

Schlussbericht zum Verbundprojekt „CERES“ (Cloud-based Empowerment of Rural Economy and LiveStock)

Vorhabenbezeichnung:	Entwicklung einer kooperativen Cloud-Plattform CERES zur Sammlung, Austausch und Auswertung von Daten in der Landwirtschaft und zur Verbesserung des Tierwohls
Förderkennzeichen:	281C209A19
Laufzeit:	15.11.2020 bis 14.02.2024
Zuwendungsempfänger:	Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn Institut für Landtechnik Prof. Dr. Wolfgang Büscher
Projektverantwortliche:	Dr. rer. nat. Inga Tiemann
Projektbearbeiterin:	Esther Wurm
Projektpartner:	Fraunhofer Institut adesso IMST GmbH Hochschule Hamm-Lippstadt Erzeugerring Westfalen e.G. Rahn-Farr GbR

Inhaltsverzeichnis

I	Kurze Darstellung des Projekts CERES	1
I.1	Ursprüngliche Aufgabenstellung sowie der wissenschaftliche und technische Stand an den angeknüpft wurde	1
I.2	Ablauf des Vorhabens	3
I.3	Wesentliche Ergebnisse sowie ggf. Zusammenarbeit mit anderen Stellen	5
II	Eingehende Darstellung des Projekts CERES	6
II.1	der im Rahmen des Vorhabens durchgeführten Arbeiten, insbesondere im Vergleich zur ursprünglichen Vorhabenbeschreibung	6
II.2	Erläuterung der Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	19
II.3	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	20
II.4	Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere die Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans	21
II.5	Bekannt gewordene Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen	22
II.6	Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses	23

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematische Darstellung von starken und schwachen Zusammenhängen zwischen den erhobenen Sensordaten und den Tierwohlindikatoren über alle Versuche hinweg für die Schweinemast.	9
Abbildung 2: Durchschnittliche Tieraktivität im Wochenverlauf auf dem Campus Frankenforst (A) und auf dem Praxisbetrieb Erzeugerring Westfalen e.G. (B).....	10
Abbildung 3: Gruppenaktivität der Mastschweine in Abhängigkeit der täglichen Anzahl an THI-Stunden (h).....	11
Abbildung 4: Zusammenhang zwischen der Gruppenaktivität von Mastschweinen und der Auftretenshäufigkeit von Schwanzbeißen.	11
Abbildung 5: Anteil der Tiere (%) mit tränenden oder roten Augen in Abhängigkeit der NH_3 -Konzentration im Mastdurchgang Herbst und im Mastdurchgang Sommer.	12
Abbildung 6: Durchschnittliche Herdenaktivität in Abhängigkeit der täglichen Anzahl an THI-Stunden (h).....	14
Abbildung 7: Durchschnittliche Futteraufnahme von Kühen mit höherer Milchleistung (> 25kg) und niedriger Milchleistung (< 15 kg) in Abhängigkeit des THI.....	14
Abbildung 8: Sensorplattform CERES-1 mit angeschlossenen Temperatur- und Luftfeuchtigkeitssensor.....	15
Abbildung 9: NH_3 -Sensor vor Inbetriebnahme (A) und nach Ende der Projektlaufzeit (B) mit Soll- NH_3 -Konzentration (schwarze Linie) und gemessener NH_3 -Konzentration während 40 % Luftfeuchtigkeit, 60 % Luftfeuchtigkeit und 80 % Luftfeuchtigkeit.	16
Abbildung 10: Testaufbau auf dem Campus Frankenforst. Hier dargestellt ist die Sensorplattform CERES-1 mit angeschlossenen Dräger Polytron 7000 zur Erfassung der NH_3 -Konzentration und der H_2S -Konzentration.	18

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Auswahl der zu erhebenden Parameter für Use-Case 1 und Use-Case 2.....	8
Tabelle 2: Auswahl der Sensoren.	17
Tabelle 3: Kostenpositionen im Projekt CERES.....	19
Tabelle 4: Erfolgte Veranstaltungen im Rahmen des Projekts CERES	23
Tabelle 5: Wissenschaftliche Arbeiten, die im Rahmen des Projekts durchgeführt wurden..	23

I Kurze Darstellung des Projekts CERES

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

Die fortschreitende Digitalisierung in der Landwirtschaft hat in den letzten Jahren enorm an Bedeutung gewonnen und bietet zahlreiche Chancen für die Verbesserung des Tierwohls, sowie der Optimierung von Betriebsabläufen und Produktionsprozessen. Dennoch stehen Landwirte vor einer Reihe von Herausforderungen und Problemstellungen im Zusammenhang mit dieser Entwicklung. Die vielfach verwendeten digitalen Systeme und Plattformen sind häufig nicht miteinander kompatibel, was die Integration und den Datenaustausch erschwert. Gleichzeitig erfordert die Nutzung von digitalen Systemen hohe Anforderungen an Datenschutz, Datenhoheit und Betriebssicherheit. Zudem beansprucht die Implementierung digitaler Technologien häufig hohe Investitionen in Hard- und Software. An diese Herausforderungen knüpft das Projekt CERES (**C**loud-based **E**mpowerment of **R**ural **E**conomy and **L**ive**S**tock) an, welches im Rahmen der Innovationsförderung zur Digitalisierung in der Nutztierhaltung durchgeführt wurde.

Das übergeordnete Ziel von CERES war die Entwicklung einer kooperativen Cloud-Plattform, zur Sammlung, zum Austausch und zur Auswertung von Daten in der Landwirtschaft. Unterschiedliche kostengünstige und bereits auf dem Markt befindliche Sensoren zur Erfassung von Stallklima, Schadgaskonzentrationen und tierindividuelle Daten sollen miteinander verknüpft werden und den Landwirt kontinuierlich mit Daten versorgen. Dabei soll dem Landwirt entlang der gesamten Wertschöpfungskette die Datenhoheit obliegen. Das CERES-Sensorsystem soll sowohl für die Rinder-, als auch für die Schweinehaltung nutzbar sein und als offener Ansatz konzipiert sein. Dazu wurden für den Stall insgesamt vier Sensorplattformen erfolgreich entwickelt, an denen unterschiedliche Sensoren angebunden sind. Diese Sensoren senden kontinuierlich Daten an die CERES-Cloud, in derer die Daten gespeichert werden. Für die Anwendbarkeit wurden sie auf den Praxisbetrieben der Projektpartner Erzeugerring Westfalen e.G. (Schweinehaltung) und Rahn-Farr GbR (Milchviehhaltung) getestet.

Für die Entwicklung des CERES-Sensorsystems standen insbesondere folgende Punkte im Vordergrund:

- Offener Ansatz zur zukünftigen Nutzung weiterer Sensoren und externer Daten
- Benutzerfreundliche Oberfläche mit einfacher Visualisierung der Daten
- Sichere Identifikation und individuelle Rechtevergabe für Landwirte
- Verarbeitung von Stallklima- und tierindividuellen Rohdaten zu nützlichen Informationen für den Landwirt

Es erfolgte keine Neuentwicklung im Bereich der Sensorik zur Erfassung von Stallklima und Schadgaskonzentrationen sowie der Tierdaten in der Schweinehaltung. Ebenso wurden keine neuen Sensoren zur Erfassung individueller tierbezogener Daten in der Milchviehhaltung entwickelt. Stattdessen wurden auf dem Markt befindliche Sensoren und -systeme für die Entwicklung der kooperativen Cloud-Plattform genutzt. Zur Beurteilung des Tierwohls wurden etablierte tierbezogene Indikatoren herangezogen, welche bereits in der wissenschaftlichen Literatur dokumentiert sind. Zur Erfassung der Tieraktivität in der Schweinehaltung kamen Passive Infrarotdetektoren (PID) (renkforce, Conrad Electronic SE, Hirschau, Deutschland) zum Einsatz, die bereits in früheren Studien für verschiedene Aktivitätsbereiche und Nutztierarten validiert wurden. Die Verwendung von PIDs ermöglichte die Messung der Tieraktivität unabhängig von den vorherrschenden Lichtverhältnissen. Dies geschieht durch die Erfassung thermischer Unterschiede zwischen den sich bewegenden (Tier-)Körpern und der von ihnen abgestrahlten Infrarotstrahlung im Vergleich zum Hintergrund.

Primär wurden folgende Informations- und Dokumentationsdienste verwendet:

- ScieneDirect, Web of Science, Google Scholar, ResearchGate
- Mess- und Auslesungssoftware:
 - TinyTag Plus 2 Sensor und TinyTag Explorer 4.8 Software (Gemini Data Loggers, Chichester, England)
 - Ahlborn Auslesesoftware (ALMEMO®, Ahlborn Mess- und Regelungstechnik GmbH, Holzkirchen, Deutschland)
- Statistische Auswertung:
 - IBM SPSS® Statistics 25-29 (IBM, New York, USA, 2021)
 - Microsoft Excel (Microsoft Corporation, Redmond, Washington, USA)

I.2 Ablauf des Vorhabens

Die Projektlaufzeit umfasste den Zeitraum vom 15.11.2020 bis 14.02.2024. In den einzelnen Projektjahren wurden unter Berücksichtigung der im Projektantrag beschriebenen Arbeitspakete folgende Arbeiten durchgeführt (detaillierte Ergebnisse in Kapitel II):

Berichtszeitraum 2021

Zum 01.06.2021 konnte die Stelle der Projektarbeiterin erfolgreich besetzt werden (AP1). Die Anforderungsanalyse (AP2) für das CERES-Sensorsystem wurde in Zusammenarbeit mit den Konsortialpartnern durchgeführt. Es wurden detaillierte Anforderungen erarbeitet und in einem Lastenheft festgehalten. Dies umfasste die Definition von Use-Cases, die Festlegung der zu erhebenden Parametern und die Auswahl möglicher Sensoren für die Sensorplattformen. Des Weiteren wurde eine intensive Literaturrecherche durchgeführt, um geeignete Sensoren zu identifizieren (AP11). Besonderes Augenmerk lag auf der Vereinbarkeit mit den fachspezifischen Anforderungen, der technischen Offenheit, Robustheit und Lebensdauer der Sensoren. Zudem wurde die Recherche auch hinsichtlich der Tierwohlboniturleitfäden ausgeweitet, um eigene Boniturleitfäden zu entwickeln und die wichtigsten Tierwohlindikatoren mit den Anwendern abzusprechen.

Berichtszeitraum 2022

Vor der Inbetriebnahme der CERES-Sensorplattformen für die Schweinehaltung wurde ein Mastdurchgang als Vorversuch auf dem Campus Frankenforst der Universität Bonn durchgeführt. Dabei wurde institutseigene Sensorik zur Messung des Stallklimas (Stalltemperatur (°C) und relative Luftfeuchtigkeit (RH%)) und der Schadgaskonzentrationen (Ammoniakkonzentration (NH₃), Kohlendioxid-Konzentration (CO₂), Schwefelwasserstoff (H₂S)) eingesetzt, um bereits vorab Daten generieren zu können (AP11). In einem zweiwöchigen Turnus wurden Tierwohlbonituren durchgeführt. Zusätzlich zur Tierwohlbonitur wurde die Tier- und Buchtenverschmutzung erfasst. Zudem konnten durch Rücksprache mit dem Schlachthof Westfleisch Hamm die Schlachtbefunde auf die jeweilige Bucht zurückverfolgt werden. Mit der Auswertung des ersten Mastdurchgangs konnten die Tierwohlindikatoren konkretisiert und optimiert werden. Darüber hinaus erfolgte eine Abstimmung mit den Anwendern, um festzustellen, welche Datenkorrelationen für Landwirte informativ und praktisch relevant sind (AP9). Parallel dazu erfolgte die Entwicklung mehrerer Sensorplattformen. Die dafür vorgesehenen Sensoren zur Messung von Schadgaskonzentrationen wurden an der institutseigenen Gasmischanlage validiert. Zudem konnte die erste Sensorplattform, bestehend aus NH₃- und H₂S-Sensoren, unter Laborbedingungen getestet werden.

Um vorab für die Milchviehhaltung Datenzusammenhänge darzustellen und um den Einfluss von Hitzestress auf Milchkühe auf Herden- und Einzeltierebene zu untersuchen, wurde für die Datengrundlage auf das vorhandene Sensorsystem GEA CowScout (GEA Farm Technologies, Bönen, Deutschland) des Campus Frankenforst der Universität Bonn zurückgegriffen. Zusätzlich wurden Klimadaten von der Wetterstation Frankenforst gesammelt. So konnte eine erste Analyse durchgeführt werden und Datenzusammenhänge zwischen Stallklima und Milchleistung, Aktivität sowie Futter- und Wasseraufnahme identifiziert und Einflussfaktoren auf das Tierwohl definiert werden.

Berichtszeitraum 2023

Zu Beginn des Jahres 2023 wurden sämtliche Sensoren an die CERES-Sensorplattformen angeschlossen. Im Zeitraum Mai bis August erfolgte im zweiten Mastdurchgang auf dem Campus der erste praktische Testdurchgang (AP14). Bereits während der Ferkelaufzucht wurden die Tiere mit RFID-Ohrmarken versehen. In enger Absprache mit Westfleisch Hamm wurden die Tiere am Tag der Schlachtung im Schlachthof manuell ausgelesen, um jeder Schlachtnummer die entsprechende Ohrmarkennummer zuzuordnen. Auf diese Weise wurde in einem ersten Versuch die lückenlose Verfolgung der Wertschöpfungskette der Tiere von der Ferkelaufzucht bis zum Schlachthof sichergestellt. Die entsprechenden Schlachtbefunde konnten den einzelnen Tieren zugeordnet werden. Nach Ende des zweiten Mastdurchgangs wurden die Sensorplattformen für die Schweinehaltung auf dem Praxisbetrieb Erzeugerring Westfalen e.G. über mehrere Monate eingesetzt. Sowohl im zweiten Mastdurchgang als auch auf dem Praxisbetrieb wurden die Tiere regelmäßig bonitiert, um sowohl auf dem Versuchsbetrieb als auch auf dem Praxisbetrieb Tierwohlindikatoren vergleichen zu können. Auf dem Milchviehbetrieb Rahn-Farr GbR wurde im Herbst ebenfalls zwei Sensorplattformen zur Messung des Stallklimas implementiert. Auch in diesem Jahr wurde für den Milchviehbetrieb das Sensorsystem GEA CowScout (GEA Farm Technologies, Bönen, Deutschland) des Campus Frankenforst der Universität Bonn genutzt, um Daten generieren zu können. Gleichzeitig fanden regelmäßige Gespräche und Verhandlungen mit Nedap (Nedap N.V., Groenlo, Niederlande) statt, mit dem Ziel, die Daten des Projektpartners Rahn-Farr GbR für die Entwicklung der Cloud-Plattform nutzen zu können.

Berichtszeitraum 01/2024 - 02/2024

Bis zum Projektabschluss wurden kontinuierlich Daten erfasst und ausgewertet, um eine umfassende Datengrundlage zu schaffen. Aus diesem Grund wurde die Technologie erst nach Projektende bei beiden Projektpartnern ausgebaut. Zusätzlich wurden die NH₃-Sensoren erneut an die institutseigene Gasmischanlage angeschlossen, um die Genauigkeit der Sensoren nach mehreren Monaten im Schweinestall zu überprüfen und daraus Rückschlüsse auf deren Langlebigkeit und Robustheit zu ziehen. Des Weiteren fanden weiterhin regelmäßig

Meetings statt, in denen unter anderem die Abschlussveranstaltung besprochen sowie über die zukünftige Ausrichtung von CERES diskutiert wurde.

I.3 Wesentliche Ergebnisse sowie ggf. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Im Projekt CERES wurden vier Sensorplattformen entwickelt, die mit Sensoren zur Erfassung des Stallklimas und der Tieraktivität ausgestattet sind. Diese Sensoren senden kontinuierlich Daten an eine Daten-Cloud, wo sie gespeichert und weiterverarbeitet werden. Gleichzeitig wurde untersucht, wie diese Sensoren das Tierwohl nachweisen und inwieweit die erfassten Parameter das Tierwohl beeinflussen können. Die Erhebung der Tierwohlindikatoren zeigte mögliche Auswirkungen der NH_3 -Schadgaskonzentration auf die Tiergesundheit. Sowohl in der Schweinehaltung als auch in der Milchviehhaltung beeinflusste die Hitzebelastung die Aktivität der Tiere. In der Schweinehaltung führte sie unter anderem auch zu einer höheren Buchten- und Tierverschmutzung. Bei Milchkühen führte sie zusätzlich zu Veränderungen der Milchleistung und der Futteraufnahme. Verhaltensauffälligkeiten wie Schwanzbeißen in der Schweinehaltung spiegelten sich ebenfalls in der Tieraktivität wider. Mit Hilfe von RFID-Ohrmarken konnten die Schlachtbefunde erfolgreich tierindividuell zurückverfolgt werden, wobei die Verlustrate während der Mast und Schlachtung gering war.

Zwischen allen Projektpartnern und dem Institut für Landtechnik (ILT) der Universität Bonn bestand eine enge Zusammenarbeit. Auch wurde mit der Lehr- und Versuchsanstalt Campus Frankenforst der Universität Bonn zusammengearbeitet, da dort die Vorversuche und die Testphase des CERES-Sensorsystems im Schweinemaststall und die Datenerhebung im Milchviehstall stattfand. Durch die Zusammenarbeit mit den Projektpartnern Erzeugerring Westfalen e.G. und Rahn-Farr GbR konnte das CERES-Sensorsystem ebenfalls auf Praxisbetrieben getestet werden. Die wissenschaftliche Werkstatt des ILTs half dabei, verschiedene Messtechniken versuchsspezifisch zu modifizieren. Darüber hinaus bestand eine Zusammenarbeit mit dem Schlachthof Westfleisch Hamm, der die Auslese der RFID-Ohrmarken am Schlachtband ermöglichte. Eine weitere projektbedingte Zusammenarbeit bestand nicht.

II Eingehende Darstellung des Projekts CERES

II.1 der im Rahmen des Vorhabens durchgeführten Arbeiten, insbesondere im Vergleich zur ursprünglichen Vorhabenbeschreibung

In den einzelnen Projektjahren war die Universität Bonn an folgenden Arbeitspaketen beteiligt:

- AP1 Projektmanagement
- AP2 Anforderungsanalyse
- AP9 Auswertungstools/-services
- AP11 Sensorik/Technische Anpassung der Sensoren
- AP14 Testaufbau und Testphase
- AP15 Demonstrator

AP1 Projektmanagement

Das Projektmanagement im Projekt CERES wurde federführend von Fraunhofer FIT durchgeführt. Organisatorische Schritte, die das ILT durchgeführt hat, waren unter anderem die Teilnahme an diversen Veranstaltungen zu Vernetzungs- und Transfermaßnahmen sowie die Koordination eines Projekttreffens auf dem Campus Frankenforst.

AP2 Anforderungsanalyse

Die Anforderungsanalyse wurde mit den Konsortialpartnern gemeinschaftlich durchgeführt. Ausgehend von der Projektskizze wurden detaillierte Anforderungen an das CERES-Sensorsystem erarbeitet und unterschiedliche Anwendungen beschrieben. Die Ergebnisse der Anforderungsanalyse wurden in Form eines Lastenheftes festgehalten. Unter anderem wurden folgende Aspekte definiert:

- Definition von Use-Cases für die Auswertung
- Festlegung der zu erhebenden Parametern
- Erfassung der tierbezogenen Indikatoren
- Mögliche Sensoren für die Sensorplattformen

Zunächst wurde eine umfassende Literaturrecherche in diversen Bereichen der Rinder- und Schweinehaltung durchgeführt. Ein besonderer Fokus lag dabei auf der Bewertung des Tierwohls. Parallel dazu wurde eine Recherche zum Stand der Technik im Bereich verschiedenster Sensorsysteme durchgeführt. Dabei war es von großer Bedeutung, zu ermitteln, welche Sensoren und Sensorsysteme den jeweiligen Anforderungen entsprachen, ohne dabei kostenaufwendig zu sein. Insbesondere wurde darauf geachtet, dass die Sensoren technisch offene Schnittstellen aufwiesen, robust waren und eine angemessene Lebensdauer

hatten. Dazu wurden unter anderem wissenschaftliche Arbeiten im Rahmen von Literaturübersichten durchgeführt.

Basierend auf der Anforderungsanalyse wurde der Fokus für die Entwicklung der CERES-Sensorplattformen auf die Betriebszweige Schweinemast und Milchviehhaltung gelegt. Die Sensorplattformen sollten zwar für mehrere unterschiedliche Betriebszweige nutzbar sein, dennoch erfolgte zunächst die Konzentration auf zwei Betriebszweige, um die notwendigen Versuche und Datenauswertung einzugrenzen. Da der Fokus unter anderem auf der kontinuierlichen Messung von einzeltierspezifischen Tierdaten, des Stallklimas sowie der Schadgaskonzentration in Echtzeit lag und dessen Auswirkung auf das Tierwohl gemessen werden sollte, wurden im Vorfeld Tierwohlboniturleitfäden für die Milchviehhaltung und Schweinemast erstellt. Als Vorlage dienten unter anderem das Welfare Quality® Assessment protocol und der KTBL-Leitfaden. Die für das Projekt wichtigsten Indikatoren wurden zusammengefasst und mit den Anwendern besprochen. Im Rahmen von Use-Case 1 sollte das Stallklima und die Schadgaskonzentrationen erhoben werden, sodass der Landwirt benachrichtigt werden kann, wenn kritische Werte im Stall erreicht werden. Dabei sollte berücksichtigt werden, wann gewisse Grenzwerte Auswirkungen auf das Tierwohl haben bzw. ob Zusammenhänge zwischen den Indikatoren und den Parametern festgestellt werden können. Use-Case 2 betrifft das Anlegen einer elektronischen Tierakte (Animalis Historia) und soll die Landwirte in der täglichen Dokumentationspflicht unterstützen. Aufgrund des großen Tierbestands in der Schweinehaltung, wurde die Tierakte auf Gruppenebene entwickelt. Da die Erfassung von tierindividuellen Daten in der Milchviehhaltung gängige Praxis ist, wurde dies auch für die Tierakte weiterverfolgt. Die für die Schweinehaltung und die Milchviehhaltung ausgewählten Parameter für Use-Case 1 (Stallklima) und Use-Case 2 (Tierakte) sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Auswahl der zu erhebenden Parametern für Use-Case 1 und Use-Case 2.

Betriebszweig	Use Case 1 (Stallklima)	Use Case 2 (Tierakte)
Schweinemast	• Stalltemperatur (°C) • Relative Luftfeuchtigkeit (RH %) • NH₃-Konzentration (ppm) • CO₂-Konzentration (ppm) • H₂O-Konzentration (ppm) • Luftströmung (m/s)	• Gruppenaktivität • Schlachtbefunde
Milchviehhaltung	• Stalltemperatur (°C) • Relative Luftfeuchtigkeit (RH%)	• Wiederkäuaktivität • Aktivität • Wasseraufnahme • Futteraufnahme • Milchleistung

AP9 Auswertungstools/-services

Ziel des Arbeitspakets war es Korrelationen und Muster innerhalb der erhobenen Sensor- und Dokumentationsdaten zu erkennen. Das ILT unterstützte das Arbeitspaket mit der Bereitstellung von Datenzusammenhängen, die in den durchgeführten Versuchen in der Schweinemast und Milchviehhaltung festgestellt wurden. Der Fokus lag darauf, inwieweit die erhobenen Parameter das Tierwohl beeinflussten oder ggf. Hinweise auf mögliche Einschränkungen des Tierwohls geben konnten. Dies sollte zum einen das übergeordnete Ziel unterstützen, Probleme noch während der Lebenszeit der Tiere zu identifizieren und verbessern zu können. Zum anderen sollten die Datenzusammenhänge dazu dienen, Rohdaten zu nützlichen Informationen für den Anwender zu verarbeiten und die Benutzeroberfläche von CERES entsprechend einfach zu gestalten. In folgender Abbildung 1 sind die für die Schweinemast erfassten Sensordaten sowie deren Zusammenhang zu verschiedenen Indikatoren für das Tierwohl dargestellt.

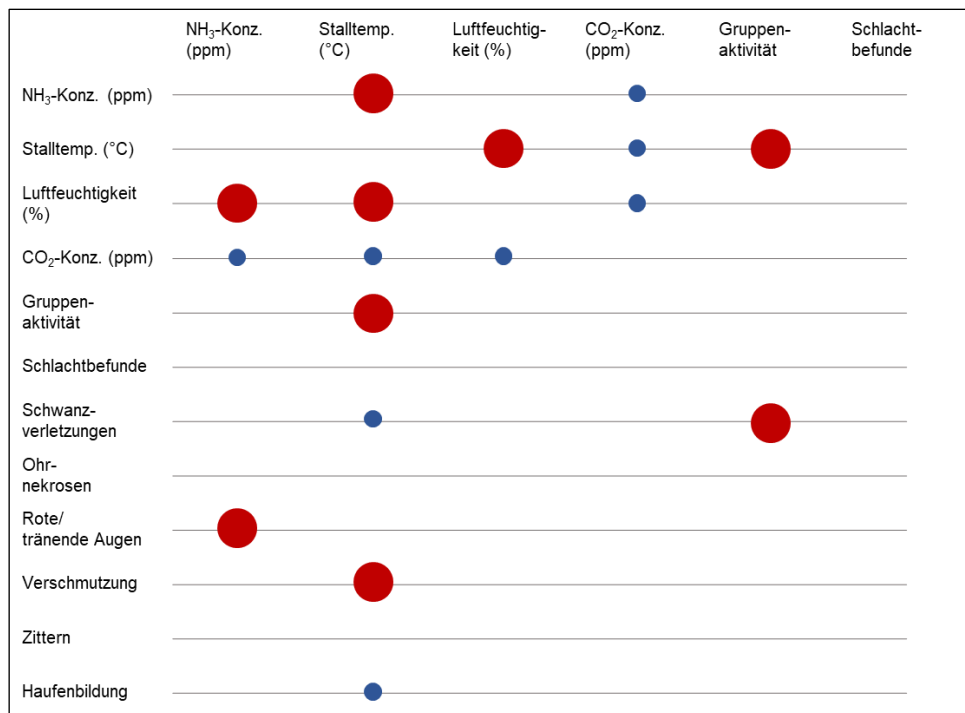


Abbildung 1: Schematische Darstellung von **starken** und **schwachen** Zusammenhängen zwischen den erhobenen Sensordaten und den Tierwohlindikatoren über alle Versuche hinweg für die Schweinemast.

Allgemein konnte festgestellt werden, dass bei steigender Stalltemperatur die NH₃-Konzentration im Stall abnahm ($r = -0,34$; $p < 0,001$). Dies kann damit begründet werden, dass bei einer höheren Stalltemperatur mehr gelüftet wird und somit die NH₃-Konzentration abgeführt wird. Auch zeigten die Ergebnisse, dass mit zunehmender relativer Luftfeuchtigkeit die NH₃-Konzentration anstieg ($r = 0,41$; $p < 0,001$). Darüber hinaus ergaben die Ergebnisse, dass die Tiere bei steigender Stalltemperatur den Kotbereich vergrößerten, was zu einer erhöhten Verschmutzung der Buchten führte. Gleichzeitig nahm auch die Verschmutzung der Tiere zu, da diese die Kotbereiche als Liegefläche und zur Abkühlung nutzten. Bei niedriger Temperatur neigten die Tiere dazu, Haufen zu bilden und Körperkontakt zu suchen.

Wie in Abbildung 2 dargestellt, konnte mit Hilfe der PIDs das Ruhe- und Aktivitätsverhalten der Mastschweine erfasst werden. Durch die Erfassung der Gruppenaktivität zeigten sich zudem betriebliche Unterschiede. Auf Frankenforst erhielten die Tiere eine *ad libitum* Fütterung, was zu einer geringeren Gruppenaktivität führte, während die Tiere im Praxisversuch eine Flüssigfütterung (Phasenfütterung) erhielten, was sich in einer erhöhten Tieraktivität widerspiegelte.

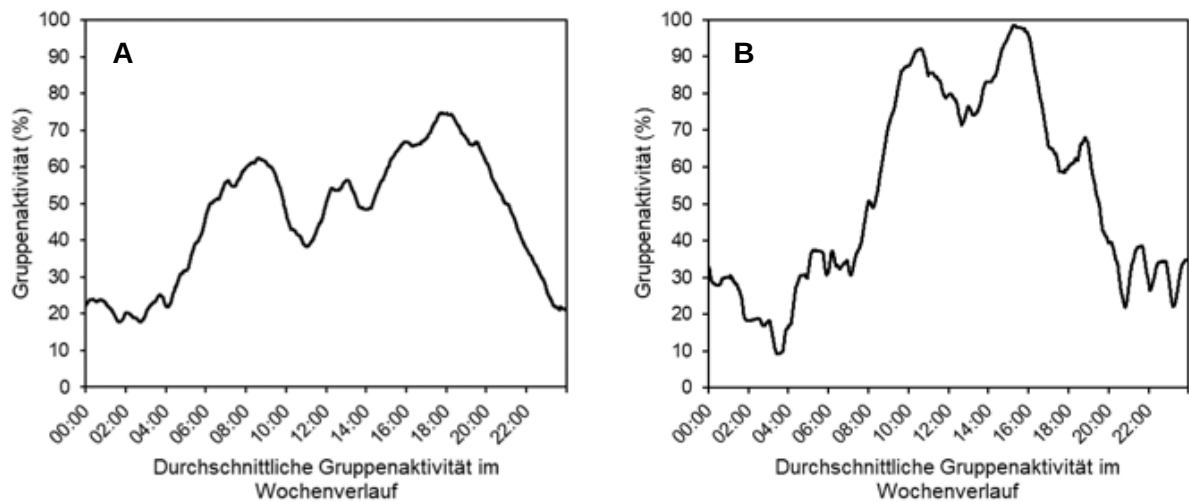


Abbildung 2: Durchschnittliche Tieraktivität im Wochenverlauf auf dem Campus Frankenforst **(A)** und auf dem Praxisbetrieb Erzeugerring Westfalen e.G. **(B)**.

Zudem konnte ein signifikanter Zusammenhang ($r = -0,38$; $p < 0,001$) zwischen der Tieraktivität und einem steigenden Temperatur-Hitze-Index (THI) festgestellt werden (Abbildung 3). An Tagen mit höheren THI-Stunden war die Aktivität der Tiere im Vergleich zu Tagen mit niedrigeren THI-Stunden reduziert. Außerdem wurde ein signifikanter Zusammenhang ($r = 0,59$; $p < 0,001$) zwischen der Häufigkeit von Schwanzbeißen und der Tieraktivität festgestellt. Zeiträume, in denen Schwanzbeißen vermehrt auftrat, waren durch eine erhöhte Gruppenaktivität der Tiere gekennzeichnet (Abbildung 4).

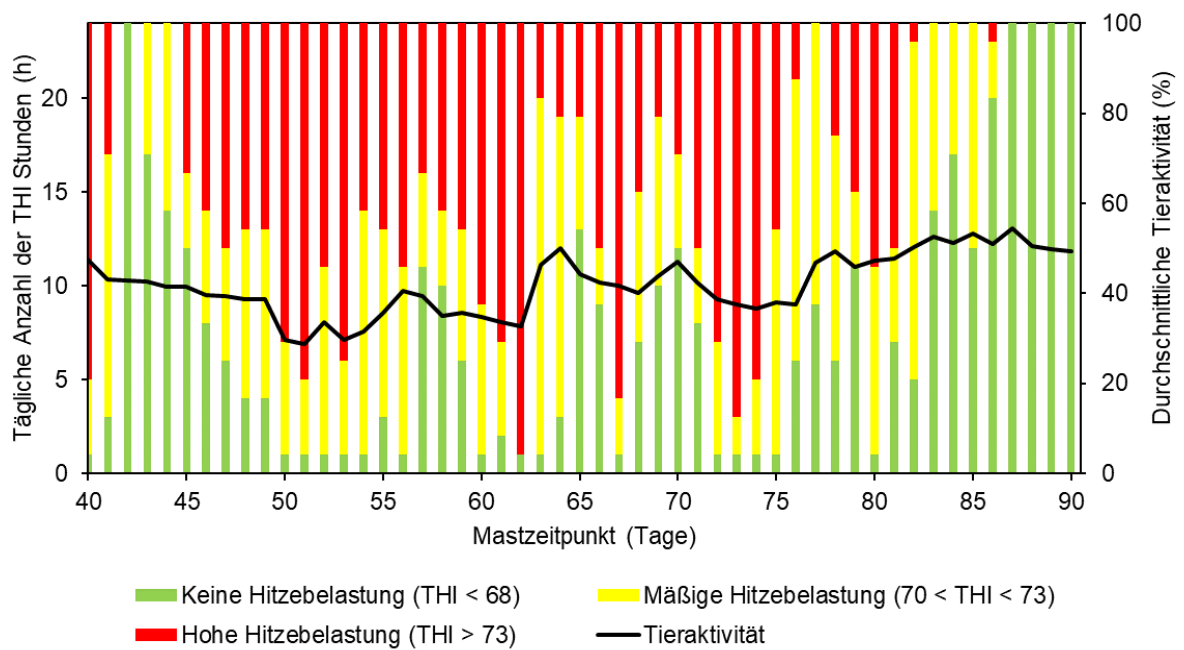


Abbildung 3: Gruppenaktivität der Mastschweine in Abhängigkeit der täglichen Anzahl an THI-Stunden (h).

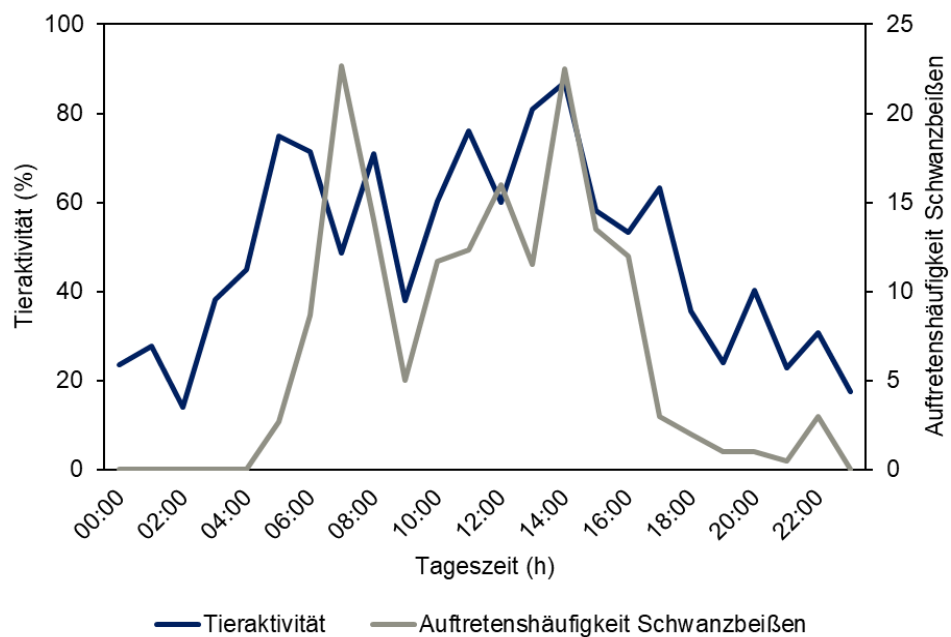


Abbildung 4: Zusammenhang zwischen der Gruppenaktivität von Mastschweinen und der Auftretenshäufigkeit von Schwanzbeißen.

Im Herbst zeigte eine deutlich höhere Anzahl von Tieren im Mastdurchgang rote und tränende Augen im Vergleich zum Mastdurchgang im Sommer (Abbildung 5). Dies war auf die erhöhte NH_3 -Konzentration im Stall zurückzuführen ($\text{MW} = 12,49 \pm 3,36$). Bereits bei niedrigeren NH_3 -Konzentrationen als gesetzlich vorgeschrieben konnte festgestellt werden, dass der Anteil der Tiere mit roten und tränenden Augen zwischen 10 und 15 ppm anstieg. Im Sommer hingegen, wo die NH_3 -Konzentration bei durchschnittlich $5,17 \pm 1,12$ ppm lag, konnte kein Zusammenhang beobachtet werden.

Durch die Nutzung der RFID-Ohrmarken im zweiten Mastdurchgang auf dem Campus Frankenforst war es möglich, die Schlachtbefunde einzelner Tiere spezifisch zurückzufolgen. Von den insgesamt 64 geschlachteten Tieren konnten 58 Schlachtbefunde einzeltierspezifisch zugeordnet werden. Während der Mastphase ging eine Ohrmarke verloren, und während des Schlachtprozesses gingen fünf weitere Ohrmarken verloren. Aufgrund der geringen Anzahl an Organbefunden konnten jedoch keine Zusammenhänge zwischen diesen Befunden und den erhobenen Tierwohlindikatoren festgestellt werden.

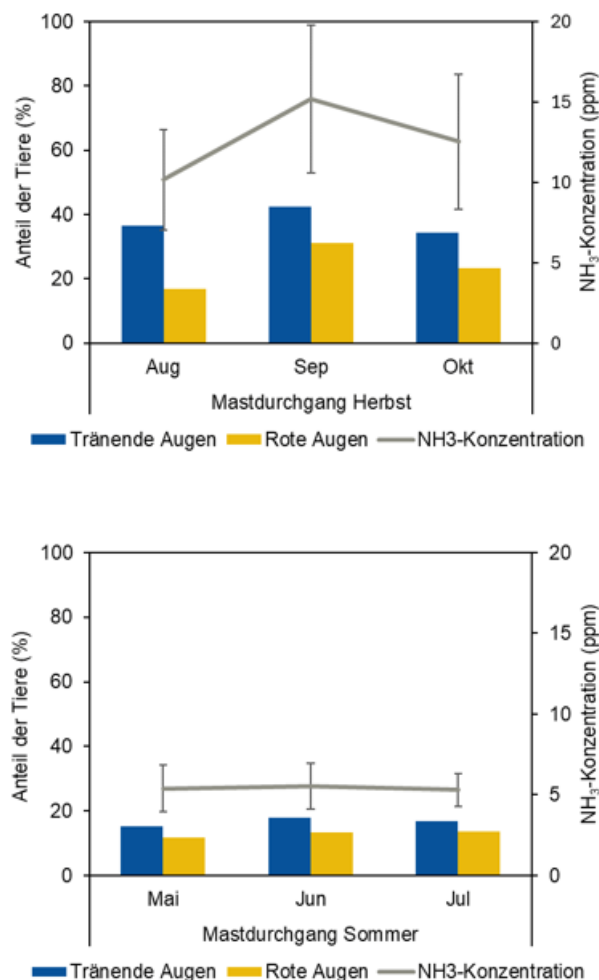


Abbildung 5: Anteil der Tiere (%) mit tränenden oder roten Augen in Abhängigkeit der NH_3 -Konzentration im Mastdurchgang Herbst und im Mastdurchgang Sommer.

Nicht nur in der Schweinehaltung konnten Zusammenhänge zwischen Tierwohlindikatoren und den erhobenen Parametern festgestellt werden. Auch in der Milchviehhaltung wurden im Rahmen eines Vorversuchs auf dem Campus Frankenforst der Universität Bonn umfangreiche Datenerhebungen durchgeführt. Ziel war es, vor der Integration des Nedap-Systems bereits Daten generieren zu können. In dieser Untersuchung lag der Fokus insbesondere auf der Analyse der Auswirkungen des THI auf die Tieraktivität, die Milchleistung sowie die Futteraufnahme der Tiere. Des Weiteren wurde sich in unterschiedlichen Workshops mit Landwirten ausgetauscht, wie Rohdaten (Tieraktivität, Wiederkäuaktivität, Futter- und Wasseraufnahmeverhalten, Milchleistung) aufbereitet werden sollten. Aus diesem Grund wurde beschlossen, die Daten zunächst im Anwendungsbereich auf Herdenebene zu präsentieren. Anschließend können tierindividuelle Daten durch weitere Anwendungen betrachtet werden. Die Klimadaten der Wetterstation Frankenforst wurden verwendet, um den stündlichen THI zu berechnen und in Kategorien ohne ($\text{THI} < 68$), mildem bis mäßigem ($68 < \text{THI} < 79$) oder starkem Hitzestress ($\text{THI} > 80$) einzuteilen. Wie in Abbildung 6 dargestellt, reagierten die Tiere auf einen erhöhten THI mit einer Reduzierung der durchschnittlichen Herdenaktivität ($r = -0,51$; $p = 0,001$). Des Weiteren wurde eine deutlich negative Korrelation ($r = -0,57$; $p < 0,001$) zwischen Lufttemperatur und Milchmenge bei einer durchschnittlichen Milchleistung von 24,8 kg festgestellt. Im Gegensatz dazu war der Zusammenhang zwischen Temperatur und Milchleistung bei einer täglichen Produktion von 12,6 kg pro Tag erwartungsgemäß deutlich geringer ($r = 0,12$; $p < 0,001$). Darüber hinaus reagierten Kühe mit einer höheren Milchleistung (> 25 kg) deutlich stärker auf einen höheren THI mit reduzierter Futteraufnahme als Kühe mit einer geringeren Milchleistung (< 15 kg) (Abbildung 7).

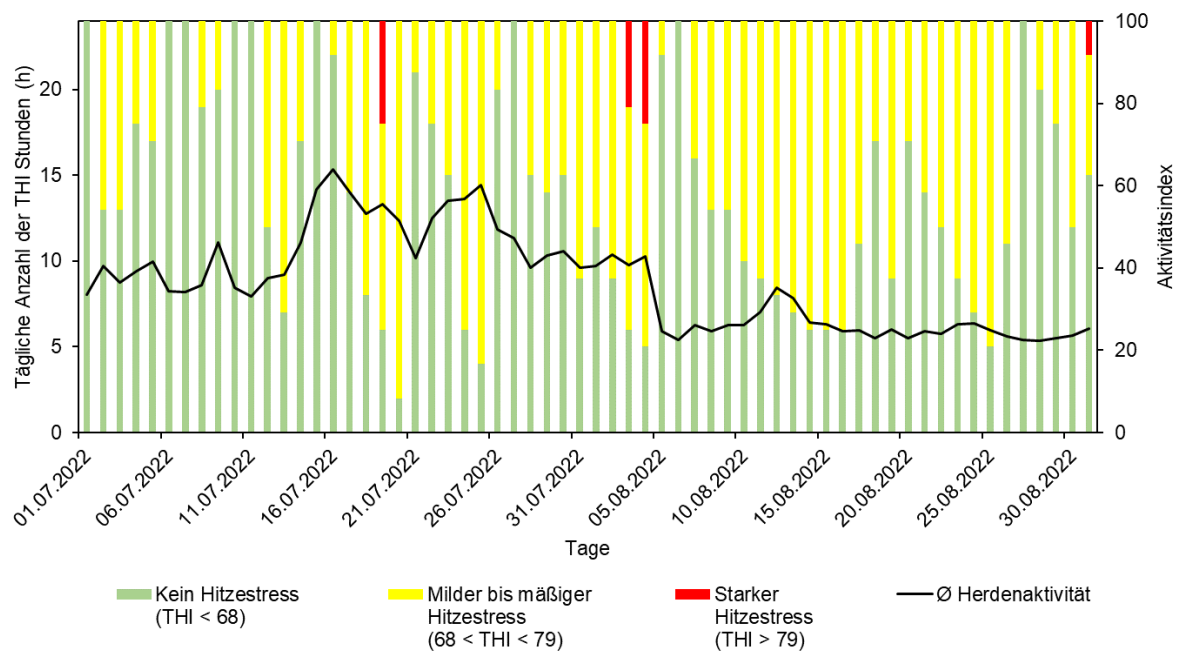


Abbildung 6: Durchschnittliche Herdenaktivität in Abhängigkeit der täglichen Anzahl an THI-Stunden (h).

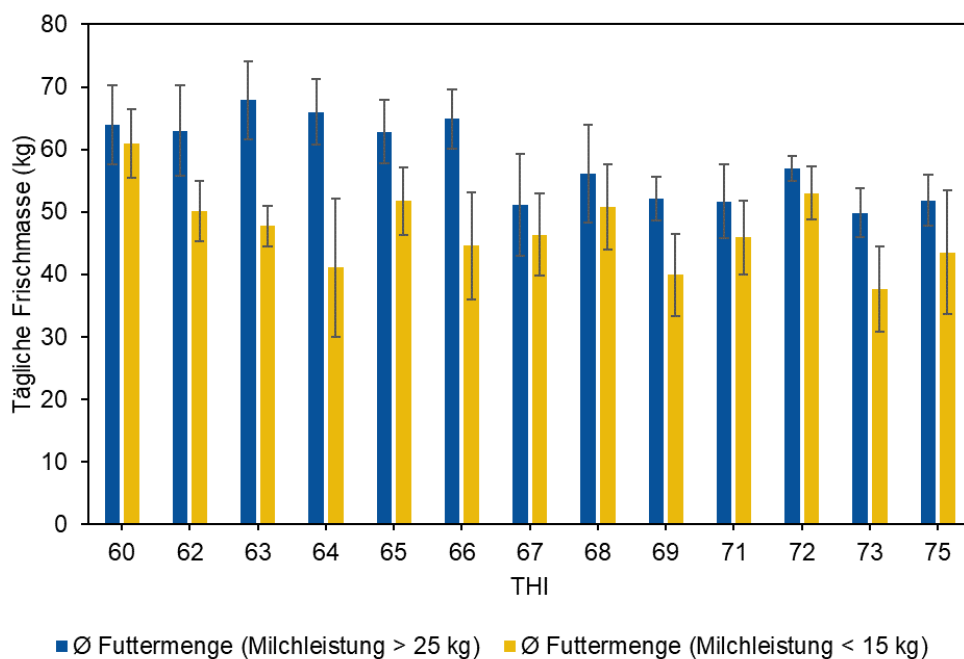


Abbildung 7: Durchschnittliche Futteraufnahme von Kühen mit höherer Milchleistung (> 25kg) und niedriger Milchleistung (< 15 kg) in Abhängigkeit des THI.

AP11 Sensorik/Technische Anpassung der Sensoren

Ziel des Arbeitspaketes war es die Sensoren auf Basis der Anforderungen auszuwählen. In der Schweinemast waren die Anforderungen zu Robustheit, Langlebigkeit, Messgenauigkeit und IoT-Fähigkeit bzw. Kompatibilität mit unterschiedlichen digitalen und analogen Schnittstellen. Die Sensoren mussten durch offene Schnittstellen an eine Sensorplattform angeschlossen werden können (Abbildung 8). Für die Milchviehhaltung sollte das auf dem Betrieb bereits integrierte Sensorsystem Nedap (Nedap N.V., Groenlo, Niederlande) an die CERES-Sensorplattform angeschlossen werden, sodass hier keine neuen Sensoren für die Erfassung von Tierdaten notwendig waren.



Abbildung 8: Sensorplattform CERES-1 mit angeschlossenen Temperatur- und Luftfeuchtigkeitssensor.

Die Kalibrierung der Träger-Sensoren wurde am ILT durchgeführt. Zusätzlich wurden die Sensoren zur Erfassung der NH_3 -Konzentration vor der Inbetriebnahme und am Ende der Projektlaufzeit an der institutseigenen Gasmischanlage getestet, um ihre Messgenauigkeit und Langzeitstabilität zu überprüfen (Abbildung 9).

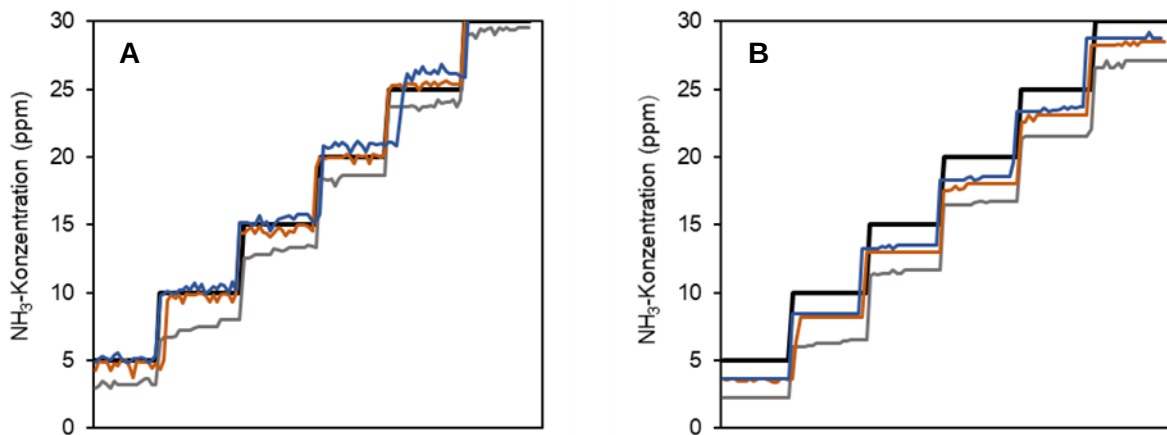


Abbildung 9: NH₃-Sensor vor Inbetriebnahme (A) und nach Ende der Projektlaufzeit (B) mit Soll-NH₃-Konzentration (schwarze Linie) und gemessener NH₃-Konzentration während 40 % Luftfeuchtigkeit, 60 % Luftfeuchtigkeit und 80 % Luftfeuchtigkeit.

Die höchsten Abweichungen traten bei einer niedrigen Luftfeuchtigkeit (40 %) und niedrigen NH₃-Konzentrationen (5-10 ppm) sowohl vor der Implementierung ($-14,6 \% \pm 12,3$) als auch nach Messende auf ($-26 \% \pm 15,6$). Bei einer Luftfeuchtigkeit von 60 % und 80 % konnte vor der Implementierung lediglich eine durchschnittliche Abweichung von $-1,2 \% \pm 2,4$ und $3,8 \% \pm 2,6$ festgestellt werden. Nach Messende stiegen sie auf durchschnittlich $-13,9 \% \pm 7,9$ und $-11,6 \% \pm 5,2$, wobei erneut niedrige NH₃-Konzentrationen die höchsten Abweichungen verursachten. Die Daten der kostengünstigen SEED-Sensoren zur Messung von Temperatur und Luftfeuchtigkeit wurden mit den Daten der bereits langjährig genutzten und robusten Tinytags (Gemini Data Loggers, Chichester, England) verglichen, um Abweichungen in der Messgenauigkeit festzustellen. Die PIDs wurden bereits im Rahmen des Projekts *PigsAndMore* (FKZ: 2817902515) getestet, wobei umfassend gute Ergebnisse zur Erfassung der Gruppenaktivität festgestellt wurden. Die für das CERES-Sensorsystem ausgewählten Sensoren sind in Tabelle 2 aufgelistet.

Tabelle 2: Auswahl der Sensoren.

Betriebszweig	Parameter	Herkunft
Schweinemast	Stalltemperatur (°C)	Sensirion SHT35 (Sensirion, Stäfa, Schweiz)
	Relative Luftfeuchtigkeit (RH%)	Sensirion SHT35 (Sensirion, Stäfa, Schweiz) Bosch BME680 (Bosch Sensortec GmbH, Baden-Württemberg, Deutschland)
	NH ₃ -Konzentration (ppm) H ₂ O-Konzentration (ppm)	Dräger Polytron 7000 (Drägerwerk AG & Co. KGaA, Lübeck, Deutschland)
	CO ₂ -Konzentration (ppm)	Dragino LAQ4 (Dragino Technology, Co., Shenzhen, China)
	Luftströmung (m/s)	KIMO CTV 110 (Sentronic AG, Remetschwil, Schweiz)
	Tieraktivität	Passive Infrarotdetektoren (PID) (renkforce, Conrad Electronic SE, Hirschau, Deutschland)
	Schlachtbefunde	RFID-Ohrmarken/Agrident 300 Stickreader (Agrident GmbH, Barsinghausen, Deutschland)
Milchviehhaltung	Stalltemperatur (°C)	Sensirion SHT35 (Sensirion, Stäfa, Schweiz)
	Relative Luftfeuchtigkeit (RH%)	
	Wiederkäuaktivität	Nedap (Nedap N.V., Groenlo, Niederlande)
	Aktivität	
	Wasseraufnahme	
	Futtermittelaufnahme	

AP14 Testaufbau und Testphase und AP15 Demonstrator

Ziel der Arbeitspakete war es das CERES-Sensorsystem für die Datenerhebung in Betrieb zu nehmen, sodass die betrieblichen Daten kontinuierlich an die CERES-Cloud gesendet werden können. Die Sensorplattformen sollten den Anwendern (Erzeugerring Westfalen e.G. und Rahn-Farr GbR) zur Verfügung gestellt werden, sodass die Betriebe in dieser Phase in Feldversuchen die Aufbauten testen und erste Daten aufnehmen konnten. Ebenfalls wurden die Sensoren hinsichtlich der Einschätzung ihrer Anwendbarkeit überprüft.

Nach erfolgreicher Inbetriebnahme der vier Sensorplattformen wurde auf dem Campus Frankenforst ein zweiter Mastdurchgang durchgeführt. Parallel dazu wurden alle Systeme dupliziert und dem Erzeugerring Westfalen e.G. zur Verfügung gestellt. Insgesamt wurden folgende vier Sensorplattformen entwickelt:

- Sensorplattform 1: Dräger Polytron 7000 zur Erfassung der NH_3 -Konzentration und H_2S -Konzentration (Abbildung 10)
- Sensorplattform 2: Interner Temperatursensor DS1820 und externer SEED-Temperatur- und Luftfeuchtigkeitssensor SHT 35
- Sensorplattform 3: KIMO CTV110 (Luftströmung und Temperatur über abgesetzte Messsonde) sowie interner Temperatursensor DS1820 als Vergleichswert
- Sensorplattform 4: PID-Bewegungsmelder, sowie Temperatur- Luftfeuchtigkeit- Luftdruck und Gasmessung über externen SEED-Sensor mit BME680 und SHT35

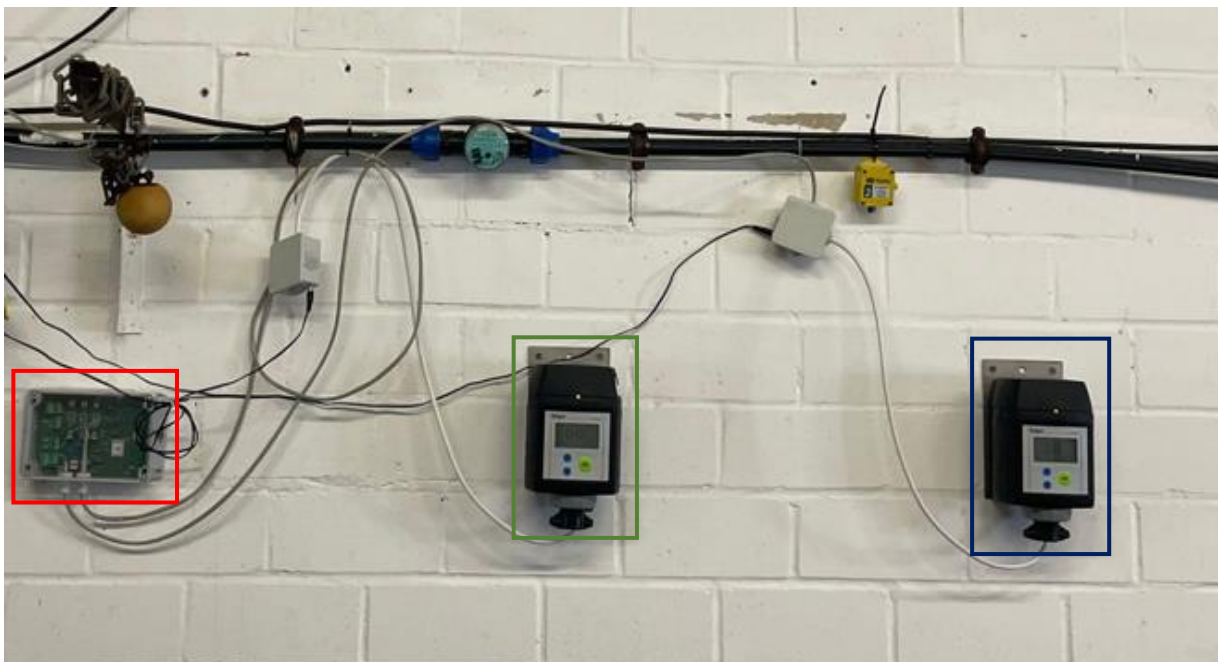


Abbildung 10: Testaufbau auf dem Campus Frankenforst. Hier dargestellt ist die **Sensorplattform CERES-1** mit angeschlossenem Dräger Polytron 7000 zur Erfassung der NH_3 -Konzentration und der H_2S -Konzentration.

Die Sensorplattformen wurden über einen Zeitraum von insgesamt 11 Monaten intensiv getestet. Dank der einfachen Anbringung der Sensoren und der Verwendung eines hochzuverlässigen Funknetzwerks traten während der Tests sowohl im Mastdurchgang auf dem Campus Frankenforst als auch im Praxisversuch auf dem Betrieb Erzeugerring Westfalen e.G. keine Ausfälle der Datenübertragung auf. Dies belegt die Zuverlässigkeit und Robustheit des Systems unter realen Bedingungen sowohl im experimentellen als auch im landwirtschaftlichen Einsatz.

II.2 Erläuterung der Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Tabelle 3 zeigt die wichtigsten Ausgaben innerhalb der Kostenpositionen im Projekt CERES.

Tabelle 3: Kostenpositionen im Projekt CERES.

Kostenposition		Ist (gem. Schlussverwendungsnachweis)	Wichtigsten Ausgaben für
812	Personalausgaben	107.579,87 €	Personalkosten für Projektbearbeiterin
843	Sonstige allgemeine Verwaltungsausgaben	460,18 €	Ausgaben für Literaturrecherche (zwei Bücher über Animal Welfare)
846	Dienstreisen	869,40 €	Fahrten zu den Versuchsbetrieben nach Königswinter (Campus Frankenforst), Ascheberg (Erzeugerring Westfalen e.G.), Büdingen (Rahn-Farr GbR); Teilnahme an Tagungen und Workshops (BTU 2022, Agrarforschungstag, BLE-Innovationstage, DigiTier Workshops)
Summe		108.909,45 €	

II.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Zum Zeitpunkt der Antragstellung und bis dato besteht in der Landwirtschaft eine Informationsflut, welche häufig die Landwirte vor enorme Herausforderungen stellt. Diese Flut an Informationen resultiert nicht nur in einer Überlastung der Landwirte, sondern auch in technischen Inkompatibilitäten zwischen den verschiedenen Sensorsystemen. Darüber hinaus gewinnt Tierwohl sowohl gesellschaftlich als auch politisch zunehmend an Bedeutung. Angesichts der großen Tierbestände auf vielen Betrieben benötigt der Landwirt jedoch digitale Unterstützung bei der täglichen Tierkontrolle und im Management.

Das CERES-Sensorsystem ermöglicht die Integration verschiedener Sensoren zur Erfassung von stall- und tierrelevanten Parametern. Die Ergebnisse zeigen, dass diese Sensoren wichtige Tierdaten, wie die Gruppenaktivität bei Schweinen, zuverlässig erfassen können. Dies erlaubt nicht nur die Identifizierung von Ruhe- und Aktivitätsphasen, sondern verdeutlicht auch, wie unterschiedliche Managementpraktiken die Tieraktivität beeinflussen können. In Kombination mit Stallklimasensoren können frühzeitig Anzeichen von möglichem Hitzestress durch veränderte Gruppenaktivität erkannt werden. Die Erfassung der Gruppenaktivität zeigt zudem Potenzial, frühzeitig Hinweise auf Unruhe im Stall liefern zu können. Dadurch besteht die Möglichkeit zukünftig Rangkämpfe, Schwanzbeißen oder andere Verhaltensanomalien rechtzeitig zu erkennen. Die Erfassung der NH_3 -Konzentration im Stall ist heutzutage noch keine gängige Praxis in der Mastschweinehaltung. Die Ergebnisse deuten jedoch daraufhin, dass die Erfassung der NH_3 -Konzentration im Stall ein wichtiger Parameter ist, da bereits Konzentrationen unterhalb gesetzlicher Grenzwerte die Tiergesundheit beeinträchtigen können. Darüber hinaus gewinnt eine tierindividuelle Kennzeichnung von Schweinen immer mehr an Bedeutung. Die einzeltierspezifischen Schlacht- und Organbefunden können mit Gesundheits- und Leistungsparametern sowie Haltungsbedingungen in der Mast verknüpft werden. Im zweiten Mastdurchgang auf dem Campus Frankenforst wurde die Kennzeichnung der Tiere nach dem Absetzen mittels RFID-Ohrmarken erfolgreich umgesetzt, wodurch eine genaue Rückverfolgung der Schlachtbefunde auf tierindividueller Ebene ermöglicht wurde. Die Verlustrate der Ohrmarken während der Mast- und Schlachtvorgänge erwies sich dabei als gering. In der Milchviehhaltung zeigte sich ebenfalls, dass die Kombination von Sensorik zur Erfassung des Stallklimas und den Tierdaten Hinweise auf möglichen Hitzestress liefern kann.

Insgesamt verdeutlichen die Ergebnisse, dass die verwendeten Sensoren im Projekt CERES Hinweise auf das Tierwohl geben können und die Möglichkeit besteht, die Haltungsumwelt noch während der Lebensperiode der Tiere zu verbessern. Die Zusammenführung von Stallklima- und Tierdaten ermöglicht es, das Wohlbefinden der Tiere kontinuierlich zu überwachen und frühzeitig auf potenzielle Probleme oder Risiken zu reagieren.

II.4 Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere die Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Das vorrangige Ziel des Projekts war die Entwicklung einer kooperativen Cloud-Plattform zur Zusammenführung von Daten in der Nutztierhaltung. Die Entwicklung beschränkte sich im Projekt auf die Bereiche Schweinemast und Milchviehhaltung. Jedoch sollten zukünftige Bemühungen darauf abzielen, das CERES-Sensorsystem auf weitere Produktionsbereiche wie bspw. auf die Ferkelerzeugung zu erweitern. Dies eröffnet ein breiteres Anwendungsfeld für die spätere Nutzung der Plattform.

Die Integration und Weiterentwicklung der Zusammenhänge zwischen Tierwohlindikatoren und den erhobenen Parametern im CERES-Sensorsystem stellt einen vielversprechenden Ansatz dar. Dies ermöglicht eine zukünftige Nutzung des CERES-Sensorsystems als Unterstützung im landwirtschaftlichen Management, indem Benachrichtigungen generiert werden können, sobald vordefinierte kritische Werte überschritten werden. Besonders die Erfassung der Tieraktivität in der Schweinemast ist bisher nicht weit verbreitet, primär aufgrund der hohen Ansprüche an die Robustheit der eingesetzten Sensorik. Dennoch zeigen sich die PIDs als äußerst widerstandsfähig und haben das Potenzial, zukünftig in der Schweinehaltung eingesetzt zu werden. Dies könnte beispielsweise die buchtenindividuelle Erkennung von Hitzestress ermöglichen, wodurch gezielt Maßnahmen zur Verbesserung des Tierwohls ergriffen werden können.

Die Use Cases (Stallklima und *Animalis Historia*) sind nicht komplett neu, grenzen sich aber durch den genossenschaftlichen Open-Source Ansatz von bisherigen Lösungen ab. Die Schnittstellen von CERES liegen offen dokumentiert vor und ermöglichen es den Betrieben in Zukunft eigene Projekte mit anderen Datenquellen umzusetzen. Es sollten zukünftig weitere externe Datenquellen, wie Tierarztdokumentationen, Maßnahmen bei individuellen Tieren oder Tiergruppen integriert werden. Betriebliche Prozesswege können so sichtbarer gemacht werden und bei Bedarf anderen Stellen zur Verfügung gestellt werden.

II.5 Bekannt gewordene Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens sind aus dem Projekt DigiSchwein bekannt. Das Experimentierfeld DigiSchwein befasst sich ebenfalls mit der Datenzusammenführung in der Schweinehaltung entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Ziel ist die Entwicklung einer Farmmanagement-Software, die als Frühwarnsystem genutzt werden und als Entscheidungshilfe dienen soll. Obwohl es Schnittstellen im Bereich einzelner Arbeitspakete gibt, unterscheiden sich die generellen Ziele des Projekts deutlich voneinander. DigiSchwein strebt die frühzeitige Erkennung von Krankheiten, ein verbessertes Management von unkupierten Schweinen sowie ein Überwachungssystem für Geburtsmeldungen an. Auch die Erfassung der betrieblichen Nährstoffströme stehen im Fokus. Dahingegen war der Ansatz der Tierwohlüberwachung im Projekt CERES offener gestaltet und konzentrierte sich zunächst auf Stallklimadaten, Tieraktivitätsdaten und einzeltierspezifischer Rückverfolgbarkeit von Schlachtbefunden. Darüber hinaus lag der Schwerpunkt nicht auf der Neuentwicklung und Validierung von Sensoren. Stattdessen wurde auf kostengünstige, bereits auf dem Markt verfügbare Sensoren zurückgegriffen, die sich bereits in anderen Projekten und Anwendungen bewährt hatten. Die Entwicklung eines Frühwarnsystems mit Handlungsempfehlungen war nicht primäres Ziel von CERES, wird jedoch für zukünftige Weiterentwicklungen in Betracht gezogen. Im Bereich der Milchviehhaltung zielt das Projekt DigiMuh darauf ab, das Tierwohl, die Tiergesundheit und die Nutzungsdauer in der Milchviehhaltung zu verbessern. Dies soll durch die Entwicklung eines umfassenden Gesundheitsmonitoringsystems zur Prävention von Hitzestress erreicht werden. Auch hier liegt der wesentliche Unterschied darin, dass im Projekt CERES keine Neu- oder Weiterentwicklung eines Sensorsystems im Vordergrund stand. Es wurden die Sensorsysteme genutzt, die bereits auf den Milchviehbetrieben integriert waren. Des Weiteren lag der Fokus im Projekt CERES nicht primär auf der Erkennung von Hitzestress, wodurch sich der Umfang und die Durchführung voneinander unterscheiden. Aspekte wie die genomische Zuchtwertschätzung oder Krankheiten wurden nicht in die Untersuchung einbezogen.

II.6 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses

Tabelle 4: Erfolgte Veranstaltungen im Rahmen des Projekts CERES.

Erfolgte Veranstaltungen	Zeitraum und Ort
Clusterworkshop „Bilderfassung und KI in der Nutztierhaltung“ (DigiTier) (Kurzvorstellung des Projekts)	28.03.22 - 29.03.22,
Themenworkshop „Digitalisierung in der Milchviehhaltung“ (DigiTier) (Kurzvorstellung des Projekts)	30.05.22
BLE-Innovationstage	18.10.22 - 19.10.22, Bonn
EuroTier (Postervorstellung am ILT-Stand)	15.11.22 - 18.11.22, Hannover
„Digitale Technologien in der Rinderhaltung: Einschätzung zur Praxistauglichkeit und innovativer Wissenstransfer“	
Workshop „KI in der Landwirtschaft“	17.08.23
Fachgespräch Landwirtschaftliche Tierhaltung „Ohne Pansengeht es nicht! Mit Wiederkäuern in die Zukunft“	12.09.23 - 13.09.23, Bonn
Workshop „Nutztierhaltung im Klimawandel“	16.10.23, online
„Digitale Technologien in der Rinderhaltung: Einschätzung zur Praxistauglichkeit und innovativer Wissenstransfer“	29.11.23 - 30.11.23, Haus Düsse

Tabelle 5: Wissenschaftliche Arbeiten, die im Rahmen des Projekts durchgeführt wurden.

Wissenschaftliche Abschlussarbeiten	Zeitraum
Bachelorarbeit Julia Stahl: Tierwohlsensoren in der Rinder- und Schweinehaltung – Eine Literaturübersicht über die aktuellen sensor-basierten Techniken	17.09.2021
Bachelorarbeit Lisa Erner: Tierwohl in der Rinderhaltung – Verschiedene Beurteilungsmethoden im Vergleich	01.09.2022
Masterarbeit Maresa Schmitz: Verhaltensbeobachtung bei Milchkühen in Abhängigkeit von Stallklima und tierwohlbezogenen Indikatoren	29.03.2022