

Entwicklung einer prototypischen Infrastruktur für ein Totholzmonitoring

A Monitoring Infrastructure Prototype for Coarse Woody Debris

Tobias Kirschke¹, Christian Wolff¹

¹Hochschule Anhalt, Dessau-Roßlau · tobias.kirschke@hs-anhalt.de

Zusammenfassung: Totholz als Strukturelement in Fließgewässern, ist umstritten. Hier stehen den positiven Aspekten aus ökologischer Sicht, negative Aspekte aus Sicht der Verkehrsinfrastruktur, Hochwasserschutzanlagen und Flächennutzungen entgegen. Eingebrochenes Totholz als Bestandteil von Renaturierungsmaßnahmen steht somit besonders im Fokus der Öffentlichkeit. Belastbare Datensammlungen hierzu existieren jedoch nicht. Daher sollte in einem ersten Schritt eine prototypische Infrastruktur zur Erfassung der Totholzbeweglichkeit konzipiert und entwickelt werden. Der vorliegende Beitrag stellt die Ausgangssituation und den gewählten Ansatz vor. Auf Basis einer Anforderungsanalyse erfolgte die Konzeption, Entwicklung und Test einer prototypischen Sensorplattform.

Schlüsselwörter: Totholz, Sensorfusion, Prototyping, Drahtlose Sensornetzwerke, Umweltmonitoring

Abstract: Coarse woody debris as a structural element in rivers is controversial. The positive aspects from an ecological point of view are in contrast to the negative aspects from the point of view of the transport infrastructure, flood protection systems and land use. Coarse woody debris brought in as part of renaturation projects is therefore particularly in the public eye. However, there are no reliable data collections on this. Therefore, in a first step, a prototypical infrastructure for recording the mobility of coarse woody debris should be designed and developed. This article presents the initial situation and the chosen approach. Based on a requirements analysis, the conception, development and testing of a prototypical sensor platform took place.

Keywords: Coarse woody debris, sensor fusion, prototyping, wireless sensor networks, environmental monitoring

1 Hintergrund und Zielsetzung

Aufgrund der historischen „Bereinigung“ von Flussbetten sind heutige Totholzvorkommen, insbesondere große natürliche Komponenten, kaum noch vorhanden. Unter Totholz versteht man alle Arten von abgestorbenen Gehölzen bzw. Teilen davon mit einem Durchmesser von ≥ 1 cm wie Reisig, Äste, Stämme und Wurzeln bis hin zu vollständigen Bäumen (Kail & Gerhard, 2003; Gerhard & Reich, 2001). Totholz dient in Fließgewässern als Strukturelement, welches die Strömungsverhältnisse verändert und somit Einfluss auf die Hydrologie und Morphologie hat. Es dient in natürlichen Fließgewässern als Lebensraum für viele Arten (Kail & Gerhard, 2003). Im geförderten Verbundforschungsprojekt „Wilde Mulde“ wurden diverse Renaturierungsmaßnahmen umgesetzt und untersucht. Unter anderem wurde die Einbringung von verankerten Raubäumen und die Wiederherstellung eines Naturufers mit zu erwartendem Sturzbaumeintrag in das Gewässer umgesetzt (Schrenner et al., 2020). Raubäume sind Bäume, die bewusst eingebracht werden, um damit die Rauigkeit des Flussbettes

zu erhöhen (WWF Deutschland, 2020). Sturzbäume sind Bäume, die zum Gewässer hin umgestürzt sind (Kail & Gerhard, 2003). Bereits beim Projektauftritt zeigte sich die ablehnende Haltung einiger Anwohner in Bezug auf das Einbringen verankerter Bäume insbesondere aufgrund der Vermutung, von diesen könnte eine zusätzliche Hochwassergefahr ausgehen und wenn sie treiben, Brücken verklausen oder Deiche beschädigen (Schrenner et al., 2020).

Bei der Diskussion des Vorhabens mit der ortsansässigen Bevölkerung wurde immer wieder die Frage nach der Beweglichkeit jedweden Totholzes sowie eventueller Präventivmaßnahmen diskutiert. Allerdings konnte diese Diskussion nicht auf Basis belastbarer Datensammlungen zur Totholzbeweglichkeit geführt werden (WWF Deutschland, 2017a; WWF Deutschland, 2017b). Neben der Steigerung der Akzeptanz künstlich eingebrachter Raubäume durch deren kontinuierliches Monitoring und damit Informationen zu deren aktueller Beweglichkeit sind die Daten auch für weitere wissenschaftliche Fragestellungen von Interesse. So können beispielsweise die Veränderungen am Gewässerbett, die nach dem Raubaumeinbau durch Wirbelströmungen zu erwarten sind, in Abhängigkeit von der Bewegung untersucht werden. Zum Beispiel ist die Fragestellung, wie die Sedimentbildung um den Baum von dessen Bewegung abhängig ist, für verschiedene Forschungsdisziplinen relevant. Raubäume als natürliche Elemente sind permanenten Veränderungen unterworfen und als dynamisches System nur bedingt für Simulationen geeignet. Das Anbringen von Sensoren an mobilen Untersuchungsobjekten ist im Bereich der Fauna bereits seit Jahrzehnten etabliert aber für das Monitoring von Totholz bislang nicht erprobt.

Alternativen wie Fernerkundungsdaten, etwa von Drohnen oder Satelliten bzw. durch die terrestrische Installation von Kameras oder durch Begehungen, können die Fragestellung, insbesondere aufgrund der räumlichen und zeitlichen Auflösung, nicht vollumfänglich beantworten. Die Aufnahmen stehen nicht in Echtzeit zur Verfügung, können nur bestimmte, zuvor definierte, Zeitpunkte abdecken und erschweren die Nachvollziehbarkeit durch Veränderungen der umgebenden Vegetation. Beispielsweise bei Hochwasserabflüssen lässt sich schwer vorhersagen, wann ein Baum in Bewegung gerät. Als weitere Datenebene können die genannten Verfahren aber mit den Daten der Sensorplattform kombiniert werden.

Aus den genannten Gründen sollte in einem ersten Schritt eine prototypische Sensorinfrastruktur zur Erfassung der Totholzbeweglichkeit erstellt und erprobt werden. Ziel dieser als Machbarkeitsstudie angelegten Untersuchung war die Entwicklung eines Prototyps für eine telemetrische Infrastruktur, welche die Erhebung, Übertragung und Auswertung der für die Analyse der Mobilität von Totholz nötigen Daten (Zeit, Position und Orientierung im dreidimensionalen Raum, Form/Typ) ermöglicht.

2 Methodisches Vorgehen

2.1 Anforderungsanalyse

Totholz in Fließgewässern kann bestimmten Bewegungsszenarien unterliegen, die bei der Definition der Anforderungen zu beachten sind. So liegt das Totholz entweder lagestabil oder es bewegt sich. Entsprechend befinden sich die Sensoren zur Datenerfassung über oder unter Wasser. Zur genaueren Definition der Anforderungen wurde eine Analyse durchgeführt. Diese diente der Erfassung der Rahmenparameter für die in der Machbarkeitsstudie zu konzipierende und entwickelnde Sensorplattform inkl. der Datenübertragungsinfrastruktur.

2.1.1 Einsatzumgebung

Bei den Untersuchungsobjekten handelte es sich um künstlich eingebrachtes Totholz in Form von Raubäumen als Bestandteil verschiedener Renaturierungsmaßnahmen. Die Elektronikplattform sollte daher in ein entsprechendes Gehäuse verbracht und an bzw. in einem Raubbaum mit einem Durchmesser von mindestens 25 cm befestigt werden. Gleichwohl war bei der Konzeption die Übertragbarkeit auf natürlich entstandenes Totholz zu beachten. Das im Rahmen des Projekts relevante Totholz befindet sich am oder im Flussbereich. Daraus ergaben sich spezielle Anforderungen für die Einsatzumgebung hinsichtlich klimatischer und mechanischer Bedingungen sowie der Wasserdichtheit. Der Temperaturbereich erstreckte sich theoretisch von $\approx -38\text{ }^{\circ}\text{C}$ bis $\approx 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ basierend auf der zum Untersuchungszeitpunkt niedrigsten und höchsten jemals gemessenen Lufttemperatur in Deutschland (Deutscher Wetterdienst, 2017). Die Wassertemperatur wird von vielen Faktoren beeinflusst aber maßgebend ist die Lufttemperatur, an die sich die Wassertemperatur mit zeitlichen Verzögerungen angleicht (Arbeitskreis KLIWA, 2021). Aufgrund des Eintauchens des Baumes in das Wasser sind relativ schnelle Temperaturwechsel möglich. Außerdem kann der Baum Blitzschlag, Hagel, Schnee, Sonneneinstrahlung oder Eis ausgesetzt sein. Des Weiteren finden Rotationsbewegungen des Totholzes statt und es sind Einschläge von Treibgut am Totholz bzw. der Einschlag des Totholzes an anderen Gewässerelementen bei einer Fließgeschwindigkeit von bis zu 3 m pro Sekunde möglich (Jentzsch, 2010). Die dauerhafte Dichtheit bis zu einer Wassertiefe von 10 Metern war vorzusehen. Durch die beschriebenen Rahmenparameter ist die Übertragbarkeit der Einsatzumgebung auf verschiedenste Fließgewässer möglich.

2.1.2 Funktionale Anforderungen

Die Elektronikplattform sollte die Erfassung und Speicherung der Position und daraus abgeleitet der Positionsänderung (horizontal und vertikal) mit mindestens stündlicher zeitlicher Auflösung sowie einer räumlichen Genauigkeit von min. 10 cm ermöglichen. Die 10 cm (horizontal und vertikal) dienen als Schwellwert für mögliche Bewegungsszenarien, wobei dies zunächst ein Schätzwert ist, da wie beschrieben noch keine genauen Erkenntnisse über die Beweglichkeit von Totholz existieren. Außerdem sollten die Verdrehungen um die Stammachse als auch die Stammrichtung erfasst und gespeichert werden. Das Gehäuse der Elektronikplattform sollte diese vor Wasser/Eis schützen und das An- bzw. Einbringen an bzw. in das Totholz ermöglichen. An die Datenübertragungsinfrastruktur wurde die Anforderung gestellt, eine regelmäßige Datenübertragung ohne Vor-Ort-Begehung zu ermöglichen, um die Eingriffe in die Umwelt möglichst gering zu halten.

2.1.3 Anforderungen an die Benutzerfreundlichkeit und Wartbarkeit

Die Anforderungen an die Elektronikplattform und das Gehäuse waren, dass das Besondern von Raubäumen ohne lange Vorlaufzeit möglich ist und die dafür nötigen Zeitaufwände möglichst gering zu halten sind, um die Eingriffe in das Ökosystem zu minimieren.

2.1.4 Einhaltung von internen Regelungen und gesetzlichen Vorschriften

Weiterhin ergaben sich verschiedene rechtliche Anforderungen insbesondere mit Bezug auf die Elektronikplattform und das Gehäuse. Aus dem Einsatz im naturschutzrechtlich streng regulierten Raum resultierten Einschränkungen, zum einen bzgl. der permanenten Wirkung der Sensorplattform (betriebsbedingte Wirkung), zum anderen bzgl. des Einbringens bzw. Entfernens der Sensorplattform (baubedingte Wirkung beim Ein- und Ausbau). Baubedingte

Auswirkungen waren weitestgehend vernachlässigbar. Bei den betriebsbedingten Auswirkungen spielte insbesondere eine eventuell erforderliche, regelmäßige Begehung eine Rolle, sofern speziell das Energiemanagement der Sensorplattform oder die Datensicherung dies erfordern. Generell waren die Eingriffe in die vitalen Bereiche zu minimieren und insbesondere in der Brut- und Setzzeit von März bis Juli möglichst zu vermeiden. Begehungen wären in dieser Zeit durch eine naturschutzrechtliche Befreiung aber grundsätzlich möglich gewesen. Damit war ein jährlicher Turnus der Begehung entweder im September zur Niedrigwasserphase oder im Februar vor der Brut- und Setzzeit als ideal anzusehen.

Bei der Auswahl der zu verbauenden Komponenten war auf Nachhaltigkeit und Wiederverwendbarkeit zu achten. Die Sensorplattform inkl. Gehäuse sollte mit einer Adresse zwecks Rücksendung bei Verlust versehen werden und schwimmen können. Weiterhin kann mit einem Funkmodul und damit übermittelten Positions- und Orientierungsdaten die Sensorplattform aufgefunden werden, entweder durch das Funknetz im Untersuchungsgebiet oder außerhalb des Untersuchungsgebiets durch mobile Empfangsgeräte bzw. durch Einwahl in öffentliche Funknetze. Außerdem waren reflektierende oder fokussierende Oberflächen oder unkontrollierte elektrische Entladungen zu vermeiden, um die Brandgefahr zu minimieren.

2.2 Konzeption und prototypische Entwicklung der Sensorplattform

Nachfolgend wird die erstellte Sensorplattform in Form der konzeptionellen Aspekte und der praktischen Entwicklung beschrieben, wobei es hier auch Überschneidungspunkte gibt. Für die Sensorplattform sind insbesondere die Datenübertragungstechnologie, die Auswahl der Elektronikkomponenten und das Energiemanagement von Bedeutung. Während die Wahl der Übertragungstechnologie theoretischen Überlegungen folgt, ist dies aufseiten der verfügbaren Hardware und deren Spezifika nicht immer hinreichend möglich, da hierfür praktische Tests und Erfahrungen im Vorfeld hilfreich sein können. Dies bedingt teilweise das Zusammenspiel zwischen Konzeption und Entwicklung bis hin zur prototypischen Sensorplattform.

2.2.1 Konzeption

Um die Anzahl von notwendigen Vor-Ort-Begehungen zu minimieren war die Nutzung einer Funkübertragungstechnologie in der geplanten Einsatzumgebung am erfolgversprechendsten. Für die Auswahl der Übertragungstechnik zwischen Sensorplattform und Empfänger mussten verschiedene Kriterien herangezogen werden. Hierzu gehörten der Energieverbrauch, die Reichweite, das Sendefenster, die Übertragungsgeschwindigkeit, die Störanfälligkeit und die Frequenzlizenzierung. Insbesondere die Reichweite in Verbindung mit dem Energieverbrauch war gemäß vorliegendem Anforderungskatalog für die Auswahl der Datenübertragungstechnik von entscheidender Bedeutung. Auf Basis der Anforderungen und der räumlichen Analyse der Gegebenheiten vor Ort zeigte sich, dass die kürzeste Entfernung zwischen einer möglichen Empfangsstation am Flussufer und Flussmitte bereits rund 100 m sein kann. Außerdem sollten die Daten möglichst soweit gesendet werden, dass die Empfangsstation sich mindestens außerhalb des Naturschutzbereichs befinden kann. Dies schränkte die möglichen Funktechniken bereits stark ein. Tabelle 1 zeigt eine Auswahl verschiedener, für geringen Energieverbrauch konzipierte, Funktechniken und deren Parameter (Lacoste, 2018). Aufgrund der möglichen Reichweite waren die Funktechniken LoRaWAN und Sigfox von besonderem Interesse. Beide nutzen lizenzfreie Frequenzbänder mit 868 MHz (Schulze, 2018). Trotzdem sind sie nicht unreguliert, d. h. das Sendefenster beträgt stündlich nur 36 Sekunden (1 % der Zeit) in denen Geräte funken dürfen (Živadinović, 2018). Sigfox fungiert,

wie LTE, als Serviceprovider (Schulze, 2018), womit eine Abhängigkeit zum existierenden Netz besteht und durch die regelmäßige Synchronisation damit mehr Energie benötigt. Es wurde deshalb hier nicht näher betrachtet. LoRaWAN hingegen erlaubt den Aufbau eigener Netzstrukturen. Auf Basis der Anforderungen und der Eigenschaften der Funktechniken fiel die Wahl deshalb auf LoRaWAN als einzusetzende Funktechnologie.

Tabelle 1: Funktechniken

	Bluetooth LE	LoRaWAN	SigFox
Standard	Bluetooth LE 5	LoRaWAN	UltraNarrowBand
Frequenz	2,4 GHz	868 MHz	868 MHz
Reichweite	bis 200 m	bis 15 km	bis 50 km
Datenrate	bis 2 Mbit/s	0,3-50 Kbit/s	100 Bit/s

Recherchen bzgl. vorhandener Anwendungsfälle für Unterwasserkommunikation beispielsweise mit LoRaWAN aber auch mit Bluetooth ergaben keine konkreten, anwendbaren Lösungen. Dies zeigt, dass eigene Tests bezüglich des Verhaltens im Wasser durchgeführt werden müssen. Außerdem wurde deutlich, dass die (Zwischen-)Speicherung auf den Datenträger in Kombination mit der angestrebten Funktechnologie zur Datenübertragung, empfehlenswert ist, um Datenverluste zu vermeiden. Letztlich zeigten die Recherchen zum Zeitpunkt der Untersuchung, dass zwar robuste und teils proprietäre Produkte für einzelne zu erfassende Parameter existierten aber keine erprobten, einsetzbaren Lösungen, die die gestellten Anforderungen vollständig erfüllen können.

Das Energiemanagement ist vom Entwicklungsboard, den Sensoren und der verwendeten Funktechnik sowie den gestellten Anforderungen abhängig. Für die Abschätzung des Energieverbrauchs existieren in der Regel Angaben in den Datenblättern der Elektronikkomponenten, die neben den weiteren technisch erforderlichen Angaben zur Erfüllung der Messaufgabe als Grundlage für die Auswahl der Komponenten dienen.

2.2.2 Entwicklung

Für die Auswahl der entsprechenden Komponenten der Sensorplattform und zur Absicherung der konzeptionell getroffenen Entscheidungen erfolgten zunächst verschiedene praktische Tests unter Verwendung unterschiedlicher Mikrocontroller, Funktechniken und Sensoren.

Auf Basis der konzeptionellen Überlegungen, der verschiedenen praktischen Tests, der Marktbetrachtung und den Anfragen bei externen Dienstleistern erfolgte die Entscheidung für die Verwendung einer stabilen, Arduino-basierten Programmierplattform. Die Realisierung der Datenübertragung erfolgte über LoRaWAN mit einer Pufferung und einer Sicherung der Sensordaten als ASCII-basierte Datensätze auf einer SD-Karte.

Als Board wurde das „Adafruit Feather M0 with RFM95 LoRa Radio“ (Abb. 1) ausgewählt. Dieses Board (Adafruit Industries, 2019) ist ausgestattet mit einem Cortex M0 Prozessor mit 32 KB RAM und ein 868 Mhz LoRa-Funkmodul zur Datenübertragung. Die Ausgangsleistung ist bei der Programmierung im Bereich von +5 bis +20 dBm wählbar.

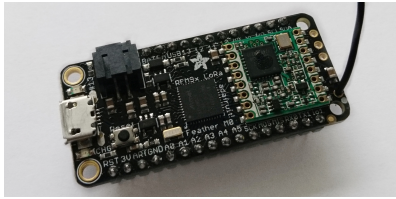
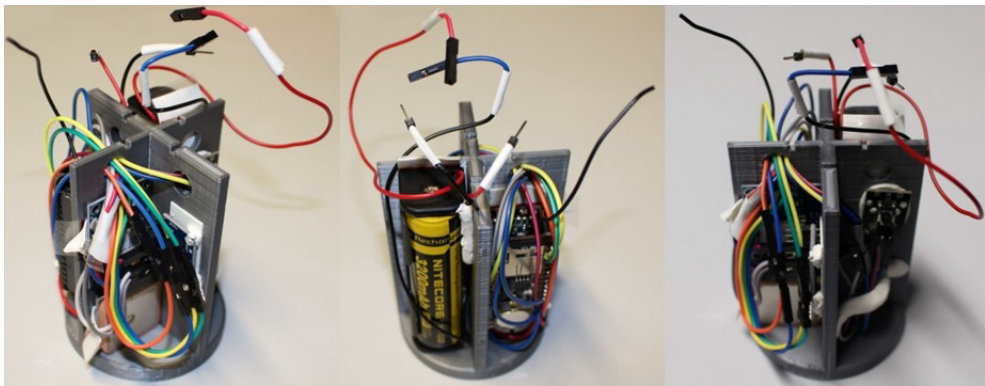


Abb. 1:

Adafruit Feather M0 with RFM95 LoRa Radio
(Länge: 51 mm; Breite: 23 mm; Höhe: 8 mm ohne
eingelötete weitere Komponenten mit einem
Gewicht von 5,8 g)

Die entwickelte prototypische Sensorplattform ist unter Abbildung 2 ersichtlich. Aufgrund des Testcharakters der Sensorplattform ist diese entsprechend mit Steckverbindungen ausgestattet, im Produktiveinsatz sind Lötverbindungen vorzuziehen.

Als Datenlogging-Komponente wurde durch die Erfahrung aus den beschriebenen Tests passend zum Board der Adalogger FeatherWing mit Real-Time-Clock inklusive Batteriepufferung und microSD-Kartenshield eingesetzt (Adafruit Industries, 2020b). Ebenfalls zur Sensorplattform gehören das u-blox NEO-M8N Empfangsmodul, das die Satellitennavigationssysteme GPS, Galileo, GLONASS und BeiDou unterstützt und bis zu drei davon gleichzeitig empfangen kann (u-blox, 2015) sowie als 9-Achsen Inertial-Measurement-Unit (IMU) die MPU 9250 (InvenSense, 2016) mit Beschleunigungs-, Drehratensensor und Magnetometer.



GPS und IMU

Akku, Microcontroller und SD-Karte

Taster

Abb. 2: Sensorik auf Träger

Die in den Datenblättern angegebenen Energieverbräuche der Komponenten sind theoretische Angaben unter herstellerspezifischen Bedingungen, die nicht immer in der Realität erreicht werden können. Auch das Zusammenspiel der Komponenten sowie die softwaremäßige Optimierung je nach Anwendungsfall ist dabei zu beachten. Vor diesem Hintergrund erfolgte die Messung des Energieverbrauchs des Gesamtsystems der prototypischen Sensorplattform. Diese ergab für die Messdauer von 25,3 Minuten bei Zimmertemperatur einen Verbrauch von 30,41 mAh bei 3,3 V und aktivem Funk. Circa zweidrittel des Stromverbrauchs (22,36 mAh) erfolgte bei einer Stromstärke im Bereich von 60 bis 70 mA und stellt den Grundbetrieb dar. Die Elemente wurden dabei mit folgenden Perioden aktiviert:

- IMU-Datenaufzeichnung (inkl. Schreibvorgang SD-Karte), 10 x pro Sekunde
- GPS-Datenaufzeichnung (inkl. Schreibvorgang SD-Karte), 1x pro Sekunde
- Datenübertragung per LoRaWAN-Funktechnologie, alle fünf Sekunden

2.3 Funktionsfähigkeit in realer Umgebung

Für den Praxistest der prototypischen Entwicklung der Sensorplattform war diese mit einem Gehäuse zu schützen, in einem Baumstamm einzubringen und zu befestigen. Nachfolgend werden die Umsetzung und die Ergebnisse beschrieben.

2.3.1 Gehäuse und Befestigung

Nach Recherchen und Rücksprachen mit Herstellern für Kunststoffherzeugnisse erfolgte bzgl. der Auswahl des Gehäuses für die prototypische Infrastruktur die Wahl einer handelsüblichen Kunststoffbox (Höhe: 11 cm; Durchmesser: 7 cm), die sowohl wasserdicht als auch für Minusgrade geeignet ist. Die Kunststoffbox bietet bei der prototypischen Entwicklung den Vorteil, dass diese über einen Drehverschluss mit integrierter Dichtung wieder leicht zu öffnen ist und somit die Sensoren wiederverwendet werden können bzw. die Wartung erleichtert wird. Zudem stellte die Kunststoffbox bei entsprechender Eignung einen passenden Low-Cost-Ansatz dar.

Außerdem wurde ein Trägersystem konstruiert, um das Microcontrollerboard, die Sensorik, den Datenspeicher sowie den Akku aufnehmen zu können. Das Trägersystem bietet eine Sicherung gegen Verfälschung durch Eigenbewegung. In die Konstruktion einbezogen wurden die Größenangaben der Elektronikkomponenten und der Kunststoffbox. Integriert wurden Durchführungen für die Kabel sowie oben eine Aussparung um eine Feder einzusetzen. Mit Hilfe dieser Feder wird das Trägersystem innerhalb der Kunststoffbox an den Boden gedrückt und ist somit vor Eigenbewegung in der Box gesichert. Nach der 3D-Konstruktion und -Modellierung erfolgte der Druck des Prototyps mit einem 3D-Drucker.

Um die Sensorplattform mit ihrem Gehäuse vor äußeren Einflüssen wie Stößen zu schützen, ist das Einbringen in den Baumstamm sinnvoll. Aufgrund des Volumens des Gehäusezylinders und des geringen Gewichts der Sensorplattform existiert genügend Auftrieb, um auch in Süßwasser an der Oberfläche zu schwimmen, sollte sich im ungünstigen Fall die Box aus dem Baum lösen. Eine Plakette mit der Rücksendeadresse kann im Inneren z. B. am Boden oder am Deckel des Gehäuses angebracht werden.

2.3.2 Praxistest

Vor dem eigentlichen Praxistest mit der kompletten prototypischen Sensorplattform erfolgten bereits Tests zur Datenübertragung. Hierzu gehörte zunächst ein allgemeiner Test zur Funktionsfähigkeit von LoRaWAN. Hierbei konnte bereits festgestellt werden, dass Daten an einem großen Fließgewässer mit Auenlandschaft über „größere“ Entfernungen (hier getestet bis ca. 940 m) empfangen werden. Nach Konzeption und Entwicklung der prototypischen Sensorplattform erfolgte zunächst eine Überprüfung der Wasserdichtheit des verwendeten Gehäuses. Gleichzeitig erfolgte dabei ein Test, ob die Datenübertragung von der Sensorplattform zum Empfänger funktioniert. Dabei konnte festgestellt werden, dass das Gehäuse in geringen Tiefen wasserdicht ist und die Datenerfassung sowie die Datenübertragung möglich sind.

Anschließend erfolgte der Praxistest am Standgewässer. In einem Baumstamm wurde das Gehäuse mit der Sensorplattform wie oben beschrieben eingelassen und mit montierter Kette an einen Stab an Land bzw. ebenso am Steg befestigt. Abbildung 3 zeigt den Baumstamm mit eingebauter Sensorplattform im Wasser treibend.



Abb. 3: Sensorplattform im Baumstamm (links); zudem im Wasser schwimmend (rechts)

Die Wetterbedingungen im Laufe des Praxistests im Dezember simulierten gleichzeitig den Kältetest (Simulation von Wasser und Eis), da die Lufttemperaturen im Minusbereich waren.

Auch die Funkverbindung wurde noch einmal hinsichtlich der Wassersäule in der realen Umgebung getestet. Bei einer Wassertiefe bis drei cm konnte die Verbindung hergestellt werden. In größeren Tiefen muss auf die Pufferung und Sicherung der Daten auf der microSD-Karte zurückgegriffen werden. Hierbei stellt dann aber auch der GPS-Empfang ein Problem dar. Es ist aber davon auszugehen, dass bei einer größeren Änderung der Position, für deren Erfassung das GPS-Signal relevant ist, der Baum entsprechend Auftrieb hat.

Die Feldversuche mit LoRaWAN haben weiterhin gezeigt, dass Funk-Verschattungen, beispielsweise durch Bäume und Sträucher, einen relativ großen Einfluss haben. Aus diesem Grund sollte der Standort der LoRaWAN-Empfänger möglichst erhöht gewählt werden. Prinzipiell sollten die Empfänger möglichst im Scheitelpunkt der Flussbiegungen aufgestellt werden, um einen möglichst großen Bereich des Flusslaufs abzudecken.

Im Produktiveinsatz ist die Anzahl der Sender bzw. der Sensorplattformen von der konkreten Fragestellung abhängig, wie zum Beispiel, ob eine grundlegende Datenerfassung einzelner Bäume oder ein Monitoring größerer Baumbestände erfolgen soll. Im genannten Forschungsprojekt wurde ein qualitativer Ansatz anhand von sechs Beispielbäumen gewählt. Bei einem statistischen Ansatz ist zuvor für das Untersuchungsgebiet abzuschätzen, mit wie vielen Bäumen und damit korrespondierend Sendern das Ziel zu erreichen ist. In dem in diesem Beitrag beschriebenen Ansatz ging es um die Untersuchung der Übertragbarkeit der vom Besendern von Tieren etablierten Methodik auf das Totholzmonitoring. Im Fokus stand dabei die technische Machbarkeit.

3 Fazit und Ausblick

Die Untersuchung zeigt, dass die Umsetzung eines Totholzmonitorings grundsätzlich machbar ist. Der Prototyp der Elektronikplattform konnte die gestellten funktionalen Anforderungen erfüllen. Der durchgeführte Praxistest zeigte die Funktionsfähigkeit in einer realen Umgebung. Die gewählte Datenübertragungstechnologie per Funk ist praktikabel, zeigt aber Schwächen im Bereich der Unterwasserkommunikation, was alle Funktechnologien aufgrund physikalischer Gesetzmäßigkeiten gemeinsam haben. Für den Bereich der Unterwasserkommunikation unter Beachtung der Rahmenbedingungen wie Reichweite, Datenübertragungsrate und Energieverbrauch wird somit weiterer Forschungsbedarf gesehen. Im maritimen Bereich sind Akustik-basierte Systeme in Kombination mit Funkbojen bekannt (Vijayalakshmi & Muruganand, 2018). Aufgrund der großen Dynamik in Fließgewässern, müssten hier entsprechende Tests, insbesondere hinsichtlich der Störgeräusche erfolgen. Da diese Systeme zudem recht kostenintensiv sind, wären entsprechende Low-Cost-Ansätze zusätzlich zu entwickeln.

Die verwendete LoRaWAN-Technologie bietet einen großen Gestaltungsspielraum durch die Möglichkeit eigene Netze aufzubauen. Hierfür ist das Zusammenspiel verschiedener Parameter wie Übertragungsrate, Reichweite und Topografie der Untersuchungsgebiete zu beachten, um eine optimale Platzierung der Empfangseinrichtungen zu realisieren. Dies bedarf ebenso weiterer Untersuchungen wie die Sicherung, Bereitstellung, Auswertung und Visualisierung der Sensordaten beispielsweise über eine Analyseplattform.

Da es sich bei der Elektronikplattform um eine prototypische Entwicklung handelt, sollten hier vor dem Produktiveinsatz Optimierungen vorgenommen werden, beispielsweise die Plattformkomprimierung durch das Anbringen aller Komponenten auf eine Platine. Außerdem ist für einen noch geringeren Energieverbrauch ein Ruhemodus der Sensorplattform mit dem situationsabhängigen Messen und Senden der Sensordaten etwa nach Erschütterungen denkbar.

Die entwickelte Sensorplattform ist grundsätzlich auch für andere Anwendungsfälle ähnlicher Fragestellungen bewegter Objekte einsetzbar. Die Planung möglicher Empfangsstandorte für den Aufbau eigener LoRaWAN-Netze unter Berücksichtigung einer Vielzahl einander bedingender Funkparameter wie Reichweite, Datendurchsatz und Stromverbrauch aber auch Geodaten wie Oberflächenmodell und Ausschlussflächen sowie die Konzeption einer Analyseplattform sind Bestandteil weiterer zukünftiger Betrachtungen.

Danksagung

Die Machbarkeitsstudie „Entwicklung einer prototypischen Infrastruktur für ein Totholzmonitoring“ wurde vom WWF Deutschland im Rahmen des Projekts „Wilde Mulde – Revitalisierung einer Wildflusslandschaft in Mitteldeutschland“ in Auftrag gegeben. Das Projekt „Wilde Mulde“ wird gemeinsam gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) sowie das Bundesamt für Naturschutz mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) (FKZ 01LC1322). Ein besonderer Dank gilt den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des WWF Deutschland für die gute Zusammenarbeit und Unterstützung.

Literatur

- Adafruit Industries (2019). *Adafruit Feather M0 Radio with LoRa Radio Module*. Retrieved Feb 7, 2020, from <https://cdn-learn.adafruit.com/downloads/pdf/adafruit-feather-m0-radio-with-lora-radio-module.pdf?timestamp=1579976608>.
- Adafruit Industries (2020a). *Adafruit Adalogger FeatherWing*. Retrieved Jan 17, 2021, from <https://cdn-learn.adafruit.com/downloads/pdf/adafruit-adalogger-feather-wing.pdf?timestamp=1610882692>.
- Adafruit Industries (2020b). *Adafruit Feather M0 Adalogger*. Retrieved Jan 17, 2021, from <https://cdn-learn.adafruit.com/downloads/pdf/adafruit-feather-m0-adalogger.pdf?timestamp=1610882636>.
- Arbeitskreis KLIWA (2021). *Wassertemperatur*. Retrieved Jan 17, 2021, from <https://www.kliwa.de/gewaesseroekologie-temperatur.htm>.
- Deutscher Wetterdienst (2017). *Wetterrekorde*. Retrieved Jan 17, 2021, from https://www.dwd.de/SharedDocs/broschueren/DE/presse/wetterrekorde.pdf?__blob=publicationFile&v=12.
- Gerhard, M., & Reich, M. (2001). *Totholz in Fließgewässern: Empfehlungen zur Gewässerentwicklung*. Retrieved Feb 9, 2020, from https://gfg-fortbildung.de/web/images/stories/gfg_pdfs/05-Totholz/GFG-Broschuere-Totholz.pdf.
- InvenSense (2016). *MPU-9250 Product Specification Revision 1.1*. Retrieved Jan 17, 2021, from <https://invensense.tdk.com/wp-content/uploads/2015/02/PS-MPU-9250A-01-v1.1.pdf>.
- Jentzsch, T. (09.08.2010). Experten messen, wie schnell die Mulde ist. *Leipziger Volkszeitung*. Retrieved Jan 16, 2021, from <https://www.lvz.de/Region/Bad-Dueben/Experten-messen-wie-schnell-die-Mulde-ist>.
- Kail, J., & Gerhard, M. (2003). Totholz in Fließgewässern – eine Begriffsbestimmung. *Wasser und Boden*, 55(1/2), 49–55.
- Lacoste, R. (2018). Wireless-Protokolle: Ein Überblick: Welches ist das beste Protokoll für Sie? *Elektor*, 49(5), 6–12.
- Schrenner, H., Schulz-Zunkel, C., Rast, G., Gapinski, C., Anlanger, C., Bondar-Kunze, E., . . . Wirth, C. (2020). Reflexion des Naturschutz-, Forschungs- und Umweltbildungsprojekts „Wilde Mulde“: „Der Schotter bleibt drin!“. *Auenmagazin*, (17), 22–27.
- Schulze, U. (2018). Geregelter Durchlauf: Low Power Wide Area Networks fürs IoT. *iX Special 2018 – Industrial Internet of Things*, (13), 96–101.
- u-blox (2015). *NEO-M8: u-blox M8 concurrent GNSS modules*. Retrieved Jan 17, 2021, from [https://www.u-blox.com/sites/default/files/NEO-M8_DataSheet_\(UBX-13003366\).pdf](https://www.u-blox.com/sites/default/files/NEO-M8_DataSheet_(UBX-13003366).pdf).
- Vijayalakshmi, S. R., & Muruganand, S. (2018). *Wireless Sensor Networks: Architecture · Applications · Advancements*. Dulles: Mercury Learning and Information.
- WWF Deutschland (2017a). *Bekanntmachung/Öffentliche Ausschreibung: „Prototypische Infrastruktur Totholzmonitoring Wilde Mulde“ Nr. 18092CV 09.08.2017*.
- WWF Deutschland (2017b). *Projekt „Wilde Mulde“: Leistungsbeschreibung Entwicklung einer prototypischen Infrastruktur für ein Totholzmonitoring*.
- WWF Deutschland (2020). *Maßnahmen: Verbesserung der Gewässerstruktur durch Raubäume*. Retrieved Mar 26, 2020, from <https://wilde-mulde.de/massnahmen/#verbesserung-der-gewaesserstruktur-durch-raubaecume>
- Živadinović, D. (2018). Funkfortschritte: Internet of Things: Aufrüstung der LTE-Netze. *c't*, (5), 44–45.