

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: Schneider Elektronik GmbH & Co. KG

Förderkennzeichen: 281C208A19

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 Projekt „Internet of Livestock“ (IoL)

Zuwendungsempfänger: Schneider Elektronik GmbH & Co. KG	Förderkennzeichen: 281C208A19
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: 15.03.2021 bis 14.11.2023	
Berichtszeitraum: 15.03.2021 bis 14.11.2023	

(alle Angaben inkl. kostenneutraler Verlängerung)

Antragsteller: Schneider Elektronik GmbH & Co. KG
Projektleitung: Sebastian Schäfer
Dresdener Straße 29
01909 Großharthau

Tel.: 035954 5810
Fax.: 035954 58199
E-Mail: schaefer@mappit.de

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	2
Abbildungsverzeichnis	4
Tabellenverzeichnis	6
I Kurze Darstellung	7
I.1 Ursprüngliche Aufgabenstellung sowie der wissenschaftliche und technische Stand an den angeknüpft wurde	7
I.1.1 Aufgabenstellung	7
I.1.2 Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte	8
I.1.3 Verwendete Fachliteratur (Stand des Wissens)	8
I.2 Ablauf des Vorhabens	9
I.3 Wesentliche Ergebnisse sowie ggf. Zusammenarbeit mit anderen Stellen.	10
I.3.1 Wesentliche Ergebnisse	10
I.3.2 Zusammenarbeit mit anderen Stellen	11
II Eingehende Darstellung	12
II.1 Durchgeführten Arbeiten und Ergebnisdarstellung (insbesondere im Vergleich zur ursprünglichen Vorhabenbeschreibung)	12
II.1.1 Arbeitspaket AP1: Erstellung Pflichtenheft	12
II.1.2 Arbeitspaket AP2: Energy Harvesting	12
II.1.3 Arbeitspaket AP3: Sensorik physikalischer Kenngrößen	12
II.1.4 Arbeitspaket AP4: Sensorik chemischer & biologischer Kenngrößen	12
II.1.5 AP5: Funktechnische Anforderungen für den bidirektionalen Datenaustausch...	13
II.1.6 AP6: Funktechnik Basisstation	13
II.1.7 AP 7: Funktechnik & Aktortechnik Tag	17
II.1.8 AP 8: Zusammenführung zum intelligenten Tag	22
II.1.9 AP9: Softwareentwicklung	25
II.1.10 AP 10: Systemintegration	26
II.1.11 AP 11: Experimentelle Erprobung	28
II.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	29

Abschlussbericht zum Projekt „Internet of Livestock“ (IoL)

II.3	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeit.....	29
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.....	32
II.6.3	Studentische Graduierungsarbeiten	32
II.6.4	Messeteilnahmen/Konferenzen	32
II.6.5	Gebrauchsmuster, Patente	33
III	Erfolgskontrollbericht.....	34
III.1	Wissenschaftlich-technisches Ergebnis des Vorhabens, erreichte Nebenergebnisse und gesammelte wesentliche Erfahrungen	34
III.2	Fortschreibung des Verwertungsplans	36
III.3	Angaben zu Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben.....	36
III.4	Angaben über die Einhaltung der Ausgaben- und der Zeitplanung.....	36

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Arbeitspakete und Meilensteine des Vorhabens und die zeitliche Planung der Durchführung (Farben kennzeichnen den Federführenden; gelbe Markierung zeigt gemeinschaftliche AP auf).....	10
Abbildung 2: NECKTAG® Ortung durch Triangulation mittels AoA-Richtungsfindung	13
Abbildung 3: Array Texas Instruments (TI) (links) und Array Telink (rechts)	14
Abbildung 4: Freifeldmessung TI Array; 100 Messwerte pro Tag-Position (Azimuth-Winkel); Entfernung Tag zu Array = 10m.....	14
Abbildung 5: Freifeldmessung Telink Array; 100 Messwerte pro Tag-Position (Azimuth-Winkel); Entfernung Tag zu Array = 10m.....	15
Abbildung 6: IQ Daten (I-Daten in blau; Q-Daten in gelb) der über das TI Array empfangenen CTE; Winkelanzeige siehe unten rechts; Transponder befindet sich in -43° Azimuth Winkel zum Array.....	15
Abbildung 7: Antennenarray mit Gehäuse und externer Aufhängung zur Montage im Stall ..	16
Abbildung 8: Necktag® Version 0, 2x Tiertransponder (links und rechts), 1x Referenztransponder (mittig).....	18
Abbildung 9: Tiertransponder inkl. SE Mikrocontroller-Zentraleinheit mit Funktechnik und Ortungsfunktion & SE eigener Sensorik sowie stalltauglicher Necktag®-Gehäusekonstruktion mit Bügel zur Anbringung am Halsband	19
Abbildung 10: Referenztransponder inkl. SE Mikrocontroller-Zentraleinheit mit Funktechnik und Ortungsfunktion & SE eigener Sensorik und stalltauglicher Necktag®-Gehäusekonstruktion für die Anbringung an fixen Standorten im Stall.....	19
Abbildung 11: Necktag® Version 2	20
Abbildung 12: Necktag® Version 3	21
Abbildung 13: Necktag® Version 4 im Vergleich zu einer herkömmlichen Ohrmarke	21
Abbildung 14: intelligentes SE Necktag® für Tiere, Maschinen und Einrichtungen sowie Operatoren	24
Abbildung 15: SE Platine Luftgütesensor (unbestückt und bestückt)	24
Abbildung 16: SE Platine für Luftfeuchte- und Temperatursensor (unbestückt und bestückt)	24
Abbildung 17: SE Energy Harvesting Platine	25
Abbildung 18: „IoL Start“	25
Abbildung 19: Software „IoL“	26
Abbildung 20: Plattformunabhängige Software „IoL Farm“ zur auswählbaren Anzeige von Echtzeitortungs-, Tracking- (hier dargestellt) und Sensordaten in Versuchsgruppe 12 im LVG Köllitsch.....	26

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 21: Integration 5x Antennenarray am 30.11.2022 im LVG Köllitsch (Arrays sind rot umkreist)	28
Abbildung 22: Integration IOL-Gateway im LVG Köllitsch	28

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Freifeldmessung TI Array; 100 Messwerte pro Tag-Position (Azimuth-Winkel); Entfernung Tag zu Array = 10m.....	14
Tabelle 2: Freifeldmessung Telink Array; 100 Messwerte pro Tag-Position (Azimuth-Winkel); Entfernung Tag zu Array = 10m.....	14

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.1.3 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, 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 2013).

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.

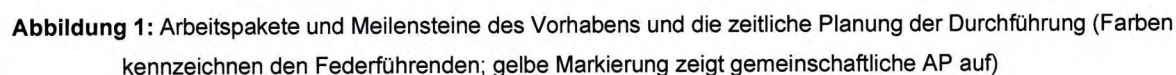
Durch die Verwendung des BLE_5.1 Funkprotokollstandards werden Möglichkeiten zur robusten, bidirektionalen, energiearmen und bulkfähigen Datenübertragung, sowie zur theoretisch dezimetergenauen Echtzeitlokalisierung bereitgestellt. Auf Basis dieses Standards kann somit auf bidirektionalem Übertragungsweg, 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



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

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

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.

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-Echtzeitlokalisation 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® Echtzeitlokalisation 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.

1.3.2 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)

II.1.1 Arbeitspaket AP1: Erstellung Pflichtenheft

(Federführung: LfULG und HSNB / Beteiligte: SE, NU)

Die finale Version des Pflichtenhefts wurde gemäß der ursprünglichen Vorhaben- und Zeitplanung erstellt. Die Zuarbeiten von SE wurden in diesem Punkt erfolgreich abgeschlossen.

II.1.2 Arbeitspaket AP2: Energy Harvesting

(Federführung: NU / Beteiligte: SE, LfULG, HSNB)

Die Zuarbeiten von SE wurden in diesem Punkt erfolgreich abgeschlossen.

Alle weiteren SE eigenen hardware- und softwareseitigen Entwicklungen und Arbeiten, welche durch SE in Bezug zu diesem Arbeitspunkt im Rahmen des Projektes und gemäß dem Pflichtenheft geleistet wurden, sind in den Arbeitspunkten AP 7 („Funktechnik & Aktortechnik Tag“), AP 8 („Zusammenführung zum intelligenten Tag“) und AP 9 („Softwareentwicklung“) aufgeführt.

II.1.3 Arbeitspaket AP3: Sensorik physikalischer Kenngrößen

(Federführung: NU / Beteiligte: SE, LfULG, HSNB)

Die Zuarbeiten von SE wurden in diesem Punkt erfolgreich abgeschlossen. Alle weiteren SE eigenen hardware- und softwareseitigen Entwicklungen und Arbeiten, welche durch SE in Bezug zu diesem Arbeitspunkt im Rahmen des Projektes und gemäß dem Pflichtenheft geleistet wurden, sind in den Arbeitspunkten AP 7 („Funktechnik & Aktortechnik Tag“), AP 8 („Zusammenführung zum intelligenten Tag“) und AP 9 („Softwareentwicklung“) aufgeführt.

II.1.4 Arbeitspaket AP4: Sensorik chemischer & biologischer Kenngrößen

(Federführung: NU / Beteiligte: SE, LfULG, HSNB)

Die Zuarbeiten von SE wurden in diesem Punkt erfolgreich abgeschlossen. Alle weiteren SE eigenen hardware- und softwareseitigen Entwicklungen und Arbeiten, welche durch SE in Bezug zu diesem Arbeitspunkt im Rahmen des Projektes und gemäß dem Pflichtenheft geleistet wurden, sind in den Arbeitspunkten AP 7 („Funktechnik & Aktortechnik Tag“), AP 8 („Zusammenführung zum intelligenten Tag“) und AP 9 („Softwareentwicklung“) aufgeführt.

II.1.5 AP5: Funktechnische Anforderungen für den bidirektionalen Datenaustausch

(Federführung: SE)

Für den Datenaustausch im Indoor- und Outdoor-Bereich zwischen Basisstation und NECKTAG® für Tiere, Maschinen & Einrichtungen (NECKTAG® -M), gesicherten Kontrolle und Operatoren (Necktag -I) erfolgte zunächst die Recherche nach geeigneten Funkprotokollen und deren funktechnischen Anforderungen auf Basis des Pflichtenheftes. Diese Anforderungen umfassten ein geeignetes energiesparendes, robustes und bulkfähiges Funkprotokoll in Verknüpfung mit der Möglichkeit zur Datenübertragung von Sensor- und Aktordaten und der Verwendung eines Verfahrens zur flächendeckenden Echtzeitlokalisierung. Nach Analyse und Aufbereitung der Rechercheergebnisse wurde das Funkprotokoll Bluetooth Low Energy 5.1 (BLE_5.1) für die weitere grundlegende technologische Konzeptionierung des Gesamtsystems ausgewählt. Die Auswahl des Verfahrens zur Lokalisierung erfolgte nach eingehender Prüfung hinsichtlich der technischen Möglichkeiten von BLE_5.1. Die Lokalisierung soll durch die Triangulation mittels Verwendung der Angle of Arrival [AoA] Technologie erfolgen (siehe Abbildung 2).

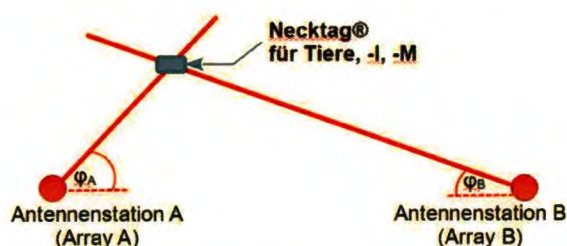


Abbildung 2: NECKTAG® Ortung durch Triangulation mittels AoA-Richtungsfindung

Der Arbeitspunkt AP5 - Funktechnische Anforderungen für den bidirektionalen Datenaustausch wurde gemäß der ursprünglichen Aufgaben-, Zeit- und Meilensteinplanung erfolgreich abgeschlossen.

II.1.6 AP6: Funktechnik Basisstation

(Federführung: SE)

Der Arbeitspunkt wurde vollständig und erfolgreich innerhalb der ursprünglichen Aufgaben-, Zeit- und Meilensteinplanung abgeschlossen.

• IoL Antennenarray - Antennenbasisstation

Für die Funktechnik der Basisstation wurden zunächst Freifeld bzw. Outdoor Antennenmessungen zur Evaluierung der BLE_5.1 AoA-Richtungsfindung im Projektzeitraum 2021 durchgeführt. Hierbei wurden zwei verschiedene Antennenarray-Evaluierungsplatinen mit jeweils dazugehörigen Tag-Evaluierungsplatinen beschafft, im Freifeld vermessen und

gegenübergestellt. Die beiden im folgenden betrachteten Arrays sind in Abbildung 3 dargestellt.

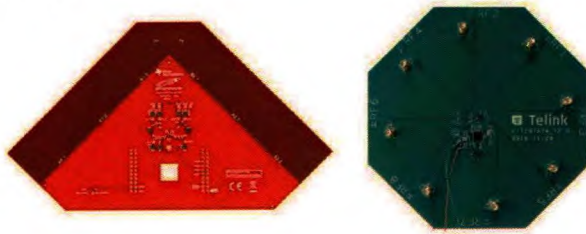


Abbildung 3: Array Texas Instruments (TI) (links) und Array Telink (rechts)

In der Tabelle 1 und Abbildung 4 sind die Messergebnisse der Freifeldmessung für das TI Array dargestellt. In Tabelle 2 und Abbildung 5 sind die Messergebnisse der Freifeldmessung für das Telink Array dargestellt. Aufgrund der unterschiedlichen Konzeptionen der beiden Arrays ergeben sich im Zusammenhang mit der genutzten herstellerseitigen Evaluierungssoftware unterschiedliche maximal mögliche Ortungswinkel.

Tabelle 1: Freifeldmessung TI Array; 100 Messwerte pro Tag-Position (Azimuth-Winkel); Entfernung Tag zu Array = 10m

Tag-Position zu Array (Azimuth-Winkel)	45°	22,5°	0°	-22,5°	-45°
Abweichung in [m]	0,20	0,79	1,11	0,16	0,49
Messwerte pro Sekunde	7,59	6,18	7,53	7,53	7,62

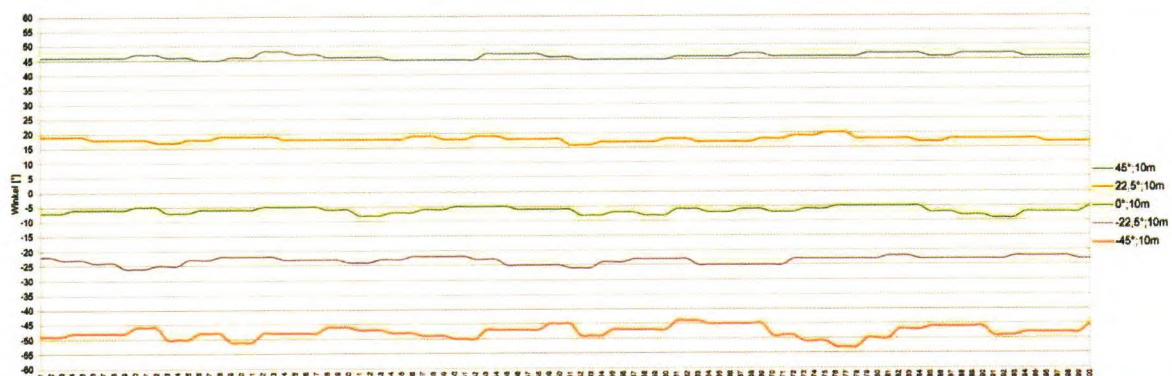


Abbildung 4: Freifeldmessung TI Array; 100 Messwerte pro Tag-Position (Azimuth-Winkel); Entfernung Tag zu Array = 10m

Tabelle 2: Freifeldmessung Telink Array; 100 Messwerte pro Tag-Position (Azimuth-Winkel); Entfernung Tag zu Array = 10m

Tag-Position zu Array (Azimuth-Winkel)	0°	90°	180°	270°
Abweichung in [m]	0,13	0,44	0,50	0,91
Messwerte pro Sekunde	1,29	1,29	1,29	1,29

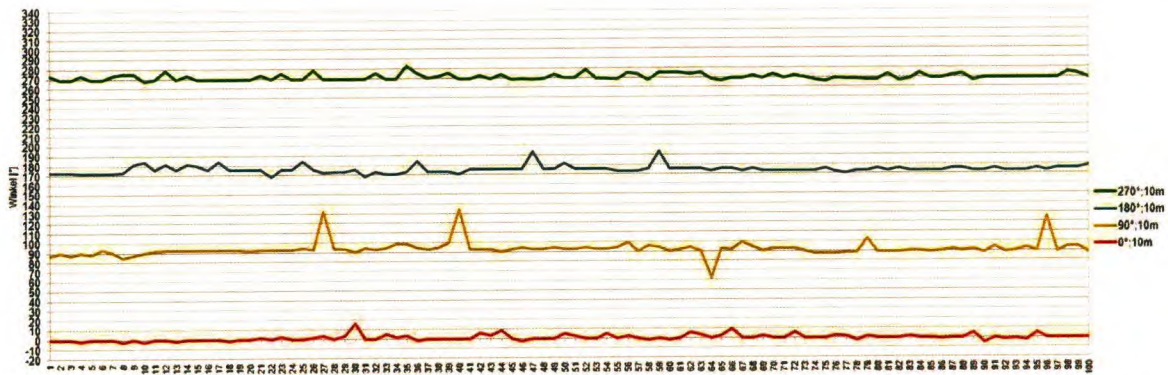


Abbildung 5: Freifeldmessung Telink Array; 100 Messwerte pro Tag-Position (Azimuth-Winkel); Entfernung Tag zu Array = 10m

Unter Verwendung des TI Arrays wurde eine SE eigene Software entwickelt, die die Evaluierung der IQ-Datensätze im Rahmen der BLE_5.1 AoA-Richtungsfindung unabhängig von der herstellerbedingten Evaluierungssoftware ermöglicht. Die IQ-Messwerte werden vom Antennenarray aus der BLE_5.1 Contant Tone Extension (CTE) gewonnen und sind in Ihrer Qualität abhängig vom Design des Antennenarrays. Mittels der CTE Sampling Slots und dem jeweiligen zugeschalteten Antennenarray-Element kann eine Phasenverschiebung durch die eintreffende CTE gemessen werden. Resultierend aus der geometrischen Array Dimensionierung und der gemessenen Phasenverschiebung ergibt sich ein Ortungswinkel zur AOA-Richtungsfindung (siehe Abbildung 6).

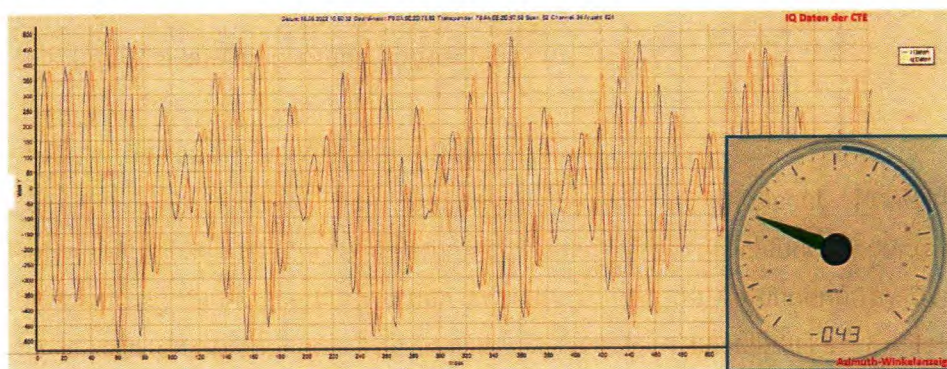


Abbildung 6: IQ Daten (I-Daten in blau; Q-Daten in gelb) der über das TI Array empfangenen CTE; Winkelanzeige siehe unten rechts; Transponder befindet sich in -43° Azimuth Winkel zum Array

Nach der erfolgreichen Evaluierung der BLE_5.1 AoA-Richtungsfindungstechnologie mittels der in Abbildung 3 dargestellten Antennen-Arrays schloss sich gemäß der Vorhabenbeschreibung sowie den Ortungsanforderungen aus dem Pflichtenheft unter Beachtung der komplexen Anforderungen im Indoor- und Outdoorbereich die Entwicklung eines eigenen Antennenarrays mit geeigneter Gehäusekonstruktion an. Die Antennenarrays wurden im Einzelnen und im Gesamtverbund erfolgreich entwickelt und getestet, zu Funktionsmuster gefertigt und am 30.11.23 im Lehr- und Versuchsgut Köllitsch integriert (s.

AP10). Folgende Antennen-Array Anforderungen wurden durch SE erfolgreich im Projekt realisiert und gemäß der ursprünglichen Aufgaben-, Zeit- und Meilensteinplanung erfolgreich im Projektzeitraum 2022 abgeschlossen:

- Nutzung des BLE_5.1 Funkprotokollstandard
- 3D-Echtzeitlokalisierung über 3D-Ortung der Necktag® Transponder (für Tiere, Maschinen, Einrichtungen)
- Kommunikation mit IOL HOST-PC Software und Versorgung des Antennenarrays über Power-Over-Ethernet (PoE) Anbindung
- geeignetes robustes Gehäuse (verwendbar für Indoor- und Outdoorbereich)
- spezielle interne Array-Aufhängung, zur Vereinfachung der Montage in horizontaler Ausrichtung
- externe Array-Aufhängung zur Montage in der Stallumgebung (Siehe Abbildung 7)



Abbildung 7: Antennenarray mit Gehäuse und externer Aufhängung zur Montage im Stall

• IOL Host-PC Version 2021

Um die experimentelle Erprobung für die Projektpartner HSNB und LfULG zu ermöglichen wurde durch SE ein Host-PC mit BLE_5.1 Antennenstation aufgebaut und die entwickelte IOL-Datenbank eingerichtet. Der HOST-PC Version 2021 diente mittels einer durch SE entwickelten Software „IOL Start“ zur Sensordatenaggregation der Necktag® Version 0 (s. AP7 und AP 9) und Speicherung der Messwerte in der IOL Datenbank. Im Zuge des Projekttreffens am 24.09.2021 wurde dieser im Lehr- und Versuchsgut (LVG) Köllitsch durch SE & LfULG integriert und durch SE erfolgreich in Betrieb genommen (s. AP10).

• IOL Host-PC Version 2022

Der HOST-PC Version 2022 diente gemäß dem in der Vorhabenbeschreibung aufgezeigten IoL Schichtenmodell als IoL Daten- und Softwarezentrum (IoL-DSZ). Die auf dem IoL-DSZ basierende durch SE entwickelte Software „IoL“ diente zur Sensordatenaggregation der

Necktag® Version 1,2,3,4 sowie zur Antennenarray Ansteuerung, Datenaustausch und zur Berechnung der 3D-Echtzeitlokalisationsdaten (s. AP7, AP8 und AP 9) und Speicherung der Daten in der IOL Datenbank. Des Weiteren diene dieser zur Bereitstellung einer Schnittstelle für den plattformunabhängigen Datenaustausch zu übergeordneten Fremdsystemen. Der HOST-PC Version 2022 wurde am 30.11.2022 im Lehr- und Versuchsgut (LVG) Köllitsch durch SE & LfULG in einem Serverschrank integriert und durch SE erfolgreich in Betrieb genommen.

• IOL Gateway-Antennenbasissation

Das durch SE entwickelte IOL Gateway ist eine optimierte Version der ursprünglich installierten BLE_5.1 Antennenstation (vgl. IOL Host-PC Version 2021) und dient zur plattformunabhängigen, autarken Sensordatenaggregation der Necktag® Version 1,2,3,4 und nutzt den BLE_5.1 Funkprotokollstandard. Es versendet die empfangenen Daten an den Host-PC und kann flexibel im Stall, unabhängig vom Standort des Host-PC, angebracht werden. Die Kommunikation zur IOL HOST-PC Software und Versorgung des IOL-Gateways wurde über eine PoE-Anbindung realisiert. Durch die Gesamtsystemkonzeption können auch mehrere redundante Gateways im Stall angebracht werden. Des Weiteren ist im IOL-Gateway Sensorik integriert, die als Referenz dient und der Sensorik aus der **Necktag® Version 2** (vgl. AP 7) entspricht. Das IOL-Gateway wurde am 14.06.2023 im Lehr- und Versuchsgut (LVG) Köllitsch durch SE & LfULG integriert und durch SE erfolgreich in Betrieb genommen (siehe AP10, Abbildung 22).

II.1.7 AP 7: Funktechnik & Aktortechnik Tag

(Federführung: SE)

Der Arbeitspunkt wurde vollständig und erfolgreich innerhalb der ursprünglichen Aufgaben-, Zeit- und Meilensteinplanung abgeschlossen. Darüber hinaus konnte die Schneider Elektronik GmbH & Co.KG im Zuge der Projektverlängerung und in Abhängigkeit des Projektstandes zu diesem Zeitpunkt in den AP 2,3,4 und rückwirkend AP 8 eigene Entwicklungen in den Bereichen Sensorik und Energy Harvesting realisieren.

• Necktag® Version 0 (Seit 01.11.2021)

Für die Evaluierung der Bluetooth Low Energy Funktechnik im Labor und unter Stallbedingungen wurden von SE zunächst CC2650 Sensortag Evaluierungsboards (entspricht von Texas Instruments mit integrierter Sensor- und Aktortechnik beschafft. Die CC2650 Tags bilden die **Necktag® Version 0**. Die CC2650 Evaluierungsboards benötigen zur Energieversorgung Batterien und haben dadurch eine begrenzte funktionelle Laufzeit. Diese dienten im Projektzeitraum 2021/2022 vorübergehend zur Bearbeitung für AP7, AP9 und AP11. Die Sensorik umfasste:

- Luftdrucksensor
- Temperatursensor
- Luftfeuchtesensor
- Lichtstärkesensor

Die integrierte Sensorik ist somit für die im Pflichtenheft definierten sensorischen Parameter geeignet. Die integrierte Aktorik, welche über „IoL Start“ und Bluetooth angesteuert wurde, konnte im Zuge des Projekttreffens am 24.09.2021 in einer Demonstration erfolgreich vorgeführt werden. Hierbei wurde die Nutzung der Schaltfunktion des Tags aufgezeigt.

Für erste experimentelle Erprobungen durch das LfULG, HSNB und SE im Stall wurden durch SE drei CC2650 Evaluierungsboards mit Sensoren in einem speziell dafür gefertigten NECKTAG® Gehäuse integriert. Hierbei wurde am 01.11.2021 ein Referenztag zur Arretierung im Stall und zwei Tags für die Anbringung am Tier präpariert (siehe Abbildung 8) und dem LfULG übersendet.



Abbildung 8: Necktag® Version 0, 2x Tiertransponder (links und rechts), 1x Referenztransponder (mittig)

Im Juni 2022 wurde für die am LVG Köllitsch vorhandenen CC2650 Sensortags eine verbesserte Version der Gehäuseabdeckung konstruiert, gefertigt und an das LfULG übergeben. Diese Version beinhaltet eine optimierte physikalische Anbindung der auf dem CC2650 Sensortag integrierten Temperatur-, Luftfeuchte- und Luftdrucksensorik.

• Necktag® Version 1 (Seit 30.11.2022)

Gemäß der Vorhabenbeschreibung wurde in diesem Arbeitspunkt die Mikrocontroller-Zentraleinheit mit Funktechnik von SE erfolgreich entwickelt, evaluiert und in die **Necktag® Version 1** integriert. Die Mikrocontroller-Zentraleinheit mit Funktechnik erfüllt alle notwendigen Anforderungen:

- die in AP8 definierte Hardware-Kommunikationsschnittstelle zum NU Sensorik-Teil

- Ortungsfunktion über BLE_5.1
- Anbindung von beliebiger Aktorik und beliebiger Sensorik
- Modularität aufgrund des Platinen-Layouts bei kleinem Formfaktor
- Necktag®-Gehäusekonstruktion mit vorübergehender batteriegespeister Versorgung

Zudem wurde dafür ein geeignetes, stalltaugliches Necktag®-Transpondergehäuse mit Bügel zur Anbringung am Halsband konstruiert und gefertigt (siehe Abbildung 9 und Abbildung 10). Diese Transponder beinhalten zudem SE eigene Sensorik und ersetzen die am LVG Köllitsch vorübergehend eingesetzten CC2650 Sensortags (vgl. AP10 Systemintegration). Mit der SE eigenen Sensorik wurde sichergestellt, dass die experimentelle Erprobung (AP11) durch das LfULG, HSNB und SE bzgl. der sensorischen Messwerte weiterhin erfolgt.



Abbildung 9: Tiertransponder inkl. SE Mikrocontroller-Zentraleinheit mit Funktechnik und Ortungsfunktion & SE eigener Sensorik sowie stalltauglicher Necktag®-Gehäusekonstruktion mit Bügel zur Anbringung am Halsband

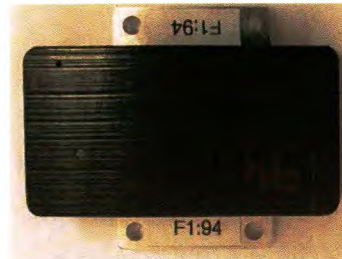


Abbildung 10: Referenztransponder inkl. SE Mikrocontroller-Zentraleinheit mit Funktechnik und Ortungsfunktion & SE eigener Sensorik und stalltauglicher Necktag®-Gehäusekonstruktion für die Anbringung an fixen Standorten im Stall

SE fertigte und stellte am 30.11.2022 für die weitere Versuchsdurchführung durch LfULG und HSNB zunächst 6 Necktag® (4 Tiertransponder und 2 Referenztransponder) mit Ortungsfunktion & Sensorik der **Necktag® Version 1** bereit. Die Sensorik umfasst die Messung der:

- Temperatur
 - Relative Luftfeuchte
 - Lichtstärke
 - Batteriespannung
- **Intelligentes Necktag® Version 2 (Seit 14.06.2023)**

Im Zuge der Projektverlängerung und unter Beachtung des Projektstandes der NU Arbeitspunkte (AP2, AP3, AP4) entschloss sich die Schneider Elektronik GmbH & Co.KG zu eigenen hardware und softwaretechnischen Entwicklungen und Weiterentwicklungen im Bereich der Sensorik sowie Eigenentwicklungen im Bereich Energy Harvesting. Die neue Sensorik fand Realisierung in der **Necktag® Version 2** und umfasste die Messung von:

- Temperatur
- Luftfeuchte
- Luftdruck
- Lage
- Luftgüte
- Versorgungsspannung

Die Ortungsfunktion und die Möglichkeit zur Verwendung von beliebiger Aktorik (z.B. Anschluss eines Halbleiterrelais zum Nutzen der Schatlfunktion des Tags) ist ebenfalls implementiert. Die **Necktag® Version 2** umfasst zudem ein neukonstruiertes, verkleinertes und abgeschrägtes stalltaugliches Necktag®-Transpondergehäuse mit Bügel zur Anbringung am Halsband. SE fertigte und stellte am 14.06.2023 und 19.06.2023 insgesamt 9 **Necktag® Version 2** für die weitere Versuchsdurchführung durch LfULG und HSNB bereit. In Abbildung 11 ist die **Necktag® Version 2** dargestellt. Die Anbindung der Sensorik zur Messung von Lufttemperatur-, Luftfeuchte und Luftgüte ist über eine spezielle Gehäuseanbindung realisiert.



Abbildung 11: Necktag® Version 2

Mit **Necktag® Version 2** wurden den Projektpartnern HSNB und LfULG weitere Möglichkeiten gegeben die bisher erfassten sensorischen Parameter sowie neue Parameter hinsichtlich physikalischer und chemisch / biologischer Kenngrößen über mehrmonatige Langzeitversuche bis zum Ende der Projektlaufzeit zu untersuchen.

• Intelligentes Necktag® Version 3 (27.07.2023)

Im Zusammenhang mit dem 6. Meilenstein (Entscheidung über weitere Begleitung der Technologiereife von IoL) und einen daraus resultierenden erfolgreichen Projektabschluss wurden in **Necktag® Version 3** die SE softwareseitigen und hardwareseitigen Eigenentwicklungen im Bereich Energy Harvesting implementiert und die Entwicklungen der Ortung, Aktorik & Sensorik aus **Necktag® Version 2** genutzt. Hierfür wurden zudem die SE seitigen Entwicklungsschritte aus AP8 (intelligentes Tag) zusätzlich eingebunden, um ein effizientes Energiemanagement zu gewährleisten und zusätzliche sensorische Entscheidungsunterstützungen an die Antennenbasisstationen zu übermitteln. **Necktag®**

Version 3 basiert auf der grundlegenden Gehäusekonstruktion aus der Version 2 mit angepasster Anbringungsmöglichkeit der SE eigenen Energy Harvesting Solar Hardwareelemente und dem Bügel zur Anbringung am Halsband (siehe Abbildung 12). Zwei **Necktag® Version 3** wurden dem LfULG & HSNB am 27.07.2023 durch SE zur dauerhaften Erprobung in Stallumgebung am LVG Köllitsch bereitgestellt.



Abbildung 12: Necktag® Version 3

• Intelligentes Necktag® Version 4 (24.10.2023)

Necktag® Version 4 besitzt einen neuen Gehäusekonstruktionsansatz. Das Tag-Gehäuse ist als Ohrmarkenform entworfen und konstruiert (siehe Abbildung 13). Der Formfaktor ist an den herkömmlichen auf den Markt erhältlichen Ohrmarkengrößen angelehnt. Das Tag beinhaltet zudem die SE eigene Solar Energy Harvesting Funktion und enthält skalierbare Implementierungsmöglichkeiten der bisher durch SE entwickelten Sensorik aus Version 2 bzw. Version 3. Um das Gehäuse flexibel zu gestalten, konnte SE im Zuge dieser Entwicklungsstufe erfolgreich ein eigenes Spritzgussverfahren entwickeln und anwenden.



Abbildung 13: Necktag® Version 4 im Vergleich zu einer herkömmlichen Ohrmarke

Mit der **Necktag® Version 4** wurden dem LfULG & HSNB zwei weitere Necktag®-Transponder am 24.10.2023 durch SE bereitgestellt. Die Tags konnten vom LfULG über eine Nietvorrichtung erfolgreich am Halsband der Tiere angebracht werden.

II.1.8 AP 8: Zusammenführung zum intelligenten Tag

(Federführung: NU, SE)

• Arbeiten von SE bzgl. NU-Energy Harvesting

Die Richtwerte der einzusetzenden SE Mikrocontroller-Zentraleinheit bezüglich des Versorgungsspannungsbereiches und des Energiebedarfs in Abhängigkeit verschiedener Schnittstellen zur NU Sensorik sowie verschiedener Betriebs- und Energiemodi wurden an NU nach Rücksprache per E-Mail am 16.06.2021 übermittelt. Diese dienten zur grundlegenden Energieverbrauchsschätzung und zur NU seitigen Energy Harvesting Konzeptionierung.

Am 03.02.2022 erfolgte zwischen NU und SE bilateral eine Abstimmung zur Hardwarespezifizierung insbesondere bzgl. des Energieverbrauchs der Datenübertragung sowie zum konstruktiv bedingten Platzbedarf der Hardwaremodule im Tag-Gehäuse. Daran anknüpfend wurden beziehungsweise zu diesem Arbeitspunkt und zum Energy Harvesting (AP2) die Energiebedarfswerte der Mikrocontroller-Zentraleinheit mit Funktechnik durch SE mittels Messungen weiter konkretisiert und an NU am 09.02.2022 übermittelt.

Im Zuge des Projekttreffens am LVG Köllitsch am 22.06.2023 einigten sich die Projektpartner als Funktionsnachweis des NU-Energy Harvesting Funktionsmusters auf die Inbetriebnahme von zwei NU-Energy Harvesting Boards in der Versuchsgruppe im LVG Köllitsch, um die Energieerzeugung und die Funktionalität in Stallumgebung zu untersuchen:

- NU-Energy Harvesting & NU-Sensorboard laufen autark vom SE Necktag®, d.h. NU-Sensorboard wird von NU-Energy Harvesting gespeist, es besteht keine Datenverbindung zum SE Necktag®
- SE Necktag® besitzt hierfür eine eigene Energiequelle und überwacht die Spannungen am NU-Energy Harvesting an max. 2 von NU definierten Punkten und versendet diese über Funk (BLE_5.1) zur weiteren Auswertung

In der nachfolgenden Videokonferenz vom 06.07.2023 wurde den Projektpartnern durch NU mitgeteilt, dass NU für den Funktionsnachweis der Funktionsmuster einen eigenen Datenlogger statt einem SE Necktag® für den Funktionsnachweis einsetzt.

• Arbeiten von SE bzgl. NU-Gehäuseentwürfe

Nach bilateralen Absprachen zwischen SE und NU erfolgte durch SE die Fertigung von zwei verschiedenen NU Gehäuseentwürfen im Rahmen der Projektlaufzeit. Der erste zu fertigende Gehäuseentwurf wurde von NU an SE am 06.02.23 übermittelt. SE führte nach bilateraler Absprache die Fertigung von 2 Aluminiumgehäusen und dazugehörige Bügel zur Anbringung am Kuhhalsband durch und übersandte diese am 09.02.23 an NU. Der zweite zu fertigende Gehäuseentwurf wurde von NU an SE am 30.06.23 übermittelt. Daran schloss

sich durch SE die Fertigung von 2 Gehäusen und dazugehörige Bügel nach Absprache in KW31 2023 an und wurde am 07.08.2023 an NU übersandt.

• **Arbeiten von SE bzgl. NU-Sensorik Modul**

Vom Projektpartner NU wurde eine Hardware-Schnittstellendefinition erstellt, welche die Kommunikation mit dem NU-Sensorik Modul hardware- und softwaretechnisch beschreibt. Die Schnittstellendefinition wurde durch NU am 7.10.2022 an SE über den im Projekt genutzten Cloudzugang übergeben. Das NU-Sensorik Modul erhielt SE postalisch am 15.10.2022. Auf Basis der Hardwareschnittstellendefinition schlossen sich seitens SE ausführliche Tests hinsichtlich der zu Verfügung stehenden definierten Kommunikationsschnittstelle des NU-Sensorik Moduls an. Hierbei waren nach bilateraler Rücksprache zwischen SE und NU weitere notwendige softwaretechnische Verbesserungen durch NU am NU Sensorik-Modul notwendig. Daraufhin übersandte SE am 04.01.2023 das NU-Sensorik Modul zum Firmware-Update an NU. SE erhielt das NU-Sensorik Modul mit einer neuen Firmware-Version in KW 04 2023 zurück. Nach erneuter ausführlicher Testung der Kommunikationsschnittstelle am 30.01.2023 durch SE wurde weiterhin ein Problem im Ansprechverhalten der Schnittstelle des NU-Sensorik Moduls festgestellt. Zur Problemlösung waren weitere notwendige softwaretechnische Verbesserungen durch NU am NU-Sensorik Modul sowie eine neue NU-Sensorik Modul Version notwendig. Im Zuge der Projekt-Videokonferenz am 18.04.2023 einigten sich NU und SE auf einen bilateralen Übergabetermin der neuen NU-Sensorik Modul Version mit neuer Firmware-Version. Dieser Termin folgte am 20.04.2023. An diesem Termin schlossen sich erneut ausführliche Tests durch SE hinsichtlich der Kommunikationsschnittstelle und dem Auslesen der Sensordaten vom NU-Sensorik Modul an. Die Tests waren erfolgreich, jedoch waren in dieser Firmware-Version noch nicht alle Funktionen durch NU hinsichtlich dem Auslesen realer Sensordaten implementiert. Dies wurde nach bilateraler Rücksprache von NU per E-Mail am 03.05.2023 bestätigt. Zum Projekttreffen am 22.06.2023 im LVG Köllitsch einigten sich die Projektpartner auf Basis des Fortschritts des AP8 darauf, dass das SE Necktag® (V2) mit Ortungsfunktion und SE Sensorik nach wie vor zur weiteren Datenaggregation am LVG Köllitsch genutzt wird.

Im Zuge der Projektverlängerung und in Abhängigkeit des Projektstandes zu diesem Zeitpunkt in den AP 2,3,4 und AP 8 entschloss sich die Schneider Elektronik GmbH & Co.KG eigene Entwicklungen in den Bereichen Sensorik und Energy Harvesting zu realisieren und bis zum Projektabschluss eine ausführliche mehrmonatige praxistaugliche Testung von SE Sensorik und SE Energy Harvesting, welche zusammengeführt im SE eigenen intelligenten **Necktag®** Funktionsmuster sind, durchzuführen. Diese SE eigenen Entwicklungen sowie ausführliche Testungen wurden im Labor und in der Versuchsgruppe im LVG Köllitsch erfolgreich durch SE

in Zusammenarbeit mit dem LfULG und HSNB durchgeführt, wodurch der Funktionsnachweis der intelligenten **Necktag®** Funktionsmuster erbracht wurde.

• SE eigenes intelligentes Necktag®

Die Komponenten für das intelligente Necktag® umfassen die Zusammenführung aus SE Necktag® Sensorik, SE Necktag® Energy Harvesting und SE Mikrocontrollerzentraleinheit (siehe Abbildung 14). Um ein effizientes Energiemanagement zu gewährleisten sowie die Echtzeitortungsdatenpakete, Aktorik- und Sensordaten und zusätzliche sensorische Entscheidungsunterstützungsdaten an die Antennenbasisstationen zu übermitteln, ist für die Mikrocontrollerereinheit eine geeignete Firmware durch SE im Rahmen des AP8 entwickelt wurden.

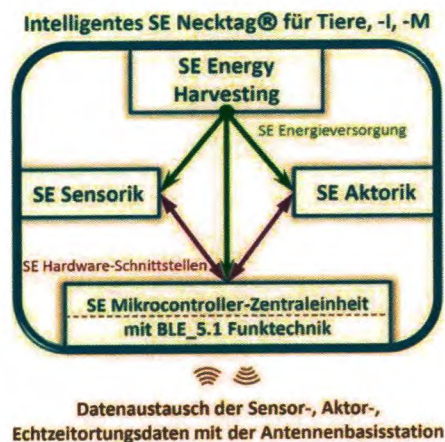


Abbildung 14: intelligentes SE Necktag® für Tiere, Maschinen und Einrichtungen sowie Operatoren

Die Sensorik und deren Funktionalitäten sind im AP 7 unter Necktag® Version 2 aufgeführt. Um flexibel das Mikro- und Makroklima an der Kuh erfassen zu können, sind die SE Sensor-Platinenlayouts modular gehalten und in einem gesonderten Gehäuse an der Necktag® Gehäuseabdeckung angebracht und mit speziellen Filtern ausgestattet (vgl. Abbildung #). In Abbildung 15 und Abbildung 16 sind die Leiterplatten für den Luftgütesensor und den Luftfeuchte- und Temperatursensor dargestellt. Lagesensor und Luftdrucksensor sowie Anschlussmöglichkeiten zur Zustandssteuerung für Aktorik sind auf dem Platinenlayout der Mikrocontrollerzentraleinheit implementiert.

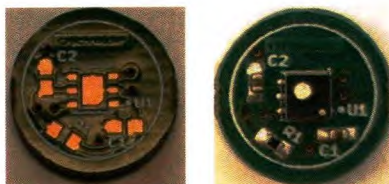


Abbildung 15: SE Platine Luftgütesensor (unbestückt und bestückt)

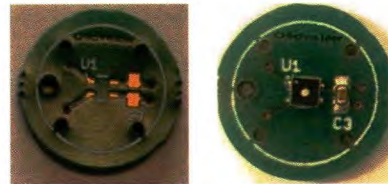


Abbildung 16: SE Platine für Luftfeuchte- und Temperatursensor (unbestückt und bestückt)

In Abbildung 17 ist die SE Energy Harvesting Platine abgebildet. Hierbei ist der Anschluss verschiedener Energy Harvesting Quellen möglich. Im Labor wurden durch SE erfolgreich die Varianten Solar-, Piezo- und Seebeck-Elemente getestet. Für den Funktionsnachweis der intelligenten **Necktag®** Funktionsmuster entschied sich SE für den Einsatz von Solarzellen. Als Energiespeicher dient ein Superkondensator.



Abbildung 17: SE Energy Harvesting Platine

II.1.9 AP9: Softwareentwicklung

(Federführung: SE)

Zur Evaluierung und experimentellen Erprobung der **Necktag® Version 0** (CC2650 Sensortags, vgl. AP7) im Labor und im LVG Köllitsch wurde die Software „IOL Start“ im Projektzeitraum 2021 entwickelt (Abbildung 18) und auf dem IOL HOST - PC Version 2021 (vgl. AP6) eingerichtet. Diese dient zum bidirektionalen Datenaustausch mit der Sensorik und Aktorik der CC2650 Sensortags mit Datenvisualisierung sowie zur Speicherung der Rohdaten in der IOL-Datenbank.

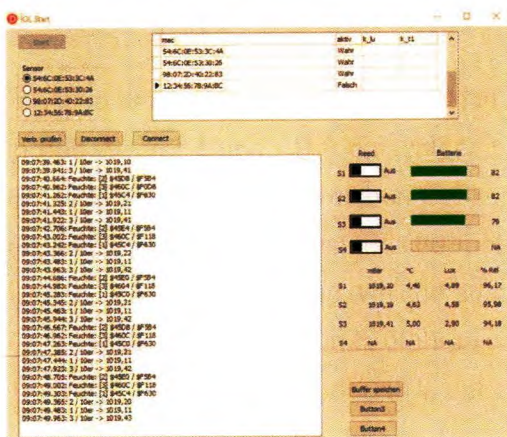


Abbildung 18: „IOL Start“

Im Projektzeitraum 2022 wurden gemäß dem Pflichtenheft und dem IoL-Schichtenmodell der Vorhabenbeschreibung folgenden Softwareentwicklungsetappen durchgeführt:

- Software „IoL“ zur 3D Echtzeitortung der Necktag® Transponder sowie Abholung der Transponder-Messdaten und Speicherung dieser Werte in der IOL Datenbank für weitere Auswertungen (siehe Abbildung 19) und plattformunabhängiger Schnittstelle zu übergeordneten Fremdsystemen

- Webbasierte plattformunabhängige Software mit Anzeige für Ortung und Tracking sowie Anzeige der Sensordaten verschiedener Transponder (siehe Abbildung 20)
- Entwicklung Transponder-Firmware mit Ortungsfunktion, Sensorik- und Aktorik Funktion und intelligentem Energiemanagement der verschiedenen Necktag® Versionen
- Antennenbasisstation-Firmware für die Transponder-Ortung und Datenaustausch

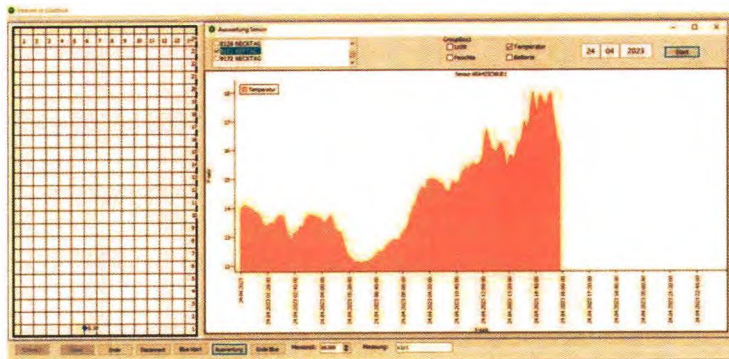


Abbildung 19: Software „IoL“

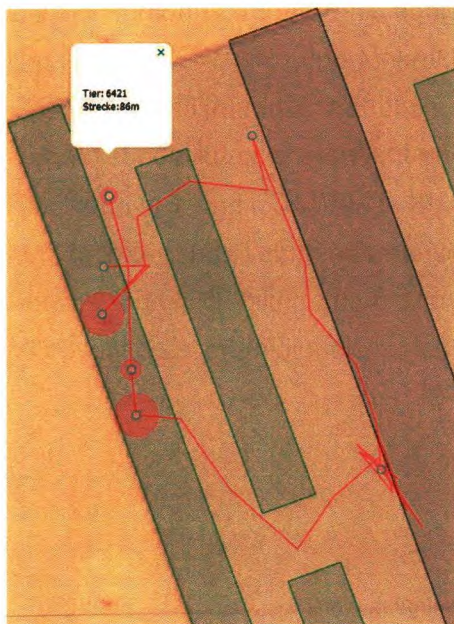


Abbildung 20: Plattformunabhängige Software „IoL Farm“ zur auswählbaren Anzeige von Echtzeitortungs-, Tracking- (hier dargestellt) und Sensordaten in Versuchsgruppe 12 im LVG Köllitsch

II.1.10 AP 10: Systemintegration

(Federführung: SE)

Gemäß der Vorhabenbeschreibung wurden folgende Etappen zur Systemintegration durch SE vorgenommen:

- 24.09.21 Integration und in Betriebnahme von Host-Computer Version 2021 (vgl. AP 6) und BLE_5.1 Antennenstation im Stall (LVG Köllitsch)

- 24.09.21 Übergabe von 3x Necktag® Version 0 an das LfULG
 - 2 Transponder an Kühen und 1 Referenztransponder
- IoL-Ortungssystem
 - 06/2022 – 08/2022 statische Vortests durch SE im Labor und im Freifeld bei SE
 - 08/2022 Integration des IoL-Ortungssystems in der Turnhalle des LfULG zur statischen Erprobung mit Bereitstellung von zwei Necktag® zur Versuchsdurchführung (basierend auf Necktag® Version 1)
- Am 30.11.2022 wurden im Lehr- und Versuchsgut Köllitsch von SE folgende Funktionsmuster integriert:
 - neuer Host-Computer (Version 2022) mit IOL Datenbank und integrierter Software
 - 5x Antennenbasisstation zur Transponder-Ortung & Sensordatenaggregation (siehe Abbildung 21)
 - Übergabe von 6x Necktag® Version 1 an das LfULG
- Juni 2023 (14.6.23 & 15.6.23) durch SE Übergabe von insgesamt 9x Intelligentes Necktag® Version 2 an das LfULG
- 14.6.23 Installation und Inbetriebnahme SE IOL Gateway-Antennenbasisstation (s. AP 6 und siehe Abbildung 22)
- 27.07.23 Übergabe 2x Intelligentes SE Necktag® Version 3 an das LfULG
- 27.07.23 Übergabe 2x Intelligentes SE Necktag® Version 4 an das LfULG

Stetige Testmessungen und Wartungsarbeiten der IoL Funktionsmuster schlossen sich jeweils an den Terminen an. Des Weiteren befinden sich seit dem Projektzeitraum 2023 bei SE zusätzlich folgende Komponenten in Laborumgebung zur stetigen Weiterentwicklung im Zusammenspiel mit AP9:

- 3x Antennenarray
- 1x IOL-Gateway
- Gefertigte Necktag® der Versionen 1,2,3,4
- Host-Computer

Der „AP10: Systemintegration“ wurde erfolgreich gemäß der Aufgaben-, Zeit- und Meilensteinplanung abgeschlossen.



Abbildung 21: Integration 5x Antennenarray am 30.11.2022 im LVG Köllitsch (Arrays sind rot umkreist)



Abbildung 22: Integration IOL-Gateway im LVG Köllitsch

II.1.11 AP 11: Experimentelle Erprobung

(FF: LfULG, Beteiligte: SE, NU, HSNB)

Vorbereitend zu den experimentellen Erprobungen und Feldversuchen durch das LfULG und der HSNB erfolgten durch SE Evaluierungsmessungen. Diese umfassten die Antennenbasisstation und die Necktag® Transponder in Freifeldversuchen und Laborversuchen sowie Versuche zur weiteren Algorithmenentwicklung. Alle Zuarbeiten wurden von SE in diesem Punkt gemäß der Aufgaben-, Zeit- und Meilensteinplanung erfolgreich abgeschlossen.

II.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die Hauptpositionen umfassen Lohn- und Materialkosten.

Bei den Materialkosten handelt es sich um die notwendigen Hardware- und Gehäusekomponenten für die Necktag® Transponder und deren Sensorik und Aktorik, dem Host-PC mit IOL-Datenbank und den Antennenbasisstationen. Diese Komponenten wurden Einzel- und im Verbund zur Echtzeitlokalisierung, Sensordatenaggregation, Datenaustausch und Versuchsdurchführung im Labor sowie am LVG Köllitsch benötigt und waren für die erfolgreiche Durchführung des Projektes unerlässlich.

Bei der Hauptposition Lohnkosten bzw. dem Personaleinsatz entwickelten, evaluierten und fertigten Elektronikingenieure, Elektroniker und Mechaniker die spezifischen elektrischen, mechanischen und elektronischen Komponenten, montierten und integrierten die komplexen Einzel- und Verbundsysteme und implementierten die systembedingte Software und hielten die Systeme instand. Die aufgeführten Positionen betreuten die verschiedenen Aufgabengebiete Mechanik, der Softwareentwicklung, Elektronikfertigung und Aufbau. Daran schloss sich ebenso die Betreuung, Wartung und Pflege der IOL-Datenbank und der IOL-Funktionsmuster für die Feldversuche an. Die Anzahl der Arbeitsstunden ergibt sich in diesem Projekt durch die Vielzahl der verschiedenen Arbeitsetappen die zur Realisierung der einzelnen Arbeitspakete benötigt wurden.

II.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeit

Durch die von SE geleisteten umfassenden Hard- und Softwareentwicklungen für die Antennenbasisstation und dem HOST-PC mit IOL-Datenbank sowie der Necktag® Transponder in Verbindung mit der durch SE bereitgestellten und entwickelten SE eigenen Sensorik, wurden den Projektpartnern LfULG und HSNB die Voraussetzungen zur Durchführung der wissenschaftlichen Exaktversuche zur Aggregation der XYZ-Ortungskordinaten und Sensordaten gewährleistet. Mit den geleisteten Arbeiten ermöglichte SE den Projektpartnern HSNB und LfULG Feldmessungen, Langzeitversuche und Speicherung der Mess- und Versuchsdaten am LVG Köllitsch über die gesamte Projektlaufzeit. Darüber hinaus konnte SE durch Eigenentwicklung eines funktionalen und effizienten Energy Harvesting mehrmonatige Langzeitversuche im Labor sowie am LVG Köllitsch gemeinsam mit den Projektpartnern HSNB und LfULG durchführen.

II.4 Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses

Die Entwicklungen und Ergebnisse im Bereich der Necktag® Transpondertechnik sowie deren realisierte Multifunktionalität im Bereich der Funktechnik, Echtzeitlokalisierung, Sensorik und Aktorik haben die Expertise und das Produktportfolio der Schneider Elektronik GmbH und Co.KG um vielseitige und hochskalierbare Anwendungsbereiche erweitert. Auf Basis des Necktag® Designs und dem energiesparenden, robusten und bulkfähigen Bluetooth Low Energy Funkprotokoll kann eine kurzfristig flexible und adaptive Produkthanpassung für vielfältige Anwendungsgebiete und Szenarien erfolgen. Neben der Erschließung vielfältigster Anwendungsgebiete innerhalb des landwirtschaftlichen Bereiches erschließen sich für SE auch außerhalb der Landwirtschaft neue Anwendungsgebiete und Marktsegmente bei denen Aufgaben in der Ortung, Sensorik und Aktorik in Verbindung mit batterielosen aber auch batteriebetriebenen Einsatzfeldern erforderlich sind. Anwendungsgebiete außerhalb der Landwirtschaft sind hierbei beispielsweise im industriellen Sektor, im Logistikbereich oder im Smart Home Bereich angesiedelt.

Die entwickelte Antennenbasisstation und HOST-PC Software dienen zur plattformunabhängigen und vernetzten Necktag® 3D-Echtzeitlokalisierung, Sensordatenaggregation, Aktoriksteuerung und Datenaustausch. Durch die plattformunabhängige Systemkonzeption kann das Gesamtsystem beispielsweise als skalierbares Zusatzmodul zu übergeordneten Farmmanagement- und Informationssystemen angeboten und integriert werden.

Weiterführend konnten die im Zuge des Projektes durch SE entwickelten Hard- und Softwaremodule in weiteren Produktpaletten der Schneider Elektronik GmbH & Co.KG erfolgreich migriert und verwertet werden.

Die entwickelte Technik und das dazugewonnene technische Know-how finden außerdem im Bereich der robusten Gerätefertigung für raue Umgebungen Verwendung. Die Schneider Elektronik GmbH & Co.KG konnte des Weiteren ein eigenes Spritzguss- und Lasergravurverfahren zur Herstellung der Necktag® Transpondergehäuse firmenintern implementieren.

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 am 06.12.2021 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 Demonstratorsystem unter 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	-	Projektvorstellung mittels Poster bei der Agra auf der Aktionsfläche
24.04.2022		„Tierwohl“ in Leipzig durch die LfULG
27.-28.02.2024		Präsentation Projektkarte bei GIL Tagung an der Universität Hohenheim durch DigiTier
11.04.2024	-	Vorstellung Projektergebnisse bei der Mitteldeutschen
14.04.2024		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, die gleichzeitig 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.