

Every Waterdrop Counts

Sebastian Diers, Hendrik Ellmann, Lukas Focken, Tom Glaeseker, Dominique Nde Sadeu, Luca Thost, Joost van Mark

Fakultät II Department für Informatik, In Zusammenarbeit mit der Abteilung Softwaretechnik (Andreas Winter, Florian Schmalriede), der Abteilung Systemsoftware und verteilte Systeme (Oliver Theel, Marvin Banse) und dem Botanischen Garten der Universität Oldenburg (Dirk Albach, Klaus Bernhard von Hagen)

In Zeiten, in denen jeder Wassertropfen gezielt eingesetzt werden sollte, bedingt durch Krisen wie dem Klimawandel, muss die Pflege von Pflanzen näher betrachtet werden. Pflanzen sind von größter Bedeutung für die Menschheit wie z.B. für die Ernährung (Reis, Kartoffeln, etc.) und müssen auch trotz aktueller Schwierigkeiten weiter bestmöglich umsorgt werden. Dazu soll ein System entwickelt werden, welches Pflanzen automatisch mit Wasser versorgen und dabei genau bestimmen kann, wie viel Wasser die Pflanze braucht. Dieses System wird auf der Grundlage von Guerilla Sensing aufgebaut, welches ein System ist, mit dem Sensorik ausgebracht werden kann, um Umweltdaten zu bestimmen und auf einer Website anzuzeigen. Zusätzlich wird für die automatische Bewässerung noch ein aktiver eil benötigt. Guerilla Sensing wird um diese sogenannte Aktorik erweitert, damit eine automatische Bewässerung mit Messung realisierbar ist. Getestet wird das erweiterte System an einem Experiment in Kooperation mit dem Botanischen Garten der Universität Oldenburg, in welchem Grünkohlpflanzen mit dem entwickelten System aufgezogen werden. Dabei hat sich durch das Experiment herausgestellt, dass die Grünkohlpflanzen durch das System erfolgreich gepflegt werden und der gewählte Ansatz somit erfolgreich war.

Guerilla Sensing, Automatische Bewässerung, Regelsystem, Sensorik, Aktorik

1 Motivation

Pflanzen ernähren die Welt. Neben wichtigen Nahrungsmitteln liefern sie Futter für Nutztiere, Grundlagen für Arzneien, Baustoffe und viele andere wichtige Grundrohstoffe. Ihre Aufzucht und Pflege sind seit über 11.000 Jahren eine Grundlage menschlichen Wohlstandes. Daher versuchen Menschen seit dieser Zeit, die Wachstumsbedingungen und damit den Ertrag ihrer Pflanzen zu verbessern.¹

Als Pflanzenvitalität wird die Lebensfähigkeit einer Pflanze bezeichnet. Kriterien dafür sind beispielsweise die Lebensdauer, Lebenskraft (Widerstandskraft gegen Umweltbedingungen) und Gesundheit (Abwesenheit von Krankheiten) einer Pflanze.² Um die Pflanzenvitalität zu fördern und damit den Ertrag zu verbessern, sind Wasser- und Nährstoffversorgung, Licht sowie Temperatur wichtige Faktoren.³ Diese Faktoren beeinflusst der Mensch zum Beispiel durch Be- und Entwässerung, Düngung, Beleuchtung oder künstlicher Temperaturregulierung. Zur optimalen Pflanzenpflege entsteht so ein hoher Arbeits- und Ressourceneinsatz an z. T. kostbaren Ressourcen wie Wasser und Energie. Der Ressourceneinsatz (Bewässerung, Entwässerung, Düngung, etc.) erfolgt meist händisch durch Gärtner. Durch diese bereits beschriebenen, händischen Tätigkeiten entsteht so ein hoher Arbeitsaufwand. Die Ressourcen sollen einerseits nur begründet und notwendig, andererseits auch nicht verschwenderisch oder für die Pflanzen schädlich eingesetzt werden. Eine Überwachung der Vitalität und Umweltbedingungen der Pflanze ist notwendig, um die Vitalität durch den Einsatz der Ressourcen zu regeln und positiv zu beeinflussen.

Der richtige Ressourceneinsatz zur bestmöglichen Pflanzenpflege wird durch die Klimakrise erschwert und stellt eine große Herausforderung dar. Die Klimakrise sorgt für mehr Wetter-

¹ Zeder, 2011.

² Sauermost, Freudig et al., 1999.

³ Plantura, o. D.



extreme mit längerer Trockenheit und Hitze sowie für mehr Starkregenfälle.¹ In den trockenen und heißen Zeiten des Jahres wird Wasser kostbarer. Bei Starkregen kann ein trockener Boden das Wasser erschwert aufnehmen.² Durch diese Ereignisse verändert sich auch die Vegetation und Pflanzen passen sich den Wachstumsbedingungen an. Teils gehen so auch bestimmte Pflanzenarten in ihren vorherigen Lebensräumen zurück und werden durch andere ersetzt.³ Ein Kernproblem des Klimawandels sind dabei die Treibhausgase, welche seit der industriellen Revolution vermehrt ausgestoßen werden.⁴ Ein Großteil dieser Treibhausgasemissionen entsteht in Deutschland in der Energiewirtschaft.⁵ Daher ist es wichtig, weniger Energie zu verwenden und diese vermehrt aus erneuerbaren Energiequellen zu beziehen. In Anbetracht der Klimakrise müssen vermehrt die bereits beschriebenen kostbaren Ressourcen, wie Wasser und Energie, eingesetzt werden, um die Pflanzen aufzuziehen und die Wetterextreme auszugleichen.

2 Projektziel

Das Ziel des Projektes „Every Waterdrop Counts“ ist es, den Ressourceneinsatz bei der Aufzucht und Pflege von Pflanzen unter den genannten Herausforderungen durch die Klimakrise bei mindestens gleichbleibender oder besserer Qualität zu optimieren. Dies umfasst beispielsweise die Ertragssteigerung, die bloße Lebenserhaltung, die Maximierung des Wohlergehens der Pflanze, das Aufzeigen und die Steuerung der Ressourcenbedürfnisse für Pflanzenwachstumsphasen. Darüber hinaus umfasst dies aber auch die Reduktion des benötigten Arbeitsaufwandes für die Pflege und Betreuung des Systems gegenüber einem manuellen Ansatz. Der Projektfokus liegt auf einem automatischen Regelsystem zum Einsatz von Wasser. Der Grund für die Auswahl der Ressource Wasser liegt in der begrenzten Verfügbarkeit durch Dürreperioden oder auch steigende Extremwetterereignisse. Ein weiterer Grund ist der damit einhergehenden hohe Aufwand, der mit der manuellen Bewässerung verbunden ist, um den Boden bei Trockenheit oder Hitze feucht zu halten.

Darüber hinaus ist es auch aufgrund begrenzter Ressourcen wichtig, den Wasserverbrauch zu minimieren und zu optimieren.

3 Lösungsidee

Um den Einsatz kostbarer Ressourcen und Arbeitsaufwände zu verringern, müssen Umweltdaten der zu pflegenden Pflanzen erfasst und analysiert werden, um anschließend – ausgehend von diesen Informationen – benötigte Aktionen ausführen zu können. Dafür kann die Guerilla-Sensing-Plattform⁶ genutzt werden, welche an der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg entwickelt wurde. Auf der Plattform werden aktuell Möglichkeiten zur Überwachung verschiedener Umweltdaten, darunter Bodenfeuchtigkeit, Luftfeuchtigkeit oder Temperatur angeboten, die Plattform selbst ist aber erweiterbar. Die Daten können im Rahmen von Kampagnen gesammelt, aufbereitet und auf einer Webseite für die Öffentlichkeit visualisiert werden. Hierdurch können beispielsweise Grenzwertüberschreitungen sichtbar gemacht und Maßnahmen ergriffen werden. Die mit den Maßnahmen einhergehenden Veränderungen werden von der Sensorik erfasst und der Erfolg kann somit überprüft werden. Die beschriebene Guerilla-Sensing-Plattform bietet somit eine Grundlage zum Messen und Nutzen von

¹ IPCC, 2022.

² Kuhnert, 2009.

³ DieLinde, 12.7.2020.

⁴ Tertilt, 2023.

⁵ Umweltbundesamt, 06.06.2023.

⁶ www.guerilla-sensing.de



Umweltdaten und kann durch bereitgestellte Schnittstellen für unsere Zwecke erweitert werden.

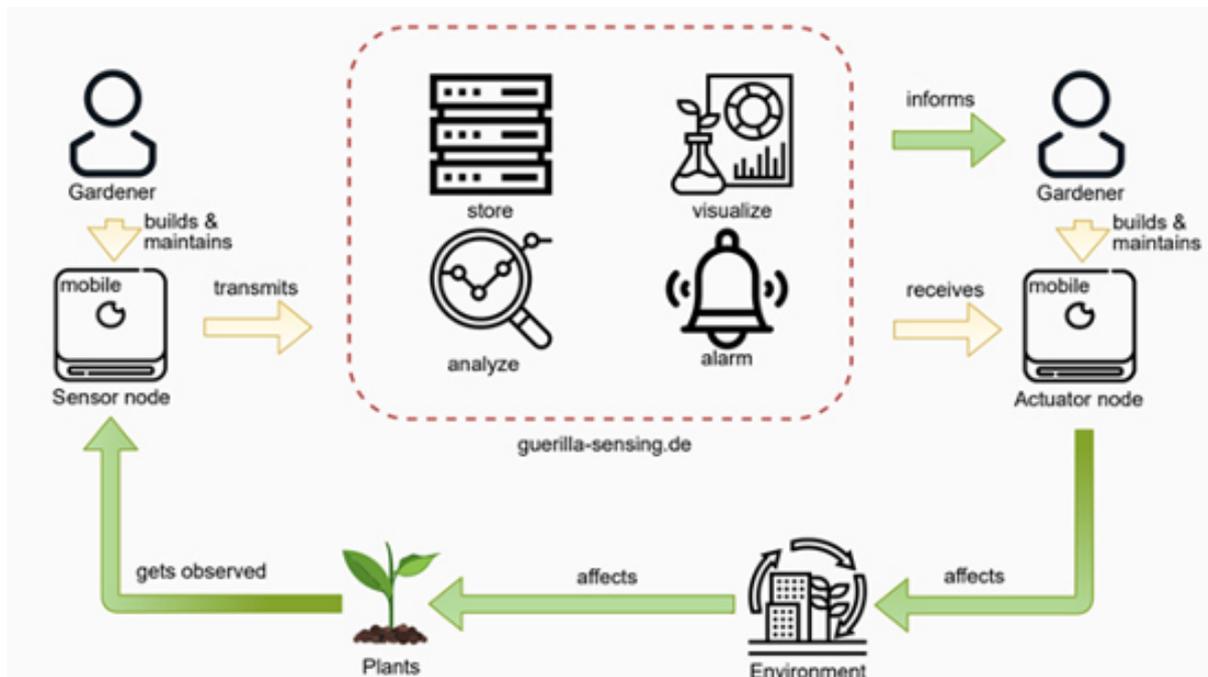


Abbildung 1: Regelkreis mit Guerilla Sensing

Um die durch die Klimakrise steigenden Herausforderungen bei der Pflanzenpflege zu lösen (wie z. B. zunehmender Wassermangel oder längere Dürreperioden), liegt es nahe, die Guerilla Sensing-Plattform um Aktorik und Sensorik zu erweitern. Die Aufzucht und Pflege von Pflanzen kann als Regelkreis angesehen werden: Zunächst wird der Zustand der Pflanze und ihrer Umgebung festgestellt.

Mit dieser Information kann entschieden werden, ob die Pflanze zusätzliche Ressourcen bedarf. Daraufhin wird beispielsweise die Bewässerung vorgenommen. Zu einem späteren Zeitpunkt erfolgt eine erneute Prüfung und der Kreislauf beginnt von vorne. Dieser Kreislauf soll mittels Automatisierung abgebildet werden. Die kontinuierliche Prüfung und Regulierung durch das System soll die Pflanzenpflege optimieren. Durch die Automatisierung des Regelkreises sollen der benötigte Arbeitsaufwand seitens des Gärtners reduziert werden.

In Abbildung 1 ist der erweiterte Regelkreis, welcher umgesetzt werden soll, dargestellt. Der Unterschied zum ursprünglichen System von Guerilla Sensing zeigt sich in dem direkteren Bezug auf die Pflanzenpflege und der Einführung der Aktorknoten. Mit diesen werden die händischen Aufwände des Gärtners in Teilbereichen ersetzt, um Arbeitsressourcen einzusparen und dauerhaft eine Pflanzenversorgung herzustellen. Sensorknoten messen an der Pflanze oder ihrer Umgebung die Pflanzenvitalität. In dem Konzept können sowohl Sensorknoten als auch Aktorknoten auf einer GBox (Guerilla Box) basieren, welche einen kleinen Mikro-



controller umfasst, an dem im aktuellen Konzept Sensorik angebracht wird und welcher mit dem Server von Guerilla Sensing kommuniziert.

Im neuen Konzept können mehrere GBoxen zusammen als ein Regelkreis fungieren, dabei können einzelne GBoxen sowohl Aktorik (Aktorknoten), als auch Sensorik (Sensorknoten) enthalten oder nur eins von beiden. Die einzelnen GBoxen sind darüber hinaus mobil angebunden und können ohne großen Aufwand umgesetzt werden. Auf Basis der Informationen eines Sensorknotens werden auf der Guerilla Sensing-Plattform Daten ausgewertet und Aktorknoten angesprochen. Guerilla Sensing ermittelt anschließend beispielsweise auf Grundlage eines Bodenfeuchtigkeitssensors, wann eine Bewässerung für die Pflanze notwendig ist. Daraufhin wird die Umwelt durch das System beeinflusst, indem ein Bewässerungsaktor, der einer Pflanze zugeordnet ist, angesprochen wird und dieser eine Bewässerung durchführt.

4 Experimente

4.1 Planung

Um die Qualität der implementierten Erweiterung in die Guerilla Sensing-Plattform und die Funktionsweise dieser bei den Pflanzen in Hinblick auf die Projektziele zu bewerten, wird eine Kampagne in Zusammenarbeit mit dem Botanischen Garten der Universität Oldenburg durchgeführt. Der Botanische Garten der Universität Oldenburg ist eine Einrichtung der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg und ein öffentlicher Lehr- und Schaugarten. Das vorhandene Personal verfügt über langjährige Erfahrungen, um die Pflanzen bedarfsgerecht zu versorgen.

Wie in Abschnitt 1 beschrieben, ist Wasser durch die Wetterveränderungen (längere Dürreperioden, starke Extremwetterereignisse) eine begrenzte Ressource, welche auch zunehmend in bestimmten Perioden durch öffentliche Stellen limitiert wird. Beispielsweise wurde während der Trockenperiode im Sommer 2022 im Kreis Heilbronn-Franken die Entnahme von Wasser zum Gießen aus Seen und Flüssen verboten. Damit sollte der bereits kritisch gewordenen Niedrigwasser-Situation entgegengewirkt werden.¹ Eine optimale Verwendung der Ressource ist deshalb von großem Interesse. Als Pflanze wird Grünkohl ausgewählt, da der Wachstumszeitraum in den Projektzeitraum fällt, im Botanischen Garten Erfahrung mit dieser Pflanze vorliegt und Grünkohl im Vergleich zu anderen Nutzpflanzen relativ unempfindlich ist. Dadurch kann der Fokus auf die Bewässerung gelegt werden. Die Kampagne wird auf einer nicht überdachten Fläche durchgeführt, sodass natürliche Wetterverhältnisse berücksichtigt werden müssen. Zweimal pro Woche muss der Grünkohl überprüft werden, ob dieser z. B. von Raupen befallen wurde, um so Fraßschäden und damit einhergehend verfälschte Ergebnisse zu verhindern. Der Botanische Garten wird in der Vorbereitung Jungpflanzen aus Samen heranziehen, die dann auf zwei Platten mit jeweils fünf bis zehn Töpfen ge-

¹ SWR, 21.7.2022.



pfllegt werden. Diese Anzahl an Pflanzen bietet die Möglichkeit, die automatisierte Pflege durch das System mit der Pflege durch einen Gärtner zu vergleichen.

4.2 Aufbau des Experiments

Der Aufbau des Experimentes im Botanischen Garten ist in Abbildung 2 dargestellt. Hier ist zu erkennen, dass die Versuchspflanzen in zwei Gruppen aufgeteilt sind, die Vergleichsgruppe und die automatisch bewässerte Gruppe. Innerhalb der Gruppen sind die zu untersuchenden Pflanzen in Untergruppen von je vier Pflanzen gegliedert, die von einer Peristaltikpumpe bewässert werden. Es lässt sich erkennen, dass jede Pflanze mit einem Microdrip ausgestattet ist. Diese sind in der Abbildung als Rohre, die in den Boden der Pflanzen führen, verdeutlicht. Diese Microdrips haben die Eigenschaft, Wasser – im Gegensatz zu einer normalen Bewässerung mit z.B. einer Gießkanne – direkt zu den Wurzeln der Pflanze zu leiten, ohne die Oberfläche des Bodens zu befeuchten. Da das Bewässern mithilfe einer solchen Tröpfchenbewässerung ebene Feuchtigkeit in der Oberfläche des Bodens vermeidet, sollen dadurch Verdunstungseffekte minimiert werden.

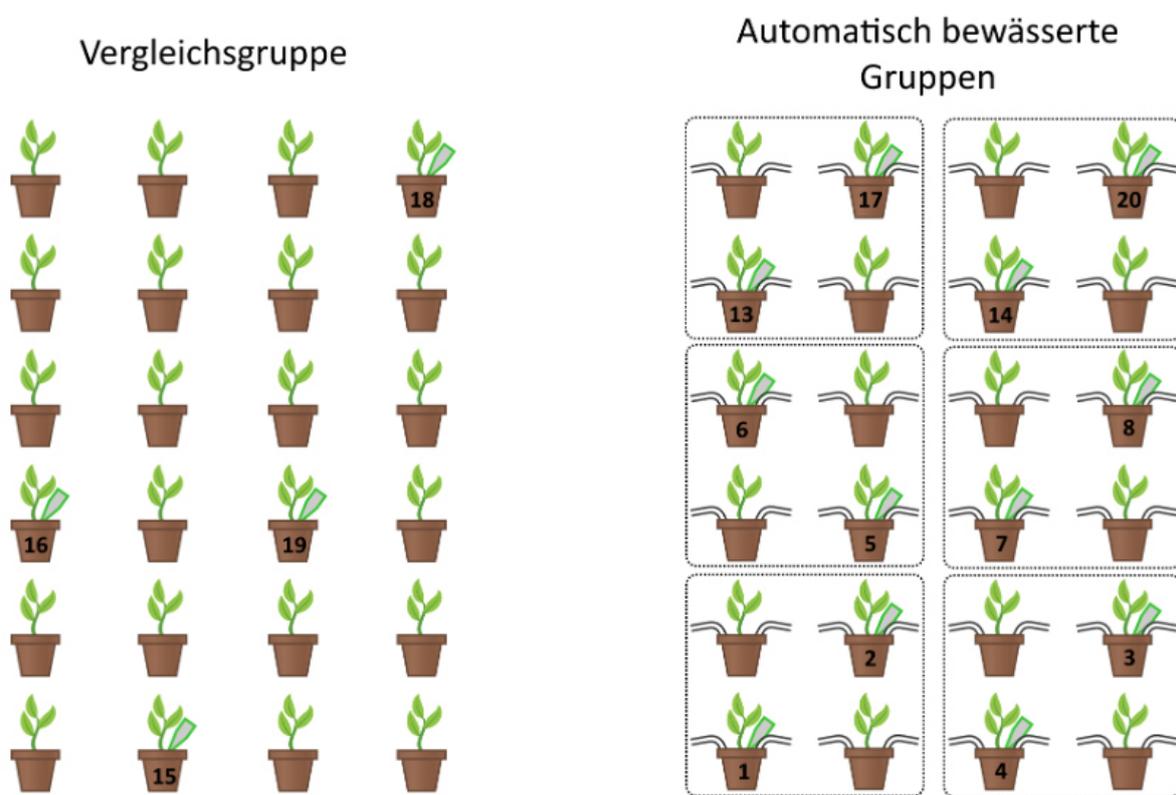


Abbildung 2: Aufbau des Experimentes im Botanischen Garten der Universität Oldenburg

Da nun eine Versorgung jedes einzelnen Microdrips von dem Wasserreservoir hergestellt werden muss, werden – wie in Abbildung 3 gezeigt – Wasserleitungen von der mit Wasser befüllten Regentonne zu den einzelnen Pflanzen verlegt. Wasser wird durch eine Peristaltik-



pumpe gefördert und dann mithilfe von sieben T-Stücken in acht Pfade aufgeteilt, die dann jeweils einen Microdrip mit Wasser versorgen.

Weiterhin lässt sich in Abbildung 3 bei der Pflanze links und der zweiten Pflanze von rechts ein grünes Objekt in der Oberfläche der Töpfe erkennen. Diese Objekte sind SMT50-Bodenfeuchtesensoren, die in den Boden eingebracht sind, um repräsentativ für die jeweilige Pflanzengruppe Werte über den Wassergehalt in den Böden zu liefern. Mithilfe dieser Sensorwerte wird von dem System evaluiert, ob eine Bewässerung der Pflanzengruppe zu einem bestimmten Zeitpunkt notwendig ist oder nicht.

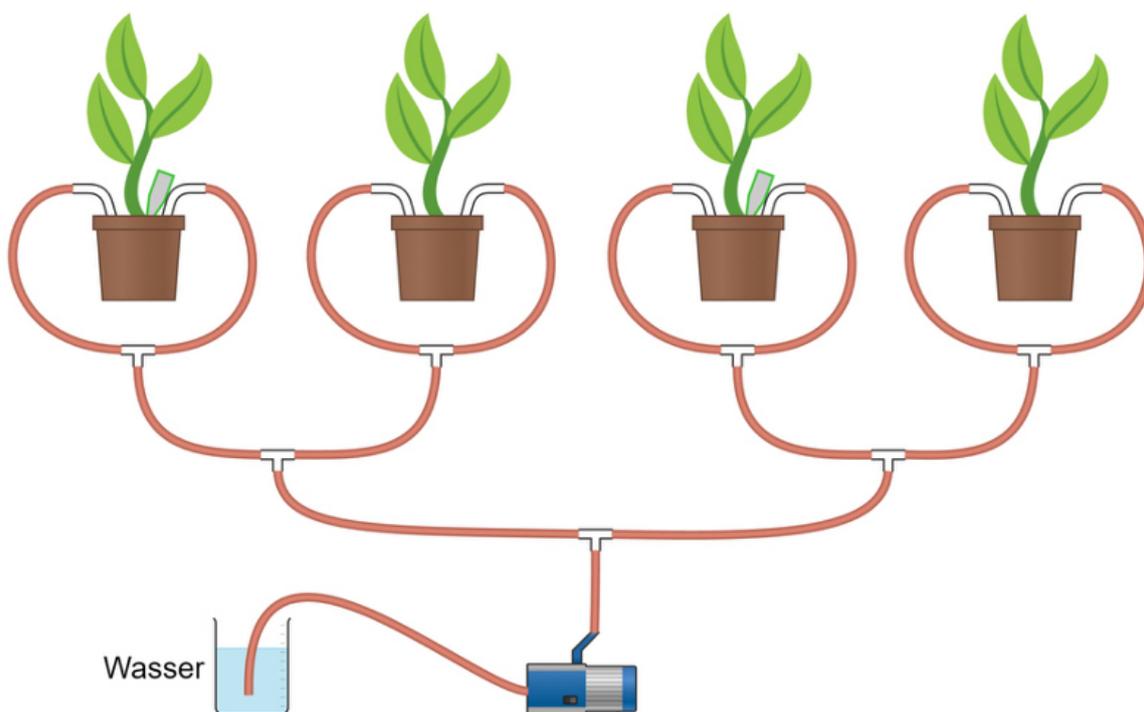


Abbildung 3: Beispielhafte Bewässerung einer Pflanzengruppe im Botanischen Garten der Universität Oldenburg

Da sowohl die Sensoren als auch die Pumpen aus elektrischen Komponenten bestehen und diese nicht mit Wasser in Berührung kommen dürfen, mussten sowohl wasserdichte Sensorboxen als auch wasserdichte Aktorboxen entworfen werden.





Abbildung 4: Selbstentworfene Pumpenbox mit sechs Peristaltikpumpen

In Abbildung 4 ist eine Pumpenbox zu sehen. In diesem Gehäuse kann eine Halterung für sechs Pumpen eingebracht werden. Weiterhin sind in dem Gehäuse sechs Auslässe angebracht, durch die die Kabel der Pumpen geführt werden können. Nach Befestigung der Pumpen an der Halterung mit kleinen Schrauben und anschließender Versiegelung der Kanten der Halterung mit den Wänden des Gehäuses, werden innerhalb des Gehäuses zwei Räume geschaffen. Der untere Bereich der Box wird so zu einem wasserdichten Bereich, in dem die Elektronik der Pumpen sicher verstaut ist, während oberhalb der Trennung Wasser austreten kann, ohne dass es mit elektrischen Teilen in Berührung kommen kann. Der Mikrocontroller, der die Pumpen ansteuert, ist in einer zweiten Box verbaut. Bei eventuellen Schäden an den Pumpen ist so sichergestellt, dass auslaufendes Wasser nicht die elektrischen Komponenten des Systems zerstören kann.

4.3 Ergebnisse

Das Experiment im Botanischen Garten der Universität Oldenburg wurde in einer Drahhalle durchgeführt, die natürliche Einflüsse wie Wind und Regen zulässt. Die Reaktionen der Versuchspflanzen auf diese äußeren Umweltfaktoren spiegeln sich in den erhobenen Datensätzen wider. In Abbildung 5 werden die Ergebnisse während des Zeitraums vom 23. bis 25. September 2023 veranschaulicht. Die rote Kurve repräsentiert die Feuchtigkeitsverhältnisse in einem manuell bewässerten Grünkohltopf, während die blaue Kurve die Feuchtigkeitswerte eines Grünkohltopfes darstellt, der automatisch über das Versorgungssystem bewässert wurde.



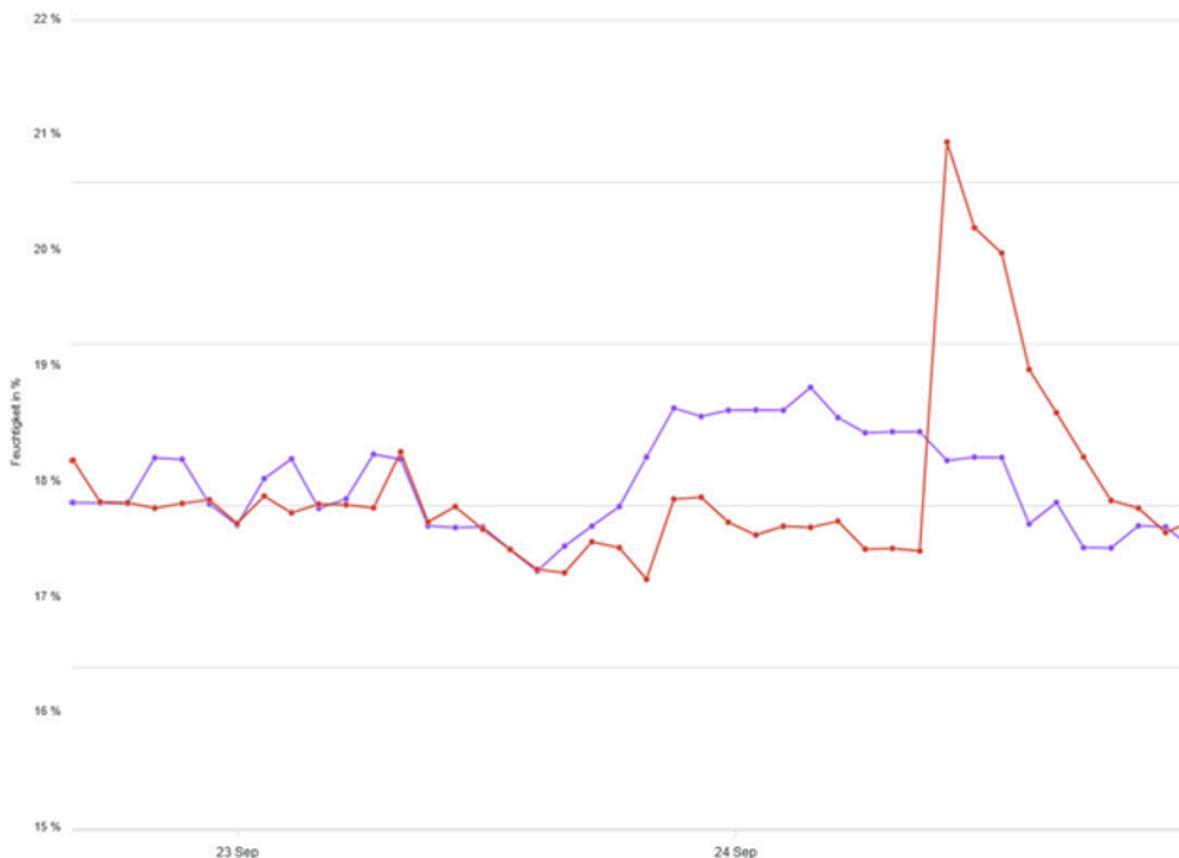


Abbildung 5: Ergebnisse des Experiments im Botanischen Garten der Universität Oldenburg

Die rote Linie in Abbildung 5 veranschaulicht eine manuelle Bewässerungsaktivität durch einen Gärtner am 24. September 2023. Hierbei ist eine rasche Steigerung der Bodenfeuchtigkeit zu erkennen, die daraufhin schnell wieder abnimmt. Im Gegensatz dazu verfolgt das automatisierte Bewässerungssystem das Ziel einer Bodenfeuchtigkeit von 18 %. Die konkreten Resultate einer einzelnen Bewässerungsaktivität einer anderen Grünkohlgruppe werden in Abbildung 6 dargelegt. Dieser Ausführungsverlauf wurde durch eine Neukalibrierung des Zielwerts ausgelöst, sodass einer für die Pflanze besserer Bodenfeuchtigkeitswert von 8 % angestrebt wird. Dies wurde durch eine Vor-Ort-Überprüfung mit einem Gärtner beschlossen.



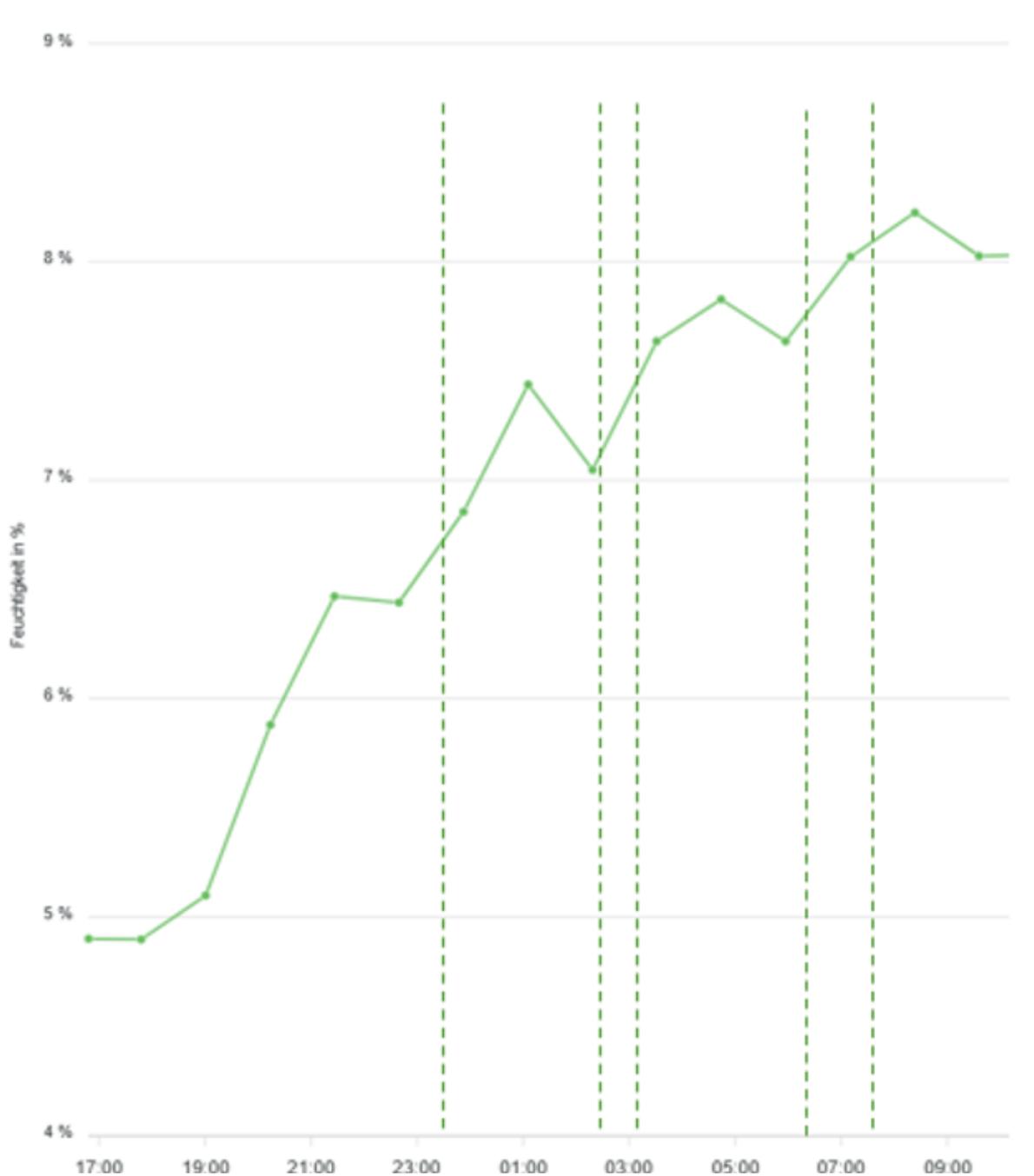


Abbildung 6: Ergebnisse einer Bewässerungsaktivität im Botanischen Garten der Universität Oldenburg

Abbildung 7 präsentiert die Zustände der Pflanzen in der Vergleichsgruppe vor dem Beginn und nach dem Abschluss des Experiments. Die Beurteilung des Zustands des Grünkohls erfolgte auf Grundlage zu erfassende Indikatoren, die die Vitalität der Pflanze widerspiegeln. Da der Grünkohl bereits am Ende seiner Wachstumsphase angelangt war, zeigte er keine signifikante Zunahme in seiner Größe. Sowohl die Farbgebung als auch die allgemeine Qualität



der Blätter der Vergleichsgruppe waren vor Beginn und nach Abschluss des Experiments nahezu unverändert. Die in Abbildung 8 dargestellten Zustände des automatisch bewässerten Grünkohls, sowohl vor Beginn als auch nach Abschluss des Experiments, zeugen von einer geringen Zuwachsrate im Vergleich zur Vergleichsgruppe. Die Farbgebung und Qualität der Grünkohlblätter zeigten im Vorher-Nachher-Vergleich mit der Vergleichsgruppe nur minimale Unterschiede.



Abbildung 8: Pflanzenzustände der automatisch bewässerten und gedüngten Pflanzen im Botanischen Garten der Universität Oldenburg



Insgesamt haben technische Herausforderungen bei der Implementierung der Systemerweiterungen und verzögerte Hardwarelieferungen dazu geführt, dass das realisierte, erweiterte Guerilla Sensing-System nicht eine komplette Wachstumsperiode betrieben werden konnte. Dadurch war der ursprünglich geplante Vergleich des Wasserverbrauchs nicht in Gänze möglich. Es konnte jedoch der generelle korrekte Einsatz und die Funktionalität des Systems gezeigt und getestet werden. Das System ist im aktuellen Zustand voll funktionsfähig und einsatzbereit für weitere Tests und Untersuchungen für kommende Wachstumsperioden. Abbildung 9 zeigt den Gewichtsvergleich des geernteten Grünkohls der einzelnen Vergleichsgruppen zwischen sandigem und normalem Boden. Die Abbildung zeigt, dass ein automatisches Bewässerungssystem auf eher sandigerem Boden besser wirkt als auf normalen Boden. Die Bewässerungsmenge auf normalem Boden müsste ein wenig erhöht werden, um gleiche Ergebnisse wie bei der Vergleichsgruppe zu erhalten. Für validere Gesamtergebnisse muss eine gesamte Wachstumsperiode überwacht und ausgewertet werden. Im Rahmen der Testphase wurde so bewiesen, dass das erweiterte Guerilla Sensing-System geeignet ist Pflanzen zu ver-

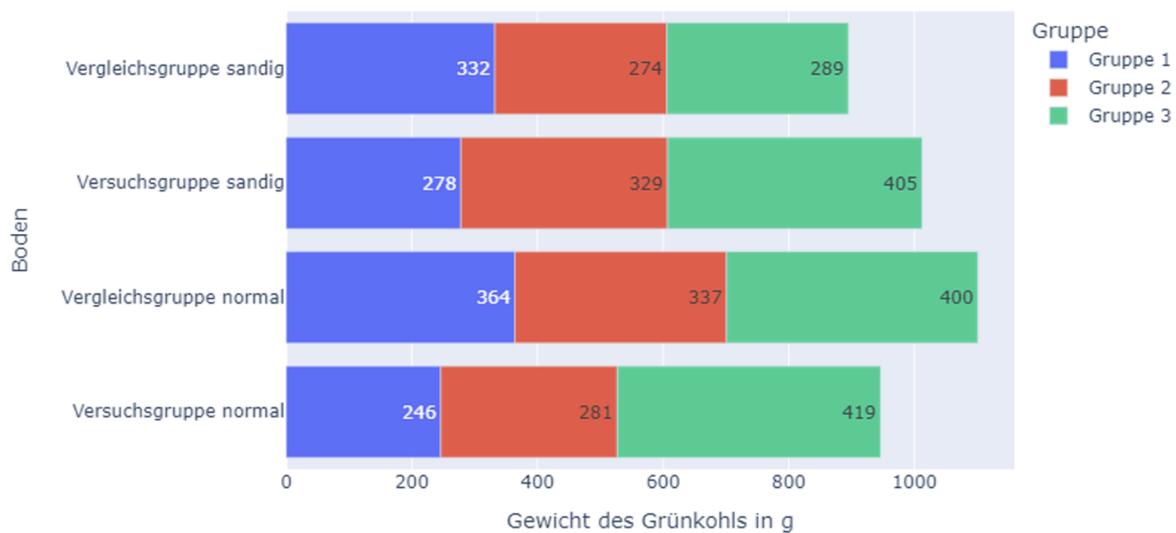


Abbildung 9: Ergebnisse zum Gewicht des Grünkohls in g



5 Literaturverzeichnis

DieLinde (12.7.2020). In den Tropen verändert der Klimawandel die Vegetation. Abgerufen am 27.12.2023: <https://dielinde.online/8427/in-den-tropen-veraendert-der-klimawandel-die-vegetation/>

IPCC, 2022: Summary for Policymakers [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lössche, V. Möller, A. Okem (eds.)]. In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lössche, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 3–33, doi:10.1017/9781009325844.001.

Kuhnert, M. (2009). Quantifizierung von Oberflächenabfluss und Erosion auf Böden mit hydrophoben Eigenschaften. Universität Potsdam

Plantura (o. D). Wichtige Wachstumsfaktoren für Pflanzen. Abgerufen am 27.12.2023: <https://www.plantura.garden/gruenes-leben/wissen/wachstumsfaktoren-fuer-pflanzen>

SWR (21.07.2022). Wegen Trockenheit: Kein Wasser aus Flüssen oder Seen zum Gießen. Abgerufen am 27.12.2023: <https://www.swr.de/swraktuell/baden-wuerttemberg/heilbronn/hohenlohekreis-schraenkt-entnahme-von-gewaessern-ein-100.html>

Tertilt, Mathias (26.10.2018). So eine große Wirkung hat so Wenig CO2. Abgerufen am 27.12.2023: <https://www.quarks.de/umwelt/klimawandel/so-eine-grosse-wirkung-hat-so-wenig-co2/>

Umweltbundesamt (06.06.2023). Energiebedingte Emissionen von Klimagasen und Luftschadstoffen. Abgerufen am 27.12.2023: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/energiebedingte-emissionen#entwicklung-der-energiebedingten-treibhausgas-emissionen>

Vitalität. R. Sauermost, D. Freudig (Hrsg.) (1999), Lexikon der Biologie. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag. Abgerufen am 27.12.2023: <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie/vitalitaet/69732>

Zeder, M.. The Origins of Agriculture in the Near East. *Current Anthropology* 52 (2011), Nr. S4, S221-S235. <http://dx.doi.org/10.1086/659307> – DOI 10.1086/659307

