

Abschlussbericht zum „IoL“-Projekt

Zuwendungsempfänger:	Förderkennzeichen:
Hochschule Neubrandenburg (HSNB)	281C208D19
Vorhabenbezeichnung:	
Internet of Livestock (IoL) – Technologietransformation aus der Industrie 4.0 in die Nutztierhaltung durch kleinteilige Vernetzung neuer intelligenter Sensorik und Aktorik am Tier	
Laufzeit des Vorhabens:	
15. März 2021 bis 14. November 2023	
Berichtszeitraum:	
15. März 2021 bis 14. November 2023	

(alle Angaben inkl. kostenneutraler Verlängerung)

Antragsteller: Hochschule Neubrandenburg
Projektleitung: Prof. Dr. habil Sandra Rose
Brodaer Straße 2
17033 Neubrandenburg

Tel.: 0395 5693 - 2111
Fax.: 0395 5693 - 72111
E-Mail: rose@hs-nb.de

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	I
Abbildungsverzeichnis.....	III
Tabellenverzeichnis.....	V
I Kurze Darstellung.....	1
I.1 Ursprüngliche Aufgabenstellung sowie der wissenschaftliche und technische Stand an den angeknüpft wurde	1
I.1.1 Aufgabenstellung.....	1
I.1.2 Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte	2
I.1.3 Verwendete Fachliteratur (Stand des Wissens)	2
I.2 Ablauf des Vorhabens	3
I.3 Wesentliche Ergebnisse sowie ggf. Zusammenarbeit mit anderen Stellen.	4
I.3.1 Wesentliche Ergebnisse	4
I.3.2 Zusammenarbeit mit anderen Stellen	5
II Eingehende Darstellung	6
II.1 Durchgeführten Arbeiten und Ergebnisdarstellung (insbesondere im Vergleich zur ursprünglichen Vorhabenbeschreibung)	6
II.1.1 Arbeitspaket 1: Pflichtenheft und Konzeptionierung	6
II.1.2 Arbeitspaket 11: Experimentelle Erprobung (HSNB und LfULG)	6
II.1.2.1 Einrichtung einer Versuchsbasis	7
II.1.2.2 Referenzmessungen	8
II.1.2.3 Luftdruckversuche zur Erkennung des Steh- und Liegeverhaltens der Kuh über die Luftdruckänderung	12
II.1.2.4 IoL-Ortungssystem.....	16
II.1.2.5 Versuch zum Mikro- und Makroklima	23
II.1.2.6 Tests zur Beschreibung der Luftgüte durch das Funktionsmuster	23
II.1.3 Arbeitspaket 12: Wissenschaftliche Umsetzung und Transferansätze in die Praxis	26
II.1.4 Arbeitspaket 13: Wissenschaftliche Bewertung	28

Inhaltsverzeichnis

II.1.5	Gegenüberstellung mit vorgegebenen Zielen	29
II.2	Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	29
II.3	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeit.....	30
II.4	Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses.....	30
II.5	Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen	30
II.6	Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses.....	31
II.6.1	Erfolgte Veröffentlichungen und Tagungsbeiträge	31
II.6.2	Geplante Veröffentlichungen	31
II.6.3	Studentische Graduierungsarbeiten	32
II.6.4	Messeteilnahmen	32
II.6.5	Gebrauchsmuster, Patente.....	32
Abkürzungsverzeichnis.....		33
Literaturverzeichnis		33

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Arbeitspakete und Meilensteine des Vorhabens und die zeitliche Planung der Durchführung (Farben kennzeichnen den Federführenden; gelbe Markierung zeigt gemeinschaftliche AP auf).....	4
Abbildung 2: A: Desktop-Ansicht des Host-Computers, B: Necktags CC2650 Sensortag: Mitte – Referenz-Necktag, links und rechts – Necktags mit Halterung zur Anbringung am Kuhhalsband	7
Abbildung 3: Anbringung der Necktags im Stall: A: Referenzsensor auf 1,33 m Höhe – B: Necktag am Halsband einer Kuh	8
Abbildung 4: Tinytag zur Messung der Temperatur in °C und der Luftfeuchtigkeit in %	10
Abbildung 5: Verlauf der Temperaturmessergebnisse der Tinytags und der Necktags	10
Abbildung 6: Verlauf der Messergebnisse der rel. Luftfeuchte (%) der Tinytags und der Necktags	11
Abbildung 7: Verlauf der Messergebnisse der rel. Luftfeuchte (%) der Tinytags und der Necktags nach Entfernung des Vlies und Öffnung des Gehäuses	12
Abbildung 8: Versuchsaufbau des Laborversuchs mit dem Roboterarm.	13
Abbildung 9: oben: Die schwarze Kurve stellt die Luftdruckdifferenz dar, die grüne Line beschreibt die Toleranzgrenze bei eventuellen Schwankungen an – unten: Die rote Kurve zeigt das Signal und damit die Stellung des Roboterarm (1 = Roboterarm in oberer Stellung, -1 = Roboterarm in unterer Stellung).....	13
Abbildung 10: Versuchsaufbau für den statischen Test zur Ermittlung des Höhenunterschieds über die Luftdruckänderung.....	14
Abbildung 11: Boxplots zum statischen Versuch im Milchviehstall.....	14
Abbildung 12: IceQube (Pedometer) zur Aktivitätsmessung anhand der Anzahl der Schritte und der Steh- und Liegeperioden) – B: IceQube am Bein der Kuh	16
Abbildung 13: Versuchsaufbau des Ortungsversuchs in der Turnhalle des LVG Köllitsch bestehend aus einem 6 m x 9 m großen Raster (rot eingezeichnet), vier Antennen (je eine pro Eckpunkt) und zwei mit Necktag ausgestatteten Stativen.....	17
Abbildung 14: Darstellung der gemessenen Werte untere der Berücksichtigung von einer Abweichung von 1 m. Je grüner der Quadrant, desto mehr Werte wurden richtig erfasst, je roter, desto weniger.....	17
Abbildung 15: links: Antenne A1 vor der Installation mit LAN-Kabel zur Vernetzung mit dem Host-PC, mitte: installierte Bluetooth-Antenne, rechts: Funktionstag (3. Generation) mit Ortungsfunktion und integrierter Lichtiode zur Erfassung der Beleuchtungsstärke	18
Abbildung 16: Lokalisationsraster in Gruppe 12 des Liegeboxenlaufstalls des LVG Köllitsch	18

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 17: Anordnung der Antennen (rot), der Referenzsensoren (blau) und der Messpunkte (grün) im Stallabteil der Gruppe 12.....	19
Abbildung 18: Stativ in 1,45 m Höhe über Stallboden mit Necktag	19
Abbildung 19: Strecke der Gehzeitprüfung und die Anordnung der Antennen (rot), der Referenzsensoren (blau) und der betreffenden Messpunkte (grün).....	20
Abbildung 20: Gemessene Positionen und deren Abweichung zum Messpunkt je nach Antenneneinstellung	21
Abbildung 21: Dynamischer Ortungstest beispielhaft vom 04.01.2023 09:44 bis 09:44 Uhr..	22
Abbildung 22: Dynamischer Ortungstest beispielhaft vom 10.08.2023 07:56 bis 07:58 Uhr..	22
Abbildung 24: Funktionsmuster der 4. Generation mit Luftgütesensor und seitlich angebrachten Luftfilter.....	24
Abbildung 25: Zusammenfassendes Ergebnis der Use case- Analyse	27

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht über die Verteilung der Kühe auf die einzelnen Gruppen	7
Tabelle 2: THI-Werte nach Zimbelmann et al. (2009) nach Stresslevel farblich unterlegt (berechnet durch Zahner (2018) nach Thom (1959) und modifiziert nach Zimbelmann et al. (2009))	9
Tabelle 3: Stressniveau bei Hitzestress und die resultierenden Symptome bei Milchkühen berechnet nach Thom (1959) und modifiziert nach Zimbelmann et al. (2009).....	9
Tabelle 4: Messungen des Luftdrucks [hPa] in verschiedenen Höhen	15
Tabelle 5 Höhenunterschiede und Luftdruckdifferenzen in Gegenüberstellung mit dem entsprechenden SOLL-Wert (markierte Zellen zeigen starke Abweichung)	15
Tabelle 6: Beschreibende Statistik zur Luftgüte in einer Silageumgebung	24
Tabelle 7: Beschreibende Statistik zur Luftgüte von Heu.....	25
Tabelle 8: Beschreibende Statistik zur Luftgüte von Rinderkot	25
Tabelle 9: Beschreibende Statistik zur Luftgüte von Rinderurin	26

I Kurze Darstellung

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

I.1.1 Aufgabenstellung

Die Zielstellung des Verbundprojektes „Internet of Livestock“ (IoL) beinhaltete die Konzipierung, industrielle Erforschung und experimentelle Erprobung eines neuen Sensorsystems. Der innovative Ansatz des Projektes bestand in der Entwicklung neuer multifunktionaler Funksensoren zur Aufnahme von Zustandsdaten und zur Lokalisation landwirtschaftlicher Nutztiere sowie in der autarken Energiebereitstellung für die Sensorik. Mittels energiesparender Bluetooth 5.1 Technologie (BLE_5.1) sollte die Datenübertragung zum Host-Computer erfolgen, um eine standardisierte Informationsbereitstellung für Farmmanagement- und Informationssysteme beim Landwirt zu schaffen.

Durch die Definition konfigurierbarer Sensor-Parameter sollten die Funktionsmuster für verschiedene Einsatzbedingungen am Tier, an Maschinen / Geräten sowie als Equipment für Operatoren (Tierpfleger, Herdenmanager, Besamer, Tierarzt u.a.) konzipiert werden. Darüber hinaus sollte durch die BLE_5.1-Technologie eine bidirektionale Kommunikation zur Ansteuerung von Aktoren am Tier, an Maschinen/Geräten oder beim Operator erstmalig erschlossen werden.

Entsprechend der Kooperationsvereinbarung vom 09.06.2021 erfolgte während der Projektlaufzeit eine sehr enge Zusammenarbeit zwischen dem Referat Tierhaltung des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG), der Hochschule Neubrandenburg, der Schneider Elektronik GmbH & Co. KG (SE) sowie der nubix Software Design GmbH (NU). Neben den jährlichen Projekttreffen am Standort Köllitsch des LfULG, fanden im 14-tägigen Turnus Meetings in Form von Videokonferenzen statt. Für die kollektive Erarbeitung des gemeinsamen Hauptzieles wurden für die einzelnen Verbundpartner die Teilaufgaben definiert.

Die Teilaufgaben und Entwicklungsetappen der **SE** beinhalteten die Konzeption und Entwicklung der Antennen-Basisstation für den bidirektionalen Datenaustausch und der Echtzeitlokalisierung, die Konzeption und Entwicklung der Funktechnik und Aktorik des Tags sowie die notwendige Softwareentwicklung und Systemintegration.

Die Teilaufgaben der **NU** umfassten die Entwicklungsabschnitte Energy Harvesting, Sensorik für physikalische Kenngrößen, Sensorik chemischer und biologischer Kenngrößen.

Die Zusammenführung der Entwicklungsstufen zwischen SE und NU erfolgte in gemeinsamer Federführung der beiden Projektpartner.

Die Teilaufgaben der **Hochschule Neubrandenburg (HSNB)** bestanden aus der wissenschaftlichen Recherche im Umfeld der Projektziele, der biostatistischen Auswertung und fachliche Bewertung der durchgeführten Versuche und Erprobungen sowie der wissenschaftlichen Diskussion und Publikation der Forschungs- und Entwicklungsergebnisse. Die Erstellung des Pflichtenheftes, die Versuchsplanung und –durchführung sowie die experimentelle Erprobung der Funktionsmuster in der praktischen Einsatzumgebung im Lehr- und Versuchsgut Köllitsch, als auch die Diskussion der Verwertungsmöglichkeiten oblag dem **LfULG**.

Das Aufgabenfeld „Berichtswesen“ und der entsprechende Wissenstransfer wurde in gemeinsamer Federführung von der HSNB und dem LfULG umgesetzt.

Unter dem Abschnitt I.1.2 wird der Stand des Wissens dargestellt, an welchen mit dem Projekt „IoL“ angeknüpft wurde.

I.1.2 Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte

Im Projektvorhaben wurde die beim Deutschen Marken- und Patentamt (DPMA) eingetragene Wortmarke NECKTAG® in Bezug zur Verwendung der neuartigen, intelligenten Transpondertechnologie verwendet. Der Inhaber dieser Wortmarke ist der Kooperationspartner Schneider Elektronik GmbH & Co.KG. Des Weiteren sind im Rahmen der Projektvorbereitung keine mit dem Projekt in Konflikt stehenden Schutzrechte bekannt geworden.

I.1.3 Verwendete Fachliteratur (Stand des Wissens)

Bereits Stachowicz und Umstätter 2020 beschreiben, insbesondere für den Milchviehbereich, eine große Vielzahl digitaler Assistenzsysteme. Die Sensorangebote im landwirtschaftlichen Sektor sind vielseitig aber lediglich Insellösungen. Die Schnittstellen zu den Farmmanagementsystemen sind nur bedingt kompatibel und ein bidirektionaler Datenaustausch ist kaum gegeben. Aus diesem Grund ist eine entwicklungsoffene, smarte Vernetzung der Sensorik, FMIS und Aktorik bisher nicht möglich. Die erhobenen Daten werden nicht alle übergeben, sondern nur gefiltert. Der Tierhalter besitzt demnach nicht die Datenhoheit in seinem Stall und kann die Sensorik nur bedingt nutzen (Mohr 2031).

Während Sensoren zur Erfassung von Gesundheitsparameter wie Aktivität, Fresszeit, Wiederkauen sich in der Praxis gefestigt haben, so spielt die Kombination mit Umweltparametern eine untergeordnete Rolle. Für die Steuerung von Curtains, Firstöffnung, Lüftern und Licht werden typischerweise Klimadaten durch Messung von Außentemperatur, Windgeschwindigkeit, Niederschlag und Lichtmenge (Lux) außerhalb der Stallhülle

herangezogen (Benz 2023). Dabei empfiehlt die Schweizer Eidgenossenschaft (2009) Messungen zur Beurteilung des Stallklimas prinzipiell im Tierbereich vorzunehmen. Nach aktuellem Stand des Wissens, gibt es keinen evaluierten Sensor, welcher Messungen des Mikroklimas an der Kuh vornimmt und daraus automatisierte Maßnahmen zur Verbesserung des Stallklimas ableitet.

Des Weiteren kann es zu Störungen der Sensorik im gleichen Frequenzbereich kommen. Die meisten auf dem Markt etablierten Sensoren zur Lokalisation und zum Gesundheitsmonitoring können aus diesem Grund nicht parallel in einem Stallgebäude eingesetzt werden.

Durch die Verwendung des BLE_5.1 Funkprotokollstandards werden Möglichkeiten zur robusten, bidirektionalen, energiearmen und bulkfähigen Datenübertragung, sowie zur theoretisch dezimetergenauen Echtzeitlokalisierung bereitgestellt. Auf Basis dieses Standards kann somit auf bidirektionalem Übertragungsweg, neben der Echtzeitlokalisierung, die Aggregation von Sensor- und Aktor-Informationen sowie eine Zustandssteuerung der Aktorik erfolgen.

Rund um den Funkprotokollstandard BLE_5.1 existieren auf dem Markt erhältliche Standardkomponenten, die es ermöglichen, kostengünstige Endprodukte zu schaffen.

I.2 Ablauf des Vorhabens

Das Projekt war in folgende Arbeitspakete (AP) gegliedert:

- AP1: Erstellung Pflichtenheft
- AP2: Energy Harvesting
- AP3: Sensorik Physikalische Kenngrößen
- AP4: Sensorik chemischer & biologischer Kenngrößen
- AP5: Funktechnische Anforderungen für den bidirektionalen Datenaustausch
- AP6: Funktechnik Basisstation
- AP7: Funktechnik & Aktortechnik Tag
- AP8: Zusammenführung zum intelligenten Tag
- AP9: Softwareentwicklung
- AP10: Systemintegration
- AP11: Experimentelle Erprobung
- AP12: wissenschaftliche Recherche
- AP13: wissenschaftliche Bewertung
- AP14: Berichtswesen und Wissenstransfer

Im Verlauf des Vorhabens kam es aus verschiedenen Gründen im Zusammenhang mit der Corona-Pandemie zu zeitlichen Verzögerungen gegenüber der ursprünglichen Zeit- und Arbeitsplanung. Unter Berücksichtigung der kostenneutralen sechsmonatigen Verlängerung wurde der Ablaufplan des Vorhabens wie in Abbildung 1 angepasst und durchgeführt.

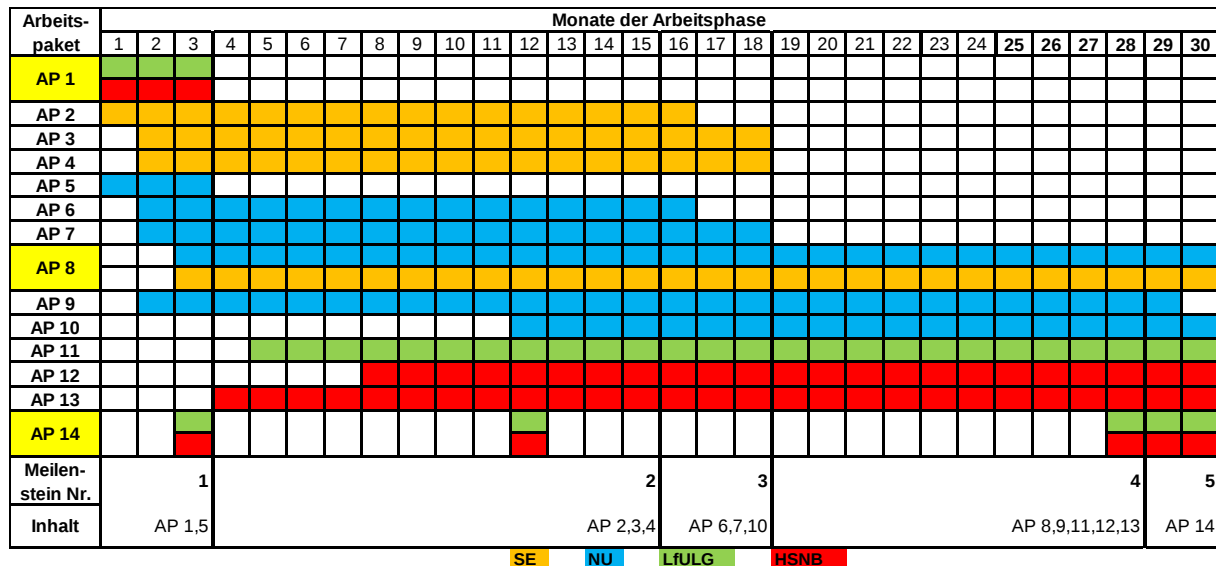


Abbildung 1: Arbeitspakete und Meilensteine des Vorhabens und die zeitliche Planung der Durchführung (Farben kennzeichnen den Federführenden; gelbe Markierung zeigt gemeinschaftliche AP auf)

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

I.3.1 Wesentliche Ergebnisse

Die wesentlichen Ergebnisse des Projektes können den Forschungsbereichen „Sensorik am Tier“, „Host-Computer“, „Antennenarray“ und „Energy Harvesting“ entsprechend zugeordnet werden:

Sensorik am Tier

Wesentliches Ergebnis war die Entwicklung eines Multisensors zur Anbringung am Halsband der Kuh mit Sitz im Nacken. Dieser misst die Umgebungsparameter Beleuchtungsstärke (Lux), relative Luftfeuchtigkeit (%), Luftdruck (hPa), Temperatur (°C), sowie die Luftgüte direkt am Tier. Die ausgewählten Parameter sind geeignet, um Abweichungen im Verhalten und des Tierwohls vom biologischen Normalzustand zu erkennen und zu beschreiben. Um die entwickelte Sensorik zunächst auf Plausibilität hin zu untersuchen, wurden Tests am Versuchsstandort Köllitsch mit Referenzsensoren durchgeführt. Mit Hilfe der Erkenntnisse konnte anschließend die Auswertung der Messergebnisse durchgeführt werden.

Host-Computer

Der Host-Computer mit integrierter Software wurde im Stall eingerichtet und dient zur NECKTAG® Datenaggregation, Vorverarbeitung, Lokalisation und zum Tracking. Mittels der entwickelten anwendungsoffenen HOST-PC Software-Schnittstelle wurde der plattformunabhängige Datenaustausch und die Vernetzungsmöglichkeit zu übergeordneten Farmmanagement- und Informationssystemen (Internet, Cloud oder Hof-Netzwerk) sowie die Rückkopplung von Steuerfunktionen an die o.g. Sensorik realisiert.

Antennenarray im Stall

Das Antennensystem zur Vernetzung der Sensoren sowie die Anbindung an den Host-Computer auf Basis von BLE_5.1 inkl. 3D-Echtzeitlokalisierung der vernetzten Sensoren wurde zu Beginn des Projektes im Stall aufgebaut und im Laufe des Projektes optimiert. Das integrierte Ortungssystem erkennt auf Basis der NECKTAG® Echtzeitlokalisierung den Aufenthaltsort der Kuh sowie die Positionen von Akteuren, Maschinen und Einrichtungen in einer definierten XYZ-Koordinatenebene.

Energy Harvesting

Es wurden einige Ansätze zur eigenständigen Energieversorgung des Tags untersucht, jedoch waren nicht alle Methoden zum Harvesting erfolgreich. Überraschend war die Energieausbeute durch den Seebeck-Effekt. Mittels eines Peltier-Elements kann die Körperwärme der Kuh genutzt werden, um einen Stromfluss zu generieren. Gerade in der kalten und dunklen Jahreszeit kann dieser Effekt die Energiegewinnung sehr gut unterstützen. Um die Körperwärme optimal nutzen zu können, wurde zudem das bestehende Gehäuse so umgearbeitet, dass ein direkter Kontakt des Peltier-Elements mit der Kuh ermöglicht wird. Weiterhin kam ein entsprechend ausbalanciertes Solarmodul zum Einsatz, um die Energieversorgung auch bei diffusen Lichtverhältnissen zu ermöglichen.

Die Energiegewinnung durch ein Piezo-Element war zwar interessant, musste aber auf Grund der potentiell zu geringen Energieausbeute ausgeschlossen werden. Piezo-Elemente, die signifikante Energiemengen erzielen können, erfordern einen bedeutend größeren Bauraum, der allerdings in dem bestehenden Gehäuse nicht gegeben war. Auch RF-Harvesting (RFEH) wurde in Betracht gezogen, allerdings stand hier der Kosten-Nutzen-Faktor in keinem Verhältnis zueinander. Aussichtslos ist diese Technologie aber dennoch nicht, da es zukünftig hocheffiziente Antennen mit geringer Baugröße geben wird, sodass als Ausblick für weitere Forschungen die Methode des RFEH in Betracht gezogen werden sollte.

I.3.2 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Eine Zusammenarbeit erfolgte nur unter den Verbundpartnern. Weitere Unternehmen oder Auftragnehmer waren nicht in das Projekt involviert.

II Eingehende Darstellung

II.1 Durchgeführten Arbeiten und Ergebnisdarstellung (insbesondere im Vergleich zur ursprünglichen Vorhabenbeschreibung)

Die Hochschule Neubrandenburg (HSNB) arbeitete während des gesamten Projektes eng mit der LfULG zusammen. Die Verantwortlichkeit lag auf der Bearbeitung der AP: AP 1, AP 11, AP 12, AP 13 und AP 14. Darüber hinaus stand die HSNB im regelmäßigen Austausch mit den Projektpartnern SE und NU, um die in den Arbeitspaketen AP 2 bis AP 10 neu gewonnen Erkenntnisse und Anwendungen auf die Versuchsdurchführung im Stall und deren Auswertung übertragen zu können. Die genauen Ergebnisse der Arbeitspakete AP 2 bis AP 10 sind in den Abschlussberichten von SE und NU enthalten und aufgeführt.

II.1.1 Arbeitspaket 1: Pflichtenheft und Konzeptionierung

Die Erstellung des Pflichtenheftes erfolgte in der Federführung durch die HSNB und das LfULG. Die Absprache und Festlegung der Parameter erfolgte mit allen Projektpartnern im zweiwöchigen Rhythmus und wurde zum Kick-off-Meeting am Standort Köllitsch am 27.09.2021 zur Einreichung bei der BLE bestätigt. Das Pflichtenheft diente der Festlegung der Festlegung der Vorgehensweise im Projekt und enthielt neben den Projektzielen auch die Fixierung der Produktspezifikation und der Parameterdefinitionen. Termingerech am Ende des dritten Projektmonats wurde das Pflichtenheft verabschiedet. begonnen. Im Anschluss daran erfolgte die Erstellung der Projektkarte für die Vernetzungs- und Transfermaßnahme DigiTier der EurA AG.

Mit der Verabschiedung des Pflichtenheftes war der erste Meilenstein des Projektes erreicht.

II.1.2 Arbeitspaket 11: Experimentelle Erprobung (HSNB und LfULG)

In diesem Arbeitspaket stand die entwicklungsbegleitende Testung der Funktionsmuster und des IoL-Systems unter landwirtschaftlichen Produktionsbedingungen der Milchviehhaltung im Fokus. Dafür bildete der 1998 erbaute Liegeboxenlaufstall für 120 Milchkühe des LfULG die Erprobungsbasis.

Es handelt sich hierbei um einen im Jahr 1998 erbauten Liegeboxen-Laufstall mit Spaltenboden für 120 Milchkühe, die entsprechend Tabelle 1 in vier Leistungsgruppen und eine Wellnessgruppe geteilt sind. Die Liegeboxen sind mit Gummimatten ausgestattet, werden täglich gereinigt und mit Sägespäne-Kalk-Gemisch übergestreut. Direkt unter dem mit Gummimatten ausgelegten Spaltenboden befindet sich der Güllekanal, in den die Ausscheidungen der Tiere mehrmals täglich in vorgegebener Routenführung von einem

Eingehende Darstellung

Spaltenroboter geschoben werden. Die Seiten des Stalls sind offen und können je nach Wetterlage durch Wetterschutznetze, sogenannte Curtains, geöffnet bzw. geschlossen werden. Die Giebelseiten sind in Dachstuhlhöhe mit Spaceboards aus Holz versehen. Dabei sind die Zwischenräume zur Licht- und Luftdurchlässigkeit auf 28 mm ausgelegt.

Tabelle 1: Übersicht über die Verteilung der Kühe auf die einzelnen Gruppen

Tiergruppe	Leistungsgruppe	Anzahl der Kühe
11	Altmelker	24-30
12	Frischmelker	31-36
13	Hochleistende Kühe	27-33
14	Hochleistende Kühe	27-33

II.1.2.1 Einrichtung einer Versuchsbasis

Die Einrichtung einer Versuchsbasis im LVG Köllitsch erfolgte zu Beginn des Projektes, am 27.09.2021. Mit der Installation eines Host-Computers (Abbildung 2, A) und eines Antennensystems, bestehend aus Antennenarrays, wurde eine erste Version des IoT-Systems inkl. drei Multisensoren (Abbildung 2, B), die Necktags (CC2650 Sensortag), zur kontinuierlichen Messung der Parameter: Temperatur (°C), Beleuchtungsstärke (Lux), Luftfeuchtigkeit (%), Luftdruck (hPa) als auch der Batterieleistung (%) in den Laufstall des LfULG integriert. Eine passwortgeschützte, interne Datenbank ermöglichte den Abruf der gespeicherten Daten zu jeder Zeit und an jedem Ort über den TeamViewer (Microsoft Corporation, USA) oder AnyDesk (AnyDesk Software GmbH, Deutschland).

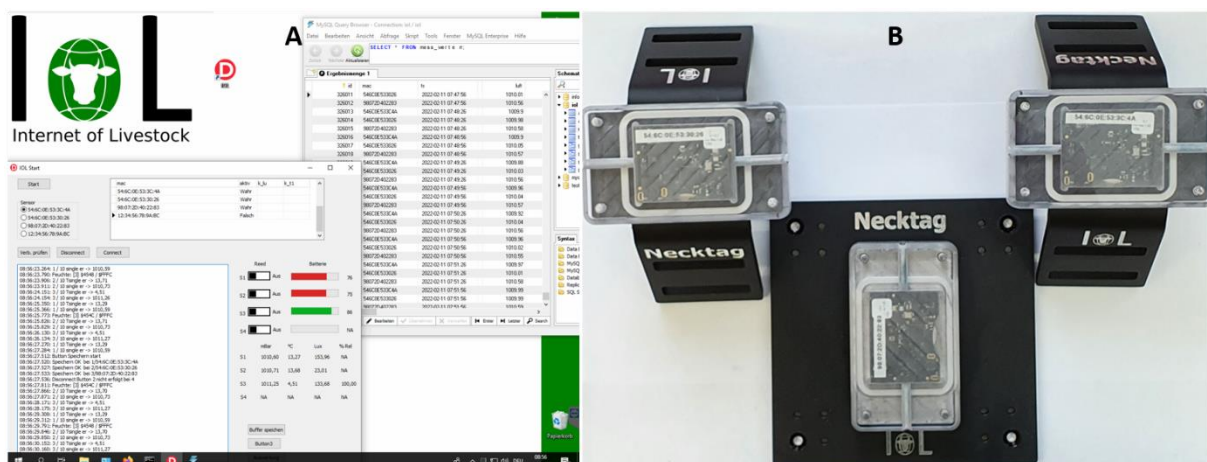


Abbildung 2: A: Desktop-Ansicht des Host-Computers, B: Necktags CC2650 Sensortag: Mitte – Referenz-Necktag, links und rechts – Necktags mit Halterung zur Anbringung am Kuhhalsband

Ein Necktag wurde als Referenzsensor an einer definierten Position in einer Höhe von 1,34 m über dem Spaltenboden fixiert (Abbildung 3, A). Die Anbringung der anderen beiden Tags erfolgte am Halsband von zwei ausgewählten Kühen (Abbildung 3, B).

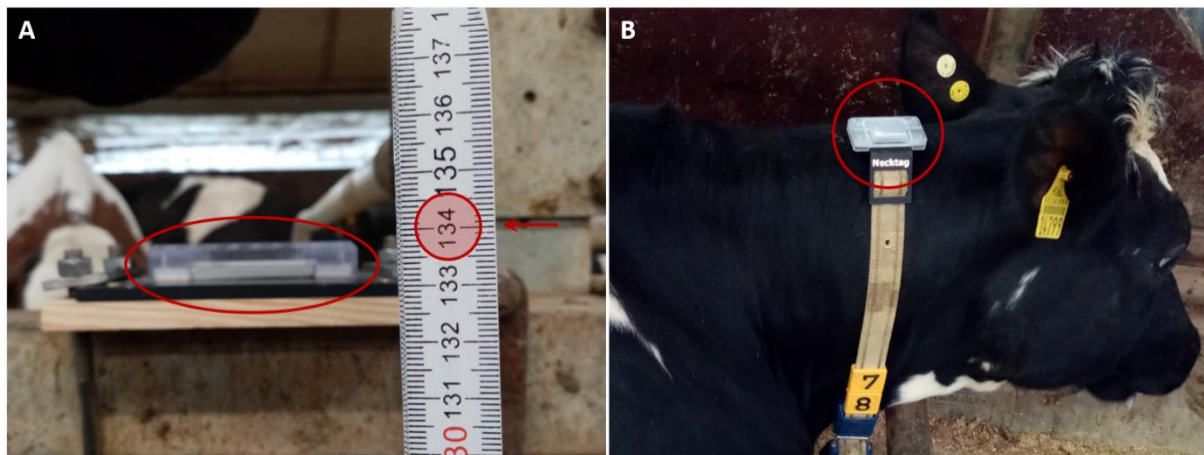


Abbildung 3: Anbringung der Necktags im Stall: A: Referenzsensor auf 1,33 m Höhe – B: Necktag am Halsband einer Kuh

Die Necktags wurden unter verschiedenen Bedingungen, je nach Fragestellung, in der Haltungsumgebung der Milchkühe erprobt.

Erste generelle Funktionstests der einzelnen Sensorkomponenten, sowohl statisch als auch unter Praxisbedingungen durch Anbringung an den Halsbändern der Tiere über längere Zeiträume, dienten der schnellen und frühzeitigen Behebung von Fehlern, wie Messungenauigkeiten und Lücken in der Datenübertragung sowie der Eliminierung von Störquellen. Dadurch konnte die optimale Übertragungsrate der Daten zum Host-Computer auf 30 Sekunden via Bluetooth Low Energy 5.1 (BLE 5.1) im Dauerbetrieb der Necktags bestimmt werden. Zudem konnte festgestellt werden, dass einige Sensorkomponenten, wie der Feuchtesensor, bei einem Batterieladezustand von weniger als 66 % keine Daten überträgt, so dass ein 14-tägiger Turnus für den Batteriewechsel festgelegt wurde. Weiterhin wurde die Schutzwirkung und die Robustheit des Gehäuses unter Einsatzbedingungen im Milchviehstall überprüft und auch nachgewiesen.

II.1.2.2 Referenzmessungen

Temperatur-Humiditäts-Index (THI)

Der THI ist ein wichtiger Indikator zur Bestimmung von Hitzestress bei Milchrindern (Zahner 2018). Er berechnet sich nach Zimbelmann et al. (2009) aus der Lufttemperatur (°C) und der Luftfeuchtigkeit (%) wie folgt:

$$THI = (0,8 \times T) + \left[\left(\frac{RF}{100} \right) \times (T - 14,4) \right] + 46,4$$

Mit T = Lufttemperatur in °C und RF = relative Luftfeuchtigkeit in %

In nachstehender Tabelle 2 und Tabelle 3 werden nach Zahner (2018) das Hitzestresslevel von Milchkühen in Abhängigkeit des THI dargestellt. Wobei die Grünfärbung kein Hitzestress

repräsentiert und vom (dunkel-) rotem Bereich starker Hitzestress bis hin zu Lebensgefahr ausgeht.

Tabelle 2: THI-Werte nach Zimbelmann et al. (2009) nach Stresslevel farblich unterlegt (berechnet durch Zahner (2018) nach Thom (1959) und modifiziert nach Zimbelmann et al. (2009))

		relative Luftfeuchtigkeit (%)																
		20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
Temperatur [°C]	16	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	61	61	61	61
	17	61	61	61	61	61	61	61	61	62	62	62	62	62	62	62	62	63
	18	62	62	62	62	62	62	63	63	63	63	63	64	64	64	64	64	64
	19	63	63	63	63	63	64	64	64	64	65	65	65	65	66	66	66	66
	20	64	64	64	64	65	65	65	65	66	66	66	67	67	67	67	68	68
	21	65	65	65	66	66	66	67	67	67	67	68	68	68	69	69	69	70
	22	66	66	66	67	67	67	68	68	69	69	69	70	70	70	71	71	72
	23	67	67	67	68	68	69	69	70	70	70	71	71	72	72	73	73	73
	24	68	68	68	69	69	70	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75
	25	69	69	70	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77
	26	70	70	71	71	72	72	73	74	74	75	75	76	76	77	78	78	79
	27	71	71	72	72	73	74	74	75	76	76	77	77	78	79	79	80	81
	28	72	72	73	74	74	75	76	76	77	78	78	79	80	80	81	82	82
	29	73	73	74	75	75	76	77	78	78	79	80	81	81	82	83	83	84
	30	74	74	75	76	77	77	78	79	80	81	81	82	83	84	84	85	86
	31	75	75	76	77	78	79	80	80	81	82	83	84	84	85	86	87	88
	32	76	76	77	78	79	80	81	82	83	83	84	85	86	87	88	89	90
	33	77	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	90	91
	34	78	79	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93
	35	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95
	36	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	94	95	96	97
	37	81	82	83	84	85	86	87	88	90	91	92	93	94	95	96	97	99
	38	82	83	84	85	86	87	89	90	91	92	93	95	96	97	98	99	100

Tabelle 3: Stressniveau bei Hitzestress und die resultierenden Symptome bei Milchkühen berechnet nach Thom (1959) und modifiziert nach Zimbelmann et al. (2009)

THI	Stressniveau	Symptome
unter 68	kein Hitzestress	
68-71	milder Hitzestress	- Aufsuchen von Schattenplätzen - erhöhte Atmungsrate - Erweiterung der Blutgefäße - erste Auswirkungen auf die Milchleistung
72-79	mäßiger Hitzestress	- erhöhte Speichelproduktion - erhöhte Atemfrequenz - erhöhte Herzfrequenz - Rückgang der Futteraufnahme - erhöhte Wasseraufnahme - Rückgang der Milchproduktion - Rückgang der Fruchtbarkeit
80-89	starker Hitzestress	- Unwohlsein aufgrund der ansteigenden Symptome
ab 90	Gefahr	- Todesfälle können auftreten

Zur Durchführung der Referenzmessungen speziell für die Parameter Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit kam der Tinytag Ultra 2 (Gemini Data Loggers Ltd, England) (Abbildung 4) (zur THI-Bestimmung) zum Einsatz.

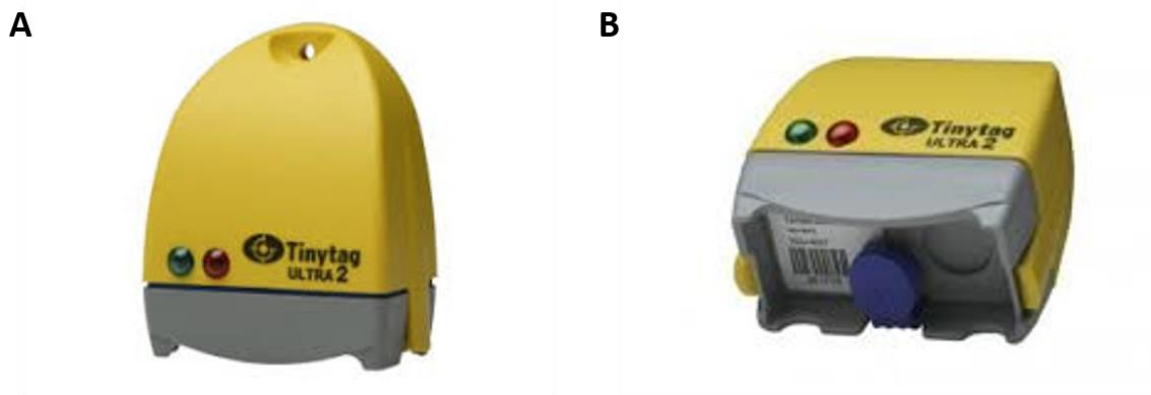


Abbildung 4: Tinytag zur Messung der Temperatur in °C und der Luftfeuchtigkeit in %

Temperatur (°C)

Nach ersten Testläufen gaben die Sensoren die Messwerte ohne Kommastellen aus und es kam zu großen Ausfallzeiten. Anpassungen an der Sensorik durch SE wurden entsprechend durchgeführt, sodass weitere Testläufe erfolgten. Nach der Überprüfung der Sensoren in einem Behälter zur Abschirmung von äußeren Einflüssen, betrug die Abweichung zwischen den einzelnen Necktags konstant im Mittel 0,7K und zu den Tinytags 1,5K (Abbildung 5).

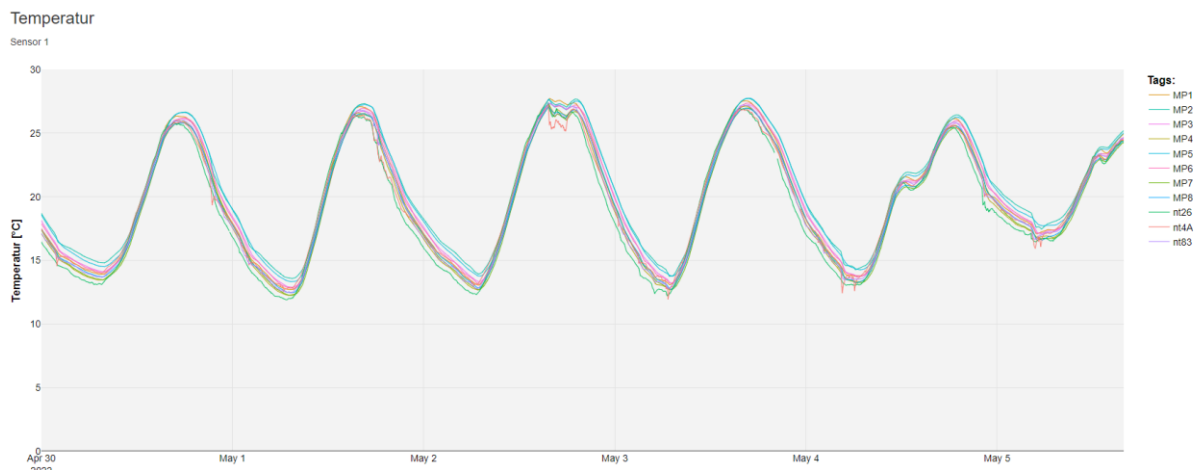


Abbildung 5: Verlauf der Temperaturmessergebnisse der Tinytags und der Necktags

rel. Luftfeuchtigkeit (%)

Die Ergebnisse der Messungen der rel. Luftfeuchte durch die Necktags zeigten zunächst Differenzen zu den aufgestellten Referenzmessungen mittels Tinytag auf. Entsprechend der Datenerfassung der Necktags erfolgte die Datenaufnahme der Tinytags alle zwei Sekunden.

Beim Einlesen der Daten wurden die erfassten Werte je 30-Sekunden-Intervall gemittelt. Damit erfolgte die Erfassung der Werte entsprechend der Necktags. Bei der Auswertung der rel. Luftfeuchtigkeit zeigte sich eine Abweichung zwischen 20-25%, wobei die Luftfeuchtigkeit der Necktags konstant zu hoch war und die Änderungen stark zeitverzögert und schwächer in den Ausschlägen auftraten (Abbildung 6).

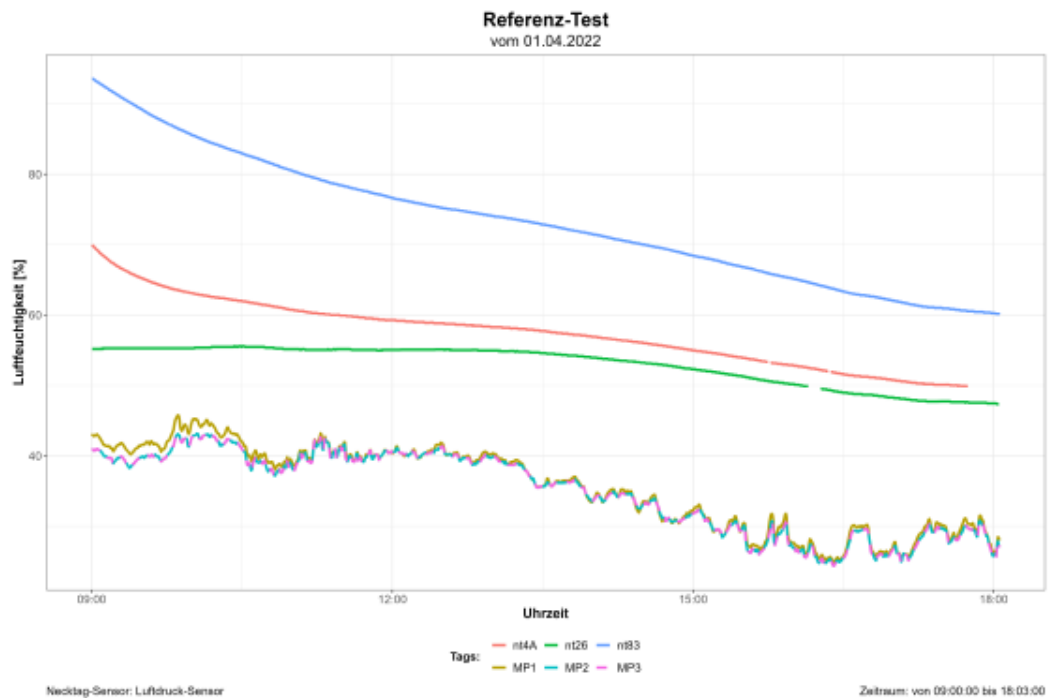


Abbildung 6: Verlauf der Messergebnisse der rel. Luftfeuchte (%) der Tinytags und der Necktags

Das Gehäuse hat großen Einfluss auf die Luftzirkulation, dadurch kam es zu erhöhten Werten des Demonstrators und die Anpassung an die Umgebungswerte dauerte sehr lange. Verantwortlich für die Messergebnisse der Prüfung der rel. Luftfeuchtigkeit war zunächst das Anreichern eines vor dem Sensor befindlichen Schutzvlieses als Filter mit Wasser. Bei den anschließenden Messungen ohne Gehäuse waren die ermittelten Werte nahezu identisch zu den Ergebnissen der Tinytags (+3-4% rel. Luftfeuchte). Nachdem das Schutzvlies aus dem Gehäuse entfernt und zusätzliche Lochbohrungen am Tag-Gehäusedeckel vorgenommen wurden, konnte eine bessere Luftzirkulation und damit verbundenen Abtransport von Feuchtigkeit aus dem Sensor erfolgen. Daraufhin wurde eine konstante Abweichung gegenüber der Referenzmethode detektiert, sodass eine rechnerische Korrektur möglich war. Die aus diesen Untersuchungen gewonnenen Erkenntnisse führten zu einer Anpassung des Gehäuses der Tags, sodass der Tag der zweiten Generation entstand.

In nachstehender Abbildung 7 ist der Verlauf der Messergebnisse nach Durchführung der Anpassungen am Gehäuse dargestellt.

Necktags vs. Tinytags

Luftfeuchtigkeit

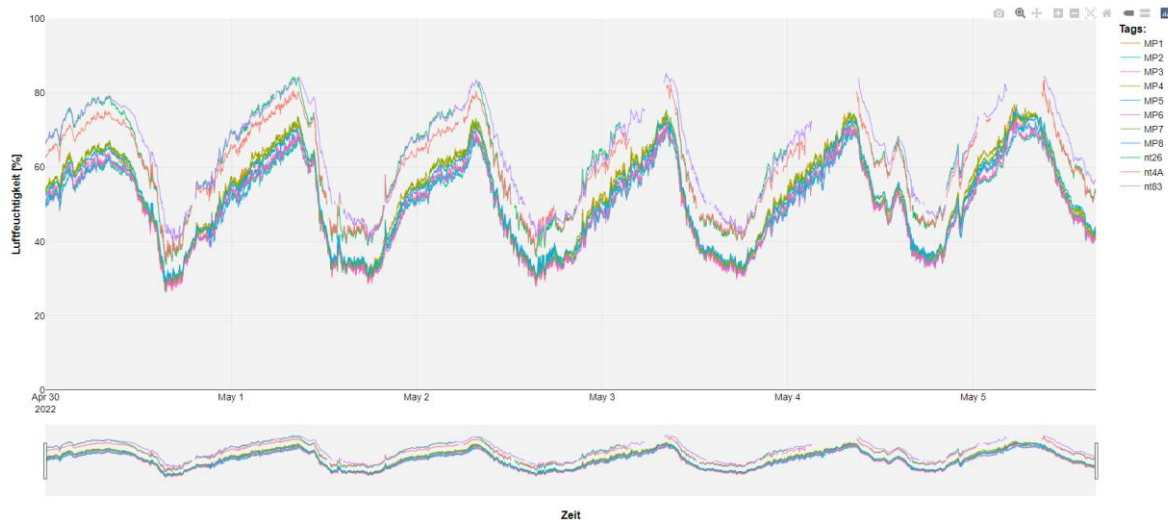


Abbildung 7: Verlauf der Messergebnisse der rel. Luftfeuchte (%) der Tinitags und der Necktags nach Entfernung des Vlies und Öffnung des Gehäuses

Auch der Vergleichstest der Demonstratoren der 3. und 4. Generation hinsichtlich der Sensorparameter Temperatur, rel. Luftfeuchte und THI mündete in dem Gleichklang der Testparameter, sodass für die wissenschaftliche Auswertung die Daten aus allen Generationen der Funktionsmuster ermöglicht wurde.

Beleuchtungsstärke (lx)

Ein Luxmeter, der Almemo®-Datenlogger (Ahlborn Mess- und Regelungstechnik GmbH, Holzkirchen, Deutschland), wurde als Referenzsystem zur Messung der Beleuchtungsstärke genutzt. Hierbei wurde überprüft, ob die vom im Sensortag verbauten Lichtsensor gemessenen Lichtdaten richtig erfasst werden. Die Messergebnisse beider Systeme ergaben keine signifikanten Unterschiede, so dass davon ausgegangen werden kann, dass das Gehäuse der Necktags keinen Einfluss auf die Datenerfassung hat. Im Hinblick auf das Energy Harvesting wurde zudem ermittelt, ob im Stall auch in dunkleren Zeiträumen (wie im Herbst und im Winter) genug Licht für die Energiegewinnung über die Solarzelle zur Verfügung steht. Näheres hierzu ist im Abschlussbericht von NU zu finden.

II.1.2.3 Luftdruckversuche zur Erkennung des Steh- und Liegeverhaltens der Kuh über die Luftdruckänderung

Mit dem Wissen, dass es eine Höhenänderung von einem Meter mit einer Änderung des Luftdrucks von 0,12 hPa einhergeht (Deutscher Wetterdienst 2014), wurde untersucht, ob über diese Änderung das Steh- und Liegeverhalten der Kühe erkannt werden kann.

1. Statischer Laborversuch mit Roboterarm (durchgeführt von SE)

In einem vorab durchgeführten Labortest, mit einem beweglichen Roboterarm, in einem geschlossenen Raum, stellte SE das Ablegen und Aufstehen der Kuh kontrolliert nach. Dafür wurde ein Sensortag CC2650, der die Kuh darstellte, am Roboterarm befestigt und ein weiterer Necktag als Referenzsensor auf Höhe der unteren Position des Arms (Abbildung 8).

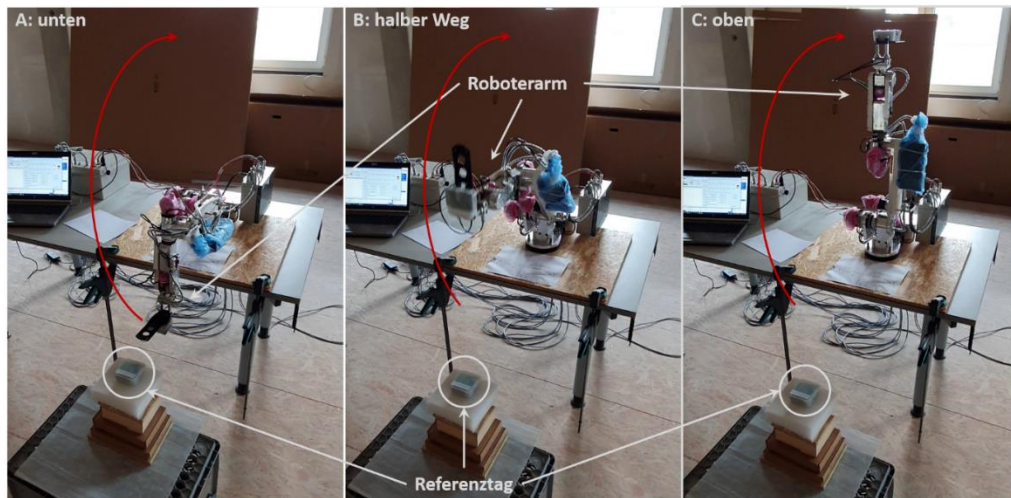


Abbildung 8: Versuchsaufbau des Laborversuchs mit dem Roboterarm.

Anhand der Luftdruckdifferenz zwischen den beiden Tags konnte die Höhenänderung messbar gemacht werden. Heben und senken des Roboterarms erfolgten automatisch mit einer Dauer von 4-5 Sekunden, wobei der Arm an der jeweiligen Position kurz verharrete. Der Hub zwischen oberer und unterer Position entsprach 90 cm. Ein CC2650 Sensortag war am Roboterarm befestigt und stellte die Kuh dar. Über die erfassten Luftdruckdaten und deren Änderung konnte erkannt werden, ob sich der Roboterarm in der oberen oder unteren Stellung befand (Abbildung 9).

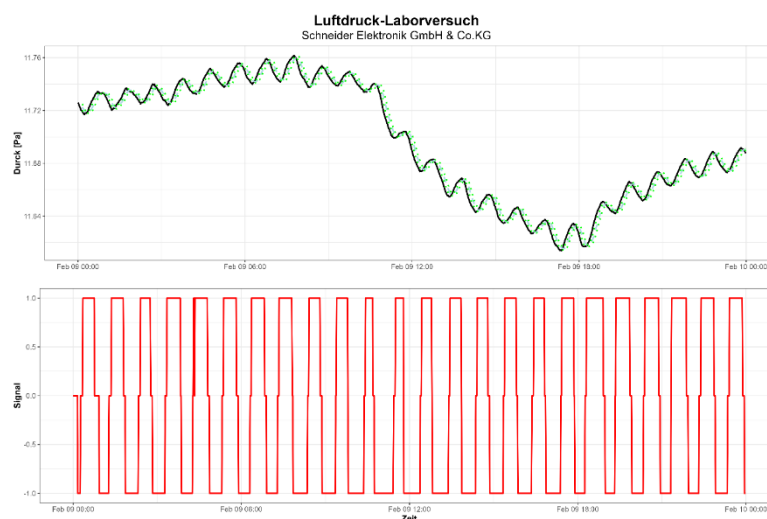


Abbildung 9: oben: Die schwarze Kurve stellt die Luftdruckdifferenz dar, die grüne Linie beschreibt die Toleranzgrenze bei eventuellen Schwankungen an – unten: Die rote Kurve zeigt das Signal und damit die Stellung des Roboterarm (1 = Roboterarm in oberer Stellung, -1 = Roboterarm in unterer Stellung).

2. Statischer Versuch im Milchviehstall des LVG Köllitsch

Um die gewonnene Erkenntnis auf die Haltungsumgebung zu übertragen, wurde zunächst ein statischer Versuch im Stall durchgeführt. Hierfür wurden die drei vorhandenen Necktags (ein Referenz- und zwei Kuh-Tags) auf den Boden (0,0 m) bzw. Stative mit definierten Höhen (0,5 m, und 1,5 m) gelegt (Abbildung 10). Jeweils für 10 Minuten wurden unterschiedliche Höhenkombinationen für die Tags eingestellt.

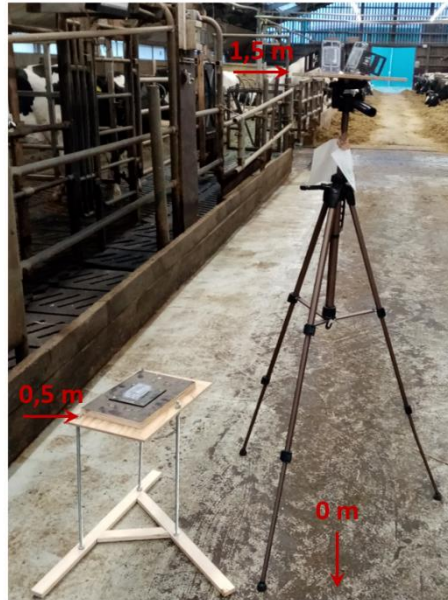


Abbildung 10: Versuchsaufbau für den statischen Test zur Ermittlung des Höhenunterschieds über die Luftdruckänderung

Wie in Abbildung 11 und Tabelle 4 ersichtlich konnte im statistischen Versuch die Tendenz der Luftdruckänderung in unterschiedlichen Höhen dargestellt werden.

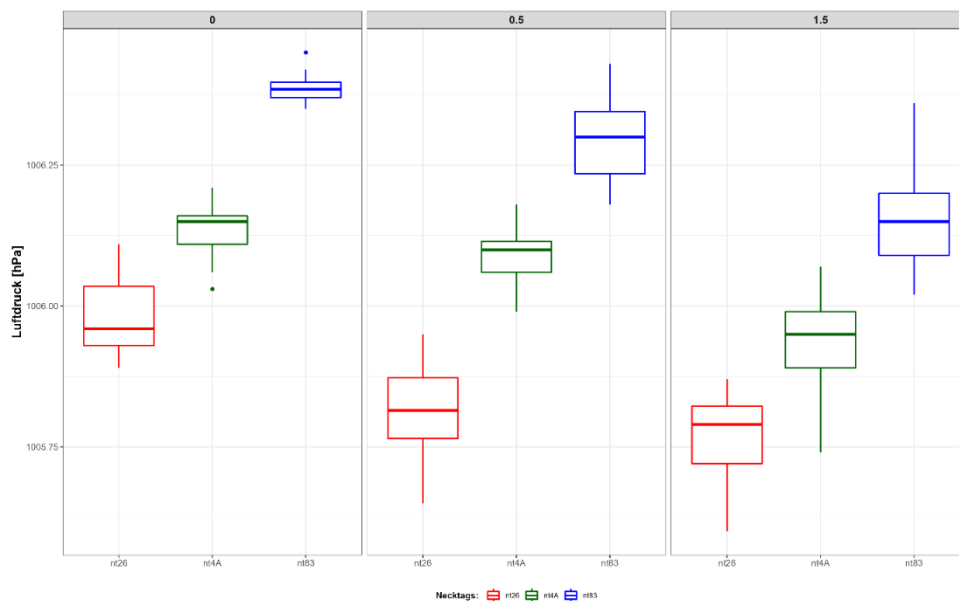


Abbildung 11: Boxplots zum statischen Versuch im Milchviehstall

Tabelle 4: Messungen des Luftdrucks [hPa] in verschiedenen Höhen

Necktag	Höhe [m]	Minimum	Mittelwert	Maximum	StdAbw
nt26	0,0	1005,89	1005,98	1006,11	0,07
	0,5	1005,65	1005,81	1005,95	0,08
	1,5	1005,60	1005,77	1005,87	0,07
nt4A	0,0	1006,03	1006,13	1006,21	0,04
	0,5	1005,99	1006,09	1006,18	0,06
	1,5	1005,74	1005,94	1006,07	0,08
nt83	0,0	1006,35	1006,39	1006,45	0,03
	0,5	1006,18	1006,30	1006,43	0,07
	1,5	1006,02	1006,16	1006,36	0,09

In Tabelle 5 wird dargestellt, inwiefern eine Abweichung der erlangten Messwerte zu den zu erwartenden Soll-Werten vorliegen. Dabei ist eine zum Teil starke Abweichung darstellbar. Es wird angenommen, dass die Ursache dafür in der Luftzirkulation im Stallgebäude liegt, was unter Laborbedingungen nicht von Relevanz war.

Tabelle 5 Höhenunterschiede und Luftdruckdifferenzen in Gegenüberstellung mit dem entsprechenden SOLL-Wert (markierte Zellen zeigen starke Abweichung)

Höhe 1	Höhe 2	Höhendifferenz	Differenz in hPa			SOLL
			nt26	nt4A	nt83	
0,0 m	0,5 m	0,5 m	0,168	0,042	0,087	0,06
0,5 m	1,5 m	1,0 m	0,043	0,157	0,070	0,12
0,0 m	1,5 m	1,5 m	0,210	0,199	0,235	0,18

Bei Erprobungen am Tier konnte ebenso der Einfluss der zirkulieren Luft, auf die Messung des Luftdrucks, nachgewiesen werden. Hierbei spielte neben der Luftzirkulation in der Stallhülle, auch die durch das Tier selbst verursachte Verwirbelung eine Rolle.

3. Dynamischer Luftdruckversuch am Tier

Aufgrund der positiven Ergebnisse der Vorversuche folgte eine weitere Untersuchung mit den Sensortags am Tier. Erneut wurden die Necktags am Halsband der beiden ausgewählten Kühe angebracht. Parallel wurden die Tiere beobachtet und die Zeiten der Steh und Liegeperioden notiert. Die Auswertung erbrachte keine verwertbaren Ergebnisse. Es konnten anhand der aufgezeichneten Necktagdaten keine Rückschlüsse auf die notierten Zeiten aus der Tierbeobachtung gezogen werden. Die Vorgänge Hinlegen oder Aufstehen konnten nicht erkannt werden. Ebenso waren die Daten in Steh- und Liegephasen widersprüchlich. Grund

hierfür kann in der Empfindlichkeit des Luftdrucksensors liegen. Luftzüge die generell im Offenstall vorkommen, aber auch durch die Fortbewegung der Kuh selbst und die Bewegung des Kopfes können eine Begründung sein. Ob und welche Windströme im Stall vorkamen war aus den Daten nicht ersichtlich, so dass eine rechnerische Korrektur nicht möglich war. Daher wurde die Untersuchung zurückgestellt.

II.1.2.4 IoL-Ortungssystem

Um für die Erprobung der Ortungsfunktion der Necktags Erkenntnisse aus dem Aktivitäts- und Abliegeverhalten der Kühe zu generieren, kamen neben den Tinytags, die Pedometer IceQubes des Unternehmens Peacock Technology Ltd. ehem. IceRobotics Ltd. aus England zum Einsatz (Abbildung 12). Die Beschreibung des tierindividuellen Aktivitätsverhaltens erfolgte anhand der Anzahl der Schritte und der Steh- und Liegeperioden. Für die Untersuchung von Veränderungen im Aktivitätsverhalten (Anzahl der Schritte, Anzahl und Dauer von Steh- und Liegeperioden) in Abhängigkeit von Temperatur und Luftfeuchtigkeit (THI) wurden die Daten der neun IceQubes alle 7 Tage ausgelesen und im Rahmen einer Graduiertenarbeit (M.Sc.) mit den Klimadaten verglichen.

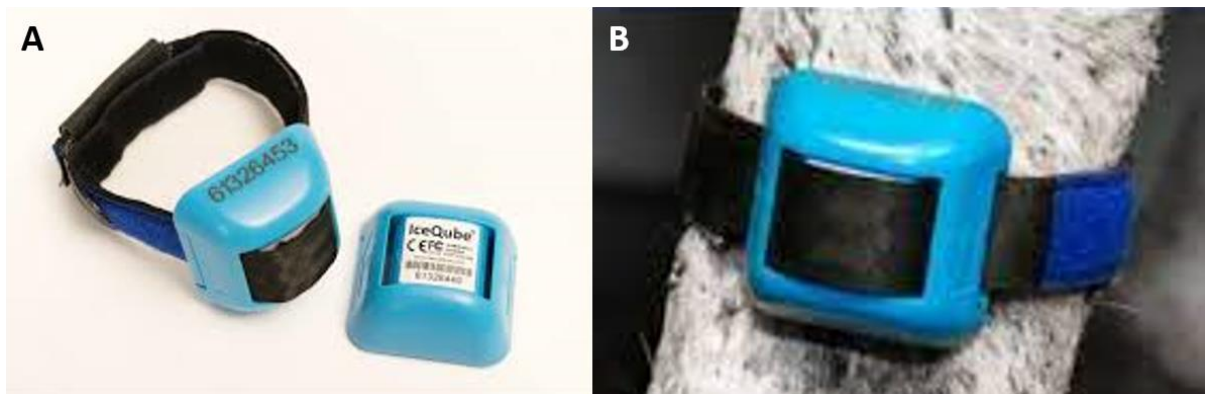


Abbildung 12: IceQube (Pedometer) zur Aktivitätsmessung anhand der Anzahl der Schritte und der Steh- und Liegeperioden) – B: IceQube am Bein der Kuh

Das verwendete IoL-Ortungssystem bestehend aus Necktag und Antennen-Array, kann nicht nur die Position in einer bestimmten Fläche (x- und y-Achse) bestimmen, sondern auch die Höhe (z-Achse) erkennen. Daher ist es in der Lage zu unterscheiden, ob die Kuh steht oder liegt.

1. Funktionstest des Ortungssystems in der Turnhalle der LfULG (August 2022)

Das Ortungssystem für den Multisensor wurde erstmals in der Turnhalle des LVG Köllitsch getestet. Dafür wurden vier Antennen in einer Höhe von 4,11 m an den Eckpunkten eines 6 m x 4 m großen Rasterfeldes (Abbildung 13) aufgestellt. Um Verwechslungen der Spalten

und Zeilen zu vermeiden bekamen die Felder in den Zeilen (y-Achse) die Buchstaben A bis F und die Felder der Spalten (x-Achse) die Zahlen 1 bis 9 zugeordnet. So bekam jedes Feld eine Bezeichnung aus Buchstaben und Zahl (A1 bis F9) und hatte eine Größe von 1,0 m x 1,0 m. Zwei Necktags wurden jeweils auf einem Stativ befestigt, über welches auch unterschiedliche Höhen eingestellt werden konnten.

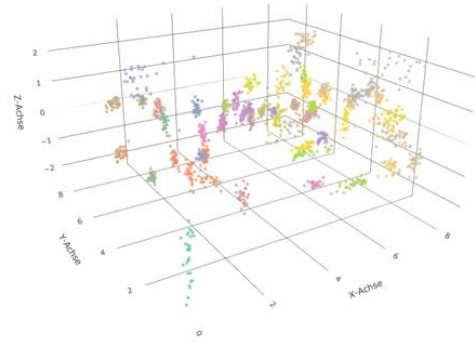


Abbildung 13: Versuchsaufbau des Ortungsversuchs in der Turnhalle des LVG Köllitsch bestehend aus einem 6 m x 9 m großen Raster (rot eingezeichnet), vier Antennen (je eine pro Eckpunkt) und zwei mit Necktag ausgestatteten Stativen

Jedes Stativ mit CC2650 Sensortag durchwanderte das komplette Raster mit einer Verweildauer von einer Minute pro Feld. Alle 2 Sekunden wurde die Position erfasst und an den Computer gesendet. Pro Feld und Tag wurden somit 30 Werte erfasst. Die Versuchsdurchführung erfolgte mit jeweils zwei Höhen pro Sensortag (Tag ntC9: 0,79 m vs. 1,29 m bzw. Tag ntE1: 0,62 m vs. 1,12 m).

Wie in Abbildung 14 dargestellt, lagen fast alle erfassten Werte innerhalb des gewünschten Toleranzbereichs. Ungenauigkeiten kamen vorrangig an den Rändern des Testfeldes vor.

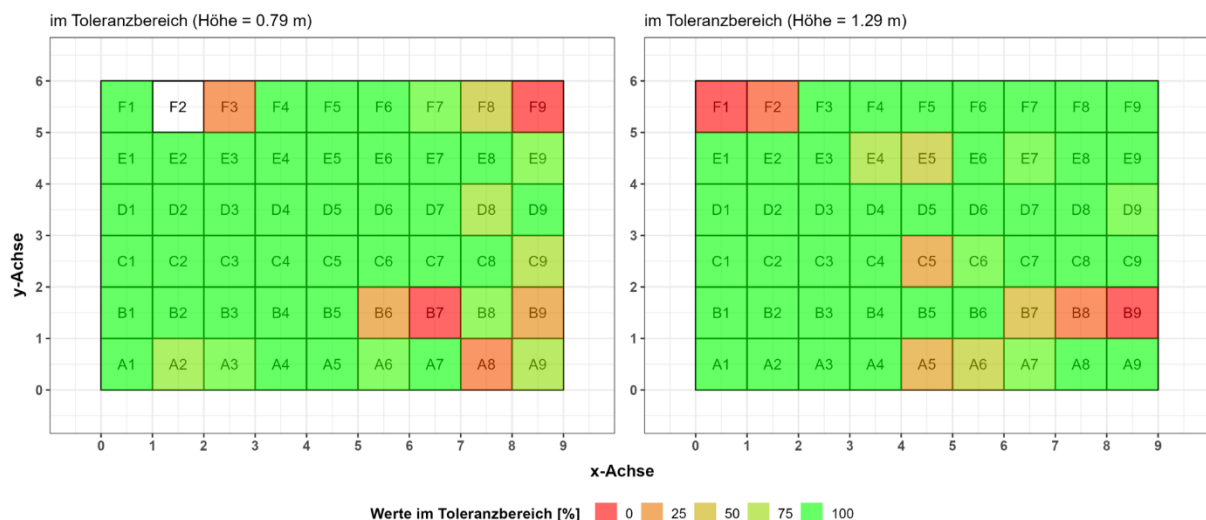


Abbildung 14: Darstellung der gemessenen Werte unter der Berücksichtigung von einer Abweichung von 1 m. Je grüner der Quadrant, desto mehr Werte wurden richtig erfasst, je roter, desto weniger.

2. Einrichtung des finalen IoL-Systems

Nach erfolgreicher Umsetzung des IoL-Ortungssystems unter den Bedingungen eines geschlossenen Raumes, wurde das System im Milchviehstall am 30.11.2022 integriert. Dabei wurde ein Antennen-Array, bestehend aus fünf Antennen (Abbildung 15, links) in einer Höhe von 4,20 bzw. 6,22 m Höhe über dem Stallboden installiert und die dritte Generation des Funktionsmusters (Abbildung 15, rechts) für Kühe in Betrieb genommen.



Abbildung 15: links: Antenne A1 vor der Installation mit LAN-Kabel zur Vernetzung mit dem Host-PC, mitte: installierte Bluetooth-Antenne, rechts: Funktionstag (3. Generation) mit Ortungsfunktion und integrierter Lichtdiode zur Erfassung der Beleuchtungsstärke

Nach dem in der Abbildung 16 dargestellten Raster wurde die räumliche Einteilung in der Gruppe 12 zur Überprüfung der Ortungsfunktion des Iol-Funktionsmusters vorgenommen. Durch den Beobachter wurden jeweils im zwei minütigen Taktung die Reihe (grün) und die Spalte (rot) als aktuellen Aufenthaltsort des Tieres dokumentiert, wobei auch Aktionen wie Liegen, Stehen, Fressen oder Saufen notiert wurden.

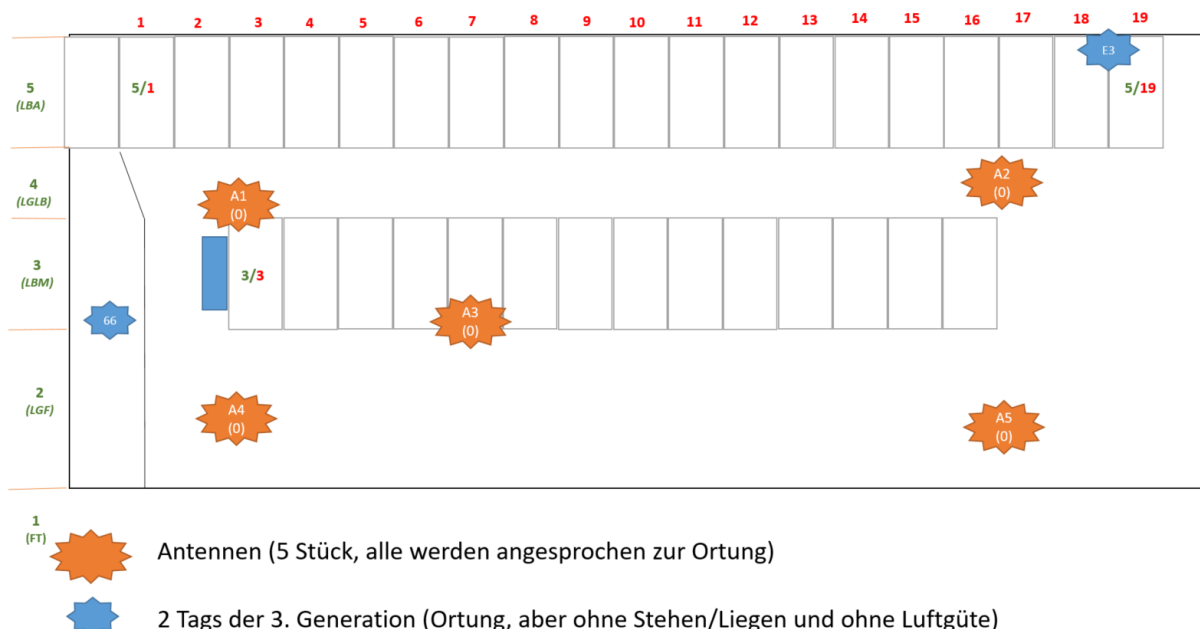


Abbildung 16: Lokalisationsraster in Gruppe 12 des Liegeboxenlaufstalls des LVG Köllitsch (LBA= Liegeboxenreihe Außen; LGLB= Laufgang zwischen Liegeboxen; LBM= Liegeboxenreihe Mitte; LGF= Laufgang Futtertisch; FT= Futtertisch)

3. Funktionstest des IoL-Ortungssystems im Laufstall

Um die Funktionsfähigkeit unter denen im Laufstall vorherrschenden Voraussetzungen zu prüfen, wurden einige Versuchsanstellungen (Unterpunkt A bis E) unternommen.

A. Statischer Versuch an festgelegten Positionen

Die Überprüfung der Ortungsgenauigkeit der Funktionsmuster der 3. Generation erfolgte an 14 Messpunkten gleichmäßig verteilt über die gesamte Stallfläche (Abbildung 17)

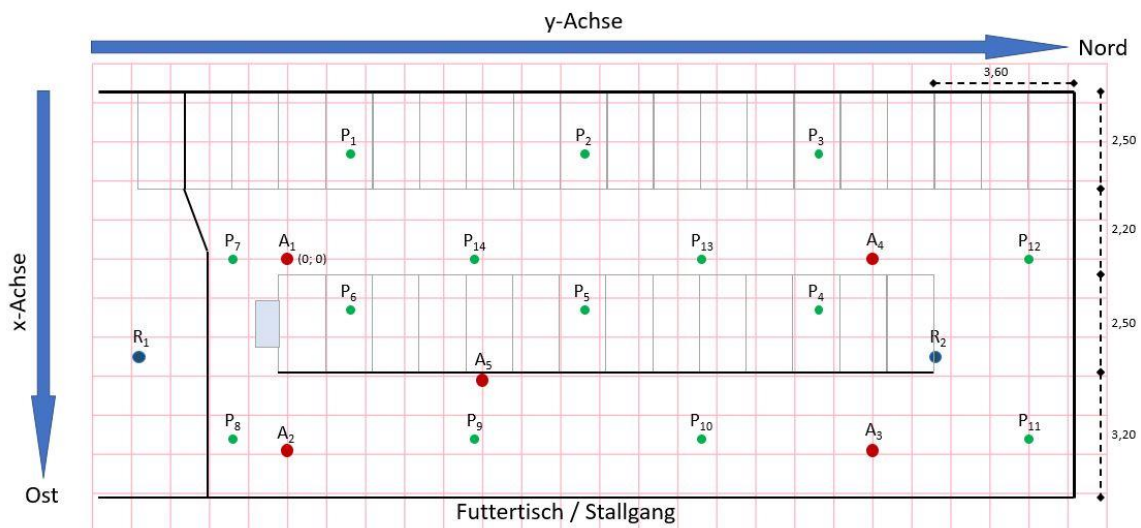


Abbildung 17: Anordnung der Antennen (rot), der Referenzsensoren (blau) und der Messpunkte (grün) im Stallabteil der Gruppe 12

An jedem Messpunkt wurde jeder der beiden Sender 80:66 und 6D:C9 in den Höhen des Statives 1,45 und 0,45 m für drei Minuten positioniert, um seine wahre Position mit den von dem Antennenarray über BLE 5.1 ermittelten Positionen zu vergleichen (Abbildung 18).



Abbildung 18: Stativ in 1,45 m Höhe über Stallboden mit Necktag

Bei einer Positionsermittlung der Tags aller 5 Sekunden wurde die im Pflichtenheft festgelegte Ortungsgenauigkeit von 1 m eingehalten. Dabei wich der Tag C6:D9 stärker von der aktuellen Position ab als der Tag 80:66 und hatte einige Ausfälle in der Positionsbestimmung. Der Tag 80:66 dagegen zeigte gut die reale Position in weniger als einem Meter radialen Abstand. Der technische Fehler im Tag C6:D9 wurde durch den Projektpartner SE behoben.

B. Gehzeitprüfung unterschiedliche Geschwindigkeiten entlang des grünen Pfeils

Um die Ergebnisse der Datenaufnahme hinsichtlich der Reaktionszeit bei einem Standortwechsel zu überprüfen, wurden die beiden Funktionsmuster in den Höhen 0,45 m und 1,45 m über dem Nullpunkt (Spaltenboden) in unterschiedlichen Geschwindigkeiten (0,5; 1,00, 1,5 m/sec.) über eine festgelegte Strecke (Abbildung 19) bewegt.

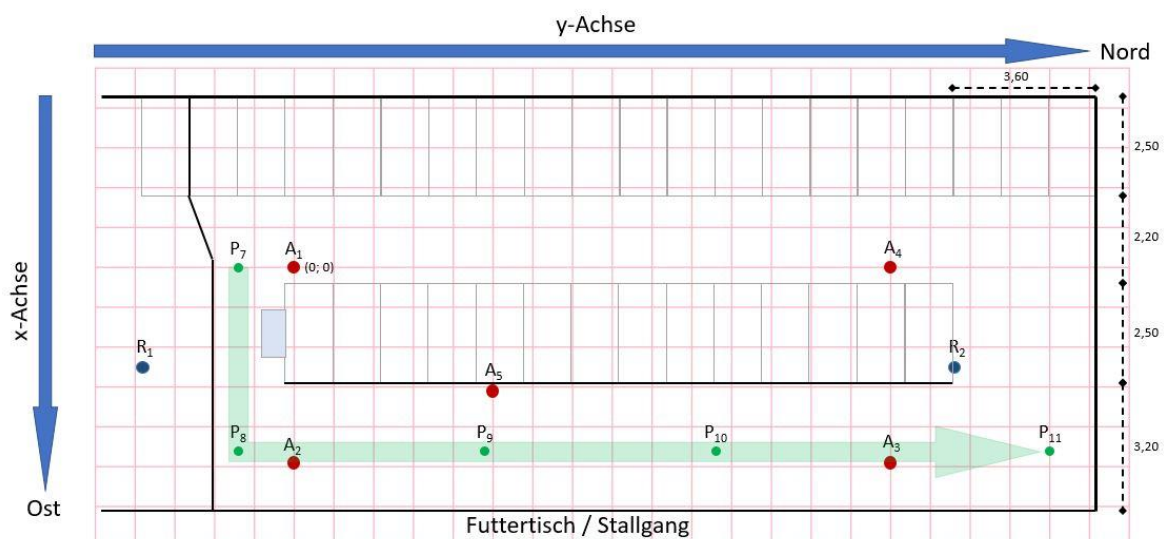


Abbildung 19: Strecke der Gehzeitprüfung und die Anordnung der Antennen (rot), der Referenzsensoren (blau) und der betreffenden Messpunkte (grün)

C. Störtest

Zur Überprüfung einer möglichen Überlagerung des Signals zweier Tags, wurden Störtest durchgeführt. Dabei wurde untersucht, ob die Datenübertragung beeinträchtigt wird, wenn sich zwei Sensoren in unmittelbarer Nähe befinden. Hierfür wurden die zwei Necktags (C6:D9 und 80:66) am gleichen Messpunkt, in unterschiedlichen Höhen angebracht. Außerdem wurden unterschiedliche Schaltungen der Antennen getestet. Eine statische Auswertung mittels eines t-Tests, konnte dabei keine signifikanten Unterschiede zwischen den Antenneneinstellungen aufzeigen (Abbildung 20).

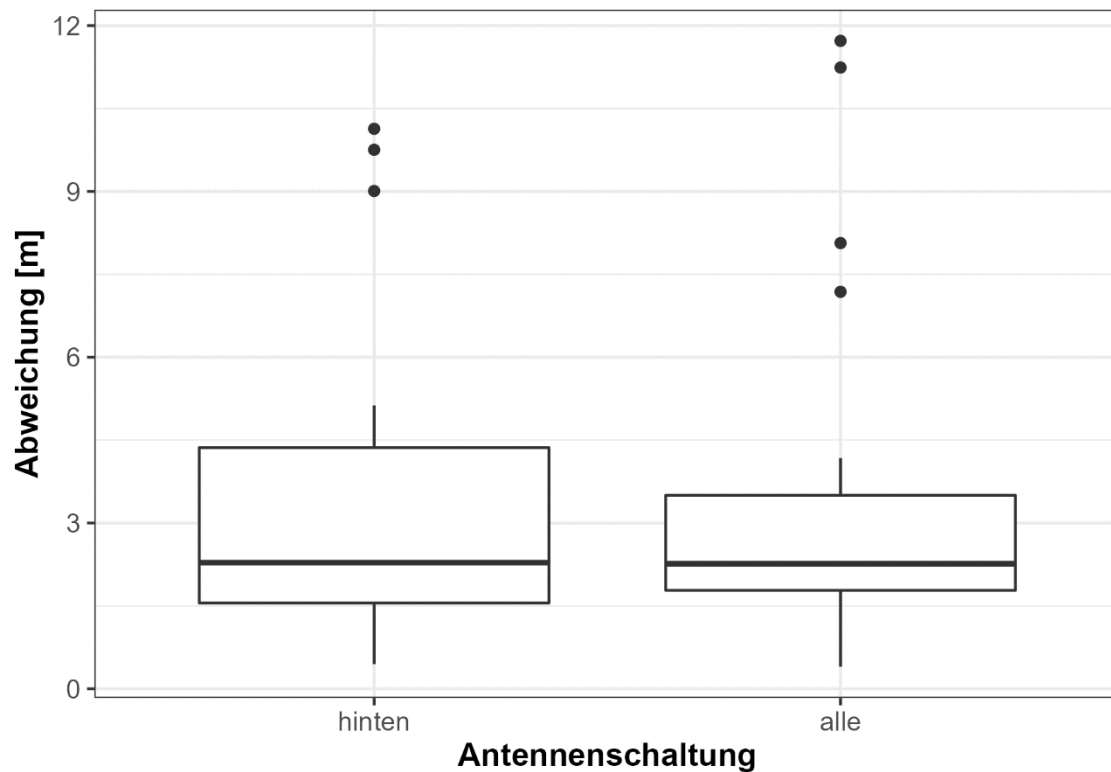


Abbildung 20: Gemessene Positionen und deren Abweichung zum Messpunkt je nach Antenneneinstellung

D. Dynamischer Test Ortung am Tier inkl. Tierbeobachtung

Es wurden fortlaufend ab Januar 2023 dynamische Ortungstest am Tier durchgeführt und zur Validierung mit Tierbeobachtung untermauert. Dazu wurden das im Vorfeld angelegte Raster (siehe Abbildung 16), zur manuellen Lokalisation der Tiere, durch einen geschulten Beobachter, zugrunde gelegt.

In unten dargestellter Abbildung 21 sind die Ergebnisse des dynamischen Ortungstests von Januar 2023 dargestellt. Die jeweils hervorgehobenen (dunkleren) Plots stellen die in der Tierbeobachtung festgestellte Position des Tieres dar, weshalb lediglich ein Wert für den Zeitraum vorliegt. Die gedeckteren (helleren) Plots stellen die im Beobachtungszeitraum ausgegebenen Ortungswerte durch den Tag dar.

Die in Abbildung 21 verwendeten Necktags verfügten über die Ortungsfunktion, Temperatur-, Luftfeuchte- sowie Lichtsensor (niedrigste Entwicklungsstufe).

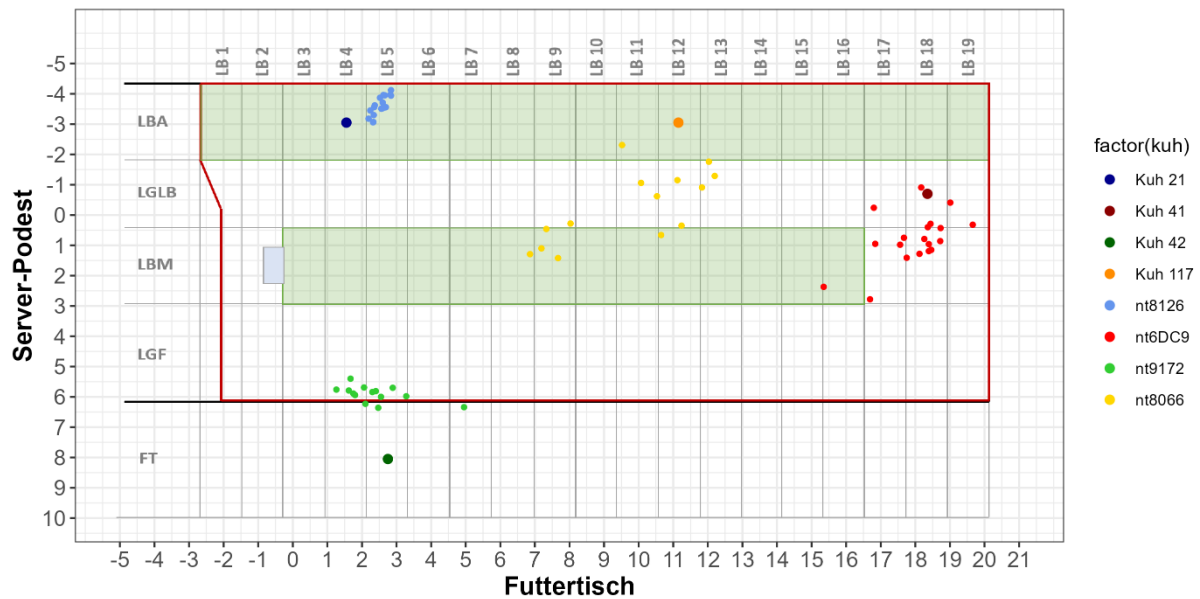


Abbildung 21: Dynamischer Ortungstest beispielhaft vom 04.01.2023 09:44 bis 09:44 Uhr

Den Beobachtungen ist zu entnehmen, dass Kuhnummer 42 (grün), Kuhnummer 117 (gelb) und Kuhnummer 41 (rot), sich innerhalb dieser Beobachtungszeit fortbewegt haben. Kuhnummer 21 befand sich liegend in der Liegebox 4, wurde aber in der Liegebox 5 geortet.

Die Darstellungsform wurde in folgender Abbildung 22 beibehalten jedoch liegen Unterschiede im Entwicklungsstand der verwendeten Tags im Vergleich zu Abbildung 21 vor. Die hier ausgewählten Necktags haben eine fortgeschrittene Entwicklungsstufe und können zusätzlich die Aktivität (anhand der Schrittzahl), sowie Luftdruck und Luftgüte abbilden.

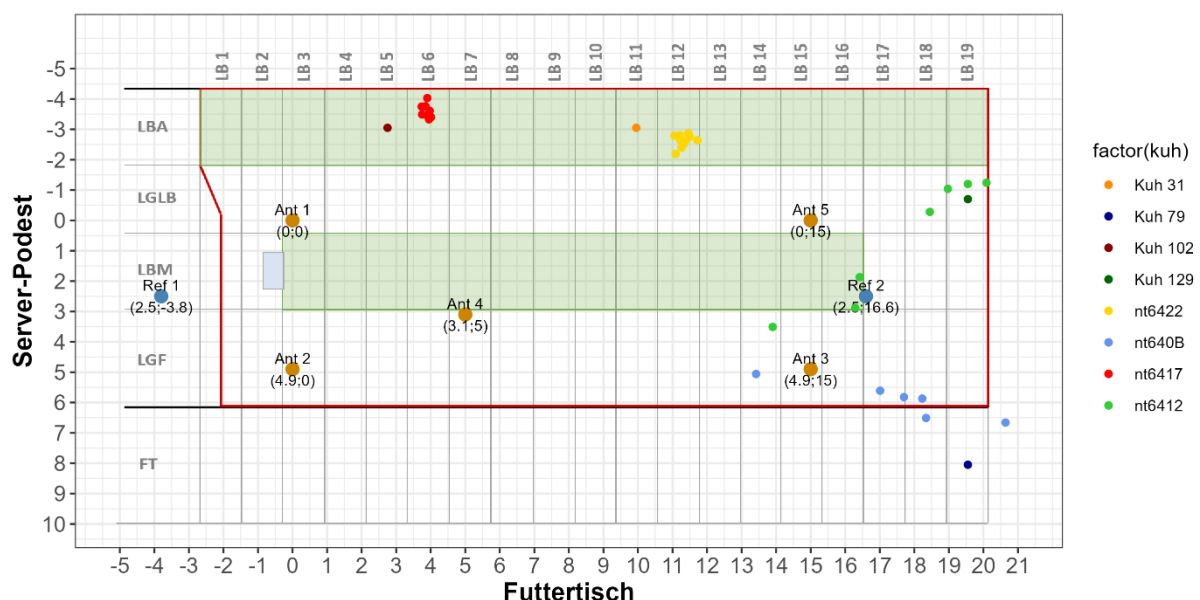


Abbildung 22: Dynamischer Ortungstest beispielhaft vom 10.08.2023 07:56 bis 07:58 Uhr

Der Tierbeobachtung ist zu entnehmen, dass Kuhnummer 31 (gelb) und Kuhnummer 102 (rot) sich zum Zeitpunkt der Tierbeobachtung liegend in den jeweiligen Liegeboxen befanden. Die

übrigen Tiere hielten sich dynamisch in der Gruppe auf. Es ist hervorgegangen, dass die Ortungsgenauigkeit auf 0,5 bis 1 m detektiert werden konnte. Sowohl in Abbildung 21 als auch anhand Abbildung 22, verdeutlichen insbesondere die liegenden Tiere diesen Sachverhalt.

In der Genauigkeit der Ortung unterscheiden sich die Necktags trotz ihrer verschiedenen Entwicklungsstufen nicht beträchtlich. Die weitere Ausstattung hat keinen negativen Einfluss, auf die Ortungsfunktion.

II.1.2.5 Versuch zum Mikro- und Makroklima

Für den Vergleich von Mikro- und Makroklima um das Tier, wurden drei ausgewählte Necktags, befindlich am Halsband mit Sitz im Nacken der Kuh, mit drei als Referenzsensoren in der Stallhülle angebrachte Necktags herangezogen. Die Referenzsensoren befanden sich dabei in 2,40 m bis 2,70 m Höhe, innerhalb der Versuchsgruppe 12, wo sich auch die mit den Necktag ausgestatteten Kühe befanden.

Es konnte ein deutlicher Zusammenhang zwischen den Mikro- und Marko-Temperaturen festgestellt werden, wobei die Mikrotemperatur (am Tier gemessen) im Mittel 4,56 °C höher war. Bei Betrachtung im tageszeitlichen Verlauf, konnte festgestellt werden, dass insbesondere über die Mittagsstunden hinweg, die Temperaturdifferenz des Mikro- und Makroklimas am geringsten ist. Daraus lässt sich ableiten, dass sich insbesondere zur kühleren Tageszeit das Mikro- und Makroklima stark voneinander abgrenzen, wohingegen bei wärmerer Lufttemperatur sich diese stark annähern. Zur Überprüfung dieser Annahme, wurde die Betrachtung auf die Außentemperatur ausgeweitet, wobei analoge Ergebnisse entstanden. Weiterhin konnten gleichermaßen signifikante Unterschiede in der relativen Luftfeuchte zwischen Mikro- und Makroklima festgestellt.

II.1.2.6 Tests zur Beschreibung der Luftgüte durch das Funktionsmuster

Um die Luftgüte in der unmittelbaren Umgebung des Tieres messen, überwachen und steuern zu können, wurde im Pflichtenheft die Verwendung eines Luftgütesensors vereinbart. Die Kostenminimierung im Blick, sollte ein handelsüblicher Sensor zum Einsatz kommen.

Die Wahl fiel auf den Bosch BME 680, welcher für den Einsatz im Humansektor bestimmt ist und die in der Luftqualität in sieben verschiedenen Indizes beschreibt. Dazu misst der Sensor die Luftbestandteile Kohlenmonoxyd, Azeton, Ethanol/Ethan und Isoprene und ermittelt aus deren Gehalt einen Index zur Beschreibung der Luftgüte. Um die für den Einsatz in Büroräumen konzipierten BME 680 auf den Einsatz und die Aussagekraft in der Tierhaltung zu testen, wurden diese in Behältern der Umgebungsluft von Schweingülle und Rinderkot im Vergleich zur Außenluft ausgesetzt. Die ermittelten Daten aus den Tests zur Beschreibung der Luftgüte mittels BME 680 wird der Kooperationspartner nubix im Abschlussbericht benennen.

Die in dem Funktionsmuster der 4. Generation (Abbildung 23) verbauten Luftgütesensoren messen die Gesamtkonzentration flüchtiger organischer Verbindungen (Total volatile organic compounds (TVOC)).



Abbildung 23: Funktionsmuster der 4. Generation mit Luftgütesensor und seitlich angebrachten Luftfilter

Der daraus ermittelte Messwert wird im Folgenden als Luftgüte(-index) bezeichnet.

Es wurde überprüft, auf welche im Stall vorherrschenden Medien der verbaute Sensor reagiert. Dabei wurden Silage (Tabelle 6), Heu (Tabelle 7), Rinderkot (Tabelle 8), sowie Rinderurin (Tabelle 9) herangezogen. Die Versuchsdurchführung wurde innerhalb der Stallhülle, jedoch in dafür geeignete Gebinde, als „Tonnen“ (originär aus Futtermittelversuchen stammend) durchgeführt. Hierbei wurden die ausgewählten Sensoren, in unterschiedlichen Höhen über dem zu überprüfenden Medium angebracht.

In folgenden werden die Ergebnisse für die Silage dargestellt wobei die Necktags: 640B, 6412, 6422 zum Einsatz gekommen sind.

Tabelle 6: Beschreibende Statistik zur Luftgüte in einer Silageumgebung

Sensor	Minimum	25%-Quantil	MW	75%-Quantil	Maximum
640B	492	498	497,49	498	498
6412	0	418	404,94	444	460
6422	98	122	129,25	136	156

Es ist ersichtlich, dass die Sensoren mit zunehmender Nähe zur untersuchten Materie (Silage) höhere Messwerte für die Luftgüte ausweisen, sprich kritische Luftgütewerte, können zum Teil auf Silage zurückgeführt werden.

In folgenden werden die Ergebnisse für das Heu dargestellt, wobei die Necktags: 6407, 6412, 643A zum Einsatz gekommen sind.

Tabelle 7: Beschreibende Statistik zur Luftgüte von Heu

Sensor	Minimum	25%-Quantil	MW	75%-Quantil	Maximum
6407	0	0	0,00	0	0
6412	4	4	4,00	4	4
643A	28	32	33,22	34	36

Für das Medium Heu konnte ein gegenläufiges Ergebnis festgehalten werden. Mit steigender Entfernung zum Heu, wurden höhere Luftgütewerte durch die Tags ausgewiesen. Entsprechend kann angenommen werden, dass das Heu keine TVOCs ausströmt und damit der Sensor auf dieses nicht reagiert.

In folgenden werden die Ergebnisse für den Rinderkot dargestellt, wobei die Necktags: 6425, 642F, 643A und 6417 zum Einsatz gekommen sind. Letzterer wurde zusätzlich in 130 cm Höhe angebracht. Dieser lag oberhalb des Gebindes und war damit der Stallluft ausgesetzt.

Tabelle 8: Beschreibende Statistik zur Luftgüte von Rinderkot

Sensor	Minimum	25%-Quantil	MW	75%-Quantil	Maximum
6425	78	92	97,65	104	108
642F	68	72	75,86	80	80
642A	34	50	51,94	56	58
6417	46	64	66,56	72	74

Für den Rinderkot konnte analog zur Silage festgestellt werden, dass bei einer zunehmenden Entfernung zum Medium, die Messergebnisse für die Luftgüte rückläufig sind. Der zusätzlich angebrachte Sensor, wies wieder höhere Messwerte gegenüber dem Sensor in 90 cm aus. Hier wird die Ursache in der Stallluft gesehen.

In folgenden werden die Ergebnisse für den Rinderurin dargestellt, wobei die Necktags: 6425, 6426 zum Einsatz gekommen sind.

Tabelle 9: Beschreibende Statistik zur Luftgüte von Rinderurin

Sensor	Minimum	25%-Quantil	MW	75%-Quantil	Maximum
6425	112	128	142,99	157	192
6426	94	118	129,25	142	170

Analog zur Silage bzw. zum Rinderkot konnte nachgewiesen werden, dass der Sensor auf Rinderurin reagiert.

II.1.3 Arbeitspaket 12: Wissenschaftliche Umsetzung und Transferansätze in die Praxis

Während der Projektlaufzeit ist es gelungen ein Funktionsmuster zu entwickeln, welches im realen Einsatz, im Rahmen eines Versuchsaufbaus im LVG Köllitsch, im betrieblichen Umfeld erprobt wurde. Parallel zur Untersuchung der Funktionsfähigkeit als Referenzsensor innerhalb der Stallhülle, sowie der Anbringung am Tier, wurden die Voraussetzungen für die Einbindung verschiedener Akteure geschaffen. Zukunftsweisend wurden in Zusammenkünften mit Workshop Charakter verschiedene Use cases diskutiert. Dazu wurden Unterteilungen in verschiedene Rubriken vorgenommen. In nachfolgender Abbildung 24 ist das Ergebnis der Use case Analyse stichpunktartig dargeboten.

Mensch-Tier-Maschine Interaktion Use case Sammlung

Fütterung

- Fressplätze werden durch Einzeltier angesteuert und nur bei Anrecht zugänglich
- Futterschieberoboter mit Infrarotkamera zur Überwachung Nacherwärmung TMR
- Fütterungszeiten und Restfuttermanagement: Wartezeiten am Futtertisch ohne Futteraufnahme ; Kopplung Zeitraum Melkzeit & wann ablegen in Liegebox → Terminierung Fütterung verbessern
- „Aceton Sensor“ an Futterschieberoboter oder automatischer Fütterung zur Detektion von Ketosen

Tierverkehr/ Separation /Treiben

- Smart Cow Traffic → Kühe automatisch in Gruppe zurück sortieren
- optische Tiererkennung → amtliche Kontrollen, Tierschutzgerechtigkeit
- Lokalisationsfunktion des Responders zeigt Aufenthaltsort in der Gruppe auf → Notwendigkeit Separieren der Tieren entfällt

Melken

- Schnittstelle Uhrzeit Melkung und Fresszeit der Tiere → Managementtool zur Verbesserung betrieblichen Abläufe

Sonderarbeiten

- Klauengesundheit → CBS nimmt mittels Mikrofon Laufgeräusche im Rücklauf auf und detektiert durch unrythmisches Gangbild lahme Kühe

Liegeboxenpflege

- Spaltenschieberoboter erhebt Füllstände der Liegeboxen und gibt Signal an Einstreuautomatik weiter
- Lokalisation des Responders gibt Auskunft darüber welche Liegeboxen belegt sind, sodass diese nicht mit eingestreut werden
- Ortungsfunktion führt Statistik über Nutzungsfrequenz von Liegeboxen und zeigt Wartungsbedarf auf

Entmistung

- Spaltenschieberoboter erhebt Luftgütedaten und ändert Fahrintervall, bzw. erhöht verteilte Wassermenge oder setzt Milchsäure zu
- Spaltenschieberoboter kommuniziert mit Lokalisationsfunktion des Responders und schiebt Stallbereiche nach Nutzungsintensität ab, nicht nach festen Fahrmuster

Stallklima

- automatisches Öffnen und Schließen von Curtains/ First je nach Temperatur und Luftgütedaten
- Kopplung an Wetterstation (Schließen First bei Niederschlag oder Sturm)
- Ansteuerung Ventilatoren und Vernebelungsanlage anhand Luftgüte/ Lufttemperatur
- Stallgeräte stellen bei Tierbeobachtung mittels Kamera und Infrarottemperatursensor Überhitzungserscheinung fest und steuern Ventilatoren an

Tierverhalten

- plötzliche Veränderung Verhaltensmuster → warum Stallbereiche gemieden? Schreckverhalten zu bestimmten Uhrzeiten/Prozessen? Hinweise auf mögliche Störfaktoren
- Tierbeobachtung mittels Stallgeräten (z.B. Anschieberoboter) Erkennen ranghoher und rangniedriger Tiere (Individualdistanzen und Ausweichverhalten) → Instrument bei der Zusammenstellung von Herden und Entscheidung von Belegungsdaten
- Mikrofon nimmt Störgeräusche war und gibt Warnmeldung bei Grenzwertüberschreitung

Abbildung 24: Zusammenfassendes Ergebnis der Use case- Analyse

Im Zusammenhang mit dem entwickelten Funktionsmuster, werden die Vorteile in der Nutzung insbesondere bei Betrieben mit hohem Automatisierungsgrad in der Verfahrenstechnik gesehen. Das Potential der Vernetzung verschiedener Akteure im Stall wird als große Ressource gesehen.

II.1.4 Arbeitspaket 13: Wissenschaftliche Bewertung

Die Sensorik erfasst die Umweltparameter Lichtstärke, Luftfeuchtigkeit, Temperatur und Luftgüte direkt an der Kuh, da der Sensor am Halsband im Nackenbereich befestigt ist. Somit kann erstmals das Makroklima direkt am Tier gemessen werden. Zudem ist ein Ortungssystem im Tag integriert. Durch diese Kombination ist es möglich Rückschlüsse auf das Aufenthaltsverhalten in Bezug auf das Stallklima der einzelnen Tiere zu ziehen.

Bisherige Sensorik misst nicht das gesamte Spektrum wie der IoL-Sensor, sondern nur einzelne Parameter. Weiterhin sind bestehende Sensorsysteme meist nicht miteinander kombinierbar und stellen lediglich Insellösungen dar.

Der Sensor kann nach weiterer Anpassung zukünftig auch an Stalleinrichtungen, wie Lüfter Curtains u.a. angebracht werden, so dass diese bei Erreichen definierter Schwellenwerte automatisiert und ans Tier angepasst gesteuert werden können. Durch eine automatisierte an tierbezogene Indikatoren angepasste Klimasteuerung kann sowohl das Tierwohl als auch die Tiergesundheit erhöht werden, da v.a. Hitzestress frühzeitig erkannt und minimiert werden kann.

Die verfolgten Energiegewinnungsansätze beruhen zum einen auf thermoelektrischen Bauelementen, welche die Körperwärme von Tier zur Erzeugung von Energie nutzt. Ein zweiter Ansatz beinhaltet klassisch ein Solar-Panel. Beide Ansätze haben zu einer autarken Energieversorgung der Sensoren beigetragen.

Noch ist es ein Funktionsmuster, welches jedoch am Tier im Stall seine Funktionen erfüllt. Es sind noch ein paar Optimierungen notwendig, um ein voll funktionsfähiges Sensorsystem zu vermarkten. Wenn es soweit ist, bringt das entwickelte IoL-Produkt neben der verbesserten Tierüberwachung auch eine deutliche Steigerung im Hinblick auf Klima- und Emissionsmaßnahmen mit sich. Auch für zukunftsorientierte Betriebe mit Weidehaltung ist der Einsatz auf der Weide und im Stall möglich. Damit einhergehend kann schneller im Sinne des Tierwohls gehandelt werden. Zudem wird durch die Kommunikation zwischen Sensoren und Aktoren ein Teil der Stalleinrichtung automatisiert, was zu einer Entlastung des / der Landwirt:in führt.

Arbeitspaket 14: Berichtswesen und Wissenstransfer

Während der Projektlaufzeit wurde IoL auf Tagungen und Messen in Form von Vorträgen oder Postern vorgestellt. Zudem sind noch Veröffentlichungen in wissenschaftlichen Journalen geplant. Eine detaillierte Auflistung ist in Abschnitt II.6 dargestellt. Diese beinhaltet ebenso Graduierungsarbeiten.

II.1.5 Gegenüberstellung mit vorgegebenen Zielen

Arbeits- und Zeitplanung	Stand der Arbeiten
Meilenstein 1: Pflichtenheft Konzeptionierung	Projektmonat 3 fristgerecht abgeschlossen Pflichtenheft verabschiedet beim KickOff-Meeting 27.09.2021
Meilenstein 2 (begonnen): Konzept Finale Schaltung zum Einbau in den intelligenten Tag	Projektmonat 15 → 21 Erste Funktionstests im LVG Köllitsch gestartet
Meilenstein 3: Basisstation intelligentes Tag Systemintegration	Projektmonat 18 → 24
Meilenstein 4: Softwareentwicklung Experimentelle Erprobung Wissenschaftliche Umsetzung und Bewertung	Projektmonat 22
Meilenstein 5 Berichtswesen und Wissenstransfer	Projektmonat 24

Die Meilensteine MS 2 und MS 3 lagen in der Verantwortung der Kooperationspartner Schneider Elektronik GmbH & Co. KG und nubix Software-Design GmbH, ebenso der Abschnitt Softwareentwicklung des Meilensteins MS 4. Details zu Ergebnissen und erreichten Zielen sind in deren Abschlussberichten zu finden.

II.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Der zahlenmäßige Nachweis wird von der Finanzabteilung der Hochschule Neubrandenburg gesondert eingereicht.

II.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeit

Die umfangreichen Forschungsarbeiten, die im Rahmen des Projekts „Internet of Livestock“ durchgeführt worden sind, konnten nicht aus den regulären Haushaltsmitteln der Hochschule Neubrandenburg finanziert werden. Für die Durchführung der Projektarbeiten sind daher erhebliche Zuwendungen für Personal, und Reisen erforderlich gewesen. Die AP welche in der Verantwortlichkeit des LfULG bzw. der HSNB lagen, stellten eine wichtige Voraussetzung für alle nachgelagerten AP dar. Die geleistete Arbeit war insbesondere deshalb notwendig und angemessen.

Die HSNB hat ihrerseits Eigenleistungen durch die Bereitstellung von Pedometern, in das Projekt gebracht, die für die Durchführung der Projektarbeit genutzt werden konnten.

II.4 Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses

Für die HSNB und das LfULG wird das Projekt eine primäre Rolle im Wissenstransfer und Schulungsbereich einnehmen. Die erzielten Ergebnisse werfen sowohl neue Fragestellungen auf, welche im geeigneten Rahmen gezielt untersucht werden können, als auch die Beantwortung von Fragestellungen die zur Grundlagenforschung anderer Projekte darstellen. Durch die hohe interdisziplinäre Vernetzung können die Erfahrungswerte, die im Rahmen des Projekts gewonnen wurden, an anderen Stellen mit ähnlicher Fragestellung, in vertretbarem Umfang mit eingebracht werden.

Alle weiteren technischen und wissenschaftlichen Details und Erfolgsaussichten des IoL-Projektes sind im Erfolgskontrollbericht (Absatz III) nachzulesen.

II.5 Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Nach der im Vorfeld durchgeführten Literatur- und Patentrecherche wurde davon ausgegangen, dass keine bereits veröffentlichten Projekte oder Patente für das Projekt von Relevanz waren. Durch den Besuch von nationalen und internationalen Fachkonferenzen wurden im Vorfeld und projektbegleitend alle wichtigen Entwicklungen der Sensorentwicklung zur Erfassung von tierindividuellen Parametern und der Lokalisation von Tieren verfolgt. Dabei wurden keine Neuerungen eruiert, welche die Projektergebnisse in Frage stellen könnten. Der

vom IoL-Konsortium verfolgte Lösungsansatz wurde von anderen Teams nicht äquivalent bearbeitet.

II.6 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses

II.6.1 Erfolgte Veröffentlichungen und Tagungsbeiträge

dauerhaft: Internetauftritt auf der LfULG-eigenen Website unter der Rubrik „Forschung“

- dauerhaft: Fachposter im Laufstall des LVG Köllitsch zur Information für Auszubildende, Fachpraktiker und Interessierte sowie in der Landwirtschaftsschule
- 26.05.2021 Präsentation des Projektes innerhalb des Vernetzungs- und Transferprojektes der BLE „Digitalisierung in der Nutztierhaltung“ (Eura-DigiTier)
- 31.08.2021 Fachposter zur Präsentation des Projektes „IoL“ beim Praxistag Milchviehhaltung des Projektes „Digi-Milch“ im Bildungszentrum Triesdorf durch LfULG
- 29.09.2021 / 30.09.2021 Teilnahme und Präsentation des Projekts bei der Auftaktveranstaltung der DigiTier in Berlin durch HSNB
- 06.12.2021 Projektvorstellung gegenüber Fachschullehrern und Fachberatern des LfULG
- 08.07.2022 Lange Nacht der Wissenschaft 2022 in Dresden: Präsentation des IoL-Projektes zu den Aspekten Tierwohl, ressourcenschonende und nachhaltige Milchviehhaltung durch das LfULG
- 28.09.2022 Vorstellung des IoL-Projektes bei der Regionalkonferenz zum Thema Digitalisierung in der Tierhaltung in Memmendorf (Sachsen) durch das LfULG
- 10.08.2023 Podcast „DigiTier“: Projektvorstellung IoL (DigiTier 2023)
- 06.09.2023 Vorstellung des IoL-Projektes im Rahmen des DigiTier Podcasts Folge 4 „Vernetzung von digitalen Systemen und Daten in der Nutztierhaltung“
- 06.11.2023 DigiTier Newsletter „Aktuelle Ergebnisse aus dem Verbundprojekt IoL“
- 29.11.2023 Workshop mit Digi-Milch im LVG Köllitsch zur Digitalisierung in der Milchviehhaltung

II.6.2 Geplante Veröffentlichungen

- Technical Note – A new sensor to assess animal welfare and animal individual climate conditions in dairy cows”, (Sensors-MDPI)
- Ortungssystem vs. Beobachtung – Analyse Genauigkeit (Applied Animal Behaviour)
- Mikro-Makroklima am Tier (Journal of Dairy Research)

- Energieharvesting Nubix Suitability of different Energy Harvesting methods for an animal welfare assessment sensor"; (LANDTECHNIK)
- Einreichung von Abstracts zur AgEng Tagung und zur European Conference of Precision Livestock Farming ist erfolgt und erfolgreich angenommen (Langfassung zur Publikation in Erarbeitung)

II.6.3 Studentische Graduierungsarbeiten

- Wetzlaugk, Sabrina (2024): „Auswirkungen klimatischer Veränderungen auf den Aufenthaltsort und das Aktivitätsverhalten laktierender Milchkühe im Stall“
- Eismann, Viktoria (2023): Analyse der Unterschiede zwischen Mikro- und Makroklima in Bezug auf Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Temperatur-Feuchtigkeits-Index in einem sächsischen Milchviehstall

II.6.4 Messeteilnahmen

- Projektvorstellung mittels Poster bei der Agra auf der Aktionsfläche „Tierwohl“ in Leipzig durch die LfULG (21.04.2022 -24.04.2022)
- Agritechnica Vorstellung in Kooperation mit eurA AG DigiTier sowie Gemeinschaftsstand der Hochschulen (09.-15.11.2023)
- Geplant: Vorstellung Projektergebnisse bei der Mitteldeutschen Landwirtschaftsmesse Agra in Leipzig (11.04.2024-14.04.2024)

II.6.5 Gebrauchsmuster, Patente

Im Projektvorhaben wurde die beim Deutschen Marken- und Patentamt (DPMA) eingetragene Wortmarke NECKTAG® in Bezug zur Verwendung der neuartigen, intelligenten Transpondertechnologie verwendet. Der Inhaber dieser Wortmarke ist die Schneider Elektronik GmbH & Co.KG. Des Weiteren sind im Rahmen der Erstellung des Pflichtenheftes keine mit dem Projekt in Konflikt stehenden Schutzrechte bekannt geworden.

Abkürzungsverzeichnis

3D	3-Dimensional
AP	Arbeitspaket
BLE 5.1	Bluetooth 5.1 Technologie
DLG	Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft
DPMA	Deutsches Marken- und Patentamt
FMIS	Farm Management Information System
FT	Futtertisch
HSNB	Hochschule Neubrandenburg
IoL	Internet of Livestock
KTBL	Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.
LBA	Liegeboxenreihe Außen
LBM	Liegeboxenreihe Mitte
LfULG	Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
LGF	Laufgang Futtertisch
LGLB	Laufgang zwischen Liegeboxenreihen
LVG	Lehr- und Versuchsgut
NU	nubix Software Design GmbH
RF	Radio Frequency
RFEH	Radio Frequency Energy Harvesting
SE	Schneider Elektronik GmbH & Co. KG
TVOC	Total volatile organic compounds
WGM	Wissenschaftliche Gesellschaft Milcherzeugerberater e.V.

Literaturverzeichnis

- Benz, B. (2023): Tierwohlstall: Stallklima intelligent steuern. Hg. v. agrarheute. Online verfügbar unter <https://www.agrarheute.com/tier/rind/tierwohlstall-stallklima-intelligent-steuern-596407>, zuletzt geprüft am 24.10.2023.
- Deutscher Wetterdienst (Hg.) (2014): Wie stelle ich mein Barometer richtig ein? Online verfügbar unter https://www.dwd.de/DE/wetter/thema_des_tages/2014/11/21.html, zuletzt geprüft am 24.10.2023.
- DigiTier (2023): Podcast: Vernetzung von digitalen Systemen und Daten in der Nutztierhaltung (4), 12.09.2023. Online verfügbar unter <https://www.digitier.de/podcast>, zuletzt geprüft am 05.02.2024.
- Mohr, U. (2031): Milchviehstall 4.0. Aktueller Stand, zukünftige Möglichkeiten und Herausforderungen. Brennpunkt Wiederkäuer. HAFL. Zollikofen, 13.04.2031.
- Schweizer Eidgenossenschaft (Hg.) (2009): Stallklimawert und ihre Messung in Rinderhaltungen. *Fachinformation Tierschutz* (1).
- Stachowicz, J.; Umstätter, C. (2020): A Re-Evaluation of the Impact of Temperature Humidity Index (THI) and Übersicht über kommerziell verfügbare digitale Systeme in der Nutztierhaltung. Hg. v. Schweizer Eidgenossenschaft (294).
- Thom, E. C. (1959): The Discomfort Index. In: *Weatherwise* 12 (2), S. 57–61.
- Zahner, J. (2018): Hitzestress im Milchviehstall – Auswirkungen auf die Kuh. Hg. v. Bayrische Landesanstalt für Landwirtschaft. Institut für Landtechnik und Tierhaltung.
- Zimbelmann, R. B.; Rhoad, R. P.; Rhoads, M. L.; Duff, G. C.; Baumgard, L. H.; Collier, R. J. (2009): A Re-Evaluation of the Impact of Temperature Humidity Index (THI) and Black Globe Humidity Index (BGHI) on Milk Production in High Producing A Re-Evaluation of the Impact of Temperature Humidity Index (THI) and Black Globe Humidity Index (BGHI) on Milk Production in High Producing Dairy Cows. Southwest Nutrition and Management Conference. Savoy, Illinois, 2009.
- Zimbelmann, R. B.; Rhoad, R. P.; Rhoads, M. L.; Duff, G. C.; Baumgard, L. H.; Collier, R. J. (2009): A Re-Evaluation of the Impact of Temperature Humidity Index (THI) and Black Globe Humidity Index (BGHI) on Milk Production in High Producing A Re-Evaluation of the Impact of Temperature Humidity Index (THI) and Black Globe Humidity Index (BGHI) on Milk Production in High Producing Dairy Cows. Southwest Nutrition and Management Conference. Savoy, Illinois, 2009.