

IR Soil Moisture – Contactless Detection of Forest Soil Dryness for Early Wildfire Risk Assessment

Ute Franke, 5micron GmbH, Berlin / Germany, ute.franke@5micron.de

Kurzfassung

In der Landwirtschaft, Forstwirtschaft sowie bei der Bewirtschaftung von Torfgebieten ist es entscheidend, den Feuchtigkeitsgehalt der Bodenoberfläche und der obersten Pflanzenschicht zu kennen. Diese wenige Zentimeter dünne Schicht spielt eine zentrale Rolle bei der Regulierung der Bewässerung, der Pflanzenhygiene, der Bestimmung optimaler Erntezeitpunkte sowie bei der frühzeitigen Erkennung von Brandgefahren.

Unter bestimmten Wetterbedingungen kann die Bodenoberfläche stark austrocknen, während tiefere Bodenschichten noch feucht sind. Klassische Messverfahren wie kapazitive Sensoren, Radar-, Ultraschall- oder Satellitenmessungen erfassen in der Regel den Wassergehalt tieferer Schichten und liefern keine zuverlässigen Daten zur Oberflächenfeuchte.

Das innovative Messsystem von 5micron schließt diese Lücke. Durch den Einsatz vernetzter Sensoren – darunter Infrarot-, Temperatur- und Helligkeitssensoren – sowie KI-gestützter Datenanalyse ermöglicht es eine präzise Echtzeit-Bestimmung der Bodentrockenheit und des Feuchtigkeitsgehalts von Wald-, Acker- und Vegetationsflächen. Gefährdete Regionen können so frühzeitig identifiziert und gezielte Präventivmaßnahmen eingeleitet werden.

Das System trägt zum Schutz von Wäldern, Artenvielfalt und landwirtschaftlichen Erträgen bei, reduziert wirtschaftliche Schäden und erhöht die Sicherheit von Gemeinden in Risikogebieten.

Abstract

In agriculture, forestry, and peatland management, monitoring the moisture content of the soil surface and the upper plant layer is critical for irrigation management, plant health, and early fire prevention. 5micron's innovative measurement system provides real-time information on surface soil moisture through modulated infrared reflection sensors (980 nm) combined with AI-supported data analysis. The system delivers robust, drift-free readings both day and night and operates under ultra-low-power principles. Proof-of-concept studies demonstrated a measurement range of 0–30 % w/w with stable signal quality. Wireless data transmission enables centralized analysis incorporating site-specific parameters such as soil type, sensor height, and environmental conditions. The system allows early identification of vulnerable areas, enabling preventive measures, while contributing to forest and biodiversity protection, reducing economic damage, and enhancing community safety

1 Innovation

Zunehmende Trockenperioden und Wetterereignisse wie starke Winde erhöhen das Risiko von Waldbränden erheblich. Die Entflammbarkeit des Bodens hängt maßgeblich vom Trockenheitszustand der obersten Zentimeter ab, da hier die meisten Primärbrandherde entstehen.

Bestehende Verfahren zur lokalen Bodenfeuchtemessung sind häufig invasiv, wartungsintensiv oder nur punktuell einsetzbar. Flächenhafte Messsysteme basieren meist auf Simulationen oder Satellitendaten (z. B. des Deutschen Wetterdienstes) und liefern nur begrenzte Informationen über den Zustand der obersten Bodenschicht. Zudem ermöglichen Satelliten keine kontinuierlichen Datenströme und erfassen daher keine kurzfristigen Schwankungen durch Föhnlagen oder starke Winde. Flächenbezogene Daten geben außerdem keinen

Aufschluss über den Trockenheitszustand an besonders kritischen Standorten wie Picknick- oder Grillplätzen sowie entlang von Bahn- oder Stromtrassen.

Das von 5micron entwickelte Endprodukt ist ein berührungsloses Infrarot-Sensorsystem zur kontinuierlichen Erfassung der lokalen, oberflächennahen Waldbodentrockenheit. Es ermöglicht eine frühzeitige und präzise Waldbrandrisikoerkennung auch an sensiblen Einzelstandorten.

2 Technologie

Das System basiert auf einer modulierten Infrarot-Reflexionsmessung im Wellenlängenbereich von 980 nm und erfasst gezielt die Feuchte der obersten Bodenschicht (ca. 3–5 cm). Physikalische Grundlage ist die unterschiedliche

Absorptionseigenschaft von Wasser: Eine feuchte Oberfläche absorbiert Infrarotlicht stärker als eine trockene und reflektiert entsprechend weniger Strahlung.

Durch den Einsatz modulierten Infrarotlichts ist das System weitgehend unabhängig vom solaren Infrarotanteil. Störende Einflüsse durch Sonnenlicht werden gezielt unterdrückt, wodurch eine stabile Messung sowohl im Tages- als auch im Nachtbetrieb gewährleistet wird.

Die Sensoreinheit basiert auf modulierten IR-LEDs und Fotodioden und ermöglicht eine berührungslose Messung aus einer Distanz von bis zu 3 Metern. Im Rahmen eines Proof of Concept wurde ein Messbereich von 0–30 % w/w bei stabiler Signalqualität nachgewiesen. Die Ergebnisse zeigen eine robuste und driftfreie Messperformance.

Die erfassten Reflexionsdaten werden zusammen mit Umgebungshelligkeit und Temperatur per Funk an einen zentralen Server übertragen und dort ausgewertet. In die Berechnung fließen standortspezifische Parameter wie Bodentyp, Sensorhöhe und Umgebungsbedingungen ein.

Abbildung 1 den Schnitt durch einen typischen Boden
Abbildung 2 zeigt das Prinzipschema der Messmethode,.



Abbildung 1: Messbereich

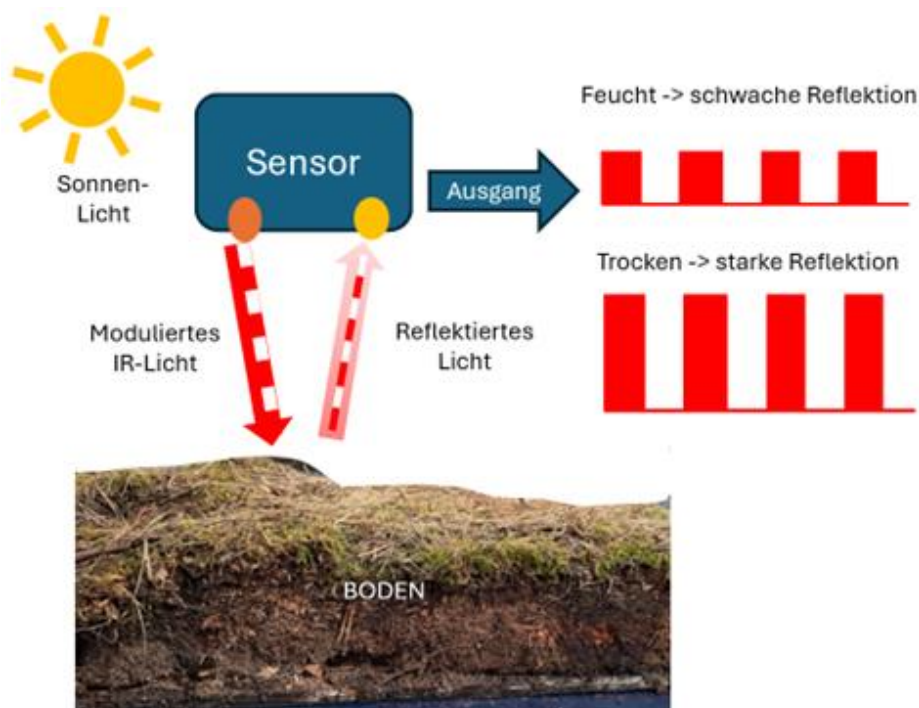


Abbildung 2: Prinzipschema der Messmethode

Abbildung 3 zeigt die Darstellung des kompletten Messkette und Beispielbild der Front-End Datenausgabe mit Zeit - Messreihe

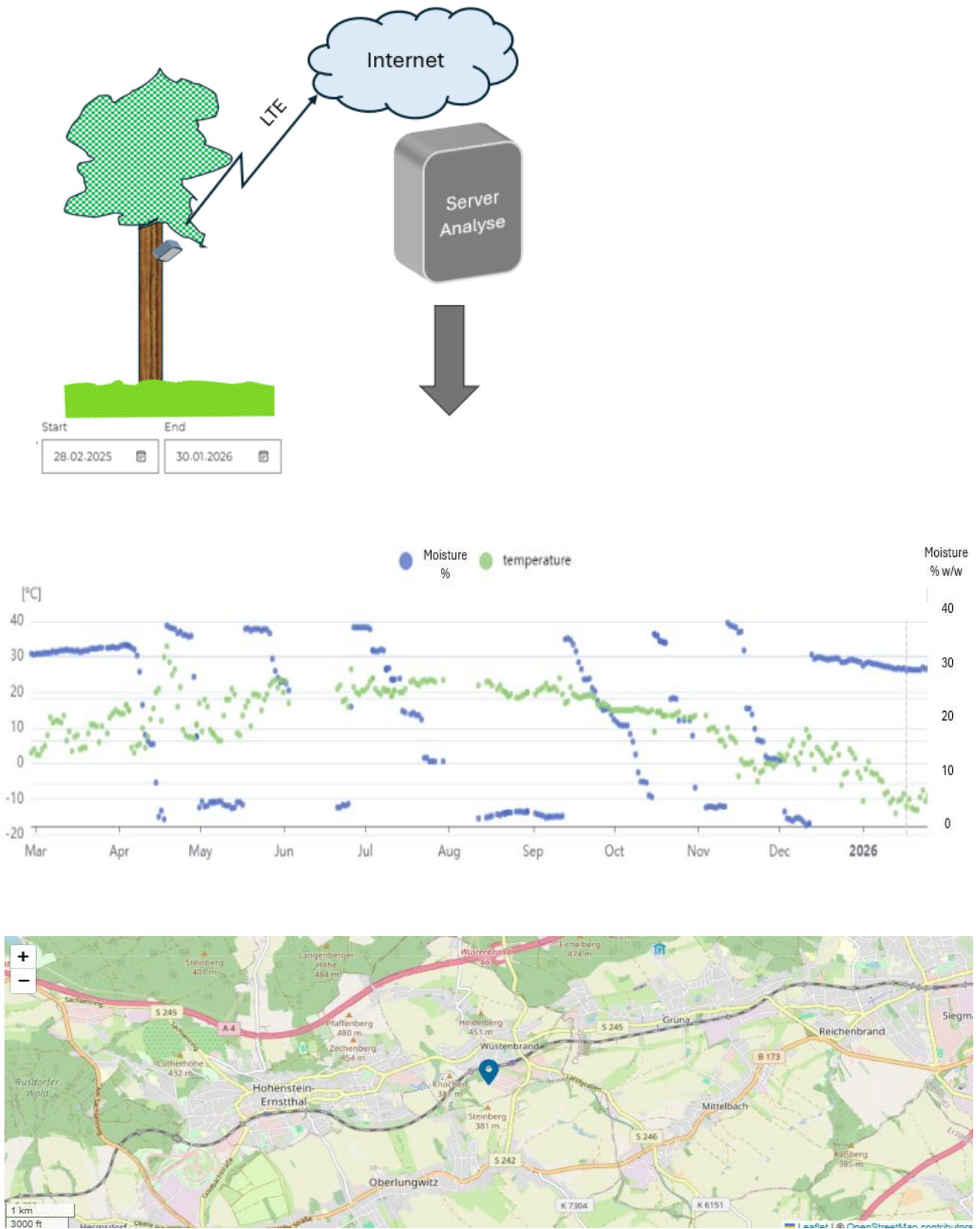


Abbildung 4: vollständige Messkette mit Datenausgabe

3 ERGEBNISSE

Insgesamt belegen die Ergebnisse eine stabile und driftfreie Signalverarbeitung sowie eine hohe Messrobustheit unter Laborbedingungen und im realitätsnahen Feldversuch. Die Datenübertragung erfolgt zuverlässig, und das Gesamtsystem ist konsequent nach Ultra-Low-Power-Prinzipien ausgelegt.

Im Rahmen eines Proof of Concept wurde ein Messbereich von 0–30 % w/w bei stabiler Signalqualität validiert. Die Messungen zeigen eine robuste Performance sowohl im Tages- als auch im Nachtbetrieb.

Damit bestätigt das System seine grundsätzliche Eignung für die frühzeitige Waldbranddetektion. Perspektivisch sind umfangreiche Feldtests mit mehreren Sensorknoten sowie die technische Skalierung für den Serieneinsatz vorgesehen

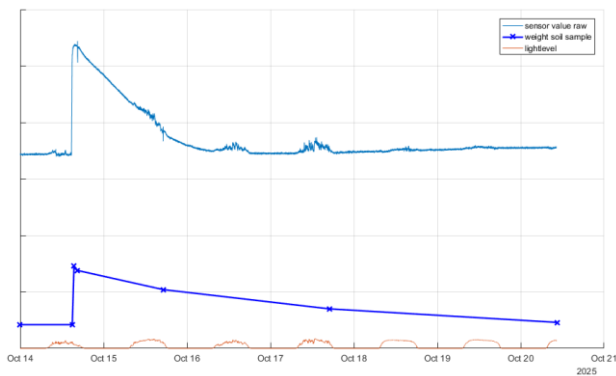


Abbildung 4: Korrelation zwischen Messwert und Bodenfeuchtigkeit



Abbildung 5: Sensor (USB Version)

Technische Daten des Sensors

Feature	Requirement
Messbereich	0% bis 30% w/w
Auflösung	mind 10 Pkt oder 3%
Genauigkeit	tbd
Elementarsensor	
Messfrequenz	< 1Hz
Ausgabe	USB Schnittstelle
Versorgung	über USB
Ausgabeformat	CSV
Arbeitsabstand	3 m
Messfläche	4 m ²
Umgebungs T°	-20°C +50°C
Luftfeuchtigkeit	0% 100%
Schutz	IP66
Stationärsensor	
Messfrequenz	2/Tag
Ausgabe	LTE
Versorgung	Batterie
Autonomie	1J
Ausgabeformat	JSON
Arbeitsabstand	2,5 m
Messfläche	4 m ²
Plattform	Theta
Umgebungs T°	-20°C +50°C
Luftfeuchtigkeit	0% 100%
Schutz	IP66

Abbildung 6: Datenblatt

4 Impact

5micron's IR- Soil- Moisture Messsystem adressiert eine der größten ökologischen und wirtschaftlichen Bedrohungen unserer Zeit: zunehmende Waldbrände infolge von Klimawandel und Trockenperioden. Das System ermöglicht eine frühzeitige Identifizierung von Risikozonen und reduziert dadurch den Bedarf an kostenintensiven Löschaßnahmen sowie die Zerstörung von Wäldern, Infrastruktur und Gemeinden.

Zusätzlich verbessert es den Schutz der Biodiversität, unterstützt nachhaltige Waldbewirtschaftung und trägt zur Sicherheit der Bevölkerung in gefährdeten Regionen bei. Durch die einfache Installation und den autarken Betrieb können auch Regionen ohne bestehende Infrastruktur profitieren. Das mobile Einsatzkonzept eröffnet weitere Anwendungsfelder in der Landwirtschaft, im Katastrophenschutz und im Umweltmonitoring