

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: Nubix Software-Design GmbH (NU)

Förderkennzeichen: 281C208B19

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)



Abschlussbericht zum Projekt „Internet of Livestock“ (IoL)

Zuwendungsempfänger: nubix Software-Design GmbH (NU)	Förderkennzeichen: 281C208B19
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: NU
Projektleitung: Annett Baudisch
Breitscheidstraße 36
01237 Dresden

Tel.: +49 351 479 38 29
Fax.: +49 351 479 38 20
E-Mail: annett.baudisch@nubix.de

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	2
Abbildungsverzeichnis.....	4
Tabellenverzeichnis.....	5
I Kurze Darstellung.....	6
I.1 Ursprüngliche Aufgabenstellung sowie der wissenschaftliche und technische Stand an den angeknüpft wurde.....	6
I.1.1 Aufgabenstellung	6
I.1.2 Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte	7
I.1.3 Verwendete Fachliteratur (Stand des Wissens).....	7
I.2 Ablauf des Vorhabens.....	8
I.3 Wesentliche Ergebnisse sowie ggf. Zusammenarbeit mit anderen Stellen.	9
I.3.1 Wesentliche Ergebnisse.....	9
I.3.2 Zusammenarbeit mit anderen Stellen	10
II Eingehende Darstellung.....	11
II.1 Durchgeführten Arbeiten und Ergebnisdarstellung (insbesondere im Vergleich zur ursprünglichen Vorhabenbeschreibung)	11
II.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises.....	28
II.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeit.....	28
II.4 Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses	28
II.5 Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen	29
II.6 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses	29
II.6.1 Erfolgte Veröffentlichungen und Tagungsbeiträge.....	29
II.6.2 Geplante Veröffentlichungen.....	30
II.6.3 Studentische Graduierungsarbeiten.....	30
II.6.4 Messeteilnahmen/Konferenzen.....	30
II.6.5 Gebrauchsmuster, Patente	31
III Erfolgskontrollbericht.....	32

Abschlussbericht zum Projekt „Internet of Livestock“ (IoL)

III.1 Wissenschaftlich-technisches Ergebnis des Vorhabens, erreichte Nebenergebnisse und gesammelte wesentliche Erfahrungen	32
III.2 Fortschreibung des Verwertungsplans	32
III.3 Angaben zu Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben	32
III.4 Angaben über die Einhaltung der Ausgaben- und der Zeitplanung	32

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Arbeitspakete und Meilensteine des Vorhabens und die zeitliche Planung der Durchführung (Farben kennzeichnen den Federführenden; gelbe Markierung zeigt gemeinschaftliche AP auf).....	9
Abbildung 2: Messaufbau Solarzelle	12
Abbildung 3: Messung Leistung Solarzelle	13
Abbildung 4: Messaufbau Peltier-Element	14
Abbildung 5: Funktionsmuster.....	15
Abbildung 6: Blockschaltbild Harvester	17
Abbildung 7: Energy-Harvester	17
Abbildung 8: Solarzellenspannung am Eingang des Solarharvesters	19
Abbildung 9: Aufstartverhalten nach Anschluss der Solarzelle	19
Abbildung 10: Verhalten, wenn Akku voll	20
Abbildung 11: Umschaltung Kondensator - Akku.....	21
Abbildung 12; Verhalten bei leerem Akku	22
Abbildung 13: Sensorshield für Arduino Uno	23
Abbildung 14: Blockschaltbild Sensorboard	24
Abbildung 15: Sensorboard.....	24
Abbildung 16: Schnittdarstellung des Aufbaus.....	26
Abbildung 17: 3D-Modell Gehäuse	26
Abbildung 18: Funktionsmuster.....	27

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Energieausbeute Peltier-Element.....	15
---	----

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 in einem Demonstrator 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 Demonstratoren 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 des Demonstratorsystems 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,

Lüften und Licht werden typischerweise Klimadaten durch Messung von Außentemperatur, Windgeschwindigkeit, Niederschlag und Lichtmenge (Lux) außerhalb der Stallhülle herangezogen (Benz 2023). Dabei empfiehlt die Schweizer Eidgenossenschaft (2009) Messungen zur Beurteilung des Stallklimas prinzipiell im Tierbereich vorzunehmen. Nach aktuellem Stand des Wissens, gibt es keinen evaluierten Sensor, welcher Messungen des Mikroklimas an der Kuh vornimmt und daraus automatisierte Maßnahmen zur Verbesserung des Stallklimas ableitet.

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

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

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

I.2 Ablauf des Vorhabens

Das Projekt war in folgende Arbeitspakete (AP) gegliedert:

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

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

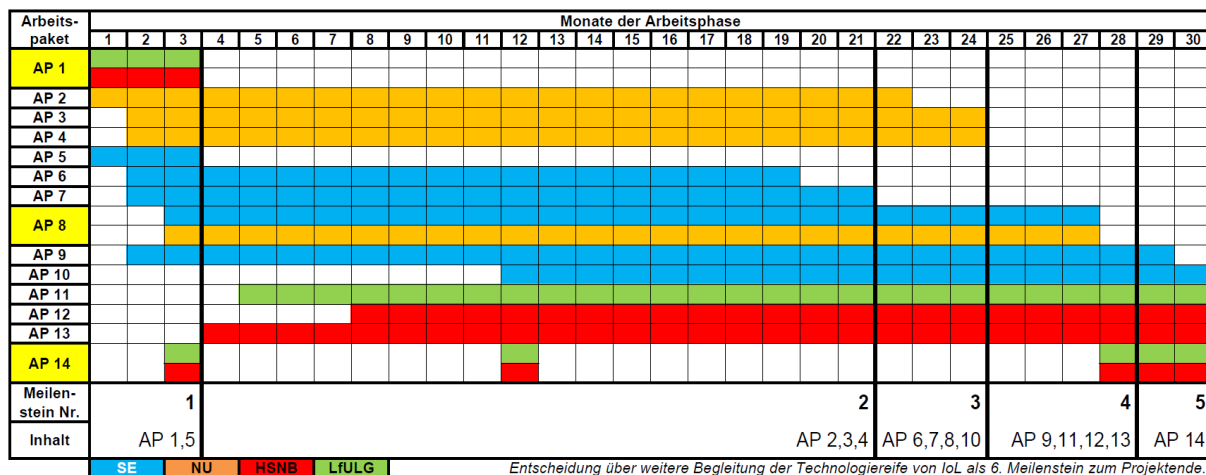


Abbildung 1: Arbeitspakete und Meilensteine des Vorhabens und die zeitliche Planung der Durchführung (Farben kennzeichnen den Federführenden; gelbe Markierung zeigt gemeinschaftliche AP auf)

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

I.3.1 Wesentliche Ergebnisse

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

Sensorik am Tier

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

Host-Computer

Der Host-Computer mit integrierter Software wurde im Stall eingerichtet und dient zur NECKTAG® Datenaggregation, Vorverarbeitung, Lokalisation und zum Tracking. Mittels der

entwickelten anwendungsoffenen HOST-PC Software-Schnittstelle wurde der plattformunabhängige Datenaustausch und die Vernetzungsmöglichkeit zu übergeordneten Farmmanagement- und Informationssystemen (Internet, Cloud oder Hof-Netzwerk) sowie die Rückkopplung von Steuerfunktionen an die o.g. Sensorik realisiert.

Antennenarray im Stall

Das Antennensystem zur Vernetzung der Sensoren sowie die Anbindung an den Host-Computer auf Basis von BLE_5.1 inkl. 3D-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.

I.3.2 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

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

II Eingehende Darstellung

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

Arbeitspaket 1: Erstellung Pflichtenheft

Vor Projektbeginn wurden gründliche Voruntersuchungen und Analysen in enger Zusammenarbeit mit den Projektpartnern durchgeführt. Diese waren maßgeblich, um die verschiedenen Blickwinkel und Anforderungen zu berücksichtigen und ein umfassendes Verständnis für die Herausforderungen des Projekts zu erlangen. Die Konzeption einer Versuchsdatenbank bildete einen weiteren zentralen Schritt. Diese Datenbank ist das Herzstück des Projekts und beinhaltet eine strukturierte Sammlung von Informationen, die während des Versuchs gesammelt werden. Sie dient dazu, die erhobenen Daten systematisch zu erfassen, zu speichern und zu analysieren, um bedeutende Erkenntnisse zu gewinnen. Im Verlauf der Planung wurden klare Spezifikationen für das zu entwickelnde Produkt oder die zu testende Technologie festgelegt. Diese Spezifikationen umfassten spezifische Details und Anforderungen sowie Bewertungskriterien für den Erfolg des Produkts. Es wurde ein grober Überblick über Eckdaten und Basisanforderungen definiert, wobei die minimalen Werte als Leitlinie für die Projektumsetzung galten, um sicherzustellen, dass die erwarteten Ergebnisse den definierten Standards entsprechen. Des Weiteren wurde die Einbindung der Nutzung des NECKTAG® aus einem vorherigen Förderprojekt als Teil der Rahmenbedingungen für die Studie berücksichtigt. Diese Entscheidung basierte auf früheren Erfahrungen und wurde in den Kontext der aktuellen Studie integriert. Zusammenfassend sind diese Schritte und Festlegungen von entscheidender Bedeutung, um eine solide Basis für das geplante Projekt zu schaffen. Sie dienen dazu, klare Richtlinien festzulegen, um einen reibungslosen Ablauf des Förderprogramms sicherzustellen und sicherzustellen.

Arbeitspaket 2: Energy Harvesting

Folgende Möglichkeiten des Energy Harvestings wurden untersucht:

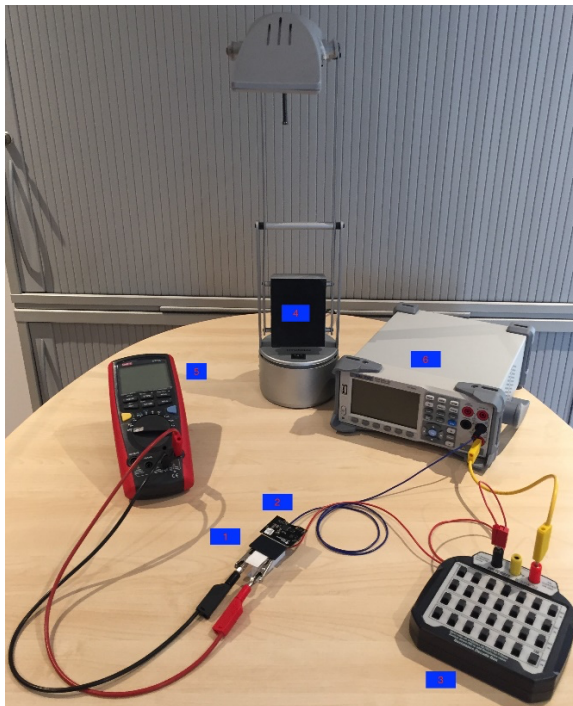
1) EH: Solarzelle

Eine weit verbreitete konventionelle und effektive Methode, um Energie zu gewinnen, besteht durch den Einsatz einer Solarzelle. Leider herrschen in den Ställen meist ungünstige Lichtverhältnisse. Hinzu kommen noch Beeinträchtigungen durch Verschmutzung usw. Zunächst wurden dazu Tests am Standort Köllitsch vorgenommen, und an allen denkbaren Bereichen Messungen der Lichtverhältnisse durchgeführt. Im Durchschnitt sind tagsüber nur etwa 150 - 250 Lux zu erwarten. Zum Vergleich, außerhalb des Stalls unter freiem Himmel

konnten Werte zwischen 10000 Lux (bewölkt) und > 50000 Lux (sonnig, Wert überstieg den möglichen Messbereich).

Daher wurden hier insbesondere Solarzellen, die speziell für diffuses Licht geeignet sind, genauer untersucht. Zu erwähnen sei hier noch, dass die Solarzelle ein möglichst breitbandiges Lichtspektrum benötigt, wie es bei Sonnenlicht oder auch bei Leuchtstoffröhren der Fall ist. Sollten in Zukunft die Ställe mit schmalbandiger LED-Beleuchtung ausgestattet werden, wird die Energieausbeute dadurch deutlich geringer ausfallen.

Von den elektrischen Parametern kamen mehrere Solarzellen in Frage, da sich aber auch die Abmessungen an dem bestehenden Gehäuse orientieren mussten, hat sich die Auswahl auf vier Typen reduziert. Untersucht wurden sie alle mit dem gleichen Messaufbau (Abbildung 1Abbildung 2).



1. Device Under Test (DUT Solarzelle)
2. Sensor zur Helligkeitsmessung
3. Widerstandsdekade
4. Lichtquelle
5. Digitalmultimeter zur Spannungsmessung
6. Digitalmultimeter zur Strommessung

Abbildung 2: Messaufbau Solarzelle

Die Messwerte für Strom und Spannung werden durch zwei digitale Multimeter erfasst. Die Helligkeit der Lichtquelle ist einstellbar, sodass die Solarzelle aufsteigend von 50 Lux bis 300 Lux beleuchtet wird. Der Laststrom ist durch die Widerstandsdekade variabel einstellbar. Daraus lässt sich die Leistung der Solarzelle in Abhängigkeit des Laststroms wie folgt darstellen (Abbildung 3):

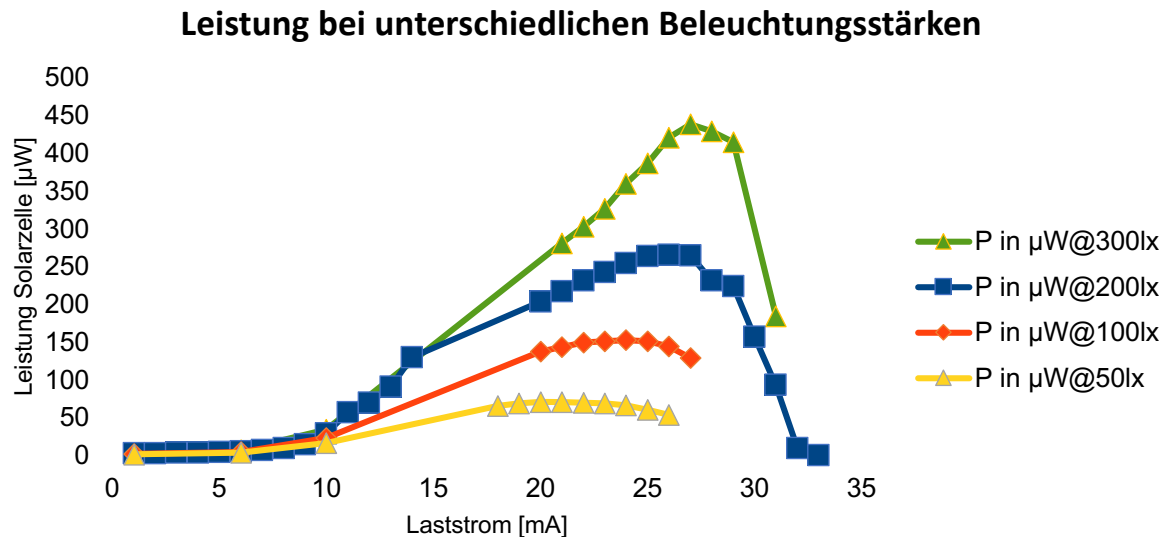


Abbildung 3: Messung Leistung Solarzelle

Das Diagramm zeigt die Solarzelle mit der höchsten gemessenen Effizienz, die dadurch auch für das Funktionsmuster gewählt wurde. Daraus ist ableitbar, dass sich die Leistung mit steigender Beleuchtungsstärke in etwa linear erhöht. Allerdings wurde bereits in diesem Entwicklungsstatus deutlich, dass die alleinige Energieversorgung über die Solarzelle nicht ausreichen wird.

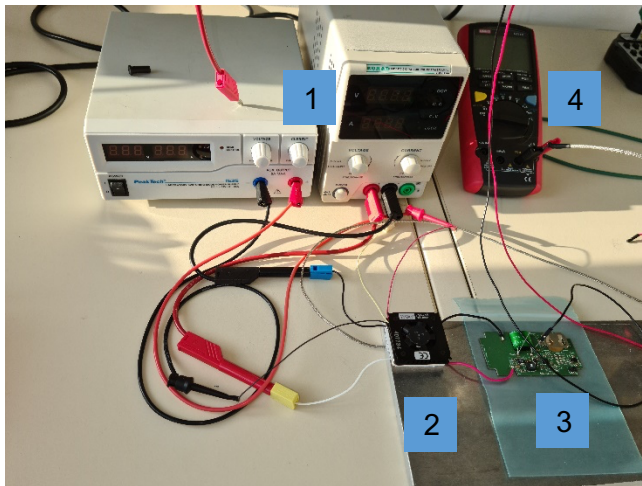
2) EH: Vibration

Es besteht die Möglichkeit, aus einer schwingenden Masse Energie zu gewinnen. Ein Prinzip nutzt piezoelektrische Materialien, die mit einer Ladungstrennung reagieren, wenn sie durch eine Bewegung oder eine periodische Vibration verformt werden. Piezoelektrische Generatoren erzeugen typischerweise große Spannungen im Bereich von zehn bis hundert Volt, aber nur sehr kleine Ströme. Die Idee hinter diesem Prinzip war, dass bei jedem Schritt und während des Wiederkauens der Kuh eine Masse beschleunigt und zum Schwingen angeregt wird, wodurch eine Energiegewinnung erzielt werden kann.

Eine weitere Methode mechanische in elektrische Energie umzuwandeln sind elektrodynamische oder induktive Generatoren, bei denen eine Kombination aus einem Magneten und einer Spule die Schlüsselemente für die Stromerzeugung sind. Wenn eine Kombination dieser Bauteile einer Vibration ausgesetzt ist und sich der Magnet relativ zur Spule bewegt, wird in der Spule ein elektrischer Strom induziert. Die Spannungen eines elektrodynamischen Generators sind typischerweise niedriger als die von piezoelektrischen Wandlern. Bei den Versuchen im Labor wurde allerdings festgestellt, dass hier Aufwand-Baugröße-Kosten-Nutzen in keinem Verhältnis zueinanderstehen, somit wurden diese beiden Arten der Energieerzeugung abgewählt.

3) EH: Peltier-Element

Eine ausgewachsene Kuh erzeugt eine Wärmeleistung von bis zu 1,5 kW, die sie über ihre Oberfläche abgibt. Aus diesem Grund wurde untersucht, ob aus Temperaturdifferenzen zwischen Kuh und Umgebung, Energie mittels des Seebeck-Effekts gewonnen werden kann. Diesen Effekt nutzt ein Peltier-Element aus, sodass ein Stromfluss erzeugt wird, wenn an diesem Element eine Temperaturdifferenz herrscht. Um diesen Effekt messtechnisch zu untersuchen, wurde ein entsprechender Messaufbau vorbereitet (Abbildung 4).



1. Netzteile zur Spannungsversorgung
2. DUT (Peltierelement)
3. Harvester-Board
4. Multimeter zur Temperaturmessung

Abbildung 4: Messaufbau Peltier-Element

Das zu untersuchende Peltier-Element (DUT) ist thermisch verbunden mit einer Kühlplatte, deren Temperatur direkt unter dem DUT mit dem Multimeter überwacht wird. Auf dem DUT befindet sich ein zweites Peltier-Element, welches als Wärmequelle fungiert (Temperaturdifferenz erzeugt einen Stromfluss <-> Stromfluss erzeugt Temperaturdifferenz). Die Temperatur auf der Oberseite des DUT wird mittels einer Thermokamera gemessen. Das Harvester-Board dient als Last und lädt einen Kondensator (470 mF). Der Kondensator wurde mit Absicht hinsichtlich der Kapazität überdimensioniert, damit der Harvester innerhalb des Testzeitraumes diesen nicht bis zur Ladeschlussspannung aufladen kann, wodurch eine korrekte Auswertung nicht mehr möglich gewesen wäre.

Es werden zwei Testläufe durchgeführt, einmal mit einer Temperaturdifferenz von 5 Kelvin und einmal mit 10 Kelvin. Die Dauer des Tests beträgt in beiden Fällen 30 Minuten. Es wird jeweils die Spannung des Kondensators zu Beginn und zum Ende des Tests messtechnisch festgehalten. Aus diesen Messwerten ergeben sich folgende Ergebnisse:

	5 K	10K
Spannung Testbeginn	0,08 V	0,146 V
Spannung Testende	2,01 V	2,695 V
Erzeugt Energie	0,948 Ws	1,702 Ws
Mittelwert der Leistung	527 μ W	945 μ W

Tabelle 1: Energieausbeute Peltier-Element

Unter Laborbedingungen konnte eine signifikante Energie gemessen werden, sodass diese Art der Energieversorgung in das Funktionsmuster integriert wurde. Dafür musste das vorgegebene Gehäuse so umgestaltet werden, dass das Peltier-Element direkt auf der Kuh platziert ist und das Gehäuse quasi als kühlendes Gegenstück wirkt. Störfaktor war hier, dass der Gurt zur Befestigung des NECKTAG® zwischen Kuh und Gehäuse verlief, sodass kein direkter Kontakt des Peltier-Elements mit der Kuh hergestellt werden konnte (Abbildung 5, links). Auch hier wurden später Anpassungen vorgenommen, sodass der direkte Kontakt zwischen Gehäuse und Kuh gewährleistet war (Abbildung 5, rechts).



Abbildung 5: Funktionsmuster

Bei der bisherigen Konstruktion des NECKTAG® verlief der Gurt einmal komplett um den Hals der Kuh. Diese Konstruktion wurde daher so verändert, dass der Gurt links und rechts als Schlaufe in den Bügel eingefädelt und anschließend mit sich selbst verbunden werden kann.

4) EH: Radio frequency energy harvesting (RFEH)

Eine weitere Methode besteht darin, Energie Kontaktlos zu übertragen. Hierbei stellte sich allerdings die Frage, ob die Einspeisung von Energie aus dem Energieversorgungsnetz

wirklich als Harvesting betrachtet werden kann. Die Kontaktlose Übertragung per RFEH beträgt zudem lediglich nur maximal 0,5 Meter, was zusätzlich eine Herausforderung an die Gestaltung des Stalls stellt.

Um die Technologie evaluieren zu können, kam ein Entwicklerboard zum Einsatz. Alle Bemühungen mit vorhandener Technik, dadurch Energie zu gewinnen, scheiterten jedoch leider kläglich. Die Energie, die durch Rundfunksender, WLAN usw. ausgesendet wird, reicht nicht aus um sinnvoll Energie zu gewinnen.

Viel effektiver ist hier der Einsatz spezieller Leuchtstoffröhren, die die vorhandene Solarzelle kurzzeitig mit einer hohen Energiemenge versorgt, sodass z.B. ein Akku aufgeladen werden kann. Als sinnvoller Einsatzort könnte hier der Melkstand in Frage kommen, in dem die Kühe eine gewisse Zeit verweilen.

Schlussfolgerung der Erkenntnisse

Trotz der schlechten Lichtverhältnisse in Stall und Melkstand, kann durch die Solarzelle ein bedeutender Energieertrag erreicht werden. Um die Energieversorgung aber auch in der Nacht zu gewährleisten, wird noch eine zweite, alternative Energiequelle benötigt. Aus den Messergebnissen heraus, fiel die Entscheidung auf das Peltier-Element. Unter bestimmten Bedingungen, kann durch diese Energiequelle eine signifikante Energiegewinnung erfolgen.

Das Peltier-Element wird dabei eher in den kühlen und dunklen Jahreszeiten die Energiegewinnung dominieren, da die Effizienz abhängig von der Umgebungstemperatur ist. Je kälter es im Stall ist, desto höher ist auch der Energieertrag. Das Gegenteil ist bei der Solarzelle der Fall, hier steigt die Effizienz in den hellen, sonnigen Tagen. Durch diese gerade gegenteiligen Bedingungen ist es möglich, ganzjährig Energie für das System bereitzustellen.

Anfertigung des Funktionsmusters

Der Schaltplan und das Layout für den Harvester wurden anhand der im internen Pflichtenheft definierten Anforderungen entwickelt und anschließend gefertigt. Prototypen für den Solarcontroller sowie das Peltier-Element wurden in Köllitsch jeweils testweise auf Kühe gebracht und diverse Tests (u.a. mit unterschiedlichen Gehäusevarianten) durchgeführt. Der erste Prototyp des Solarcontroller erwies sich als Fehlschlag aufgrund einer schlechten Energieausbeute. Der gewählte Solarcontroller war nicht für den Einsatz mit diffusem Licht geeignet, wodurch sich ein ungünstiges Verhalten zwischen Solarzelle und Harvester einstellte. Der Controller für das Harvesting des Peltier-Elements hingegen stellte sich als sehr effizient heraus und wurde auch beim zweiten Funktionsmuster beibehalten.

Ein neues Design mit einem anderen Solarcontroller und einem zusätzlichen Akkulader wurde entwickelt, um bei schlechter Energieausbeute der verwendeten Harvester, beispielsweise während der Nacht oder bei hohen Umgebungstemperaturen, eine verbesserte Leistung zu erzielen. Überschüssige Energie wird genutzt, um den Akku zu laden, beispielsweise bei direkter Sonneneinstrahlung. Die Abbildung 6 zeigt das Blockschaltbild des finalen Designs.

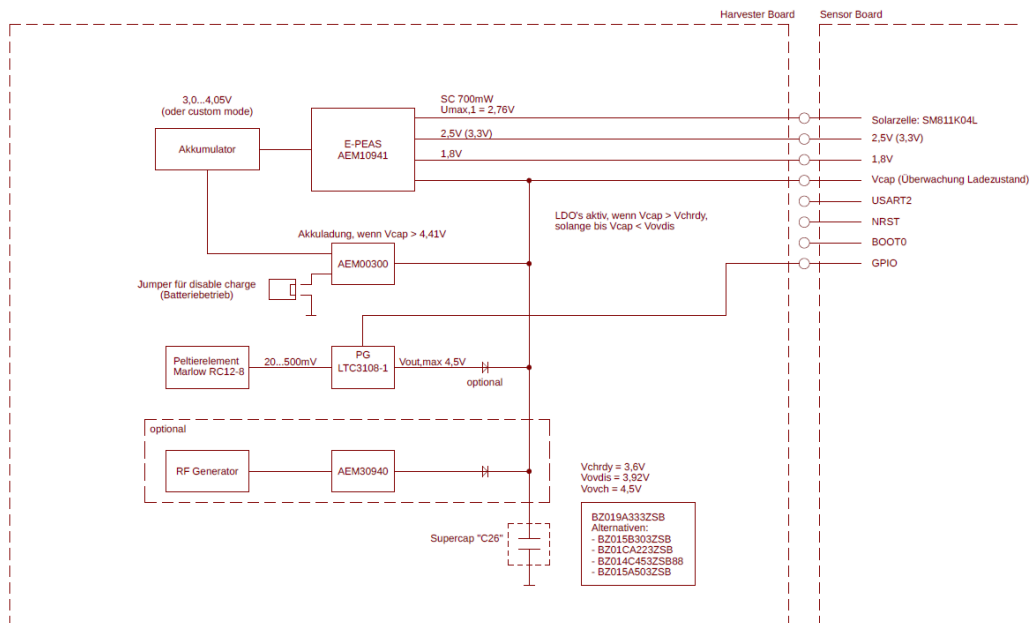


Abbildung 6: Blockschaltbild Harvester

Auf Basis dieses Blockschaltbilds entstand der Prototyp des Energy-Harvesters (Abbildung 7). Die Platine an sich kann deutlich kleiner gestaltet werden. Da jedoch der Platz im Gehäuse vorhanden war, konnten mehrere Konfigurationselemente integriert werden, um später nach den ersten Tests noch Anpassungen an verschiedenen Spannungsschwellen etc. vornehmen zu können.



Abbildung 7: Energy-Harvester

Zur Funktionsweise:

Sobald die Solarzelle Energie liefert, wird der Supercap als Puffer geladen und das gesamte System erwacht zum „leben“. Der Puffer ist notwendig, um die Impulsströme während des Sendevorgangs bereitzustellen. Parallel dazu, wird der Puffer durch das Harvesting des Peltier-Elements mit aufgeladen. Ist der Puffer hinreichend aufgeladen ($> 90\%$), wird die weitere Energie benutzt, um den Akku zu laden. Steht keine ausreichende externe Energie zur Verfügung, kann das System kurzzeitig durch den Puffer gestützt werden. Ist auch diese Energiequelle erschöpft, wird unterbrechungsfrei in den Akkubetrieb umgeschaltet. Der Akku ist bei vollständigem Ladezustand in der Lage, das System abhängig von den Verbrauchern bis zu 20 Stunden zu betreiben. Im folgenden Abschnitt wird noch einmal genauer auf das Verhalten gesamten Systems eingegangen.

Inbetriebnahme des Harvesters

Folgende Controller werden im Bericht untersucht

- AEM10941 - Harvester für Solarzelle
- AEM00300 - Akkulader

Bedeutungen / Abkürzungen

- $V_{ovdis, cap}$ - minimale Entladespannung Cap
- $V_{chr dy}$ - Spannung charge ready
- $V_{src, reg}$ - Schwelle für Start Akkuladung
- $V_{ovch, cap}$ - Ladeschlussspannung Cap
- $V_{ovdis, akku}$ - minimale Entladespannung Akku
- $V_{ovch, akku}$ - Ladeschlussspannung Akku

Folgende Legende gilt für die Oszillogramme

- gelb - Cap-Spannung (V_{cap})
- grün - VDD (= 1,8V)
- lila - Akku-Spannung

Nach dem Verbinden der Solarzelle (SZ) mit dem Harvesterboard (HB), wird aller 6s die Leerlaufspannung gemessen und danach so belastet, dass die Spannung auf einen eingestellten Wert von 75% zusammenbricht. Dieser Wert entspricht laut Datenblatt der Solarzelle deren maximum power point (MPP).

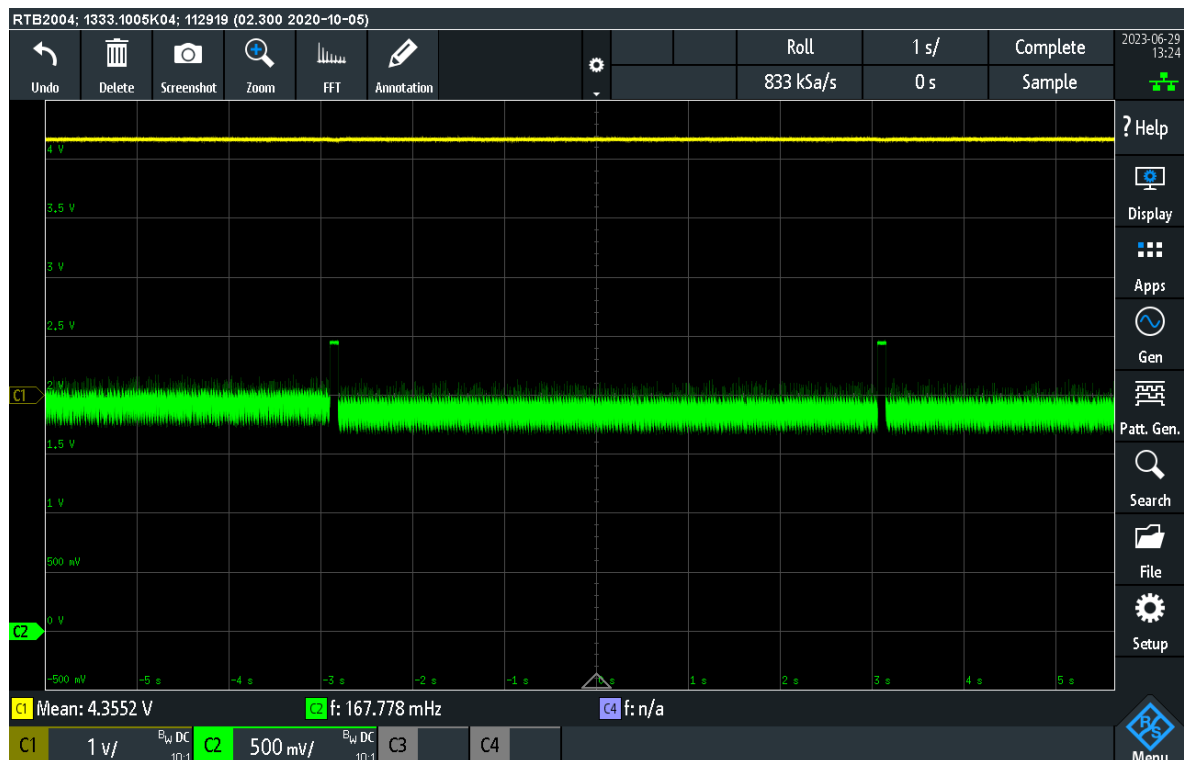


Abbildung 8: Solarzellenspannung am Eingang des Solarharvesters

Nachdem V_{cap} die Schwelle V_{chrdy} erreicht hat, wird VDD aktiviert. Der Cap wird weiter geladen, bis er $V_{src,reg}$ des Akkuladers erreicht hat. Nun beginnt dieser mit der Ladung des Akkus und hält somit V_{cap} konstant bei dieser Spannung, bis $V_{ovch,akku}$ erreicht wurde.

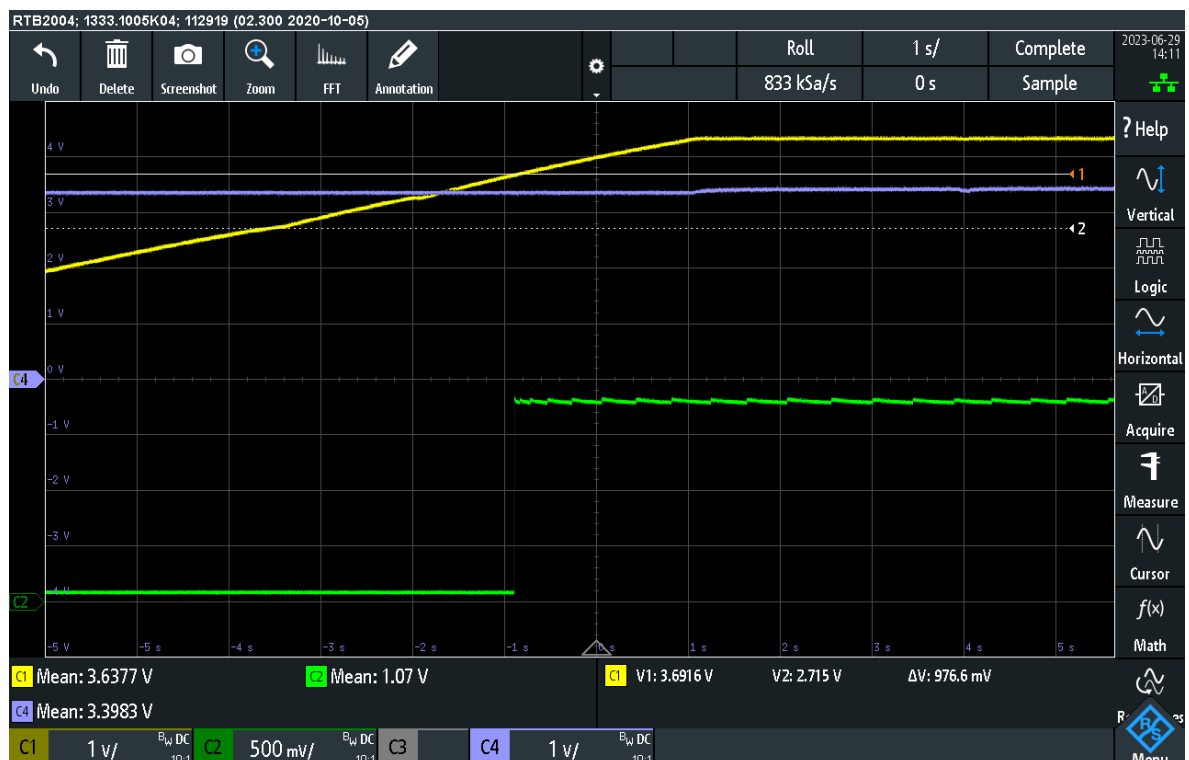


Abbildung 9: Aufstartverhalten nach Anschluss der Solarzelle

Konnte der Akku vollständig geladen werden und es steht immer noch genügend Energie durch die Harvesterelemente bereit, stoppt die Ladung des Caps bei der $V_{ovch, cap}$. Dabei stellt sich eine Hysterese zwischen den Schwellen 4,53 V und 4,38 V ein.

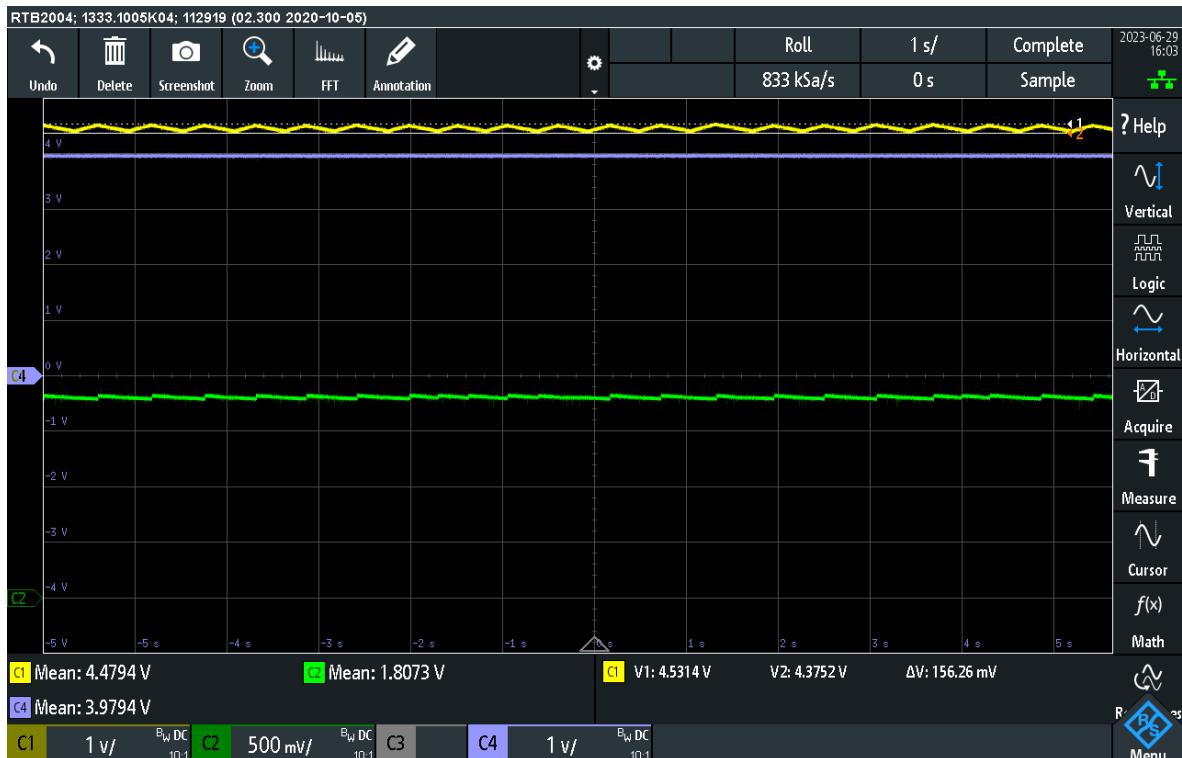


Abbildung 10: Verhalten, wenn Akku voll

Steht keine Energie durch die Harvesterelemente mehr zur Verfügung, wird ab V_{ovdis} auf Akkubetrieb umgeschaltet. Der Cap wird durch den Akku auf $V_{chr dy}$ aufgeladen. Dieser Vorgang wiederholt sich, bis entweder neue Energie ge harvestet werden kann, oder der Akku auf V_{ovdis} entladen wurde.

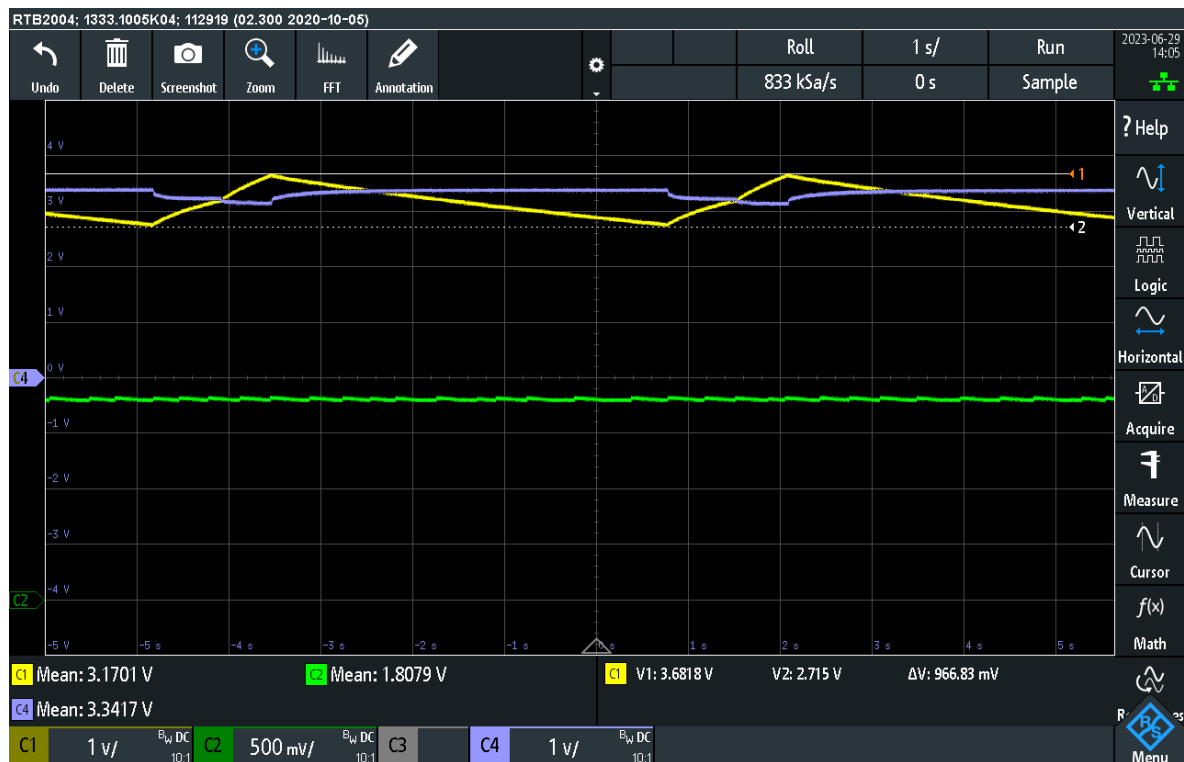


Abbildung 11: Umschaltung Kondensator - Akku

Ab der eingestellten Schwelle $V_{ovdis,akku}$ stoppt die Nachladung durch den Akku und der Cap entlädt sich auf eine Spannung $< 0,5$ V. Auch V_{DD} kann nicht länger aufrechterhalten werden und sinkt langsam ab. Die Akkuspannung steigt durch die fehlende Belastung wieder leicht an (bedingt durch den Innenwiderstand des Akkus), eine in den Akkulader eingebaute Hysterese verhindert ein ständiges wechseln zwischen Laden und sofortigem Abschalten.

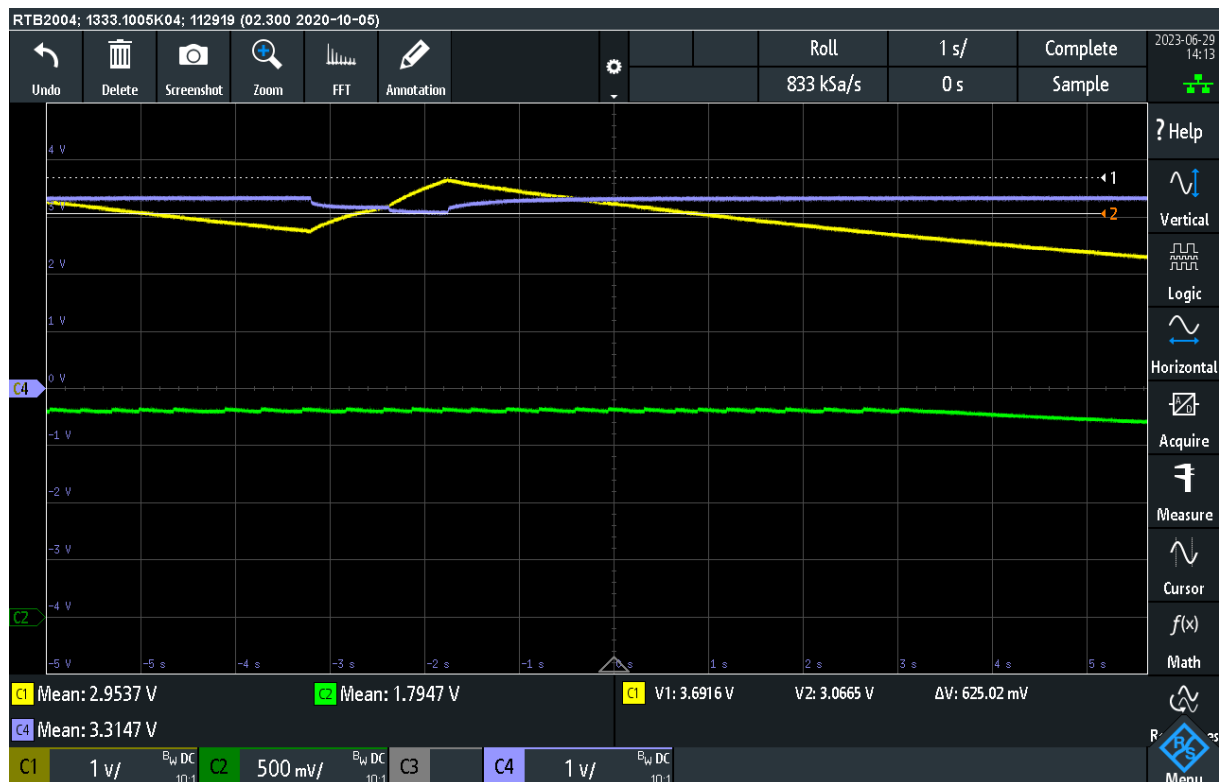


Abbildung 12; Verhalten bei leerem Akku

Arbeitspaket 3: Sensorik physikalischer Kenngrößen

Arbeitspaket 4: Sensorik chemischer & biologischer Kenngrößen

Die Arbeitspakete 3 und 4 wurden in der Auswertung zusammengefasst, da die verwendeten Sensoren sowohl physikalische, als auch chemische und biologische Kenngrößen erfassen.

Es stand eine ganze Reihe verschiedener Sensoren zur Erfassung der Messwerte zur Verfügung. Um zunächst eine Analyse der Qualität der einzelnen Sensoren abschätzen zu können, wurde eine Platine mit mehreren Sensoren angefertigt (Abbildung 13), um diese der Einfachheit halber mit einem käuflichen Demoboard (Arduino Uno) auszuwerten. Hier wurden neben den im Pflichtenheft geforderten Messwerten (Temperatur, Lichtqualität und -spektrum, Luftqualität, Temperatur-Feuchte-Index), zusätzlich noch ein Beschleunigungs- und GPS-Sensor eingesetzt. Hintergrund dafür war, die Bewegungsabläufe der Kuh mit aufzeichnen zu können. So kann dadurch leichter erkannt werden, ob die Kuh z.B. steht oder liegt.

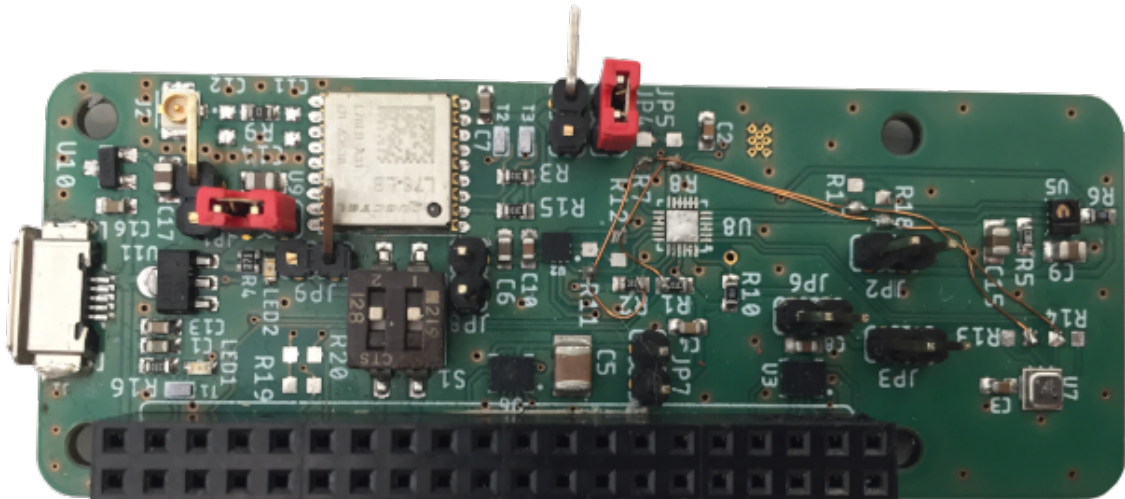


Abbildung 13: Sensorshield für Arduino Uno

Mithilfe dieses Prototyps und der daran durchgeführten Tests war es nun möglich, die für das Projekt am besten geeigneten Sensoren auszuwählen, die später in das Funktionsmuster integriert werden. Das Demoboard wurde so gestaltet, dass die Stromaufnahme aller Sensoren einzeln gemessen werden konnte. Daraus konnte abgeleitet werden, welche Sensoren für das spätere System in Frage kommen und welche sich aufgrund des Energiebedarfs nicht eignen.

Im Zuge des Arbeitspaketes 8 wurde sich mit **SE**, trotz eines höheren Energieverbrauchs, auf die Verwendung von zwei getrennten Mikrocontrollern geeinigt. Dafür gab es zwei Gründe. Zum Einen können sowohl **NU** als auch **SE** parallel die Software entwickeln, zum Anderen war anfangs nicht klar, ob ein einzelner Mikrocontroller alle Aufgaben problemlos leisten kann (Sensordaten auslesen, die gesamte Ortung, senden der Daten an die übergeordnete Stelle).

Nach den Erkenntnissen aus dem Vorabtest erfolgte die Weiterentwicklung des Demonstrators durch die Integration von zwei Sensoren, die sämtliche im internen Pflichtenheft festgelegten Messungen abdecken können.

Anhand dieser neuen Rahmenbedingungen wurde auch hier zunächst wieder ein Blockschaltbild nach den Vorgaben des internen Pflichtenhefts entwickelt (Abbildung 14).

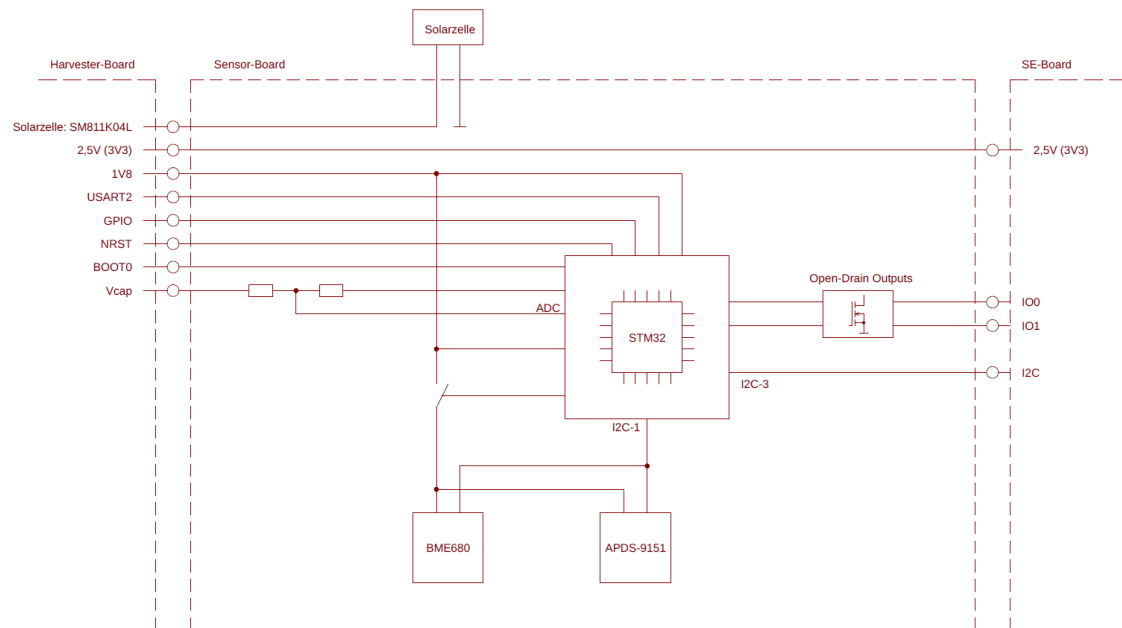


Abbildung 14: Blockschaltbild Sensorboard

Diese Phase legte den Grundstein für die spätere Fertigung des Sensorboards. Durch die detaillierte Ausarbeitung des Schaltplans und Layouts wurde sichergestellt, dass die Komponenten des Sensorboards optimal angeordnet sind und eine effiziente Funktionsweise gewährleistet ist. Gerade beim Layout sind auch die mechanischen Randbedingungen durch das vorhandene Gehäuse eingeflossen. Das Ergebnis ist in Abbildung 15 dargestellt. Die abschließende Fertigung des Sensorboards markierte einen wichtigen Meilenstein im Entwicklungsprozess, da das System nun in der Lage war, die gewünschten Messungen in einer präzisen und zuverlässigen Weise durchzuführen.

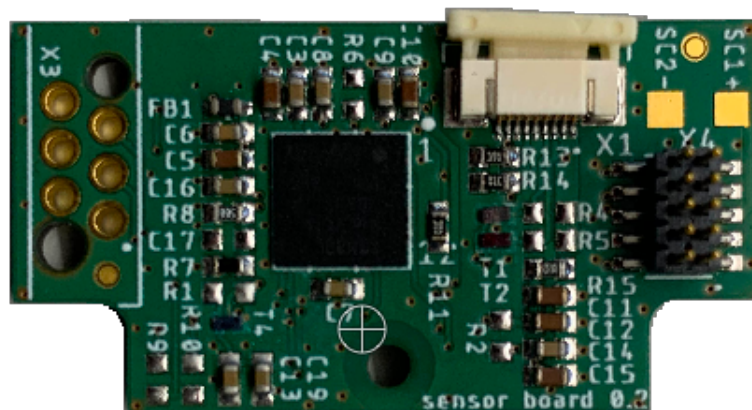


Abbildung 15: Sensorboard

Im Rahmen eines umfassenden Tests wurden der Sensorprototyp und ein käuflich erworbener Referenzsensor desselben Typs, für den Vororttest in Köllitsch verwendet. Die Testumgebung simulierte realitätsnah die Bedingungen in einem Stall, indem Luftproben in einem Sack eingefangen wurden. Zwei verschiedene Luftproben wurden eingefangen, einmal über dem Güllemischer des Kuhstalls und einmal eine Probe aus dem angrenzenden Schweinestall. Während des Tests wurde besonders darauf geachtet, dass die erfassten Messwerte präzise und zuverlässig die Unterschiede in der Luftqualität wiedergeben. Die simultane Verwendung des Sensorprototyps und des Referenzsensors ermöglichte eine direkte Vergleichbarkeit der beiden Systeme unter identischen Bedingungen. Dieser Vergleich lieferte entscheidende Erkenntnisse über die Leistungsfähigkeit und Genauigkeit des entwickelten Prototyps im Vergleich zu einem etablierten Referenzsensor.

Der Lage- / Beschleunigungssensor, der zu Beginn auf dem Demo-Board integriert war (Abbildung 13), fand auf Grund des hohen Energiebedarfs keine Verwendung. Dieser Sensor muss, um seine gewünschte Funktion zu gewährleisten, permanent Messungen durchführen. Das führt zu einer deutlichen Überschreitung der zur Verfügung stehenden Energiemenge und wurde dadurch abgewählt.

Arbeitspaket 8: Zusammenführung zum intelligenten Tag

Um die Zusammenführung der Komponenten von **NU** und **SE** zu ermöglichen, wurden der Aufbau an sich und die erforderliche Schnittstelle definiert. Es wurden in Absprache mit **SE** Fehlerbits definiert, um auf einen kritischen Energiezustand, ohne die Notwendigkeit der Kommunikation über die serielle Schnittstelle, hinweisen zu können.

Das Gehäuse sollte so flach wie möglich gestaltet werden, sodass die Kuh mit dem Gehäuse möglichst nicht an Gattern oder ähnlichem hängenbleiben kann. Eine weitere Herausforderung war die Anbindung der Sensoren an das Gehäuse. Sie müssen so in das Gehäuse integriert werden, dass sie vor äußeren Einflüssen geschützt sind. Für den Sensor für die Lichtqualität kam ein Lichtleiter zum Einsatz, der das Licht mit möglichst wenig Dämpfung in das Gehäuseinnere leitet. Durch dieses Element wird die notwendige Öffnung staubdicht verschlossen. Bei dem Gassensor war das etwas schwieriger, da es eine Öffnung geben muss um die Luftqualität ermitteln zu können. Durch eine hinreichend kleine Öffnung wird die Luft über einen Kanal so zum Sensor geleitet, dass dabei der Sensor beinahe komplett abgedeckt wird. An dieser Stelle kann als Verbesserungsvorschlag zur Weiterentwicklung darauf hingewiesen werden, dass zum besseren Verschließen der Öffnung diverse Materialien auf dem Markt sind. Bei dem Funktionsmuster wurde jedoch bewusst darauf verzichtet, da die mechanischen Maßnahmen zur Erprobung völlig ausreichend waren.

In Abbildung 16 ist der grundlegende Aufbau, bzw. die entstandene Schnittdarstellung zu sehen. Dadurch konnte der jeweilige Platzbedarf für die einzelnen Komponenten ermittelt werden.

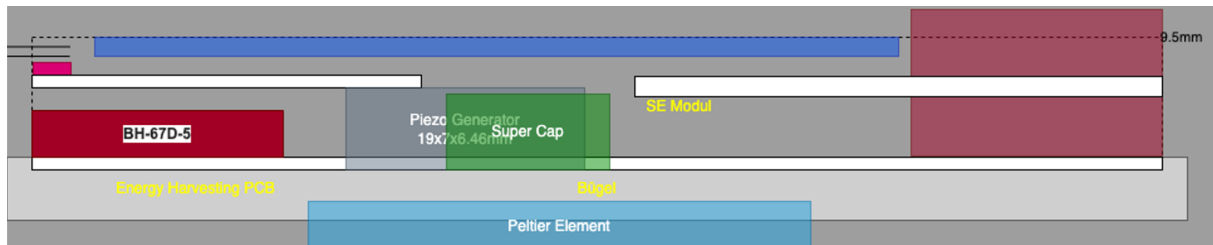


Abbildung 16: Schnittdarstellung des Aufbaus

Im nächsten Schritt wurde ein 3D-Modell erstellt (Abbildung 17). Das war nicht nur notwendig, um mögliche Kollisionen vorzeitig zu erkennen, sondern auch um die Konstruktionsdaten zur Fertigung ausgeben zu können.

Anhand dieses Modells wird im Folgenden kurz die Anbindung an das Peltier-Element erklärt. Die Kuh stellt die Wärmequelle dar. Die Wärme der Kuh wird über den Alubügel (sichtbar in Abbildung 18) abgegriffen und an die Unterseite des Peltier-Elements geleitet. Als Wärmeisolator dient hier eine Kunststoffplatte, um die Ober- und Unterseite des Peltier-Elements thermisch zu isolieren. Das Gehäuse selbst dient als Kühlkörper, um die benötigte Temperaturdifferenz herzustellen.

Auf der Oberseite erkennt man die Solarzelle, die durch einen Rahmen vor direkten mechanischen Stößen geschützt wird.

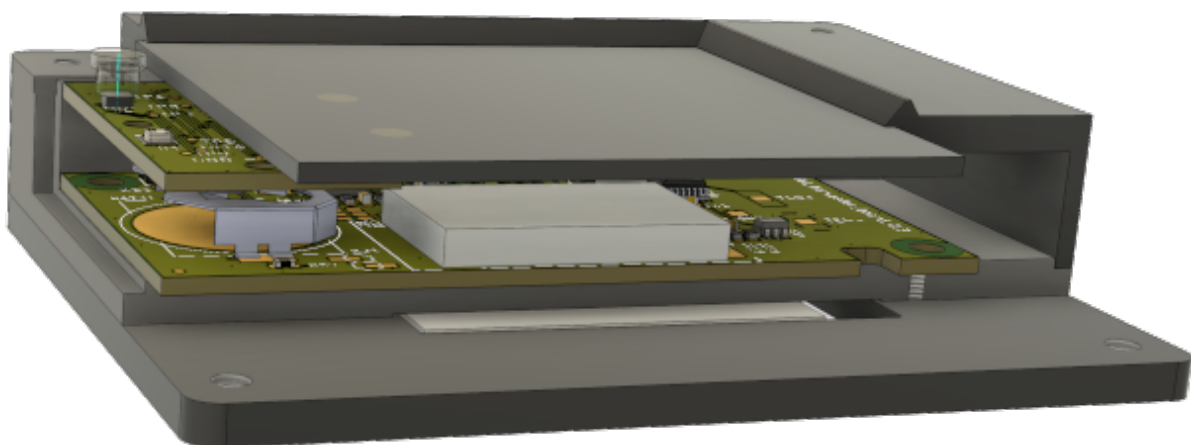


Abbildung 17: 3D-Modell Gehäuse

In Abbildung 18 ist als Ergebnis das Funktionsmuster, mit den Platinen für Energy-Harvesting und Sensorik dargestellt. Über die Flachbandleitung kann eine Verbindung zu **SE** hergestellt werden.

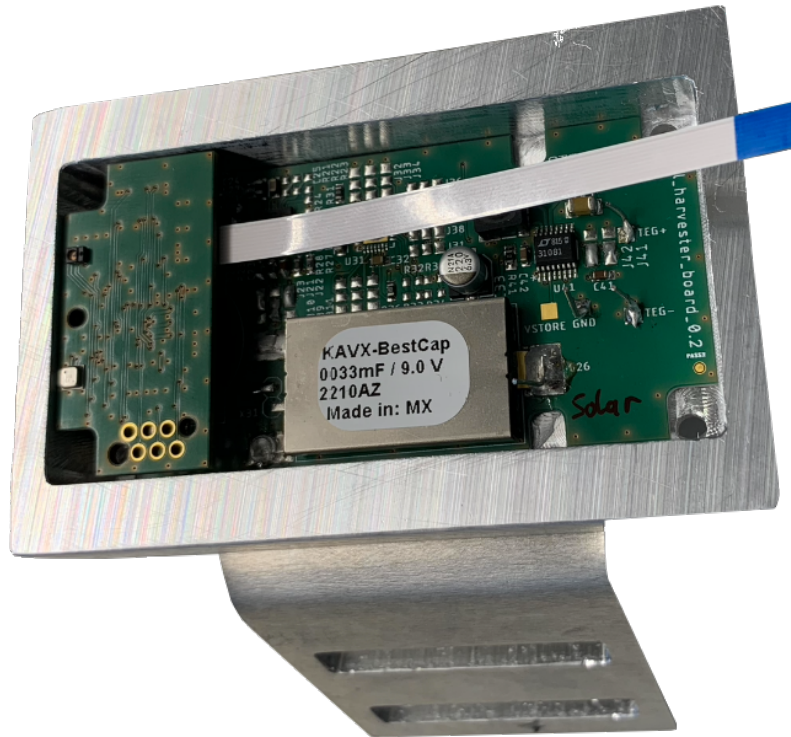


Abbildung 18: Funktionsmuster

Durch Probleme mit der Schnittstelle, bzw. der Kommunikation mit **SE**, kam es zu Verzögerungen in der Entwicklungsphase. Es wurde eine energiesparende Variante der Kommunikation über I²C eingesetzt, mit der wir bisher keine Erfahrungen hatten. Die bisherigen Erfahrungen mit dieser Technologie beruhten darauf, als Slave mit einem Master zu kommunizieren. In dieser Variante fungiert **NU** aber als Master, sodass wir hier Neuland betreten haben. Nachdem **SE** dann bei **NU** vor Ort war, konnte das Problem schließlich behoben werden.

Aktuell ist eine Versorgung ausschließlich über das Peltier-Element noch nicht möglich, da der Energiebedarf noch etwas zu hoch ist. Es sind Optimierungen beim Sensorauslesen und dem Verhalten des Mikrocontrollers erforderlich. Die Weiterverfolgung dieses Ansatzes wurde noch nicht vorgenommen, da die zukünftige Empfehlung darauf abzielt, nur einen Mikrocontroller zu verwenden.

II.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die wichtigsten Posten waren in diesem Förderprojekt weniger die Materialkosten, sondern vielmehr die Personalkosten. Einen wesentlichen Anteil hatten dabei die Tests vor Ort in Köllitsch. Diese waren aber auch zwingend notwendig, da ohne diese Messungen die Entwicklung mitunter in die falsche Richtung gelaufen wäre (u.a. Messungen der Helligkeiten in den verschiedenen Bereichen des Stalls bei Tag und bei Nacht, Verschmutzungsgrad der NECKTAG® usw.).

Eine weitere Herausforderung war, die gesamte Elektronik, sowie das Harvesting in das vorhandene Gehäuse zu integrieren. Dabei bedurfte es einiges an Absprachen, über die Machbarkeit bezüglich der Herstellung. Leider mussten durch den begrenzten Bauraum auch Technologien ausgeschlossen werden. Im vorliegenden Abschlussbericht wurde zumindest auf die jeweiligen Möglichkeiten durch Voruntersuchungen hingewiesen.

Auch die Definition und Integration der Schnittstelle zu **SE** war sehr zeitintensiv, hat sich aber dennoch gelohnt. Die sich daraus ergebende Energieeinsparung kann und sollte in Folgeprojekten angewandt werden.

II.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeit

Bisher gab es noch keine nennenswerten Forschungen im Bereich des Energy-Harvestings im Bereich des Tierwohls. Aktuell sind die Landwirte darauf angewiesen, bei ihrem kompletten Bestand an Kühen die Batterien der batteriebetriebenen Sensoren in unterschiedlichen Abständen auszuwechseln. Wenn der Bestand z.B. bei 500 Kühen oder mehr liegt, wird dieses Vorhaben schnell zur logistischen Herausforderung. Durch die permanente Gewinnung von Energie durch Harvesting kann dieses Problem reduziert werden.

Die eingesetzten Sensoren sind zum Teil lernfähig, sodass besondere Umgebungsbedingungen an den Sensor angelernt werden können. In Folgeprojekten könnte das Sensorboard so umgearbeitet werden, dass es beispielsweise per App o.ä. konfiguriert werden kann. Da die Ortung per Bluetooth® funktioniert, ist eine entsprechende technische Schnittstelle dafür ohnehin gegeben.

II.4 Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses

Das Projekt hat verdeutlicht, dass es durchaus machbar ist, den Sensor ausschließlich durch Harvesting zu betreiben. Gerade die Möglichkeit, durch die Abwärme der Kuh Energie zu erzeugen, erscheint sehr zukunftsorientiert.

Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Erkenntnis, welche Lichtverhältnisse wirklich in einem Rinderstall herrschen. Überraschenderweise konnte deutlich weniger Energie durch die Solarzelle erzeugt werden, als bisher vermutet. Dadurch ist es um so wichtiger, alternative Energiequellen in Betracht zu ziehen.

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 konnte davon ausgegangen werden, dass keine bereits veröffentlichten Projekte oder Patente für das Projekt von Relevanz waren. Darüber hinaus wurde im Vorfeld und Projektbegleitend durch den Besuch von nationalen und internationalen Konferenzen, alle wichtigen Entwicklungen der Sensorentwicklung zur Erfassung von tierindividuellen Parametern und der Lokalisation von Tieren verfolgt. Dabei wurden keine Neuerungen entdeckt, die die Projektergebnisse in Frage stellen könnten. Der vom Projektteam verfolgte Lösungsansatz scheint derzeit von anderen Teams nicht bearbeitet zu werden und auch nicht im multifunktionalen Ansatz bearbeitet worden zu sein.

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
- 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
- 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
- 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

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

II.6.4 Messeteilnahmen/Konferenzen

21.04.2022 - 24.04.2022	Projektvorstellung mittels Poster bei der Agra auf der Aktionsfläche „Tierwohl“ in Leipzig durch die LfULG
-------------------------	--

11.04.2024- 14.04.2024	Geplant: Vorstellung 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, 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.