

Eingehende Darstellung über das
Forschungsprojekt:
Agrarsysteme der Zukunft: DAKIS – Digitales
Wissens- und Informationssystem für die
Landwirtschaft, Teilprojekt C

Zuwendungsempfänger:

IHP GmbH – Innovations for High Performance Microelectronics/Leibniz-Institut für
innovative Mikroelektronik
Im Technologiepark 25
15236 Frankfurt (Oder)

Verantwortliche Autoren:

Dr. Stefan Weidling, Max Froberg, Prof. Dr. Peter Langendörfer

Förderkennzeichen:

FKZ 031B0729C

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des
Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen
031B0729C gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt
bei der Autorin/beim Autor.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Forschung, Technologie
und Raumfahrt

:

Inhaltsverzeichnis

1. Aufzählung der wichtigsten wissenschaftlich-technischen Ergebnisse und Ereignisse.....	2
Die Aufzählung erfolgt gruppiert nach Tasks, wie sie im Antrag definiert worden sind.	2
Praktische Erprobung (2.3.5)	13
1.1. Die Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten	17
1.2. Der voraussichtliche Nutzen, insbesondere die Verwertbarkeit des Ergebnisses - auch konkrete Planungen für die nähere Zukunft - im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans	18
1.3. Während der Durchführung des Vorhabens dem Zuwendungsempfänger bekannt gewordenen Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen	18
1.4. Die erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 5 der NKBF/NABF.....	18

1. Aufzählung der wichtigsten wissenschaftlich-technischen Ergebnisse und Ereignisse

Die Aufzählung erfolgt gruppiert nach Tasks, wie sie im Antrag definiert worden sind.

Systemanalyse und Spezifikation (Task 2.3.1)

In 2019 wurde zunächst ein Abstimmungs- und Auswahlprozess der Parameter, die vom in Teilprojekt C zu realisierenden drahtlosen Sensornetz (WSN) als Teil der DAKIS Monitoring Infrastruktur überwacht werden sollen, gemeinsam mit den Projektpartnern vollzogen, mit dem Ergebnis, dass

- a) verschiedene meteorologische Parameter (Lufttemperatur, relative Luftfeuchtigkeit, Luftdruck, Sonneneinstrahlung, UV-A/B, Windrichtung / -geschwindigkeit, Niederschlag) und
- b) die faunistische Biodiversität

vom WSN aufgezeichnet und in die später zur Verfügung stehende DAKIS Datenbank übertragen werden sollen. Es wurden mögliche Schnittstellen zu den Projektpartnern identifiziert.

Weiter wurde sowohl ein Evaluierungskonzept für die benötigten Sensoren, als auch ein mehrstufiges Konzept für die Hardwareentwicklung, für ein kostengünstiges und energieeffizientes WSN entwickelt. Für einen Langzeitbetrieb der Messstellen mit geringem Wartungsaufwand wurden Energy-Harvesting-Methoden in Betracht gezogen, die im Rahmen des Projektes finanziell abgedeckt werden können. Diese sollen bereits in der ersten Erprobungsphase im Feld Anwendung finden.

Entwurf der Sensornetzarchitektur (Task 2.3.2)

Entsprechend des entwickelten Hardwareentwicklungskonzepts (vgl. Abschnitt 0), wurden in 2019 sowohl kostengünstige Sensoren für meteorologische Parameter gemäß WMO Richtlinien, als auch akustische Sensoren (MEMS Mikrofone) vorausgewählt. Zur Abarbeitung des ersten Schritts des Hardwareentwicklungskonzepts, wurde in 2019 ein Sensor Test Board mit den vorausgewählten Sensoren entworfen und gefertigt (Abbildung 1). Das Sensor Test Board ist gleichzeitig Teil des Sensorevaluierungskonzepts (vgl. Abschnitt 0).

Im nächsten Schritt müssen Treiber für die Sensoren implementiert, die Sensoren evaluiert und zur Implementierung auf den Sensorknoten ausgewählt werden.

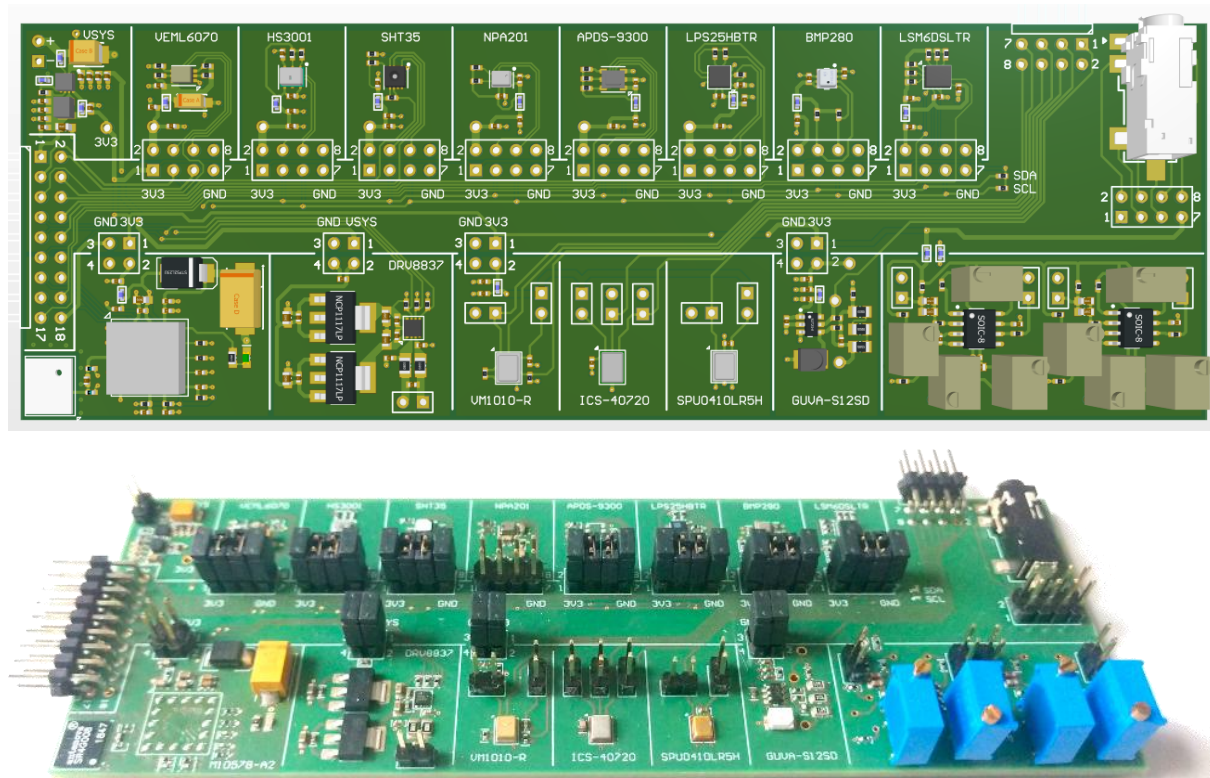


Abbildung 1: Sensor Test Board zur Evaluierung und Auswahl von Sensoren

Untersuchung von Kommunikationsprotokollen (Task 2.3.3)

Ein sehr häufiges Datenerfassungsszenario beim Einsatz von WSNs ist Rohdaten-Convergecast, bei dem eine Senke die zu erfassenden Daten aus einem Multi-Hop-Sensornetzwerk einsammelt. Zum Weiterleiten der Pakete wird dabei in der Regel eine baumartige Routing-Topologie verwendet.

Wenn die Datengenerierung hoch ist, werden TDMA-Medienzugriffsprotokolle (MAC) verwendet. Ohne Zugriffskontrolle auf das Medium kann es durch zu viele gleichzeitige Übertragungsversuche zu Kollisionen kommen. TDMA-Protokolle ermöglichen einen hohen Datendurchsatz, indem diese die Zeit in sogenannte Slots unterteilen und jedem Knoten eine bestimmte Anzahl von Slots zuweisen, in denen gesendet werden darf. Um effizient zu sein, muss ein TDMA-Protokoll jedem Knoten eine geeignete Anzahl von Slots zuweisen und die Länge der Slots minimieren, beispielsweise durch Parallelübertragungen. Ein Interferenzmodell entscheidet, ob Übertragungen gleichzeitig geplant werden oder sich gegenseitig stören und möglicherweise einen erheblichen Paketverlust verursachen können. Es wurde in 2019 an einem anpassungsfähigen Interferenzmodell gearbeitet, das Störungen effizient beseitigen kann, ohne zusätzliche Komplexität einzuführen. Das Modell kann gegenüber üblichen 2-Hop-Interferenzmodellen, sowohl Durchsatz als auch Fairness verbessern. Das Interferenzmodell wurde im Berichtzeitraum zur Veröffentlichung beim ICICT¹ 2020 in London eingereicht.

Im Rahmen von DAKIS soll weiter untersucht werden, wie der Datendurchsatz im zu implementierenden WSN durch Einsatz des entwickelten Interferenzmodells erhöht werden kann.

Sensorknoten ↔ Gateway-Knoten

In 2020 wurde bereits begonnen, vorhandene Kommunikationsprotokolle im TI CC13x2 SimpleLink Stack (Abbildung 11) zu untersuchen. Da das zunächst verwendete Sub-1GHz EasyLink lediglich eine einfache Abstraktionsschicht auf dem RF Treiber ist und nicht ausreicht, wurde in 2021 der TI Sub-1GHz 15.4-Stack untersucht. Dieser implementiert den IEEE 802.15.4-2006 Standard (PHY für 868MHz und MAC).

Gateway-Knoten ↔ Server

Für die Kommunikation zwischen Gateway-Knoten im Feld und Webserver mit Datenbank, wurde HTTP/TLS über NB-IoT (Abbildung 2) mittels GSM/LTE-Moduls SIM7070G Modul untersucht. Mit NB-IoT Technologie als Alternative zum herkömmlichen LTE, konnte zum

¹ International Congress on Information and Communication Technology

einen der Energieverbrauch für Datenupload und –download reduziert werden und zum anderen die Stromsparfunktion PSM (Power Saving Mode) genutzt werden, wodurch das GSM-Modul in Deep Sleep versetzt wird.

HTTP	FTP
TLS	
TCP/UDP	
IP	
NB-IoT	
Cellular Radio	

Abbildung 2: Protokoll-Stack (Gateway / GSM Modul)

Die in 2021 ausgewählten Kommunikationsprotokolle (TI 15.4 MAC, Sensorknoten ↔ Gateway) sowie HTTP über NB-IoT (Gateway ↔ Server) konnten im Feld getestet und hinsichtlich des Stromverbrauchs evaluiert werden.

Gesamtsystemarchitektur

Die Gesamtsystemarchitektur des Sensornetzes, die als Ergebnis in Task 2.3.1 erarbeitet wurde, ist nochmals in Abbildung 3 dargestellt.

Das zu entwickelnde Sensornetzwerk wird heterogen und aus verschiedenen Sensorknoten bestehen. Im vorherigen Sachbericht, wurden u.a. die Sensornetzkomponenten Atlas Core Modul mit μ C und Funk-Frontend, Basic Sensor Node (BSN) und Batterielademodul vorgestellt.

In Folgenden werden die Komponenten der Sensornetzarchitektur genauer beschrieben, die in 2021 entworfen und gefertigt wurden, Gateway-Knoten und Bodensensor-Knoten sowie Server mit Webserver und DB.

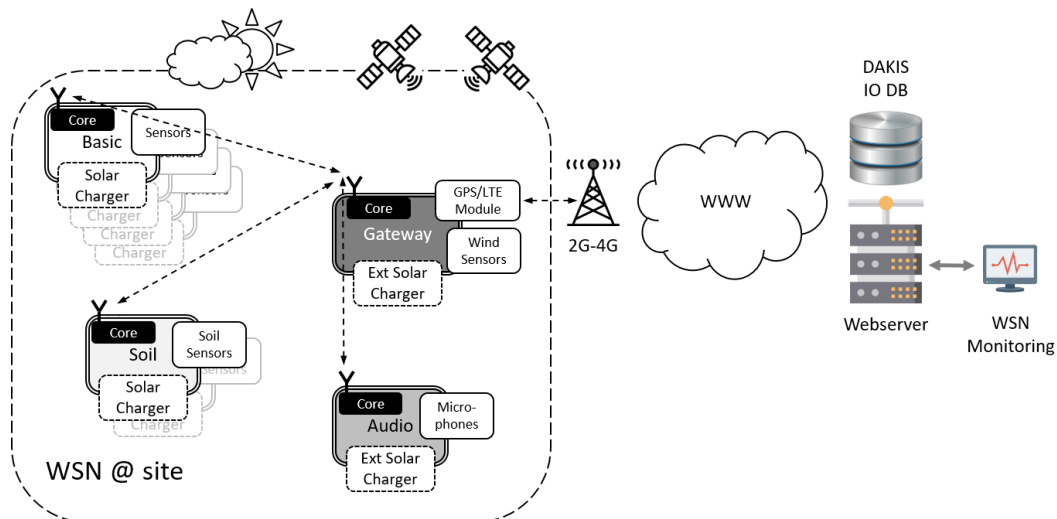


Abbildung 3: Gesamtsystemarchitektur des Sensornetzwerkes

Gateway-Knoten

Der Gateway-Knoten hat im Sensornetzwerk die Aufgabe, sowohl zusätzliche Parameter wie Windgeschwindigkeit, Windrichtung und Niederschlag zu erfassen, als auch die auf dem Testfeld gesammelten Daten mittels Mobilfunknetz an den Server zu übermitteln.

Nachdem in 2020 bereits Prototypen von Windsensoren (Anemometer und Windfahne) entwickelt und verfeinert wurden sowie mit dem *Waveshare SIM7070G* ein GNSS/GSM/LTE/NB-IoT Modul für den Batteriebetrieb modifiziert und getestet wurde, wurde in 2021 der eigentliche Gateway-Knoten entwickelt. Die Entwicklungsstufen sind in Abbildung 4 dargestellt.

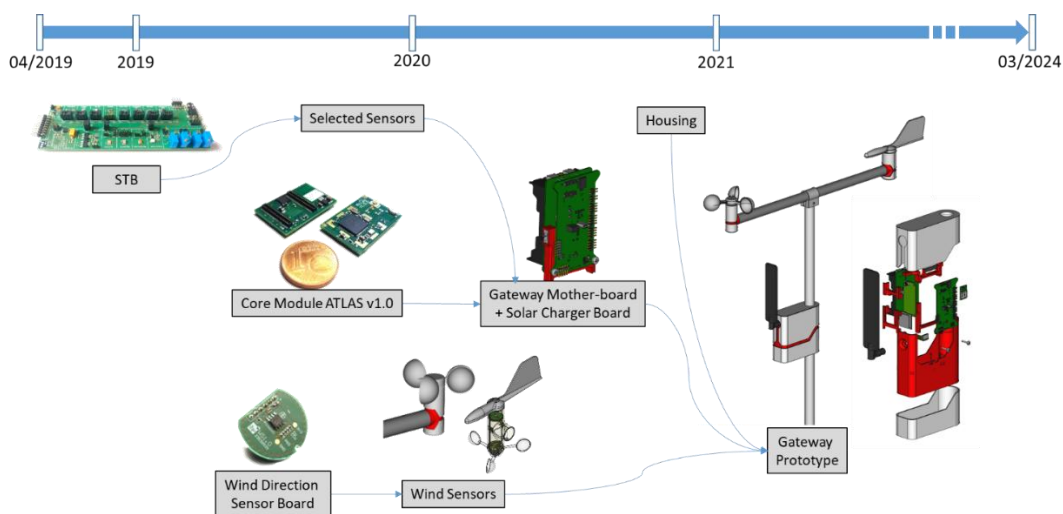


Abbildung 4: Entwicklungsstufen zum Gateway-Knoten

Bodensensor-Knoten

Der Bodensensor-Knoten hat im Sensornetzwerk primär die Aufgabe, Bodenfeuchtigkeit über extern angeschlossene Bodensensoren zu erfassen.

Nachdem in 2020 bereits verschiedene Bodensensoren evaluiert wurden, wurde in 2021 der eigentliche Bodensensor-Knoten entwickelt, indem das Gateway Motherboard um eine Erweiterungsplatine (Soil Add-on), zur Ansteuerung von bis zu 6 Bodensensoren sowie ein entsprechendes Gehäuse mit Solarpanel erweitert wurde. Die Entwicklungsstufen sind in Abbildung 5 dargestellt.

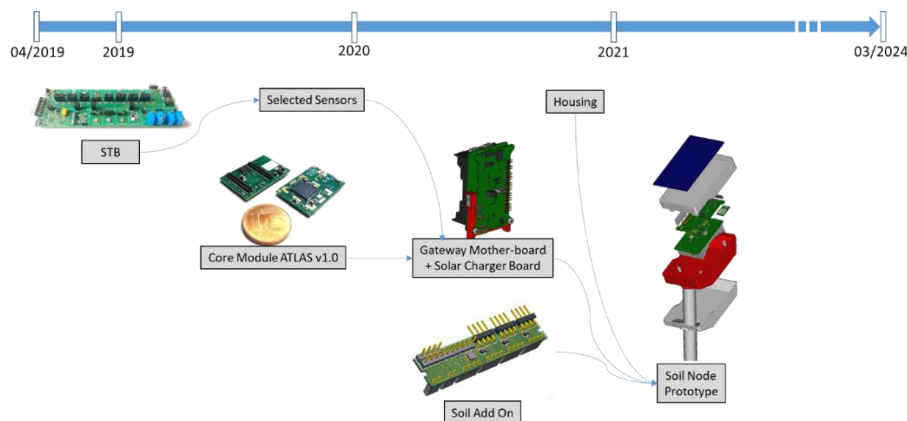


Abbildung 5: Entwicklungsstufen zum Bodensensor-Knoten

Entwicklung Mikrofon-Sensorknoten

Zur Unterstützung des Vorhabens der Projektpartner Uni Bonn und HNE Eberswalde, die akustische Biodiversität an dem Grünlandstandort Mühlenbeck durch Einsatz von Mikrofon-Rekordern zu untersuchen, wurde in 2023 ein weiterer Sensorknoten, der DAKIS Mic Sensor Node, entworfen. Der konzeptionelle Aufbau ist in Abbildung 6 gezeigt. Die von Projektpartnern bereits auf dem Feld eingesetzten, kommerziell verfügbaren Mikrofon-Rekordern vom Typ Wildlife Acoustics SM Mini², die über einen Mikrocontroller, Bluetooth Low Energy Funkmodul, SD Kartenslot, 1-2 Mikrofone sowie Batterieversorgung verfügen, wurden hardware-technisch so modifiziert und erweitert, dass diese jetzt mit Solarpanel und Akkus betrieben und drahtlos über Bluetooth vom Sensorknoten gesteuert werden können.

Bilder des 3D Modells sind in Abbildung 7 gezeigt. Die Mikrofone sind zum Schutz nach unten gerichtet. Das Batteriefach ist ausklappbar. Dahinter im Inneren befinden sich sämtliche Boards und Komponenten.

² <https://www.wildlifeacoustics.com/products/song-meter-mini>

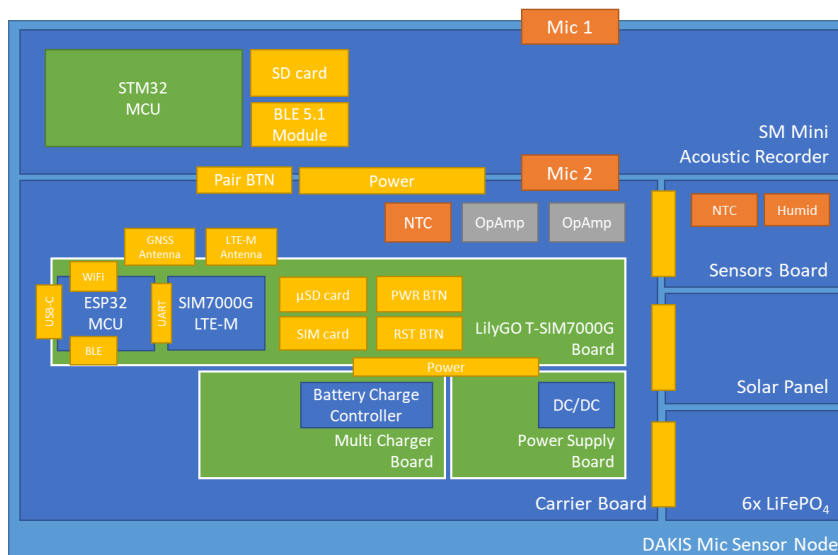


Abbildung 6: Konzeptioneller Aufbau des Mikrofon-Sensorknotens

Über Ansteuerung des Pair-Buttons und Bluetooth Verbindung zwischen ESP32 und SM Mini Microcontroller, können so zum einen Statusinformationen (wie z.B. SD-Kartenfüllstand, aktuelle Aufnahme-Einstellungen) ausgelesen werden, zum anderen können Tonaufnahmen vom Sensorknoten aus gestartet und gestoppt werden. Ohne die durchgeführte Modifikation und Erweiterung, konnte der Mikrofon-Rekorder zuvor nur mittels vorher einprogrammierter Zeitpläne oder per Smartphone App vom Hersteller gesteuert werden, was ungeeignet ist, wenn die Mikrofone auf dem Feld „unbemannt“ genutzt werden sollen, ohne dass ein Nutzer in der Nähe ist. Die verbauten Sensoren am Mic Sensor Node ermöglichen es jetzt, Aufnahmen auf Basis von gemessenen Sensorwerten (Temperatur, Luftfeuchtigkeit) starten/stoppen zu können. Zudem wurde ein Mechanismus integriert, der es ermöglichen soll, ein Mikrofon als Aufnahmeauslöser zu nutzen („Record-on-Sound“). So kann die Aufnahmedauer reduziert und besser auf wichtige Zeiträume, wo Tiere aktiv sind, beschränkt werden. Das integrierte LTE-M Modem ermöglicht es zudem, Statusinformationen über das Mobilfunknetz zu einem Server zu übertragen. LTE-M hat gegenüber klassischem LTE eine deutlich bessere Abdeckung in ländlichen Regionen bzw. auf landwirtschaftlichen Flächen, allerdings deutlich kleinere Datenraten. Die Tonaufnahmen werden daher weiterhin auf der SD Karte des Mikrofon-Rekorders gespeichert, da LTE-M nicht dafür geeignet ist große Datenmengen zu übertragen.

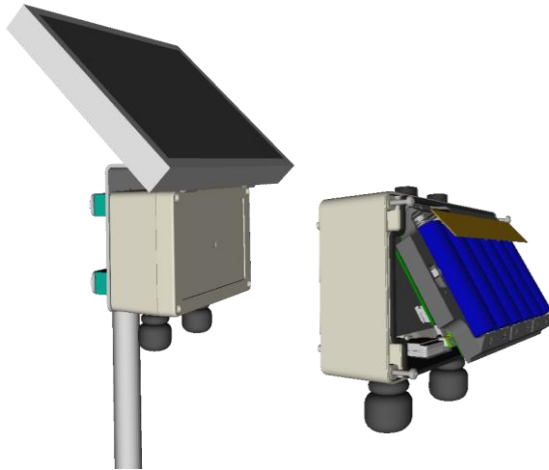


Abbildung 7: 3D Modell des Mikrofon-Sensorknotens

Die Mikrofon-Sensorknoten (Abbildung 8) sollen den Projektpartnern in 2024 übergeben werden, damit diese die Sensorknoten am Grünlandstandort Mühlenbeck praktisch erproben können.



Abbildung 8: Gefertigte Mikrofon-Sensorknoten

Webserver mit Datenbank und Dashboard

Es wurde ein Server aufgebaut, auf dem ein Apache Webserver sowie eine SQL Datenbank eingerichtet wurde. Sensor- und Metadaten werden mittels HTTP/TLS POST hochgeladen, geparkt und in die Datenbank eingepflegt. Für Code Updates der Sensorknoten im Feld stellt der Webserver entsprechende Code Images per HTTP/TLS GET Request bereit.

Dakis Dashboard

load average: 0.00, 0.02, 0.01
core 0 temp: 66.0 °C
core 1 temp: 78.0 °C
hdd temp: 41.0 °C

log

images

Testsites

NAME
Grossmutz
Dahmsdorf
IHP Lab
Wandlitz

Incomplete Node Info

ADDRESSHEX

Recent Uploads

id arrival-timestamp timestamp (address) sensor: value

10368195 2022-03-02 07:36:12 2022-03-02 07:31:58 (0x3646) Barometric Pressure: 1023.8 hPa
10368196 2022-03-02 07:36:12 2022-03-02 07:31:58 (0x3646) Illumination: 832.41 Lux
10368197 2022-03-02 07:36:12 2022-03-02 07:31:58 (0x3646) Temperature sensor 1 (HS3001): -3.764 °C
10368198 2022-03-02 07:36:12 2022-03-02 07:31:58 (0x3646) Temperature sensor 0 (NTC): -3.16 °C
10368199 2022-03-02 07:36:12 2022-03-02 07:31:58 (0x3646) UV value raw: 29
10368200 2022-03-02 07:36:12 2022-03-02 07:32:58 (0x3646) Humidity: 99.993 %
10368201 2022-03-02 07:36:12 2022-03-02 07:32:58 (0x3646) Barometric Pressure: 1023.89 hPa
10368202 2022-03-02 07:36:12 2022-03-02 07:32:58 (0x3646) Illumination: 793.55 Lux
10368203 2022-03-02 07:36:12 2022-03-02 07:32:58 (0x3646) Temperature sensor 1 (HS3001): -3.713 °C
10368204 2022-03-02 07:36:12 2022-03-02 07:32:58 (0x3646) Temperature sensor 0 (NTC): -3.09 °C
10368205 2022-03-02 07:36:12 2022-03-02 07:32:58 (0x3646) UV value raw: 30

Testsite Grossmutz

Soil Node List

ADDRESSHEX	RS	BV	PV	TM	MM	MD	S0	S1	S2	S3	S4	S5	TIMESTAMP
0x35F0	-76	3332	5096	-1.5 °C			936	903	874	858	857	854	2022-03-02 07:39:51
0x3652	-96	3328	5900	-2.5 °C			904	835	854	841	836	885	2022-03-02 07:12:03
0x3640	-101	3265	6344	-2 °C			814	849	786	777	834	767	2022-03-02 07:34:12
0x3608	-96	3292	6368	1.25 °C			801	767	732	722	723	746	2022-03-02 07:28:29
0x3672	-84	3359	6392	-2.75 °C			878	924	800	835	866	871	2022-03-02 07:40:49
0x3632													
0x35C5	-93	3355	5100	0.25 °C			881	888	864	894	843	855	2022-03-02 07:40:41
0x3628	-109	3355	3116	3.75 °C			867	939	950	900	917	919	2022-03-01 19:38:35

BSN List

ADDRESSHEX	RS	BV	PV	TM	MM	MD	AH	PA	LX	T1	T0	UV	TIMESTAMP
0x3638	-115	3338	28 mV	-5 °C			99.487 %	1028.97 hPa	548.72 Lux	-3.532 °C	-2.24 °C	33	2022-03-02 07:36:41
0x3601	-108	3336	364 mV	-1 °C			99.493 %	1024.26 hPa	987.86 Lux	-3.044 °C	-3.78 °C	20	2022-03-02 07:26:43
0x3598	-112	3312	2530 mV	-5.75 °C			99.993 %	1023.78 hPa	1275.44 Lux	-3.673 °C	-3.6 °C	20	2022-03-02 07:22:39
0x35A0	-87	3328	2782 mV	-2 °C			96.478 %	1028.24 hPa	394.71 Lux	-3.159 °C	-2.96 °C	34	2022-03-02 07:22:39

Abbildung 9: Dashboard

Knotenkonfiguration und Netzdesign im Labor (Task 2.3.4)

Softwareentwicklung für Gateway-Knoten und Bodensensorknoten

Die gesamte Software-Architektur ist in Abbildung 10 dargestellt. Im Hinblick auf die Reduzierung des Stromverbrauchs der Sensorknoten, wird zum einen für das Auslesen von Sensorik der auf dem CC13x2 vorhandene Sensor Controller verwendet, der auf geringen Stromverbrauch und effizienten Betrieb von Peripherie optimiert ist. Der Sensor Controller als autonomer Prozessor kann die angeschlossene Peripherie unabhängig von Hauptprozessor ansteuern, was Strom und Aufwachzeit spart.

Außerdem wurde der 15.4 RF Stack in Verbindung mit dem Netzwerkbetriebsmodus Beacon Mode konfiguriert, wobei Beacon Pakete verwendet werden, um das Sensornetz zu synchronisieren. Dies ermöglicht es, aktive und inaktive Phasen (mittels Beacon Order und Superframe Order) bei der Kommunikation zu definieren. Dadurch werden Schlafphasen ermöglicht, in denen der Stromverbrauch auf Sender- und Empfängerseite reduziert werden kann. Während der aktiven Phase, wird im 868MHz Band das Konzept ‚Listen Before Talk‘ für den Kanalzugriff genutzt.

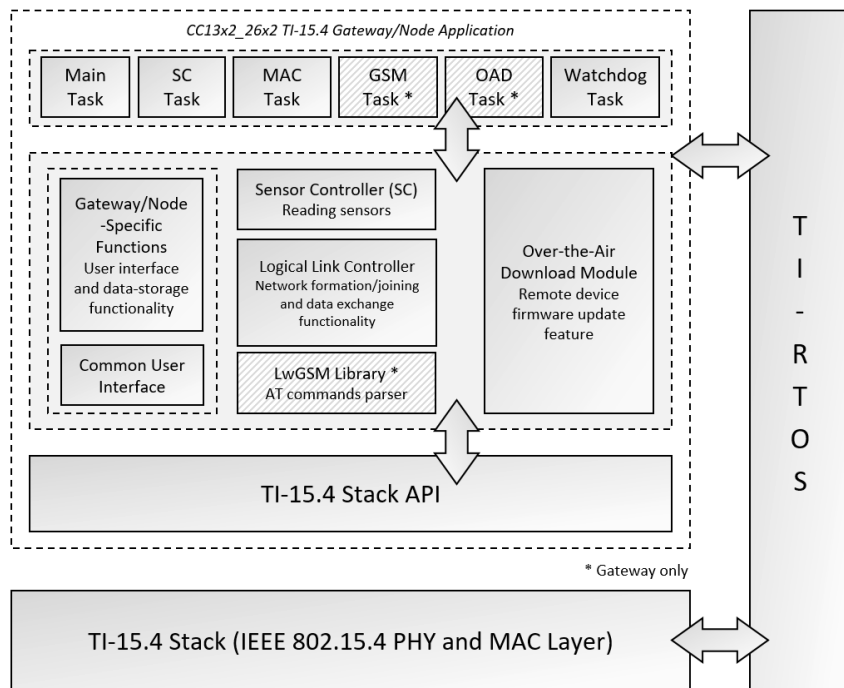


Abbildung 10: Software-Architektur für Gateway- und Sensorknoten

Um mit dem bereits ausgewählten GSM/LTE Modul, die NB-IoT Technologie mit Stromsparfunktion PSM für den Datenupload sowie – download nutzen zu können, wurde entsprechende Software implementiert. Die LwGSM Library wurde um die HTTPS und NB-IoT Funktionalität erweitert. Es wurde darüber hinaus ein Modul/Task für den Download von (Delta) Code Images vom Webserver, mittels HTTPS auf das Gateway und Ausbringung auf Sensorknoten implementiert. Des Weiteren wurde ein Modul implementiert, das den regelmäßigen Datenupload von Sensordaten und Metadaten vom Gateway zum Webserver über HTTPS sicherstellt.

Der Energieladechip des Gateways, der die aufladbaren Batterien mittels Solarpanel auflädt, wird per Software zeitgesteuert (Sonnenauf- und -untergang) an- und ausgeschaltet, um eine ungewollte Entladung zu verhindern.

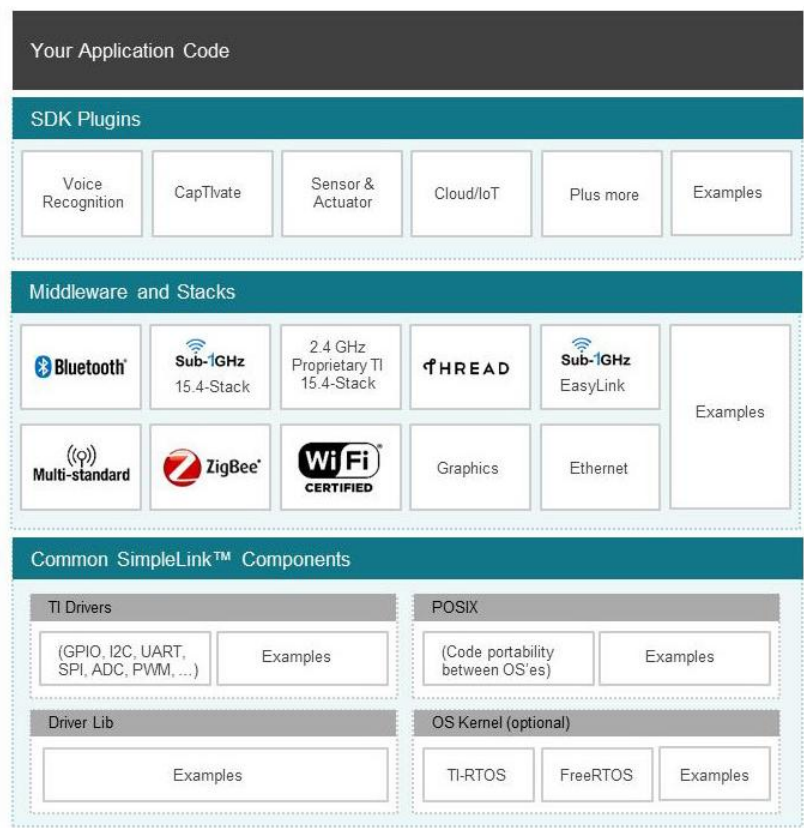


Abbildung 11: TI CC13x2 SimpleLink Stack

Die Software wurde auf eine neue Version des Betriebssystems (TI-RTOS7) umgestellt, was u.a. eine Verringerung des Stromverbrauchs zur Folge hatte. Für die Software der Gateways wurde MQTT implementiert, so dass neben dem Upload von Sensor- und Metadaten via HTTPS zum Webserver auch Statusinformation zum MQTT Broker geschickt werden.

Die von uns erhobenen Sensordaten auf den Testflächen laufen hier zusammen und werden direkt an Projektpartner weitergeleitet. Die mittlerweile mehr als 70 Millionen Metadaten und Messwerte aus der praktischen Erprobung bilden so eine zusätzliche Datengrundlage. Sie können in Zukunft zu Analyse Zwecken, Netzwerk- und Geräte-Monitoring und als Entscheidungsgrundlage für das *Decision Support System (DSS)* herangezogen werden.

Zur Unterstützung bei Wartungsarbeiten, aber auch als Interface für unsere Projektpartner wurde das Dashboard (Abbildung 12) grundlegend erweitert und verbessert. Die webbasierte Anwendung ist für den Einsatz im Feld optimiert und begrenzt sich auf minimales Nachladen der Nutzdaten. Neue Ansichten, Vergleichsmöglichkeiten und Filter geben einen schnellen und detaillierten Überblick von einzelnen Sensoren bis hin zu ganzen Testfeldern. Abweichungen und Anomalien werden automatisch erkannt und hervorgehoben, um mögliche Wartungsarbeiten frühzeitig und besser planen zu können.

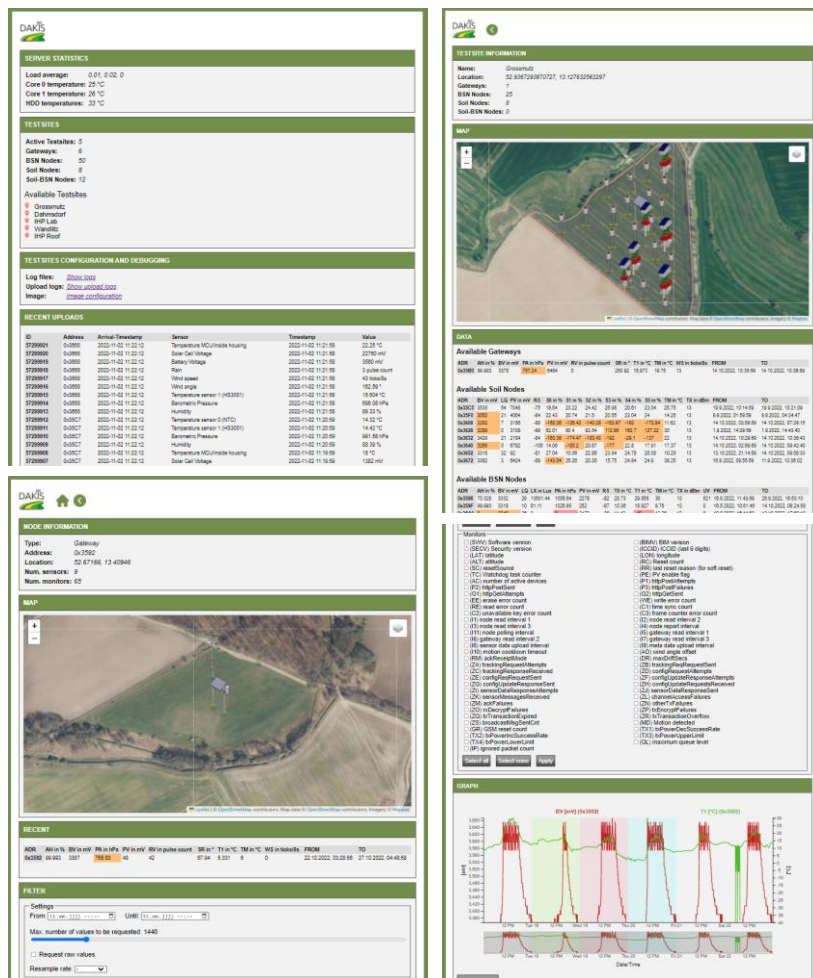


Abbildung 12: Dashboard mit Feld- und Sensordetailansicht sowie Filteroptionen

Praktische Erprobung (2.3.5)

Nachdem Sensoren und andere Komponenten bereits mit Hilfe des Development-Boards erprobt wurden, erfolgten nach Fertigung des Prototyps des Gateway-Knotens zunächst Tests der gesamten Funktionstüchtigkeit im Labor. Diese beinhalteten das Auslesen der integrierten, sowie externen Sensoren (z.B. Windsensoren), Schreiben/Lesen der Flash-Speicher, Kommunikation über USB- und Debug-Schnittstelle, drahtlose Kommunikation über das Funk-Frontend mit Sensorknoten sowie Up- und Download mit Webserver über das GSM-Modul, das per UART angeschlossen ist. In Verbindung mit externen Bodenfeuchtigkeitssensoren wurde im Labor getestet, ob sich das Gateway-Board als Sensorknoten für Bodensensoren einsetzen lässt.

Die kostengünstigen Sensoren haben den Nachteil, dass sie eine vergleichbar große Streuung nach der Inbetriebnahme aufweisen. Diese muss für jeden einzelnen Sensor kalibriert und in den Sensordaten nachträglich korrigiert werden. Nachdem durch das IHP ein Klimaprüfschrank vom Typ Binder MKF 240 angeschafft wurde, konnten Temperatur- und

Luftfeuchtigkeitssensoren über einen weiten Messbereich präziser kalibriert werden. Für alle bereits ausgebrachten Sensoren wird dieser Prozess sukzessive nachgeholt, sobald Sensorknoten für Wartungsarbeiten ins Labor geholt werden, und die Messwerte entsprechend korrigiert. In Abbildung 13 ist dies exemplarisch dargestellt. Links sind die Messwerte verschiedener Exemplare desselben Sensortyps dargestellt. Die blaue Kurve markiert die Messwerte des Klimaprüfschranks (Referenz). Eine Verschiebung der Messwerte ist klar erkennbar. Mittels Stützstellen können Korrekturfunktionen bestimmt werden. Durch Anwendung der Funktionen können die Verschiebungen dann entsprechend „korrigiert“ und die Sensoren damit kalibriert werden.

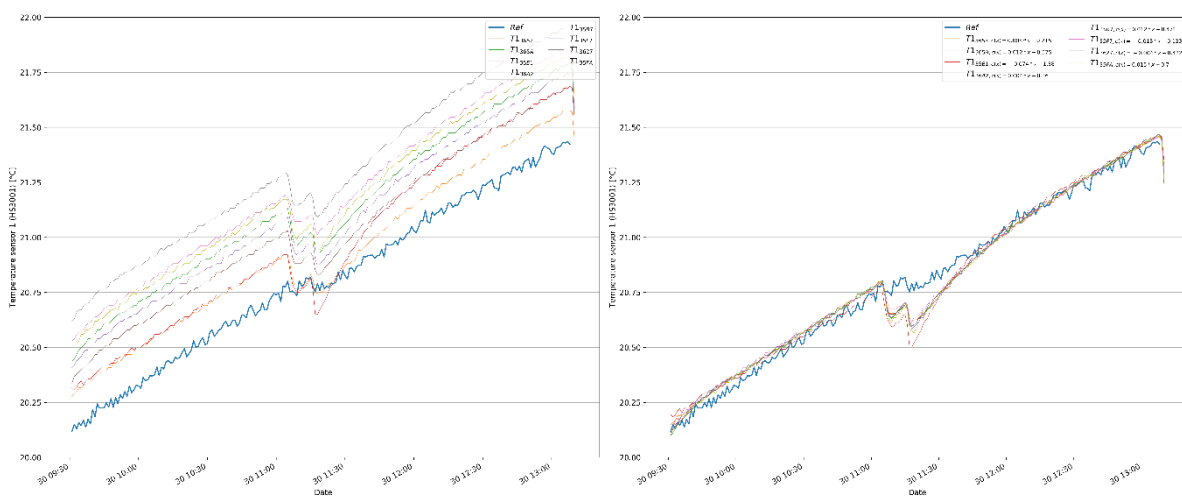


Abbildung 13: Original Sensorwerte (links) und kalibrierte Sensorwerte (rechts)

Außerdem wurde Hard- und Software, die in 2022 im Feld installiert wurde, zuvor im Labor getestet. Langfristige Feldtests haben jedoch gezeigt, dass nicht alle äußeren Einflüsse im Labor ausreichend simuliert und getestet werden können.

Insgesamt wurden drei Sensornetze ausgebracht. Das Sensornetz in Großmutz umfasst einen Gateway-Knoten, 8 Bodensensorknoten mit jeweils 6 Bodensensoren sowie 23 Basissensorknoten. Teil des Sensornetzes in Dahmsdorf sind bisher ein Gateway-Knoten und 9 Basissensorknoten. Das Sensornetz in Mühlenbeck umfasst einen Gateway-Knoten sowie 9 erweiterte Basissensorknoten mit jeweils 2 zusätzlichen Bodensensoren. Die in den vorherigen Jahren entwickelten Basissensorknoten waren bereits darauf ausgelegt, zwei Bodensensoren unterstützen zu können. Da die Fläche aktiv bewirtschaftet wird und die Sensorknoten direkt auf der Fläche stehen, wurde hier eine Plug-and-Play Lösung entworfen, mit der die Sensorknoten leicht de-/installiert werden können, ohne dass die Bodensensoren entfernt werden müssen. Es mussten in 2022 lediglich Anschlussadapter nachgerüstet werden. In 2022 wurden alle drei Sensorsetze erprobt.



Abbildung 14: (a) Gateway-Knoten in Großmutz (b) Bodensensor-Knoten in Großmutz (c) BSNs in Dahmsdorf (d) Installation eines Bodensensor-Knotens mit unterirdischen Bodensensoren vom Typ 10HS

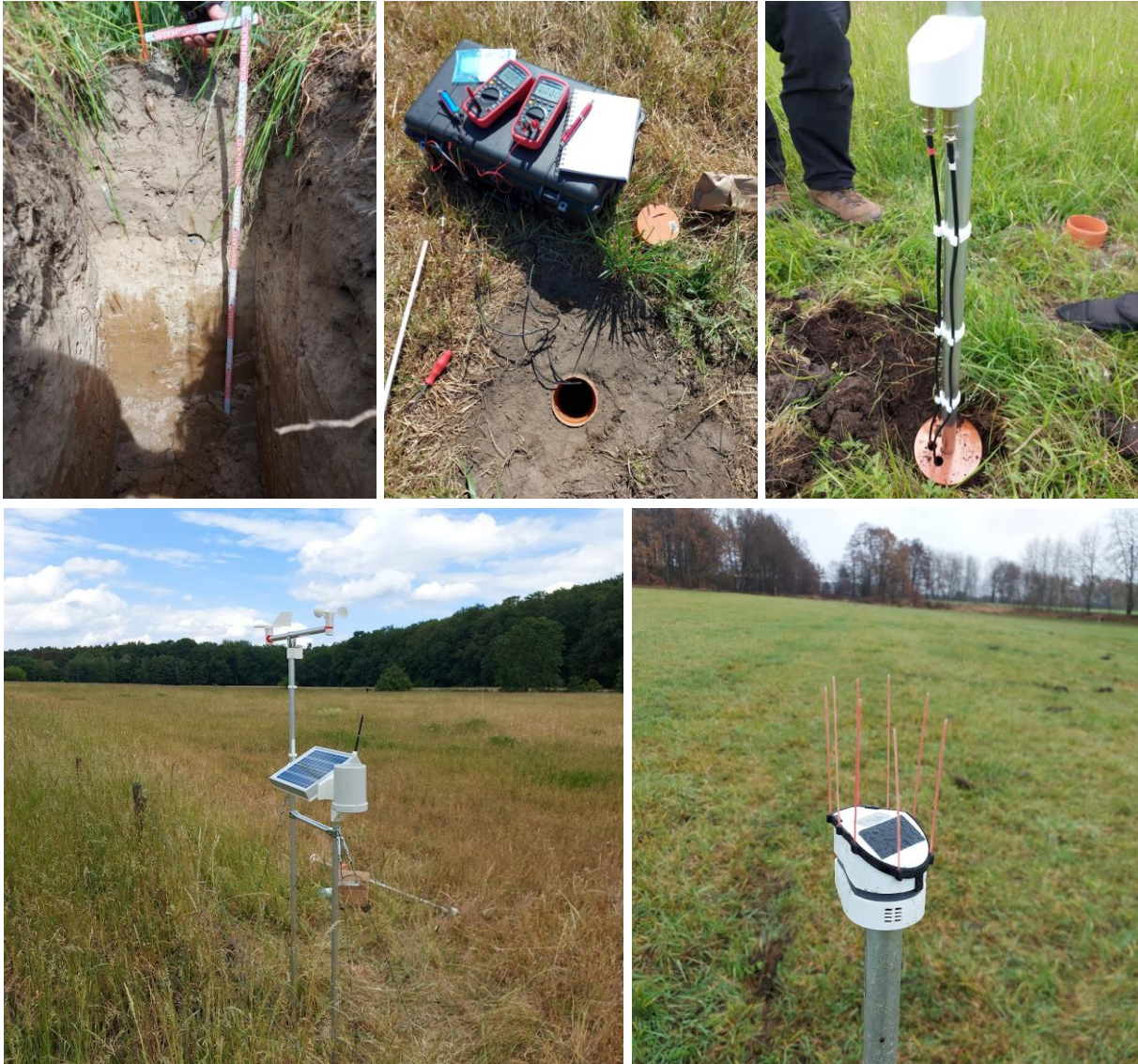


Abbildung 15: (a) Gateway-Knoten in Mühlenbeck (b) Bodensensor-Knoten in Mühlenbeck (c-e) Installation eines Bodensensor-Knotens mit zwei unterirdischen Bodensensoren vom Typ 10HS

Die während der praktischen Erprobung aufgetretenen Probleme erforderten Wartungs- und Reparaturmaßnahmen, die zum Teil vor Ort, aber auch im Labor durchgeführt werden mussten.

1.1. Die Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten

Im Berichtszeitraum wurden für die Bearbeitung der Tasks:

- Task 2.3.1: Systemanalyse und Spezifikation
- Task 2.3.2: Entwurf der Sensornetzarchitektur
- Task 2.3.3: Untersuchung von Kommunikationsprotokollen
- Task 2.3.4: Knotenkonfiguration und Netzdesign im Labor
- Task 2.3.5: Praktische Erprobung

Jährlich ca. 13 Personenmonate erfahrener Wissenschaftler aufgewendet. Die vollumfängliche Erfüllung der Aufgaben sowie deren Komplexität erschließt sich aus der Darstellung der Ergebnisse unter 1.

Kostenplanung

Den weitaus größten Anteil der Projektkosten machten die Personalkosten aus. Aufgrund der Pandemie und der hieraus folgenden Einschränkungen hinsichtlich der Zusammenarbeit vor Ort konnten die studentischen Hilfskräfte nicht im geplanten Umfang eingesetzt werden. Teile der Aufgaben wurden deshalb von Wissenschaftlern übernommen, hieraus ergibt sich eine Verschiebung der Nutzung der Personalmittel zwischen den Positionen 0822 und 0812. Alle Personalmittel wurden verausgabt.

Bezugnehmend auf die Kostenplanung, erfolgte mit Zustimmung des ZG eine Umwidmung von 2.000,00€ aus der Pos. 0843 in die Pos. 0835 für die Anfertigung von Platinen für die Entwicklung des Sensor Test Boards.

Aufgrund von Lieferschwierigkeiten sowie plötzliches und unerwartetes Auslaufen elektronischer Bauteile seitens der Hersteller ist es im Laufe des Berichtszeitraums zu Neuplanungen gekommen, die Anpassungen von PCB Designs und den Einsatz von alternativen Komponenten erforderten, weshalb eine Umwidmung von insgesamt 6.000€ erfolgte:

1. aus der Position Reisekosten (Pos. 0846) 3.000€ in die Position Verbrauchsmaterialien (Pos. 0843)
2. weitere 3.000€ aus der Pos. 0846 in die Pos. 0835 für Vergabe von Aufträgen.

Die konkreten Zahlen sind dem zahlenmäßigen Nachweis zu entnehmen

1.2. Der voraussichtliche Nutzen, insbesondere die Verwertbarkeit des Ergebnisses - auch konkrete Planungen für die nähere Zukunft - im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Es wurden im Berichtszeitraum keine Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen gemacht oder in Anspruch genommen. Im Rahmen des IHP Transfer Workshops wurden die Ergebnisse hinsichtlich einer kommerziellen Verwertung geprüft, eine direkte Vermarktungsmöglichkeit wurde aufgrund des experimentellen Standes der Komponenten jedoch nicht identifiziert. Eine Nutzung im Rahmen zukünftiger Forschungsprojekte wird jedoch weiterhin angestrebt.

1.3. Während der Durchführung des Vorhabens dem Zuwendungsempfänger bekannt gewordenen Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Innerhalb des Berichtszeitraums sind keine FuE-Ergebnisse bekannt geworden, die das Vorhaben direkt beeinflussen oder gefährden.

1.4. Die erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 5 der NKBF/NABF

Frohberg M., Weidling S., Langendoerfer P. (2021) Challenges in Developing a Wireless Sensor Network for an Agricultural Monitoring and Decision System. In: Ghita B., Shiaeles S. (eds) Selected Papers from the 12th International Networking Conference. INC 2020. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 180. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-64758-2_16