

Sachbericht zum Verwendungsnachweis



Individualisierte und züchterische Hitzestressprävention mittels Digitalisierung in der Milchkuhhaltung

Zahlungsempfänger	Dr. Hornecker Softwareentwicklung und IT-Dienstleistungen, Leo-Wohleb-Str. 6, 79098 Freiburg
Förderkennzeichen	281C207D19
Vorhabenbezeichnung	Individualisierte und züchterische Hitzestressprävention mittels Digitalisierung in der Milchkuhhaltung (DigiMuh) – Teilprojekt D
Laufzeit des Vorhabens	01.03.2021 bis 31.12.2024
Berichtszeitraum	01.03.2021 bis 31.12.2024
Autor	Dr. Achim Hornecker
Projekt-Homepage	www.digimuh.de

Auflistung aller Verbundpartner:

Einrichtung/ Firma	Kontaktperson	Adresse
Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e.V. (ATB)	Dr. Gundula Hoffmann	Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg (MLU)	Prof. Dr. Hermann H. Swalve	Theodor-Lieser-Str. 11, 06120 Halle (Saale)
smaXtec GmbH	Alexander Oberegger	Salzburger Str. 10, 83404 Ainring
Wille Engineering	Dipl.-Ing. Sebastian Wille	Volkerstraße 14, 65795 Hattersheim
Förderverein Bioökonomie-forschung e.V. (FBF)	Elena Frenken	Adenauerallee 174, 53113 Bonn

I.	KURZBERICHT	2
1.	Ursprüngliche Aufgabenstellung sowie der wissenschaftliche und technische Stand, an den angeknüpft wurde	2
2.	Ablauf des Vorhabens	3
3.	Wesentliche Ergebnisse sowie ggf. Zusammenarbeit mit anderen Stellen	4
II.	EINGEHENDE DARSTELLUNG	5
1.	Im Rahmen des Vorhabens durchgeführte Arbeiten, Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse (Gegenüberstellung mit vorgegebenen Zielen)	5
2.	Gegenüberstellung mit den vorgegebenen Zielen.....	15
3.	Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises.....	16
4.	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeit.....	16
5.	Voraussichtlicher Nutzen (insbesondere die Verwertbarkeit des Ergebnisses, konkrete Planungen für die nähere Zukunft im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans	17
6.	Während der Durchführung des Vorhabens dem Zuwendungsempfänger bekannt gewordene Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen.....	18
7.	Erfolgte und geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse.....	19
	LITERATURVERZEICHNIS	20

I. KURZBERICHT

1. Ursprüngliche Aufgabenstellung sowie der wissenschaftliche und technische Stand, an den angeknüpft wurde

Ziel des Projektes DigiMuh war die Verbesserung des Tierwohls, der Tiergesundheit und der Nutzungsdauer von Milchkühen durch eine gezielte Prävention von Hitzestress und ein integriertes Gesundheitsmonitoring. Zudem wurde neben akuten Belastungen auch die langfristige (züchterische) Verbesserungen der Hitzestress-Toleranz von Milchkühen erforscht. In einer modernen Datenplattform wurden Daten aus verschiedensten digitalen Anwendungen (sogenannte Insellösungen) zusammengeführt, um sie besser verwalten, analysieren und dem Landwirt letztlich besser zugänglich machen zu können. Dem Landwirt sollen sowohl Tiere mit beginnender Hitzestressbelastung als auch Kühe mit beginnenden Erkrankungen aufgezeigt werden. Somit sollte ein frühzeitiges Handeln möglich werden, was zu Verbesserungen des Tierwohls führt und indirekt umfangreiche Daten für züchterische Selektionsentscheide liefert.

Der Klimawandel und hohe Milchleistungen lassen Kühe anfälliger für Hitzestress werden. Hitzestress wiederum beeinflusst das Tierwohl, die Milchleistung (ca. 2,4 kg weniger Milch pro Tier und zusätzlichem Tag mit moderatem Hitzestress) und die Erkrankungsrate, was zu ökonomischen Verlusten führt [1-3]. Daher wurden in den vergangenen Jahren zahlreiche Untersuchungen durchgeführt, um geeignete Parameter zu definieren, die Hitzestress von Kühen frühzeitig und individuell erkennbar machen. Hitzestress wurde dabei vorrangig durch Klimamessungen (ab welchem THI = Temperatur-Feuchte-Index) bestimmt. Folgende Parameter zeigten demnach Abweichungen unter Hitzestress: Erhöhung der Körpertemperatur, Atemfrequenz, Herzfrequenz und Wasseraufnahme sowie Reduktion der Futteraufnahme, der Wiederkautätigkeit, der täglichen Liegedauer, der Reproduktionsleistung und der Milchmenge sowie einer Beeinflussung der Milchinhaltsstoffe [4-17].

Die Toleranz gegenüber Hitzestress ist zumindest teilweise auch genetisch bedingt [18]. Eigene Untersuchungen zeigten, dass die Hitzestressbelastung auch von individuellen Faktoren (z.B. Milchleistung, Alter, Laktationsnummer) abhängig ist, was verdeutlicht, dass die alleinige Analyse des Stallklimas nicht zielführend ist, sondern individuelle Parameter herangezogen werden sollten. Bei Milchkühen werden bereits erfolgreich tierindividuelle Sensorsysteme eingesetzt, beispielsweise zur Brunsterkennung oder beim Melkvorgang.

Dabei werden die wichtigsten Parameter bisher hauptsächlich mit externen Messmethoden bestimmt, aber auch interne Bolus-Sensoren (z. B. smaXtec) sind mittlerweile etabliert.

2. Ablauf des Vorhabens

Bereits vor Projektstart wurde die Agrargenossenschaft Sonnewalde als Praxisbetrieb für das Projekt ausgewählt und zum Projektbeginn mit den technischen Sensorsystemen (u.a. Klimasensoren, Tiersensoren, Gateways) ausgestattet. Anschließend konnten alle Tier- und Stalldaten kontinuierlich erfasst und automatisch übermittelt werden. Im weiteren Projektverlauf wurden zusätzliche Tiersensoren (smaXtec Classic-Boli, ph-Boli und Gouna Atemsensoren) durch die Herdenmanagerin der AG Sonnewalde installiert. Während der gesamten Projektlaufzeit fand ein intensiver kooperativer Austausch mit allen Partnern statt, um Entwicklung, Aufbau und die stetige Verbesserung der Datenplattform und des Dashboards voranzutreiben. Zum Know-how-Transfer nahm Dr. Hornecker an diversen DigiTier-Veranstaltungen teil, der fachliche Austausch floss in die Entwicklung der Datenanalyseplattform mit ein.

Dr. Hornecker war außerdem für das Hosting und die Pflege der Projekt-Homepage zuständig, welche den Projektverlauf und Ergebnisse auch außerhalb des Projektkonsortiums kommuniziert.

3. Wesentliche Ergebnisse sowie ggf. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Wesentliche Ergebnisse des DigiMuh-Projekts für Dr. Hornecker waren:

- die Anbindung der DigiMuh-Cloud-IoT-Plattform im Rahmen von Filterfunktionen und die Übermittlung der Daten an die Big-Data-Verarbeitungsmethoden des Dashboards.
- die Entwicklung eines Dashboards zur Speicherung, Aufbereitung, Visualisierung, Analyse und zum Export sämtlicher Stallklima-, Tier- und Managementdaten unter Wahrung des Datenrechts.
- die Schaffung einer Möglichkeit zur Bestimmung und Vermessung der Parameter für tierindividuellen Hitzestress auf Basis der erfassten Daten.

Der rege Austausch der Projektpartner (monatliche online Meetings, 2 Präsenztreffen/ Jahr, viele bilaterale Meetings) trug wesentlich zum Gelingen des Gesamtprojektes sowie zum Erreichen der Ziele des Teilprojektes von Dr. Hornecker bei. Ein weiterer Austausch im Rahmen des DigiTier-Netzwerkes lieferte wertvolle Fachkenntnisse und Impulse für die Entwicklung.

II. EINGEHENDE DARSTELLUNG

1. Im Rahmen des Vorhabens durchgeführte Arbeiten, Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse (Gegenüberstellung mit vorgegebenen Zielen)

Auflistung der Arbeitspakete und der von Dr. Hornecker bearbeiteten Inhalte

In den folgenden Arbeitspaketen war Dr. Hornecker nicht direkt beteiligt:

AP 1 Feinspezifikation der Parameter

AP 2 Datenerhebung

AP 3 IoT-Datenplattform entwickeln, Datentransfer, Datenrecht

Dennoch wurden Dr. Hornecker von den Projektpartnern bereits in einem sehr frühen Stadium Inhalte und Ergebnisse aus diesen Arbeitspaketen bereitgestellt. Diese bestanden zunächst aus ersten Testdaten sowie aus Informationen zu den erfassenden Sensoren und der Betriebsumgebung. So konnten die Rohdaten bereits frühzeitig gesichtet werden. Es konnten so schon zu Beginn des Projektes Strategien zum Umgang mit Datenlücken und Ausreißer-Daten ausgearbeitet werden. Außerdem konnten erste Ansätze zum Umgang mit diesen hochgradig heterogenen Daten entwickelt werden. Ebenso konnte früh ein Augenmerk auf unterschiedliche Zeitstempel der Sensoren gerichtet werden. Diese stellen in Projekten, bei denen die primären Daten aus Zeitreihen bestehen, stets eine Herausforderung dar, da auf unterschiedliche Datenformate, Abstraten sowie Referenz-Zeitzone (UTC, lokale Zeit, Sommer-Winterzeit-Umschaltung) geachtet werden muss.

Auch konnte sich bereits frühzeitig in die Theorie der Hitzestressindikatoren mit Hilfe von wissenschaftlichen Fachartikeln eingearbeitet werden.

Basierend auf diesen ersten Daten und Ergebnissen konnte bereits eine erste Softwarearchitektur für die Auswertplattform sowie deren interne Datenstrukturen erarbeitet werden. Erste Demonstratoren konnten dem Konsortium im Rahmen der Projekttreffen präsentiert werden. Ansonsten ist für diese Arbeitspakete auf den Sachbericht unserer Projektpartner ATB, SmaXtec und Wille Engineering verwiesen.

AP 4 Modellierung, Algorithmen entwickeln

Im intensiven Austausch mit dem ATB und Wille Engineering entstand ein Dashboard, das es möglich macht, alle aus Sonnewalde verfügbaren Sensordaten auszuwählen, zu exportieren und zu analysieren.

Hierbei war es zunächst notwendig, eine Anbindung an die IoT-Datenplattform zu entwickeln. Diese basiert auf der Datenbank InfluxDB, die sich speziell zum Speichern und Abfragen von Zeitreihen eignet. Die Daten können in Echtzeit abgerufen werden, es können aber auch historische Daten ausgewählter Zeiträume ausgelesen werden.

Auf Grund der begrenzten Bandbreite, des großen Umfangs sowie der hohen Heterogenität der Daten müssen diese bereits beim Abruf vorgefiltert und teilweise aggregiert werden.

Die Entwicklung des Dashboards konzentrierte sich im Rahmen des Projektes auf die Analyse der erfassten historischen Daten. Algorithmen und Visualisierungen können in einer späteren Phase der Entwicklung jedoch auch auf Echtzeitdaten übertragen werden. Somit ergibt sich für die Funktionalität des Dashboards ein Aufbau aus den folgenden Teilen:

1. Startfenster mit Filtermöglichkeiten
2. Abruf und Aufbereitung der Daten anhand der Filterparameter
3. Berechnung und Anzeige von statistischen Kenngrößen
4. Analyseverfahren
5. Visualisierungen
6. Exportfunktionen von Daten und Grafiken

Diese Liste spiegelt auch den Aufbau des Tiermodells sowie die Reihenfolge der Arbeit mit der Plattform wider.

Zur Umsetzung dieser Bestandteile wurde eine modulare und dynamische Architektur in der Technologie R/Shiny konstruiert. Berechnungs- und Analyseverfahren können dynamisch über R-Skripte in das Dashboard neu integriert werden. So ist jederzeit eine Erweiterung um neue Methoden und Darstellungen möglich, ohne in die Gesamtstruktur des Dashboards einzugreifen.

Am Ende des Arbeitspaketes stand eine funktionsfähige Plattform zur Filterung, Aufarbeitung, Analyse und Visualisierung zur Verfügung, die in den nachfolgenden Arbeitspaketen zur gezielten Entwicklung und Validierung von Verfahren zur Bestimmung von individuellem Hitzestress bei Milchkühen verwendet werden kann. Auf die detaillierte Beschreibung der Plattform wird in den folgenden Abschnitten noch genauer eingegangen.

AP 5 Genomweite Assoziierung (GWAS)

Siehe Sachbericht unseres Projektpartners MLU

AP 6 Genomische Zuchtwertschätzung und Selektion

Siehe Sachbericht unseres Projektpartners MLU

AP 7 Integration von Informationen, Prognosen geben

Aufbauend auf der in AP4 entwickelten Plattform und den Modellen wurden im Rahmen dieses Arbeitspaketes konkrete Verfahren zur Charakterisierung von Hitzestress bei Milchkühen entwickelt und in das Dashboard integriert. Hierbei haben sich insbesondere zwei Verfahren als besonders vielversprechend erwiesen, die im Rahmen des Arbeitspaketes weiter verfeinert und ausgearbeitet wurden, die Clusteranalyse und die stückweise lineare Regression (Broken-Stick-Analyse).

Die Clusteranalyse ermöglicht die Untersuchung einer hochdimensionalen Datenmenge auf Basis des Tiermodells und ermöglicht eine erste Vorselektion der für die Hitzestress-Charakterisierung in Frage kommenden Parameter.

Die Broken-Stick-Analyse ermöglicht darauf aufbauend den gezielten Vergleich von zwei Parametern. Im Falle des Eintretens von Hitzestress tritt eine Diskontinuität im Verlauf der Parameter ein, die mit dieser Methode gezielt bestimmt und vermessen werden kann. Beispielsweise ist die Kuh in der Lage, einen Anstieg der Umgebungstemperatur und anderer Umgebungsparameter bis zu einem gewissen Grad zu kompensieren und ihre Körpertemperatur weitgehend konstant zu halten. Wird jedoch ein Schwellwert überschritten, so tritt der Hitzestress ein und die Körperparameter verändern sich nicht mehr kontinuierlich, sondern sprunghaft, was in einem Knick der linearen Regression sichtbar wird. Das Verfahren bietet daher die Möglichkeit, quantitative Größen und Schwellwerte für Hitzestress aus den Messdaten abzuleiten. Somit sind tierindividuelle Hitzestress-Vorhersagen möglich.

AP 8 PC-Anwendung, App entwickeln

Es wurde ein Prototyp des Dashboards zum Import, zur Analyse und zur Visualisierung der Daten der IoT-Datenplattform entwickelt. Diese basierte zunächst auf einer Client-Server-Architektur, die für das Projekt auf Basis einer Docker-Anwendung umgesetzt wurde. Die Bedienung erfolgt über einen Webbrowser auf PC-Systemen (Web-App). Auf Basis der modularen Architektur wurde die Anwendung im Rahmen des Arbeitspaketes dahingehend weiterentwickelt, dass das Dashboard für die existierenden historischen Daten über das Projektende hinaus als prototypische PC-Anwendung auch direkt genutzt werden kann.

Somit steht eine prototypische Software zur Verfügung, die für Forschungszwecke im Bereich des Tierwohls eingesetzt werden kann. Es ist geplant, diese im Rahmen zukünftiger Entwicklungen sowohl methodisch als auch im Hinblick auf weitere Daten und IoT-Systeme zu erweitern und zu einem Produkt zur Anwendung in der Forschung auszubauen. Außerdem wird Dr. Hornecker die Plattform und die entwickelten Modelle für zukünftige Forschungsanwendungen und Projekte nutzen.

Siehe Sachbericht unseres Projektpartners ATB

Die Beschreibung des Dashboards im Detail

In Ergänzung zur Beschreibung in den Arbeitspaketen erfolgt in diesem Abschnitt eine detaillierte Beschreibung der prototypischen Software. Das Dashboard ist in sieben Bereiche unterteilt, wobei der erste Bereich die Datenauswahl darstellt.

1. Datenauswahl und Vorfilterung

Zeitraumauswahl: Nutzer können den Analysezeitraum festlegen. Insbesondere können Zeiträume mit signifikant hohen Temperaturen ausgewählt werden, in denen mit Hitzestress zu rechnen ist.

Filteroption für Kühe mit Gouna-Daten (Atemsensoren): Es können nur Kühe mit Atemfrequenzsensor vorgefiltert werden. Die Atemsensoren wurden im Projekt experimentell eingesetzt und sollten teilweise selektiv ausgewertet werden.

Sensor-Auswahl: Dynamische Anzeige von verfügbaren Kuh- und Klimasensoren basierend auf den gewählten Kriterien. Sensoren umfassen:

- **Kuhensensoren:** SmaXtec (Raw und Derived), BCS, Gouna, Herdeplus. Für die Smaxtec derived Daten werden für verschiedene Sensoren bei Auswahl mehrerer Kühe eine Durchschnittsberechnung dieser Messwerte (Aggregation) durchgeführt.
- **Klimasensoren:** SmaXtec Climate (mit Berechnung von drei verschiedenen THI-Werten bei Auswahl von „hum“ und „temp“), zahlreiche weitere projektspezifische Klimasensoren.

Dynamische Anpassung der Messtypen: Bei den projektspezifischen Sensoren werden dynamisch die spezifischen Messtypen basierend auf der Auswahl angezeigt.

☐ TH-4
☐ TH-5
☐ TH-6
☐ TH-7
☐ TH-8
☒ TH-9
☐ LI-1
☐ PS-1
TH-9
 Measurement Types: raw_hum, raw_temp

Hobo
☐ HOBO_21136553
☒ HOBOClimateSensors_21141733
☐ HOBOClimateSensors_21141734
☐ HOBOClimateSensors_21141735
☐ Treibergitter_21141737
HOBOClimateSensors_21141733
 Measurement Types: dew_point, hum, temp

Auswahl von Stallsensoren und Indizes

Datenselektion: Auswahl von Kühen (über IDs) und Ställen (über Namen) sowie Import der entsprechenden Daten.

Backend-Datenverarbeitung:

- Importierte Daten werden über Abfragen angefragt und bereinigt.
- Leere Einträge werden entfernt und Zeitstempel in ein einheitliches Format überführt.
- Daten werden auf einer zeitlichen Achse synchronisiert und fehlende Werte über interpolierende Verfahren ersetzt.

DigiMuh

- Daten
- Übersicht
- Einfache Graphen
- Diagramme
- Korrelation
- Stückweise lineare Regression
- Clustering in 3D

1) Zeitraum wählen
Start time span
01.05.2024
End time span
01.07.2024

Sensoren

Nur Kühe mit Gouna Daten

2) Kuh Sensoren

Smaxtec raw

SmaXtec derived
☒ act
☐ act_decrease_index
☐ act_estrus_index
☐ act_estrus_preprocess
☐ act_group_heat_index
☐ act_group_ratio
☐ act_index
☐ act_pasture_index
☐ calving_index
☐ drink_cycles_v2
☐ heat_index
☐ in_reticulum
☐ mot_period
☐ mot_pulse_width
☐ mot_pulse_width_median
☐ rum_classification
☐ rum_dec_index
☐ rum_index
☒ temp
☐ temp_dec_index
☐ temp_group_svm_inc_index
☐ temp_halight_index

Auswahl von Zeitbereichen, Kuhsensoren und optional Gouna-Daten

2. Übersicht

Nach dem Import wird zunächst eine zusammenfassende Übersicht der ausgewählten Daten mit statistischen Kennzahlen angezeigt. Diese umfassen Anzahl der Datenpunkte, Mittelwert, Standardabweichung, Zentralwert, getrimmter Mittelwert, Residuen, Minimum, Maximum, Spannweite, Schiefe, Kurtosis und Standardabweichung.

Export Button: Die vorgefilterten Rohdaten werden in csv-Format zum Download angeboten. Das Format ist an gängige Statistikprogramme angepasst worden.

Kurzübersicht über die Daten:

Show

10

entries

Search:

	vars	Anzahl Datenpunkte	Mittelwert	Standard Abweichung	Zentralwert	Getrimmter	Residuen	Minimum	Maximum	Skala	Schiefe	Kurtose	Standard Fehler
barn_hum_NewBridge	1	33447	76.79	11.62	79.49	77.41	13.3	49.88	94.91	45.03	-0.39	-1.1	0.06
barn_temp_NewBridge	2	33447	20.7	4.59	20.18	20.57	4.64	9.67	31.31	21.64	0.22	-0.46	0.03
cow_act_276001264514981	3	33447	5.16	2.63	5.12	5.05	2.85	0.12	17.25	17.13	0.44	0.12	0.01
cow_respirationFrequency_276001264706001	4	33447	32.73	12.06	31	32.96	8.9	1	68	67	-0.11	0.31	0.07
cow_respirationFrequency_276001264706017	5	33447	40.41	11.85	37	39.39	10.38	17	105	88	0.71	0.39	0.06
cow_respirationFrequency_276001264706018	6	33447	36.62	14.49	32	35.31	13.34	16	69	53	0.71	-0.59	0.08
cow_act_276001264514514	7	33447	2.66	1.32	2.38	2.52	1.25	0.5	16.25	15.75	1.68	7.68	0.01
cow_act_276001264706001	8	33447	3.18	2.03	2.62	3.03	2.28	0.33	13.17	12.84	0.55	-0.79	0.01
cow_act_276001264706017	9	33447	1.19	1.21	0.96	1.01	1.23	0	10.21	10.21	1.9	6.61	0.01
cow_act_276001264706018	10	33447	3.35	1.72	3.17	3.26	2.19	0.56	9.12	8.56	0.37	-0.91	0.01

Showing 1 to 10 of 20 entries

Previous

1

2Next

Exportieren

Übersicht über die importierten Daten

3. Einfache Graphen

Zur visuellen Inspektion der Zeitreihen wurden grafische Darstellungen implementiert. Diese stellen folgende Funktionen bereit.

Zeitraumauswahl: Eingrenzung des Analysezeitraums über Eingabefelder (Datum und Uhrzeit) oder direkt dynamisch im Diagramm.

Kanalauswahl und Durchschnittsberechnung: Auswahl spezifischer Kanäle und Berechnung des Durchschnitts für die gewählten Kanäle.

Exportfunktionen: Export der gefilterten und ausgewählten Daten inklusive Zeitraum sowie des erstellten Diagramms zur weiteren Verwendung.



Darstellung der Daten als Zeitreihen

4. Diagramme

Um komplexere Zusammenhänge zwischen den Daten zu visualisieren wurden Funktionen zur dynamischen Generierung von grafischen Darstellungen implementiert. Diese stellen eine (erweiterbare) Menge an Diagrammtypen bereit, per Drag-and-Drop können Kanäle und Parameter zur Darstellung ausgewählt werden.

5. Korrelation:

Korrelationen ermöglichen erste Untersuchungen von potenziellen kausalen Zusammenhängen nach der visuellen Inspektion der Daten. Dieser Bereich umfasst die folgenden Funktionalitäten:

Zeitausschluss: Möglichkeit bestimmte Zeitspannen (von-bis -> Datumsweise) aus der Analyse auszuschließen, um die Analyse auf typische Bereiche einzuschränken.

Kanalauswahl: Auswahl spezifischer Kanäle zur Analyse der Korrelation

Melkzeiten-Filter: Option, die Melkzeiten der Kühe entweder auszuschließen oder ausschließlich diese zu analysieren.

Darstellung: Die Korrelationen der ausgewählten Kanäle werden als Plot farblich dargestellt, die Farbskala und Größe der einzelnen Punkte wird je nach Ergebnis unterschiedlich dargestellt. Zusätzlich werden die jeweiligen Korrelationen als Übersicht mit Werten dargestellt. Durch jeweilige Schaltflächen kann sowohl das Diagramm, als auch eine Übersicht exportiert werden.



Visualisierung der Korrelationen

6. Stückweise lineare Regression / Broken-Stick-Analyse:

Diese Funktionalität des Dashboards bietet eine der zentralen Grundlagen zur qualitativen und quantitativen Bestimmung der Parameter für tierindividuellen Hitzestress. Die Funktionen sind im Einzelnen:

Zeitausschluss: Festlegung von Zeitspannen, die von der Analyse ausgeschlossen werden sollen.

Melkzeiten-Filter: Möglichkeit, die Melkzeiten der Kühe zu filtern oder gezielt zu analysieren.

Kanalauswahl: Auswahl mehrerer Kanäle für die Analyse, sowohl für die x- als auch die y-Achse.

Auswahlmöglichkeiten: Es besteht die Möglichkeit alle berechneten Regressionen an oder abzuwählen. Hierbei wird dynamisch die Plot- und Statistikanzeige aktualisiert.

Stückweise lineare Regression:

Zeitspanne auswählen (Daten innerhalb dieses Bereiches werden ausgeschlossen)

 to

Filter Melkzeiten:

- ☐ Ohne Melkzeiten
☐ Nur Melkzeiten
☒ Keine Filterung

Kanalauswahl x

cow_temp_276001264514514
cow_temp_276001264514990
cow_temp_276001264706001

Kanalauswahl y

barn_hum_NewBridge
barn_temp_NewBridge

 Berechnen

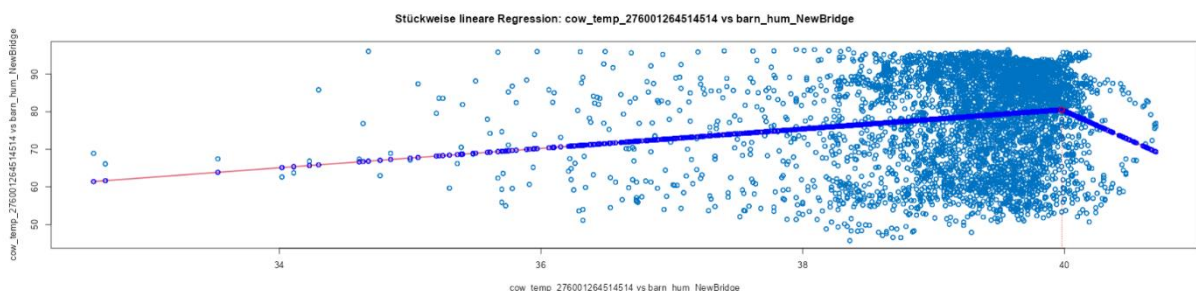
Wählen Sie die anzuzeigenden Plots aus:

- ☒ cow_temp_276001264514514_vs_barn_hum_NewBridge
☒ cow_temp_276001264514990_vs_barn_hum_NewBridge
☐ cow_temp_276001264706001_vs_barn_hum_NewBridge
☒ cow_temp_276001264514514_vs_barn_temp_NewBridge
☒ cow_temp_276001264514990_vs_barn_temp_NewBridge
☒ cow_temp_276001264706001_vs_barn_temp_NewBridge

Parameter der stückweisen linearen Regression

Berechnung und Darstellung: Alle ausgewählten x- und y-Kanäle werden berechnet und die Ergebnisse als Plots sowie die ermittelten Breakpoints angezeigt.

cow_temp_276001264514514 vs barn_hum_NewBridge



cow_temp_276001264514990 vs barn_hum_NewBridge

Grafische Anzeige der Ergebnisse der stückweisen linearen Regression

Exportieren (Plots)

Exportieren (Breakpoints CSV)

```

$cow_temp_276001264514514_vs_barn_hum_NewBridge
$cow_temp_276001264514514_vs_barn_hum_NewBridge$pair
[1] "cow_temp_276001264514514 vs barn_hum_NewBridge"

$cow_temp_276001264514514_vs_barn_hum_NewBridge$slopes
$cow_temp_276001264514514_vs_barn_hum_NewBridge$slopes$x
      Est. St.Err. t value CI(95%).l CI(95%).u
slope1  2.5797 0.07769 33.204   2.4274   2.7319
slope2 -15.5060 1.31580 -11.784  -18.0840  -12.9270

$cow_temp_276001264514514_vs_barn_hum_NewBridge$summary

***Regression Model with Segmented Relationship(s)***

Call:
segmented.lm(obj = lm1, seg.Z = ~x)

Estimated Break-Point(s):
      Est. St.Err
psil.x 39.98  0.016

Coefficients of the linear terms:
      Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -22.61023    3.04607  -7.423 1.17e-13 ***
x             2.57966    0.07769 33.204 < 2e-16 ***
U1.x         -18.08523    1.31806 -13.721    NA
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 12.15 on 44617 degrees of freedom
Multiple R-Squared: 0.02708, Adjusted R-squared: 0.02701

Boot restarting based on 9 samples. Last fit:
Convergence attained in 2 iterations (rel. change 2.5224e-09)

```

Numerische Anzeige der Ergebnisse der stückweisen linearen Regression und Exportfunktion

Exportoptionen: Möglichkeit, alle Ergebnisse oder ausgewählte Plots und Breakpoints herunterzuladen.

7. Clustering in 3D

Dieses Verfahren bietet eine mehrdimensionale Kategorisierung der Messdaten und stellt damit sowohl ein Analyseverfahren an sich als auch eine Vorstufe zur Broken-Stick-Analyse dar. Die Funktionalitäten sind:

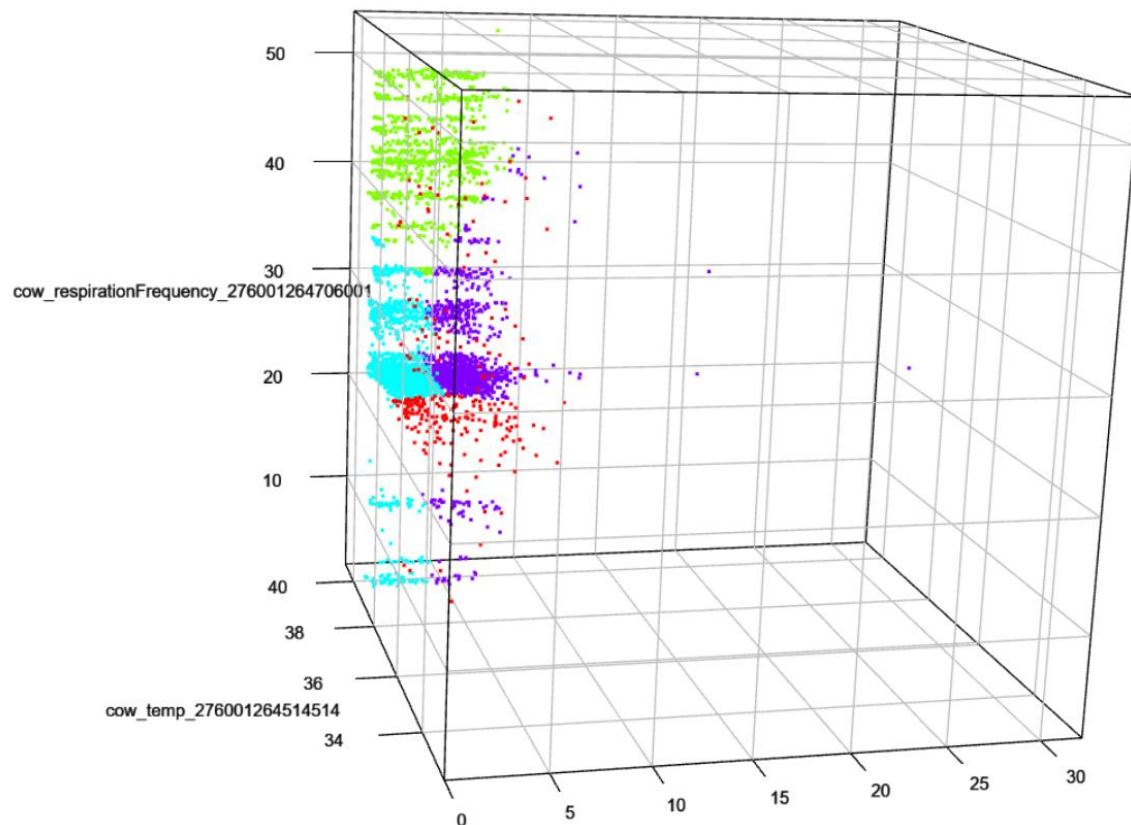
Zeitausschluss: Auswahl von Zeitspannen, die von der Analyse ausgeschlossen werden sollen.

Melkzeiten-Filter: Möglichkeit, die Melkzeiten der Kühe zu filtern oder gezielt zu analysieren.

Kanalauswahl und Clusteranzahl: Auswahl der Kanäle für x, y und z sowie Festlegung der Anzahl der Cluster.

3D-Visualisierung: Darstellung der Cluster in einer interaktiven 3D-Visualisierung, um Muster und Zusammenhänge zu erkennen. Das Modell kann über die Maus gedreht werden, zudem besteht die Option herein- und herauszuzoomen.

Exportfunktion: Das Modell kann als .png-Datei heruntergeladen werden.



3D-Darstellung der Clusteranalyse

2. Gegenüberstellung mit den vorgegebenen Zielen

Das Forschungsprojekt DigiMuh verfolgte das Ziel, innovative Ansätze zur individuellen und züchterischen Hitzestressprävention bei Milchkühen zu entwickeln. Hierzu wurde eine umfassende Datenplattform geschaffen, die tierindividuelle Informationen erfasst, analysiert und visualisiert. Ausgehend von ersten Rohdaten konnten Strategien zum Aufbau und der Architektur der Plattform sowie der Datenmodelle entwickelt werden. Darauf aufbauend wurde die Plattform dynamisch um Verfahren und Visualisierungen zur individuellen Bestimmung von Hitzestress bei Milchkühen erweitert. Der Datenimport wurde sukzessive an die Entwicklung der IoT-Plattform angepasst. Bereits während des Projektes stellte das Dashboard ein wertvolles Hilfsmittel für die Forschungspartner zur Verfügung, das im wechselseitigen Austausch Stück für Stück erweitert und ergänzt wurde. Zum Ende des Projektes steht nun eine prototypische Plattform für die Forschung im Bereich Tierwohl zur Verfügung, die dynamisch an weitere Anforderungen, Datenplattformen und Forschungsfelder angepasst werden kann.

Da die bis zum ursprünglichen Projektende erreichte Stichprobenzahl als zu gering erachtet wurde, befanden die Projektpartner es für sinnvoll, eine Projektverlängerung bis 31.12.2024 zu beantragen, um auch Daten des Sommers 2024 in die Analysen integrieren zu können. Diese Projektverlängerung wurde bewilligt. Die zusätzliche Projektzeit konnte von Dr. Hornecker genutzt werden, um weitere Details in das Dashboard zu integrieren und insbesondere

die Benutzerfreundlichkeit noch einmal deutlich zu verbessern. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Ziele, eine prototypische Plattform zur Bestimmung des tierindividuellen Hitzestresses zu entwickeln, im Rahmen der vorgegebenen Meilensteine erreicht wurden. Das Ziel der Entwicklung einer App für den Endanwender wurde zu Gunsten der Integration der Methoden in bestehende Anwendungen für den Endanwender durch den Projektpartner SmaXtec in Abstimmung aller Projektpartner geändert. Stattdessen wurde die Entwicklung der Analyse- und Visualisierungsplattform forciert, diese konnte bis hin zum beschriebenen Prototyp umgesetzt werden.

3. Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die erhaltenen Mittel wurden zielgerichtet eingesetzt, um die im Projekt definierten Ziele umzusetzen. Konkret wurden sie verwendet für:

- Personalkosten: Entwicklung und Implementierung der Modelle und Dashboards durch das Team von Dr. Hornecker.
- Werkzeuge zur Analyse und Entwicklung: im Rahmen des Projektes wurde eine MATLAB-Lizenz angeschafft, um Methodenvergleiche durchzuführen und erste Analysen prototypisch umzusetzen.

Aus eigenen Mitteln finanziert wurden Reisekosten, Workshops und Austausch sowie Organisation und Teilnahme an regelmäßigen Meetings zur Abstimmung und Weiterentwicklung der Methoden. Ein Treffen des Konsortiums wurde im Jahr 2024 von Dr. Hornecker in Freiburg organisiert.

4. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeit

Zunehmende Hitzestressbelastungen von Milchkühen durch den Klimawandel und damit einhergehende Gefährdungen des Tierwohls, der Tiergesundheit sowie der Verringerung der Nutzungsdauer, der zunehmende Druck der Gesellschaft auf die Nutztierhaltung, das Tierwohl und die Tiergesundheit nachhaltig zu verbessern sowie steigende arbeitswirtschaftliche Belastungen des Landwirtes, nicht zuletzt durch den akuten Fachkräftemangel, bedarf dringend Lösungsansätzen, die sowohl das Tierwohl, die Forderungen der Gesellschaft als auch Erleichterungen für den Landwirt in Einklang bringen.

Die im Projekt geleisteten Arbeiten waren notwendig, um die gesteckten Ziele des Forschungsprojekts DigiMuh zu erreichen. Die wissenschaftlichen und technologischen Herausforderungen erforderten innovative Lösungen, die nur durch die enge Zusammenarbeit der Projektpartner und den gezielten Einsatz der Zuwendung möglich waren.

Die Notwendigkeit der Arbeiten zeigt sich insbesondere in folgenden Punkten:

- **Hitzestressproblematik:** Der Klimawandel stellt Milchkühe zunehmend vor Belastungen durch Hitzestress. Ohne die entwickelten Algorithmen und Modelle wäre eine frühzeitige und präzise, tierindividuelle Erkennung solcher Zustände nicht möglich gewesen.
- **Integration von Datenquellen:** Die Vielzahl an heterogenen Datenquellen machte es erforderlich, eine umfassende Analyse- und Visualisierungsplattform zu schaffen, die eine ganzheitliche Betrachtung der Tiergesundheit erlaubt.
- **Innovative Analyseverfahren:** Die Kombination von klassischen und modernen Methoden, wie der Broken-Stick-Analyse und Tiermodellen, war notwendig, um den komplexen Anforderungen der Hitzestresserkennung gerecht zu werden.

Die Angemessenheit der Arbeiten wird durch folgende Faktoren unterstrichen:

- **Erfolgreiche Zielerreichung:** Die geplanten Ziele wurden erreicht, und die Ergebnisse bieten sowohl wissenschaftlichen als auch praktischen Nutzen.
- **Effiziente Mittelverwendung:** Die eingesetzten Mittel wurden zielgerichtet für die Entwicklung und Validierung von Methoden und Software verwendet, die in die Praxis überführt werden können.
- **Nachhaltigkeit:** Die entwickelten Modelle und Algorithmen sind dynamisch und skalierbar und können auf andere Tierarten oder Anwendungsbereiche erweitert werden.

Insgesamt waren die geleisteten Projektarbeiten sowohl notwendig als auch angemessen, um die Herausforderungen der Hitzestressprävention zu bewältigen und langfristig eine Verbesserung des Tierwohls zu erzielen.

5. Voraussichtlicher Nutzen (insbesondere die Verwertbarkeit des Ergebnisses, konkrete Planungen für die nähere Zukunft im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans)

Auf Basis der erzielten Projektergebnisse ergeben sich folgende Planungen zur Verwertung.

- Bestehenden Kontakten im Bereich der Landwirtschaft und der agrarwissenschaftlichen Forschung sollen im Hinblick auf ein erweitertes Produktportfolio angesprochen werden.
- Neue Kunden im Bereich der landwirtschaftlichen Forschung sollen gezielt und systematisch über den Besuch von Fachmessen und Kongressen angesprochen werden. Dies soll durch Fachvorträge unterstützt werden.

- Die Verwertung der Verfahren für die Forschung erfolgt im Rahmen der Unterfirma Bi-Sigma GmbH. Hierzu wird das Firmenportfolio und die damit verbundene Marke Bi-Sigma auf den veterinärmedizinischen Bereich erweitert. Die Erweiterung geht auch mit einem separaten Webauftritt einher, der speziell auf den Markt der landwirtschaftlichen Forschung hin entwickelt wird.
- Die entwickelten Algorithmen und (Vorhersage-) Modelle sind auch für weitere Tierarten (z.B. Schwein, Pferd) von großem Interesse und werden dahingehend weiterentwickelt. Insbesondere im Bereich Tierwohl bei Pferden existieren hohe Synergien mit einem derzeitigen Forschungsprojekt von BiSigma.
- Es wird konkret untersucht, inwieweit sich die Projektergebnisse mit KI-Modellen auf Basis von Large Language Models (LLMs) zu einem Produkt für den Endanwender kombinieren lassen. Hiermit könnte ein Alleinstellungsmerkmal am Markt erzielt werden.
- Das erzielte technologische Know-how (Datenbanken für große Datenmengen, Handhabung großer Mengen heterogener Daten, Analysemethoden) wird in andere Branchen und Anwendungsfelder von Dr. Hornecker übertragen.

6. Während der Durchführung des Vorhabens dem Zuwendungsempfänger bekannt gewordene Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Nach derzeitigem Stand der Literaturrecherche kann davon ausgegangen werden, dass keine bereits veröffentlichten Ergebnisse für das Projekt von Relevanz sind. Darüber hinaus wurden durch den Besuch nationaler und internationaler Tagungen viele wichtige Entwicklungen im Bereich des Tierwohlmonitorings bei Milchkühen verfolgt. Dabei wurden keine Neuerungen entdeckt, die die Projektergebnisse in Frage stellen könnten. Durch die DigiTier-Vernetzungs- und Transfermaßnahme sind uns weitere Projekte bekannt, die im gleichen Zeitraum zu einer ähnlichen Thematik (Datenzusammenführung), aber mit anderen Schwerpunkten geforscht haben, aber deren Schlussberichte zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht veröffentlicht sind. Das ist einerseits das Projekt CERES (Ziele laut DigiTier-Homepage: CERES ist eine genossenschaftliche, kooperative Cloud-Plattform, in der Daten aus landwirtschaftlichen Betrieben zusammenfließen, um die Haltungsbedingungen von Nutztieren, Transparenz für Verbraucherinnen und Verbraucher sowie Wettbewerbsfähigkeit der landwirtschaftlichen Betriebe zu steigern.) und andererseits das Projekt DigiStable (Ziel von DigiStable ist es, durch intelligente und sichere Schnittstellen neue, sensorerfasste Merkmale zur automatisierten Erkennung von Persönlichkeitsstrukturen von Milchkühen und deren sozialen Interaktionen mit konventionellen Leistungs-, Fruchtbarkeits- und Gesundheitsmerkmalen zu verknüpfen. Dadurch sollen Tierwohl/-gesundheit und damit auch die Leistungsfähigkeit von Milchkühen gesichert und im

gleichen Maße Arbeitsabläufe im Management sowie die Arbeitssicherheit verbessert werden.). Kleine inhaltliche Überschneidungen gab es außerdem mit DigiMilch (Ziel des Experimentierfeldes DigiMilch ist, die existierenden digitalen Lösungen für Feld und Stall zu demonstrieren, auf ihre Eignung für den familiengeführten Praxisbetrieb zu überprüfen, die Einsatzerfahrungen zu erfassen und ggf. bestehende Lücken/Defizite darzulegen und Hinweise für Lösungsansätze zu entwickeln.). Der vom Projektteam verfolgte Lösungsansatz und insbesondere die Erforschung der individuellen (Hitze-) stressbelastung scheint jedoch derzeit von anderen Teams nicht bearbeitet zu werden.

7. Erfolgte und geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse

Siehe Sachbericht unserer akademischen Projektpartner ATB und MLU.

LITERATURVERZEICHNIS

1. de Andrade Ferrazza, R., et al., *Thermoregulatory responses of Holstein cows exposed to experimentally induced heat stress*. Journal of Thermal Biology, 2017. **66**: p. 68-80.
2. Hempel, S., et al., *Heat stress risk in European dairy cattle husbandry under different climate change scenarios—uncertainties and potential impacts*. Earth System Dynamics, 2019. **10**(4): p. 859-884.
3. St-Pierre, N.R., B. Cobanov, and G. Schnitkey, *Economic losses from heat stress by US livestock industries*. Journal of dairy science, 2003. **86**: p. E52-E77.
4. Garner, J., et al., *Responses of dairy cows to short-term heat stress in controlled-climate chambers*. Animal Production Science, 2017. **57**(7): p. 1233-1241.
5. Burfeind, O., V.S. Suthar, and W. Heuwieser, *Effect of heat stress on body temperature in healthy early postpartum dairy cows*. Theriogenology, 2012. **78**(9): p. 2031-2038.
6. Soriani, N., G. Panella, and L. Calamari, *Rumination time during the summer season and its relationships with metabolic conditions and milk production*. Journal of dairy science, 2013. **96**(8): p. 5082-5094.
7. Pinto, S., et al., *Influence of barn climate, body postures and milk yield on the respiration rate of dairy cows*. Annals of Animal Science, 2019. **19**(2): p. 469-481.
8. Pinto, S., et al., *Effect of two cooling frequencies on respiration rate in lactating dairy cows under hot and humid climate conditions*. Annals of Animal Science, 2019. **19**(3): p. 821-834.
9. Liang, D., et al., *Influence of breed, milk production, season, and ambient temperature on dairy cow reticulorumen temperature*. Journal of dairy science, 2013. **96**(8): p. 5072-5081.
10. Ammer, S., C. Lambertz, and M. Gauly, *Is reticular temperature a useful indicator of heat stress in dairy cattle?* Journal of Dairy Science, 2016. **99**(12): p. 10067-10076.
11. Rejeb, M., et al., *A complex interrelationship between rectal temperature and dairy cows' performance under heat stress conditions*. Open Journal of Animal Sciences, 2016. **6**(01): p. 24.
12. Zähner, M., et al., *The influence of climatic conditions on physiological and behavioural parameters in dairy cows kept in open stables*. Animal Science, 2004. **78**(1): p. 139-147.
13. Cook, N., et al., *The effect of heat stress and lameness on time budgets of lactating dairy cows*. Journal of dairy science, 2007. **90**(4): p. 1674-1682.
14. Cincović, M., et al., *On-farm measurement of heat stress load in dairy cows*. 2011.
15. Brügemann, K., et al., *Defining and evaluating heat stress thresholds in different dairy cow production systems*. Archives Animal Breeding, 2012. **55**(1): p. 13-24.
16. Gernand, E., S. König, and C. Kipp, *Influence of on-farm measurements for heat stress indicators on dairy cow productivity, female fertility, and health*. Journal of dairy science, 2019. **102**(7): p. 6660-6671.
17. Schüller, L., O. Burfeind, and W. Heuwieser, *Impact of heat stress on conception rate of dairy cows in the moderate climate considering different temperature–humidity index thresholds, periods relative to breeding, and heat load indices*. Theriogenology, 2014. **81**(8): p. 1050-1057.
18. Carabaño, M.J., et al., *Selecting for heat tolerance*. Animal Frontiers, 2019. **9**(1): p. 62-68.