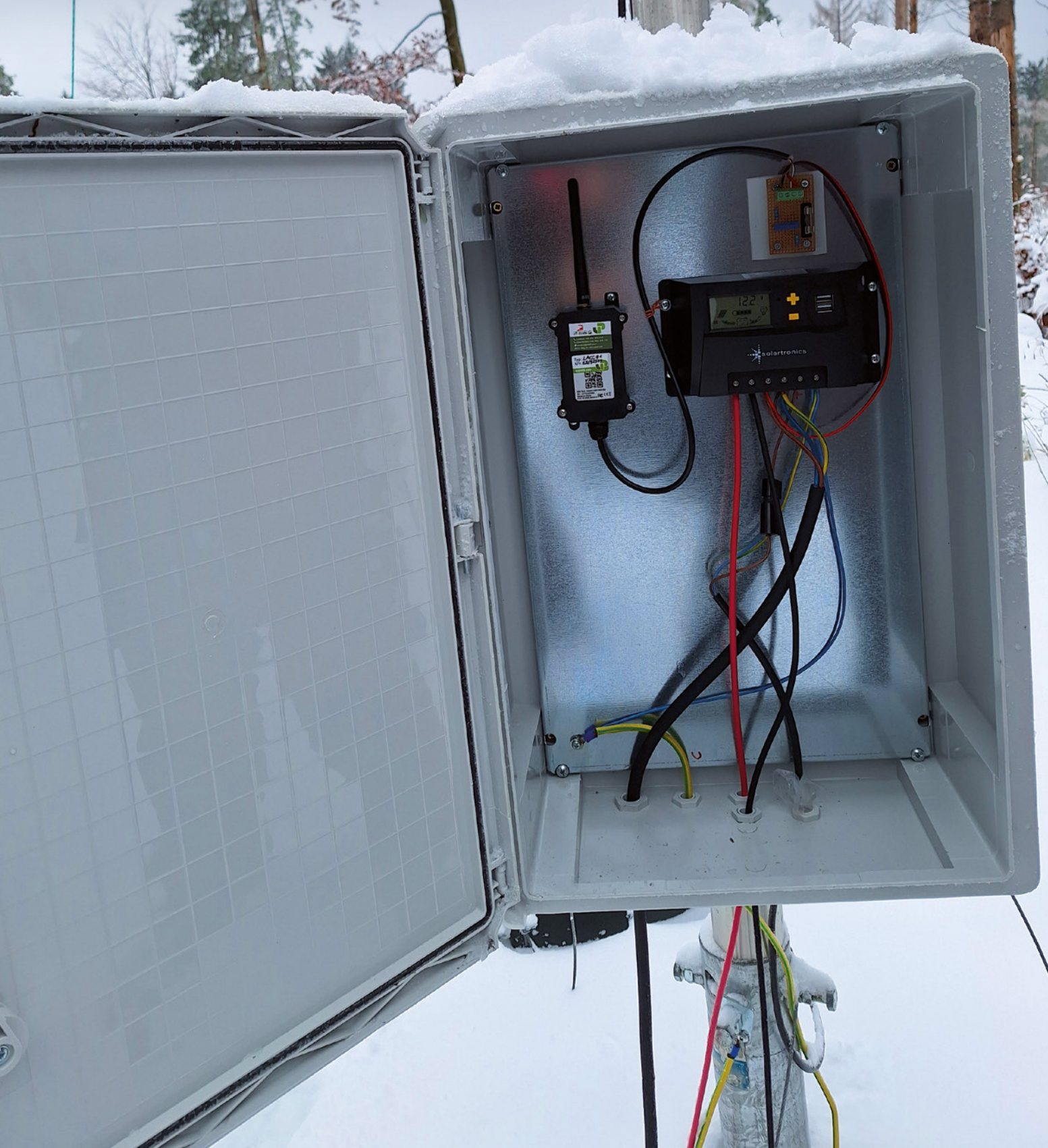


# 21

## Das Datenfunksystem LoRaWAN

als projektübergreifende Infrastruktur in der Forschung



**Verschiedene Forschungsprojekte und Anwendungsgebiete benötigen Verfahren zur Datenerfassung. Um das möglich zu machen, wurde ein flächendeckendes LoRaWAN-Netz im Nationalpark errichtet. LoRaWAN ist eine Technologie, die auf die Übertragung kleiner Datenmengen unter geringem Energieeinsatz spezialisiert ist. Wie alle funkbasierten Übertragungsverfahren für Forschungsdaten hat auch LoRaWAN spezifische Vor- und Nachteile. Nachdem eine flächendeckende Abdeckung mit Gateways gesichert ist, können über diese Technologie störungsarm und mit relativ geringem Aufwand vielfältige Daten erfasst werden. Die bestehende Infrastruktur macht es möglich, neue Projekte und Endgeräte unkompliziert einzubinden. Durch die direkte Verfügbarkeit der Daten in der Datenbank kann auf Ausfälle schnell reagiert und die Qualität des Datensatzes gesichert werden. Zusätzlich können die aktuellsten Daten direkt ausgewertet werden. Erste Erfahrungen mit der Technologie konnten bereits in einem Projekt zum Moose- und Flechtenmonitoring gesammelt werden.**

### Die Autoren

Rainer Maria Kreten, Mitarbeiter des Nationalparkamtes Hunsrück-Hochwald, ist Förster, Fachinformatiker sowie lizenzierter Funkamateurl. Seit 2016 ist er im Nationalparkamt in den Bereichen GIS-IT und Geodatenmanagement tätig.



Miriam Gisch hat in Aachen Geographie studiert und ist Mitarbeiterin des Nationalparkamtes Hunsrück-Hochwald. Sie ist in den Bereichen GIS und Forschungsdateninfrastruktur tätig.



## Einleitung

Ein Großteil der in Forschungsvorhaben anfallenden Daten stammt von Sensoren in der Fläche. Diese können ortsfest oder auch beweglich sein. Ist es bei ortsfesten Datenquellen noch möglich, diese in bestimmten Zeitintervallen aufzusuchen, um die Daten auf ein mitgeführtes System, beispielsweise ein Smartphone oder einen Rechner, zu übertragen, so gerät dieses Vorgehen bei Projekten mit wildtierökologischen Fragestellungen an seine Grenzen. Zudem verursacht das persönliche Aufsuchen im Gelände nicht nur Kosten, es stellt auch eine Beunruhigung des Biotops dar und hat so unter Umständen Auswirkungen auf den Versuchsverlauf bzw. die Ergebnisse.

Weitere Nachteile des händischen Einsammelns von Daten sind, dass diese erst mit Zeitverzug in den Datenpool eingespielt werden und Störungen des Versuchsaufbaues frühestens beim nächsten Aufsuchen erkannt werden. Im Extremfall fallen Störungen erst auf, wenn die zentral zusammengeführten Daten ausgewertet werden.

Aus diesen Gründen wurden mehrere Ansätze entwickelt, Forschungsdaten drahtlos zu übertragen. Diese Lösungswege haben spezifische Vor- und Nachteile. Sie sind auf die jeweiligen Forschungsvorhaben zugeschnitten und haben keine allgemeine Verbreitung als übergreifende Forschungsinfrastruktur gefunden.

Um eine für verschiedene und vielfältige Anwendungsgebiete geeignete, flächendeckende Infrastruktur zur Datenübertragung im Nationalpark aufzubauen, wurde sukzessive ein offenes LoRaWAN-Netz errichtet.

## Bisher etablierte Verfahren

Bei klassischen Punkt-zu-Punkt-Verfahren wird aus den Sensorwerten ein Funksignal erzeugt, das im Empfänger dekodiert, angezeigt und gespeichert wird. Der Empfänger muss sich dabei in Reichweite befinden, was die Ausdehnung des abgedeckten Gebietes auf maximal einige Kilometer beschränkt. Die Nutzung eines Funkkanals für mehrere Sender kann zu Signalkollisionen durch gleichzeitig ausgesendete Datenpakete führen.

Dem kann auf zwei Arten begegnet werden. Entweder werden die Sender so konfiguriert, dass sie nur innerhalb individuell definierter Zeitschlitze arbeiten oder es wird über eine bidirektionale Verbindung eine Wiederholung des gestörten Datenpakets angefordert. Die Sender werden dann erst nach einer zufälligen Zeitspanne wieder aktiv, um erneute Kollisionen zu vermeiden. Die Implementierung einer Echtzeituhr zur Berechnung der Zeitschlitze und bidirektional ausgelegte Funkverbindungen bedeuten nicht nur einen hohen und kostspieligen Hardwareaufwand, es wird auch viel Energie zur Organisation der Datenübertragung selbst benötigt, was große Batteriespeicher oder kürzere Wechselintervalle bedeutet.

Im Store-and-forward-Verfahren speichern die Sensoren zunächst ihre Messwerte. Das Funkmodul überwacht, ob eine Funkübertragung möglich ist. Sobald die Übertragungstrecke stabil steht, werden die gespeicherten Daten gesendet. Dieses Verfahren hat vor allem in der Wildtiertelemetrie Vorteile. Taucht ein Versuchstier aus dem Funkschatten auf, werden die gespeicherten Daten verfügbar. Aus Energieeffizienzgründen kann danach das Funkmodul in den Ruhemodus versetzt werden. Erst nach einer vordefinierten Zeitspanne wird es wieder aktiviert, um die nächsten Datenpakete zu senden. Dieses Verfahren wird auch für das Auslesen von Sensoren mit Hilfe eines Funkmoduls an einer Drohne oder einem Fahrzeug angewandt. Bei der Datenübertragung über niedrig fliegende Satelliten, die in kurzen Zeitfenstern das Versuchsgebiet überfliegen wird dieses Verfahren ebenfalls verwendet.

Ist das Versuchsgebiet durch eines der Mobilfunknetze zuverlässig abgedeckt, können Sensorwerte darüber übertragen werden. Auch hier wird Store-and-forward eingesetzt, um Datenverluste zu vermeiden. Bei Mobilfunknetzen fallen allerdings für jeden Einzelstandort Mobilfunkgebühren an. Auch der Energiebedarf ist bei Mobilfunkmodulen mitunter hoch und lässt sich abhängig vom Netz nur schwer prognostizieren.

## LoRaWAN (Long Range Wide Area Network)

Der Begriff im ursprünglichen, engeren Sinn bezeichnet eine Modulationsart, also eine Technik, um Funksignale zu erzeugen, die Informationen transportieren. Das Verfahren selbst ist proprietär; die Patente hält der US-Chiphersteller Semtech Corporation. Die LoRa-Alliance ist ein Zusammenschluss von Firmen und Organisationen, deren Ziel die Bündelung von Entwicklungskapazitäten und die Definition verbindlicher Standards ist.

LoRaWAN ist auf die Übertragung kleiner Datenmengen mit geringem Material- und Energieeinsatz und hoher Übertragungssicherheit hin optimiert. Es eignet sich nicht für datenintensive Anwendungsfälle wie z.B. Wildkamearas. Das System ist für kurze Datenpakete konzipiert, mit denen elektronische Geräte (Maschinen) untereinander kommunizieren. Man spricht in diesem Fall von M2M-Kommunikation oder auch vom Internet of Things, kurz IoT. Viele in der Industrie verwendete IoT-Geräte, wie zum Beispiel Pegelsensoren, können ebenfalls für wissenschaftliche Zwecke verwendet werden.

LoRaWAN-Signale sind sehr breitbandig. Dadurch sind sie deutlich weniger anfällig gegen Störungen auf dem Übertragungskanal als klassische Modulationsarten. Zudem haben aktuelle Geräte die Möglichkeit des Frequenzhoppings. Für jede Übertragung wird der Kanal gewechselt.

Ein weiterer Vorteil ist die unbürokratische Nutzung des Frequenzbereiches von 863 MHz bis 868 MHz in Europa. In Deutschland ist durch eine Allgemeinverfügung der Bundesnetzagentur die Nutzung geregelt. Es ist keine Anmeldung oder Koordinierung erforderlich, jeder kann damit Netze aufbauen und in Betrieb nehmen. Lediglich bei der Montage an Gebäuden und Speisung aus dem Stromnetz gelten die einschlägigen Bau- und VDE-Vorschriften.

Der dritte Vorteil ist die offene Nutzung des Netzes durch verschiedene Anwender. Mit LoRaWAN lassen sich zwar auch geschlossene Netze aufbauen, offene Netze bieten aber den Vorteil, dass verschiedene Anwender ihre Infrastrukturen wechselweise nutzen und auch Gastnutzer darauf zurückgreifen können. Dabei fallen keine Entgelte an und auch die Dateninhalte sind dank einer Verschlüsselung vor Fremdzugriff geschützt.

Die größte globale Community ist das „The Things Network“ (TTN), das nicht nur für den Wissensaustausch und die Vernetzung von Entwicklungskapazitäten sorgt, sondern auch an mehreren Standorten weltweit Server bereitstellt, auf denen die Daten zusammenlaufen. Über entsprechende Werkzeuge können die Nutzer auf diese Server zugreifen und den Datenaustausch mit ihren eigenen Anwendungsservern realisieren.

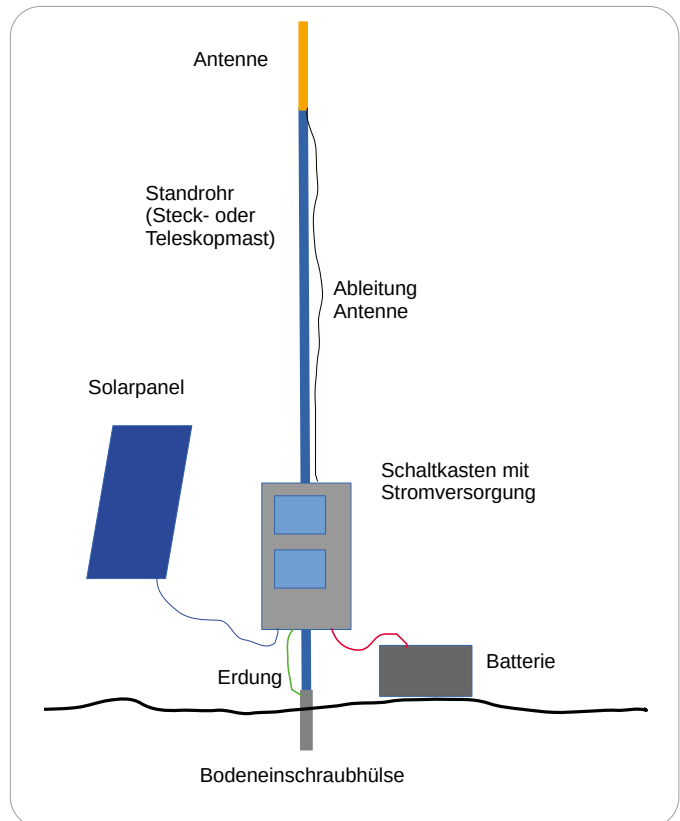
LoRaWAN hat sich seit seiner Etablierung um das Jahr 2015 als technisch stabiles System erwiesen, das auch als Komponente in Geschäftsprozessen tauglich ist.

Im Zuge der Kooperation des Nationalparks Hunsrück-Hochwald mit dem Umweltcampus der Hochschule Trier (UCB) konnte das Projekt, auch unter Einbeziehung von Studierenden, seit 2020 gemeinsam erarbeitet und schließlich umgesetzt werden.

## Der Netzaufbau im Nationalpark

LoRaWAN Gateways nehmen die Signale der Sensoren entgegen und leiten sie per Internet zum Backend-Server des TTN weiter. Die von einem Gateway sicher versorgte Fläche geht nur wenig über die optische Sichtbarkeit hinaus. Die Entfernung spielt dabei eine nur untergeordnete Rolle. Beim Netzaufbau gibt es zwei unterschiedliche Paradigmen. Will man nur einzelne Punkte oder eng umgrenzte Projektgebiete versorgen, so optimiert man den Standort des Gateways auf dieses Projektgebiet hin. Um eine möglichst lückenlose Flächendeckung zu erzielen, sucht man eine Verteilung, bei der von jedem Punkt in der Fläche mindestens ein Gateway sichtbar ist. Im Hinblick auf die Nutzung des LoRaWAN-Netzes für mehrere, unabhängig voneinander durchgeführte Projekte wurde die zweite, flächendeckende Variante umgesetzt.

Die Verbandsgemeinde Birkenfeld hat eigene Gateways an öffentlichen Gebäuden montiert, welche auch die Südflanke des Nationalparks weitestgehend abdecken.



**Abb. 1: Schematische Darstellung der „Birkenfelder Box“; eigene Darstellung**

Auch Gateways privater Nutzer sorgen für zusätzliche Versorgung, vor allem in den Randbereichen.

Im Nationalpark wurden zunächst potenziell geeignete Standorte an Gebäuden gesucht. Auf dem Turm der Wildenburg bei Kempfeld wurde ein erstes Gateway realisiert. Ein ehemals militärisch genutzter Funkmast scheidet wegen erheblicher administrativer Hürden aus. Wasserhochbehälter auf den Gipfeln versprechen zwar bei der ersten Betrachtung hohe Maximalreichweiten, die umliegenden Täler liegen aber oftmals im Funkschatten.

So ergab sich die Notwendigkeit, die Platzierung der Gateways unabhängig von Gebäuden und Netzstromversorgung zu optimieren. Außerdem sollten die Gateways im Bedarfsfall mit vertretbarem Aufwand umzusetzen sein und die Auswirkungen auf das Wildnisgebiet möglichst geringgehalten werden.

Unter diesen Anforderungen entstand in Zusammenarbeit mit dem UCB die „Birkenfelder Box“ (Abb. 1). Herzstück ist ein wetterfester Schaltkasten für die elektronischen

Komponenten. Ein Standrohr in einer Bodeneinschraubhülse, ein Teleskop-Antennenmast sowie eine kleine Solaranlage mit Akku komplettieren die Installation. Zusätzlich wurde in jeder Box ein LoRaWAN-fähiger Spannungswächter installiert, um die Akkuladung zu überwachen, damit dieser bei geringer Restkapazität ausgetauscht werden kann. Der Aufbau der vorgefertigten Box im Gelände kann mit drei Personen in etwa zwei Stunden erledigt werden. Die detaillierte Bauanleitung wurde bereits publiziert (Kreten 2024) und war Gegenstand mehrerer studentischer Arbeiten.

Um die optimalen Standorte zu finden, wurden zunächst mit Ortskunde, einer topografischen Karte mit Höhenlinien und Erfahrungen für die Wellenausbreitung im genutzten Frequenzbereich mögliche Standorte identifiziert. Von diesen Punkten aus wurde per GIS und digitalem Höhenmodell die optische Sicht berechnet und in der Karte dargestellt. Die Antennenhöhe des Gateways wurde dabei mit 7 Metern angenommen, die der Sensoren mit 1,4 Metern. Als digitales Höhenmodell kam das ASTER-Modell mit ca. 30 m Zellgröße und 1 m Höhenauflösung zum Einsatz.

Die ursprünglich ausgewählten Aussichtspunkte deckten durchweg weniger Flächen ab als Orte an Hangkanten. Nach Simulationen am Rechner wurden die potenziellen Aufstellorte im Gelände überprüft. Die Zuwegung muss mit vertretbarem Aufwand möglich und die Mobilfunkversorgung zuverlässig gegeben sein. Weitere Ausschlusskriterien sind stehendes Totholz, Staunässe, Dichtstand der Bäume (Photovoltaik) oder gute Sichtbarkeit von den Hauptwanderrouten aus.

An den eruierten Standorten wurde zunächst ein an einem Lautsprecherstativ montierter Gateway temporär aufgestellt. Dabei lag der Antennenfußpunkt nur 2,3 m über Grund, beim verwendeten Antennenmast sind es rund 6,5 m. Die mit einem Testsender ermittelte Gebiets-

abdeckung des Probeaufbaus gibt aber valide Hinweise auf den späteren Funkversorgungsbereich mit dem höheren Mast. Jeder durch Simulation vorbereitete Schritt bedarf der empirischen Überprüfung, um das Netz weiter zu optimieren. Endgeräte, die unter guten Bedingungen nur wenig Empfang haben, fallen bei schlechterer Witterung wie Nassschnee oder regennassen Laubwäldern oftmals spontan aus. Den über das TTN laufenden Daten wird als wichtiges Metadatum der RSSI-Wert hinzugefügt. Dieser Wert gibt die Qualität der Funkstrecke an. Darüber kann objektiv beurteilt werden, ob die Verbindung nicht nur zum Testzeitpunkt funktioniert, sondern auch genügend Reserven für einen dauerhaften, stabilen Betrieb bereithält. So kann die Abdeckung an den verschiedenen Standorten getestet und die Aufstellung optimiert werden.

Trotz der anspruchsvollen Topografie, welche die nutzbare Reichweite der Gateways oft einschränkt, ist mit den fünf bereits installierten Gateways im Nationalpark und den öffentlichen Gateways von umliegenden Gemeinden bereits ein großer Teil der Parkfläche zuverlässig mit LoRaWAN abgedeckt.

## Sammeln der Daten auf dem Anwendungsserver

Sowohl Gateways als auch Endgeräte werden im TTN mit ihrer eindeutigen Kennung registriert. Gateways sind nach ihrer Einrichtung Teil der Infrastruktur und allgemein nutzbar. Bei der Registrierung der Endgeräte werden diese einer projektbezogenen Anwendung zugeordnet. Über das TTN können auch Nachrichten an die Geräte gesendet werden, um zum Beispiel das Sendeintervall anzupassen.

Aus den im TTN einlaufenden Rohdaten im Hexadezimalformat werden über einen gerätespezifischen Pay-

id	ttnpost	import_time	application_id	device_id
490360	{„end_device_ids“:{„device_id	15.08.2024 07:48	nlphh-nnl-fum	nlphh-lft-45
490359	{„end_device_ids“:{„device_id	15.08.2024 07:45	nlphh-nnl-fum	nlphh-lft-54
490358	{„end_device_ids“:{„device_id	15.08.2024 07:40	nlphh-nnl-fum	nlphh-lft-43
490357	{„end_device_ids“:{„device_id	15.08.2024 07:38	nlphh-nnl-fum	nlphh-lft-14
490356	{„end_device_ids“:{„device_id	15.08.2024 07:36	nlphh-nnl-fum	nlphh-lft-48
490355	{„end_device_ids“:{„device_id	15.08.2024 07:36	nlphh-nnl-fum	nlphh-lft-32
490354	{„end_device_ids“:{„device_id	15.08.2024 07:34	nlphh-akkuwaechter	nlphh-akku-06
490353	{„end_device_ids“:{„device_id	15.08.2024 07:33	nlphh-nnl-fum	nlphh-lft-13

Abb. 2: Beispielsicht von Daten in der Datenbank des Forschungsservers

load-Formatter für Menschen lesbare Daten generiert und in der Live-Data-Ansicht dargestellt. Da das TTN aber keine Umgebung zur längerfristigen Datenhaltung und -auswertung darstellt, müssen die angezeigten Daten ausgelesen und in eine Datenbank überführt werden. Es existieren von Dienstleistern bereitgestellte Cloud-Datenbanken mit zugehörigen Webhooks. Zudem besteht aber auch die Möglichkeit, mit Hilfe von benutzerdefinierten Webhooks die Daten in einer eigenen Datenbank zu speichern. Wir verwenden einen benutzerdefinierten Webhook, um die erfassten Daten direkt nach dem Eintreffen auf den Datenbankserver der Forschungsinfrastruktur zu übermitteln.

Dieser Prozess ist technisch über mehrere Zwischenschritte realisiert. Die vom TTN einlaufenden Daten liegen in einem definierten Textformat (JSON-Format) vor. Sie enthalten sowohl die Messwerte als auch Metadaten wie Zeitstempel, Geräte-ID, Anwendungs-ID, Signalgüte, genutztes Gateway und weitere technische Parameter. Diese Daten werden in einer Datenbanktabelle abgelegt und mit ID und Zeitstempel versehen (Abb. 2).

In Abhängigkeit von den Dateninhalten werden beim Schreiben in die Datenbank vordefinierte Aktionen ausgelöst. Diese bezeichnet man als Trigger. Der Trigger extrahiert aus den JSON-Daten die Informationen und legt sie strukturiert in zugeordneten Tabellen ab. Diese Tabellen repräsentieren die Eingangsdaten der jeweiligen Anwendungen. Sie sind fest mit den Datenbanken auf dem nationalparkinternen Postgres-Server verknüpft. Dort kann unmittelbar auf die aktuellste Version der Daten zugegriffen werden. Sie stehen also nicht nur in nahezu Echtzeit zur Weiterverarbeitung zur Verfügung, sondern können auch sofort plausibilisiert werden. Dadurch werden Ungereimtheiten sofort sichtbar und es kann zeitnah gegengesteuert werden.

## Erste Erfahrungen im Umgang mit der Technik

Die Gateways laufen seit ihrer Ausbringung zuverlässig. Die verwendeten Bleiakkus sind so dimensioniert, dass sie den Energiebedarf der Gateways eigenständig für zwei Wochen abdecken. Es zeigte sich, dass auch in den Wintermonaten die Energieerträge der Solarpanels nahezu durchgängig ausreichen, um die Systeme autark am Laufen zu halten. Ein Tausch der Bleiakkus war nur ein- bis zweimal pro Jahr notwendig. Nachdem es bei



**Abb. 3: a) Logger mit Messgerät, b) Sensor mit Messgerät, c) Detailaufnahme Messgerät und Sensor; eigene Aufnahmen**

einzelnen Spannungswächtern zu Problemen mit deren interner Batterie kam, werden diese nun sukzessive modifiziert und über die Bleiakkus mitversorgt.

Bei den für ein Projekt aufgestellten Messgeräten kam es zu mehreren Ausfällen. Einige davon wurden durch Tiere, andere durch Vandalismus verursacht. Speziell hochwertige Kabel mit einem Mantel aus Silikongummi wiesen Bissspuren auf. Circa 8% der Geräte hatten Probleme durch eine frühzeitig nachlassende Batteriespannung. Die Lithium-Thionylchloridzellen sollten laut Hersteller-

angaben mehrere Jahre halten. Zudem wurden die Sendeintervalle deutlich verlängert, was die Laufzeit zusätzlich erhöhen sollte. Dieser Batterietyp hat eine hohe Lagerfähigkeit, allerdings ist es nicht möglich, die Restkapazität durch Messen der Klemmenspannung zu bestimmen. Daher kann nicht prognostiziert werden, wann ein Sensor ausfällt. Die defekten Geräte und Batterien wurden gezielt angelaufen und ausgetauscht.

## Beispielprojekt: Moose- und Flechtenmonitoring

Ein erstes Projekt, bei dem LoRaWAN zum Einsatz kommt, ist das Moose- und Flechtenmonitoring. Das Projekt ist eine Kooperation der Nationalparke Hainich, Kellerwald-Edersee, Eifel und Hunsrück-Hochwald. Es wurde ein standardisiertes Verfahren zur Kartierung von Moos- und Flechtenarten entwickelt (Bültmann et al. 2023), um deren Veränderung über einen längeren Zeitraum zu untersuchen. An ausgewählten Standorten werden Probekreise markiert, in denen alle fünf Jahre die Arten an bestimmten Bäumen erfasst werden. Neben der Kartierung werden an jedem Standort stündliche Temperatur- und Luftfeuchtemessungen benötigt. Hierfür wurden die 60 Standorte im Laufe von zwei Jahren mit jeweils einem LoRaWAN-fähigen Gerät ausgestattet. Die Geräte wurden in einer Anwendung im TTN registriert und die Sendeintervalle angepasst. Da besonders zu Beginn der Ausbringung die vollständige Abdeckung durch die vorhandenen Gateways noch nicht gewährleistet war, kommen zwei verschiedene Gerätetypen zum Einsatz: Sensoren, die die erfassten Daten lediglich senden und Logger, die senden und zusätzlich einen internen Speicher haben, der ausgelesen werden kann (Abb. 3).

Die Logger wurden an Standorten ohne verlässliche LoRaWAN-Verbindung montiert, um Datenverluste zu vermeiden. Alle anderen Standorte wurden mit Sensoren versehen. Ein großer Teil der Geräte sendet zuverlässig die Daten ans TTN und weiter auf die Datenbank. Die Logger werden weiterhin aufgesucht und per Kabel ausgelesen. Durch eine hohe Speicherkapazität und eine Batterielaufzeit von mehreren Jahren müssen diese nur selten angelaufen werden.

Auf der Datenbank werden die Metadaten wie Geräte-ID, Batteriespannung und Zeitstempel sowie Messwerte wie Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit in die zugehörige Tabelle überführt (Abb. 4). Diese Daten stehen nun zur Auswertung zur Verfügung.

## Ausblick

In Zukunft sollen weitere Forschungsprojekte das aufgebaute LoRaWAN-Netz verwenden. Eines davon ist das FORTUNA-Projekt, welches in Zusammenarbeit mit dem Klimawald-2100-Projekt die Sukzession auf den Fichtenkalamitätsflächen im Nationalpark untersucht. Es soll erforscht werden, wie sich die betroffenen Flächen nach der Kalamität entwickeln und welche Unterschiede es dabei zwischen verschiedenen Behandlungsarten gibt. Dafür sollen auf mehreren Versuchsflächen mit Hilfe von LoRaWAN sowohl Lufttemperatur und -feuchte als auch Bodentemperatur und -feuchte erfasst werden.

Die Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft testet in einem Pilotprojekt zum Verhalten von Feldhasen im Pfälzerwald mit der Unterstützung des Nationalparks die Umsetzbarkeit einer LoRaWAN-Infrastruktur in einer Region mit anspruchsvollem Relief.

id	device_id	application_id	received_at	BatInfo	Hum_SHT	TempC_SHT	ttn_id
196628	nlphh-lft-40	nlphh-nnl-fum	06.04.2023 09:12	3.7	42.0	7.6	290
196629	nlphh-lft-34	nlphh-nnl-fum	06.04.2023 09:16	3.7	46.9	6.7	291
196630	nlphh-lft-29	nlphh-nnl-fum	06.04.2023 09:18	3.7	47.2	6.1	292
196631	nlphh-lft-42	nlphh-nnl-fum	06.04.2023 09:26	3.7	42.1	8.1	293
196632	nlphh-lft-2	nlphh-nnl-fum	06.04.2023 09:30	3.7	40.9	8.8	294
196633	nlphh-lft-37	nlphh-nnl-fum	06.04.2023 09:32	3.7	44.4	7.9	295
196634	nlphh-lft-35	nlphh-nnl-fum	06.04.2023 09:33	3.7	45.4	7.1	296
196635	nlphh-lft-36	nlphh-nnl-fum	06.04.2023 09:37	3.7	44.0	6.9	297
196636	nlphh-lft-31	nlphh-nnl-fum	06.04.2023 09:37	3.7	42.5	8.4	298

Abb. 4: Beispieldaten Moose- und Flechtenmonitoring

Die Technologie macht eine Erfassung langer Datenreihen auf eine störungsarme Art und Weise mit geringem Personalbedarf in der Fläche möglich, was sich vor allem in den Wildnisbereichen positiv auswirkt. Dies macht die Errichtung einer LoRaWAN-Infrastruktur in Großschutzräumen besonders attraktiv.

## Quellen

**Kreten, R. M. (2024):** Die Birkenfelder Box. Make: 02/24. S. 90 – 91. Heise-Verlag. Online verfügbar unter [www.make-magazin.de/xwsr](http://www.make-magazin.de/xwsr)

**The Things Network:** [www.thethingsnetwork.org](http://www.thethingsnetwork.org)

**Bültmann, H., Eckstein, J., Drehwald, U., Ferrara, B., Henkel, A., Kaus-Thiel, A., Lang, C., Milles, A., Moore, D., Pardey, A., Preußing, M., Schmiedel, I., Schock, B., Tent, N., Teuber, D. & Waesch, G. (Bearb.) (2023):** Monitoring von Moosen und Flechten in großflächigen Waldbiotop-typen. Verfahrensbeschreibung und Aufnahmeanleitung. Herausgegeben von dem Nationalparkamt Kellerwald-Edersee, der Nationalparkverwaltung Hainich, der Nationalparkverwaltung Eifel und dem Nationalparkamt Hunsrück-Hochwald.



## Im Überblick

- LoRaWAN gilt seit seiner Etablierung 2015 als technisch stabiles System zur Übertragung kleiner Datenmengen unter geringem Energieeinsatz.
- Die Technik ist sehr robust gegenüber Störungen und arbeitet extrem energieeffizient.
- Der Netzaufbau wie auch das Einbinden von Endgeräten erfolgt durch die Allgemeinzuteilung des genutzten Frequenzspektrums ohne bürokratische Hürden.
- Projektbezogen aufgestellte, autark arbeitende Gateways ermöglichen die störungsarme Versorgung von Wildnisgebieten.
- Durch Kooperation mit dem Umweltcampus der Hochschule Trier wurde der Prototyp eines wildnistauglichen Gateways entwickelt.
- Die Infrastruktur wird durch verschiedene Anwender gemeinsam aufgebaut und genutzt.
- Das Moose- und Flechtenmonitoring ist das erste Projekt mit LoRaWAN-Nutzung im Nationalpark Hunsrück-Hochwald.