: Kontrollmessungen mit Datenloggern im Aktivitäts- und Ruhebereich

5) Ergebnisse

Schwerpunkte der Auswertungen sind im folgenden der Vergleich der ermittelten Temperaturdaten für die Wintersituation innerhalb eines Abteils zwischen den verschiedenen Klimabereichen, der Außentemperatur sowie den vorgegeben Sollwerten. Im zweiten Schritt ist der Vergleich der Temperaturdaten zwischen den Abteilen für die Bewertung der Öffnungstechniken von Bedeutung. Die Messdatenreihe beginnt am 21.12.2012 mit der Einstellung von 30 kg Ferkeln und endet am 22.2.2012 bei einem mittleren Tiergewicht von ca. 75-80 kg. Insgesamt stehen hierzu 9053 Datensätze zur Verfügung. Im Rahmen der Auswertung sind junge Tiere zu kalten Jahreszeit zu betrachten, dies ermöglicht somit die Evaluierung einer Extremsituation (Kältestress) bzw. einer besonderen Herausforderung für das Stall- bzw. Lüftungssystem. Weitere Extremsituation ist die Evaluierung älterer und somit schwerer Tiere in einer warmen bzw. heißen Jahreszeit (Hitze-stress), was aus Zeitgründen nicht mehr möglich war.

Für eine genauere Betrachtung der Messdaten wurden die kontinuierlich im 10-Minutenintervall aufgezeichneten Daten auch nach der Tag- und Nachtsituation differenziert. Hierbei wurde die Tagwerte von der Zeit zwischen 7.10 Uhr morgens bis 19.00 Uhr abends definiert (4517 Datensätze), die Nachtwerte von 19.10 Uhr abends bis 7.00 Uhr morgens (4536 Datensätze). Somit war gesichert, dass in der Nacht, in welcher die tiefsten Temperaturen zu erwarten waren, keine Störeinflüsse (wie z.B. Öffnen der Kistendeckel zu Kontrollzwecken) vorhanden sind.

Zusätzlich wurde die Wintersituation mit Wärmebildmessungen der Abteilöffnungen im Vergleich betrachtet. Schließlich münden auch die Erfahrungen aus dem Betrieb der Techniken in die Ergebnisse mit ein. Für die Ergebnisdarstellung werden Box-Plots-Grafiken, Liniendiagramme und Tabellen verwendet. Letztere zwei sind selbsterklärend, in Microsoft Excel erstellt. Die grafische Darstellung in Form von Boxplots wurde mit der Software Microcal „Origin 7G“ durchgeführt. Die horizontalen Linien der Box zeigen die 25-, 50 (Median)- und 75-Perzentile an. Das quadratische Symbol in der Box steht für den Mittelwert. Der Begrenzungsstrich am Fehlerbalken außerhalb der Box symbolisiert die 5- und 95-Perzentile. Das Kreuz und der Strich außerhalb des Fehlerbalkens stehen für die 1- und 99-Perzentile bzw. 0- und 100-Perzentile.

5.1) MESSERGEBNISSE

5.1.1) ABGLEICH KONTROLLMESSSYSTEM

Zur Verifizierung der systemintegrierten Messtechnik wurden wie unter Punkt 4 beschrieben zusätzliche Temperatur und rel. Luftfeuchtesensoren mit integriertem Datenspeicher des Typs Testo 177 im Aktivitäts- und Ruhebereich der einzelnen Abteile installiert. Beim Vergleich der Datenreihen aus den externen sowie den systemintegrierten Sensoren konnten eine Übereinstimmung bzw. Korrelation von $r = 94,4-96,6\%$ festgestellt werden. Somit ist die systemintegrierte Messtechnik als adäquat bzw. verlässlich und funktionssicher einzustufen. In Abbildung 23 wird ein beispielhafter Wochenverlauf aus KW1 und 2 in 2012 der verschiedenen Temperaturmesswerte aus Abteil C von den externen und systemintegrierten Sensoren in Form einer Liniengrafik dargestellt. Wie zu erkennen gibt es bei den beiden Messsystemen für den Aktivitäts- und Ruhebereich nur geringfügige Abweichungen, welche für die Aussagekraft der Ergebnisbewertung unerheblich sind. Die geringfügigen Abweichungen können durch leicht versetzte Messstellen, mit dementsprechend zufällig auftreffenden Luftströmungen, erklärt werden. Aufgrund der Ergebnisse und somit der Verifizierung der systemintegrierten Messtechnik werden folgend zur Bewertung des Systems die systemintegrierten Messreihen verwendet. Für die Referenzwerte der Außentemperatur werden die Daten der Wetterstation Boxberg-Windischbuch, welche sich in unmittelbarer Nähe der Stallungen befindet, verwendet.

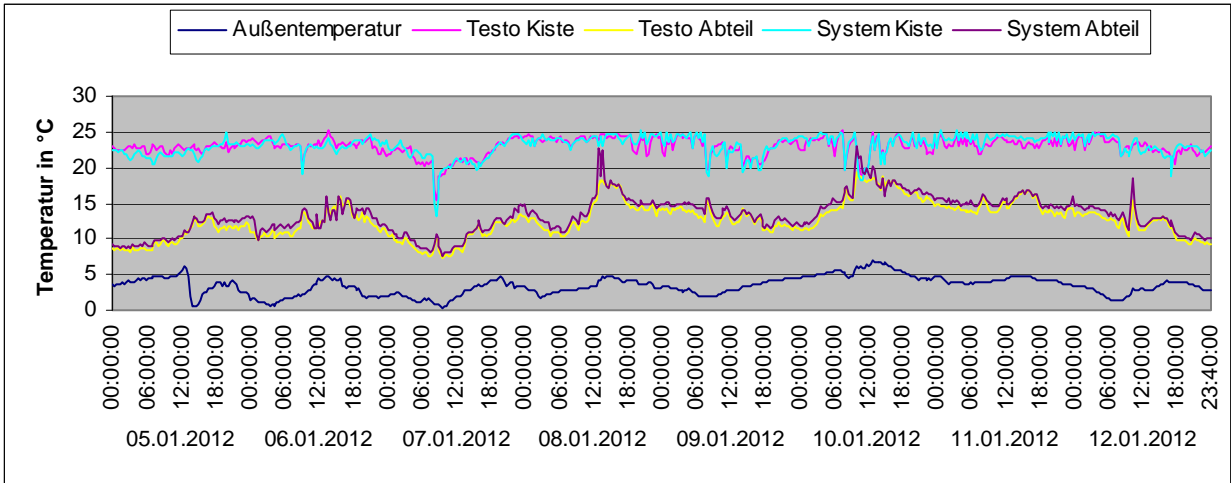


Abbildung 23: Beispielhafter Wochenvergleich für die beiden Messsysteme in Abteil C

5.1.2) TEMPERATURDATENVERGLEICH INNERHALB DER ABTEILE

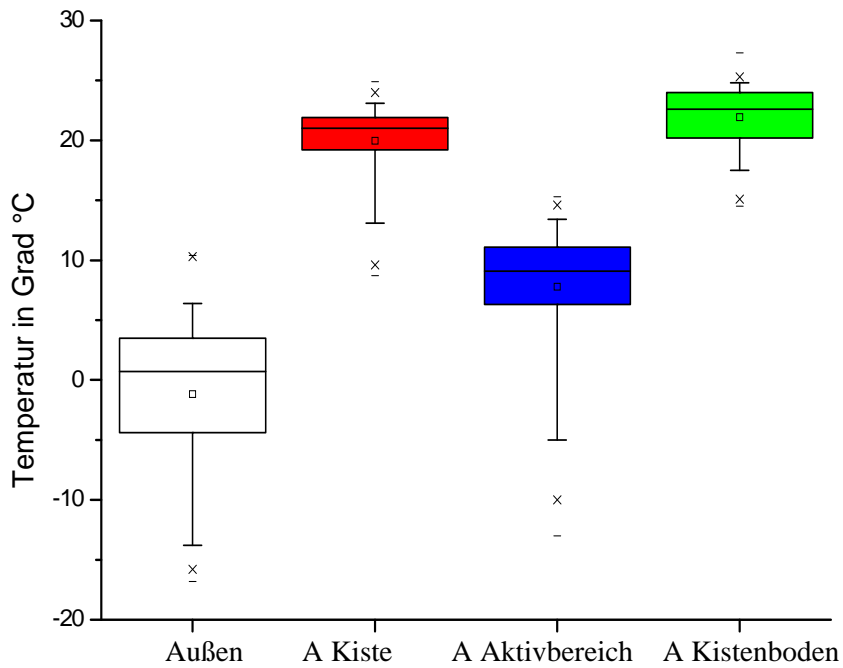


Abbildung 24: Temperaturwerte nachts in Abteil A (Wickellüftung)

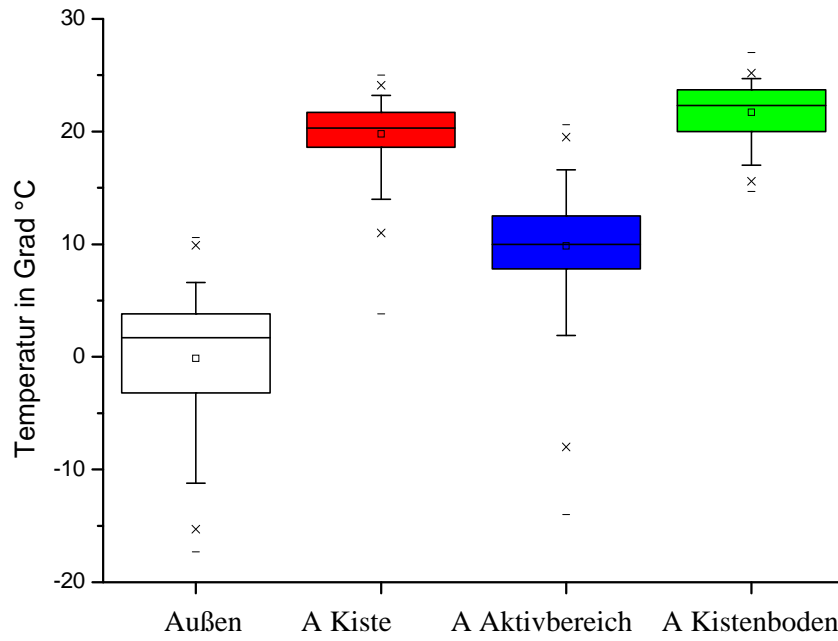


Abbildung 25: Temperaturwerte tagsüber in Abteil A (Wickellüftung)

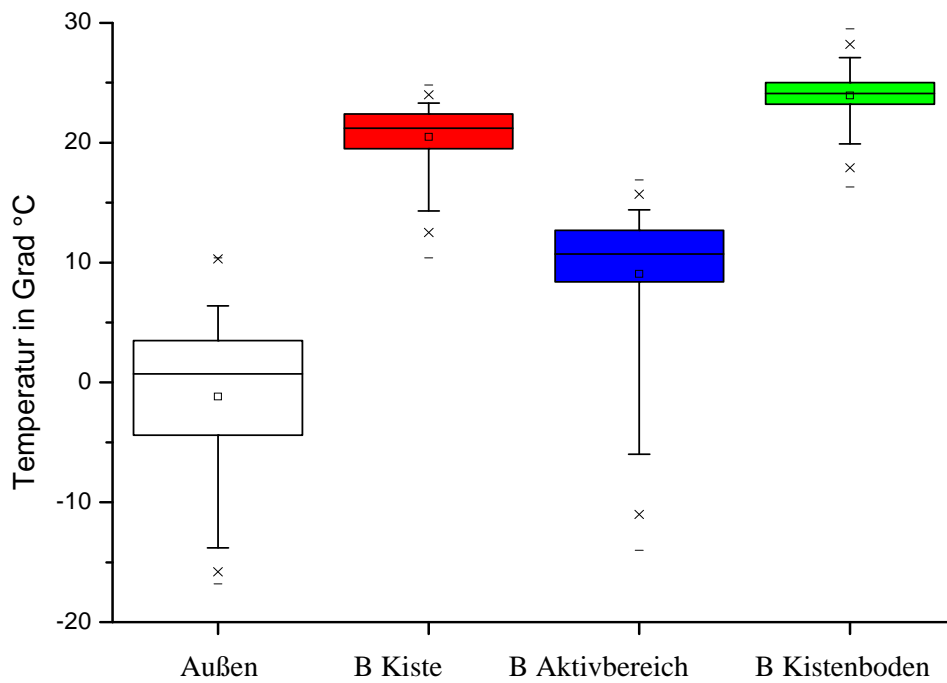


Abbildung 26: Temperaturwerte nachts in Abteil B (Stellfenster)

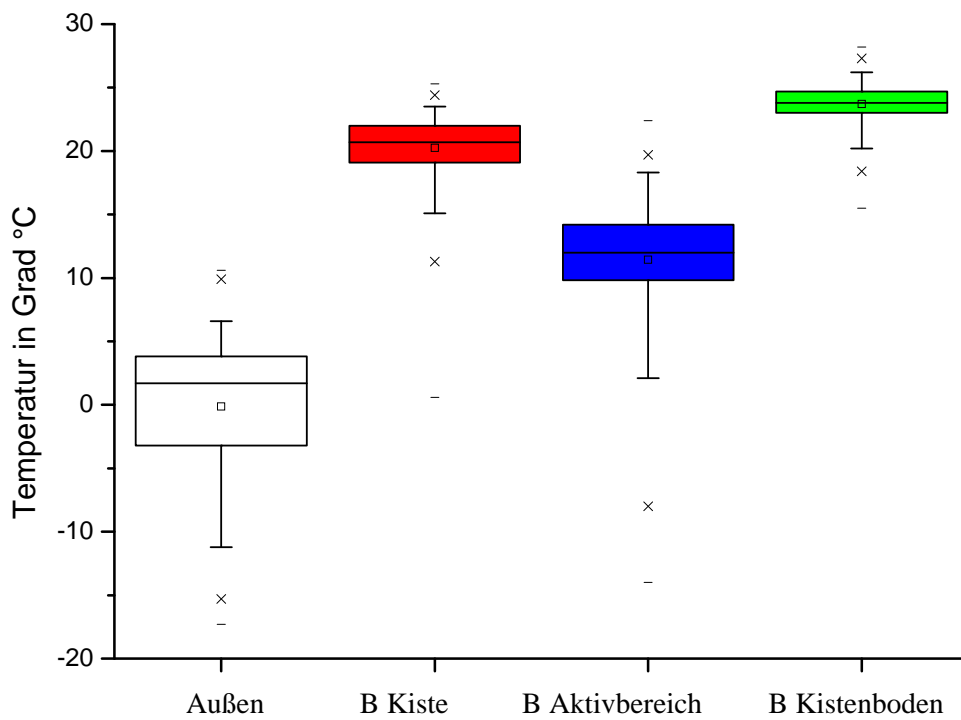


Abbildung 27: Temperaturwerte tagsüber in Abteil B (Stellfenster)

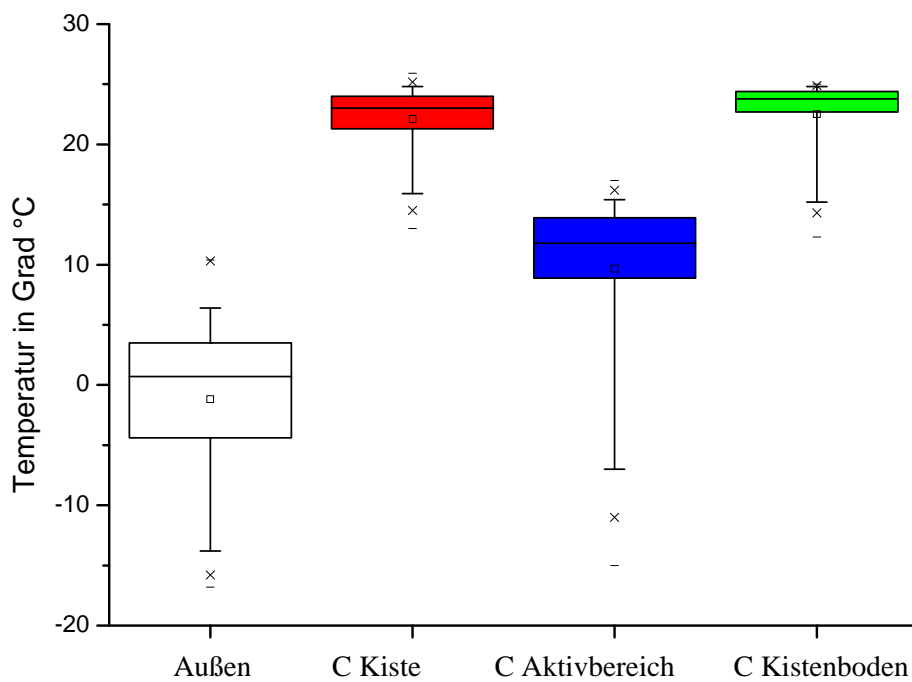


Abbildung 28: Temperaturwerte nachts in Abteil C (Schiebefenster)

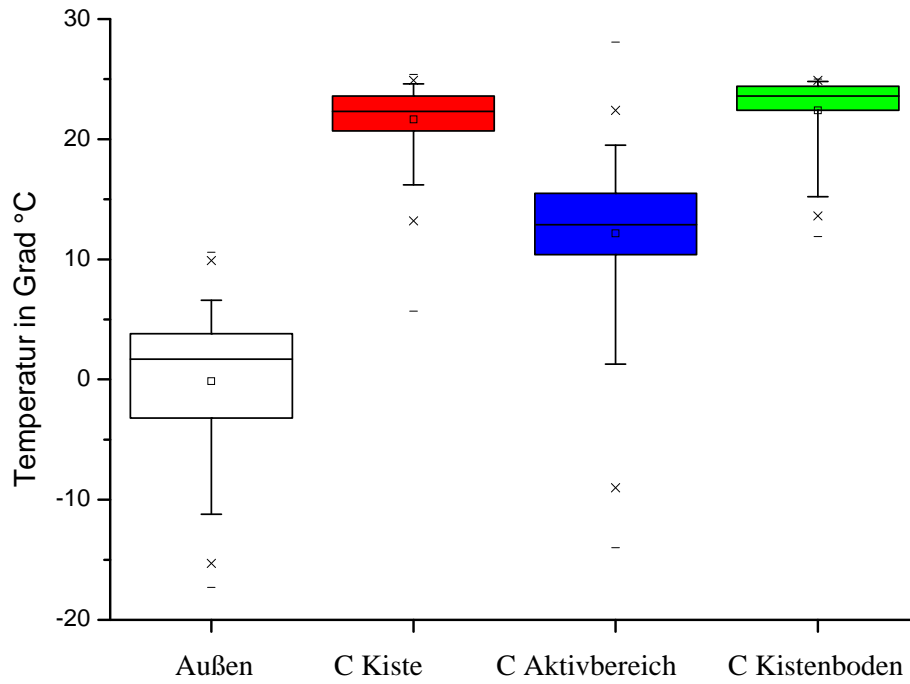


Abbildung 29: Temperaturwerte tagsüber in Abteil C (Schiebefenster)

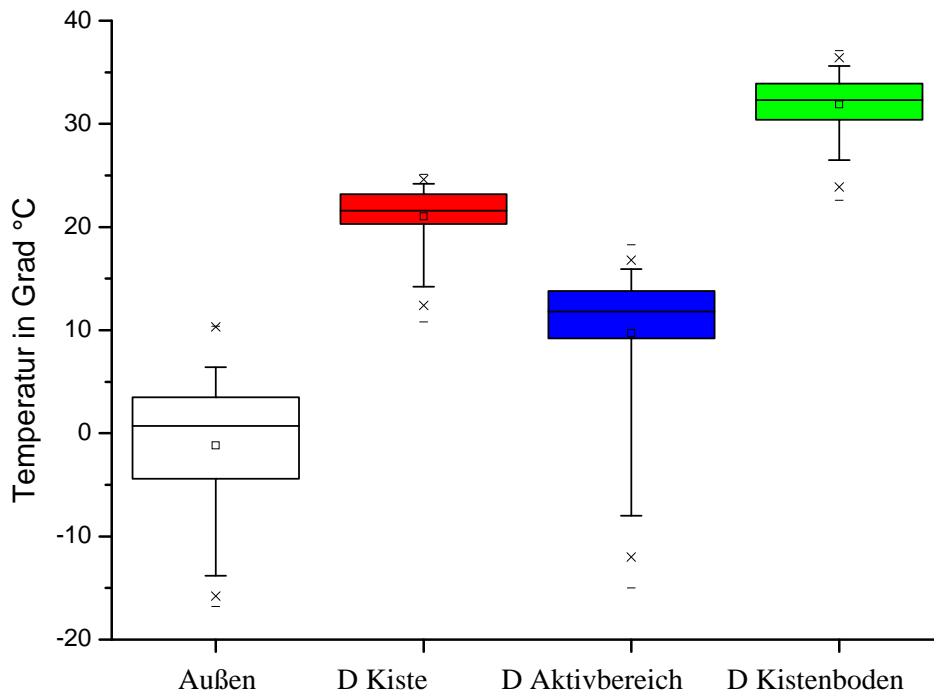


Abbildung 30: Temperaturwerte nachts in Abteil D (Wendeklappe)

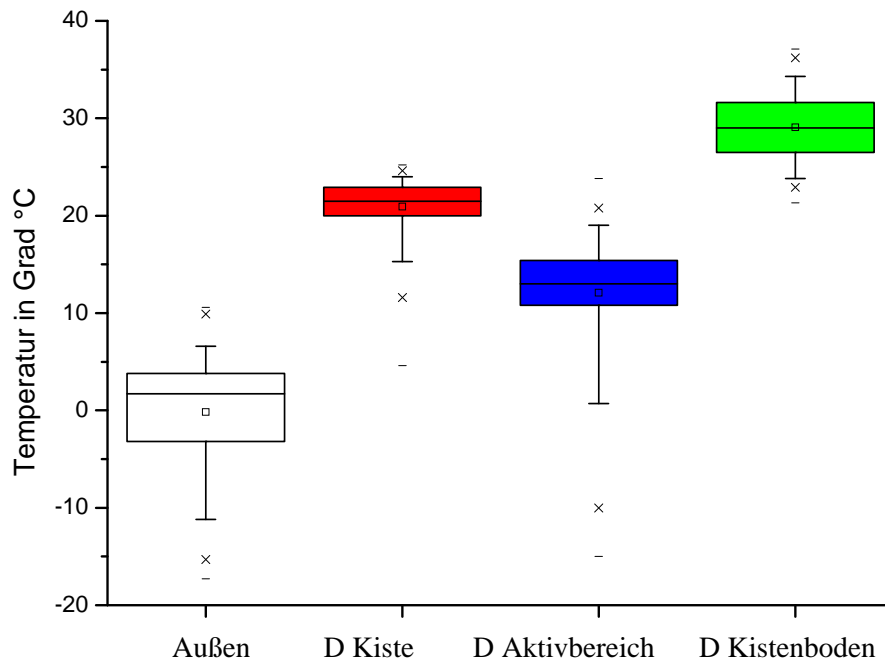


Abbildung 31: Temperaturwerte tagsüber in Abteil D (Wendeklappe)

Wie in Abbildungen 23 bis 29 zu erkennen, betrug die Außentemperatur im Mittel während der Tagmessungen $-0,15^{\circ}\text{C}$, im Mittel während der Nachtmessungen $-1,17^{\circ}\text{C}$. Die Ruhekiste in Abteil A (Wickellüftung) wies tagsüber im Mittel eine Temperatur von $19,78^{\circ}\text{C}$ auf, nachts im Mittel eine Temperatur von $19,96^{\circ}\text{C}$, somit sind die Tag und Nachtwerte hier nahezu identisch, was auf einen ständig geschlossenen Ruhekistendeckel mit einem guten Wärmespeichervermögen zurück zu führen ist. Der Deckel wurde tagsüber lediglich für eine geringe Zeitdauer zu Tierkontrollzwecken geöffnet, was sich aufgrund des kurzen Messpunktaufnahmeintervalls und der damit hohen Anzahl an Messpunkten kaum im Mittelwert bemerkbar macht. Die Bodentemperatur im Kistenbereich in Abteil A lag im Durchschnitt tagsüber bei $21,71^{\circ}\text{C}$ sowie nachts bei $21,92^{\circ}\text{C}$. Diese somit ca. 2°K höhere Temperatur im Vergleich zum Ruhekistenbereich zeigt, dass geringfügig Wärme durch den Tierverkehr aus der Kiste bzw. über Transmissionswärmeverluste der Kistenbauteile verloren geht. Zu berücksichtigen ist hier zudem, dass auch die Tiere selber Körperwärme abgeben und dies zusätzlich in einer Gesamtbilanzierung als Wärmeverlust anzurechnen ist. Die Abteiltemperatur betrug in Abteil A tagsüber im Mittel $9,84^{\circ}\text{C}$, diese sank nachts merklich um ca. 2°K auf $7,77^{\circ}\text{C}$ im Mittel ab. Wie in den Box-Plots Abbildungen zu erkennen, war keine dauernde Frostfreiheit des Gebäudes möglich, da die Werte tags und nachts vermehrt auch unter 0°C Abteilinnenraumtemperatur sanken. Dies macht eine Absicherung der wasserführenden Leitungen mit Vorerwärmung des Wassers, Umwälzpumpen sowie Heizbegleitkabel zwingend erforderlich.

Da sowohl die Tag- und Nachtwerte von Abteil B, C und D für die einzelnen Klimabereiche auf vergleichbarem Niveau wie in Abteil A sind, wird von einer weiteren Detailbeschreibung an dieser Stelle abgesehen, im Einzelfall wird aber noch folgend darauf eingegangen. Die angestrebten 20° C im Ruhebereich im Mittel des Tages werden zufriedenstellend in allen Abteilen erreicht. Die Temperaturen in den Ruhebereichen zeigen mit Ausnahme von Abteil D (Wendeklappe) systemimmanent vergleichbare Werte wie die des Bodens bzw. der Bodenheizung. Abteil D wird im Abteilvergleich später hierzu näher betrachtet. Der Aktivitätsbereich bzw. die Innentemperatur kann in allen Abteilen den angestrebten Sollwert von >13° C im Mittel des Tages, aufgrund der kalten Außentemperaturen nicht erreichen.

5.1.3) TEMPERATURDATENVERGLEICH ZWISCHEN DEN ABTEILEN

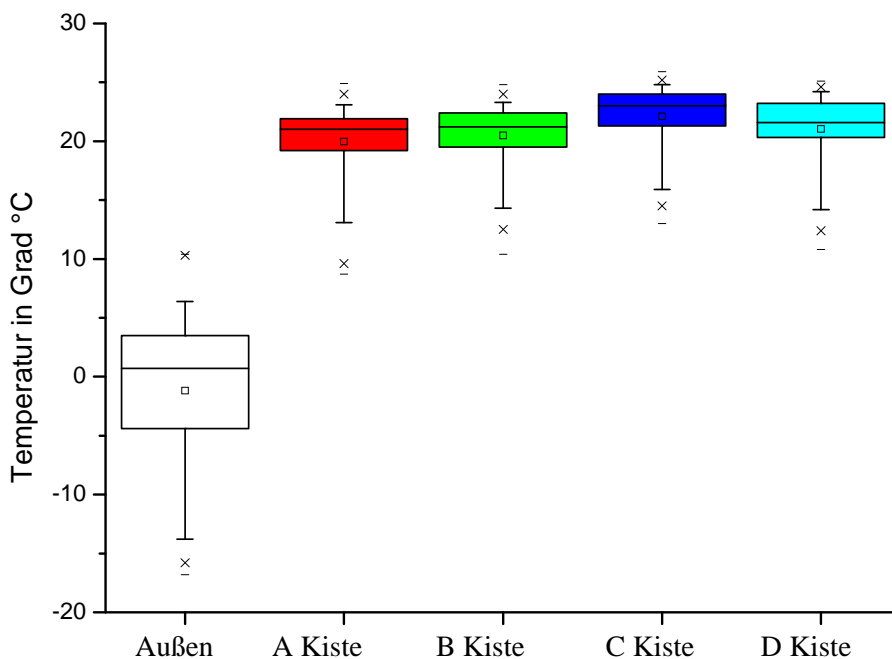


Abbildung 32: Temperaturwerte in den Kisten nachts

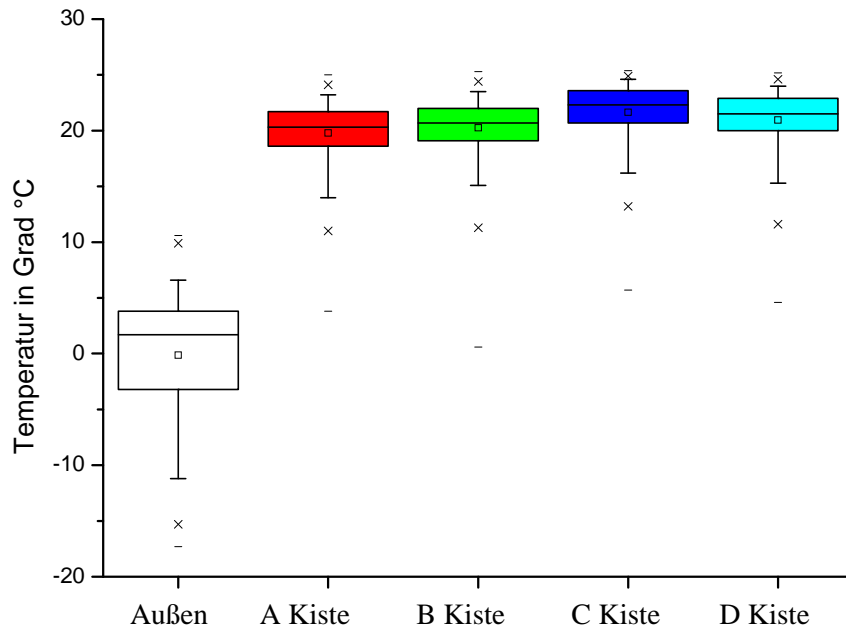


Abbildung 33: Temperaturwerte in den Kisten tagsüber

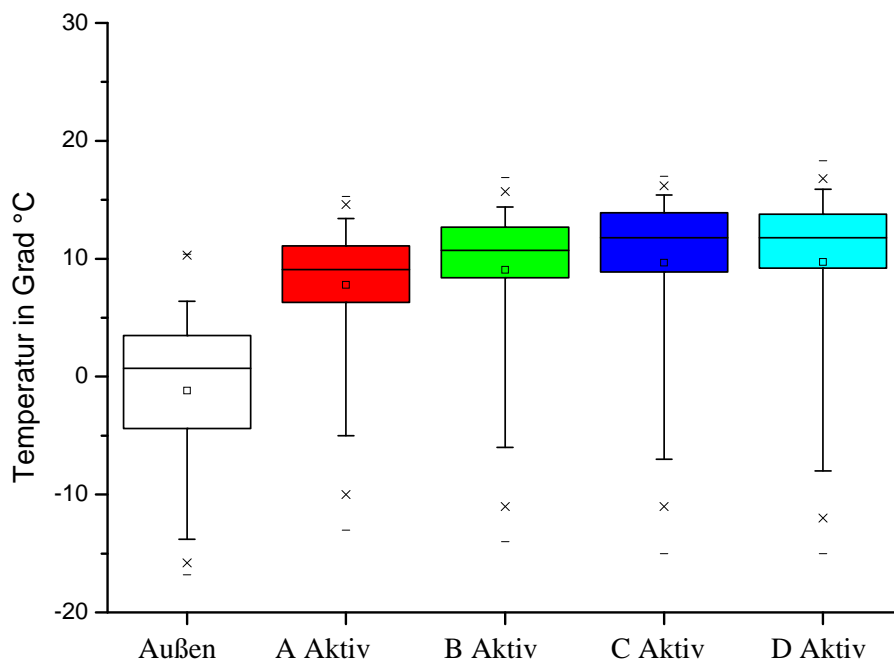


Abbildung 34: Temperaturwerte in den Abteilen nachts

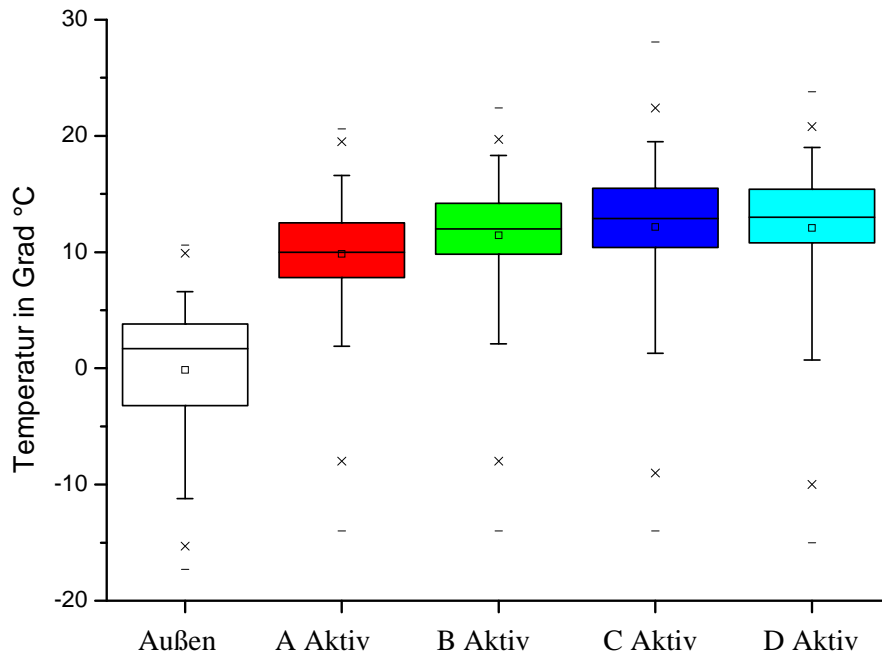


Abbildung 35: Temperaturwerte in den Abteilen tagsüber

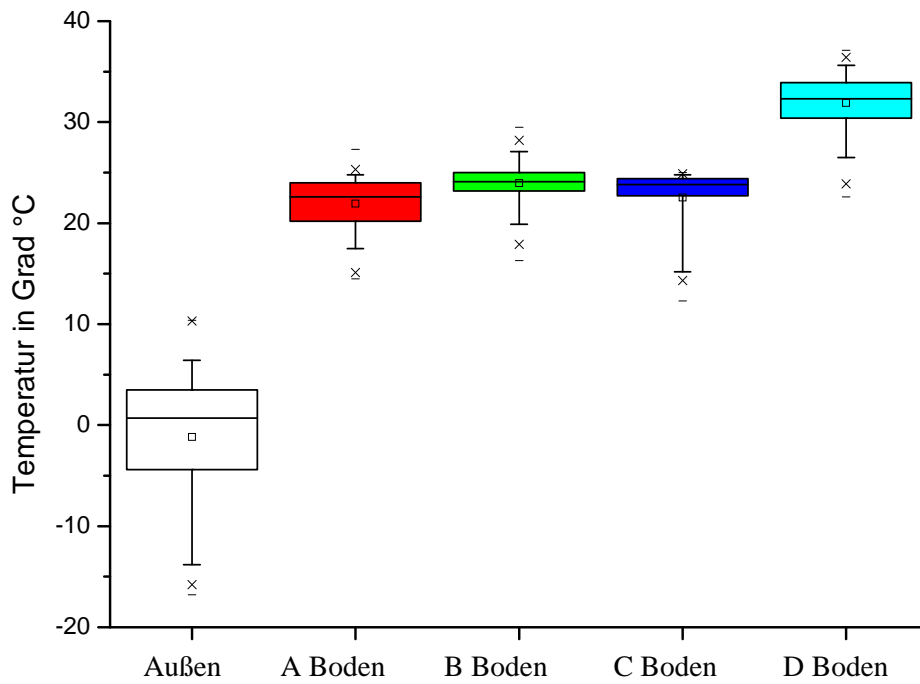


Abbildung 36: Temperaturwerte im Bodenbereich der Ruhekiste nachts

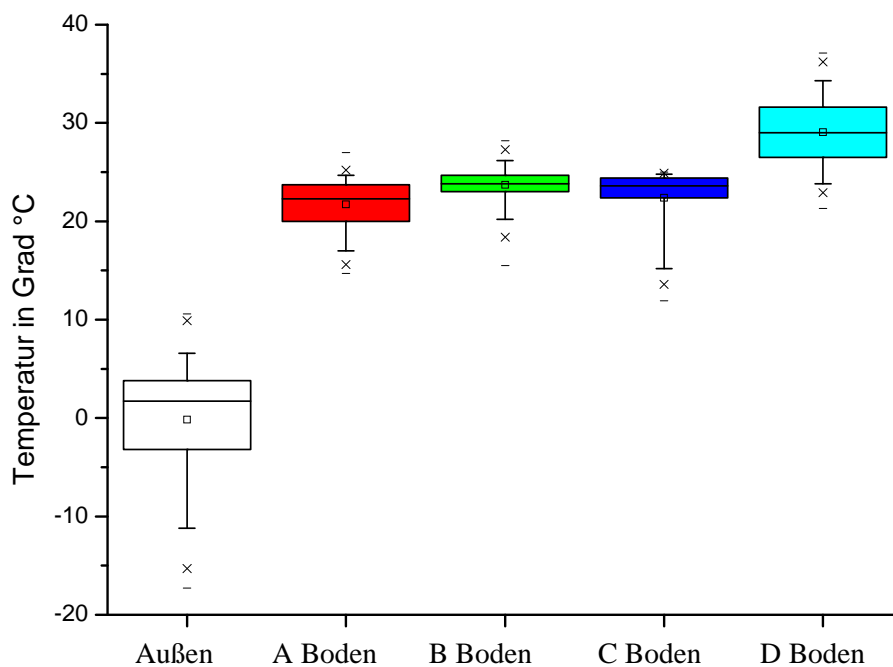


Abbildung 37: Temperaturwerte im Bodenbereich der Ruhekiste nachts

Wie in den Abbildungen 30 und 31 zu erkennen, sind im Vergleich der Temperaturen zwischen den Ruhebereichen in den einzelnen Abteilen nur geringe Unterschiede zu erkennen. Die Ruhekiste in Abteil C (Schiebefenster) mit einem mittleren Tageswert von 21,66 °C sowie einem mittleren Nachtwert von 22,10 °C hebt sich mit ca. 1-2°C höheren Temperaturen von den drei anderen etwas ab. Grundsätzlich befinden sich die Mittelwerte und Mediane aller vier untersuchten Ruhebereiche in den Abteilen auf einem zufriedenstellendem Niveau bei der 20°C Marke. Es nur unwesentliche Unterschiede zwischen der Tag- und Nachtsituation im Vergleich den einzelnen Abteilen. Lediglich einzelne Ausreißer-Werte nach unten in den Box-Plots der Ruhekisten zeigen, dass tagsüber der Ruhebereich zu Kontrollzwecken geöffnet wurde und somit die Temperaturen kurzzeitig abgesunken sind.

Geringe Unterschiede sind auch im Vergleich der Temperaturen zwischen den einzelnen Abteilen im Aktivitätsbereich der Tiere festzustellen (Abbildung 32 und 33). Die Mittelwerte in den Nachstunden liegen hier bei den Abteilen B, C und D zwischen 9,07°C und 9,73°C, Abteil A weist hier die tiefste Vergleichstemperatur mit 7,77°C auf. Bei den Tagwerten zeigen die Abteile B, C, und D mittlere Temperaturen von 11,45 °C bis 12,17 °C auf, wohingegen Abteil A wiederum den kältesten Mittelwert mit 9,84 °C aufweist. Grundsätzlich ist zu erkennen, dass über alle Abteile hinweg die mittleren Tagestemperaturen ca. 2°K höher sind als die Nachttemperaturen. Die angestrebte Marke von mindestens 13°C im Abteil, wird im Mittel von keinem der Abteile erreicht.

Beim Vergleich der Bodentemperaturen zwischen den Abteilen (Abbildungen 34 und 35) fällt Abteil 4 mit einem mittleren Tagesmesswert von 29,06°C sowie einem mittleren Nachtmesswert von 31,89°C gegenüber den anderen 3 Abteilen mit Mittelwerten von 21,71°C bis 23,95°C stark auf. Nach Überprüfung der Messtechnik ist dies zum jetzigen Zeitpunkt als Messfehler, bedingt durch einen falschen Sensoranschluss, zu werten. Wären die Messwerte im Bodenbereich in Abteil 4 nicht als Messfehler einzustufen, dann müsste dementsprechend auch die Kistentemperatur im Vergleich zu den anderen Abteilen erhöht sein. Dies ist jedoch wie in Abbildungen 30 und 31 zu erkennen nicht der Fall. Alle mittleren Bodentemperaturen ohne Messfehler (Abteil A,B,C) befinden sich in einem adäquaten Bereich für die Tiere zwischen 21,71°C und 23,7°C .

Zur genaueren Betrachtung werden die Abbildungen 30-35 grafisch dargestellten Werte in den folgenden Tabellen 1 und 2 dezimal aufgeführt.

Tagwerte	Außentemperatur Wetterstation in °C	Kistentemperatur in °C	Abteiltemperatur in °C	Bodentemperatur in °C
Abteil A				
Mittelwert	-0,15	19,78	9,84	21,71
Median	1,70	20,30	10,00	22,30
Min	-17,30	3,80	-14,00	14,70
Max	10,60	25,00	20,60	27,00
Abteil B				
Mittelwert	-0,15	20,25	11,45	23,70
Median	1,70	20,70	12,00	23,80
Min	-17,30	0,60	-14,00	15,50
Max	10,60	25,30	22,40	28,20
Abteil C				
Mittelwert	-0,15	21,66	12,17	22,40
Median	1,70	22,30	12,90	23,60
Min	-17,30	5,70	-14,00	11,90
Max	10,60	25,40	28,10	25,00
Abteil D				
Mittelwert	-0,15	20,94	12,08	29,06
Median	1,70	21,50	13,00	29,00
Min	-17,30	4,60	-15,00	21,30
Max	10,60	25,20	23,80	37,10

Tabelle 1: Übersicht über die Tagewerte in den einzelnen Abteilen und Klimabereichen

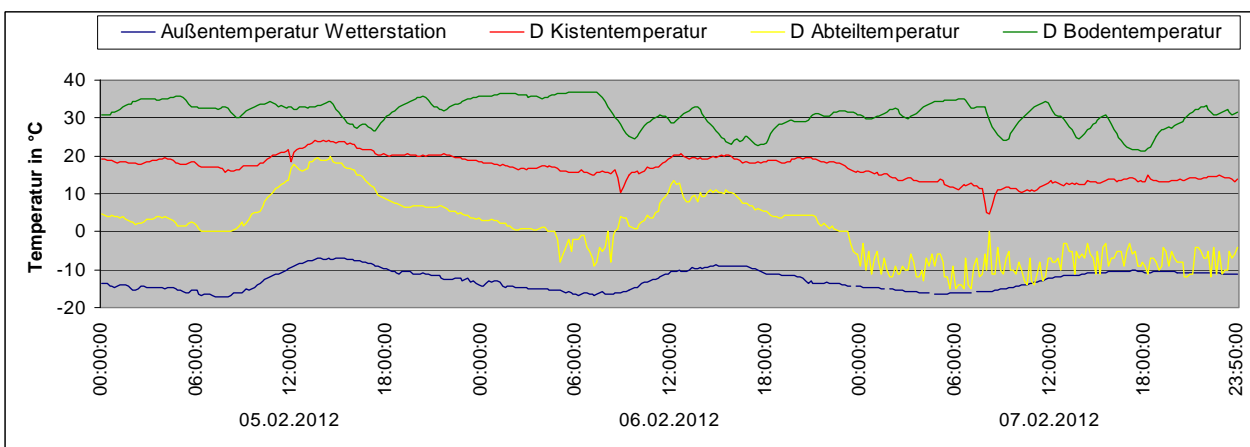
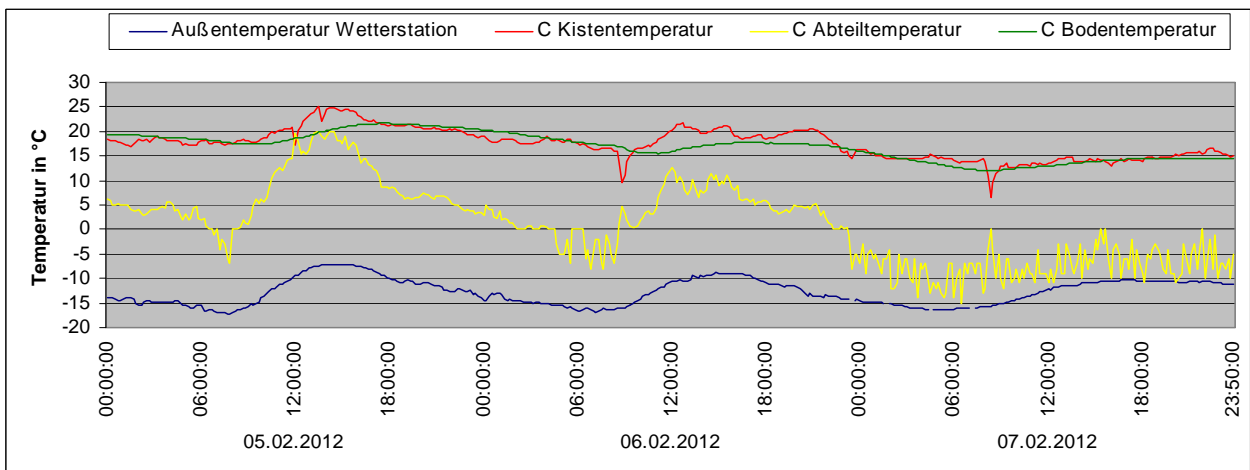
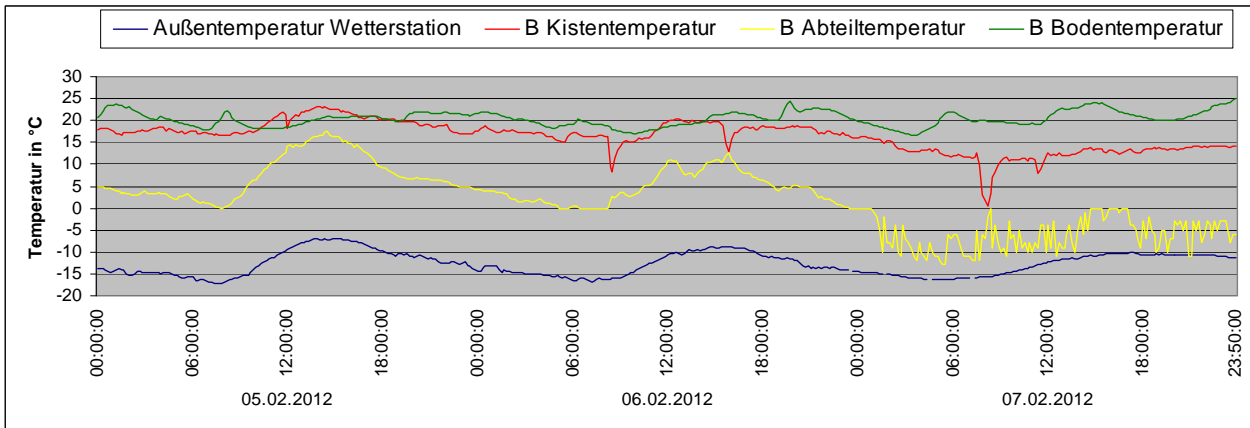
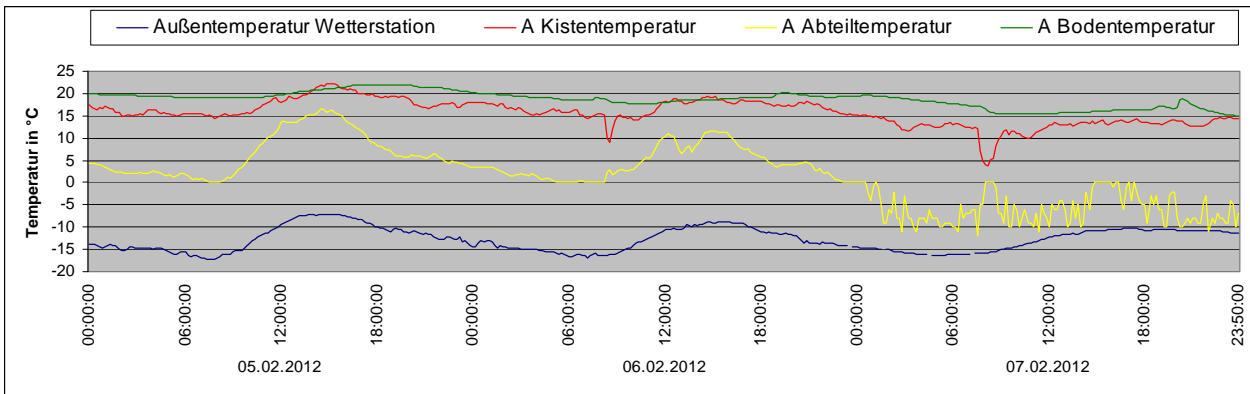
Tabelle 2: Übersicht über die Nachtwerte in den einzelnen Abteilen und Klimabereichen

Nachtwerte	Außentemperatur Wetterstation in °C	Kistentemperatur in °C	Abteilterperatur in °C	Bodentemperatur in °C
Abteil A:				
Mittelwert	-1,17	19,96	7,77	21,92
Median	0,70	21,00	9,10	22,60
Min	-16,80	8,70	-13,00	14,50
Max	10,40	24,90	15,30	27,30
Abteil B:				
Mittelwert	-1,17	20,50	9,07	23,95
Median	0,70	21,20	10,70	24,10
Min	-16,80	10,40	-14,00	16,30
Max	10,40	24,80	16,90	29,50
Abteil C:				
Mittelwert	-1,17	22,10	9,68	22,52
Median	0,70	23,00	11,80	23,80
Min	-16,80	13,00	-15,00	12,30
Max	10,40	25,90	17,00	25,00
Abteil D:				
Mittelwert	-1,17	21,02	9,73	31,89
Median	0,70	21,60	11,80	32,35
Min	-16,80	10,80	-15,00	22,60
Max	10,40	25,10	18,30	37,10

Bei Betrachtung der Minimumwerte für den Kisten- und Aktivitätsbereich wird deutlich, dass insbesondere im Kistenbereich nachts die Temperatur über alle Abteile hinweg nicht weiter als 8,7°C absinkt - hier somit ein adäquates Klima für die Tiere herrscht. Tagsüber kann dieser Minimumwert im Kistenbereich bis auf 0,6°C (Abteil B) absinken da bei geöffneten Ruhekistendeckel sowie geöffneter Offenfront und dementsprechenden kalten Außentemperaturen der Ruhebereich schnell auskühlt. Da diese Temperaturen jedoch nur kurzzeitig auftreten haben sie nur eine unwesentliche Auswirkung auf das Tierwohl. Die niedrigsten Temperaturen im Aktivitätsbereich wurden mit -15°C sowohl tags wie nachts in Abteil D gemessen, Abteil A, B und C weisen hier nur unwesentliche höhere bzw. gleiche Minimumwerte von -13° C bis -15°C auf.

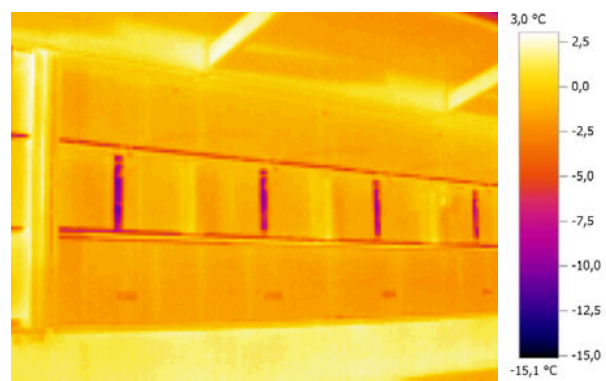
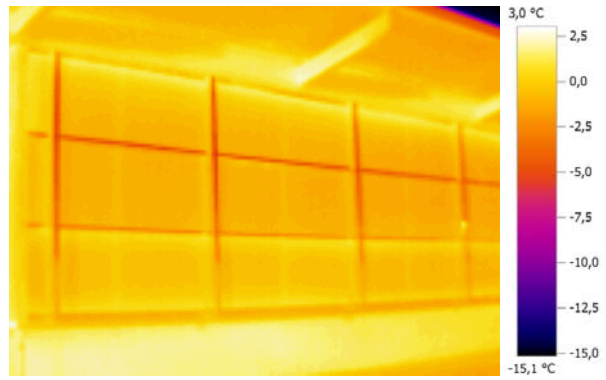
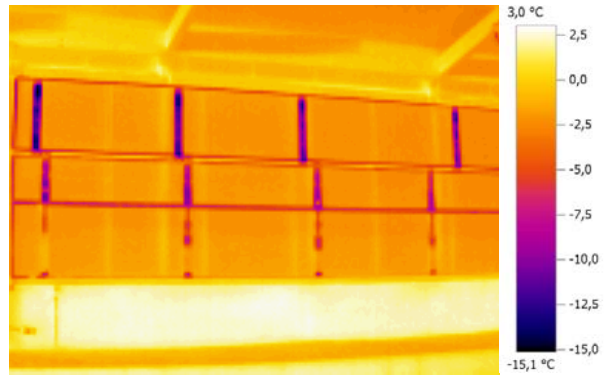
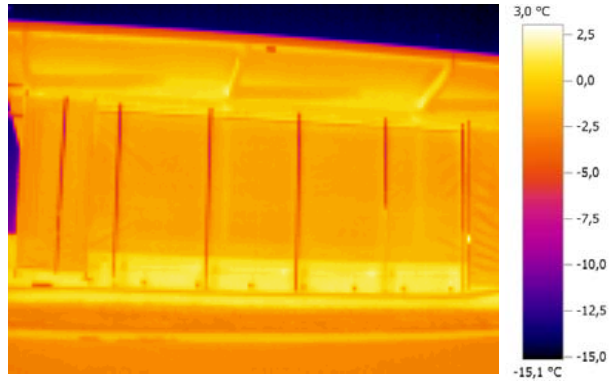
Wie eingangs des Kapitels beschrieben muss ein Stall- bzw. Lüftungssystem insbesondere bei Extremsituationen die Funktionssicherheit für die Tiere aber auch die Technik gewährleisten. In der vorliegenden Betrachtung handelt es sich hier um junge Tiere bei kalten Temperaturen, somit sind die Schweine hier vor Kältestress zu schützen. Die tiefsten Außentemperaturen wurden während der Messkampagne vom 05. bis 07. Februar 2012 gemessen. Die Abbildungen 38-41 stellen eine dreitägige Messreihe während dieser Zeit in den vier Abteilen in Form von Liniengrafiken vor. Wie zu erkennen puffern alle Abteile während der ersten zwei Tage die Außentemperatur um ca. 15°K, am dritten Tag kommt es zu einem Einbruch und die Abteilterperaturen sind nur noch gering ge-

genüber den Außentemperaturen erhöht. Auch die Temperaturen in den Ruhekisten gehen zum dritten Tag hin etwas zurück, jedoch sind sie immer noch in einem akzeptablen Bereich. Gut zu erkennen sind die Ausschläge der roten Linien (Ruhekisten) nach unten während der Tierkontrolle (Kistendeckel wird geöffnet), zumeist morgens um 8.00 Uhr. Die Gefahr für eine Auskühlung der Ruhebereiche während einer Tierkontrolle besteht nach diesen Grafiken nicht, schon nach kurzer Zeit hat sich nach dem Schließen der Deckel wieder ein Wärmepolster aufgebaut. Ebenfalls gut zu erkennen sind die Tag-Nachtschwankungen der Abteiltemperaturen (gelbe Linien), welche sich ebenfalls im tolerablen Bereich befinden.



Abbildungen 38,39:40,41: Temperaturverläufe in vier Abteilen während Kälteperiode

In den Abbildungen 42-49 werden Wärmebildmessungen von den einzelnen Öffnungstechniken dargestellt. Wie zu erkennen gibt es auch hier keine starken Unterschiede. Lediglich Abteil B und C weisen etwas stärkere Kältebrücken über die Verbindungselemente der Stegplatten auf. Sehr gut gelungen ist das komplette Abdichtungen der Frontseiten, insbesondere im oberen Dachbereich wie auch an den Seiten, so dass keine Kältebrücken zu erkennen sind. Die Frontseiten können nach der Farbmessstabelle mit einer Oberflächentemperatur von ca. 0°C bemessen werden. Von wichtiger Bedeutung ist zudem dass die Gebäude möglichst winddicht gehalten sind, da durch gerichtete Kaltluftflüsse Schweine sehr leicht erkranken können und zudem die Gebäude sehr schnell auskühlen. Insbesondere in Abteil A (Wickellüftung) wurden hier bauartbedingt stärkere Zuglufterscheinungen wahrgenommen. Erklärbar ist dies zum Teil durch die relativ schmalen Windfangskästen an den Seiten der Wickeljalousie. Des weiteren kann die Jalousie systemimmanent an den Seiten nicht unmittelbar so gut abdichten wie z.B. eine ausgesteiftes Fensterelement. Die wenigsten Zuglufterscheinungen wurden in Abteil D (Wendeklappe) wahrgenommen, hier war jedoch der Luftaustausch während kalter Perioden so gering, dass es zu Kondenswasserbildung an den Bauteilen der Außenwände kam. Dies ist hinsichtlich dem Schutz der Bausubstanz als negativ zu bewerten. In Abteil B und C war der Luftaustausch durch die Steuerung der Frontöffnungen sowie kleinere Undichtigkeiten im Front- und Rückbereich der Stallungen auf einem Niveau, dass ein adäquater Luftaustausch stattfinden konnte.



Abbildungen 42-49: Wärmebildmessungen der vier verschiedenen Öffnungstechniken

5.2) ERFAHRUNGEN AUS DEM BETRIEB DER TECHNIKEN

Wichtige Erfahrungen aus dem Betrieb sind die Kriterien Funktionssicherheit bzw. Störanfälligkeit sowie die Lüftungswirkung. Die Öffnungstechnik in Abteil A (Wickellüftung) wies zu Beginn der Untersuchung eine gewisse Anfälligkeit für Falschbedienung mit dementsprechenden Störungen auf, dies konnte jedoch im Laufe der Untersuchung behoben werden. Die Öffnungstechniken aus Abteil B, C, und D waren zu jederzeit störungsfrei. Für Abteil B wurde der lange Hub des unteren Fensterelements als subjektiv störend bzw. anfällig für Verschleiß empfunden, was sich bis jetzt jedoch im laufenden Betrieb noch nicht bestätigt hat. Nach Aussagen der Stallmitarbeiter sind die Öffnungstechniken in Abteil C (vertikale Schiebefenster mit Kettenantrieb) sowie Abteil D (Wendeklappe mit Zahnstangenantrieb) aus mehreren Gründen bisher am Besten einzustufen. Insbesondere Abteil D mit der Wendeklappe zeichnet sich durch einen schnellen Luftaustausch aus. Dies bedeutet, dass die Frontseite systembedingt in kurzer Zeit gänzlich öffnet, somit kommt es zum schnellen Luftaustausch ohne dass die Gebäudebauteile stark auskühlen können. Abteil C zeichnet sich durch den Vorteil aus, dass die Frontseite im Gegensatz zur Wickellüftung (Abteil A) relativ winddicht ausgeführt ist, jedoch keine Fensterelemente wie in Abteil B und D in das Abteil bzw. auf den Besucherweg ragen und somit ein potentiell Gefährdungsrisiko für Stallpersonal oder Besucher darstellen. Des Weiteren zeichnet sich das System C vergleichsweise durch eine geringe Windanfälligkeit insbesondere bei Stürmen aus. Insbesondere in Abteil A (Wickellüftung) wurden die starken Zuglufterscheinungen im Innenbereich an den Seiten der Jalousie als sehr negativ für die Tiere und Mitarbeiter empfunden. Zudem kann es zu Wickelproblemen kommen, wenn sich bei kalten Temperaturen Kondenswasser am Wärmeübergang der Jalousie bildet. Gefriert dieses zu Eis, wird der Wickelbalg beim Aufwickeln stark unter Spannung gesetzt. Dies kann zu Geweberissen oder auch Motorüberlastungen führen.

Vorteile aller eingebauten Systeme in das Offenfrontgebäude sind die geringen Energieverbräuche im Vergleich zu wärmegeprägten geschlossenen zwangsbelüfteten Stallbaukonzepten. Nach den ersten Erfahrungen aus Praxisbetrieben sowie einfachen Modelkalkulationen wird in vergleichbaren Stallungen wie in dem untersuchten Stallsystem mit der entwickelten Öffnungs-, Regel- und Steuertechnik mit nur jeweils 10-20 kWh Wärmeenergie für die Boden- und Wassererwärmung sowie weiteren 10-20 kWh Elektroenergie für die Steuerungstechnik bzw. den Öffnungsantrieb je Mastplatz und Jahr lediglich ca. 25% der Elektro- und Wärmeenergie im Vergleich zu einem konventionellen Stall benötigt. Dies führt somit zu einer wesentlich günstigeren CO₂ Bilanz und somit zu geringen Treibhausgasemissionen.

In Tabelle 3 werden die aufgeführten sowie weitere Bewertungskriterien mit den Erfahrungswerten des täglichen Betriebes bzw. Einsatzes beurteilt. Hierbei bedeutet ein (+) bis zwei Plus (++) jeweils eine positive bis sehr positive Wirkung auf den dementsprechenden Parameter. Umgekehrt stehen die Minus-Zeichen für eine jeweils negative Wirkung. Die Symbole können je nach Bewertung verschiedenartig kombiniert sein. Schließlich werden die Beurteilungen im Gesamtergebnis aufsummiert, danach findet die Wendeklappe mit Zahnstangenantrieb in Abteil D die höchste Einstufung, dicht gefolgt von den vertikalen Schiebefenstern über Kettenantrieb in Abteil C. Das Aufstellfenster in Abteil B rangiert an dritter Stelle. Insbesondere die Windgefährdung sowie die Bedenken hinsichtlich der Langlebigkeit führen hierzu. Die Wickellüftung in Abteil A wird insbesondere aufgrund der Störanfälligkeit sowie der eingeschränkten Bedienerfreundlichkeit an vierter Stelle beurteilt.

Tabelle 3: Zusammenfassung Erfahrungen aus dem Betrieb

	Abteil A Wickellüftung		Abteil B Aufstellfenster		Abteil C Schiebefenster		Abteil D Wendeklappe	
Störanfälligkeit	+-		+		++		++	
Langlebigkeit	+-		+-		++		++	
Windgefährdung	+-		+-		++		+-	
Zugluft im Stall	--		++		++		++	
Lüftungswirkung	+		+-		+-		++	
Wärmedämmung	+-		+-		+-		+-	
Bedienerfreundlichkeit	--		++		+-		++	
Kosten	-+		+		+		+	
Energieverbrauch	++		++		++		++	
Gesamtergebnis	+	-	+	-	+	-	+	-
	8	9	12	4	14	3	15	2
Rangfolge	4		3		2		1	

6) Bewertung und Diskussion

6.1) VERSUCHSAUFBAU UND DURCHFÜHRUNG

Der gewählte Versuchsaufbau mit den einzelnen aufeinander abgestimmten Arbeitsschritten wird hinsichtlich der Fragestellung als adäquat und zielführend beurteilt. Insbesondere die Einrichtung einer begleitenden Arbeitsgruppe zur Definition der einzelnen Öffnungstechniken, den benötigten Eigenschaften für die Regel- und Steuertechniken sowie schließlich den verwendeten Inputdaten für die Steuer- und Regeltechnik (Sollwerte aus den Ansprüchen von Stallpersonal und Tieren), spiegelte sich im erfolgreichen Verlauf des Projekts wieder. Durch die Beauftragung privater Wirtschaftsbeteiligter über eine beschränkte Ausschreibung konnten weitere Kompetenzen erschlossen werden. Die vorgegebenen Zieldefinitionen konnten in einer gemeinsamen Entwicklungsarbeit im bestmöglichen Maße in eine funktionssichere Hard- und Software umgesetzt werden. Aufgrund des komplexen Versuchsaufbaus sowie der relativ kurzen Projektlaufzeit konnte jedoch bisher die Sommer(Hitze)-situation messtechnisch nicht evaluiert werden, welche zu einer weiteren Optimierung der entwickelten Regelstrategie hätte beitragen können. Dennoch ist der vorliegende Zielerreichungsgrad aufgrund der beschriebenen Ergebnisse absolut zufrieden stellend. Die Auswertungen werden weitergeführt, so dass die Ergebnisse und Bewertungen über den gesamten Jahresverlauf zur Verfügung stehen und veröffentlicht werden.

6.2) UMSETZUNG DER VIER VERSCHIEDENEN ÖFFNUNGSTECHNIKEN

Die planerisch konstruktive sowie die folgende bauliche Umsetzung der vier verschiedenen Öffnungstechniken waren von großer Herausforderung. Bisher wurde nur das System der Wickeljalousie in Abteil A als marktgängiges Produkt im Handel geführt. Mit den Systemen Aufstellfenster, Schiebefenster sowie Wendeklappe wurden neue Ideen entwickelt bzw. teilweise auch aus der landwirtschaftlichen Praxis aufgegriffen und als standardisierte reproduzierbare Verfahrenstechnik umgesetzt. Im Vergleich zu der ursprünglich im Versuchstall eingebauten Technik (Schiebefenster mit Seilführung- antrieb) sind alle vier umgesetzten Systeme als wesentlich bessere Weiterentwicklung einzustufen. Insbesondere das System „Wendeklappe mit Zahnstangenantrieb“ in Abteil D sowie das „System vertikales Schiebefenster mit Kettenantrieb“ in Abteil C sind am funktionssichersten und somit gut geeignet in Kombination mit dem automatisierten Regel- und Steuersystem einzustufen.

6.3) STALLKLIMAANSPRÜCHE UND UMSETZUNG IN REGELSTRATEGIE

Die definierten Stallklimaansprüche hinsichtlich Stallpersonal und Tiere konnten in eine zuverlässige Regel- und Steuerstrategie umgesetzt werden, welche sich in der Winterevaluation mit dementsprechenden Messreihen bewährt hat. Insbesondere bei sehr lang andauernden kalten Außentemperaturen kommt die Wärmepufferkapazität des untersuchten Stallsystems an Grenzen. Vor allem die Gebäudetechnik (Wasser) ist hier dann vor Frost zu schützen. Das Tierwohl ist jedoch nicht beeinträchtigt, da die Tiere in ihrem Ruhebereich (wärmeisolierte Kisten) jederzeit adäquate Temperaturen von im Mittel ca. 20°C vorfinden. Die Extremwerte bei sehr kalten Temperaturen von bis zu 0,6°C im Tierbereich (Ruhekisten) bedingen sich durch das kurzzeitige Öffnen der Ruheboxen für Tierkontrollzwecke sowie der Frontseiten zum Luftaustausch. Da diese tiefen Temperaturen jedoch nur kurzzeitig im Tierbereich zu messen waren und eine relativ schnelle Wiedererwärmung der einzelnen Klimabereiche feststellbar war, ist dies von untergeordneter Bedeutung. Der Regelmechanismus zum automatischen Öffnen der Ruheboxen wurde im Versuchszeitraum nahezu nie initialisiert, da der Sollwert von 26°C hierzu im Ruhebereich nicht erreicht wurde.

Die Gebäudetemperatur bzw. die Temperatur im Aktivitätsbereich sollte nach dem definierten Regelmechanismus nie unter 15°C sinken, bei sehr kalten lang anhaltenden Frostperioden konnte dieser Zielwert, trotz Bodenheizung in den Ruheboxen, nicht im Gebäude selber erreicht bzw. gehalten werden. Somit waren Temperaturen von bis zu -15°C im Extremfall kurzzeitig in einzelnen Aktivitätsbereichen zu messen. Im Durchschnitt jedoch waren auch hier Temperaturen nachts von 7,77°C bis 9,73°C sowie tagsüber von 9,84°C bis 12,17°C auf einem noch akzeptablen Niveau.

Die Bodenheizung in den Ruheboxen bzw. die Vorgabe zur Initialisierung ab 18°C sowie zur Abschaltung ab 20°C war in den Abteilen A,B und C jederzeit funktionssicher und störungsfrei. Dies spiegelt sich in den mittleren Bodentemperaturen mit 21,71°C bis 23,95°C während des Messzeitraums wieder. Die leicht erhöhten Messwerte von 1°-4°C gegenüber den Bodensollwert (20°C) sind mit Erwärmung über die Körperwärme von liegenden Schweinen (Konduktion) zu erklären. Die Tiere verfügen analog zum Menschen über eine Oberflächentemperatur der Haut von 28°C, zu Erreichung eines thermoneutralen Gleichgewichts mit der Umgebung wird versucht hier Körperwärme abzugeben. Die erhöhten Messwerte der Bodentemperatur in Abteil D sind wie unter Punkt 5. Ergebnisse als Messfehler, verursacht durch einen Sensor, zu erklären. Der Fehler wurde zeitlich behoben.

7) Schlussfolgerungen

Folgende Schlussfolgerungen können nach Projektende getroffen werden:

Im Vergleich der vier verschiedenen Öffnungstechniken zeigte die Wendeklappe mit Zahnstangenantrieb aus Abteil D sowie das vertikale Schiebfenster mit Kettenantrieb aus Abteil C aufgrund hoher Funktionssicherheit sowie schneller Lüftungswirkung die beste Eignung.

Die entwickelte Regel- und Steuerungstechnik mit automatisierten Abteilsteuergeräten, Handsteuergeräten für Sonderfälle, Sensortechnik im Ruhe, Aktivitäts- und Außenbereich sowie einem zentralen Mastergerät zur Datenspeicherung und Übertragung ist eine gelungene Adaption bestehender konventioneller Technik in Verbindung mit neuen Entwicklungen für die besonderen Anforderungen eines frei belüfteten Offenfrontstalls. Die Technik ist etabliert bzw. standardisiert und kann von weiteren Anwendern übernommen werden.

Die entwickelten Regel- und Steuerungsstrategien auf Basis von sensorgestützten Sollwert-Ist Abgleichen zeigten im Versuchs- und Messzeitraum während der Wintermonate sehr zufriedenstellende Ergebnisse. Diese Inputdaten wurden mit Hilfe einer begleitenden Arbeitsgruppe sowie der weiteren Anpassung und Optimierung im Praxisbetrieb entwickelt und wird weiterhin angepasst. Aufgrund des komplexen Versuchsaufbaus sowie der kurzen Projektlaufzeit konnte dies für den Sommerzeitraum mit Hitzeperioden noch nicht durchgeführt werden. Die Regel- und Steuerungsstrategien sind etabliert bzw. standardisiert und können von weiteren Anwendern übernommen werden.

Die Messreihen sollen auch in den Sommermonaten zur vollständigen Abbildung eines Jahresverlauf durchgeführt werden und dann auch in einer Veröffentlichung publiziert werden.

8) Anhang: Entwickelte Grundeinstellungen für das automatisierte Regel- und Steuersystem u.w.

(die rot hinterlegten Werte sind in der Software bzw. der Benutzeroberfläche veränderbar)

a) Grundeinstellungen für Automatikbetrieb

1. Bodenheizung:

Bodentemperatur (BT) < **18,0°C** ein

Bodentemperatur (BT) > **20,0°C** aus

2. Kistendeckel:

Kisteninnentemperatur mind. **300** Sekunden > **26,0°C**: Kistendeckel auf

Kisteninnentemperatur mind. **300** Sekunden < **24,0°C**: Kistendeckel zu

Öffnungs- und Schließvorgang läuft in **10%** Schritten

3) Gebäude:

Gebäudeinnentemperatur (GT) mind. **300** Sekunden > **15,0 °C**: Stegplatte SÜD auf

Gebäudeinnentemperatur (GT) mind. **300** Sekunden < **13,0 °C** Stegplatte SÜD zu

Gebäudeinnentemperatur (GT) mind. **300** Sekunden > **28,0 °C** Stegplatte NORD auf

Gebäudeinnentemperatur (GT) mind. **300** Sekunden < **26,0 °C** Stegplatte NORD zu

Öffnungs- und Schließvorgang läuft oben in **10%** Schritten

3. Wind:

Windgeschwindigkeit mind. **300** Sekunden > **10** m/s Stegplatte NORD zu

Windgeschwindigkeit mind. **300** Sekunden > **10** m/s Stegplatte SÜD zu

b) Grundeinstellungen für Handbetrieb

1. Tierkontrolle/Einstreuen:

Automatik Kistendeckel aus

Kistendeckel auf/zu

2. Stoßlüftung

Automatik Gebäude aus

Stegplatten SÜD und NORD auf/zu

3. Besucherstellung

Automatik Gebäude aus

Automatik Kistendeckel aus

Stegplatte SÜD unten auf

Kistendeckel auf

4. Waschen

Automatik Bodenheizung aus

Automatik Kistendeckel aus - Kistendeckel auf

Automatik Gebäude aus - Stegplatten SÜD und NORD zu

Automatik Wind aus

5. Leerstand

Automatik Bodenheizung aus

Automatik Kistendeckel aus - Kistendeckel zu

Automatik Gebäude aus - Stegplatten SÜD und NORD zu

Automatik Wind aus

6. Aufheizen

Automatik Bodenheizung ein

Automatik Kistendeckel aus - Kistendeckel zu

Automatik Gebäude aus - Stegplatten SÜD und NORD zu

Automatik Wind aus

(Hinweis: Zusatzheizung erforderlich)

7. Gülleaufrühren

Automatik Kistendeckel aus - Kistendeckel auf

Automatik Gebäude aus - Stegplatte SÜD unten auf, Stegplatte NORD auf

c) Alarmwerte

1. Technischer Alarm:

Stromausfall

Ausfall von Bodenheizung

Ausfall von Antriebsmotoren

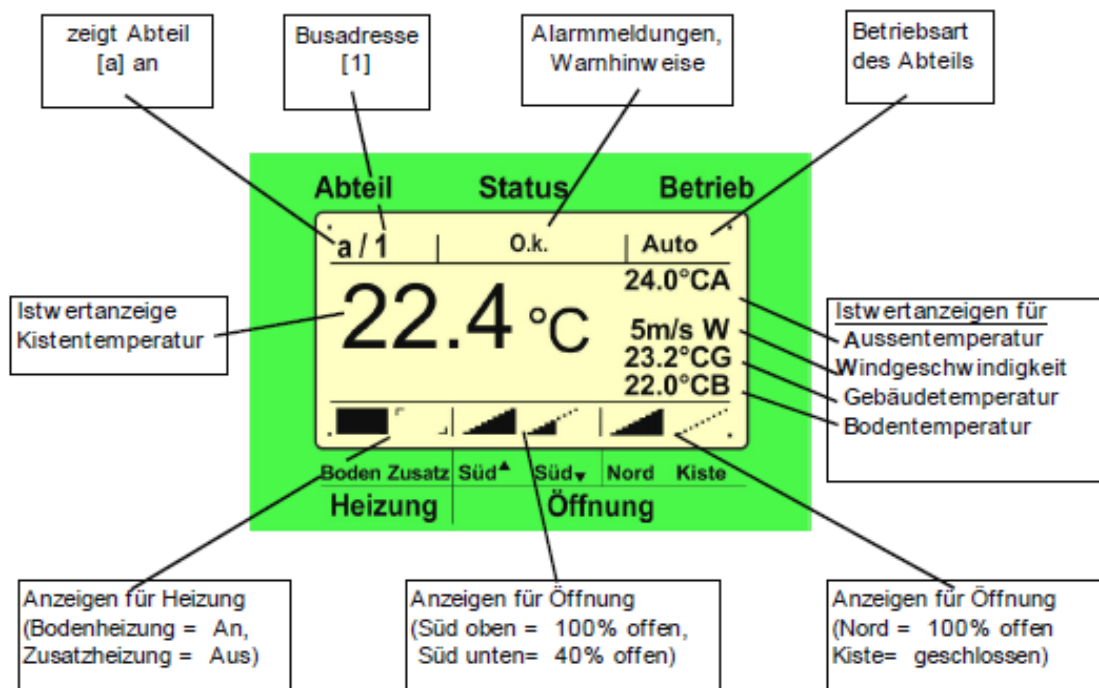
Ausfall von Regelgerät, Messgeräten oder Sensoren

2. Stallklimaalarm

Kisteninnentemperatur mind. **300** Sekunden < **16,0 °C**: **ALARM**

Gebäudeinnentemperatur mind. **300** Sekunden < **5,0 °C**: **ALARM**

Klimacomputer SC 2000-1 / Außenklimastall LSZ Boxberg



	Abbruch	<ul style="list-style-type: none"> wechselt eine Menüebene nach oben Verwerfen von Parameteränderungen
	Bestätigen	<ul style="list-style-type: none"> Aufruf der Menüs und Untermenüs Bestätigen von Parameteränderungen
	Auswählen	<ul style="list-style-type: none"> Drehgeber zur Auswahl der Menüebenen und zum Ändern der Parameter
	Hilfe	<ul style="list-style-type: none"> ruft die Menübezogene Hilfe auf (Funktionserklärungen)
	Wechseln	<ul style="list-style-type: none"> keine Funktion

Abbildung 50: Display und Funktionen der Abteilsteuergeräte

	Hauptmenü:	Untermenü:	Auf- lösung	Vorein- stellung	Min- Wert	Max-Wert	eigene Einstellungen
1	KistenTemp	Istwert	zeigt Istwerte der letzten 24h an				
2	GebäudeTemp	Istwert	zeigt Istwerte der letzten 24h an				
3	AußenTemp	Istwert	zeigt Istwerte der letzten 24h an				
4	BodenTemp	Istwert	zeigt Istwerte der letzten 24h an				
5	Kiste	Istwert	zeigt Istwerte der letzten 24h an				
		T-Öffnen	0,5°C	26°C	5,0 °C	35°C	
		Hysterese	0,1K	2K	1K	5K	
		Minimum	1%	0%	0%	50%	
		Maximum	1%	100%	10%	100%	
6	Klappe Süd oben	Istwert	zeigt Istwerte der letzten 24h an				
		T-Öffnen	0,5°C	15°C	5°C	35°C	
		Hysterese	0,1K	2K	1K	5K	
		Minimum	1%	0%	0%	50%	
		Maximum	1%	100%	10%	100%	
7	Klappe Süd unten	Istwert	zeigt Istwerte der letzten 24h an				
		T-Öffnen	0,5K	0,0K	0,0K	35	
		Hysterese	0,1K	2K	1K	5K	
		Minimum	1%	0%	0%	50%	
		Maximum	1%	100%	10%	100%	
8	Klappe Nord	Istwert	zeigt Istwerte der letzten 24h an				
		T-Öffnen	0,5°C	28°C	5°C	35°C	
		Hysterese	0,1K	2K	1K	5K	
		Minimum	1%	0%	0%	50%	
		Maximum	1%	100%	10%	100%	
9	Bodenheizung	Istwert ein/aus	zeigt Istwerte der letzten 24h an				
		Einsetzpunkt ein/aus	0,1°C	18°C	5°C	25°C	
10	Zusatzheizung	Istwert ein/aus	zeigt Istwerte der letzten 24h an				
		Einsetzpunkt ein/aus	0,1°C	19°C	5°C	25°C	
11	Alarm	Istwert	zeigt Istwerte der letzten 24h an				
		Untertemperatur Kiste	0.1°C	16°C	5°C	20°C	
		Untertemperatur Gebäude	0.1°C	5°C	5°C	20°C	
		Übertemp. [absolut] Kiste	0.1°C	35°C	25°C	40°C	
		deaktivieren	1h	0h	0h	200h	
12	Betriebsart	Betriebsart	EINSTR., AUTO, LÜFTEN, LEER, REINIGEN, GÜLLE, AUFHEIZEN, BESUCH				
13	Uhr	Zeit	Zeit einstellen				
		Datum	Datum einstellen				
14	Sichern	Daten	speichert aktuelle Einstellungen				

Abbildung 51: Übersicht der Parameter im Bedienmenü

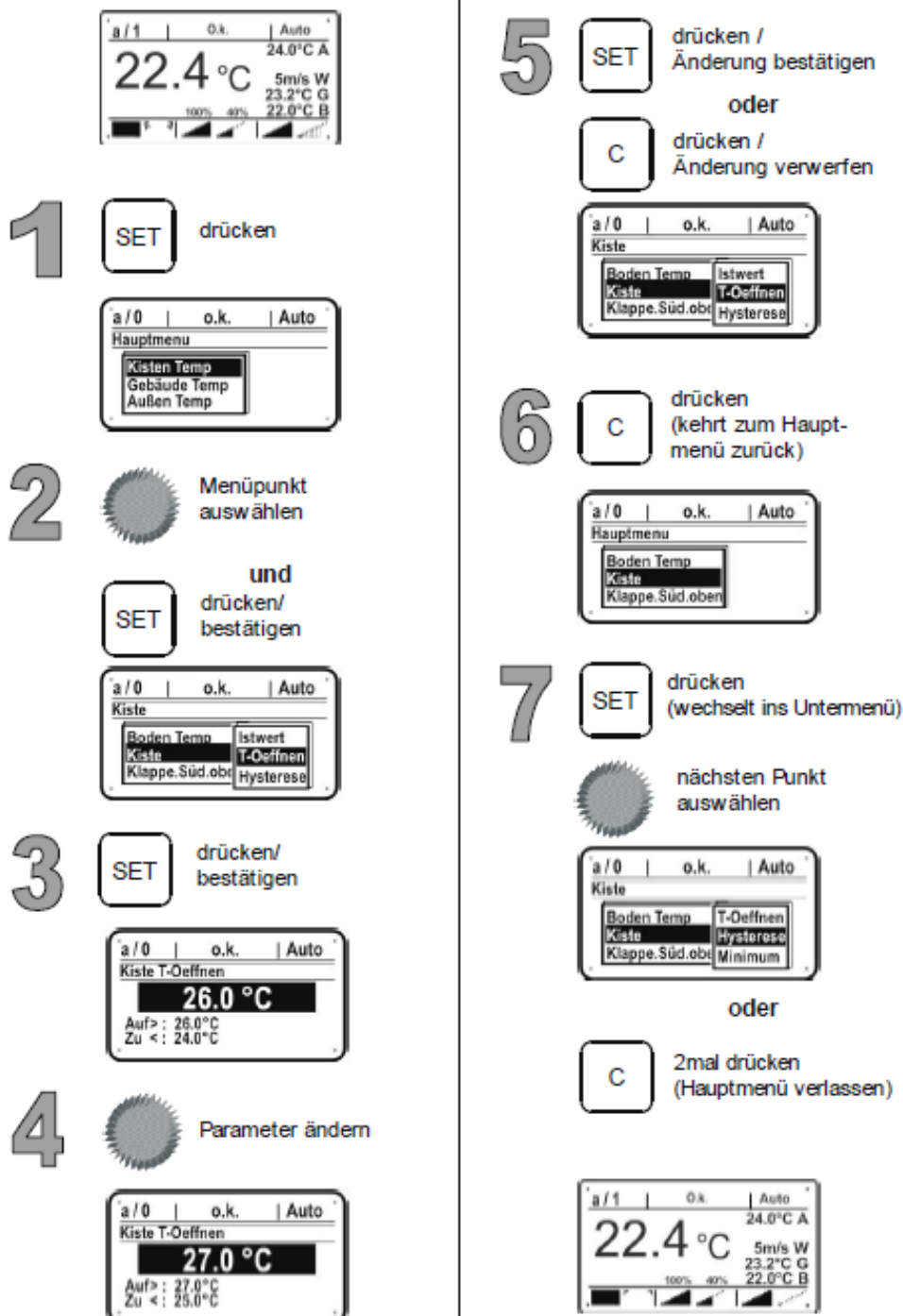


Abbildung 52: Vorgehensweise beim Einstellen

