

Energieautark arbeitendes Indoor-Smart-Gardening-System mit drahtlosem Monitoring und automatisierter Bewässerung

*Elke Mackensen, Axel Rombach, Aaron Spitznagel, Julius Klose
Hochschule Offenburg; Fakultät Elektrotechnik, Medizintechnik und Informatik;
Badstraße 24; 77652 Offenburg*

Zusammenfassung

Smart Home-/Smart-Building-Anwendungen sind ein stetig wachsender Markt. Smart Gardening ist ein Beispiel dafür, Nutzern mehr Komfort und eine bessere Lebensqualität zu Hause oder in Bürogebäuden zu ermöglichen. Im Rahmen dieses Beitrags wird die Entwicklung eines Indoor-Smart-Gardening-Systems mit dem Fokus auf energieautarkes Arbeiten vorgestellt. Herzstück des Systems ist ein 3D-gedruckter Blumentopf für einzelne Pflanzen mit integrierter Elektronik zum Monitoring der wichtigsten Pflanzenparameter und einem integrierten Wasserreservoir mit Tauchpumpe für das automatisierte Bewässern der Pflanze. Energy Harvesting per Solarzellen ermöglicht ein energieautarkes Arbeiten des Blumentopfes. Eine selbstentwickelte Low-Power-Funkschnittstelle im Blumentopf und ein externes Gateway ermöglichen die drahtlose Vernetzung mehrerer Pflanzen. Das Gateway dient zur Auswertung der Pflanzenparameter, der Ansteuerung der im Netzwerk vorhandenen Blumentöpfe und als Benutzerinterface.

Keywords: Smart Home, Smart Gardening, Wireless Sensor Nodes, Energy Harvesting, Low-Cost-Füllstandssensor

Einführung und Stand der Technik

Auf Grund verfügbarer Funktechniken und Fortschritte in der Informationstechnik sind Smart-Home-/Smart-Building-Applikationen ein stark wachsender Markt [1]. Smart Gardening ist ein typisches Beispiel einer Smart-Home-/Smart-Building-Anwendung. Im Detail bedeutet Smart Gardening per Messung diverse Parameter der Pflanze (z.B. Bodenfeuchte, Licht- und Temperatur-verhältnisse, Luftfeuchtigkeit, Nährstoffgehalt usw.) zu erfassen, auszuwerten und entsprechende Aktionen auf Grund der Messparameter einzuleiten. Dazu gehören z.B. eine automatisierte Bewässerung der Pflanze und/oder den Benutzer darüber zu informieren, welche Aktionen für eine einzelne Pflanze aus einem Pool von n Pflanzen notwendig sind.

Smart-Gardening-Systeme stehen im Fokus der Forschung, erste Systeme sind am Markt verfügbar [2]-[9]. Man unterscheidet zwischen Indoor- und Outdoor-Gardening-Systemen, die aus mehreren vernetzten Sensorknoten bestehen, welche die unterschiedlichen Pflanzenparameter messen. In vielen Fällen – insbesondere im Outdoor-Bereich – werden die gemessenen Parameter per Funk zu einem

Gateway oder direkt in eine Internet-Cloud übertragen. Software-Anwendungen auf dem Gateway ermöglichen es, die Daten dem Nutzer auf entsprechenden Endgeräten wie PC, Smartphone oder Tablets verfügbar zu machen. Indoor-Smart-Gardening-Systeme unterscheiden sich zumeist in den folgenden Merkmalen (siehe Tab. 1): Art der Pflanzenparameter, die gemessen werden, Grad der Automatisierung (z.B. automatische Bewässerung und Düngung), Art der Energieversorgung und Art der drahtlosen Kommunikationstechnik, welche einen Einfluss auf die Kommunikationsreichweite in einem Netzwerk von n Pflanzen und den Energiebedarf der Sensorknoten hat

In der Literatur beschriebene Indoor-Smart-Gardening-Systeme haben oftmals die Nachteile eines externen Wassertanks zur Bewässerung der Pflanze, zudem besteht die Energieversorgung des Systems zumeist aus Primärbatterien, die nach einer bestimmten Zeit ausgewechselt werden müssen. Außerdem wird eine Vernetzung eines Pools aus n Pflanzen nur bedingt unterstützt.

Tab. 1: Vergleich verschiedener Indoor-Smart-Gardening-Systeme

	System 1 [6]; Forschung	System 2 [7]; Forschung	System 3 [8]; Kommerziell	System 4 [9]; Kommerziell, aber nicht mehr verfügbar
Gemessene Pflanzenparameter	Bodenfeuchte, Temperatur, Luftfeuchtigkeit,	Bodenfeuchte, Licht	Bodenfeuchte	Bodenfeuchte, Temperatur, Licht, Nährstoffgehalt
Ansteuerung von Aktuatoren	Automatische Pflanzenbewässerung	Automatische Pflanzenbewässerung	Automatische Pflanzenbewässerung	Automatische Pflanzenbewässerung und Düngung
Kommentar	Sensoren/Aktoren sind direkt mit einem Arduino Board verbunden	Externes Wasserreservoir, Sensoren/Aktoren sind direkt mit einem Raspberry-Pi-Board verbunden	Externes Wasserreservoir	Die gesamte Elektronik ist in einen Blumentopf integrierte
Energieversorgung und energetische Lebensdauer	Keine Informationen verfügbar	12 VDC; Keine Informationen zur energetischen Lebensdauer	2 AAA Batterien; Keine Informationen zur energetischen Lebensdauer	4 AA Batterien; energetische Lebensdauer 6 Monate
Drahtlose Kommunikationstechnik von den Sensoren/Aktoren zu einem Gateway und Netzwerk Funktionalität	Kein Gateway; Arduino-Boards sind zu einer Thingspeak Cloud via Ethernet oder Wi-Fi konnektiert, auf die Benutzer per Smartphone-App zugreifen können	Kein Gateway; Keine Netzwerkfunktionalität. Benutzer bekommen Informationen per email	Keine Netzwerkfunktionalität. Eine LED informiert über zu wenig Wasser im Wasserreservoir	Bluetooth V4.0 BLE; Kein Gateway; Die Elektronik des Blumentopfes kann per Smart Phone App konnektiert werden

In Rahmen von diesem Beitrag wird die Entwicklung eines innovativen Indoor-Smart-Gardening-Systems vorgestellt, dessen Fokus auf energieautarkem Arbeiten, einer einfachen Bedienbarkeit für den Benutzer und die optimale Pflege individueller Pflanzen liegt.

Im Folgenden wird zunächst auf die Architektur und die Funktionalität des Systems eingegangen, danach werden Messergebnisse des Indoor-Smart-Gardening-Systems präsentiert. Ein Schwerpunkt des Beitrags ist insbesondere die Betrachtung des energieautarken Arbeitens des Systems, das durch Energy-Harvesting und eine selbstentwickelte Low-Power-Funkschnittstelle erreicht wird.

Architektur und Funktionalität des Indoor-Smart-Gardening-Systems

Das entwickelte System besteht aus drei Hauptbestandteilen (siehe Abb. 1): Wichtigster Bestandteil ist das Netzwerk aus 3D-gedruckten intelligenten Blumentöpfen für

individuelle Pflanzen. In dem Blumentopf ist eine Low-Power-Funkschnittstelle integriert. Ein Raspberry-Pi3-System dient als Gateway für das Netzwerk von n Blumentöpfen. Das Gateway dient zur Auswertung der Pflanzenparameter, der Ansteuerung der Blumentöpfe im Netzwerk und als Benutzerschnittstelle für Software-APPs auf Smartphone, PC oder ähnlichem.

Der intelligente Blumentopf (siehe Abb. 2) besteht aus einem integrierten Wasserreservoir mit einer Tauchpumpe für die automatische Bewässerung der Pflanze und einer integrierten Elektronik zum Monitoring verschiedenen Pflanzenparametern und des Wasserstandes im Wasserreservoir. Energy-Harvesting per Solarzellen ermöglichen ein energieautarkes Arbeiten des Blumentopfes.

Eine detaillierte Architektur der integrierten Elektronik des intelligenten Blumentopfes ist in Abb. 3 dargestellt. Die geerntete Energie wird in einem Akku mit einer Kapazität von

350 mAh gespeichert. Die Elektronik besteht aus diversen Sensoren. Ein Multisensorchip ermöglicht die Erfassung der Umgebungsbedingungen der Pflanzen. Der zum Einsatz kommende Multisensorchip ermöglicht die Messung der Umgebungstemperatur, der Luftfeuchtigkeit und des Luftdrucks. Ein weiterer Sensor ermöglicht die Messung der Bodenfeuchte, so dass sichergestellt werden kann, dass die Pflanze optimal mit Wasser versorgt wird. Zudem kommt ein selbstentwickelter Sensor zum Einsatz, der den Wasserstand im Wasserreservoir überprüft.

Ein Mikrocontroller und ein Power-Management sind weitere Bestandteile der integrierten Elektronik. Das Power-Management ermöglicht energieautarkes Arbeiten des Blumentopfes. Verschiedene Methoden werden angewendet, um den Energieverbrauch der Elektronik zu minimieren:

- Ausnutzung der Low-Power-Modes der einzelnen Komponenten.
- Einsatz von Komponenten mit niedrigen Leckströmen.
- Verwendung einer selbstentwickelten energieoptimierten Funkschnittstelle für die drahtlose Kommunikation mit dem Gateway, die bei 868 MHz arbeitet.
- Implementierung einer Ein-/Ausschaltlogik für die einzelnen Komponenten. Einzige wirklich dauerhaft betriebene Komponente des Systems ist eine Real-Time-Clock.

Der eingesetzte Mikrocontroller verfügt über einen FRAM-Speicher für die Speicherung der Sensordaten und der Firmware. Der Mikrocontroller erfasst alle Sensordaten, wertet diese aus, initiiert eine Bewässerung und überträgt relevante Daten zu dem Raspberry-Pi3-basierenden Gateway. Der Raspberry-Pi3 wurde auf Grund seiner vielen standardisierten Schnittstellen ausgewählt. Das Gateway wird mit einer konstanten 5-V-DC-Spannung versorgt. Das Gateway wurde durch die gleiche 868-MHz-Funkschnittstelle erweitert, welche auch in der integrierten Elektronik des Blumentopfes enthalten ist. Das Gateway empfängt von allen vorhandenen Blumentöpfen die übermittelten Daten und macht sie für weitere Softwareanwendungen verfügbar. Ein lokaler Node-Red-Server ermöglicht den Zugriff auf die Daten per WiFi oder Ethernet.

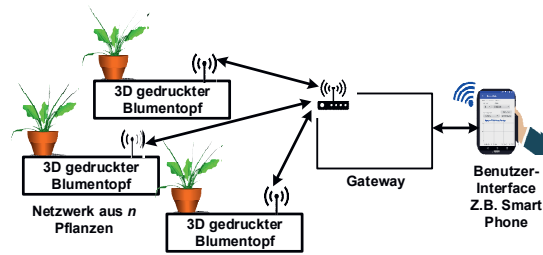


Abb. 1: Vereinfachte Architektur des Indoor-Smart-Gardening-Systems

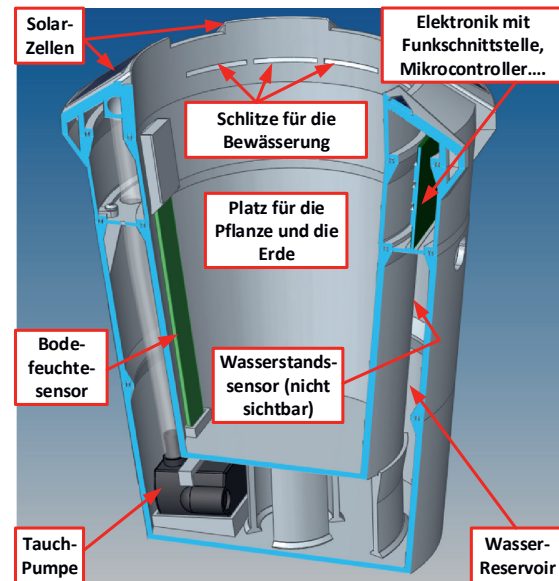


Abb. 2: Querschnitt durch den 3D-gedruckten intelligenten Blumentopf

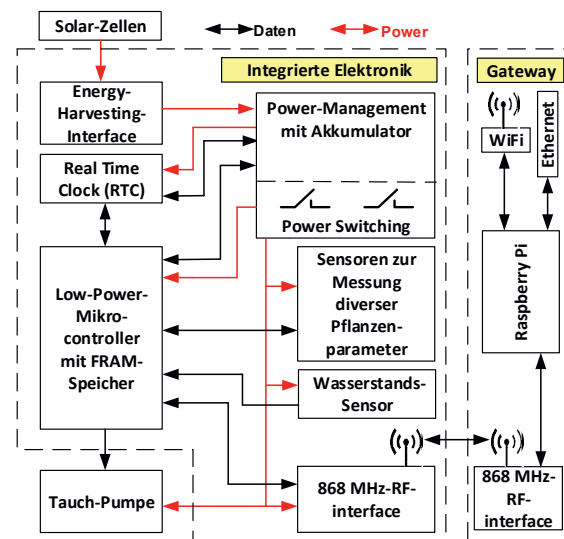


Abb. 3: Detaillierte Architektur des Indoor-Smart-Gardening-Systems

Messdatenerfassung des Blumentopfes

Wie bereits beschrieben, lassen sich mit dem eingesetzten Multisensorchip Temperatur, Luftdruck und Luftfeuchtigkeit erfassen. Abb. 4 zeigt als Beispiel die Messung der Temperatur in einem Innenraum in der Nähe eines Fensters am 28. August 2018.

Die Messung der Bodenfeuchte basiert auf einem kapazitiven Sensor, der sich auf Grund der Bodenfeuchte ändernde Kapazität ist in einen Oszillatorschaltkreis eingebunden. Dessen sich ändernde Frequenz wird mit dem Mikrocontroller gemessen. Um genaue Messungen zu erhalten, muss der Sensor in Abhängigkeit der Erde bzw. des Pflanzensubstrates, in welchem die Pflanze eingebettet ist, kalibriert werden. Abb. 5 zeigt die Messung der Bodenfeuchte mit dem Smart-Gardening-System. Zu erkennen sind zwei Bewässerungs-Vorgänge. Die eher langsamen Messwertänderungen resultieren aus der langsamen Ausbreitung des Wassers in der Erde.

Zur Messung des Wasserstandes in dem Wasserreservoir des Blumentopfes kommt ein selbstentwickelter Sensor zum Einsatz, mit dem sich sechs unterschiedliche Wasserhöhen messen lassen (siehe Abb. 6). Der Sensor besteht aus einem resistiven Spannungsteiler. Der Spannungsteiler besteht aus Goldkontakten, die durch den elektrischen Widerstandes des Wassers geschlossen werden. D.h. der komplette Widerstand des Spannungsteilers ändert sich auf Grund der Höhe des Wasserstandes im Wasserreservoir. Eine nachfolgende Schaltung verstärkt den Spannungsabfall an dem resistiven Spannungsteiler. Nach einer Digitalisierung der analogen Spannung erfolgt eine Auswertung der Messwerte mit dem Mikrocontroller. Abb. 7 zeigt die verstärkte Ausgangsspannung des Sensors in Abhängigkeit des Wasserstandes.

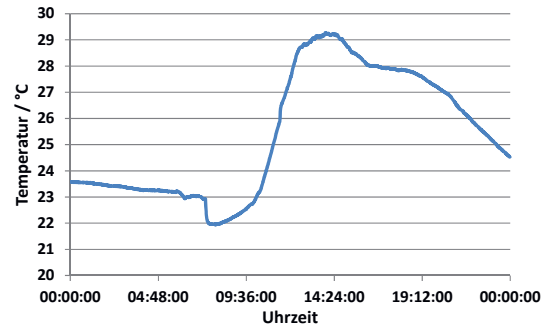


Abb. 4: Gemessene Umgebungstemperatur mit dem Smart-Gardening-System

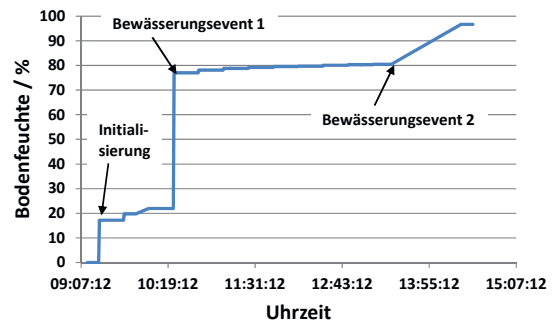


Abb. 5: Gemessene Bodenfeuchte mit dem Smart-Gardening-System

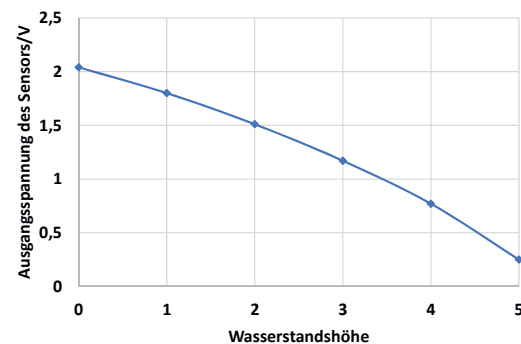


Abb. 7: Gemessene Ausgangsspannung des Wasserstandssensors in Abhängigkeit der Wasserstandshöhen im Wasserreservoir

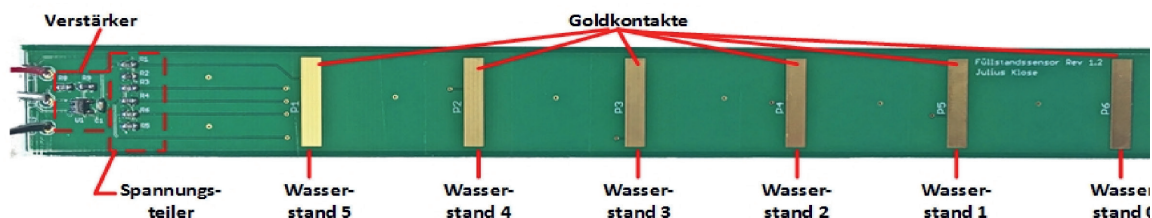


Abb. 6: Wasserstandssensor mit Goldkontakten

Drahtlose Kommunikation zwischen Blumentopf und Gateway

Die Entwicklung energieautarker, drahtlos kommunizierender Smart-Home-Anwendung ist nur möglich bei der Realisierung einer entsprechenden Low-Power-Funkschnittstelle. Das Smart-Gardening-System nutzt für die drahtlose Kommunikation einen 868-MHz-Transceiver von ST Microelectronics. Dieser Transceiver wurde ausführlich evaluiert, um die Funkschnittstelle so zu konfigurieren, dass dieser möglichst wenig Energie benötigt [10]-[11]. Im Vergleich zu anderen Kommunikationstechnologien [12]-[13], hat die drahtlose Schnittstelle des Blumentopfes einen recht niedrigen Energieverbrauch [10]. Die Kommunikation des Gateways und der Blumentöpfe ist als Stern-Topologie implementiert. Die einzelnen Blumentöpfe haben einen zugewiesenen Zeit-Slot für die Kommunikation, damit lässt sich die Kommunikation am energiesparendsten realisieren. Insgesamt lassen sich an einem Gateway bis zu 20 Blumentöpfe betreiben, prinzipiell könnte man das Netzwerk auch noch auf mehr als 20 Blumentöpfe erweitern.

Die erreichbare Kommunikationsreichweite zwischen den Blumentöpfen und dem Gateway ist eine wichtige Größe für das Indoor-Smart-Gardening-System. Die mögliche Kommunikationsreichweite wurde in einem realistischen Einfamilienhaus gemessen (siehe Abb. 8). Für die Messung wurde das Gateway recht zentral im Haus platziert, die Blumentöpfe wurden auf andere Räume verteilt. An jedem Blumentopf wird die Sendeleistung soweit reduziert, bis das Gateway die Daten des Blumentopfes nicht mehr korrekt empfangen konnte.

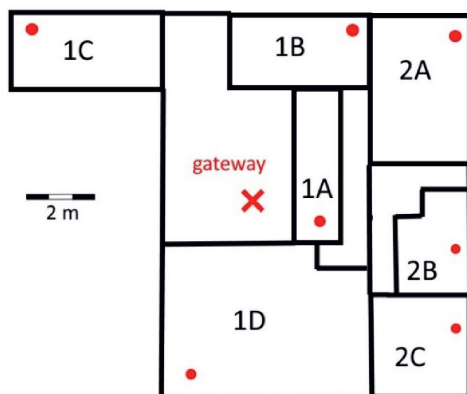


Abb. 8: Szenario in einem Haus, um die möglichen Kommunikationsabstände zwischen Gateway (rotes Kreuz) und den Blumentöpfen (rote Punkte) zu evaluieren

Die Ergebnisse der Messung sind in Tab. 2 dargestellt. Wie erwartet, haben die Anzahl der Wände und sonstigen Hindernisse natürlich einen Einfluss auf die fehlerfreie Übertragung. Die Ergebnisse zeigen jedoch, dass in einem Haus mit vielen Räumen und Türen, die Sendeleistung der drahtlosen Schnittstelle zumeist nicht mehr als 0 dBm betragen muss. Diese geringe Sendeleistung ermöglicht enorme Energieeinsparungen bei gleichzeitig zuverlässiger Kommunikation.

Tab. 2: Gemessene minimale notwendige Sendeleistung für das Messszenario aus Abb. 8

Blumentopf Nr.	Direkte Reichweite zwischen Blumentopf und Gateway	Anzahl Wände zwischen Blumentopf und Gateway	Minimale Sendeleistung für eine noch fehlerfreie Kommunikation
1A	2,0 m	1	-30 dBm
1B	5,7 m	2	-22 dBm
1C	8,0 m	2	-8 dBm
1D	5,3 m	1	-20 dBm
2A	7,6 m	3	-16 dBm
2B	6,0 m	4	-3 dBm
2C	7,0 m	5	5 dBm

Energetische Betrachtung des Gesamtsystems

Das energetische Verhalten des intelligenten Blumentopfes wurde für ein bestimmtes Anwendungsszenario untersucht. Die Randbedingungen des Anwendungsszenarios sind wie folgt: Alle 10 Minuten führt das System mit den verschiedenen Sensoren Messungen aus und sendet die Messdaten an das Gateway. Die Sendeleistung des Transceivers beträgt 11 dBm, 62 Byte Payload-Daten werden an das Gateway gesendet, die Tauchpumpe läuft maximal 30 Sekunden pro Tag. Tab. 3 stellt die benötigte Energie der integrierten Elektronik inklusive Tauchpumpe pro Tag für das beschriebene Anwendungs-szenario dar. Die Ergebnisse basieren auf ausführlichen Messungen aus [11]. Es ist zu erkennen, dass durch das Ein-/Ausschalten der Komponenten versucht wird, möglichst große Standby-Zeiten der einzelnen Komponenten zu erreichen. Das System benötigt pro Tag in der Summe 8,28 J. Der verwendete Akkumulator hat eine Kapazität von 350 mAh bei einer Spannung von 3,7 V. Unter der Annahme, dass 50 % seiner Kapazität genutzt werden können, d.h. 175 mAh oder 2331 J, beträgt die energetische Lebensdauer des Systems ca. 280 Tage.

Tab. 3: Benötigte Energie des intelligenten Blumentopfes

System-Komponente	Aktive Arbeitszeit pro Tag/s	Benötigte Energie für die Aktive Arbeitszeit/J	Standby-Zeit pro Tag/s	Benötigte Energie für die Standby-Zeit/J
Block Power-Management	86400	6,5707200	0	0
Tauchpumpe	30	0,015069000	86370	0
Real Time Clock	5,76	0,000384912	86394,24	0,125444436
Mikrokontroller und Umgebungssensor	14,4	0,039024000	--	--
Mikrokontroller und Bodenfeuchtesensor	14,4	0,085536000	--	--
Mikrokontroller und Wasserstandssensor	14,4	0,000950400	--	--
Mikrokontroller und Funkschnittstelle im Sendemodus	72	0,599040000	--	--
Mikrokontroller und Funkschnittstelle im Empfangsmodus	72	0,599040000	--	---
Mikrocontroller inaktiv	--	--	8684,8	0,000003960
Funkschnittstelle inaktiv	--	--	86256	0,241948080
Summe benötigter Energie pro Tag/J		7,909764312		0,367396476

Um zu überprüfen, ob die implementierten Solarzellen ausreichend Energie pro Tag liefern können, wurde die Ausgangsleistung der Solarzellen gemessen. Für die Messung wurde der Blumentopf an ein Fenster mit eher schlechten Lichtverhältnissen platziert. Die Messergebnisse sind in Abb. 9 dargestellt. Während der Messung von drei Stunden konnte eine Energie von insgesamt 547,2 J geerntet werden. Somit sind die Solarzellen ausreichend, um den Blumentopf energieautark zu betreiben.

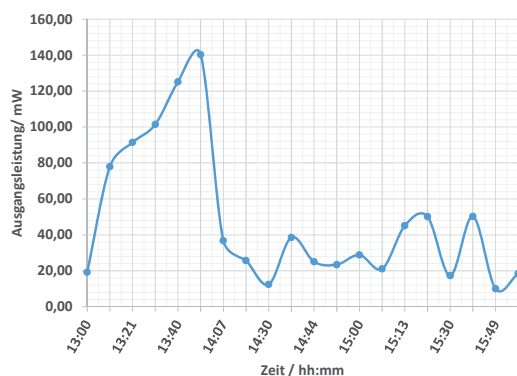


Abb. 9: Gemessene Ausgangsleistung der Solarzellen während drei Stunden

Zusammenfassung

Im Rahmen dieses Beitrags wurde die Entwicklung eines Indoor-Smart-Gardening-Systems mit dem Fokus auf energieautarkes Arbeiten vorgestellt. Herzstück des Systems ist ein 3D-gedruckter Blumentopf für einzelne Pflanzen mit integrierter Elektronik zum Monitoring der wichtigsten Pflanzenparameter und einem integrierten Wasserreservoir mit Tauchpumpe für das automatisierte Bewässern der Pflanze. Energy Harvesting per Solarzellen ermöglicht ein energieautarkes Arbeiten des Blumentopfes. Die wichtigsten Eigenschaften des Smart-Gardening-System sind in Tab. 4 aufgeführt. Gegenüber existierenden und in der Literatur beschriebenen Ansätzen für Smart-Gardening-Anwendungen, hat das System mehrere Vorteile:

- Das System lässt sich sowohl für Indoor- als auch Outdoor-Anwendungen einsetzen.
- Die integrierte Elektronik könnte auf Grund des energieeffizienten Hardwaredesigns für eine große Anzahl anderer Anwendungen im Smart-Home-Bereich eingesetzt werden.
- Der größte Vorteil des präsentierten Systems ist, dass sogar unter Worst-Case-Bedingungen (+ 11 dBm Sendeleistung und wenig vorteilhaften Lichtverhältnissen), eine energetische Lebensdauer von mehreren Jahren erreicht werden kann, ohne Batterien zu ersetzen.

Tab. 4: *Eigenschaften des in diesem Beitrag präsentierten Indoor-Smart-Gardening-Systems*

Eigenschaften	Beschreibung
Gemessene Pflanzenparameter	Bodenfeuchte, Umgebungstemperatur, Luftfeuchtigkeit, Luftdruck
Ansteuerung von Aktuatoren	Automatisierte Bewässerung
Kommentar	Die gesamte Elektronik ist in einen Blumentopf integriert
Energieversorgung und energetische Lebensdauer	Integrierte Elektronik des Blumentopfes: Energy Harvesting mit Solarzellen. Energetische Lebensdauer unendlich; Gateway (ein Raspberry Pi3): 5-V-DC-Netzteil
Drahtlose Kommunikationstechnik von den Sensoren/Aktoren zu einem Gateway und Netzwerk Funktionalität	868-MHz-Funkschnittstelle: Line-of-Sight-Kommunikationsreichweite: 80 m @ 5 dBm; Bis zu 20 Blumentöpfe können an das Gateway konnektiert werden. Das Gateway kann die Daten über eine Internet-Cloud, Smartphones oder ähnlichem zur Verfügung stellen.

Zukünftig soll das System dahingehend erweitert werden, dass damit das Umgebungslicht und der Nährstoffgehalt des Bodens gemessen werden kann. Zudem soll eine Datenbank programmiert werden, in der für unterschiedliche Pflanzentypen genaue Randbedingungen für die Pflege der Pflanze enthalten sind. Aufgrund dieser Datenbank soll die Elektronik des Systems für jede individuelle Pflanze die optimalen Parameter für die Pflege der Pflanze einstellen (z.B. Menge der Bewässerung), oder den Anwender darüber informieren, falls ein Optimum nicht erreicht ist (z.B. zu viel Schatten).

Literaturnachweis

- [1] J.R. Rosslin, K. Tai-hoon, "Applications, systems, and methods in smart home technology: a review" International Journal of Advanced Science and Technology, Vol. 15, 2010.
- [2] P.-P. Ray: Internet of things for smart agriculture: Technologies, practices and future direction. In Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments, vol. 9, no. 4, pp. 395-420, 2017; DOI: 10.3233/AIS-170440
- [3] A. H. Abbas, M. M. Mohammed, G. M. Ahmed, E. A. Ahmed and R. A. A. A. Abul Seoud, "Smart watering system for gardens using wireless sensor networks," 2014 International Conference on Engineering and Technology (ICET), Cairo, 2014, pp. 1-5.; DOI: 10.1109/ICEngTechnol.2014.7016780
- [4] F. Caetano, R. Pitarma and P. Reis, "Intelligent management of urban garden irrigation," 2014 9th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI), Barcelona, 2014, pp. 1-6.; Doi: 10.1109/CISTI.2014.6876907
- [5] G. Carrión, M. Huerta and B. Barzallo, "Monitoring and irrigation of an urban garden using IoT," 2018 IEEE Colombian Conference on Communications and Computing (COLCOM), Medellin, 2018, pp. 1-6.; DOI: 10.1109/ColComCon.2018.8466722
- [6] V. Biswal, H. M. Singh, W. Jeberson, A. S. Dhar, "Greeves: A Smart Houseplant Watering and Monitoring System", International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR), Volume 4, Issue 7, July 2015 ISSN: 2278 – 7798, 2015
- [7] S. N. Ishak, N. N. N. A. Malik, N. M. A. Latiff, N. E. Ghazali and M. A. Baharudin, "Smart home garden irrigation system using Raspberry Pi," 2017 IEEE 13th Malaysia International Conference on Communications (MICC), Johor Bahru, 2017, pp. 101-106; DOI: 10.1109/MICC.2017.8311741.
- [8] Daisy.si:
http://daisy.si/dv1/Daisy_dv1_EN_rv0.2.pdf
(User Manual; Last Access: 05.03.19).
- [9] Parrot:
<https://www.parrot.com/global/connected-garden/parrot-pot#app> (Last Access: 18.10.18).
- [10] P. Moser: „Entwicklung einer drahtlosen Sensor-Netzwerk-Plattform für den Low-Power-Anwendungsbereich“, Bachelor Thesis.Offenburg, 2017.
- [11] S. Möhringer, P. Moser, E. Mackensen, "Indoor Smart Gardening based on an Energy Autonomous Wireless Network Platform" In: Wireless Congress 2018: Systems & Application, Conference Proceedings, ICM - International Congress Center München, Munich, Germany, November 2018.
- [12] E. Mackensen, M. Lai and T. M. Wendt, "Bluetooth Low Energy (BLE) based wireless sensors," SENSORS, 2012 IEEE, Taipei, 2012, pp. 1-4. DOI: 10.1109/ICSENS.2012.6411303
- [13] T. Wendt, F. Volk and E. Mackensen, "A benchmark survey of long range (LoRaTM) spread-spectrum-communication at 2.45 GHz for safety applications," 2015 IEEE 16th Annual Wireless and Microwave Technology Conference (WAMICON), Cocoa Beach, FL, 2015, pp. 1-4. DOI: 10.1109/WAMICON.2015.7120312