



Digitale Transformation im Forst: Kostengünstige IoT-Sensorik für ein nachhaltiges Waldmanagement

Prof. Dr.-Ing. Andreas Ligocki; M. Eng. Anja Krauth

Im vom BMDV (Bundesministerium für Digitales und Verkehr) geförderten Reallabor „**5G Smart Country**“ ([Ostfalia - Smart Forestry](#), Laufzeit 01/2022-12/2024) wurde die Entwicklung und Erprobung konkreter 5G-Anwendungen unter realen Bedingungen in den beiden Pionierregionen der Landkreise Wolfenbüttel und Helmstedt in Niedersachsen umgesetzt. Im integrierten Teilprojekt „**Smart Forestry**“ erfährt der Wald über intelligente Sensorik und 5G-Anbindung eine digitale Transformation, die durch eine fortwährende Überwachung das nachhaltige Wirtschaften optimiert, um Forstwart*innen bei der proaktiven und gerichteten Bewältigung der Folgen des Klimawandels zu unterstützen und nebenbei Bürger*innen informiert.

Im Rahmen zahlreicher Workshops und Gespräche mit Stakeholdern aus dem forstlichen Umfeld wurde deutlich, dass kostengünstige, bodengebundene Umweltsensornetzwerke rund um die Ressource „Wasser“ einen wesentlichen Beitrag leisten können, um die waldbaulichen Umstellungsprozesse durch Monitoring zu begleiten.

So werden z.B. numerische (Bodenwasser-)Simulationsmodelle eingesetzt, um Adaptionsbedarfe zu analysieren und Zukunftsstrategien zu entwerfen. Sie helfen bei der Schwachstellenanalyse, der Gefahrenkartierung und bei der Planung von waldbaulichen Maßnahmen. Für die exakte Kalibrierung oder einen Transfer auf andere Gebiete ist jedoch die Erhebung von Realdaten erforderlich. Dabei ist ein erforderliches Sensornetzwerk derzeit noch zu kostspielig und aufgrund diverser Randbedingungen auch nicht überall einsetzbar. Folglich stand und steht somit nur eine begrenzte Datendichte zur Verfügung, was die bestehenden Modelle in ihrer Aussagekraft und Erweiterbarkeit begrenzt.

Die in den letzten Jahren vermehrt eingesetzten Techniken der künstlichen Intelligenz (KI) können auch nur begrenzt helfen, da auch sie auf große Datenmengen zum Trainieren angewiesen sind. Der zukünftige Fokus muss daher auf der Erhebung eigener, kostengünstiger Daten, der Verbesserung der erforderlichen Datendichte und -qualität sowie der intelligenten Verknüpfung von numerischen Modellen der Daten mittels KI liegen.

Ziel ist es, kostengünstige IoT-Waldsensoren/Sensorknoten zu entwickeln, um deren breiten Einsatz, insbesondere in Forstgebieten, zu ermöglichen. Eine Analyse der Marktbedingungen, Kosten und Technologie hat gezeigt, dass digitale Sensoren mit modularen zentralen Funkmodulen das beste Preis-Leistungs-Verhältnis bieten. Es wurde zudem festgestellt, dass die Bodensensoren nicht hochpräzise sein müssen, um beispielsweise zuverlässige Aussagen zur Befahrbarkeit von Rückegassen zu ermöglichen.



Dies ermöglicht eine deutliche Kostenreduktion und unterstützt einen „Masse-statt-Klasse“-Ansatz.

Die Recherche zu Umweltsensoren hat zudem ergeben, dass die wichtigsten Parameter, die durch Sensoren erfasst werden müssen, die Bodenfeuchte und -temperatur sowie die Luftfeuchte und -temperatur sind. Besonders die Bodenfeuchte ist entscheidend für die Überwachung der Ressource Wasser, welche eine wichtige Rolle für:

- die grundsätzliche Verfügbarkeit von Feuchtigkeit,
- das Wachstum von Pflanzen und die Bestandsgesundheit,
- die Dynamik von Ökosystemen durch Langzeitmessungen,
- die Bodenbeschaffenheit und Nährstoffkreisläufe,
- sowie die Klimaregulation, dem Wasserkreislauf und die Grundwasserneubildung spielen.

Dennoch steht die sensorbasierte Datenerfassung im Forst vor einigen Herausforderungen: Hierzu zählen vorrangig die Energieversorgung, die Datenübertragung und die hohen Kosten. Zum Erfolg führen hier die „drei L“: „LowPower“, „LoRaWAN“ und „LowCost“. Mit dem „LowPower“-Ansatz wird der energieeffiziente Betrieb der Sensorknoten beschrieben, zu dem das Long Range Wide Area Network „LoRaWAN“ als Funktechnologie zur Datenübertragung beiträgt. Schließlich ermöglicht der „LowCost“-Ansatz den großflächigen Einsatz von Sensorknoten. Darüber hinaus darf die Vielzahl an weiteren Randbedingungen, wie Fließpfade, die die Messwerte verfälschen nicht vernachlässigt werden. Genau die zuvor genannten Punkte wurden in der Entwicklung eigener modularer kostengünstiger Sensorknoten berücksichtigt. Diese wurden bereits prototypisch umgesetzt und es wird im Rahmen des Vortrags einen exklusiven Einblick hierzu gegeben.

Das Innovationspotenzial flächendeckender Sensorknoten im Forst ist enorm. Autonome mobile Roboter (AMR) bzw. Forstraupen können effizient große Mengen an Sensoren ausbringen und bei Bedarf einsammeln. Ein feingranulares Sensornetz schafft zudem die Basis für die monetäre Vergütung oder Zertifizierung von Ökosystemdienstleistungen wie der Grundwasserneubildung, die beispielsweise weiterhin durch Kalamitätsflächen erbracht wird. In Gebieten mit schlechter Netzabdeckung könnte der Einsatz von Drohnen als mobile Gateways die Datenerfassung der Sensoren sichern.

Durch das Teilprojekt „**Smart Forestry**“ sind zahlreiche neue Ansätze für die flächendeckende Bodenwasser-Sensorik entstanden. Dazu gehören beispielsweise die innovative Nutzung von Waldflächen für den Anbau funktioneller Waldpilze (aktuell gefördertes Projekt ([Ostfalia - Waldpilz](#) EIP-AGRI Projekt, Laufzeit 07/2024-06/2027))



oder die Unterstützung von Schulwäldern durch „digitale Waldbesuche“ im Rahmen der schulischen Informatikausbildung.

Als Zielgruppen kostengünstiger Umweltsensoren werden die Forschung, Waldbesitzende, Forsteinrichtungen und Schulen angesprochen.

Für die Konferenzteilnehmenden bietet der Vortrag Einblicke in aktuelle Entwicklungen im Bereich kostengünstiger Bodensensornetzwerke und vermittelt Wissen über die strategischen Ansätze für eine flächendeckende Bodenwasserüberwachung. Der Vortrag stellt zukunftsorientierte Einsatzmöglichkeiten und deren Vorteile vor, wie zum Beispiel die Möglichkeit der Zertifizierung und Vergütung von Ökosystemdienstleistungen. Darüber hinaus können die Teilnehmenden von den dargestellten praktischen und innovativen Lösungsansätzen für konkrete forstliche Herausforderungen profitieren.

Erwartet wird ein Feedback in Form eines kritischen Vergleichs zur Fernerkundung als ergänzende oder alternative Methode. Zudem sind Rückfragen zu Sensortechnologien, zur Lösung der genannten Herausforderungen von Bodensensoren sowie zum Ansatz der aufgezeigten Innovationspotenziale willkommen.