

Anpassung an den Klimawandel durch Optimierung der Bewässerung mittels Bodenfeuchtesensoren

Felix Schmidt, Klaus Röttcher

Kurzfassung

Steigende Temperaturen und veränderte Niederschlagsmuster infolge des Klimawandels führen zu einem höheren Bewässerungsbedarf in der Landwirtschaft. Insbesondere in bewässerungsintensiven Regionen ist eine effiziente Wassernutzung entscheidend, um Ertragseinbußen zu vermeiden und Ressourcen zu schonen. Mit diesem Hintergrund wurden im Rahmen eines Forschungsprojekts verschiedene Bodenfeuchtesensoren unter realen Feldbedingungen getestet und mit Fernerkundungsdaten kombiniert. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass bereits bestehende Bewässerungssysteme durch digitale Lösungen und angepasste Sensorik weiter optimiert werden können, ohne zwangsläufig in neue Großanlagen investieren zu müssen. Ein entscheidender Erfolgsfaktor ist dabei das Zusammenspiel aus In-situ-Messungen und Fernerkundungsdaten. Dennoch fehlt es bislang an einer vollständig etablierten Umsetzungsmethodik, die den Untergrund in seiner ganzen Heterogenität abbildet.

Schlüsselwörter

Bewässerungsmanagement, Bodenfeuchtesensoren, Bodenheterogenität, Klimawandel

Adaptation to Climate Change by Optimizing Irrigation Using Soil Moisture Sensors

Felix Schmidt, Klaus Röttcher

Abstract

Rising temperatures and changing precipitation patterns due to climate change increasing the demand for irrigation in agriculture. Particularly in irrigation-intensive regions, efficient water use is crucial to prevent yield losses and conserve resources. Against this background, various soil moisture sensors were tested under real field conditions as part of a research project and combined with remote sensing data. The results show that existing irrigation systems can be still optimized through digital solutions and customized sensor technology without necessarily requiring investment in new large-scale infrastructure. A key success factor is the integration of in-situ measurements with remote sensing data. However, a fully established implementation methodology that comprehensively accounts for subsurface heterogeneity is still lacking.

Keywords

Irrigation Management, Soil Moisture Sensors, Soil Heterogeneity, Climate Change

Anlass und Zusammenfassung

Der Klimawandel stellt die Landwirtschaft vor erhebliche Herausforderungen. Durch die Temperaturerhöhung und der damit verbundenen höheren Verdunstung, die jahreszeitliche Verschiebung von Niederschlägen aus der Vegetationsperiode in den Winter und zunehmende Frühjahrstrockenheit verändert sich der Bedarf an landwirtschaftlicher Feldberegnung in einem erheblichen Umfang. In den kommenden Jahren wird sowohl die zu bewässernde Fläche als auch der Wasserbedarf auf bereits bewässerten Flächen deutlich steigen. Dieser Wasserbedarf kann in der Region Nordostniedersachsen nicht mehr nur aus dem Grundwasser gespeist werden, daher sind Konzepte erforderlich, um die Wasserversorgung in der Landwirtschaft langfristig und nachhaltig zu sichern. Grundsätzlich gibt es dafür aus Sicht der Autoren drei Strategien:

- Niederschläge länger in der Landschaft halten, anstatt sie schnell abzuleiten
- effiziente Nutzung des vorhandenen Bewässerungswassers
- alternative Wasserressourcen erschließen und einsetzen.

Diese Strategien müssen durch entsprechende Aus- und Fortbildungsangebote begleitet werden, um die Erkenntnisse aus Forschung und Praxiserprobung schnell umzusetzen. Die sich schnell entwickelnden Chancen der Digitalisierung eröffnen in allen Bereichen neue Möglichkeiten der Datenverarbeitung und Optimierung, darunter auch in der Bewässerung.

Der vorliegende Beitrag fokussiert sich auf den Aspekt, das vorhandene Wasser möglichst effizient einzusetzen. Dies kann dadurch erreicht werden, dass die vorhandene Bodenfeuchte und die Heterogenität der Ackerflächen hinsichtlich der Wasserhaltefähigkeit bei der Bewässerungsplanung detaillierter als bisher berücksichtigt werden. Besondere Herausforderungen ergeben sich dort, wo die vorhandenen Böden eine geringe Wasserhaltekapazität aufweisen oder dort, wo durch den Regenschatten der Mittelgebirge ohnehin schon geringere Niederschläge auftreten. In den Landkreisen Uelzen und Lüneburg (dies entspricht in etwa dem Gewässereinzugsgebiet der Ilmenau) wird der Wasserbedarf, ausgehend von den aktuellen wasserrechtlichen Erlaubnissen von knapp 60 Mio. m³, bis 2050 auf über 90 Mio. m³ ansteigen. Dabei entfallen im Landkreis Lüneburg knapp 50 % und im Landkreis Uelzen knapp 70 % des aktuellen Wasserbedarfs auf die Feldberegnung. Die erwarteten Steigerungen sind fast ausschließlich auf den steigenden Bedarf in der Feldberegnung zurückzuführen.

Daher ist es umso wichtiger, die richtige Wassermenge zum richtigen Zeitpunkt auszubringen. Bodenfeuchtesensoren können helfen, diese Aspekte in der Bewässerung angemessen zu berücksichtigen. Das Ziel ist es, mit möglichst wenigen Sensoren auszukommen und die punktuellen Messdaten durch geeignete Methoden auf die gesamte Fläche zu übertragen.

Stand der Wissenschaft und Technik bei der Messung der Bodenfeuchte

Es stehen verschiedene Methoden zur Verfügung, um die für Pflanzen verfügbare Wassermenge im Boden zu bestimmen. Einerseits kann das Bodenwasser- bzw. Matrixpotenzial und

andererseits der Wassergehalt des Bodens erfasst werden. Das Bodenwasserpotenzial beschreibt die Bindungsintensität des Wassers im Bodenkörper und ist das Ergebnis aller Kräfte, die auf die Wassermoleküle einwirken [1].

Bei der Messung des Wassergehalts mithilfe von Sensoren wird das Bodensystem als elektrisch leitendes System betrachtet. Der Wassergehalt lässt sich dabei über die Veränderung der elektrischen Kapazität (Dielektrizitätskonstante) bestimmen. Grundlage ist, dass sich die relative Dielektrizitätskonstante maßgeblich mit dem Wassergehalt im Boden ändert [2]. Als gängige indirekte Messverfahren für den Wassergehalt im Boden haben sich die Time Domain Reflectometry (TDR) und Frequency Domain Reflectometry (FDR) etabliert. Für die Messung des Wasserpotenzials werden häufig Tensiometer, Gipsblöcke oder gipsgetränkte Gewebe-Sensoren eingesetzt. Mehrere Faktoren wie Bodenart, Salzgehalt, Tonanteil und Kontakt zwischen Sensor und Boden beeinflussen die Messung des Wassergehalts. Diese Störgrößen sind den Herstellern weitgehend bekannt und werden bei der Messung berücksichtigt, als mögliche Fehlerquelle lassen sie sich jedoch nie vollständig eliminieren [3].

In den letzten Jahren sind verschiedene Verfahren zur Verbesserung der Bewässerungssteuerung in der Landwirtschaft erarbeitet worden. Darunter fällt beispielsweise das Beratungsblatt „Entscheidungshilfen zur Bewässerung - Bodenfeuchtemessung und Datenaufzeichnung“ der ALB Bayern e.V. Darin wird dargelegt, wie Sensoren die Effizienz der Bewässerung steigern können. Gleichzeitig werden aber auch die Herausforderungen deutlich, wie die korrekte Interpretation der Messwerte und die Berücksichtigung der Flächenheterogenität [4]. Einen Schritt weiter hin zu den optimierten Bewässerungsstrategien, basierend auf Fernerkundungsdaten, punktuellen Bodenfeuchtemessungen und multispektralen Punktdaten (z. B. Arable-Sentek-Kombinationen), wurden bereits an anderer Stelle, bspw. im AgriSens-DEMMIN Projekt erschlossen. Ergebnisse dieser Forschung zeigen, dass im Kartoffelanbau bspw. 10–15 % Wasser ohne Ertrags- oder Qualitätseinbußen eingespart werden kann [5].

Zusammenfassend deutet der aktuelle Forschungsstand darauf hin, dass Potenzial zur Wassereinsparung besteht, wenn bei der Bewässerung die flächenbezogene Heterogenität berücksichtigt wird und eine In-situ-Bodenfeuchtemessung Realdaten zur Verfügung stellt.

Derzeit werden entsprechende Modelle an verschiedenen Stellen getestet und Erfahrungen gesammelt. Eine für die Praxis geeignete Methode zu entwickeln, die eine einfache Umsetzung im landwirtschaftlichen Betrieb ermöglicht, bleibt jedoch eine Herausforderung.

Beschreibung der Feldversuche

Um das oben beschriebene Potenzial zu erschließen und praxisnahe Lösungen zu entwickeln, wurden im Rahmen des Projektes 5G-La am Institut für nachhaltige Bewässerung und Wasserwirtschaft im ländlichen Raum (INBW) in den Jahren 2023 und 2024 zunächst verschiedene Sensoren zum Messen der Bodenfeuchte untersucht. Ziel war, Sensorik zur Bestimmung der Bodenfeuchte zu testen und eine Methode zu entwickeln, mit welcher punktuelle Daten für Modelle verifiziert und in die Fläche extrapoliert werden können. Eine weitere Frage war, wie die gewonnenen Messdaten übertragen werden können und welche Vorteile sich ggf. durch

ein vorhandenes 5G Mobilfunknetzwerk ergeben. Dieser Aspekt wird jedoch im vorliegenden Beitrag nicht weiter betrachtet.

Die dafür vorgesehene Versuchsfläche ist Teil der Agravis Future Farm und befindet sich südwestlich von Suderburg. Gem. Bodenkarte (BK50) des NIBIS-Kartenservers handelt es sich an dem Standort um eine mittlere Podsol-Braunerde [6]. Zum Einsatz kamen drei verschiedene Sensortypen, die sich aus einer zuvor größeren Auswahl als besonders geeignet erwiesen haben: Agvolution (FDR/TDR), Sentek (FDR) und Weenat (Tensiometer). In **Bild 1** ist das Versuchsfeld mit den entsprechenden Messpunkten dargestellt. Die Positionen der Sensoren, an denen Bodenfeuchteveränderungen erfasst wurden, sind hier zu entnehmen. Der Hintergrund der Abbildung zeigt eine kommerziell genutzte Managementzonenkarte (MZK) der AGRAVIS Raiffeisen AG, welche die Heterogenität des Ertragspotenzials auf der Fläche darstellt. Solche maschinenlesbaren Applikationskarten werden bereits als Grundlage genutzt, um die Feldmaschinen an die heterogenen Bedingungen eines Schlages anzupassen. Auf diese Weise kann durch angepasste Bewirtschaftung ein homogenerer Bestand erreicht und Qualitätsparameter bzw. Mehrerträge, beispielsweise im Maisanbau, gesteigert werden. Die Grundlage dieser Karten bildet ein über mehrere Jahre gemitteltes Biomasseprodukt der Fläche, das aus Satellitenaufnahmen des Copernicus-Programms der EU stammt [7].



Bild 1: Versuchsfläche (9,30 ha) mit eingetragenen Heterogenitätszonen des Ertragspotenzials. Die Symbole markieren die im Versuch installierten Bodenfeuchtesensoren sowie eine Vergleichszone.

Figure 1: Experimental field (9.30 ha) with delineated yield potential heterogeneity zones. The symbols indicate the soil moisture sensors installed for the trial, as well as a reference zone.

Dieser Karte sind Bereiche mit hohem (rot), normalem (grün) und unterdurchschnittlichem (blau) Ertragspotenzial zu entnehmen. Die Messorte für stationäre Messungen (In-situ) und die Entnahmestellen für gravimetrische Bodenproben sind als weiße Kreise und als orange-farbenes Rechteck dargestellt. Das orange Rechteck kennzeichnet die Sonden-Vergleichszone (SVZ), in der die unterschiedlichen Sensoren (Agvolution, Sentek, Weenat u. a.) nebeneinander installiert wurden, um einen direkten Vergleich zu ermöglichen. Zusätzliche stationäre Daten werden in den verschiedenen Heterogenitätszonen (weiß markierte Punkte) mit Sentek- und Weenat-Sensoren erfasst. Alle Bodenfeuchte-Daten sind zur Vergleichbarkeit in Vol.-% umgerechnet. Die Umrechnung der Wasserpotenzial-Messungen erfolgt nach Van Genuchten (1980) gemäß Ad-hoc-AG Boden (1999) [8]. Wöchentlich entnommene Bodenproben wurden verwendet, um gravimetrischen Untersuchung durchzuführen und um Vergleichswerte zur Bestimmung der Messgenauigkeit der Sensoren zu erhalten.

Analyse der Bodeneigenschaften

Zur Einordnung der Bodeneigenschaften folgt eine kurze Beschreibung der einzelnen Zonen. Die Korngrößenverteilung wurde nach DIN ISO 11277:2002-08 durch Siebung und Sedimentation (Aräometerverfahren) bestimmt. Es handelt sich bei allen beprobten Punkten um einen schwach schluffigen Sand (Su2). Mit Ausnahme der 30-60 cm Schicht in der blauen Zone, wo feinsandiger Mittelsand (mSfs) vorliegt [9].

Weitere Bodenparameter, die für die Messgenauigkeit der Sensorik und die Charakteristika in den unterschiedlichen Zonen relevant sind, werden in Bild 2 dargestellt. Die einzelnen bodenphysikalischen Parameter der Heterogenitätszonen sowie der SVZ sind hier aufgeführt. Die Parameter wurden nach DIN EN ISO 11274:2020-04 ermittelt.

Besonders deutlich zeigt sich, dass die nutzbare Feldkapazität der Fläche je nach Zone sichtbar variierte. In der blauen Zone weicht die nutzbare Feldkapazität (nFK) im Bereich 30–60 cm um 6,2 bis 8 Vol.-% von den anderen Zonen ab und zeigt gleichzeitig die größte Luftkapazität (Entwässerungspotenzial).

Beschreibung der verwendeten Sensoren

Im Rahmen einer umfassenden Markt-Recherche für das oben genannte 5G-Projekt wurden über 30 Bodenfeuchtesensoren vorab geprüft, von denen schließlich sieben in die engere Auswahl kamen. Nach weiterführenden Untersuchungen sind letztlich Sensoren der Hersteller Agvolution, Sentek und Weenat ausgewählt worden.

Diese Modelle unterscheiden sich in ihren Messprinzipen (z.B. FDR/TDR vs. Widerstandsmessung) sowie darin, ob eine Punktmessungen oder eine Profilmessungen durchgeführt wird. Bei Punktmessungen wird der Wassergehalt an einer einzigen Stelle gemessen, während Profilmessungen den Wassergehalt in mehreren Tiefenstufen über das Bodenprofil erfassen. Der Einbau der Sensoren variiert je nach Hersteller: Bohren mit einem Erdbohrer (Sentek), Graben

und Einschlämmen (Weenat) oder Vorschlagen eines Spalts mithilfe eines speziellen Einbau-
tools (Agvolution). In **Bild 3** und **Bild 4** sind die Sensoren mit ihren Hauptelementen Funkmo-
dul, Batterie, Messpunkte für Temperatur und Feuchte dargestellt.

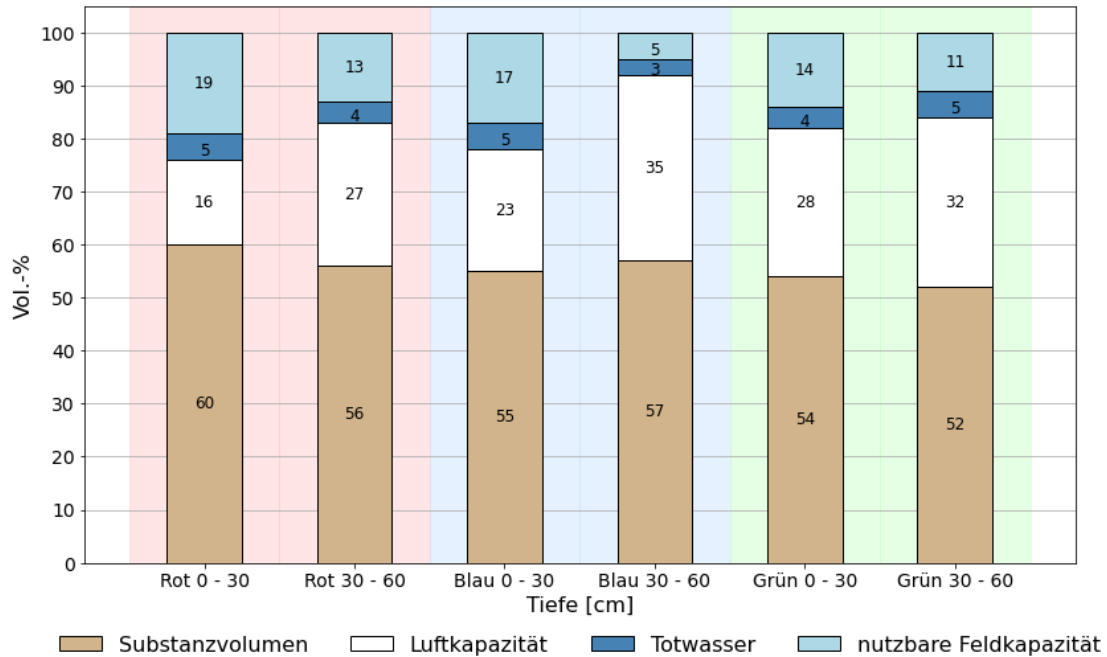


Bild 2: pF-Analyse der Versuchsböden in den Untersuchungsbereichen

Figure 2: pF-Analysis of the Soil in the Study Areas

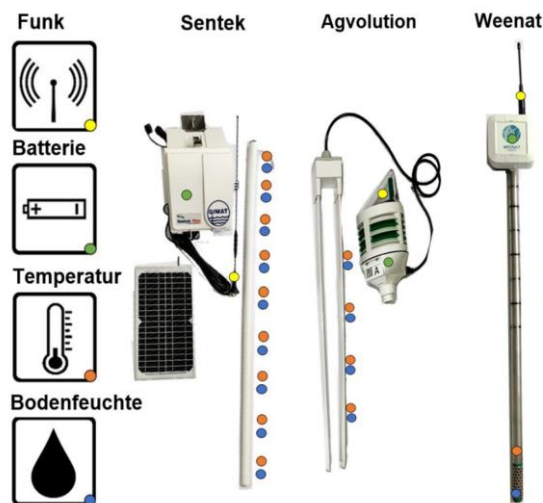


Bild 3: Darstellung der im Versuch verwendeten Sensoren zur Bodenfeuchtemessung. Von links nach
rechts: Sentek Drill & Drop, Agvolution CLIMAVI und Weenat Tensiometer.

Figure 3: Representation of the soil moisture sensors used in the experiment. From left to right:
Sentek Drill & Drop, Agvolution CLIMAVI, and Weenat Tensiometer.

<u>Sensoridentifikation</u>		<u>Eigenschaften</u>					
Hersteller	Benennung	Messprinzip	Messpunkte	Einheit	Einbau	Messtiefe [cm]	Anzahl Messpunkte
Agvolution	Climavi Microclimate LTE	FDR / TDR	Profilmessung	[Vol.-%]	Einbautool (Bodendorn)	10-25-45	3
Sentek	Drill&Drop Plus Kit 90	FDR	Profilmessung	[Vol.-%] [mm]	Bohren	5-15-25-35- 45-55-65- 75-85	9
Weenat	Tensiometer	Widerstands- messung	Punktmessung	[kPa]	Bohren und Schlämmen	30 & 60	x

Bild 4: Übersicht der im Versuch verwendeten Sensoren mit Angaben zu Messprinzip, Messpunkten, Mess-/Einheit, Einbauverfahren, Messbereich und Messpunkten pro Sensor.

Figure 4: Overview of the sensors used in the experiment, detailing their measurement principles, measurement points, measurement units, installation methods, measurement ranges, and the number of measurement points per sensor.

Auswertung der Feldversuche und Diskussion

Um die gewonnenen Erkenntnisse aus den Feldversuchen sukzessive zu beschreiben und ihre praktische Relevanz zu bewerten, folgt zunächst die Auswertung der Messdaten der einzelnen Sensoren in der SVZ und eine anschließende Betrachtung der flächenhaften In-Situ Messungen über einen ausgewählten Zeitraum. Dabei werden sowohl die Genauigkeit der eingesetzten Sensoren als auch die Übertragbarkeit der Messwerte auf die Versuchsflächen betrachtet.

Parallel zu den kontinuierlichen Messungen mit den Sensoren sind wöchentlich gravimetrische Bodenproben bis in eine Tiefe von 90 cm aus den verschiedenen Zonen des Versuchsfeldes (rot, grün, blau und SVZ) entnommen worden. Diese Probenentnahme erfolgte mit einem Abstand von 10 cm Tiefe. Anschließend wurden die Ergebnisse in Bereichen von 0–30 cm, 30–60 cm und 60–90 cm gemittelt und in Vol.-% umgerechnet. Der umgerechnete und gemittelte gravimetrische Wassergehalt der genannten Bereiche dient dabei als Referenz, um die Qualität der Sensordaten untereinander objektiv zu vergleichen. Um die Messgenauigkeit zu beurteilen, wurde ein ± 5 Vol.-% Bereich um die gravimetrischen Werte definiert. Ein Bodenfeuchtesensor sollte innerhalb dieses Bereichs arbeiten, um die erforderliche Messqualität zu gewährleisten.

Bild 5 zeigt den Verlauf des Wassergehalts (Vol.-%) über sechs Wochen für verschiedene Tiefen mit dem Agvolution-Sensor (10 cm, 30 cm, 45 cm), im Vergleich zum gravimetrischen Wassergehalt (SVZ, 0–30 cm). Die SVZ-Werte in der Darstellung, basierend auf gravimetrischen Bodenproben, sind durch den schwarzen Fehlerbalken (± 5 Vol.-% Bereich) entlang der roten Linie dargestellt. Die Sensormessungen in den verschiedenen Tiefen (10 cm, 30 cm) stimmen insgesamt gut mit der Sonden-Vergleichszone (SVZ) überein und bleiben größtenteils innerhalb des definierten ± 5 Vol.-% Rahmens. Die Werte zeigen eine zu erwartende Entwicklung des Wassergehaltes, wobei die obere Bodenschicht stärkere Schwankungen auf-

weist als die tiefere. Eine deutliche Abweichung ist am 21.06.23 erkennbar, an dem die Messung 10 cm von der SVZ-Referenz abweichen. Abgesehen von diesem Ausreißer lieferten die Sensoren im betrachteten Zeitraum insgesamt verlässliche Daten. Die dargestellte Messtiefe des Agvolution-Sensors (45 cm) liegt außerhalb des hier dargestellten Vergleichsbereiches der gravimetrischen Werte und korreliert daher nicht mit der SVZ.

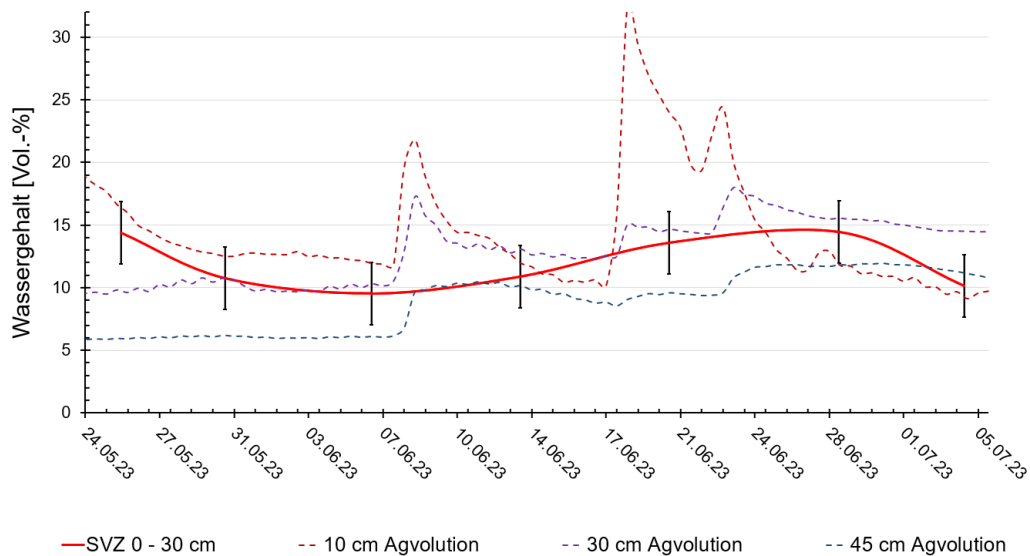


Bild 5: Vergleich des Sensors „CLIMAVI“ von Agvolution auf 10, 30 und 45 cm Messtiefe mit den gravimetrisch ermittelten Bodenfeuchten, 0 – 30 cm Mittelwert SVZ

Figure 5: Comparison of the "CLIMAVI" sensor (Agvolution) at 10 cm, 30 cm, and 45 cm measurement depth with gravimetrically determined soil moisture (0–30 cm average SVZ)

Die Profilsonde „Drill & Drop Plus“ von Sentek erfasst Bodenfeuchtwerte in Tiefen von 5 bis 85 cm in 10 cm Abständen und wird in den folgenden drei Abbildungen mit den jeweiligen Messbereichen dargestellt. Wie aus **Bild 6** hervorgeht, liegen die Sensordaten im oberen Bodensegment (15 cm - 25 cm) innerhalb einer Abweichung von ± 5 Vol.-% zu den gravimetrisch erhobenen Vergleichswerten. Damit ist die Messgenauigkeit für die erste Bodenschicht durchweg auch als positiv zu bewerten.

Bild 7 zeigt die Tensiometer-Messwerte in den roten, grünen und blauen Zonen. Auch bei dieser Messmethode stimmen die aus den Tensiometer-Daten berechneten volumetrischen Wassergehalte überwiegend mit den gravimetrischen Vergleichswerten überein. Ab dem 20. Juni 2023 kam es jedoch zu einem Übertragungsausfall, da die Funksignale unter dem zunehmenden Pflanzenbewuchs nicht mehr zuverlässig gesendet werden konnten.

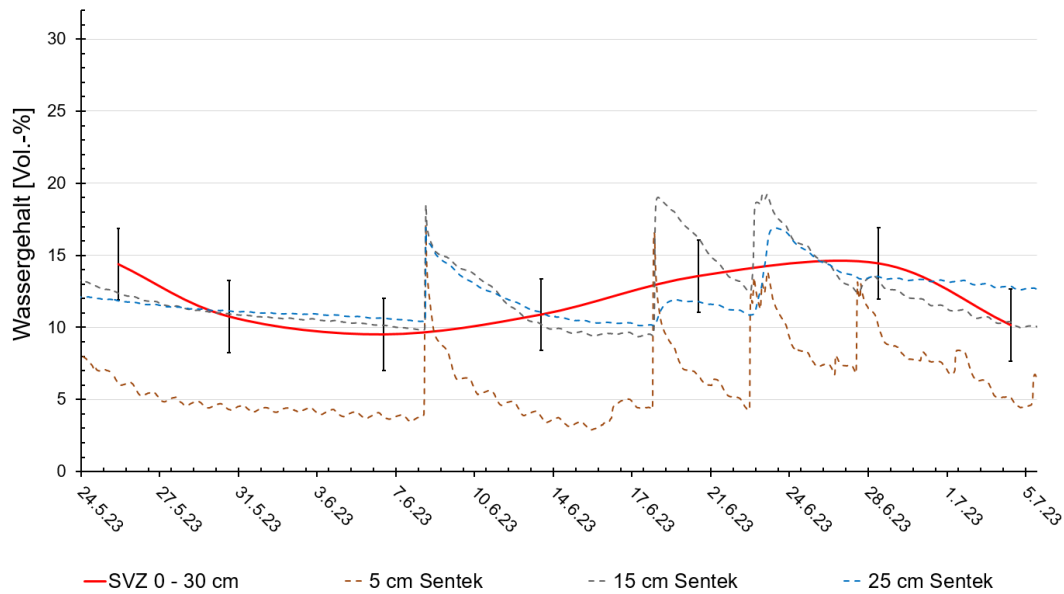


Bild 6: Vergleich des Sensors „Drill and Drop Plus“ von Sentek auf 5, 15 und 25 cm mit den gravimetrisch ermittelten Bodenfeuchten, 0 – 30 cm Mittelwert SVZ

Figure 6: Comparison of the “Drill and Drop Plus” sensor (Sentek) at 5 cm, 15 cm and 25 cm, with gravimetrically determined soil moisture (0–30 cm average, SVZ)

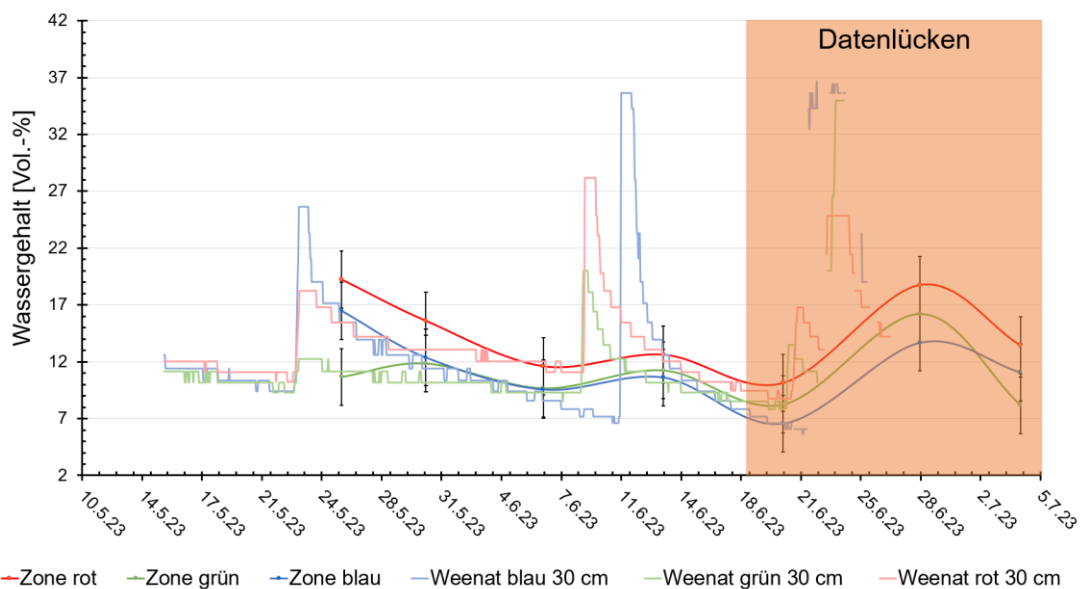


Bild 7: Verlauf der Weenat-Tensiometer-Messwerte in 30 cm Tiefe in den roten, blauen und grünen Zonen

Figure 7: Trend of the Weenat Tensiometer readings at 30 cm depth in the red, blue, and green zones.

Bild 8 gibt abschließend einen zusammenfassenden Überblick über die Entwicklung der Bodenfeuchte in den drei Heterogenitätszonen (rot, grün, blau) im Zeitraum von Mitte Mai bis Anfang September 2023. Im oberen Diagramm ist der tägliche Niederschlag dargestellt, während die folgenden drei Grafiken die gemittelten Bodenfeuchten in unterschiedlichen Bodentiefen (5–25 cm, 35–55 cm, 65–85 cm) wiedergeben. Aus den Verläufen wird deutlich, dass die blaue Zone durchweg die niedrigsten Wassergehalte aufweist. Dies steht im Zusammenhang mit den bodenphysikalischen Analysen (geringere nutzbare Feldkapazität) und bestätigt zugleich, dass dort potenziell eine geringere Bewässerungsmenge erforderlich ist und eine Umverteilung der Bewässerungsmenge auf der Fläche erfolgen könnte. Anderenfalls besteht die Möglichkeit, wie aus der Abbildung zu entnehmen ist, dass Niederschläge und/oder Bewässerungsgaben ab etwa 20 mm über die Wurzelzone hinaus in tiefere Bereiche sickern. Im weiteren Versuchsjahr 2024 wurden die Ergebnisse überprüft und verifiziert.

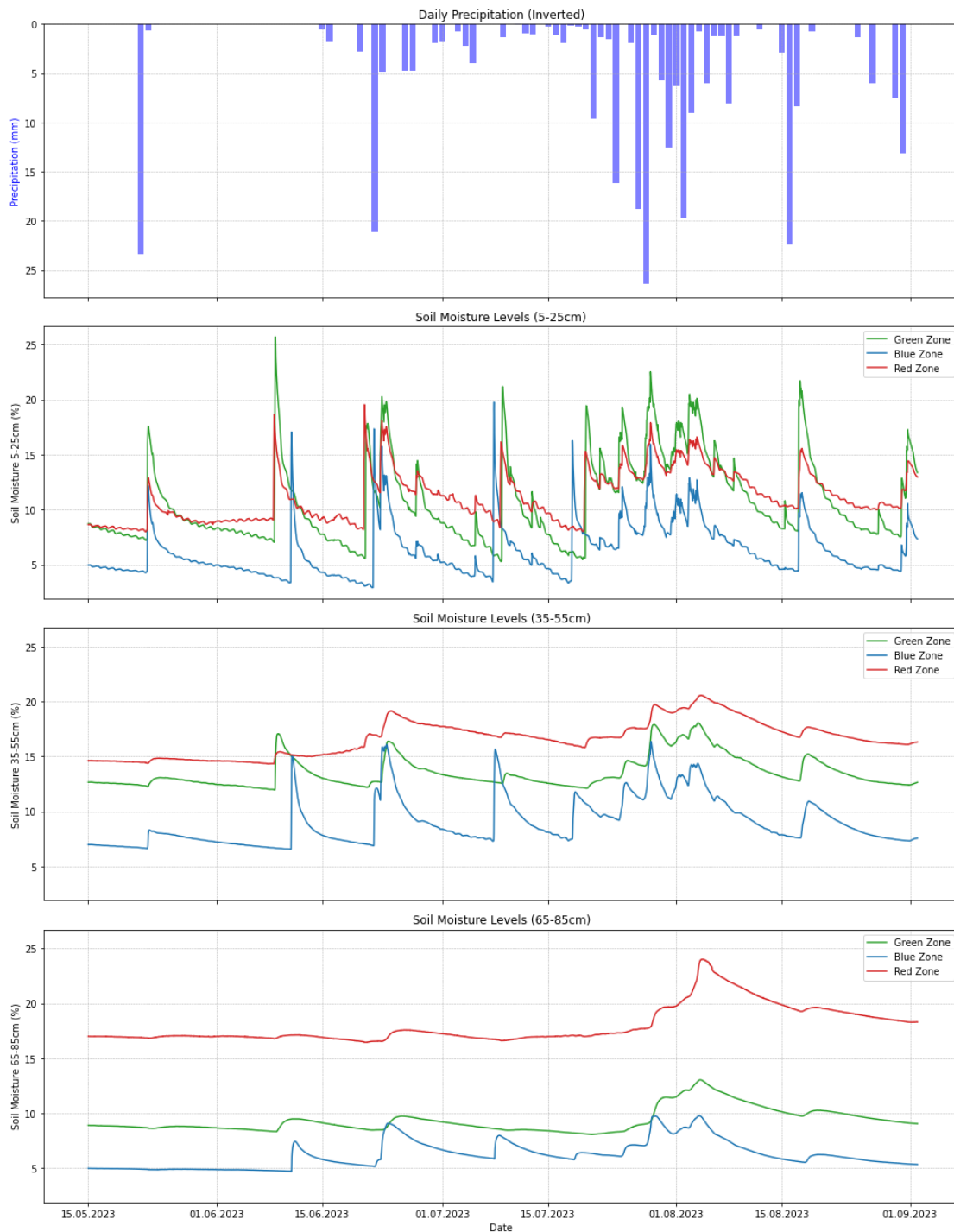


Bild 8: Tägliche Niederschlagsdaten (oben) sowie Bodenfeuchtemessungen in drei Tiefenbereichen (5–25 cm, 35–55 cm, 65–85 cm) für drei Zonen (Grün, Blau, Rot) im Zeitraum vom 15.05.2023 bis 01.09.2023.

Figure 8: Daily precipitation data (top) and soil moisture measurements at three depth ranges (5–25 cm, 35–55 cm, 65–85 cm) for three zones (Green, Blue, Red) from May 15, 2023, to September 1, 2023.

Zusammenfassung

Zusammenfassend zeigt dieser Beitrag, dass präzise Messungen des Bodenwassergehaltes notwendig sind, um weitere flächenhafte Potenziale zu erschließen. Ein Zusammenspiel aus Messungen und Fernerkundung ermöglicht dabei eine Hochskalierung auf die Fläche hin zu einer optimierten Bewässerungsmethode. Allerdings fehlt bislang eine konkrete Umsetzungsstrategie, die den Untergrund ausreichend erfasst und so das Potenzial heterogener Standorte ausschöpft. Durch den gezielten Einsatz von Bodenfeuchtesensoren und die Berücksichtigung standortspezifischer Boden- und Ertragsheterogenitäten lassen sich zusätzliche Potenziale für eine effizientere Bewässerung erschließen. Besonders die nutzbare Feldkapazität (nFK) und sandige Bereiche in tieferen Bodenschichten (65–85 cm) rücken dabei in den Fokus. Die hier vorgestellten Untersuchungen lassen zudem erkennen, dass bestehende Systeme – wie etwa Trommelregner – durch digitale Lösungen und angepasste Sensorik weiter optimiert werden können, ohne zwangsläufig in neue Großanlagen investieren zu müssen. Durch das Nachrüsten einer digitalen Steuerung an den bereits bestehenden Trommelregnern könnte eine flächenspezifische Bewässerungsempfehlung direkt übertragen werden. So lässt sich die Ausbringungsmenge dann in den einzelnen Fahrgassen durch eine veränderte Einzugs geschwindigkeit optimieren. Zukünftige Forschungsarbeiten im Bereich der nachhaltigen Bewässerungswirtschaft sollten darauf abzielen, die Heterogenität durch Mess- und Fernerkundungsdaten genauer zu erfassen, um diese Potenziale vollständig zu erschließen.

Literatur

- [1] Horn, R.; Horton, R.; Bachmann, J.; Peth, S.; Hartge, K. H. (Hrsg.): Essential soil physics – An introduction to soil processes, functions, structure and mechanics. 1. Auflage, Stuttgart: Schweizerbart Science Publishers 2016, ISBN: 9783510654949.
- [2] Topp, G. C.; Davis, J. L.; Annan, A. P.: Electromagnetic determination of soil water content: Measurements in coaxial transmission lines. *Water Resources Research* 16 (1980) H. 3, S. 574-582.
- [3] METER Group: Soil moisture sensors—How they work. Why some are not research grade - METER Group. URL: <https://metergroup.com/measurement-insights/soil-moisture-sensors-how-they-work-why-some-are-not-research-grade/>, Zugriff am: 09.01.2025.
- [4] Dr. Beck, Michael; Troidl, Tobias; Hageneder, Florian; Kirchner, Stefan: Entscheidungshilfe zur Bewässerungssteuerung – Bodensensormessung und Datenaufzeichnung. URL: https://www.alb-bayern.de/De/Bewaesserung/BewaesserungsforumBayern/Ergebnisse/saugspannung-automatisierung-bodenwassergehalt_bef12.html, Zugriff am: 09.01.2025.
- [5] Conrad, C.; Piernicke, T.: Digitales Wassersparen: Bewässerung im Pflanzenbau – Ökonomisch und ökologisch optimierte Wassernutzung zur. URL: https://www.agrisens-demmin.de/documents/Faktenblatt_AF4_MLU_GFZ.pdf, Zugriff am: 09.01.2025.

- [6] N.N.: NIBIS Kartenserver : powered by cardo.Map. URL: <https://nibis.lbeg.de/cardomap3/>, Zugriff am: 09.01.2025.
- [7] Brase, H.: Heterogenitätszonen, Managementzonenkarte (MZK). Interview, 16.01.2025.
- [8] Hennings, V.: Ad-hoc-AG Boden 1999. URL: https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Boden/Netzwerke/AGBoden/Downloads/Ergaenzungsregel_1_20.pdf?__blob=publicationFile&v=2, Zugriff am: 09.01.2025.
- [9] Sponagel, H. (Hrsg.): Bodenkundliche Kartieranleitung – Mit 41 Abbildungen, 103 Tabellen und 31 Listen. 5. Auflage, Stuttgart, Hannover: In Kommission E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele und Obermiller); Bundesanst. für Geowiss. und Rohstoffe 2005, ISBN: 3510959205.

Autorendaten

Felix Schmidt M. Sc. ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für nachhaltige Bewässerung und Wasserwirtschaft im ländlichen Raum (INBW).

Prof. Dr.-Ing. Klaus Röttcher ist Professor für Wasserbau und Wasserwirtschaft an der Ostfalia Hochschule in Suderburg und Institutsleiter des Instituts für nachhaltige Bewässerung und Wasserwirtschaft im ländlichen Raum (INBW).

Bibliografische Angaben / Bibliographic Information

Wissenschaftliches Review / Scientific Review

Erfolgreiches Review am 04.03.2025

Empfohlene Zitierweise / Recommended Form of Citation

Schmidt, Felix; Röttcher, Klaus: Anpassung an den Klimawandel durch Optimierung der Bewässerung mittels Bodenfeuchtesensoren. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2024. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2025. S. 1-13

Zitierfähige URL / Citable URL

<https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202502071043-0>

Link zum Beitrag / Link to Article

<https://www.jahrbuch-agrartechnik.de/artikelansicht/anpassung-an-den-klimawandel-durch-optimierung-der-bewasserung-mittels-bodenfeuchtesensoren.html>

Dieser Beitrag wird unter einer CC-BY-NC-ND 4.0 Lizenz veröffentlicht.