

Sachbericht zum Verwendungsnachweis Teil I und II



Individualisierte und züchterische Hitzestressprävention mittels Digitalisierung in der Milchkuhhaltung

Zahlungsempfänger	Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e. V. (ATB), Max- Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam
Förderkennzeichen	281C207A19
Vorhabenbezeichnung	Individualisierte und züchterische Hitzestressprävention mittels Digitalisierung in der Milchkuhhaltung (DigiMuh) – Teilprojekt A
Laufzeit des Vorhabens	01.03.2021 bis 31.12.2024
Berichtszeitraum	01.03.2021 bis 31.12.2024
Autoren	Dr. Corinna Thomas, Dr. Gundula Hoffmann
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 Bioökonomie-forschung e.V. (FBF)	Elena Frenken	Adenauerallee 174, 53113 Bonn

Inhalt

Sachbericht zum Verwendungsnachweis Teil I: Kurzdarstellung	1
1.1 Ursprüngliche Aufgabenstellung sowie der wissenschaftliche und technische Stand, an den angeknüpft wurde	1
1.2 Ablauf des Vorhabens	2
1.3 Wesentliche Ergebnisse sowie ggf. Zusammenarbeit mit anderen Stellen	2
Sachbericht zum Verwendungsnachweis Teil II: Eingehende Darstellung	3
2.1 im Rahmen des Vorhabens durchgeführte Arbeiten, Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse (Gegenüberstellung mit vorgegebenen Zielen)	3
2.2 Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises.....	10
2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeit.....	10
2.4 Voraussichtlicher Nutzen (insbesondere die Verwertbarkeit des Ergebnisses, konkrete Planungen für die nähere Zukunft im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans).....	11
2.5 Während der Durchführung des Vorhabens dem Zuwendungsempfänger bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen.....	12
2.6 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse	13
Literaturverzeichnis	15

Sachbericht zum Verwendungsnachweis Teil 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) Verbesserung 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 (St-Pierre et al., 2003, Ferrazza et al., 2017, Hempel et al., 2019). 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 (Becker et al., 2020, Hoffmann et al., 2020).

Die Toleranz gegenüber Hitzestress ist zumindest teilweise auch genetisch bedingt (Carabaño et al., 2019). 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 Sensorensysteme 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. Um die Verbreitung der wissenschaftlichen und technischen Erkenntnisse im Projekt DigiMuh zu fördern, nahm das ATB an diversen DigiTier-Veranstaltungen, an nationalen und internationalen Tagungen sowie an Messen und Informationsveranstaltungen für Landwirte teil. Ebenfalls präsent war das DigiMuh-Projekt durch eine eigens erstellte Homepage, durch die Teilnahme an einem DigiTier Podcast und Artikeln in Fachzeitschriften.

1.3 Wesentliche Ergebnisse sowie ggf. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Wesentliche Ergebnisse des DigiMuh-Projekts waren:

- die Implementierung einer DigiMuh-Cloud-IoT-Architektur, basierend auf der erarbeiteten Design Space Exploration
- die Erfassung und automatische Übermittlung aller Tier- und Stallklima-Daten an die eigens entwickelte DigiMuh-Plattform seit September 2021
- die Entwicklung eines Dashboards zur Speicherung, Aufbereitung, Visualisierung, Analyse und zum Export sämtlicher Stallklima-, Tier- und Managementdaten unter Wahrung des Datenrechts
- Milchkühe reagieren individuell unterschiedlich auf Hitzestress. Physiologische (z. B. Atemfrequenz, Pansentemperatur) und ethologische Parameter (z. B. Aktivität, Fressverhalten) eignen sich besser zur Einschätzung der individuellen Hitzestressbelastung als Stallklimaparameter (z. B. Temperatur-Feuchte-Index)
- Identifizierung einer Reihe vielversprechender genomischer Regionen für Hitzestressresilienz. Sämtliche identifizierte Regionen deuten auf Gene hin, die an der Funktion des Immunsystems beteiligt sind.

Zusätzlich zum regen Austausch der Projektpartner (monatliche online Meetings, 2 Präsenztreffen/ Jahr, viele bilaterale Meetings), unterstützte uns der RBB Rinderproduktion Berlin-Brandenburg und die Mitarbeiter der Agrargenossenschaft Sonnewalde. Das FBF förderte stets den Wissenstransfer und informierte die Projektpartner über aktuelle Interessen, Bedarf und Entwicklungen in der Landwirtschaft.

Sachbericht zum Verwendungsnachweis Teil II: 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 durch das ATB in Zusammenarbeit mit smaXtec in den ersten Projektmonaten die bereits vorhandenen Daten aus früheren Messkampagnen des ATB (Versuchsbetrieb LVAT Groß Kreutz) ausgewertet. Die ausgewählten Parameter sind **Tab. 1** zu entnehmen.

Tab. 1 Ausgewählte Parameter und Datenerfassungsintervalle

Parameter	Auflösung
Körpertemperatur, Tier- und Pansenaktivität	alle 10 min
Wiederkauaktivität, Trinkmenge	Tagessummen
Pansen-pH	unregelmäßig (Stichproben)
Stalltemperatur, Luftfeuchte	alle 5-10 min
Windgeschwindigkeit, Solarstrahlung	alle 5-10 min
Atemfrequenz (Züge / min)	Kontinuierlich bei ausgewählten Tieren
Milchmenge (u. Inhaltsstoffe)	2x / Tag (LKV-Daten: 1x / Mon.)
Body Condition Score	2x / Tag
Gesundheitsdaten, Kalbungen etc.	alles was notiert wurde im Versuchszeitraum

Es wurde entschieden, die tierphysiologischen Daten von allen laktierenden Kühen mit smaXtec Bolis (**Abb. 1**), die Atemfrequenz bei 100 Tieren des Bestandes mittels Atemsensoren (Gouna, **Abb. 2**) und den Body Condition Score mittels BCS-Kamera (DeLaval) nach jedem Melkvorgang zu erheben. Die Milchmengen und Milchinhaltstoffe sowie die manuell eingetragenen Ereignisse (Krankheiten, Behandlungen, Kalbungen) wurden von der Betriebssoft-

ware (HerdePlus) ausgelesen. Die Stallklimaparameter wurden durch smaXtec Klimasensoren, HOBO-Sensoren (**Abb. 3**) und zahlreiche LoRaWAN-Sensoren in allen Stallungen erhoben und mittels Gateway übertragen.



Abb. 1 smaXtec-Pansenbolus



Abb.2 Gouna-Atemsensor



Abb.3 HOBOKlimamessstation

AP 2 Datenerhebung

Mit Unterstützung der Rinderproduktion Berlin-Brandenburg (RBB) wurde als Praxisbetrieb für die Datenerhebung die Agrargenossenschaft Sonnewalde bereits vor Beginn des Projektes ausgewählt. Dieser Betrieb mit ca. 1.000 bereits genotypisierten Milchkühen stellte folgende Daten zur Verfügung: Stammdaten der Kühe (Geburts-, Abgangs-, Kalbedaten, Abgangsursache), Daten zur Abstammung (Pedigree), Daten zur Milchleistung (inkl. Inhaltsstoffe und Zellzahl) je Melkvorgang, Daten zum Exterieur (Body condition score = BCS, Lineare Beschreibung), Daten zur Fruchtbarkeit (Besamungsdaten, Trächtigkeitsuntersuchungen), Daten zur Kalbung (Kalbeverlauf, Geschlecht und Gewicht des Kalbes, Totgeburt ja/nein); hinzu kamen Daten zur Gesundheit (Behandlungen und Diagnosen lt. Zentralem Diagnoseschlüssel Rind). Daten zur Genotypisierung der Tiere wurden über den RBB vom Rechenzentrum VIT (Vereinigte Informationssysteme Tierhaltung, Verden/Aller) übernommen.

Zusätzlich wurde der Betrieb bereits innerhalb der ersten Projektmonate 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 wurde insgesamt 795 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.

Im September 2021 erfolgte dann die umfangreiche Installation von Klimasensoren in den verschiedenen Stallgebäuden und im Außenbereich des Betriebes, um die Temperatur, die Luftfeuchtigkeit, die Windgeschwindigkeit und die Solarstrahlung in den Auswertungen detailliert berücksichtigen zu können (**Abb. 4**). Zusätzlich wurden Sensoren an den Ventilatoren, Cur-tains und an der Wasser-Berieselung (Vorwartehof vor dem Melkkarussell) angebracht.

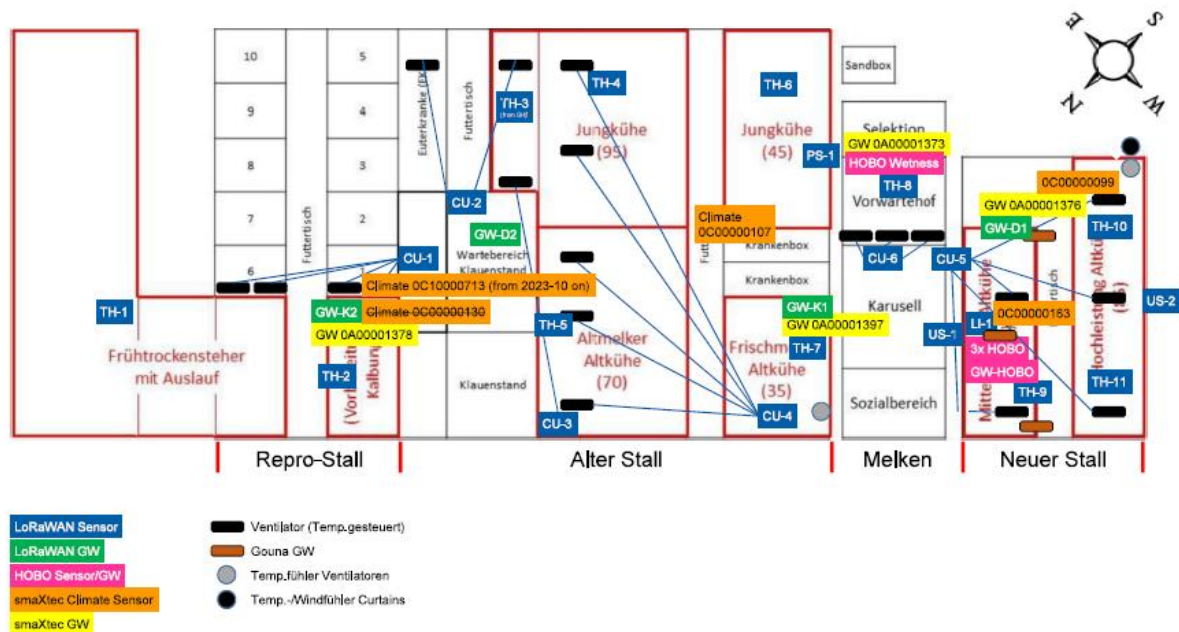


Abb. 4 Verteilung der verschiedenen Sensorstationen im Versuchsstall

Das ATB steuerte dabei folgende Sensoren bzw. Messtechnik bei:

- Hobo-Sensoren:
 - Temperatur-/Luftfeuchte-Sensor
 - Windgeschwindigkeits-Sensor
 - Solarradiation-Sensor
 - Blattfeuchte-Sensor
- Gounatechnik:
 - 3 Basisstationen, 1 portable Station, 2 Powerbanks, 1 WLAN Repeater
 - 100 Atemsensoren

Die smaXtec GmbH steuerte dabei folgende Sensoren bzw. Messtechnik bei

- 4 smaXtec Basisstationen
- 4 smaXtec climate Sensoren
- 960 smaXtec Classic Boli
- 50 smaXtec pH Boli

Wille Engineering lieferte die folgenden Sensoren:

- LoRaWAN-Sensoren, 4 LoRaWAN-Gateways
- Temperatur-/Luftfeuchte-Sensoren
- Lichtsensor
- Wasserfluss-Sensor
- Sensoren an den Curtains und Ventilatoren

2021 wurden durch das ATB und Gouna zur Erhebung der Atemfrequenzen 3 Basisstationen und eine portable Station installiert. In einer Stallgruppe (Mittelleistung Altkühe) wurden dann durch die Herdenmanagerin von Sonnewalde bis Projektende insgesamt 100 Atemsensoren an den Nasen der Kühe angebracht. Da die Atemsensoren nacheinander bei verschiedenen Kühen angebracht wurden, konnten insg. Atemfrequenzen von 164 Kühen (2021: 19, 2022: 82, 2023: 43, 2024: 20) erhoben werden. Die Dauer der Datenerhebung variierte dabei zwischen den einzelnen Tieren von 2 Wochen bis zu 6 Monate.

AP 3 IoT-Datenplattform entwickeln, Datentransfer, Datenrecht

Zur Entwicklung einer IoT-Datenplattform (DigiMuh-Cloud) wurden zunächst insbesondere mit den Partnern Hornecker und Wille Engineering Fragen, Probleme und Herausforderungen, die aufgrund der verschiedenen Sensorsysteme auftraten, diskutiert, bearbeitet und gemeinsam zufriedenstellend gelöst. Bereits Ende 2021 war eine erste Vorversion des Prototyps zur Sammlung, Speicherung, Aufbereitung, Darstellung und Export sämtlicher Stall-, Tier- und Managementdaten aufgebaut. Hierzu war es notwendig mit verschiedenen Herstellern von Sensorsystemen (smaXtec, Gouna, HOBO) Schnittstellen selbst neu zu generieren oder vom Hersteller generierte APIs zu verwenden. Ebenso mussten auch sämtliche Daten aus HerdePlus (u.a. die Gesundheitsdaten der Kühe) in die Cloud integriert werden. Genauere Details zu diesem Vorgehen können dem Sachbericht unseres Projektpartners Wille Engineering entnommen werden.

In den folgenden Projektjahren wurde diese Plattform in intensivem Austausch weiter verfeinert und verbessert, sodass zum Ende des Projektes eine stabil laufende Übermittlung aller Sensorsysteme und Datenbanken an den Prototyp der DigiMuh-Cloud sowie der live-Abruf sämtlicher Daten jederzeit gewährleistet war (**Abb. 5**). Der Prototyp der Datenplattform dient nun als Basis für weitere Anwendungsfälle (z.B. Integration Leibniz-Innovationshof).

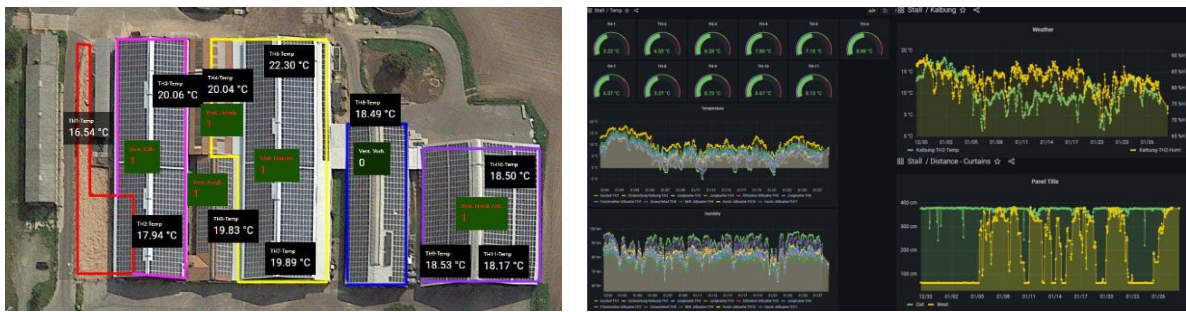


Abb. 5 Temperaturdaten in Echtzeit und verschiedene Darstellungsformen

Zur Berücksichtigung des Datenrechtes fand ein Austausch mit einer ausgewiesenen Fachexpertin/ Juristin statt. Die Bestimmungen des Datenschutzes und die Wahrung der Datenhoheit wurden durch sie in der Perspektive des Rechts in die Projektgestaltung eingebracht. Dabei wurden insbesondere die Formen der Datenhoheit und des Dateneigentums in Bezug auf betriebliche und technische Daten und das dazugehörige Data Sharing hinsichtlich der Rechtskonformität besprochen. Zudem informierten wir uns zu dieser Thematik bei einem durch die EurA AG organisierten Workshop im Rahmen von DigiTier.

AP 4 Modellierung, Algorithmen entwickeln

Im intensiven Austausch mit Herrn Dr. Hornecker entstand ein Dashboard, das es möglich macht, alle aus Sonnewalde verfügbaren Sensordaten auszuwählen, zu exportieren und zu analysieren. Zum Beispiel kann individueller Hitzestress anhand einer Broken Stick Analyse direkt erkannt werden. Weitere Details siehe Sachbericht Dr. Hornecker und smaXtec.

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

Es erfolgte eine intensive Arbeit zum Labeling von Krankheiten. Anhand des „Zentralen Tiergesundheitschlüssels Rind“ (Staufenbiel, 2015) erfolgte eine Gruppierung in folgende Krankheitskomplexe: Bewegungsapparat, Eutererkrankungen, Fruchtbarkeitsstörungen, Stoffwechselstörungen und sonstige Erkrankungen. Anhand dieser Gruppierungen wurden die Einträge aus HerdePlus bei der Übertragung ins Dashboard gelabelt, sodass man nun

gezielt nach bestimmten Erkrankungen filtern bzw. „kranke“ Tiere ausschließen kann. Dabei wurde zeitgleich definiert, welche Tiere und ab wann als „gesund“ gekennzeichnet werden.

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). Weitere Details siehe Sachbericht Dr. Hornecker.

AP 8 PC-Anwendung, App entwickeln

Es wurde ein Prototyp der IoT-Datenplattform und der PC-Anwendung (Dashboard) entwickelt. Beide liefern wertvolle Entwicklungen, die Wille Engineering und Dr. Hornecker für weitere Forschungsanwendungen und Projekte nutzen werden.

Die wirtschaftliche Verwertung wird wie geplant durch den Projektpartner smaXtec erfolgen, der es anstrebt, die Projektergebnisse in sein bestehendes System zu integrieren und anwenderfreundliche Warnungen für Hitzestress- und Gesundheitsmonitoring verfügbar machen kann. Nach Projektende (Sommer 2026) soll der entstandene Prototyp auf Pilotbetrieben zum Einsatz kommen und bei beginnendem Hitzestress alarmieren, um Einschränkungen im Tierwohl zu vermeiden.

AP 9 Projektmanagement

Das Projektmanagement wurde vornehmlich von Frau Dr. Heinicke, Frau Dr. Thomas und Frau Dr. Hoffmann am ATB durchgeführt. Im Rahmen dessen wurden folgende Arbeitsschritte organisiert:

- Entwurf und Ausarbeitung des DigiMuh LOGOs mit Unterstützung durch Wille Engineering
- Erstellung einer Website zum DigiMuh-Projekt in Zusammenarbeit mit Dr. Hornecker, der die Homepage (www.digimuh.de) auch über das Projektende hinaus weiterpflegt
- Organisation monatlicher Jour Fixe Termine (insgesamt 33) mit allen Projektpartnern (online) mit jeweiliger Vorbereitung der Präsentationen und Nachbereitung durch Protokolle

- Organisation von insgesamt 6 Projekttreffen (vor Ort bzw. hybrid), Vorbereitung einer Präsentation und Nachbereitung durch Protokolle
- Erstellung der jährlichen Zwischenberichte und fristgerechte Einreichung durch alle Partner
- Erwähnung in einem Zeitungsartikel der Potsdamer Neuesten Nachrichten (01.02.2023)
- Präsentation der Projektarbeiten und Vernetzung auf diversen Veranstaltungen:
 - Nationale und internationale Tagungen (BTU, Sep 2022, Soest; AgEng, Nov 2022, Berlin; EAAP, Sep 2023, Frankreich / Lyon; ISAH, Sep 2024, Thailand / Chiang Mai)
 - Messen (EuroTier 2022, Präsentation durch ATB am Stand des BMEL, Nov 2022, Hannover; EuroTier 2024, Präsentation durch BLE am Stand des BMEL, November 2024, Hannover)
 - DigiTier Vernetzungsveranstaltungen (29.-30.09.2021, Berlin; 28.-29.03.2022, Oldenburg; 30.05.2022, Triesdorf; 02.02.2023, online; 20.06.2023, online; 16.10.2023, online; 29.-30.11.2023, Bad Sassendorf; 20.02.2024, online; 11.04.2024, online; 05.06.2024, Berlin)
 - Testherdentagung (26.09.2024, Sonnewalde)
 - Vortrag im Rahmen einer Weiterbildung des RBB/LKV Berlin-Brandenburg in Brandenburg (16.03.2023, Päwesin)
 - Uelzener Rinderworkshop 2023 (08.-09.03.2023, Bad Bevensen)

Gegenüberstellung mit den vorgegebenen Zielen

Das Projekt DigiMuh startete später als ursprünglich in der Projektskizze geplant. Daher, und auch aufgrund von Lieferschwierigkeiten der Sensoren, waren im Jahr 2021 nicht alle Messungen wie vorgesehen durchführbar. Die smaXtec-Technik wurde erst am 28. April 2021 und die Klimamesstechnik (HOBO, LoRaWANs, Kontrolleinheiten der Ventilatoren, Curtains und Sprengler etc.) erst im September 2021 in den Ställen der Agrargenossenschaft Sonnewalde installiert. Bei den Atemsensoren gab es Verzögerungen durch Lieferschwierigkeiten. In 2021 konnten dadurch die Analysen der Hitzestressereignisse noch nicht in dem Umfang erfolgen wie ursprünglich geplant. Da insbesondere für die Zuchtwertschätzung, die bis zum ursprünglichen Projektende erreichte Stichprobenzahl zu gering sein könnte, 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 und die zusätzlichen Versuche in 2024 entsprechend durchgeführt.

2.2 Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die für das Projekt wichtigsten Positionen sind der **Tab. 2** zu entnehmen.

Tab. 2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Bezeichnung	Beschreibung
Beschäftigungsentgelte	Für die Durchführung des Projektes wurde eine PostDoc-Mitarbeiterin (Dr. J. Heinicke, gefolgt von Dr. C. Thomas) sowie zeitweise studentische / wissenschaftliche Hilfskräfte eingestellt.
Dienstreisen	• Projektbesprechungen • Versuchsdurchführung in Sonnenwalde betreuen • Tagungsteilnahmen • DigiTier Vernetzungstreffen • BLE-Innovationstage u.a.
Materialbeschaffung für den Hauptversuch	• Atemsensoren und Basisstationen • HOBO-Klimamessstation • 2 Festplatten (1-4 Terabyte)

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 der Landwirte, nicht zuletzt durch den akuten Fachkräftemangel, bedarf dringender Lösungsansätze, die sowohl das Tierwohl, die Forderungen der Gesellschaft als auch Erleichterungen für die Landwirte 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 diesen wichtigen Themen. Durch das Zusammenspiel von Stall-, Klima- und Tiersensoren, die sowohl Stall- als auch tierindividuelle Daten auf einer Cloud zusammenführen und in einem Dashboard visualisierbar, analysierbar und exportierbar machen, ist es möglich, tierindividuelle Krankheiten, Hitzestressbelastungen und Stallproblematiken (z. B. defekte Beregnung, etc.) für die Forschung schnell als Daten zur Verfügung zu stellen. Dies führt zu einer erheblichen Arbeitserleichterung, als auch zu einer deutlichen akuten Situationsverbesserung der Milchkuh, da individuell analysiert werden kann, welche Kühe resistenter gegenüber Hitzestress sind. Insbesondere die züchterischen Aspekte können hier einen erheblichen Beitrag zur langfristigen Verbesserung des Tierwohls leisten.

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

Die im Laufe des Vorhabens gewonnenen Kenntnisse insbesondere aus den genomweiten Assoziationsstudien in Bezug auf Hitzestress und die Identifizierung einer Reihe vielversprechender genomischer Regionen für Hitzestressresilienz wurden über den assoziierten Projektpartner FBF in den entsprechenden Fachgruppen vorgestellt und verwertet. Es wurde z.B. als Grundlage für weitere Forschungsvorhaben genutzt. Im Zusammenhang mit den in DigiMuh erlangten Ergebnissen wurde ein weiteres Projekt zur Entwicklung einer Zuchtwertschätzung Hitzetoleranz für die Rasse Holstein initiiert. Die abschließenden Auswertungen aus dem Projekt DigiMuh werden im Rahmen des genannten Projektes verwertet. Eine gemeinsame Ergebnispräsentation zum Themenkomplex Hitzetoleranz und Resilienz wurde in 04/2025 durchgeführt.

Weitere Projekte wurden, aufbauend auf DigiMuh, beantragt (u.a. BreedyTrack, Start in 2026 geplant). Weitere Details zu Projektanträgen sind in Teil III – Erfolgskontrollbericht beschrieben.

Nach Projektende sind weitere Veröffentlichungen zu den gewonnenen Erkenntnissen in wissenschaftlichen Fachzeitschriften geplant. In Kapitel 2.6 sind erfolgte und geplante Veröffentlichungen detailliert aufgeführt.

2.5 Während der Durchführung des Vorhabens dem Zuwendungsempfänger bekannt gewordener 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 viele wichtigen 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. Deren Schlussberichte sind zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht veröffentlicht und werden später gesichtet. 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 DigiMuh-Projektteam verfolgte Lösungsansatz und insbesondere die Erforschung der individuellen (Hitze-) stressbelastung scheint jedoch derzeit von anderen Teams nicht bearbeitet zu werden.

2.6 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse

Erfolgte Veröffentlichungen und Tagungsbeiträge

Zum Zeitpunkt der Erstellung des Schlussberichts waren folgende Beiträge veröffentlicht:

- Hoffmann, G.; Heinicke, J.; Wille, S.; Amon, T., 2022. Influence of barn climate on the rumen temperature of lactating dairy cows. In VDI Wissensforum GmbH (ed.): AgEng-LAND.TECHNIK 2022, VDI-Berichte Nr. 2406, S. 69-74 (Vortrag)
- Heinicke, J.; Wille, S.; Amon, T.; Hoffmann, G., 2022. Individualisierte und züchterische Hitzestressprävention mittels Digitalisierung in der Milchkuhhaltung. In: KTBL (ed.): 15th Conference Construction, Engineering and Environment in Livestock Farming (BTU) 2022, KTBL, Darmstadt, S. 129-132 (Poster)
- Hoffmann, G.; Heinicke, J.; Swalve, H.; Amon, T., 2023. Individuelle Erfassung von Hitzestress bei Milchkühen. In: Neue Herausforderungen für die Rinderzucht und -haltung. 9. Rinder-Workshop. DGFZ, Bad Bevensen, S. 133-140 (Vortrag)
- Heinicke, J.; Ammon, C.; Amon, T.; Hoffmann, G.; Pinto, S., 2023. Influence on the water intake of lactating dairy cows. In: Book of Abstracts of the 74th Annual Meeting of the European Federation of Animal Science. EAAP + WAAP + Interbull Congress 2023, Joint International Congress on Animal Science. Wageningen Academic Publishers, Lyon, S. 777 (Poster)
- Hoffmann, G.; Thomas, C.; Amon, T., 2024. Rumen temperature of dairy cows under heat stress. In: 21st International Society for Animal Hygiene Conference (ISAH) 2024. Chiang Mai, Thailand. Conference Proceedins. S.62 (Vortrag)
- Thomas, C.; Hoffmann, G.; Swalve, H.; Wille, S.; Hornecker, A., Individualisierte und züchterische Hitzestressprävention mittels Digitalisierung in der Milchkuhhaltung (Digi-Muh). *Beitrag zur BLE Innovationsbroschüre in 2024 erstellt und versandt*

Geplante Veröffentlichungen

- Hoffmann, G.; Thomas, C.; Ammon, C.; Özdemir, V.: Comparison of thermal indices regarding the respiration rate and rumen temperature of lactating dairy cows. Einreichung geplant: August 2025.

Medien- und Öffentlichkeitspräsenz des Projektes

- Artikel im Blickpunkt 01/2021 (S. 28-32)
- EuroTier 2022 - Präsentation am Stand des BMEL durch das ATB, Hannover, 15.-18.11.2022

- Am 01.02.2023 erschien im Tagesspiegel der Potsdamer Neuesten Nachrichten (PNN) der Artikel "Pflanzentürme, Kuh-Stresstests, bewegte Eier – So sieht die Landwirtschaft der Zukunft aus", in dem das Projekt DigiMuh ebenfalls erwähnt wurde.
- Uelzener Rinderworkshop in Bad Bevensen 08.-09.03.2023 (Vortrag)
- Weiterbildungsveranstaltung des RBB/LKV Berlin-Brandenburg in Päwesin am 16.03.2023 (Vortrag)
- DigiTier-Podcast (online seit dem 17.05.2024)
- Testtherdentagung in Sonnewalde, 26.09.2024 (Vortrag)
- EuroTier 2024 - Präsentation am Stand des BMEL durch die BLE, Hannover, 12.-15.11.2024
- Homepage (www.digimuh.de) /LinkedIn
- BLE Innovationstage 2022 und 2024 (Stand, Vortrag)

Literaturverzeichnis

- Becker, C. A., R. J. Collier, and A. E. Stone. 2020. Invited review: Physiological and behavioral effects of heat stress in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 103(8):6751–6770.
- Carabaño, M. J., M. Ramón, A. Menéndez-Buxadera, A. Molina, and C. Díaz. 2019. Selecting for heat tolerance. *Animal Frontiers* 9(1):62–68.
- Ferrazza, R. D., H. D. M. Garcia, V. H. V. Aristizabal, C. D. Nogueira, C. J. Verissimo, J. R. Sartori, R. Sartori, and J. C. P. Ferreir. 2017. Thermoregulatory responses of Holstein cows exposed to experimentally induced heat stress. *J. Therm. Biol.* 66:68–80.
- Hempel, S., C. Menz, S. Pinto, E. Galán, D. Janke, F. Estellés, T. Müschner-Siemens, X. Wang, J. Heinicke, G. Zhang, B. Amon, A. del Prado, and T. Amon. 2019. Heat stress risk in European dairy cattle husbandry under different climate change scenarios - uncertainties and potential impacts. *Earth Syst. Dynam. Discuss.* 10(4):859–884.
- Hoffmann, G., P. Herbut, S. Pinto, J. Heinicke, B. Kuhla, and T. Amon. 2020. Review paper: Animal-related, non-invasive indicators for determining heat stress in dairy cows. *Biosyst. Eng.* 199:83–96.
- St-Pierre, N. R., B. Cobanov, and G. Schnitkey. 2003. Economic Losses from Heat Stress by US Livestock Industries. *J. Dairy Sci.* 86:E52–E77.
- Staufenbiel, R. 2015. ZTGS Zentraler Tiergesundheitsschlüssel (Stand 11.10.2019).