

Sachbericht zum Verwendungsnachweis / Teil I



Individualisierte und züchterische Hitzestressprävention mittels Digitalisierung in der Milchkuhhaltung

Zahlungsempfänger	smaXtec GmbH Salzburger Str. 10, 83404 Ainring
Förderkennzeichen	281C207A19
Vorhabenbezeichnung	Individualisierte und züchterische Hitzestressprävention mittels Digitalisierung in der Milchkuhhaltung (DigiMuh) – Teilprojekt C
Laufzeit des Vorhabens	01.03.2021 bis 31.12.2024
Berichtszeitraum	01.03.2021 bis 31.12.2024
Autor	Alexander Oberegger
Projekt-Homepage	www.digimuh.de

Auflistung aller Verbundpartner:

Einrichtung/ Firma	Kontaktperson	Adresse
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
Dr. Hornecker Software-Entwicklung & IT-Dienstleistungen	Dr. Achim Hornecker	Leo-Wohleb-Str. 6, 79098 Freiburg
Förderverein Bioökonomieforschung e.V. (FBF)	Elena Frenken	Adenauerallee 174, 53113 Bonn

I. KURZE DARSTELLUNG

1. Ursprüngliche Aufgabenstellung sowie der wissenschaftliche und technische Stand, an den angeknüpft wurde
2. Ablauf des Vorhabens
3. Wesentliche Ergebnisse sowie ggf. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

II. EINGEHENDE DARSTELLUNG

1. Verwendung der Zuwendung und Darstellung der durchgeführten Arbeiten und erzielten Ergebnisse im Einzelnen mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele
2. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises
3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeit
4. Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans
5. Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen
6. Erfolgte und geplante Veröffentlichung der Ergebnisse

III. ERFOLGSKONTROLLBERICHT (Anlage)

1. Wissenschaftlich-technische Ergebnisse des Vorhabens, erreichte Nebenergebnisse und gesammelte, wesentliche Erfahrungen
2. Fortschreibung des Verwertungsplans
 - 2.1 Erfindungen / Schutzrechtsanmeldungen und erteilte Schutzrechte sowie erkennbare weitere Verwertungsmöglichkeiten
 - 2.2 Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende
 - 2.3 Wissenschaftliche und technische Erfolgsaussichten nach Projektende
 - 2.4 Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit
3. Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben
4. Einhaltung der Ausgaben- und Zeitplanung

LITERATURVERZEICHNIS

I. KURZDARSTELLUNG

1.1 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.

1.2 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. Alexander Oberegger war von Seiten smaXtec hier vor allem in regem Austausch mit allen Projektpartnern um die Integration als auch die Interpretierbarkeit für weitere Zwecke von über 40 im Tier gemessenen und verarbeiteten Sensordaten in die Datenplattform sicherzustellen. Um die tierindividuelle Einschätzung des Hitzestresses (neben der gemessenen Temperatur) zu verfeinern, wurde ein Algorithmus zur Abschätzung der tierindividuellen Wasseraufnahme erstellt und diese in der App/Web angezeigt. Aufbauend darauf konnten durch die Kombination mehrerer tierindividueller Parameter ein Hitzestressindex zur Indikation von Hitzestress beim Einzeltier und der Gruppe erstellt werden.

1.3 Wesentliche Ergebnisse sowie ggf. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Wesentliche Ergebnisse des DigiMuh-Projekts waren:

- Installation des smaXtec Systems auf einem ausgewählten Praxisbetrieb
- Laufende Betreuung des Betriebs hinsichtlich des smaXtec Systems und der 24/7 Aufnahme und Übertragung der tierindividuellen Messdaten
- Anpassung der smaXtec Schnittstelle an die Bedürfnisse und Anforderungen des Projektes
- Unterstützung der Partner im Projekt bei der Umsetzung der Datenschnittstelle
- Unterstützung der Partner hinsichtlich der Interpretation der gelieferten tierindividuellen Messdaten
- Entwicklung eines Algorithmus zur Abschätzung der tierindividuellen Wasseraufnahme und Anzeige in der smaXtec App/Web Applikation
- Kombination mehrerer tierindividueller gemessenen Parameter aus dem Pansen um einen tierbasierten Hitzestressindex dem smaXtec Kunden in der App/Web Applikation zur Verfügung zu stellen.

Wesentlich zum Projekterfolg beigetragen hat der rege Austausch zwischen den Projektpartnern online sowie auch in Präsenz.

EINGEHENDE DARSTELLUNG

2.1 im Rahmen des Vorhabens durchgeführte Arbeiten, Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse (Gegenüberstellung mit vorgegebenen Zielen)

AP 1 Feinspezifikation der Parameter

Um alle notwendigen Parameter zur Erfassung von Hitzestress und gesundheitsbezogenen Beeinträchtigungen und deren Auflösung in der Datenplattform zu definieren, wurden von smaXtec über 40 tierindividuell gemessene und verarbeitete Daten in Zusammenarbeit mit dem ATB hinsichtlich der Relevanz auf Hitzestress evaluiert und ausgewertet.

Folgende smaXtec Parameter wurden ausgewählt:

Parameter	Auflösung
Körpertemperatur, Tier- und Pansenaktivität	alle 10 min
Wiederkauaktivität, Trinkmenge (erstellt während des Projektes)	Tagessummen
Pansen-pH	unregelmäßig (Stichproben)
Stalltemperatur, Luftfeuchte	alle 5-10 min

Körpertemperatur, Tier- und Pansenaktivität, Wiederkauaktivität, Pansen-pH, Stalltemperatur und Luftfeuchte waren bereits zu Projektbeginn Teil des smaXtec Systems und wurden vollumfänglich über eine automatische Datenschnittstelle zur Verfügung gestellt. Die Trinkwassermenge wurde als bedeutender Parameter zur Identifizierung tierindividuellen Hitzestresses während des Projektes entwickelt und ebenfalls kontinuierlich (24/7 abrufbar) über eine automatische Datenschnittstelle zur Verfügung gestellt.

AP 2 Datenerhebung

Mit Unterstützung der RBB Rinderproduktion Berlin-Brandenburg wurde als Praxisbetrieb für die Datenerhebung die Agrargenossenschaft Sonnewalde bereits vor Beginn des Projektes ausgewählt. Innerhalb der ersten Projektmonate wurde der Betrieb mit Unterstützung zweier smaXtec Mitarbeiter mit 4 smaXtec-Gateways und 4 smaXtec-Klimasensoren (verteilt über die Stallgebäude der AG Sonnewalde) ausgestattet. Zudem wurden die ersten 300 laktierenden Milchkühe mit smaXtec Boli ausgestattet. Im gesamten Projekt wurden insgesamt bei 860 Tieren ein Classic-Bolus und ab März 2022 zusätzlich 50 Kühen ein pH-Bolus eingegeben. Über die Pansenboli konnten die zuvor (AP 1) definierten physiologischen Parameter kontinuierlich erfasst werden. Die kontinuierlich erfassten Parameter wurden in Zusammenarbeit mit Wille Engineering in die DigiMuh Datenplattform integriert, um sie den Projektpartnern zugänglich zu machen. Dafür wurden in der Zusammenarbeit einige Adaptionen an der Schnittstelle

durchgeführt, um für das Projekt auch Daten zugänglich zu machen, die in der für den Kunden zugänglichen Version des smaXtec Systems nicht verfügbar sind. Insgesamt stellte smaXtec dem Projekt > 40 verschiedene tierindividuelle Messdaten (Temperatur, Wiederkauen, ...) zur Verfügung.

AP 3 IoT-Datenplattform entwickeln, Datentransfer, Datenrecht

In enger Abstimmung mit Wille Engineering konnte bereits früh im Projektverlauf eine kontinuierliche, fehlerfreie und dauerhafte Datenübertragung aus dem smaXtec-System etabliert werden. Dieses stabile Zugriffsmanagement ermöglichte es, die erhobenen tierindividuellen Daten – insbesondere im Kontext der Analyse von Hitzestress – den weiteren Projektpartnern frühzeitig und zuverlässig zur Verfügung zu stellen.

Bereits in einer sehr frühen Phase des Projekts fanden gemeinsame Treffen mit den beteiligten Partnerinstitutionen statt. In diesen wurde von smaXtec umfassend die zugrunde liegende Messtechnologie sowie die konkreten Abläufe der Datenerfassung im Pansen erläutert. Ein besonderer Fokus lag dabei auf der Verfügbarkeit der Daten in verschiedenen zeitlichen Aggregationsstufen sowie auf der Interpretation der zugehörigen Zeitstempel als auch auf dem speziellen Zugriffsmanagement zur Wahrung der Datenrechte für das Team von Wille Engineering.

Diese frühzeitige, intensive Auseinandersetzung mit den strukturellen und inhaltlichen Eigenschaften der smaXtec-Daten versetzte die Projektpartner in die Lage, sich rasch mit Fragen der Dateninterpretation, der zeitlichen Kontextualisierung sowie des weiteren analytischen Vorgehens auseinanderzusetzen. Dadurch konnte der Übergang in die Datenerhebungsphase reibungslos gestaltet werden, und es wurde eine solide Basis geschaffen, um das Potenzial der smaXtec-Daten zur Erkennung von tierindividuellem Hitzestress zielgerichtet auszuschöpfen.

Im weiteren Projektverlauf wurde das Zugriffsmanagement kontinuierlich weiterentwickelt und verfeinert. Dies umfasste unter anderem die präzisere Steuerung von Datenzugriffsrechten, gezielte Datenpakete für bestimmte Versuchsanordnungen oder Fragestellungen zur Verfügung zu stellen, ohne dabei Datenschutzvorgaben zu beeinträchtigen.

AP 4 Modellierung, Algorithmen entwickeln

Ziel dieses Arbeitspakets war es, basierend auf den in AP 1 und 2 erhobenen tierindividuellen Sensordaten, ein mechanistisches Modell zu entwickeln, das in der Lage ist, das Auftreten von Hitzestress sowie weiteren physiologischen oder pathologischen Zuständen (z. B. Mastitis) zu erkennen. Grundlage waren multivariate Zeitreihen tierindividueller Daten in Verbindung mit externen Einflussgrößen und beobachteten Ereignissen.

Die Modellierung erfolgte unter Einsatz datenwissenschaftlicher Methoden. Für die Analyse wurden Trainingsdaten herangezogen, die u. a. Folgendes umfassten:

- Zeitlicher Verlauf von Sensordaten (Temperatur, Pansenaktivität, Trinkzyklen, ...)
- Äußere Bedingungen (z. B. Stallklima)
- Ereignisse wie Hitzestress, Krankheiten, Leistungsabfall oder Verhaltensänderungen

Im Zuge dieses Arbeitspakets hat smaXtec zwei bedeutende algorithmische Erweiterungen entwickelt, die einen direkten Beitrag zur Erkennung und Analyse von Hitzestress leisten:

1. Krankheitserkennungssystem – Fokus auf Eutererkrankungen

Es wurde ein spezifisches Erkennungssystem entwickelt, das die Untersuchungsmöglichkeiten erweitert, festzustellen inwieweit Hitzestress als Risikofaktor für Eutererkrankungen fungiert. Durch die Kombination von Sensordaten (z. B. Körperinnentemperatur, Wiederkauaktivität, Pansenaktivität, ...) und klinischen Beobachtungen konnte ein Klassifikationsmodell erstellt werden, das Frühindikatoren für Erkrankungen bei einzelnen Tieren zuverlässig identifiziert. Für die Modellierung kamen sowohl lineare Regressionsverfahren als auch Deep-Learning-Ansätze (CNNs) zum Einsatz.

2. Algorithmus zur Abschätzung der aufgenommenen Wassermenge

Um individuellen Hitzestress besser quantifizieren zu können, wurde ein Trinkmengen-Algorithmus entwickelt, der aus Sensordaten die getrunkene Wassermenge pro Trinkzyklus abschätzt. Die Grundlage bildet der sogenannte „Drinking Hub“, berechnet aus der Differenz zwischen der durchschnittlichen Körpertemperatur vor und der minimalen Temperatur nach einem Trinkereignis. Diese Differenz korreliert signifikant mit der real aufgenommenen Wassermenge. Für die Modellierung kamen sowohl lineare Regressionsverfahren als auch Deep-

Learning-Ansätze (Random Forest Regression) zum Einsatz. Auf Basis einer guten Datenqualität erreichte das lineare Regressionsmodell eine sehr gute Korrelation zur tatsächlichen Trinkmenge und erlaubt dadurch eine präzise Schätzung der Trinkmenge.

Die Erweiterung der Modellierungsansätze um krankheitsbezogene Ereignisse sowie die Integration individueller Wasseraufnahme als thermoregulatorischer Parameter tragen entscheidend dazu bei, die tierindividuelle Resilienz gegenüber Hitzestress besser zu verstehen und zu quantifizieren. Die entwickelten Algorithmen bilden somit eine zentrale Komponente im Hinblick auf datengestützte Früherkennung und Prävention.

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

Das zentrale Ziel von AP 7 war die Integration und Weiterverarbeitung der zuvor entwickelten Modelle (insbesondere aus AP 4), um tierindividuelle Prognosen hinsichtlich Hitzestress und krankheitsassoziierten Risiken abzuleiten. Diese Prognosen dienen als Grundlage für situationsbezogene, automatisierte Handlungsempfehlungen, die Landwirt:innen später über eine App (AP 8) bereitgestellt werden.

Die Grundlage für die von smaXtec in AP 7 entwickelten Prognosemodelle bildeten die im Pansen gemessenen Messparameter von smaXtec (z. B. Körpertemperatur, Wiederkauen), ergänzt um die in AP 4 entwickelte Abschätzung der individuellen Trinkmenge die als physiologischer Indikator für Flüssigkeitsaufnahme in Reaktion auf Hitzebelastung dient.

Der von smaXtec in AP7 entwickelte Hitzestressindex (HSI) zeigt auf, wie die Kombination tierinterner Datenquellen (Körperdaten, Wassermenge) in Kombination mit externen Datenquellen zur verlässlicheren Erkennung und Prognose von Hitzestress auf Gruppenebene beiträgt.

Folgende Indikatoren wurden für den Hitzestressindex auf Gruppenebene aggregiert und durch Lowpass-Filtering geglättet, um saisonale Einflüsse und Messrauschen zu minimieren.

- Wasseraufnahme Erhöhungs Index (basierend auf AP4-Modellierung)
- Wiederkauabfall (gemessen aus dem Pansen)
- Temperaturerhöhungsindex (als tierindividuelle Klimamaßzahl gegenüber THI)

Die HSI-Auswertung verdeutlichte, dass selbst innerhalb eines Stalls unterschiedliche Gruppen unterschiedlich stark betroffen sein können. So wurde z. B. in einem Stall des Versuchsbetriebes eine Gruppe mit schwerem Hitzestress identifiziert, während eine andere im selben Stall nur gering betroffen war (siehe Prototyp AP8). Mithilfe des tierbasierten Hitzestressindex konnte festgestellt werden, dass traditionelle, klimabasierte Kennzahlen wie der Temperature-Humidity-Index (THI) die gruppenspezifischen Reaktionen auf Hitzestress nicht ausreichend erfassen, was zu einer Überverallgemeinerung und weniger effektiven Kühlmaßnahmen führt.

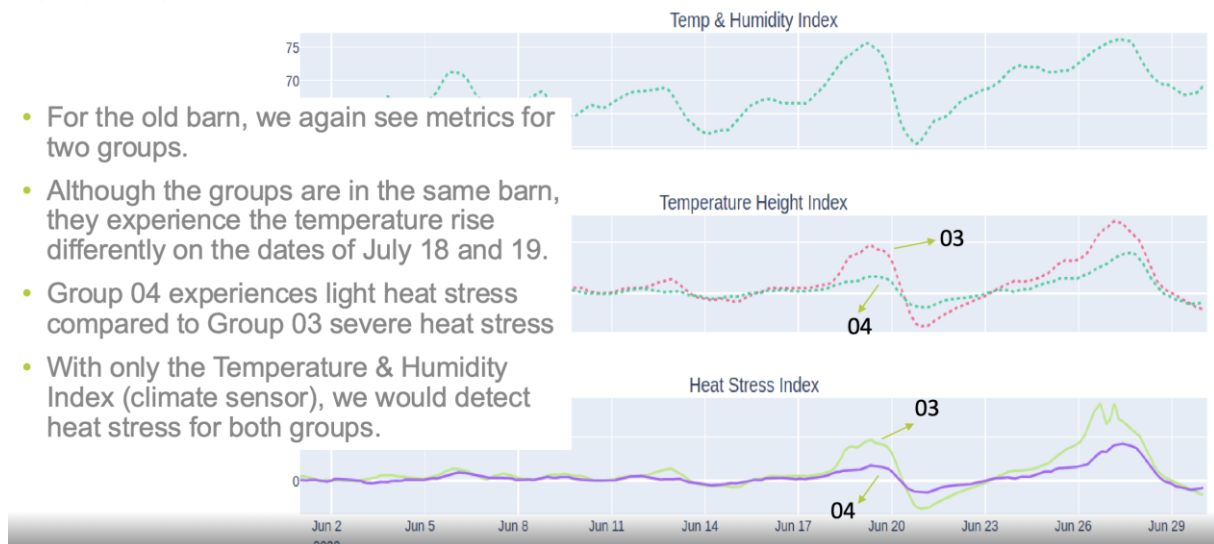
AP 8 PC-Anwendung, App entwickeln

In AP 8 stand die Erforschung eines Anwendungssystems zur Entscheidungsunterstützung im Fokus. Aufbauend auf den in AP 7 entwickelten Prognosemodellen und Handlungsempfehlungen, insbesondere im Kontext von Hitzestress und Krankheitsrisiken, wurde eine benutzerfreundliche Softwarelösung konzipiert, die in einem Prototyp den Hitzestressindex darstellt.

smaXtec konnte bereits im Projektverlauf einen einsatzbereiten Prototypen in einem Labormaßstab (unter realen Stallbedingungen) für den ausgewählten Pilotbetrieb testen, der auf Basis des in AP 7 entwickelten Hitzestressindex (HSI) eine automatisierte Steuerung der Lüftungsanlagen ermöglichen würde.

- Durch die direkte Rückkopplung physiologischer Tierdaten mit klimatischer Stalltechnik konnte gezeigt werden, dass Hitzestress frühzeitig erkannt und zielgerichtet reagiert werden kann.
- Dies ermöglicht nicht nur eine Verbesserung des Tierwohls, sondern trägt durch die bedarfsorientierte Lüftungssteuerung auch zur Energieeinsparung bei.

Anhand des erstellten Prototypen konnte die Detailanalyse für einen Stallbereich für den Versuchsbetrieb klar aufzeigen, dass der tierindividuelle Einfluss des Stallklimas nur am Tier selbst messbar ist:



Klares Verwertungsziel von smaXtec ist es diesen Prototypen in die App und Web Applikation von smaXtec einzubinden.

AP 9 Projektmanagement

Siehe Sachbericht unseres Projektpartners ATB

Gegenüberstellung mit den vorgegebenen Zielen

Im Rahmen des Projekts konnte smaXtec alle zentralen Beiträge erfolgreich umsetzen und in mehreren Fällen über die ursprünglich formulierten Ziele hinausgehen. Besonders hervorzuheben ist die Entwicklung und erste praktische Anwendung des Heat Stress Index (HSI), der in Echtzeit physiologische und klimatische Parameter kombiniert und sowohl für analytische als auch operative Zwecke nutzbar ist.

AP 1,2,3: Rohdatenerfassung und Datentransfer

- Frühzeitiger Aufbau stabiler, DSGVO-konformer Datenschnittstellen sowie strukturierter Datenstreams (inkl. Monitoring, Backup).

AP 4: Modellierung tierindividueller Ereignisse

- Entwicklung eines Modells für Eutererkrankungen, sowie eines Trinkmengen-Algorithmus, der Wasseraufnahme aus Sensorwerten abschätzt (inkl. Deep Learning & Regressionsverfahren).

AP 7: Vorhersagemodelle und Handlungsempfehlungen

- Erstellung eines auf Tiermessdaten basierenden Hitzestressindex, der in einem Prototypen die Basis für tierindividuelle und vollautomatisierten Kühlungsmaßnahmen (Tier Events) bildete und in die smaXtec App und Web Applikation eingebettet wird.

AP 8: Softwareprototyp für Landwirt:innen

- Erforschung eines funktionsfähigen Prototyps zur Visualisierung des HSI sowie Pilotbetrieb mit automatisierter Lüftersteuerung in einem Echtstall; Integration des HSI in die bestehende App- und Webplattform von smaXtec geplant.

Die beantragte Projektverlängerung erwies sich als essenziell, um eine ausreichende Datenbasis unter realen Sommerbedingungen zu generieren. Nur dadurch war es möglich, den Hitzestressindex belastbar zu entwickeln, zu testen und schließlich in einem ersten Prototyp anzuwenden. Die verlängerte Messperiode stellte sicher, dass die entwickelten Modelle eine breite Datenvielfalt abbilden und somit generalisierbar und praxisrelevant sind.

Da insbesondere für die Zuchtwertschätzung, aber auch für die Zwecke der Erstellung des Hitzestressindex die bis zum ursprünglichen Projektende erreichte Stichprobenzahl zu gering sein könnte, befanden die Projektpartner es daher 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.

2.2 die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die für das Projekt wichtigsten Positionen sind der Tab. 1 zu entnehmen.

Tabelle 1 wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Bezeichnung	Beschreibung
FE Fremdleistungen	Für die Durchführung und Entwicklung der Projekte sowie Bereitstellung der Daten wurden Entwicklerleistungen über FE Fremdleistungen bezogen.
Dienstreisen	• Projektbesprechungen, • Installation des smaXtec Systems am Betrieb
Materialbeschaffung für den Hauptversuch	• smaXtec Sensoren, Klimasensoren und Gateways

2.3 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

Lösungsansätze, die sowohl das Tierwohl, die Forderungen der Gesellschaft als auch Erleichterungen für den Landwirt in Einklang bringen. Die im Projekt DigiMuh geleistete Arbeit hatte genau diese drei Dinge im Sinn und war insbesondere notwendig und angemessen. Die in diesem Projekt vollzogene Forschungsarbeit leistet einen wesentlichen Beitrag zu diesem wichtigen Thema.

Durch das Zusammenspiel von Stall-, Klima- und Tiersensoren, die sowohl Stall- als auch tierindividuelle Daten zusammenführen und dem Kunden des smaXtec Systems zur Verfügung gestellt werden kann, ist es möglich, tierindividuelle Krankheiten, Hitzestressbelastungen und Stallproblematiken (z. B. defekte Beregnung, etc.) für die Kunden des smaXtec Systems entweder vollautomatisiert mit Stallkühlungssystemen zu verknüpfen aber auch als strategisches Maßnahmen- und Überwachungstool für zum Beispiel die Überwachung der Auswirkungen von baulichen Maßnahmen auf den tierindividuellen Hitzestress. Insbesondere aber auch die züchterischen Aspekte, die mithilfe der inneren Körpertemperatur als Hitzestress-Marker identifiziert werden konnten, leisten hier einen erheblichen Beitrag zur langfristigen Verbesserung des Tierwohls.

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

Die im Rahmen des Projekts entwickelten Algorithmen und Analyseverfahren rund um den Heat Stress Index (HSI) und die Schätzung der Wasseraufnahme eröffnen für smaXtec weitreichende Anwendungsmöglichkeiten – sowohl zur Erweiterung des bestehenden Produktportfolios als auch zur Erschließung neuer Geschäftsfelder im Bereich Tiergesundheitsmanagement und Stallklimatisierung.

1. Anzeige der Wasseraufnahme als Hitzestressindikator

Die auf Basis der Sensordaten entwickelte modellbasierte Schätzung der Wasseraufnahme pro Trinkzyklus wird zwischenzeitlich schon in der smaXtec-App und Web-Applikation angezeigt. Diese Information dient als zusätzlicher früher Indikator für Hitzestress, da erhöhter Wasserverbrauch ein physiologischer Kompensationsmechanismus bei thermischer Belastung ist aber auch zur Verbesserung der smaXtec Krankheitserkennungsalgorithmen.

Verwertbarkeit: Ergänzung der bestehenden Sensorik-Visualisierung mit einem neuen, praxisrelevanten Messwert

Zielgruppe: Landwirt:innen mit Fokus auf Prävention und Früherkennung

2. Integration des Hitzestressindex in App und Web-Plattform

Der neu entwickelte Hitzestressindex (HSI), der physiologische Parameter (Temperatur, Pansenaktivität, Wasseraufnahme) mit klimatischen Bedingungen (THI) kombiniert, wird künftig in den digitalen Anwendungen von smaXtec visualisiert werden.

Verwertbarkeit: Der HSI stellt eine deutlich genauere Maßzahl dar als der klassische THI und erlaubt differenzierte Aussagen über den Zustand einzelner Tiere oder Gruppen.

Kundennutzen: Landwirt:innen können Hitzestress in Echtzeit überwachen und vorausschauend handeln.

3. Automatisierte Erkennung und Reaktion auf Hitzestressereignisse

Basierend auf dem Hitzestressindex werden automatisierte Events generiert, die bei entsprechender Integration auch automatisch Stallkühlungssysteme (z. B. Ventilatoren, Sprühkühlung) ansteuern könnten.

Verwertbarkeit: Kombination aus Entscheidungsunterstützung und Automatisierung, besonders für Betriebe mit technischen Schnittstellen im Stall

Skalierung: Potenzielle Integration mit Partnerfirmen im Bereich Stalltechnik zur Entwicklung von Komplettlösungen

4. Nutzung des Index zur betriebsindividuellen Optimierung

Die Visualisierung des Hitzestressindex wird in Zukunft auch genutzt werden, um langfristige Optimierungsmöglichkeiten für den Betrieb zu identifizieren, etwa durch:

- gezielte bauliche Anpassungen (z. B. Fensteröffnungen, Lüftungsführung),
- Anpassung der Lüftungstechnik oder
- Verhaltensanalysen im Jahresverlauf (z. B. saisonale Trends).

Verwertbarkeit: Stärkung der Beratungsfunktion der smaXtec Plattform im Bereich Nachhaltigkeit, Tierwohl und Energieeffizienz

Kundennutzen: Langfristige Verbesserung der Tiergesundheit, Reduzierung der (Hitze-) Stressbelastung und Senkung betrieblicher Kosten durch fundierte Investitionsentscheidungen

2.5 Während der Durchführung des Vorhabens dem Zuwendungsempfänger bekannt gewordene Fortschritt 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 alle wichtigen Entwicklungen im Bereich des Tierwohlmonitorings bei Milchkühen verfolgt. Dabei wurden keine Neuerungen entdeckt, die die Projektergebnisse in Frage stellen könnten. Der vom Projektteam verfolgte Lösungsansatz scheint derzeit von anderen Teams nicht bearbeitet zu werden.

2.6 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.