

Abschlussbericht

**Internet of Livestock (IoL) – Technologietransformation aus der Industrie 4.0 in
die Nutztierhaltung durch kleinteilige Vernetzung neuer intelligenter Sensorik
und Aktorik am Tier**

Gefördert durch:



**Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft**



Projektträger Bundesanstalt
für Landwirtschaft und Ernährung

**aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages**

Projektträger: Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung

Projektlaufzeit: 15.03.2021 - 14.05.2023, kostenneutrale Verlängerung bis 14.11.2023

Zuwendungsempfänger: Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

Förderkennzeichen: 281C208C19

Teilnehmer des Verbundprojektes:

Schneider Elektronik GmbH & Co.KG (SE)

nubix Software-Design GmbH (NU)

Hochschule Neubrandenburg (HSNB)

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG)



Hochschule Neubrandenburg
University of Applied Sciences



LANDESAMT FÜR UMWELT,
LANDWIRTSCHAFT
UND GEOLOGIE



Abschlussbericht zum „IoL“-Projekt

Zuwendungsempfänger:	Förderkennzeichen:
Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG)	281C208C19
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: Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
Projektleitung: Doreen Nitsche
 Am Park 3
 04886 Köllitsch

Tel.: 034222 46 2104
Fax.: 034222 46 2099
E-Mail: doreen.nitsche@smekul.sachsen.de

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	II
Abbildungsverzeichnis.....	IV
Tabellenverzeichnis.....	VI
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.....	6
II Eingehende Darstellung.....	7
II.1 Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisdarstellung (insbesondere im Vergleich zur ursprünglichen Vorhabensbeschreibung)	7
II.1.1 Arbeitspaket 1: Pflichtenheft und Konzeptionierung	7
II.1.2 Arbeitspaket 11: Experimentelle Erprobung (HSNB und LfULG).....	7
II.1.2.1 Einrichtung der Versuchsbasis	8
II.1.2.2 Referenzmessungen.....	10
II.1.2.3 Luftdruckversuche zur Erkennung des Steh- und Liegeverhaltens der Kuh über die Luftdruckänderung	15
II.1.2.4 IoL-Ortungssystem.....	17
II.1.2.5 Tests zur Beschreibung von Mikro- und Makroklima um das Tier	26
II.1.2.6 Tests zur Beschreibung der Luftgüte	26
II.1.2.7 Tests zum Energy Harvesting (AP2) durch NU.....	29
II.1.3 Gegenüberstellung mit vorgegebenen Zielen.....	30

II.2	Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	31
II.3	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeit	31
II.4	Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses.....	31
II.5	Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen.....	32
II.6	Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses	32
II.6.1	Erfolgte Veröffentlichungen und Tagungsbeiträge.....	32
II.6.2	Geplante Veröffentlichungen	33
II.6.3	Studentische Graduierungsarbeiten.....	33
II.6.4	Messeteilnahmen/Konferenzen	33
II.6.5	Gebrauchsmuster, Patente.....	34
III	Erfolgskontrollbericht	34
III.1	Wissenschaftlich-technisches Ergebnis des Vorhabens, erreichte Nebenergebnisse und gesammelte wesentliche Erfahrungen	34
III.2	Fortschreibung des Verwertungsplans.....	34
III.2.1	Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen und erteilte Schutzrechte, die vom Zuwendungsempfänger oder von am Vorhaben Beteiligten gemacht oder in Anspruch genommen wurden, sowie deren standortbezogene Verwertung (Lizenzen u. a.) und erkennbare weitere Verwertungsmöglichkeiten.....	34
III.2.2	Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende (mit Zeithorizont) – z.B. auch funktionale/wirtschaftliche Vorteile gegenüber Konkurrenzlösungen, Nutzen für verschiedene Anwendergruppen/-industrien am Standort Deutschland, Umsetzungs- und Transferstrategien;.....	34
III.2.3	Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende (mit Zeithorizont) – u. a. wie die geplanten Ergebnisse in anderer Weise (z. B. für öffentliche Aufgaben, Datenbanken, Netzwerke, Transferstellen etc.) genutzt werden können. Dabei ist auch eine etwaige Zusammenarbeit mit anderen Einrichtungen, Firmen, Netzwerken, Forschungsstellen etc. darzustellen;.....	35
III.2.4	Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit für eine mögliche notwendige nächste Phase bzw. die nächsten innovatorischen Schritte zur erfolgreichen Umsetzung der Ergebnisse.....	38
III.3	Angaben zu Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben.....	38
III.4	Angaben über die Einhaltung der Ausgaben- und der Zeitplanung	42

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	43
Literaturverzeichnis.....	44

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: Liegeboxenlaufstall zur Erprobung des Multisensors im LVG Köllitsch	8
Abbildung 3: A- Desktop-Ansicht des Host-Computers, B- NECKTAG® Multisensoren.....	9
Abbildung 4: links Anbringung der NECKTAG® Multisensoren im Stall auf 1,34 m Höhe als Referenz und rechts Anbringung am Halsband einer Kuh	9
Abbildung 5: Tinytag Ultra 2 zur Referenzmessung der Temperatur (°C) und der rel. Luftfeuchtigkeit (%).....	10
Abbildung 6: Verlauf der Temperaturmessergebnisse der Tinytags und der drei NECKTAG® Multisensoren.....	11
Abbildung 7: Verlauf der Messergebnisse der rel. Luftfeuchte (%) der Tinytags und der NECKTAG® Multisensoren.....	12
Abbildung 8: Verlauf der Messergebnisse der rel. Luftfeuchte (%) der Tinytags und der NECKTAG® Multisensoren nach Entfernung des Vlies und Öffnung des Gehäuses.....	13
Abbildung 9: Versuchsaufbau für den statischen Test zur Ermittlung des Höhenunterschieds über die Luftdruckänderung	15
Abbildung 10: Boxplots zum statischen Luftdruckversuch im Milchviehstall.....	16
Abbildung 11: links IceQube (Pedometer) und rechts IceQube am Bein der Kuh.....	18
Abbildung 12: Versuchsaufbau zur Überprüfung der Ortungsfunktion der NECKTAG® Multisensoren in der Turnhalle des LVG Köllitsch bestehend aus einem 6 m x 9 m großen Raster (rot eingezeichnet), vier Antennen (je eine pro Eckpunkt)	19
Abbildung 13: Darstellung der gemessenen Ortungswerte unter der Berücksichtigung von einer Abweichung von 1 m. Je grüner der Quadrant, desto mehr Werte wurden richtig erfasst, je roter, desto weniger	19
Abbildung 14: links-Antenne A1 vor der Installation, mitte- installierte Bluetooth-Antenne und rechts weiterentwickelte NECKTAG® Multisensoren	20
Abbildung 15: Querschnitt Laufstall mit den fünf Antennen des IoL-Projektes.....	20
Abbildung 16: Lokalisationsraster in Gruppe 12 des Liegeboxenlaufstalls des LVG Köllitsch	21
Abbildung 17: Messpunkte im Stallbereich der Gruppe 12 unter Abdeckung des IoL-Antennenarrays (rot-Antenne, blau-Referenzsensoren, grün-NECKTAG®Multisensoren)...	21
Abbildung 18: Vergleich NECKTAG® Multisensor in 1,45 m und 0,45 m Höhe über Stallboden	22
Abbildung 19: Abweichungen der gemessenen Positionen und deren Messpunkt je nach Antennenansprache.....	23

Abbildung 20: Dynamischer Ortungstest beispielhaft vom 04.01.2023 09:44 bis 09:46 Uhr.	24
Abbildung 21: Dynamischer Ortungstest beispielhaft vom 10.08.2023 07:56 bis 07:58 Uhr.	24
Abbildung 22: Temperaturverlauf des Synchronisationstests vom 07.08.2023	25
Abbildung 23: Demonstrator der 4. Generation mit Luftgütesensor und linksseitig angebrachten Luftfilter	27
Abbildung 24: Box-Plots zur Beschreibung der Luftgüte einer Silageumgebung	28
Abbildung 25: links Peltier-Element und rechts Solarelement für das Energy-Harvesting....	29
Abbildung 26: Necktag Generation 1 bis 4 (von links nach rechts)	39
Abbildung 27: Zerstörter Luftgütesensor im Funktionsmuster der vierten Generation links und rechts deformierter Bügel durch Gewalteinfluss der Tiere	40
Abbildung 28: Korrekter Sitz des Halsbandes mit dem Necktag (Abb. links); unkorrekter r Sitz (Abb. Rechts)	40

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: 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))	14
Tabelle 2: Messungen des Luftdrucks [hPa] in verschiedenen Höhen	16
Tabelle 3: Höhenunterschiede und Luftdruckdifferenzen in Gegenüberstellung mit dem entsprechenden SOLL-Wert (markierte Zellen zeigen starke Abweichung).....	17
Tabelle 4: Beschreibende Statistik zur Luftgüte in einer Silageumgebung	28

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 (HSNB), 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 sowie Sensorik chemischer und biologischer Kenngrößen.

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

Die Teilaufgaben der 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.1.3 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, Farmmanagement- und Informationssysteme (FMIS) mit der 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 2021).

Während sich Sensoren zur Erfassung von Gesundheitsparameter wie Aktivität, Fresszeit und Wiederkauen in der Praxis gefestigt haben, so spielt die Kombination mit Umweltparametern eine untergeordnete Rolle. Für die Steuerung von Curtains, Firstöffnungen, 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.

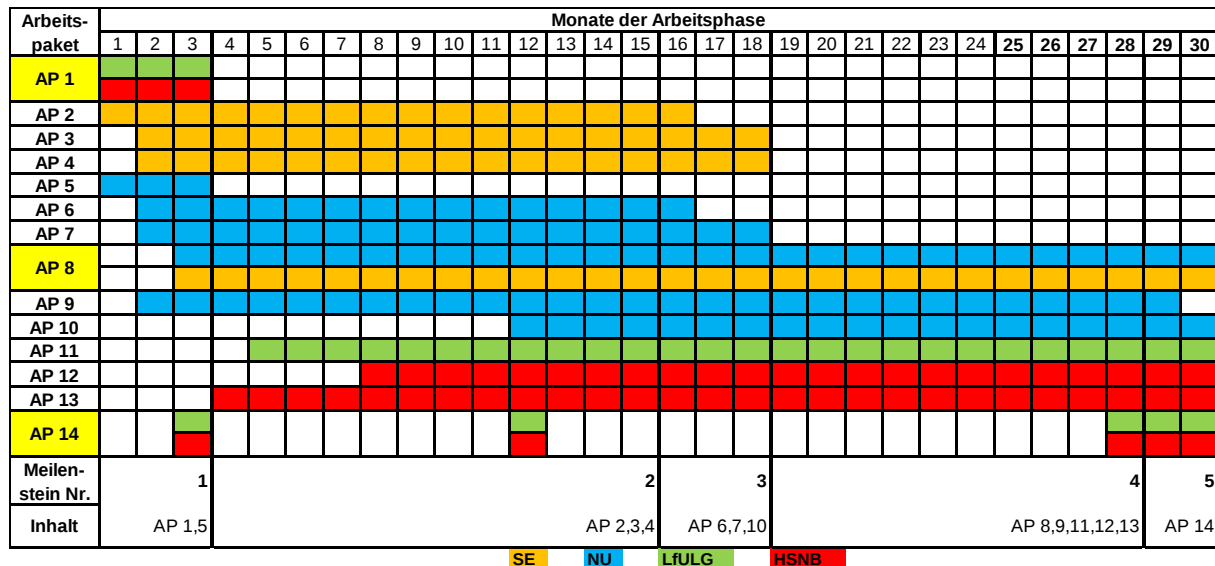


Abbildung 1: Arbeitspakete und Meilensteine des Vorhabens und die zeitliche Planung der Durchführung (Farben kennzeichnen den Federführenden; gelbe Markierung zeigt gemeinschaftliche AP auf)

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-Computer 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 Energy 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 das Radiofrequenz-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 Kooperationspartnern des Projektes. Weitere Unternehmen oder Auftragnehmer waren nicht in das Projekt involviert.

II Eingehende Darstellung

II.1 Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisdarstellung (insbesondere im Vergleich zur ursprünglichen Vorhabensbeschreibung)

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

Darstellung der Teilergebnisse:

II.1.1 Arbeitspaket 1: Pflichtenheft und Konzeptionierung

Die Erstellung des Pflichtenheftes erfolgte unter der Federführung durch die HSNB und das LfULG. Die Absprache und Festlegung der Parameter erfolgte mit allen Projektpartnern im zweiwöchigen Rhythmus in den Projektmeetings. Zum „Kick-off-Meeting“ des Projektes am 27.09.2021 mit allen Projektpartnern am Standort Köllitsch wurde das Pflichtenheft termingerecht zur Einreichung bei der BLE bestätigt. Das Pflichtenheft diente der Festlegung der Vorgehensweise im Projekt und enthielt neben den Projektzielen auch die Fixierung der Produktspezifikation und der Parameterdefinitionen. Während der Erstellung des Pflichtenheftes wurde auch der Öffentlichkeitsauftritt des Projektes begonnen und während der Laufzeit des Projektes aktualisiert. Der Öffentlichkeitsauftritt schloss die Erstellung eines Fachposters für den Milchviehstall des Lehr- und Versuchsgutes des LfULG, den Internetauftritt des Projektes „IoL“ auf der Homepage des LfULG und die Erstellung der Projektkarte für die Vernetzungs- und Transfermaßnahme „DigiTier“ der EurA AG ein.

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 Erprobung des Funktionsmusters des NECKTAG® Multisensors und des IoL-Systems unter landwirtschaftlichen Produktionsbedingungen der Milchviehhaltung im Fokus. Dafür bildete der 1998 erbaute Liegeboxenlaufstall mit den Abmaßen 46x25 m für 120 Milchkühe des LfULG, die Erprobungsbasis. (Abbildung 2)



Abbildung 2: Liegeboxenlaufstall zur Erprobung des Multisensors im LVG Köllitsch

Der Liegeboxenlaufstall mit Spaltenboden ist in vier Leistungsgruppen und eine Wellnessgruppe räumlich aufgeteilt. Die Liegeboxen sind mit Gummimatten ausgestattet. Sie werden täglich gereinigt und mit einem Sägespäne-Kalk-Gemisch eingestreut. Direkt unter dem mit Gummimatten ausgelegten Spaltenboden befindet sich der Güllekanal, in den die Ausscheidungen der Tiere mehrmals täglich in vorgegebener Routenführung von einem Spaltenroboter geschoben werden. Die Wandseiten des Stalls sind offen und können, je nach Wetterlage, durch Wetterschutznetze, sogenannte Curtains, geöffnet bzw. geschlossen werden. Die Giebelseiten sind in Dachstuhlhöhe mit Space boards aus Holz versehen. Dabei sind die Zwischenräume zur Licht- und Luftdurchlässigkeit auf 28 mm ausgelegt.

II.1.2.1 Einrichtung der Versuchsbasis

Die Einrichtung der Versuchsbasis im LVG Köllitsch erfolgte zu Beginn des Projektes, am 27.09.2021 mit der Installation eines Host-Computers und eines Antennensystems mit drei Multisensoren (Abbildung 3). Die Multisensoren enthielten einen Bosch BME680 Sensor mit integrierten Beschleunigungssensor zur kontinuierlichen Messung der Parameter: Temperatur (°C), Beleuchtungsstärke (Lux), rel. Luftfeuchtigkeit (%) und Luftdruck (mbar bzw. hPa). Die

Eingehende Darstellung

Energieversorgung erfolgte mittels einer CR2032 Batterie, dessen Kapazität stetig am Host-Computer ablesbar und darstellbar war.

Eine passwortgeschützte, interne Datenbank ermöglichte den Abruf der gespeicherten Daten zu jeder Zeit und an jedem Ort über den TeamViewer (Microsoft Corporation, USA) oder mittels AnyDesk (AnyDesk Software GmbH, Deutschland).

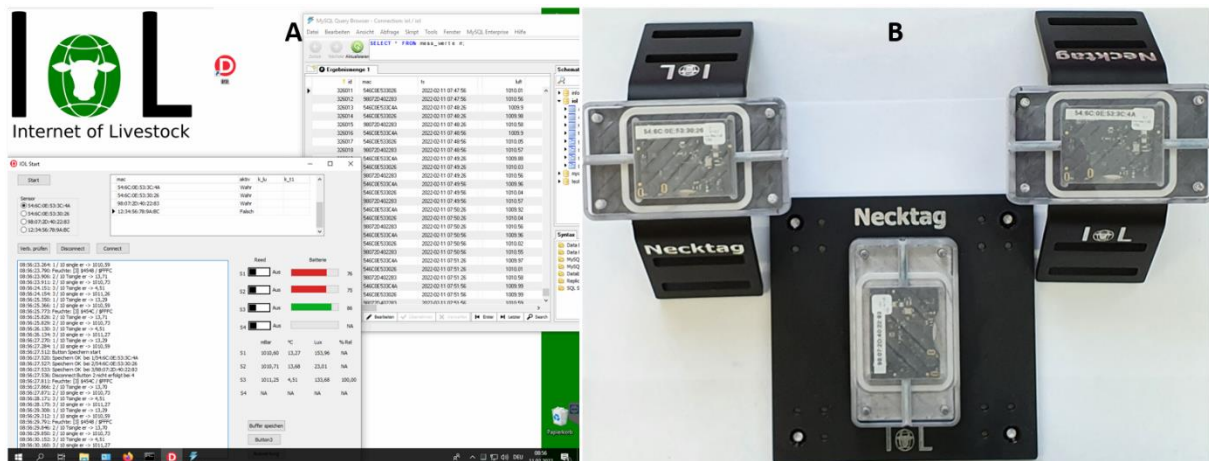


Abbildung 3: A- Desktop-Ansicht des Host-Computers, B- NECKTAG® Multisensoren

Ein NECKTAG® Multisensor wurde als Referenzsensor an einer definierten Position des Laufstalles in einer Höhe von 1,34 m über dem Spaltenboden fixiert (Abbildung 4). Die Anbringung der anderen beiden NECKTAG® Multisensoren mit Metallbügel erfolgte am Halsband von zwei ausgewählten Kühen (Abbildung 4).

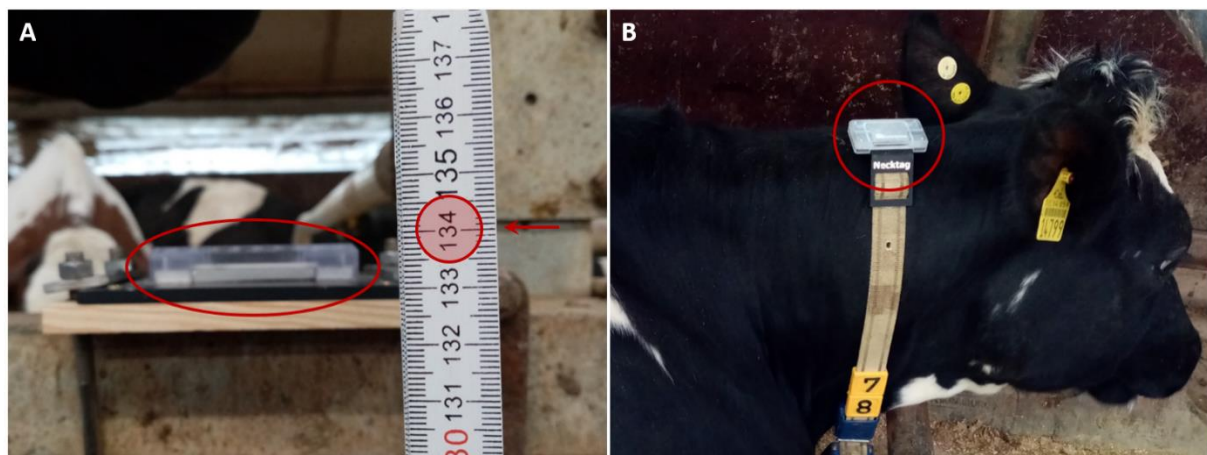


Abbildung 4: links Anbringung der NECKTAG® Multisensoren im Stall auf 1,34 m Höhe als Referenz und rechts Anbringung am Halsband einer Kuh

Erste generelle Funktionstests der einzelnen Sensorkomponenten zur Erfassung der Parameter Temperatur und rel. Luftfeuchtigkeit, sowohl statisch als auch unter Praxisbedingungen an den Halsbändern ausgewählter Tiere, dienten der schnellen und frühzeitigen Behebung von Fehlern. Diese Funktionstests umfassten Messungenauigkeiten und Lücken in der Datenübertragung, woraus die Eliminierung von Störquellen und die Anpassung der Software des Host-Computers resultierte. Aus den Funktionstests konnte die optimale Übertragungsrateder Daten zum Host-Computer auf 30 Sekunden via Bluetooth Low Energy 5.1 (BLE 5.1) im Dauerbetrieb der NECKTAG® Multisensoren bestimmt werden. Zudem konnte festgestellt werden, dass einige Sensorkomponenten, wie der Sensor zur Bestimmung der rel. Luftfeuchte, bei einem Batterieladezustand von weniger als 66 % keine Daten überträgt, so dass ein 14-tägiger Turnus für den Batteriewechsel festgelegt wurde. Weiterhin war die Schutzwirkung und die Robustheit des Gehäuses der NECKTAG® Multisensoren unter Einsatzbedingungen im Milchviehstall Teil der Überprüfung des Systems zur Datenaufnahme und Lokalisation.

II.1.2.2 Referenzmessungen

Zur Überprüfung der Messgenauigkeit der NECKTAG® Multisensoren und der Datenübertragung im gesamten System, wurden statische Tests durchgeführt. Dafür wurden die drei NECKTAG® Multisensoren zusammen mit dem Tinytag Ultra 2 (Gemini Data Loggers Ltd, England) als validiertes Referenzsystem in ein abgeschlossenes Gefäß gelegt und die Messintervalle aufeinander abgestimmt.

Zur Durchführung der Referenzmessungen speziell für die Parameter Temperatur und rel. Luftfeuchtigkeit kam wie bei der Einrichtung der Versuchsbasis der Tinytag Ultra 2 (Gemini Data Loggers Ltd, England) (Abbildung 5) zum Einsatz.

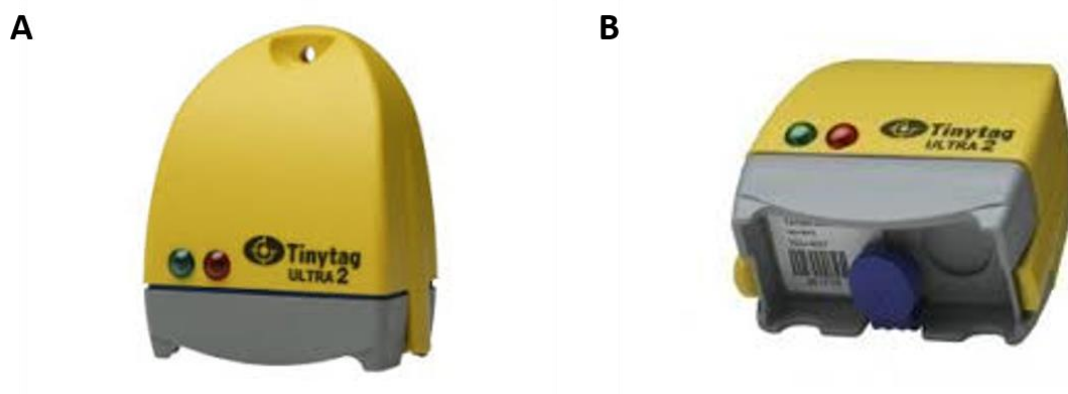


Abbildung 5: Tinytag Ultra 2 zur Referenzmessung der Temperatur (°C) und der rel. Luftfeuchtigkeit (%)

Temperatur (°C)

Nach ersten Testläufen gaben die NECKTAG® Multisensoren die Messwerte ohne Kommastellen aus und es kam zu großen Ausfallzeiten. Anpassungen an der Sensorik durch

den Kooperationspartner SE wurden entsprechend durchgeführt, sodass weitere Testläufe erfolgten. Nach der Überprüfung der Sensoren in einem Behältnis zur Abschirmung von äußeren Einflüssen, betrug die Abweichung zwischen den einzelnen NECKTAG® Multisensoren konstant im Mittel 0,7K und zu den Tinytags 1,5K (Abbildung 6).

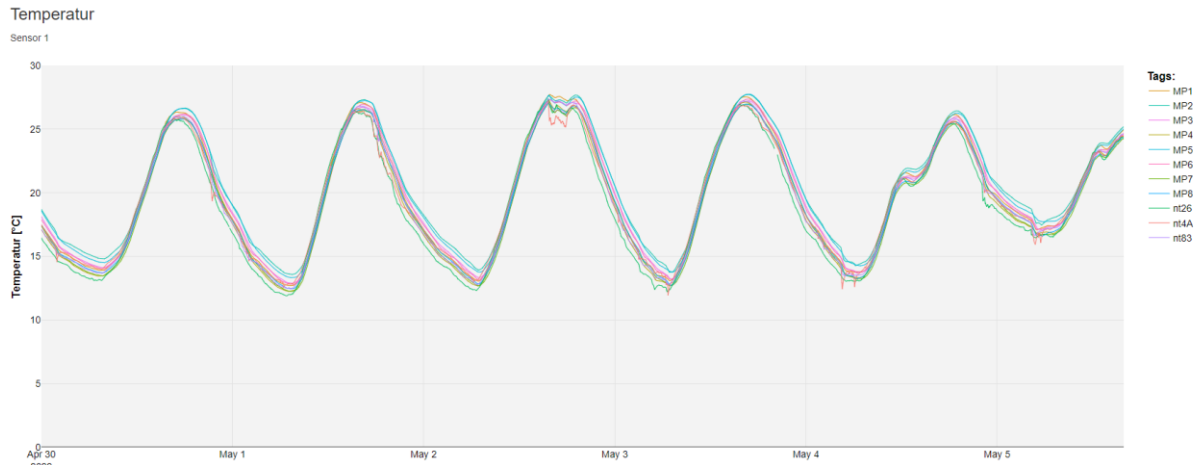


Abbildung 6: Verlauf der Temperaturmessergebnisse der Tinytags und der drei NECKTAG® Multisensoren

rel. Luftfeuchte (%)

Die Ergebnisse der Messungen der rel. Luftfeuchte durch die NECKTAG® Multisensoren zeigten zunächst Differenzen zu den aufgestellten Referenzmessungen mittels Tinytags auf. Bei der Auswertung der rel. Luftfeuchtigkeit zeigte sich eine Abweichung zwischen 20-25%, wobei die gemessene Luftfeuchtigkeit der NECKTAG® Multisensoren konstant zu hoch war und die Änderungen stark zeitverzögert und schwächer in den Ausschlägen auftraten (Abbildung 7).

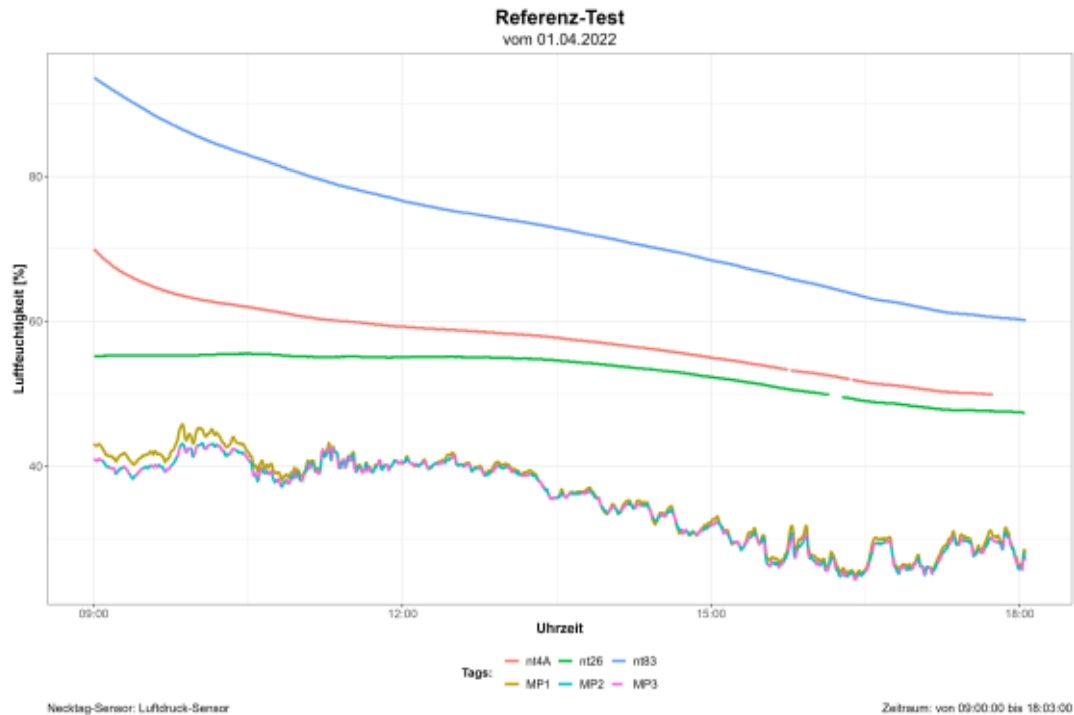


Abbildung 7: Verlauf der Messergebnisse der rel. Luftfeuchte (%) der Tinytags und der NECKTAG® Multisensoren

Das Gehäuse der NECKTAG® Multisensoren hat einen großen Einfluss auf die Luftzirkulation. Dadurch kam es zu erhöhten Werten der NECKTAG® Multisensoren 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 NECKTAG® Multisensor 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 den Gehäusen entfernt und zusätzliche Lochbohrungen am Gehäusedeckel vorgenommen wurden, konnte eine bessere Luftzirkulation und damit der verbundene Abtransport von Feuchtigkeit aus dem Sensor erfolgen. Daraufhin wurde eine konstante Abweichung der Werte der NECKTAG® Multisensoren gegenüber der Referenzmethode detektiert (Abbildung 8), sodass eine rechnerische Korrektur möglich war. Die aus diesen Untersuchungen gewonnenen Erkenntnisse führten zu einer Anpassung des Gehäuses der NECKTAG® Multisensoren.

Necktags vs. Tinytags

Luftfeuchtigkeit

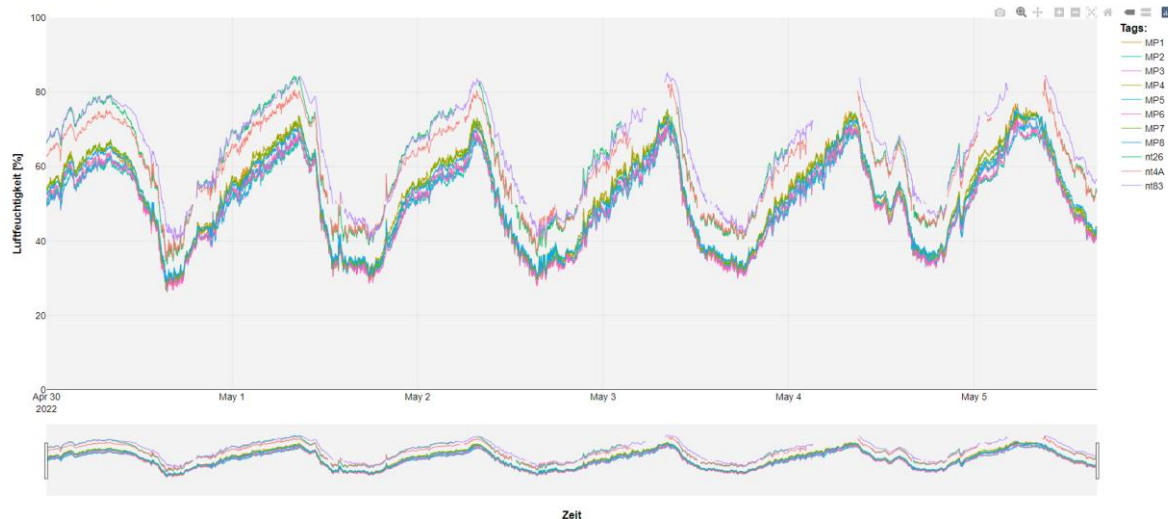


Abbildung 8: Verlauf der Messergebnisse der rel. Luftfeuchte (%) der Tinytags und der NECKTAG® Multisensoren nach Entfernung des Vlies und Öffnung des Gehäuses

Auch der Vergleichstest der NECKTAG® Multisensoren späterer Entwicklungsschritte bis zum Projektende hinsichtlich der Sensorparameter Temperatur, rel. Luftfeuchte und THI mündete in dem Gleichklang der Testparameter, sodass für die wissenschaftliche Auswertung die Daten aus allen Funktionsmustern ermöglicht wurde.

Temperatur-Feuchtigkeits-Index (THI)

Der Temperatur-Feuchtigkeits-Index (THI) ist ein wichtiger Indikator zur Bestimmung von Hitzestress bei Milchkühen (Zahner 2018). Aus den vom NECKTAG® Multisensor ermittelten Werten für die Parameter Temperatur (°C) und rel. Luftfeuchte (%) wurde der THI nach Zimbelmann et al. (2009) wie folgt berechnet, um das Tierwohl der Milchkühe zu bestimmen:

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

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

In nachstehender Tabelle 1 und Tabelle 2 werden nach Zahner (2018) das Hitzestresslevel von Milchkühen in Abhängigkeit des THI dargestellt. Wobei die Grünfärbung kein Hitzestress repräsentiert und vom (dunkel-) roten Bereich starker Hitzestress bis hin zu Lebensgefahr ausgegangen werden muss. Die aus den ermittelten Werten resultierende Einfärbung des Stresszustandes für das Tier wurde in der Datenbank iol.farm zur Visualisierung des Ist-Zustandes eingepflegt.

Tabelle 1: 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	61	61	61	61
	17	61	61	61	61	61	61	61	61	62	62	62	62	62	62	62	63
	18	62	62	62	62	62	62	63	63	63	63	64	64	64	64	64	64
	19	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	68	68
	21	65	65	65	66	66	66	67	67	67	67	68	68	68	69	69	70
	22	66	66	66	67	67	67	68	68	69	69	69	70	70	71	71	72
	23	67	67	67	68	68	69	69	70	70	70	71	71	72	72	73	73
	24	68	68	68	69	69	70	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75
	25	69	69	70	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	77
	26	70	70	71	71	72	72	73	74	74	75	75	76	76	77	78	79
	27	71	71	72	72	73	74	74	75	76	76	77	77	78	79	80	81
	28	72	72	73	74	74	75	76	76	77	78	78	79	80	80	81	82
	29	73	73	74	75	75	76	77	78	78	79	80	81	81	82	83	84
	30	74	74	75	76	77	77	78	79	80	81	81	82	83	84	85	86
	31	75	75	76	77	78	79	80	80	81	82	83	84	84	85	86	87
	32	76	76	77	78	79	80	81	82	83	83	84	85	86	87	88	89
	33	77	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91
	34	78	79	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92
	35	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94
	36	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	94	95	96
	37	81	82	83	84	85	86	87	88	90	91	92	93	94	95	96	97
	38	82	83	84	85	86	87	89	90	91	92	93	95	96	97	98	99

Beleuchtungsstärke (lx)

Ein Luxmeter (Almemo®-Datenlogger der Ahlborn Mess- und Regelungstechnik GmbH, Holzkirchen, Deutschland) kam als Referenzsystem zur Messung der Beleuchtungsstärke zum Einsatz. Dabei wurde überprüft, ob die vom Lichtsensor des NECKTAG® Multisensors gemessenen Daten richtig erfasst wurden. Die Messergebnisse beider Systeme ergaben keine signifikanten Unterschiede, so dass davon ausgegangen werden kann, dass das Gehäuse der NECKTAG® Multisensoren keinen Einfluss auf die Datenerfassung hat und die Lichtöffnungen in ihrer Art und Platzierung so beibehalten werden können. 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.

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

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

1. Statischer Laborversuch (durchgeführt von SE)

In einem vorab durchgeführten Labortest, mit einem beweglichen Roboterarm in einem geschlossenen Raum, stellte der Projektpartner 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 angebracht. Über die unter Laborbedingungen erfassten Luftdruckdaten und deren Änderung konnte erkannt werden, ob sich der Roboterarm in der oberen oder unteren Stellung befand.

2. Statischer Versuch im Milchviehstall des LVG Köllitsch

Um die gewonnenen Luftdruckerkenntnisse des Laborversuches des Projektpartners SE auf die Haltungsumgebung zu übertragen, wurde zunächst ein statischer Versuch im Stall durchgeführt. Hierfür wurden die drei NECKTAG® Multisensoren auf den Boden (0,0 m) bzw. Stativen mit definierten Höhen (0,5 m, und 1,5 m) angebracht (Abbildung 9). Jeweils für 10 Minuten wurden unterschiedliche Höhenkombinationen für die Tags eingestellt.

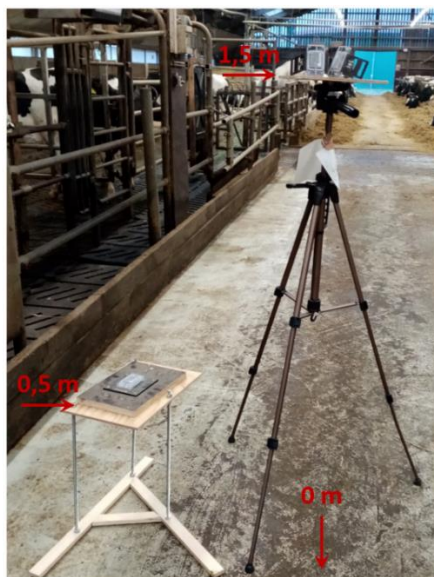


Abbildung 9: Versuchsaufbau für den statischen Test zur Ermittlung des Höhenunterschieds über die Luftdruckänderung

Wie aus der nachfolgenden Abbildung 10 und der Tabelle 2 ersichtlich, konnte im statistischen Versuch die Tendenz der Luftdruckänderung in unterschiedlichen Höhen festgestellt werden. Allerdings unterschieden sich die von den einzelnen NECKTAG® Multisensoren ermittelten Werte für den Luftdruck innerhalb einer Erprobungshöhe und mit zunehmender Höhe fiel der Luftdruck ab.

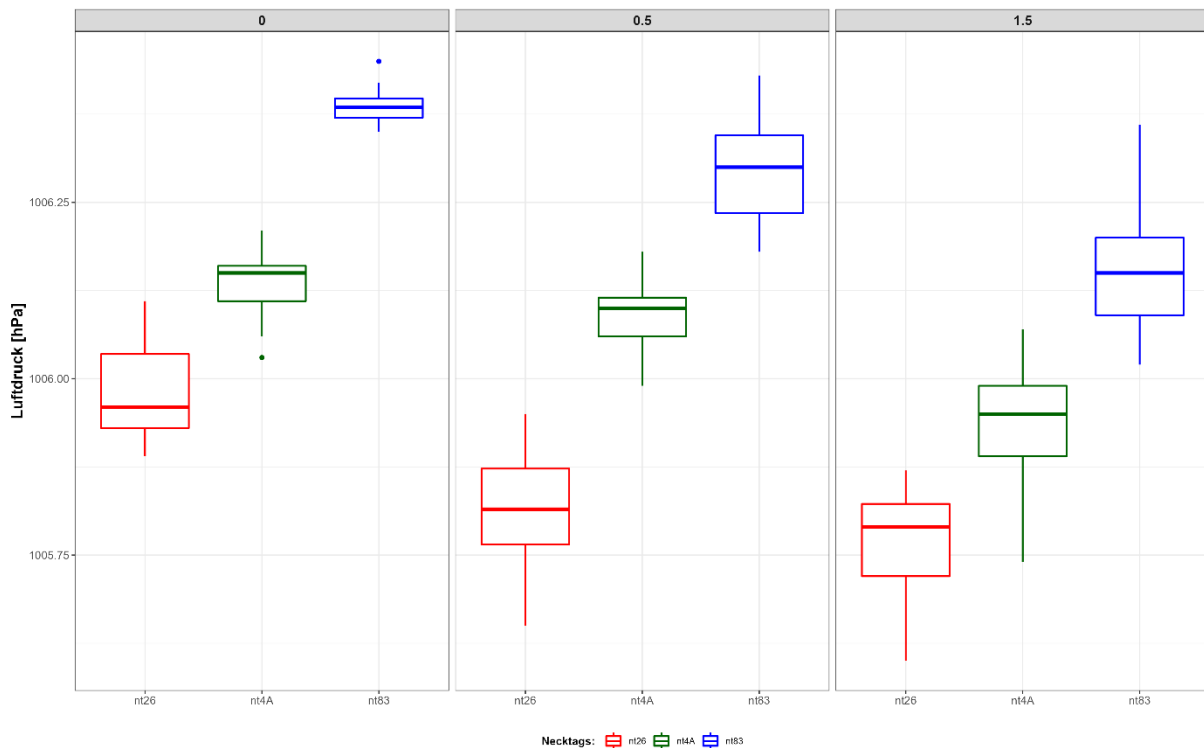


Abbildung 10: Boxplots zum statischen Luftdruckversuch im Milchviehstall

Tabelle 2: 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

Die Tabelle 3 zeigt auf, inwiefern eine Abweichung der erlangten Messwerte zu den erwartenden Soll-Werten vorlag. Es wird angenommen, dass die Ursache für die zum Teil

starken Abweichungen in der Luftzirkulation im Stallgebäude an der Änderung der Wetterlage hin zu einem Hoch- oder Tiefdruckgebiet lag, was unter Laborbedingungen nicht von Relevanz war.

Tabelle 3: 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

3. Dynamischer Luftdruckversuch am Tier

Aufgrund der teils positiven Ergebnisse der statischen Vorversuche folgte die Erprobung der NECKTAG® Multisensoren am Tier unter Anbringung dieser am Halsband der beiden ausgewählten Kühe. Parallel wurden die Tiere beobachtet und die Zeiten der Steh- und Liegeperioden notiert. Der auswertende Vergleich der Luftdruckdaten mit den Beobachtungsdaten erbrachte keine verwertbaren Ergebnisse. Es konnten anhand der aufgezeichneten Daten keine Rückschlüsse auf das aus der Tierbeobachtung resultierende Steh- und Liegeverhalten der Tiere gezogen werden. Die Vorgänge „Hinlegen“ oder „Aufstehen“ konnten somit nicht erkannt bzw. nachgewiesen werden. Ebenso waren die Daten selbst in den 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 für die fehlende Nachweisbarkeit der Zusammenhänge sein. Eine rechnerische Korrektur war nicht möglich. Daher wurde die Untersuchung zu diesem Sachverhalt zurückgestellt.

II.1.2.4 IoL-Ortungssystem

Um für die Erprobung der Ortungsfunktion der NECKTAG® Multisensoren Erkenntnisse aus dem Aktivitäts- und Abliegeverhalten der Kühe zu generieren, kamen die Pedometer IceQubes des Unternehmens Peacock Technology Ltd. ehem. IceRobotics Ltd. aus England zum Einsatz (Abbildung 11). 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 IceQubes alle sieben Tage ausgelesen und im Rahmen einer Graduiertenarbeit (M.Sc.) mit den aktuellen Klimadaten verglichen.



Abbildung 11: links IceQube (Pedometer) und rechts IceQube am Bein der Kuh

Das verwendete IoT-Ortungssystem bestehend aus NECKTAG® Multisensoren 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. Funktionstests des IoT-Ortungssystems

Das Ortungssystem für die NECKTAG® Multisensoren 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 9 m großen Rasterfeldes (Abbildung 12) 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 NECKTAG® Multisensoren wurden jeweils auf einem Stativ befestigt, über welches auch unterschiedliche Messhöhen eingestellt werden konnten.

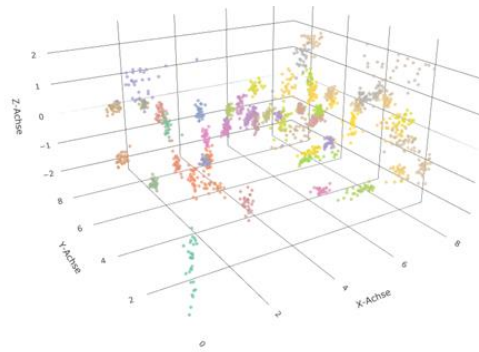


Abbildung 12: Versuchsaufbau zur Überprüfung der Ortungsfunktion der NECKTAG® Multisensoren in der Turnhalle des LVG Köllitsch bestehend aus einem 6 m x 9 m großen Raster (rot eingezeichnet), vier Antennen (je eine pro Eckpunkt)

Jedes der beiden höhenverschiedenen Stative mit dem Ortungssensor CC2650 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 Sensor wurden somit 30 Werte erfasst. Die Versuchsdurchführung erfolgte mit jeweils zwei Höhen pro Sensor (0,79 m vs. 1,29 m bzw. 0,62 m vs. 1,12 m).

Wie in Abbildung 13 dargestellt, lagen fast alle erfassten Werte innerhalb des gewünschten Toleranzbereichs. Ungenauigkeiten kamen vorrangig an den Rändern des Testfeldes vor.

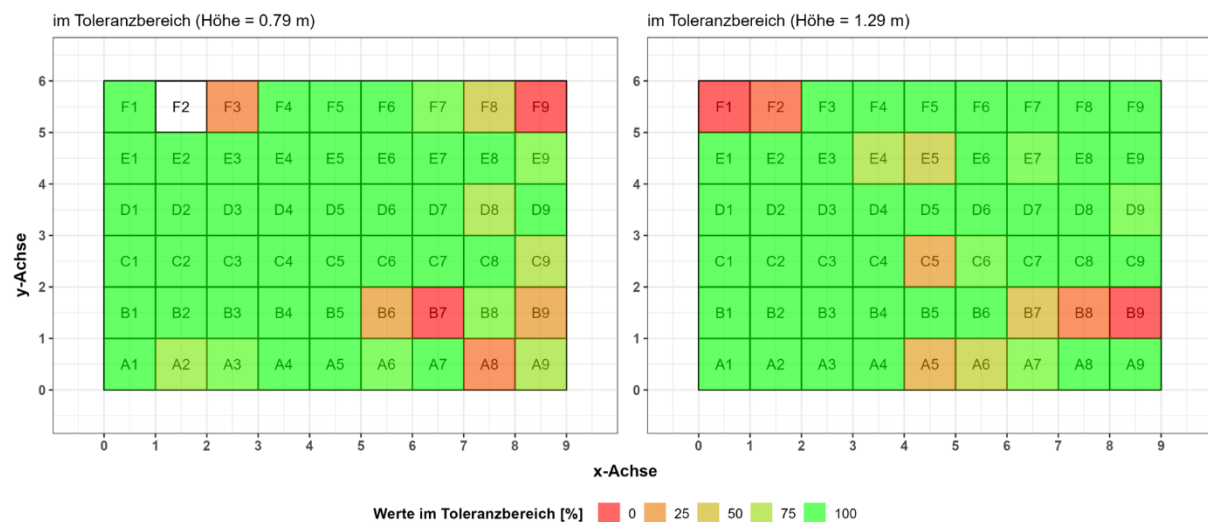


Abbildung 13: Darstellung der gemessenen Ortungswerte unter der Berücksichtigung von einer Abweichung von 1 m. Je grüner der Quadrant, desto mehr Werte wurden richtig erfasst, je roter, desto weniger.

2. Einrichtung des finalen IoL-Systems

Nach erfolgreicher Überprüfung des IoL-Ortungssystems unter den Bedingungen eines geschlossenen Raumes (Turnhalle), wurde das System am 30.11.2022 im Laufstall des LVG fest integriert. Dabei wurde ein Antennen-Array, bestehend aus fünf Antennen in einer Höhe

Eingehende Darstellung

von 4,20 bis 6,22 m Höhe über dem Stallboden (Abbildung 15) installiert und die Weiterentwicklung der batteriebetriebenen NECKTAG® Multisensoren (Abbildung 14) für Kühe in Betrieb genommen.



Abbildung 14: links-Antenne A1 vor der Installation, mitte- installierte Bluetooth-Antenne und rechts weiterentwickelte NECKTAG® Multisensoren

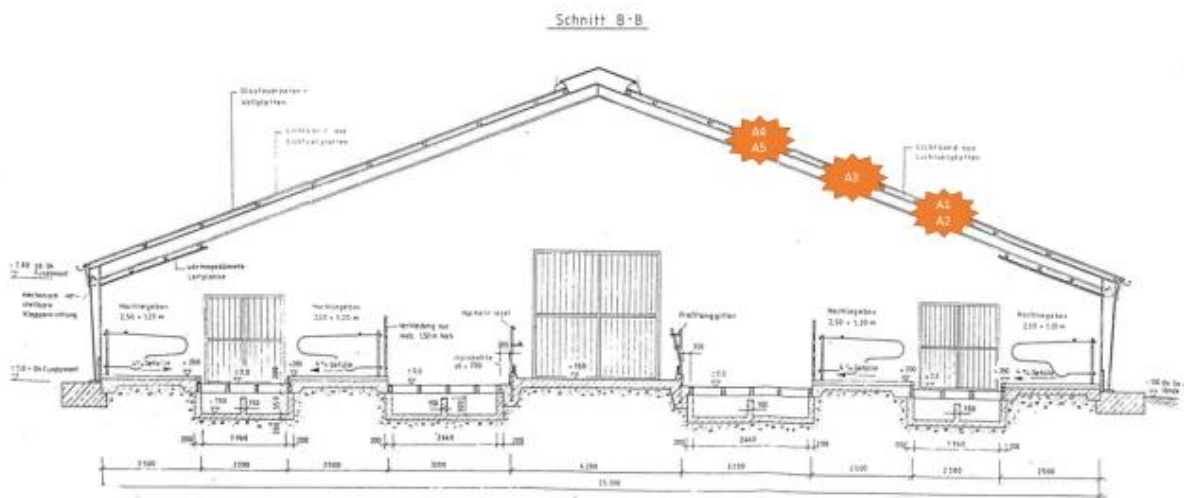
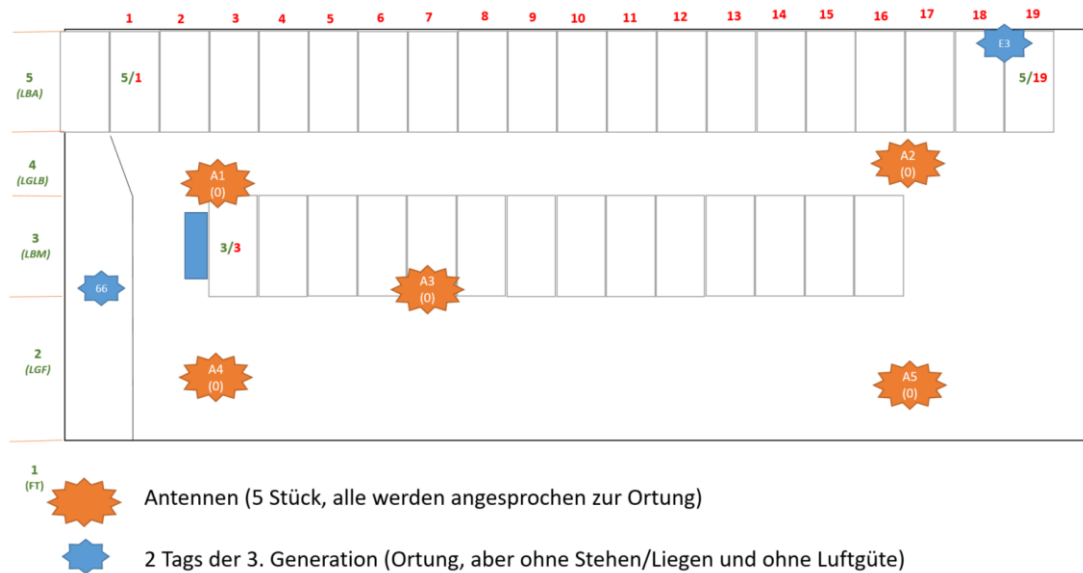


Abbildung 15: Querschnitt Laufstall mit den fünf Antennen des IoL-Projektes

Nach dem in der Abbildung 16 dargestellten Raster wurde die räumliche Einteilung in der Gruppe 12 zur Überprüfung der Ortungsfunktion des IoL-Systems vorgenommen. Dazu wurden jeweils manuell in zwei minütiger Taktung die **Reihe** und die **Spalte** als aktueller Aufenthaltsort der Milchkuh mit einem NECKTAG® Multisensor dokumentiert, wobei auch Aktionen wie Liegen, Stehen, Fressen oder Saufen erfasst wurden.



(LBA= Liegeboxenreihe Außen; LGLB= Laufgang zwischen Liegeboxen; LBM= Liegeboxenreihe Mitte; LGF= Laufgang Futtertisch; FT= Futtertisch)

Abbildung 16: Lokalisationsraster in Gruppe 12 des Liegeboxenlaufstalls des LVG Köllitsch

3. Funktionstests des IoL-Ortungssystems im Laufstall

Um die Funktionsfähigkeit unter denen im Laufstall vorherrschenden Bedingungen zu prüfen, wurden folgende Versuchsanstellungen (Unterpunkt A bis D) durchgeführt.

A. Statischer Test an festgelegten Positionen

Die Überprüfung der Ortungsgenauigkeit der weiterentwickelten NECKTAG® Multisensoren erfolgte an 14 Messpunkten (grün) gleichmäßig verteilt über die gesamte Stallfläche. Die Anordnung der Antennen (rot), der Referenzsensoren (blau) und der Messpunkte (grün) im Stallabteil der Gruppe 12 sind in der Abbildung 17 aufgezeigt.

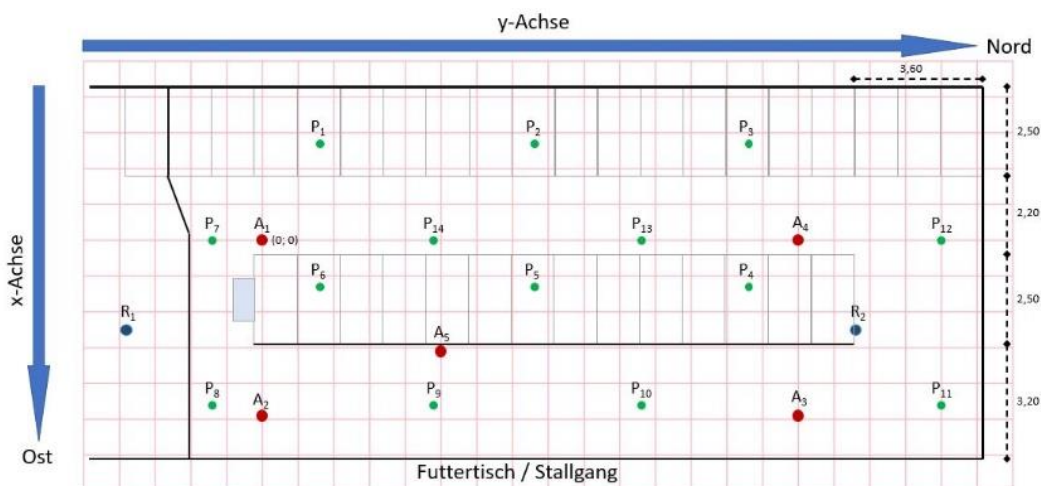


Abbildung 17: Messpunkte im Stallbereich der Gruppe 12 unter Abdeckung des IoL-Antennenarrays (rot-Antenne, blau-Referenzsensoren, grün-NECKTAG®Multisensoren)

An jedem Messpunkt wurde jeder der beiden NECKTAG® Multisensoren 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 der von dem Antennenarray über BLE 5.1 ermittelten Positionen zu vergleichen (Abbildung 18)



Abbildung 18: Vergleich NECKTAG® Multisensor in 1,45 m und 0,45 m Höhe über Stallboden

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

B. Störtest

Zur Überprüfung einer möglichen Überlagerung des Signals zweier NECKTAG® Multisensoren, wurden Störtests durchgeführt. Dabei wurde untersucht, ob die Datenübertragung beeinträchtigt wird, wenn sich zwei NECKTAG® Multisensoren in unmittelbarer Nähe befinden. Hierfür wurden zwei NECKTAG® Multisensoren am gleichen Messpunkt, in unterschiedlichen Höhen angebracht. Eine statische Auswertung mittels eines t-Test, konnte dabei keine signifikanten Unterschiede zwischen den Antenneneinstellungen aufzeigen (Abbildung 19).

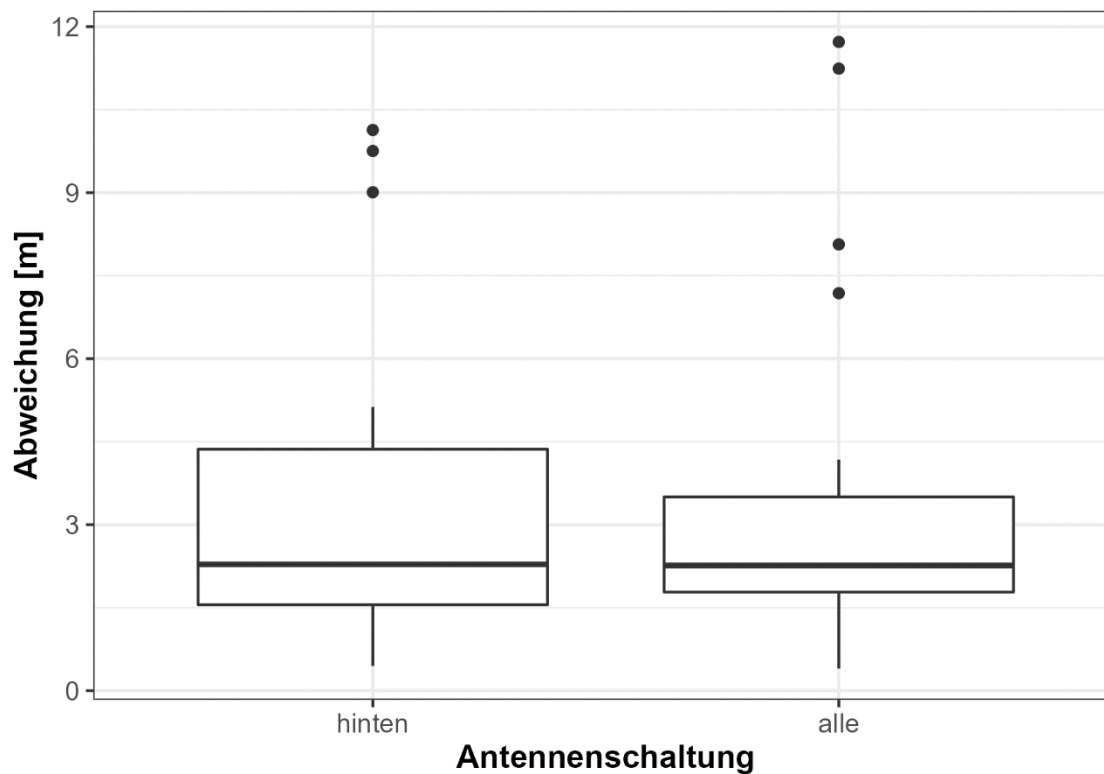


Abbildung 19: Abweichungen der gemessenen Positionen und deren Messpunkt je nach Antennenansprache

C. Dynamischer Test der Ortungsfunktion am Tier

Ab Januar 2023 wurden fortlaufend dynamische Tests der Ortungsfunktion der NECKTAG® Multisensoren am Tier durchgeführt und zur Validierung mit einer Tierbeobachtung untermauert. Dazu wurden das im Vorfeld angelegte Raster (Abbildung 17), zur manuellen Lokalisation der Tiere im Abstand von zwei Minuten durch einen geschulten Beobachter, zugrunde gelegt.

In der Abbildung 20 sind die Ergebnisse eines ausgewählten Zeitraumes des dynamischen Ortungstests vom 04.01.2023 dargestellt. Die jeweils hervorgehobenen (dunkleren) Plots stellen die in der Tierbeobachtung festgestellte Position des Tieres dar, welche aufgrund der kurzen Taktung lediglich einen Wert für den dargestellten Auswertungszeitraum aufweisen. Die gedeckteren (helleren) Plots stellen die im Beobachtungszeitraum ausgegebenen Ortungswerte durch den NECKTAG® Multisensoren dar.

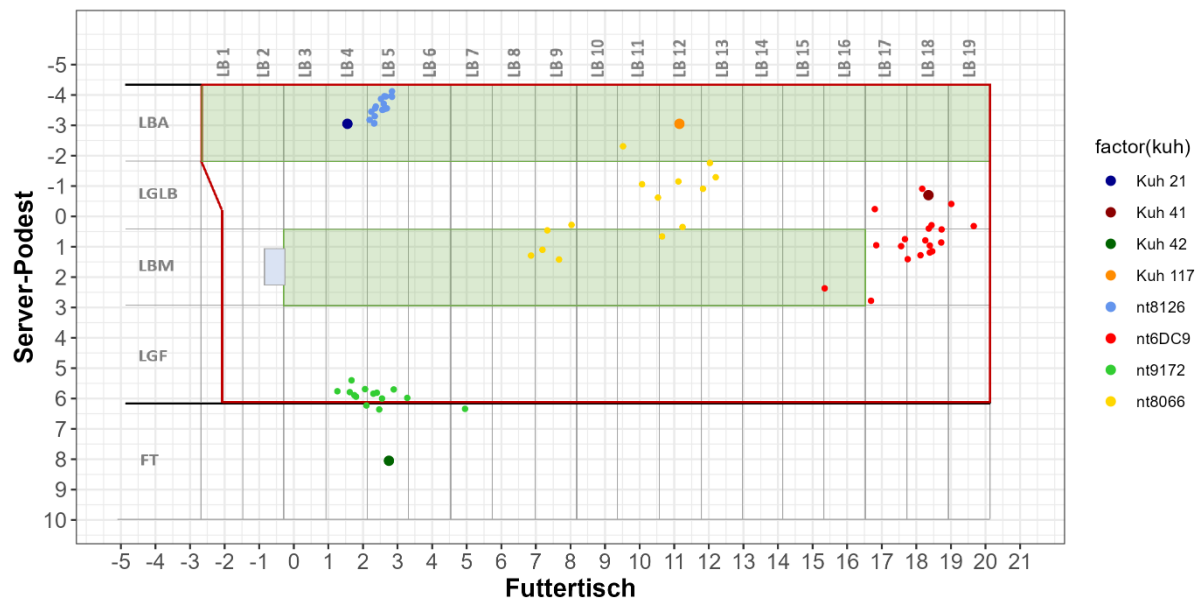


Abbildung 20: Dynamischer Ortungstest beispielhaft vom 04.01.2023 09:44 bis 09:46 Uhr

Der Tierbeobachtung ist zu entnehmen, dass die Kühe mit den Nummern 42 (grün), 117 (gelb) und 41 (rot), ihren Standort innerhalb der Beobachtungszeit gewechselt haben. Die Kuh mit der Nummer 21 befand sich liegend in der Position 5/4.

Die Darstellungsform der Ergebnisse wurde in der Abbildung 21 beibehalten, jedoch liegen Unterschiede im Entwicklungsstand der verwendeten NECKTAG® Multisensoren im Vergleich zu Abbildung 20 vor. Die hier ausgewählten NECKTAG® Multisensoren haben eine fortgeschrittene Entwicklungsstufe und können zusätzlich die Aktivität anhand der Schrittzahl, sowie die Luftgüte abbilden.

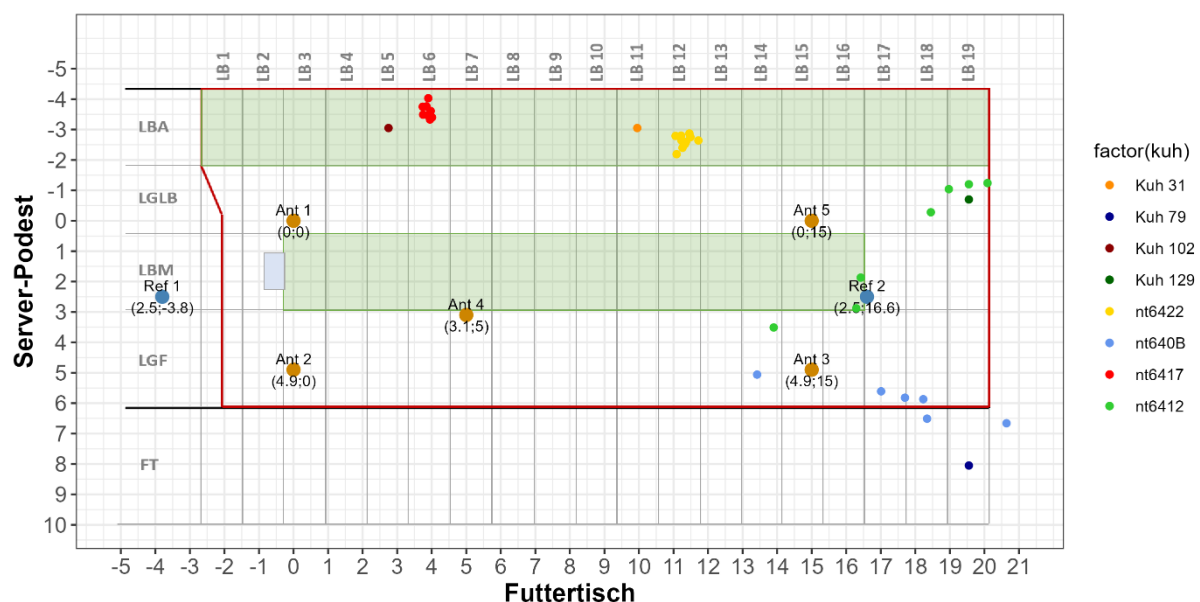


Abbildung 21: Dynamischer Ortungstest beispielhaft vom 10.08.2023 07:56 bis 07:58 Uhr

Der manuellen Tierbeobachtung ist zu entnehmen, dass die Kuh mit der Nummer 31 (gelb) und die Kuh mit der Nummer 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 bei 0,5 bis 1 m lag. Sowohl die Abbildung 20 als auch die Abbildung 21 verdeutlichen, insbesondere durch die liegenden Tiere, diesen Sachverhalt.

D. Synchronisationstest

Nachdem die Anzahl der entwickelten NECKTAG® Multisensoren, auf insgesamt 19 Stück angewachsen war, wurden diese einem Synchronisationstest unterzogen. Dabei stand der Gleichlauf der Sensoren in deren Datenermittlung im Vordergrund. Dieser Test wurde im August 2023 durchgeführt. Dazu wurden alle NECKTAG® Multisensoren und zwei Tinytags an einem Ort für zwei Tage zum Messen in gleicher Umgebung platziert und anschließend in einer Thermokiste einer Wärme- und anschließend einer Kältezufuhr kontrolliert ausgesetzt. Die Zufuhr von Wärme mittels Wärmeflasche begann am 07.08.2023 um 7:30 Uhr und endete um 11.30 Uhr. Im Anschluss daran wurden um 11.40 Uhr Kühlakkus in die Thermokiste verbracht.

In der nachstehenden Abbildung 22 sind die Temperaturkurven der Neck- und Tinytags dargestellt. Der NECKTAG® Multisensor 64:2E ist dabei als Referenzsensor in der Gruppe verblieben.

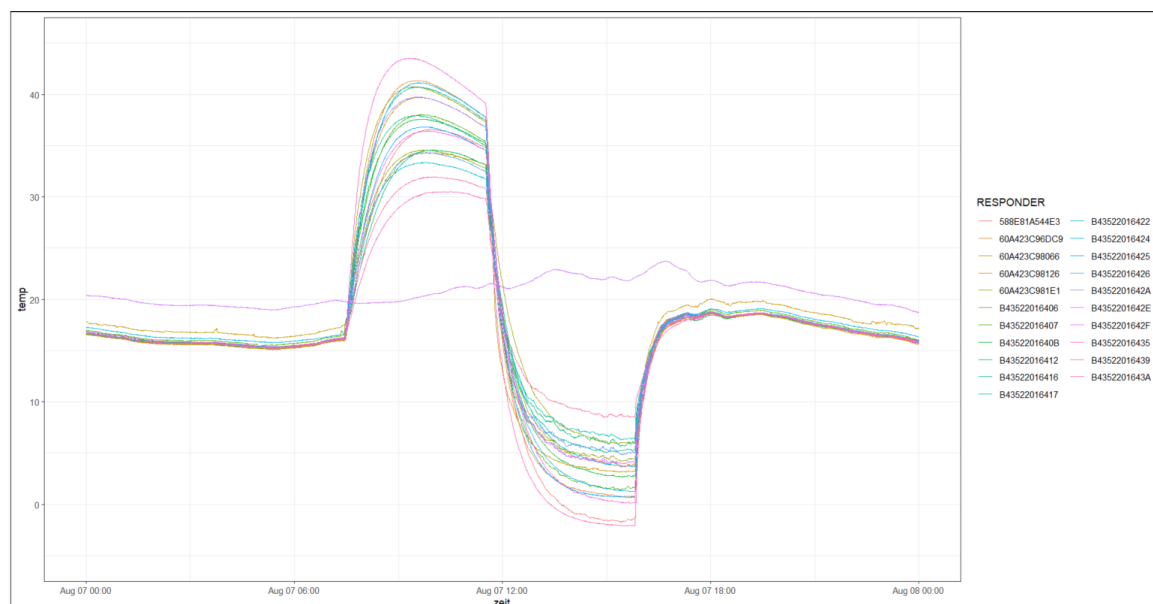


Abbildung 22: Temperaturverlauf des Synchronisationstests vom 07.08.2023

Alle NECKTAG® Multisensoren reagierten im Verhältnis gleich auf die Temperatur der sie ausgesetzt wurden. Unterschiede in den Ausschlägen lassen sich durch die unterschiedlichen Positionen in der Thermobox und der unterschiedlichen Distanz zu den Wärmflaschen bzw. Kühlakkus erklären. Ebenso hatten alle Sensoren den gleichen Zeitbedarf um sich wieder auf die Stalltemperatur einzustellen.

II.1.2.5 Tests zur Beschreibung von Mikro- und Makroklima um das Tier

Das Stallklima im Aufenthaltsbereich der Tiere wird nach Hoy et al. (2016) als Mikroklima definiert. Dagegen beschreibt das Makroklima das Klima territorialer Räume (z.B. Gruppenabteile) im Stall. Für den Vergleich des Mikro- und Makroklimas, wurden drei ausgewählte NECKTAG® Multisensoren, mit drei NECKTAG® Multisensoren verglichen, die als Referenz in der Stallhülle in 2,40 m bis 2,70 m Höhe angebracht waren. Es konnte ein deutlicher Zusammenhang zwischen den Mikro- und Makro-Temperaturen festgestellt werden, wobei die Mikrotemperatur (am Tier gemessen) im Mittel 4,56 °C höher war. Bei der 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 rel. Luftfeuchte zwischen Mikro- und Makroklima festgestellt werden. Es zeigte sich bei der Auswertung der rel. Luftfeuchte, dass diese bis zu einer Umgebungstemperatur von 25 °C im Makroklima größer ist als direkt an der Kuh. Es wird vermutet, dass die rel. Luftfeuchte im Mikroklima durch die höhere Temperatur an der Kuh beeinflusst wird.

II.1.2.6 Tests zur Beschreibung der Luftgüte

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 Luftqualität mittels sieben verschiedener Indizes beschreibt. Dazu misst der Luftgütesensor die Luftbestandteile Kohlenmonoxyd, Azeton, Ethanol/Ethan und Isoprene und ermittelt aus deren Gehalt einen Index zur Beschreibung der Luftgüte. Um den für den Gebrauch in Büroräumen konzipierten Sensor BME 680 auf den Einsatz in der Tierhaltung zu

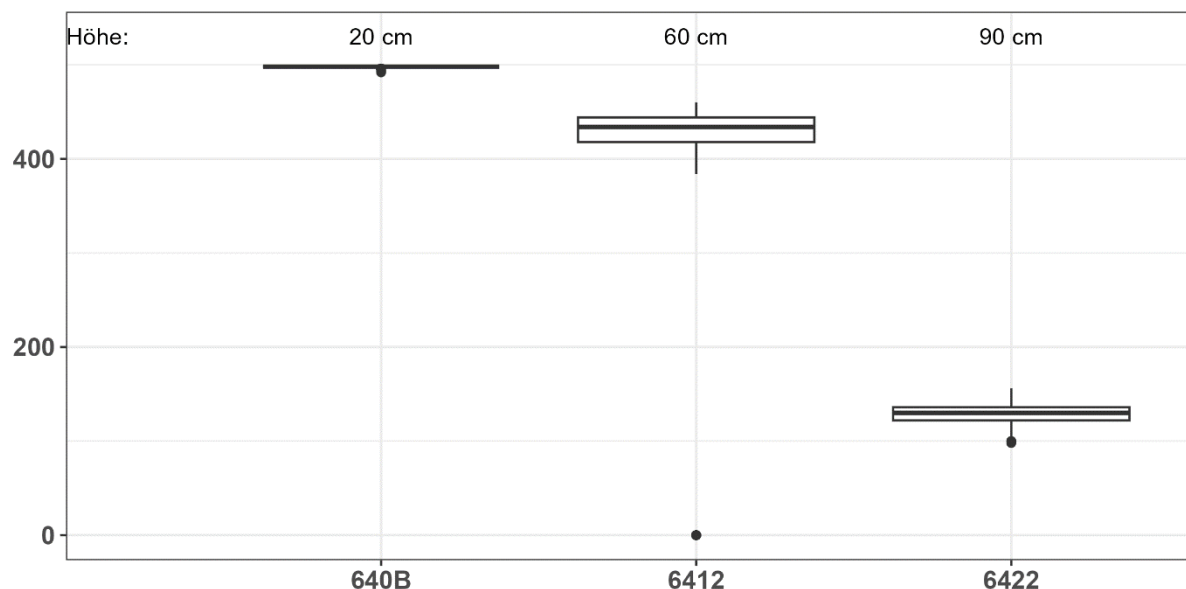
testen, wurde dieser mit dem Kooperationspartner NU in Behältern der Umgebungsluft von Schweingülle und Rinderkot im Vergleich zur Außenluft ausgesetzt.

In Folge der Ergebnisse des Bosch BME 680 wurde in den NECKTAG® Multisensoren ein Luftgütesensor (Abbildung 23) verbaut, der die Gesamtkonzentration flüchtiger organischer Verbindungen (Total volatile organic compounds -TVOC) misst.



Abbildung 23: Demonstrator der 4. Generation mit Luftgütesensor und linksseitig angebrachten Luftfilter

In verschiedenen Testläufen wurde überprüft, auf welche im Milchviehstall vorherrschenden Medien und deren Begleitluft der in den NECKTAG® Multisensoren neu verbaute Luftgütesensor reagiert. Dabei wurden Silage, Heu, Rinderkot, sowie Rinderurin herangezogen. Die Versuchsdurchführung wurde innerhalb der Stallhülle, jedoch in dafür geeigneten Behältern durchgeführt. Die ausgewählten NECKTAG® Multisensoren wurden in unterschiedlichen Höhen über dem zu überprüfenden Medium angebracht. Aus den Auswertungen der ermittelten Daten (Abbildung 24 und Tabelle 4) wird ersichtlich, dass die NECKTAG® Multisensoren mit zunehmender Nähe zur untersuchten Materie (Silage) höhere Messwerte für die Luftgüte auswiesen.



x-Achse= Sensor; y-Achse= Luftgüte

Abbildung 24: Box-Plots zur Beschreibung der Luftgüte einer Silageumgebung

Tabelle 4: 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

Für das Medium Heu konnte ein gegenläufiges Ergebnis festgehalten werden. Mit steigender Entfernung zum Heu, wurden höhere Luftgütewerte durch die Tags ausgewiesen. Die höheren Luftgütewerte in größerer Entfernung lässt vermuten, dass diese aus dem mit zunehmender Entfernung steigenden Anteil an Stallluft resultieren. Entsprechend kann angenommen werden, dass das Heu keine TVOCs ausströmt und damit der eingesetzte Luftgütesensor auf dieses nicht reagiert.

Für den Rinderkot und –urin konnte analog zur Erprobung mit dem Medium Silage festgestellt werden, dass bei einer zunehmenden Entfernung des NECKTAG® Multisensoren zum Medium, die Anteile flüchtiger organischer Verbindungen rückläufig sind.

Aus den Ergebnissen zur Beschreibung der Luftgüte, hinsichtlich flüchtiger organischer Verbindungen, kann auf eine qualitative Beschreibung der tierindividuellen Umgebung durch einen NECKTAG® Multisensor geschlossen werden.

II.1.2.7 Tests zum Energy Harvesting (AP2) durch NU

Für die Zielstellung aus dem Arbeitspaket zwei zur Energiegewinnung, wurden verschiedene Testläufe mit dem Kooperationspartner NU an Kühen im Laufstall des LVG Köllitsch durchgeführt. Begonnen wurde mit der Erprobung eines Piezo-Elements zur Energiegewinnung durch die Einwirkung einer mechanischen Kraft und der daraus resultierenden Erzeugung einer elektrischen Spannung.

Die Ergebnisse der Testung waren zwar interessant, dennoch musste dieses Verfahren der Energiegewinnung für die Weiterentwicklung des NECKTAG® Multisensors aufgrund der potentiell zu geringen Energieausbeute innerhalb des beschränkten Gehäuseraumes ausgeschlossen werden.

Die Weiterentwicklung des Elementes zum Energy Harvesting führte zur Erprobung eines Peltier und eines Solarelementes (Abbildung 25).



Abbildung 25: links Peltier-Element und rechts Solarelement für das Energy-Harvesting

Die Ergebnisse des während der Testung durch die Körperwärme der Kuh erzeugten Stromflusses werden in dem Abschlussbericht des Kooperationspartners NU näher beschrieben.

Nicht nur die Stromerzeugung, sondern auch die Einsparung/Optimierung des benötigten Stromes zur Aufrechterhaltung der Tätigkeit der im NECKTAG® Multisensor verbauten Sensoren, stand im Fokus der Entwicklung des Multisensors. Daher wurde auch der Fragestellung nachgegangen, welche Taktung des Sendeintervalls der aufgenommenen Daten ausreichend sei, um Energie beim Sendevorgang einzusparen. Dazu wurden die Werte in den Taktungen 30 Sekunden, fünf, zehn und 30 Minuten für die Tierparameter miteinander graphisch verglichen.

Die Glättung der parametrischen Kurven aus den zehnminütigen Mittelwerten ermöglicht ausreichend Informationen zur Ableitung der Tierwohlsituation und erlauben deutliche Energieeinsparungen aus der Übermittlung der Datenpakete.

Arbeitspaket 14: Berichtswesen und Wissenstransfer

Während der Projektlaufzeit wurde das Projekt „IoL“ auf Fachtagungen, Praktikerschulungen und Anwenderseminaren, überbetrieblichen Ausbildungskursen und Fachmessen in Form von Vorträgen, Postern oder Demonstrationen vorgestellt. Zudem sind Veröffentlichungen in wissenschaftlichen Journalen geplant. Eine detaillierte Auflistung ist in Abschnitt II.6 dargestellt. Diese beinhaltet ebenso Graduierungsarbeiten.

II.1.3 Gegenüberstellung mit vorgegebenen Zielen

Arbeits- und Zeitplanung	Stand der Arbeiten
Meilenstein 1: Pflichtenheft Konzeptionierung	Projektmonat 3 fristgerecht abgeschlossen
Meilenstein 2: 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 Experimentelle Erprobung
Meilenstein 4: Softwareentwicklung Experimentelle Erprobung Wissenschaftliche Umsetzung und Bewertung	Projektmonat 22 → 28 Experimentelle Erprobung fortlaufend mit anschließender wiss. Umsetzung und Bewertung
Meilenstein 5 Berichtswesen und Wissenstransfer	Projektmonat 24 → 30 fortlaufend während Projektlaufzeit und im Anschluss des Projektes

Die Meilensteine zwei und drei lagen in der Verantwortung der Kooperationspartner SE und NU, ebenso der Abschnitt Softwareentwicklung des Meilensteins vier. Details zu den Ergebnissen und erreichten Zielen sind in den Abschlussberichten der Kooperationspartner aufgeführt.

II.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Der zahlenmäßige Nachweis wurde vom Referat 13, Haushalt, des LfULG erstellt und gesondert eingereicht. Dabei war die wichtigste Kostenposition die der Personalmittel.

II.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeit

Die umfangreichen Forschungsarbeiten, die im Rahmen des Projekts „Internet of Livestock“ durch Projektpersonal durchgeführt worden sind, konnten nicht aus den regulären Haushaltsmitteln des LfULG finanziert werden. Für die Durchführung der Projektarbeiten waren daher erhebliche Zuwendungen für Projektpersonal erforderlich. Die Arbeitspakete eins, elf und vierzehn, welche in der Verantwortlichkeit des LfULG bzw. der HSNB lagen, stellten eine wichtige Voraussetzung für alle nachgelagerten Arbeitspakete und deren Zielerreichung. Die Aufgaben des LfULG und deren Erfüllung waren daher notwendig und angemessen.

Das LfULG hat Eigenleistungen durch die Bereitstellung der Referenzmessgeräte Tinytags Ultra 2 (Gemini Data Loggers Ltd, England) und Luxmeter (Almemo®-Datenlogger von Ahlborn Mess- und Regelungstechnik GmbH) in das Projekt eingebracht, die für die Durchführung der Projektarbeit Voraussetzung waren. Zusätzlich wurden allgemeine Arbeitsmittel (Werkzeug, Verbrauchsmittel wie z.B. Batterien etc.) eingebracht.

II.4 Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses

Für das LfULG wird das Projekt „IoL“ mit seinen Ergebnissen und den daraus entstandenen Erfahrungen eine primäre Rolle im Wissenstransfer gegenüber Praktikern, Forschungseinrichtungen, der Gesellschaft und der Politik einnehmen. Die erzielten Ergebnisse werfen neue Fragestellungen auf, welche im geeigneten Rahmen gezielt weiter untersucht werden sollten. Erzielte Ergebnisse ermöglichen auch die Beantwortung von langjährigen, fachlichen Fragestellungen die zur landwirtschaftlichen Forschung, Erprobung oder zur Eruierung neuer Projekte dienen. Durch die hohe interdisziplinäre Vernetzung der Akteure können die Erfahrungswerte, die im Rahmen des Projekts gewonnen wurden, an anderen Stellen mit ähnlicher Fragestellung, in vertretbarem Umfang mit eingebracht werden.

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“, Function of Multisensor (Funktionsweise eines Multisensors mit BLE 5.1.) (Sensors-MDPI)
- Technical Note: “Suitability of different Energy Harvesting methods for an animal welfare assessment sensor”; Energy Harvesting: (Computers and Electronics in Agriculture, LANDTECHNIK)
- Ortungssystem vs. Beobachtung – Analyse Genauigkeit (Applied Animal Behaviour)
- Mikro-Makroklima am Tier (Journal of Dairy Research)

II.6.3 Studentische Graduierungsarbeiten

- Masterarbeit: Wetzlaugk, Sabrina (2024) - „Auswirkungen klimatischer Veränderungen auf den Aufenthaltsort und das Aktivitätsverhalten laktierender Milchkühe im Stall“
- Bachelorarbeit: 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/Konferenzen

21.04.2022 - 24.04.2022	Projektvorstellung mittels Poster bei der Agra auf der Aktionsfläche „Tierwohl“ in Leipzig durch das LfULG
27.-28.02.2024	Präsentation Projektkarte bei GIL Tagung an der Universität Hohenheim durch DigiTier
11.04.2024-14.04.2024	Vorstellung der Projektergebnisse bei der Mitteldeutschen Landwirtschaftsmesse Agra in Leipzig
01.-03.07.2024	AgEng: „Comparison of different Energy Harvesting methods for supplying a sensor for welfare assessment of dairy cows with energy“
09.-12.09.2024	ECPLF: „Energy supply methods of a sensor for welfare assessment of dairy cows using Energy Harvesting“

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, der Kooperationspartner des LfULG im Projekt „IoL“ war. Des Weiteren sind im Rahmen der Erstellung des Pflichtenheftes keine mit dem Projekt in Konflikt stehenden Schutzrechte bekannt geworden.

III.2.2 Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende (mit Zeithorizont) – z.B. auch funktionale/wirtschaftliche Vorteile gegenüber Konkurrenzlösungen, Nutzen für verschiedene Anwendergruppen/-industrien am Standort Deutschland, Umsetzungs- und Transferstrategien;

Das Anwendungspotential der erzielten Ergebnisse ist auch nach Projektende aufgrund des Technologiereifegrades 5 auf den Erprobungsbetrieben begrenzt. Die entwickelten

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 der Milcherzeugerberater e.V. www.wgmev.de

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.