

Seminar Paper (State of the art)

Optimierung von Pflanzenbewässerung durch IoT- Technologie

Autor/in: David Eskenasi

Matrikelnummer: wi23m030

Studiengang: MWI

Betreuer/in: Robert Jonas

Datum: 31.01.2025

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	3
Bodenfeuchtigkeit und Pflanzenwachstum	4
Bewässerungsmethoden	4
Tropfbewässerung	4
Sprinklerbewässerung	5
Unterirdische Bewässerung.....	5
Technische Grundlagen	5
Sensorik und Hardware	5
Bodenfeuchtigkeitssensoren	5
Temperatursensoren	6
Kommunikationsmodule	6
Datenanalyse und Entscheidungsfindung	6
Praxisbeispiele	6
Plantsens	6
Phenospex.....	7
LemnaTec.....	7
Innowise	7
Fazit	7

Einleitung

Die Industrie der Landwirtschaft steht weltweit vor Herausforderungen, vor allem die effiziente Nutzung von Wasserressourcen, bei steigendem Bedarf an Nahrungsmitteln. Der Klimawandel und das stetige Bevölkerungswachstum wirkt sich negativ auf die Problematik der Wasserknappheit aus (FAO, 2021).

Traditionelle Bewässerungsmethoden sind oft ineffizient und führen zu Wasserverschwendung (Pimentel et al., 2004). Durch den Einsatz von Technologien wie „Internet of Thing“ (IoT) können Bewässerungsprozesse präziser gesteuert und überwacht werden, was in einer effizienteren Ressourcennutzung resultiert (Sahi und Auluck, 2022). Diese Arbeit soll den aktuellen Stand der Forschung zu IoT-gestützten Bewässerungssystemen und Methoden beleuchten, mit Fokus auf technische Details zu Sensorik und Datenverarbeitung sowie praktische Anwendungsfälle.

„Smart Farming“ ist die Integration digitaler Technologien in die Landwirtschaft die darauf abzielt eine nachhaltige, ressourcenschonende und produktivere Landwirtschaft zu fördern (Wolfert et al., 2017). Fraunhofer (2025) erwähnt, dass IoT-Systeme eine bemerkenswerte Optimierung landwirtschaftlicher Prozesse durch Echtzeitüberwachung und datenbasierter Entscheidungsfindung erzielen. Diese Technologien tragen zur Erhaltung von ökologischen Ressourcen und zur Anpassung an unterschiedliche Klimabedingungen bei.

Ein zentraler Teil bei der Implementierung solcher Technologien ist die Kommunikation zwischen verschiedenen Systemkomponenten. IoT-basierte Lösungen benötigen robuste Netzwerkinfrastrukturen, die auch in ländlichen Gebieten mit eingeschränkter Internetverbindung funktionsfähig sind. Hier gewinnen Technologien wie LoRaWAN und Narrowband IoT (NB-IoT) an erheblicher Bedeutung, da sie eine energieeffiziente Kommunikation über große Distanzen ermöglichen (Vermesan und Friess, 2014).

Ein weiterer wichtiger Teil betrifft die Skalierbarkeit und Modularität der Systeme. Die sind besonders relevant für kleinere landwirtschaftliche Betriebe, welche oft nur begrenzte Ressourcen für Technologieinvestitionen haben. Die Kombination von kostengünstigen Sensoren mit Open-Source Software bietet hier eine vielversprechende Möglichkeit (Rose et al., 2018).

Bodenfeuchtigkeit und Pflanzenwachstum

Die Bodenfeuchtigkeit ist ein entscheidender Faktor für das Pflanzenwachstum, da sie die Wasseraufnahme über die Wurzeln beeinflusst (Jones, 2004). Unterschiedliche Pflanzenarten haben variierende Wurzeltiefen und somit spezifische Anforderungen an die Bodenfeuchtigkeit (Taiz und Zeiger, 2010). Die Verteilung von Feuchtigkeit in verschiedenen Bodentiefen wird durch Bewässerungsmethoden, Bodentypen und klimatische Bedingungen beeinflusst (Bogena et al., 2007). Eine präzise Überwachung und Steuerung der Bodenfeuchtigkeit kann das Pflanzenwachstum optimieren und Wasser als Ressource einsparen (Jones, 2004).

Unzureichende Feuchtigkeit führt zu einem sogenannten Trockenstress. Dies kann die Produktivität der Pflanzen erheblich beeinträchtigen (Chaves et al., 2003). Pflanzen, die in zu trockenen oder überwässerten Böden wachsen, entwickeln oft Wachstumsstörungen oder Krankheiten. Ergebnisse zeigen, dass eine konsistente Versorgung mit optimaler Feuchtigkeit das Risiko solcher Stressfaktoren reduziert (Fereres und Soriano, 2007).

Darüber hinaus spielen klimatische Bedingungen eine wesentliche Rolle. In ariden und semi-ariden Regionen müssen Bewässerungssysteme besonders effizient arbeiten, um die Wasserverluste durch Verdunstung zu minimieren. Hierbei können Technologien wie Mulch Abdeckungen und wassersparende Anbautechniken ergänzend eingesetzt werden (Zhang et al., 2020).

Bewässerungsmethoden

Tropfbewässerung

Die Tropfbewässerungen liefert Wasser bis direkt an die Wurzeln der Pflanzen und minimiert Verdunstungsverluste. Diese Methode ist besonders effizient für tiefwurzelnde Pflanzen und eignet sich ideal für trockene Regionen (Postel, 1999). Durch die gezielte Wasserabgabe kann der Wasserverbrauch reduziert und die Effizienz der Bewässerung gesteigert werden (Howell, 2001). Fereres und Soriano (2007) behaupten, dass diese Methode eine hohe Wassernutzungseffizienz bietet und hilft entsprechend bei begrenzten Wasserressourcen.

Die Tropfbewässerung ermöglicht zudem die Integration von Düngerabgabe, wodurch die Pflanzen gezielt mit Nährstoffen versorgt werden können (Sharmiladevi und Ravikumar, 2021).

Sprinklerbewässerung

Die Sprinklerbewässerung simuliert natürlichen Regen und verteilt das Wasser gleichmäßig über die Pflanzenoberfläche (Keller und Bliesner, 2000). Sie eignet sich für Pflanzen die oberflächennah wurzeln. Durch den Einsatz von Sensoren und automatisierten Steuerungssystemen können Verdunstungsverluste reduziert und die Effizienz der Bewässerung erhöht werden (Kim et al., 2008).

Diese Methode ist hingegen anfällig für Wasserverluste durch Winddrift und Oberflächenverdunstung, was in windreichen Gebieten zu einem Effizienzverlust führt (Evans et al., 2007).

Unterirdische Bewässerung

Bei der unterirdischen Bewässerung wird das Wasser direkt in die Wurzelzone geleitet, wodurch die Oberflächenverdunstung minimiert wird. Diese Methode ist besonders in ariden Regionen effektiv und sorgt für eine gleichmäßige Wasserverteilung in tiefen Bodenschichten (Pereira et al., 2012).

Technische Grundlagen

IoT-Technologien ermöglichen eine kontinuierliche Überwachung und Steuerung der Bodenfeuchtigkeit. Sensoren, welche in unterschiedlichen Bodentiefen installiert sind, liefern Echtzeitdaten zu Feuchtigkeit, Temperatur und anderen relevanten Parametern. Diese Daten werden verarbeitet und können zur automatischen Steuerung der Bewässerungssysteme genutzt werden, was den Wasserverbrauch reduziert und die Effizienz steigert (Ragab und Prudhomme, 2002).

Sensorik und Hardware

Die wichtigsten Komponenten eines IoT-gestützten Bewässerungssystems umfassen:

- Bodenfeuchtigkeitssensoren
- Temperatursensoren
- Kommunikationsmodule

Bodenfeuchtigkeitssensoren

Die Bodenfeuchtigkeitssensoren messen die volumetrische Feuchtigkeit im Boden. Kapazitive Sensoren sind aufgrund ihrer Genauigkeit und Haltbarkeit weit verbreitet (Awada et al., 2024).

Temperatursensoren

Die Temperatursensoren erfassen sowohl die Boden- als auch die Lufttemperatur, da diese Faktoren die Verdunstung und den Wasserbedarf beeinflussen (Snyder et al., 2011).

Kommunikationsmodule

Technologien wie LoRaWAN, Zigbee und NB-IoT sind weit verbreitet, da sie eine energieeffiziente Kommunikation über große Entfernungen ermöglichen (Vermesan und Friess, 2014).

Datenanalyse und Entscheidungsfindung

Die gesammelten Daten werden analysiert, um Muster und Trends zu identifizieren. Durch den Einsatz von Algorithmen des maschinellen Lernens können Vorhersagen über den Wasserbedarf der Pflanzen getroffen und Bewässerungspläne optimiert werden (Crane-Droesch, 2018).

Die Integration externer Datenquellen wie Wetterprognosen und Satellitendaten verbessert die Entscheidungsgrundlage und trägt zu einer präziseren Planung bei (Samreen et al., 2023).

Praxisbeispiele

Plantsens

Das Projekt PLANTSSENS verfolgt das Ziel, Nutzpflanzbestände im Freiland und im geschützten Raum, entsprechend dem Wasserbedarf, automatisch zu bewässern. Es wurde ein Prototyp anhand einer photogrammetrischen Aufnahmeapparatur für eine automatisierte Bestimmung des Versorgungszustandes von Pflanzen entwickelt. Mithilfe optischer Kamerasensoren wurde ein multisensorisches Positionierungssystem auf einer beweglichen Trägerplattform zusammengestellt, um durch eine zeitnahe Bilddatenauswertung und Georeferenzierung die Nutzpflanzen orts- und bedarfsgerecht zu bewässern (Rojek et al., 2020).

Ergebnisse wurden keine präsentiert, jedoch sollen ähnliche Systeme laut Rojek et al. (2020) mit höherem Kosten- und Installationsaufwand verbunden sein.

Phenospex

Phenospex ist ein Unternehmen, das sowohl Sensoren und Software, komplette Prozessautomatisierungen und phänotypisierungs Applikationen anbietet. Sie bieten unter anderem den PlantEye F600 an, welcher ein 3D-Modell der Pflanzen anfordert. Durch diesen Scan werden über 20 Parameter der einzelnen Pflanze erhoben, die dann in ihrem System HortControl ausgewertet werden können (Phenospex, 2025).

LemnaTec

LemnaTec beschäftigt sich mit der Erstellung und dem Verkauf von digitalen Lösungen rund um die Pflanze. LemnaTec bietet den FieldAIExpert an. Der FieldAIExpert ist ein automatisches Sensor-zu-Pflanze-Feldphänotypisierungssystem. Es wird auf Schienen installiert und fährt über das Feld, um die einzelnen Pflanzen zu scannen (LemnaTec, 2025).

Innowise

Innowise hat einen Roboter gebaut, welcher im Büro automatisch die Pflanzen bewässert. Er erstellt eine Karte von der Büroeinrichtung um Positionen von Pflanzen, Hindernissen, Einrichtung und anderen Objekten zu identifizieren. Mithilfe eines QR-Codes auf den Pflanzen kann die Bewässerungshistorie des Roboters verwaltet werden. Der Roboter befindet sich in keinem finalen Zustand (Innowise, 2025).

Fazit

Die Weiterentwicklung von IoT-gestützten Bewässerungssystemen zielt auf die Integration von künstlicher Intelligenz und maschinellem Lernen ab, um Analysen und autonome Entscheidungsfindung zu ermöglichen. Zudem wird die Entwicklung energieautarker Sensoren durch Energy Harvesting vorangetrieben, um die Wartungskosten zu reduzieren und die Nachhaltigkeit zu erhöhen (Fraunhofer, 2025).

IoT-gestützte Bewässerungssysteme bieten außerdem ein enormes Potential zur Steigerung der Effizienz und Nachhaltigkeit in der Landwirtschaft. Durch die präzise Überwachung und Steuerung der Bodenfeuchtigkeit können Wasserressourcen optimal genutzt und die Ernteerträge gesteigert werden. Trotz bestehender Herausforderungen zeigen aktuelle Entwicklungen und Praxisbeispiele, dass die Integration von IoT-Technologien zunehmend erfolgreich umgesetzt wird.

Jedoch ist aufgefallen, dass hauptsächlich für die Industrie geforscht wird und nicht für private Haushalte und Städte. Da die aus der Forschung resultierenden Lösungen für die Industrie auf kleinere Use Cases nicht projizierbar sind und auch mit einem höheren Kosten- und Installationsaufwand verbunden sind, setze ich genau hier mit meiner Masterarbeit „Optimierung von Pflanzenbewässerung durch IoT-Technologie“ an.

Das erwartete Ergebnis der Forschungsarbeit werden Messdaten sein. Diese Messdaten werden interpretiert und in Zusammenhang gesetzt. Nach dem ein Zusammenhang zwischen den Messdaten gesetzt wurde wird erwartet das abhängig von der Bewässerungsmethode, Boden und Tiefe, Aussagen getroffen werden können über die optimale Bewässerungsmethode für den spezifischen Boden und Tiefe. Diese können dann von der Zielgruppe angewendet werden.

Außerdem wird aufgrund der Arbeit nachvollziehbar werden, wie so ein System implementiert werden kann. Diese Arbeit kann aufgegriffen werden für eine Weiterentwicklung oder zur Implementierung von Personen in der Zielgruppe.

Literaturverzeichnis

Awada, H., Sirca, C., Marras, S., Castellini, M., Spano, D., Pirastru, M., 2024. Modelling soil moisture and daily actual evapotranspiration: Integrating remote sensing surface energy balance and 1D Richards equation. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 128, 103744. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2024.103744>

Bogena, H.R., Huisman, J.A., Oberdörster, C., Vereecken, H., 2007. Evaluation of a low-cost soil water content sensor for wireless network applications. Journal of Hydrology 344, 32–42. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.06.032>

Brady, N.C., Weil, R.R., 2017. The Nature and Properties of Soils. 15th edition, 15th ed. Chaves, M.M., Maroco, J., Pereira, J.S., 2003. Understanding plant responses to drought — from genes to the whole plant. ResearchGate. <https://doi.org/10.1071/FP02076>

Crane-Droesch, A., 2018. Machine learning methods for crop yield prediction and climate change impact assessment in agriculture. Environ. Res. Lett. 13, 114003. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aae159>

Evans, R.G., Hoffmann, G.J., Jensen, M.E., Martin, D.L., Elliott, R.L., 2007. Design and Operation of Farm Irrigation Systems, 2nd Edition, 1st ed. American Society of Agricultural and Biological Engineers, St. Joseph, MI. <https://doi.org/10.13031/dos.2013>

FAO, 2021. The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture – Systems at breaking point (SOLAW 2021). <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/cb7654en>

Fereres, E., Soriano, M.A., 2007. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. Journal of Experimental Botany 58, 147–159. <https://doi.org/10.1093/jxb/erl165>

Fraunhofer, 2025. Energy Harvesting [WWW Document]. Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS. URL <https://www.iis.fraunhofer.de/de/ff/lv/iot-system/tech/energy-harvesting.html> (accessed 1.31.25).

Fraunhofer, n.d. Smart Farming & Offroad - Fraunhofer IKS [WWW Document]. Fraunhofer-Institut für Kognitive Systeme IKS. URL <https://www.iks.fraunhofer.de/de/themen/smart-farming.html> (accessed 1.31.25).

Howell, T.A., 2001. Enhancing Water Use Efficiency in Irrigated Agriculture. *Agronomy Journal* 93, 281–289. <https://doi.org/10.2134/agronj2001.932281x>

Innowise, 2025. 11% savings on maintenance staff after building an automatic plant watering robot. Innowise. URL <https://innowise.com/case/iot-plant-watering-system/> (accessed 1.31.25).

Jones, H.G., 2004. Irrigation scheduling: advantages and pitfalls of plant-based methods. *Journal of Experimental Botany* 55, 2427–2436. <https://doi.org/10.1093/jxb/erh213>

Keller, J., Bliesner, R.D., 2000. Sprinkle and trickle irrigation. Blackburn Press, Caldwell, N.J.
Kim, Y., Evans, R.G., Iversen, W.M., 2008. Remote Sensing and Control of an Irrigation System Using a Distributed Wireless Sensor Network. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement* 57, 1379–1387. <https://doi.org/10.1109/TIM.2008.917198>

LemnaTec, 2025. FieldAIxpert. LemnaTec. URL <https://www.lemnatec.com/fieldaixpert/> (accessed 1.31.25).

Pereira, L.S., Cordery, I., Iacovides, I., 2012. Improved indicators of water use performance and productivity for sustainable water conservation and saving. *Agricultural Water Management, Irrigation efficiency and productivity: scales, systems and science* 108, 39–51. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.08.022>

Phenospex, 2025. PlantEye F600 multispectral 3D scanner for plants [WWW Document]. PHENOSPEX. URL <https://phenospex.com/products/plant-phenotyping/planteye-f600-multispectral-3d-scanner-for-plants/> (accessed 1.31.25).

Pimentel, D., Berger, B., Filiberto, D., Newton, M., Wolfe, B., Karabinakis, E., Clark, S., Poon, E., Abbett, E., Nandagopal, S., 2004. Water Resources: Agricultural and Environmental Issues. *BioScience* 54, 909–918. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2004\)054\[0909:WRAAEI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2004)054[0909:WRAAEI]2.0.CO;2)

Postel, S., 1999. Pillar of sand: can the irrigation miracle last?, 1st ed. ed, Environmental alert series. W.W. Norton & Co, New York.

Ragab, R., Prudhomme, C., 2002. SW—Soil and Water: Climate Change and Water Resources Management in Arid and Semi-arid Regions: Prospective and Challenges for the 21st Century. *Biosystems Engineering* 81, 3–34. <https://doi.org/10.1006/bioe.2001.0013>

Rojek, L., Hehl, K., Möller, M., Richter, M., Bischoff-Schaefer, M., 2020. Netzwerkbasiertes Multi-Sensor-Messsystem für eine automatische Bewässerung von Nutzpflanzenbeständen im Gewächshaus (PLANTSSENS). Wichmann Verlag, DE.

Rose, D.C., Parker, C.G., Park, C., Fodey, J., 2018. Involving Stakeholders in Agricultural Decision Support Systems: Improving User-Centred Design. <https://doi.org/10.5836/ijam/2017-06-80>

Sahi, M., Auluck, N., 2022. An IoT-Based Intelligent Irrigation Management System. ResearchGate. https://doi.org/10.1007/978-981-19-0019-8_1

Samreen, T., Ahmad, M., Baig, M.T., Kanwal, S., Nazir, M.Z., Sidra-Tul-Muntaha, 2023. Remote Sensing in Precision Agriculture for Irrigation Management. *Environmental Sciences Proceedings* 23, 31. <https://doi.org/10.3390/environsciproc2022023031>

Sharmiladevi, R., Ravikumar, V., 2021. Simulation of nitrogen fertigation schedule for drip irrigated paddy. *Agricultural Water Management* 252, 106841. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106841>

Snyder, R.L., Moratiel, R., Song, Z., Swelam, A., 2011. Evapotranspiration response to climate change. ResearchGate. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.922.11>

Taiz, Zeiger, 2010. *Plant Physiology* (Taiz & Zeiger) https://www.academia.edu/27225799/Plant_Physiology_Taiz_and_Zeiger

Vermesan, O., Friess, P. (Eds.), 2014. *Internet of Things Applications - From Research and Innovation to Market Deployment*. Taylor & Francis

Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., Bogaardt, M.-J., 2017. Big Data in Smart Farming – A review. *Agricultural Systems* 153, 69–80. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2017.01.023>

Zhang, F., Guo, S., Liu, X., Wang, Y., Engel, B.A., Guo, P., 2020. Towards sustainable water management in an arid agricultural region: A multi-level multi-objective stochastic approach. *Agricultural Systems* 182, 102848. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2020.102848>