



MASTERARBEIT | MASTER'S THESIS

Titel | Title

Vergleichende Untersuchung von Regenwasser und Leitungswasser auf das Pflanzenwachstum

verfasst von | submitted by

Regina Ballwein BEd

angestrebter akademischer Grad | in partial fulfilment of the requirements for the degree of

Master of Education (MEd)

Wien | Vienna, 2025

Studienkennzahl lt. Studienblatt |
Degree programme code as it appears on the
student record sheet:

UA 199 502 510 02

Studienrichtung lt. Studienblatt | Degree
programme as it appears on the student record
sheet:

Masterstudium Lehramt Sek (AB) Unterrichtsfach
Biologie und Umweltbildung Unterrichtsfach
Geographie und wirtschaftliche Bildung

Betreut von | Supervisor:

ao. Univ.-Prof. Mag. Dr. Ingeborg Lang Privatdoz.

1	Inhaltsverzeichnis	
2	Abstract	3
3	Zusammenfassung	4
4	Einleitung	5
4.1	<i>Problemstellung</i>	5
4.2	<i>Forschungsfrage</i>	6
5	Theoretische Grundlagen	7
5.1	<i>Vegetation und Lebenszyklus von Pflanzen</i>	7
5.2	<i>Bedeutung von Wasser für Pflanzen</i>	9
5.3	<i>Transport in Pflanzen</i>	11
5.4	<i>Makro- und Mikronährstoffe</i>	13
5.5	<i>Einfluss des pH-Gehalts auf Pflanzen</i>	14
5.6	<i>Zusammensetzung von Regenwasser und Leitungswasser</i>	15
5.7	<i>Bedeutung von Regenwasser in Bezug auf den Klimawandel</i>	17
6	Material und Methode	19
6.1	<i>Artprofil der Versuchspflanzen</i>	19
	<i>Cucurbita pepo L.</i>	19
	<i>Cucumis sativus L.</i>	20
	<i>Helianthus annuus L.</i>	20
6.2	<i>Analyse der Wasserbeschaffenheit</i>	21
6.3	<i>Versuchsanordnung und -design</i>	21
6.4	<i>Beschreibung der Messmethoden</i>	24
6.5	<i>Datenerhebung und -auswertung</i>	25
7	Ergebnisse	28
7.1	<i>Auswertungen der Makro- und Mikronährstoffe und pH-Werte in den Wasserquellen</i>	28
7.2	<i>Morphologische Unterschiede zwischen den Testgruppen</i>	31
	<i>Keimblätter</i>	38
8	Diskussion	48
8.1	<i>Einfluss der Wasserzusammensetzung auf das Pflanzenwachstum</i>	48
	<i>pH-Wert und Wasserhärte</i>	48
	<i>Makro- und Mikronährstoffverfügbarkeit</i>	49
	<i>Regionale Unterschiede und geologische Einflüsse</i>	50
	<i>Praktische und ökologische Bedeutung der Ergebnisse</i>	50
9	Ausblick	52
10	Literaturverzeichnis	53

11	Abbildungsverzeichnis	55
12	Tabellenverzeichnis	57

2 Abstract

Alongside light and oxygen, water is one of the most important resources that plants need to grow. It therefore makes sense to consider the most suitable water source for watering plants, both in agriculture and in domestic gardening. In private gardening, there is a belief that rainwater is better for plants. This research project addresses this idea and investigates the morphological differences in plant phenotypes that result from irrigation with different water sources. Three plant species, zucchini (*Cucurbita pepo*), cucumber (*Cucumis sativus*), and sunflower (*Helianthus annuus*), were used for the study and irrigated with four different water sources (tap water from Kirchberg, tap water from Pöggstall, rainwater, and rainwater collected from a gutter both collected in the area of Pöggstall). The water sources were selected to capture regional differences as well as those resulting from the type of collection. These water sources were tested for their nutrient composition, hardness, and pH value. Plant growth was determined based on the morphological characteristics of the shoot length and the cotyledon and leaf areas (in cm²). Overall, tap water from Kirchberg proved to be the best irrigation source with good to very good values for plant growth, although rainwater collected from the roof surface also showed good results. Tap water from Pöggstall resulted in lower growth rates overall, although moderate to very good values were achieved when watering cucumbers. This shows that there were both, species-specific differences in terms of suitable water sources and a clear geographical difference. With regard to increasing water scarcity in the hotter seasons, it was found that the use of rainwater collected from roofs and gutters in private gardening is a resource-saving alternative that often leads to comparable or even better morphological results.

3 Zusammenfassung

Wasser ist neben Licht und Sauerstoff eine der wichtigsten Ressourcen, die Pflanzen zum Wachsen benötigen. Daher ist es sinnvoll, sowohl in der Landwirtschaft als auch im heimischen Gartenbau über die geeignetste Wasserquelle für die Bewässerung der Pflanzen nachzudenken. Im privaten Gartenanbau ist der Glaube, dass Regenwasser für Pflanzen besser geeignet sei. Diese Forschungsarbeit widmet sich jener Vorstellung und untersucht, welche morphologischen Unterschiede in Bezug auf den Phänotyp bei Pflanzen durch die Bewässerung mit unterschiedlichen Wasserquellen entstehen. Für die Untersuchung wurden drei Pflanzenarten, Zucchini (*Cucurbita pepo*), Gurke (*Cucumis sativus*) und Sonnenblume (*Helianthus annuus*), herangezogen und mit vier unterschiedlichen Wasserquellen (Leitungswasser aus Kirchberg, Leitungswasser aus Pöggstall, Regenwasser sowie Regenwasser, das über eine Dachrinne gesammelt wurde) bewässert. Die Wasserquellen wurden ausgewählt, um regionale Unterschiede als auch solche zu erfassen, die durch die Art der Sammlung entstehen. Jene Wasserquellen wurden hinsichtlich ihrer Nährstoffzusammensetzung, ihres Härtegrades und ihres pH-Wertes getestet. Das Pflanzenwachstum wurde anhand der morphologischen Ausprägung der Sprossachse sowie der Keimblatt- und Blattflächen (in cm²) ermittelt. Insgesamt erwies sich das Leitungswasser aus Kirchberg mit guten bis sehr guten Pflanzenwachstumswerten als die beste Bewässerungsquelle, wobei das über die Dachfläche gesammelte Regenwasser ebenfalls gute Ergebnisse zeigte. Das Leitungswasser aus Pöggstall führte insgesamt zu geringeren Wachstumsraten, obwohl bei der Bewässerung der Gurken moderate bis sehr gute Werte erreicht wurden. Dadurch zeigt sich, dass sowohl artspezifische Unterschiede bezüglich geeigneter Wasserquellen nachzuweisen waren als auch einen klaren geografischen Unterschied. In Bezug auf die zunehmende Wasserknappheit in den heißeren Jahreszeiten konnte man feststellen, dass die Nutzung von über Dach und Dachrinne gesammeltem Regenwasser im privaten Gartenanbau eine ressourcenschonende Alternative darstellt, die häufig zu vergleichbaren oder sogar besseren morphologischen Ergebnissen führt.

4 Einleitung

Eine der wichtigsten Ressourcen für das optimale Pflanzenwachstum ist Wasser, das die Keimung, Entwicklung und den Ertrag maßgeblich beeinflussen kann. Neben Licht und Temperatur spielt auch die Nährstoffversorgung, die aus der Bodenlösung gewonnen wird, eine entscheidende Rolle. Da sich Wasserquellen in ihrer chemischen Zusammensetzung stark unterscheiden, stellt sich die Frage, welche Wasserquelle das Pflanzenwachstum am besten unterstützt. Empfehlungen geben meist an, dass für den Gartenanbau Regenwasser dem Leitungswasser vorzuziehen ist. Leitungswasser ist oftmals stark reguliert in der Zusammensetzung, Regenwasser hingegen hängt stärker von der Umgebung und den atmosphärischen Belastungen ab. Die vorliegende Arbeit untersucht daher die Auswirkungen unterschiedlicher Wasserquellen auf das Wachstum von drei Pflanzenarten (Zucchini, Sonnenblume und Gurke). In die Untersuchung einbezogen wurde ein Vergleich regionaler Unterschiede zwischen Leitungswasserquellen sowie ein direkter Vergleich von Regen- und Leitungswasser im Waldviertel (Gemeinde Pöggstall). Beim Regenwasser erfolgte zudem eine Differenzierung zwischen frei gesammelt und über eine Dachfläche mit Dachrinne aufgefangen. Ziel der Untersuchung ist es, mögliche morphologische Unterschiede aufgrund der verwendeten Wasserquellen aufzuzeigen. Hierfür wurden bei den Pflanzensprosslingen die Sprosslänge, sowie die Blatt- und Keimblattgröße gemessen. Im Vordergrund steht die Frage, ob Regenwasser im privaten Gartenanbau besser geeignet ist und welchen Einfluss der Standort bei der Bewässerung hat.

4.1 Problemstellung

In der Gartenpflege im privaten Garten ist seit langem die Annahme verbreitet, dass sich Regenwasser besser zum Gießen der Pflanzen in Beeten eignet als herkömmliches Leitungswasser. Diese Auffassung gründet primär auf einer tradierten Überzeugung ohne ausreichende wissenschaftliche Fundierung. Bisherige wissenschaftliche Untersuchungen bezogen sich auf Regenwasser und dessen unterschiedlichen Nährstoffgehalt oder auf den generellen Nährstoffbedarf von Pflanzen in Bezug auf die Nährlösung (Allen et al. 1968). Die Unterschiede zwischen Leitungswasser und Regenwasser wurden bisher nicht hinreichend untersucht, wodurch die Empfehlung zur Nutzung von Regenwasser nicht auf empirischen Daten basiert. Darüber hinaus gibt es große, teil geografische Unterschiede bei den Wasserparametern, wodurch ein Vergleich zusätzlich erschwert wird und die geografische Lage miteinbezogen werden muss in die Forschung. Im Zuge der Forschung soll Alltagswissen mit wissenschaftlicher Erkenntnis in Zusammenhang gebracht und überprüft werden, ob die Behauptung der Vorteile von Regenwasser im Gartenanbau auch empirisch begründet werden

kann. Die Auseinandersetzung mit dieser Thematik soll erste Einblicke sowie mögliche Hinweise für weitere Forschungsbereiche liefern. Das Ziel der Forschung ist die Erkenntnisgewinnung bezüglich der Einflüsse von unterschiedlichen Wasserproben auf das Pflanzenwachstum bei einigen ausgewählten Arten.

4.2 Forschungsfrage

Die Forschung widmet sich der Beobachtung von Pflanzen, welche mit unterschiedlichen Wasserquellen gegossen werden. Grundlegend für die Untersuchung sind folgende Forschungsfragen:

Welche Auswirkung hat die Bewässerung mit Regenwasser, sowohl von reinem Regenwasser als auch von über Dach und Dachrinne gesammelten Regenwasser, im Vergleich zu Leitungswasser aus verschiedenen Standorten auf die Sprosslänge und Blattgröße von Pflanzen?

Welche Einflüsse haben die geografische Lage der Leitungswasserquellen sowie die Art der Regenwassersammlung auf die Pflanzenentwicklung?

5 Theoretische Grundlagen

5.1 Vegetation und Lebenszyklus von Pflanzen

Viele Lebewesen, so auch die Pflanzen, sind äußerst komplex aufgebaut und benötigen ein umfassendes System, um zu wachsen. Das Wachstum ist dabei auf ein Zusammenspiel der äußeren Bedingungen und der Bedürfnisse der Pflanze angewiesen (Brennicke und Schopfer 2010). Im Gegensatz zu Tieren leben Pflanzen autotroph, das heißt, sie stellen mithilfe von Licht, CO₂ und Wasser ihre Nährstoffe selbst her. Dem gegenübergestellt haben Tiere diese Eigenschaft nicht. Sie müssen notwendige Nährstoffe wie zum Beispiel Kohlenhydrate durch ihre Nahrung aufnehmen. Die Ernährung der Pflanze verläuft auf einem anderen Weg. Kohlenhydrate werden in Form von Zucker durch Photosynthese in den grünen Pflanzenorganen hergestellt. Dennoch benötigt die Pflanze gewisse Nährstoffe. Pflanzen nehmen jene Mineralsalze aus der Umwelt auf und verarbeiten sie in Stoffwechselprozessen in den unterschiedlichen Organen und Organellen (Heldt und Piechulla 2015).

Ohne Nährstoffe, Wasser und Licht ist das Wachstum der Landpflanze nicht möglich, weshalb diese Stoffe essenziell für Pflanzen sind. Sind diese Grundgegebenheiten gegeben, wächst aus einem Samen ein Keimling, welcher sich weiterhin in die elementaren Organe Wurzel, Spross und Blatt differenziert (Campbell u. a. 2019). Die Pflanze besteht wie auch andere Lebewesen aus vielen unterschiedlichen Zellen mit spezifischen Aufgaben und Funktionen, welche man zusammenfassend als Organe und Organellen bezeichnet (Kadereit u. a. 2014). Die Zellen und Zellorganellen haben unterschiedliche Aufgaben im Stoffwechselprozess der Pflanze. So sind die Chloroplasten für die Photosynthese von Bedeutung, die Mitochondrien werden zur Energiegewinnung durch die Zellatmung benötigt und die Zellwand sorgt für Stabilität (Sadava u. a. 2019; Kadereit u. a. 2014). Die feste Zellwand, die Vakuole und die Chloroplasten sind auch jene Zellorganellen, durch die sich Pflanzenzellen von den tierischen Zellen unterscheiden. Tierische Zellen besitzen diese Organellen nicht (Sadava u. a. 2019). Diese Zelldifferenzierung ist im genetischen Material der Pflanze bereits festgelegt und bildet sich unter den richtigen Umweltbedingungen aus. Bei vielen Pflanzen ist in der Regel in der Sprossspitze vorgegeben, welche Zellen sich zu einem Trieb, einem Blatt oder zu Seitenknospen weiterentwickeln (Campbell u. a. 2019).

Pflanzen wachsen durch zwei Mechanismen, das primäre und das sekundäre Wachstum. Das primäre Wachstums findet hierbei in der Apikalknospe, der Sprossspitze, im Meristem statt und ist vor allem bei krautigen Pflanzen von Bedeutung, da dieser Prozess für das Längenwachstum zuständig ist (Campbell u. a. 2019). Ergänzend dazu sorgt das sekundäre Wachstum hingegen für das Dickenwachstum, also die Vergrößerung des Durchmessers von Pflanzen (Kadereit u. a.

2014; Campbell u. a. 2019). Das Längenwachstum bei Pflanzen entwickelt sich entgegen der weit verbreiteten Annahme nicht durch Zellvermehrung, sondern vor allem durch die Fähigkeit der Zellen zum Streckenwachstum. Die Zellteilung steigert zwar das Wachstumspotential der Pflanze und ist essenziell, um das Wachstum zu ermöglichen, die eigentliche Größe der Zelle entsteht jedoch letztlich durch deren Streckung (Campbell u. a. 2019; Kadereit u. a. 2014). Die Wurzel, der Spross und die Blätter entstehen durch das primäre Wachstum und haben unterschiedliche Aufgaben. Die Wurzeln der Pflanzen sind dafür da, um diese ausreichend im Boden zu verankern und zu stabilisieren, aber auch, um essenzielle Nährstoffe und Wasser aus dem Boden aufzunehmen. Der Spross wiederum hat die Aufgabe, so weit in die Höhe zu wachsen, dass die Photosyntheseleistung der Blätter auf die bestmögliche Weise gewährleistet wird. Die Sprossachse besteht aus Nodien (= Knoten) und Internodien. Letzteres ist der Abstand zwischen den Knoten, an denen die Blätter ansetzen, und dient als Stütze sowie als zentraler Ort für Leitgewebe. Die Blätter hingegen setzen sich aus Blattspreite (Lamina) und Blattstiel (Petiolus) zusammen. Sie sind meist hauptverantwortlich für den Gasaustausch durch die Stomata und die Photosynthese der Pflanze. (Campbell u. a. 2019) Diese Organe sind für den Menschen, bis auf die Wurzeln, mit bloßem Auge ersichtlich und deutlich zu erkennen. Eine Pflanze besteht jedoch wie auch der Mensch aus einem komplexen System, welches nicht unbedingt äußerlich sichtbar ist. Hierfür ist es unerlässlich, zu verstehen, aus welchen grundlegenden Geweben sich eine Pflanze zusammensetzt. Pflanzen besitzen drei unterschiedliche Gewebearten, das Abschluss-, das Leit- und das Grundgewebe, welche wie auch die Organe unterschiedliche Funktionen haben. Das Abschlussgewebe grenzt die Pflanze von der Umwelt ab, bietet Schutz, reduziert und steuert den Wasserverlust an der Blattoberfläche und reguliert den Stoffaustausch mit der Außenwelt über die Stomata. Das Leitgewebe hingegen befindet sich im Inneren der Pflanze und setzt sich aus Xylem und Phloem zusammen. Das Xylem übernimmt die Funktion des Wassertransports und befördert über lange Strecken das aufgenommene Wasser und die Nährstoffe aus den Wurzeln bis nach oben zu den Blättern. Das Phloem hingegen ist vorrangig für den Zuckertransport, gewonnen durch die Photosynthese, zuständig. Das Grundgewebe übernimmt hierbei verschiedene Aufgaben, die je nach Pflanzenorgan variieren können, darunter die Speicherung von Stoffen, die Photosynthese sowie auch den Kurzstreckentransport. (Campbell u. a. 2019)

Nicht nur in der Ernährung unterscheiden sich Pflanzen von Tieren, sondern auch in der Ausprägung ihres Phänotyps. Während das Wachstum der Tiere weitgehend genetisch vorprogrammiert und nicht von Umwelteinflüssen abhängig ist, reagieren Pflanzen in der Ausprägung ihres Erscheinungsbildes auf die Umwelteinflüsse. Das Wachstum der Pflanze

richtet sich so aus, dass die Stoffwechselleistung unter den gegebenen Umweltbedingungen optimiert wird. (Campbell u. a. 2019) Demnach passt sich eine krautige Pflanze zum Beispiel an schattige Standorte an, indem sie sich in Richtung des Lichtes dreht oder in die Höhe wächst, um die Photosyntheseleistung bestmöglich sicherzustellen. Ähnlich wie auf Lichtmangel reagieren Pflanzen auch auf Nährstoffungleichgewicht. Zinkmangel äußert sich beispielsweise häufig mit einem geringeren Wachstum der Pflanzenorganismen (Kadereit u. a. 2014; Campbell u. a. 2019). Diese Reaktion auf die äußere Umwelt nennt man bei Pflanzen Plastizität, welche zu unterschiedlichen Ausprägungen führt.

Die Feststellung des Pflanzenwachstums erfolgt anhand unterschiedlicher Parameter. Für die Analyse eignen sich besonders quantitative Merkmale, darunter die Zunahme der Sprosslänge, der Durchmesser des Sprosses, das Volumen der Trockenmasse, die Zellzahl sowie die Gesamtprotein- und die DNA-Menge (Brennicke und Schopfer 2010). Viele dieser quantitativen Merkmale können ohne aufwendige Messinstrumente erfasst werden, sodass die Beobachtung des Pflanzenwachstums auch ohne spezifische Fachkenntnisse und ohne spezielle Messgeräte durchgeführt werden kann.

Der Lebenszyklus der Pflanze ist ein komplexer Prozess, der sich dadurch von dem der Tiere unterscheidet, dass er nicht nur von genetischen Informationen, sondern vor allem auch von äußeren Umweltbedingungen abhängig ist. Diese Umweltbedingungen können in abiotische, wie beispielsweise Lichtverhältnisse und Wasserqualität, und biotische Faktoren, wie Schädlinge, unterteilt werden (Campbell u. a. 2019). Um die Vorgänge des Wachstums und die unterschiedlichen Ausprägungen von Pflanzen zu verstehen, ist es von Bedeutung, diese Vorgänge zu begreifen und nachvollziehen zu können. Ein fundamentales Verständnis der Bedeutung dieser Einflüsse ist nicht nur für die Forschung in der Botanik von Belang, sondern auch für die Maximierung des Ertrags im heimischen Gartenbau.

5.2 Bedeutung von Wasser für Pflanzen

Das Wachstum von Landpflanzen hängt von grundlegenden Voraussetzungen wie Mineralstoffe, Wasser und Licht ab. Für eine optimale Keimung und Genese benötigen Pflanzen Nährsalze, welche sie aus der Bodenlösung gewinnen, sowie Licht als Energiequelle (Campbell u. a. 2019). Ohne jene Gegebenheiten sind eine Keimung und späteres Wachstum nicht möglich. Dem Wasser kommt bei der Versorgung der Pflanze mit basalen Nährstoffen eine besonders wichtige Rolle zu. Bereits für die Keimung stellt die Verfügbarkeit von Wasser eine Voraussetzung dar, da erst dadurch die Samenruhe beendet werden kann. Der Samen nimmt Wasser auf und quillt so lange an, bis dieser die Samenschale sprengt und die Hauptwurzel sowie die Keimblätter herauswachsen (Kadereit u. a. 2014). Zu Beginn bezieht

der Keimling Nährstoffe aus dem Nährgewebe des Samens, anschließend nimmt er diese über die Haupt- und später die Nebenwurzeln aus der Bodenlösung auf (Kadereit u. a. 2014). Nachdem der Keimling an der Oberfläche austritt, setzen die weiteren Stoffwechselvorgänge (Photosynthese, Wasseraufnahme usw.) ein. Fortan benötigt die Pflanze Nährstoffe, Wasser und Licht aus der Umgebung. Ersteres ist besonders entscheidend, da auch Pflanzen wie andere Lebewesen zu einem hohen Anteil aus Wasser bestehen, welches durch die Wurzeln und Wurzelhaare im Boden aufgenommen wird (Brennicke und Schopfer 2010; Sadava u. a. 2019). Die Wasseraufnahme hängt von der Verfügbarkeit im Boden, sowie auch vom Wasserpotential in der Pflanze ab, und wird in direkten Zusammenhang mit dem Pflanzenwachstum gebracht (Brendel 2021). Wasser ist im Boden im günstigsten Fall vorhanden und eignet sich aufgrund der besonderen Eigenschaften wie seiner geringen Größe und seiner Dipoleigenschaft als optimales Lösungsmittel für Ionen (Brennicke und Schopfer 2010). Jene Ionen lösen sich im Boden und werden gemeinsam mit dem Wasser von den Wurzeln in die Pflanze aufgenommen und versorgen diese somit mit essenziellen Nährstoffen. Diese Aufgabe ist eine der wichtigsten Funktionen des Wassers für das Pflanzenwachstum. Darüber hinaus erfüllt Wasser die Aufgabe als Kühlfunktion auf der Blattfläche sowie die Aufrechterhaltung des Turgordrucks in den Pflanzenzellen (Sadava u. a. 2019). Die Kühlfunktion erfolgt durch die Transpiration auf der Blattoberfläche, dabei findet über die Stomata (Spaltöffnungen) auf der Blattspreite ein kontinuierlicher Wasserverlust statt. Infolgedessen wird die Wasserbilanz im Bereich der Blattspreite der Pflanze verringert, weshalb ein Ausgleich über ihre Wurzeln notwendig ist. Die Wasserbilanz beschreibt das Verhältnis der Wassermenge zwischen der Aufnahme in den Wurzeln und der Abgabe über die Stomata. Ist die Aufnahme geringer als die Abgabe, kommt es zu einer negativen Wasserbilanz, wodurch der Turgordruck in der Zelle sinkt (Kadereit u. a. 2014). Diese negative Wasserbilanz ist durch das Welken der Pflanze mit bloßem Auge erkennbar. Die Wurzeln müssen, um dem Welken gegenzusteuern, Wasser aufnehmen und über die Leitbahnen zu den Stomata befördern. Auf diese Weise werden die Stoffwechselvorgänge in einer Pflanze aufrechterhalten. Das Wasser wird hierbei im Xylem gemeinsam mit den aufgenommenen Nährstoffen nach oben transportiert. Um optimale Wachstumsbedingungen für die Pflanze zu gewährleisten, sollte die Wasserbilanz über den Tag ausgeglichen sein (Nover u. a. 2008). Die Steuerung der Wasserbilanz erfolgt über das Wasserpotential, welches als die Tendenz der Bewegungsrichtung von Wasser definiert werden kann (Nover u. a. 2008). Das Wasserpotential wird in Megapascal (MPa) angegeben und beschreibt die Tendenz, in welche Richtung sich das Wasser bewegt. Der optimale Turgordruck ist dann erreicht, wenn eine Zelle 0 MPa erreicht hat. Reines Wasser hat ein Wasserpotential von 0 MPa. Sobald im

Wasser Ionen gelöst sind, sinkt dieses. In der Wurzelzone ist das Wasserpotential immer negativ (ca. $-0,5$ bis $-1,5$ MPa), damit ein Sog entsteht und Wasser über die Wurzeln aufgenommen werden kann (Kadereit u. a. 2014). Wäre das Wasserpotential in den Wurzeln bei 0 MPa, könnte kein Wasser aufgenommen werden (Kadereit u. a. 2014). Das Wasser bewegt sich hierbei vom höheren Wasserpotential in Richtung des niedrigeren Wertes. Steigt die Transpiration auf den Blattspreiten aufgrund intensiver Hitze stark an, verliert die Pflanze sehr viel Wasser und das Wasserpotential wird negativ, weshalb mehr Wasser von der Wurzel aufgenommen werden muss. Die Wasserbilanz sollte bei optimaler Bewässerung und bestmöglichen Umweltbedingungen ausgeglichen sein, wobei dies in der natürlichen Umgebung nahezu nie erreicht wird. Am Tag dominiert die Wasserabgabe über die Stomata, da diese geöffnet sind, um den notwendigen Gasaustausch für die Photosynthese zu gewährleisten (Campbell u. a. 2019). In der Nacht hingegen überwiegt die Aufnahme von Wasser in den Wurzeln (Campbell u. a. 2019). Während der Nacht sind die Stomata geschlossen, da ohne Licht keine Photosynthese stattfindet und daher kein Gasaustausch notwendig ist. Demnach wird der Wasserverlust reduziert, es kommt jedoch trotzdem zu einer Wasseraufnahme in der Wurzel, um die Wiederherstellung der Wasserreserven zu ermöglichen. Dieser Prozess ist erforderlich, um die Pflanze auch an heißen Tagen mit genügend Wasser versorgen zu können. Das Wasserpotential und die Wasserbilanz sind für die Wasseraufnahme und die Gewährleistung von Stoffwechselprozessen, wie zum Beispiel der Photosynthese, entscheidend (Brennicke und Schopfer 2010).

5.3 Transport in Pflanzen

Wasser spielt in der Pflanze bei einer Vielzahl von physiologischen Aufgaben eine bedeutende Rolle. Damit diese jedoch vollständig erfüllt werden können, muss das aufgenommene Wasser von den Wurzeln bis in die höchsten äußeren Spitzen transportiert werden. Der Wassertransport bei Landpflanzen folgt einem standardisierten Weg, der immer vom Ort der Aufnahme, den Wurzeln, bis in die Blattspreite verläuft. Das Wasser durchläuft einen ständigen Kreislauf: Es wird aus dem Boden über die Wurzelrinde aufgenommen, in das Leitgewebe abgegeben und bis zu den Blättern transportiert, wo es durch Transpiration wieder an die Umwelt abgegeben wird (Kadereit u. a. 2014). Wesentlich für die Wasseraufnahme in den Wurzeln ist die Oberflächenvergrößerung Wurzelhaare, die dabei eine zentrale Rolle bezüglich der Effizienz übernehmen (Brennicke und Schopfer 2010). Im Wurzelbereich fließt das Wasser über zwei verschiedene Wege in die Leitbahnen der Pflanze: Auf der einen Seite befindet sich der unregulierte Apoplast und auf der anderen Seite der regulierte Symplast. Beim Apoplasten strömt Wasser ohne Regulierung innerhalb der Zellwände der Wurzelrinde in die Pflanze bis

zur Endodermis. Dort wird das Wasser in den Caspary-Streifen übergeleitet (Sadava u. a. 2019). Im Caspary-Streifen folgt dann der Übergang in den Symplasten, wodurch der ungesteuerte Strom in einen regulierten Strom umgewandelt wird. Der Caspary-Streifen fungiert als selektive Barriere innerhalb der Pflanze und spielt eine zentrale Rolle bei der Kontrolle des Wasser- und Nährstoffeintritts sowie gegen das ungehinderte Eindringen von Luft (Nover u. a. 2008). Aufgrund dieser wichtigen Funktion wird der Caspary-Streifen häufig auch als Endodermissschranke bezeichnet, da er als Barriere zwischen Wurzelrinde und Zentralzylinder dient (Sadava u. a. 2019). Durch den Symplasten gelangt das Wasser nun in die Leitbahnen der Pflanze und kann somit von der Wurzel bis in die höchsten Pflanzenteile transportiert werden. Bei großen Pflanzen, wie zum Beispiel Bäumen, ist der Transportweg besonders lang, weshalb spezifische Transportkanäle entwickelt wurden, um eine solche beachtliche Strecke erfolgreich zurücklegen zu können (van der Willigen 2014). Der Transportkanal für die Bodenlösung wird als Xylem bezeichnet und es bildet gemeinsam mit dem Phloem die Leitbündel der Pflanze (Lüttge 2017; van der Willigen 2014; Kadereit u. a. 2014). Xylem und Phloem haben unterschiedliche Funktionen, wobei ersteres vor allem für Wasser- und Mineralstofftransport zuständig ist (Campbell u. a. 2019). Das Phloem übernimmt den Transport von Zucker und Kohlenhydraten in der Pflanze (Brennicke und Schopfer 2010). Die Leitbahnen sind in Pflanzen entlang der Sprossachse nicht sichtbar, jedoch sind sie auf den Blättern durch die Blattnerven oder Blattadern gut erkennbar (Campbell u. a. 2019; Kadereit u. a. 2014). Der Wassertransport innerhalb der Pflanze endet mit der Transpiration auf der Blattspreite über die Stomata, hier wird das Wasser an die Atmosphäre abgegeben (Campbell u. a. 2019). Der Transportweg von Wasser und gelösten Mineralen ist in allen Pflanzen gleich und sorgt dafür, dass der Turgordruck sowie die Nährstoffversorgung in diesen aufrechterhalten bleibt. Eine Pflanze ist dann turgeszent, wenn das Wasserpotential der Zelle null beträgt (Kadereit u. a. 2014). In diesem Zustand erfolgt weder eine Aufnahme von Wasser noch ein Wasserverlust an die Umwelt. Dieser Zustand ist jedoch eher selten der Fall. Pflanzen tendieren zu einem negativen Wasserpotential, damit die stetige und kontinuierliche Wasseraufnahme aufrechterhalten bleibt (Brennicke und Schopfer 2010; Lüttge 2017). Das Wasserpotential reguliert den Wasserstrom über den gesamten Transportweg in der Pflanze. Ein negatives Wasserpotential sorgt dafür, dass mehr Wasser über die Wurzeln aufgenommen und durch die Leitbündel zum Spross und letztendlich zur Blattspreite transportiert wird. Das Wasserpotential setzt sich dabei aus dem Lösungspotential und dem Druckpotential zusammen (Sadava u. a. 2019). Das Lösungspotential hängt von den gelösten Mineralsalzen im Wasser ab: Je höher die Konzentration der Nährsalze, desto niedriger das Wasserpotential. Dieser Zustand hat die

unmittelbare Folge, dass mehr Wasser in die Pflanzenzelle strömt. Das Druckpotential hängt von den Pflanzenzellen und dem darin herrschenden Turgordruck, welcher durch den Druck des Wassers und der gelösten Stoffe in der Zelle als Zellsaftdruck definiert wird, ab (Lexikon der Biologie 2025d; Sadava u. a. 2019). Steigt das Druckpotential an, sinkt die Wasseraufnahme und das Wasserpotential steigt an.

Bei hohem Wasserpotential kommt es zu einem vollständigen Stopp bei der Aufnahme von Wasser. Je geringer das Wasserpotential ist, desto mehr Wasser wird aufgenommen (Kadereit u. a. 2014). Der Wassertransport und die Aufnahme der wässrigen Bodenlösung der Pflanze benötigen jedoch noch mehr spezifische Mechanismen, um zum gewünschten Verbrauchsort zu gelangen. Der Wassertransport wird also nicht nur durch Wasserpotential und die vorhandenen Leitbahnen geregelt. Neben dem Wasserpotential wirken zusätzlich physikalische Kräfte wie Kohäsion und Adhäsion, die den Wassertransport bis zur Transpiration ermöglichen (Brennicke und Schopfer 2010). Die Transpiration des Wassers über die Stomata sorgt für einen Unterdruck in der Pflanze, wodurch Wasser nach oben strömt. Dieser Strom wird durch die Kräfte Kohäsion und Adhäsion ermöglicht, welche die Pflanze den besonderen chemisch-physikalischen Eigenschaften des Wassers verdankt. Die Kohäsion ist die Zerreißfestigkeit des Wassers. Dieses bildet Wasserstoffbrücken und wird dadurch, ohne in den Leitbündeln abubrechen, durch den Transpirationssog nach oben gezogen (Brennicke und Schopfer 2010; Sadava u. a. 2019). Die Adhäsion sorgt dafür, dass die Wasserteilchen an den Zellwänden des Xylems haften bleiben, wodurch die Wassersäule bestehen bleibt und nach oben strömen kann (Brennicke und Schopfer 2010).

Der Wassertransport in Pflanzen verläuft über ein hochkomplexes System von Wurzel, Sprossachse und Blättern sowie den darin enthaltenen Leitbündeln. Hierbei wirken verschiedene physikalische Kräfte direkt auf die Pflanze ein, die diesen Prozess überhaupt erst ermöglichen. Diese präzise aufeinander abgestimmten Prozesse verdeutlichen, welche faszinierenden Lebewesen Pflanzen tatsächlich sind. Die auf den ersten Blick einfache Struktur und Lebensweise einer Pflanze erweist sich als hochkomplexes biologisches System, das bei vermeintlich einfachen Vorgängen wie dem Wassertransport sichtbar wird.

5.4 Makro- und Mikronährstoffe

Pflanzen sind autotrophe Organismen, sie stellen also ihre lebensnotwendigen Nährstoffe selbst her, wobei sie für jene Herstellung bestimmte Ionen und Nährstoffe aus ihrer unmittelbaren Umwelt aufnehmen müssen (Sadava u. a. 2019; Schubert 2024). Diese kontinuierliche Aufnahme von Nährstoffen gilt neben der Produktion von Kohlenhydrate aus der Photosynthese als die Ernährung der Pflanzen und ist essenziell für ihr Überleben. Damit die

autotrophe Lebensweise aufrechtgehalten werden kann, benötigt die Pflanze nicht nur Luft, Wasser und Licht, sondern zusätzlich auch eine Vielzahl an Makro- und Mikronährstoffen. Insgesamt benötigt eine Pflanze die folgenden Makroelemente Kohlenstoff (C), Wasserstoff (H), Sauerstoff (O), Stickstoff (N), Schwefel (S), Phosphor (P), Magnesium (Mg), Kalium (K) und Calcium (Ca) (Sadava u. a. 2019; Kadereit u. a. 2014). Diese Mineralstoffe werden als Makronährstoffe bezeichnet, da sie von den Pflanzen in vergleichsweise größeren Mengen benötigt werden. Zusätzlich sind aber noch weitere Stoffe in geringeren Mengen notwendig, diese werden Mikronährstoffe genannt. Die Mikronährstoffe umfassen insgesamt die folgenden Nährsalze: Bor (B), Zink (Zn), Kupfer (Cu), Nickel (Ni), Mangan (Mn), Eisen (Fe), Molybdän (Mo) und Chlor (Cl) (Sadava u. a. 2019; Kadereit u. a. 2014; Schubert 2024; Brennicke und Schopfer 2010). Diese werden großteils über den Boden, über die Bodenlösung, also die Bindung von Wasser mit Ionen, aufgenommen (Sadava u. a. 2019; Nover u. a. 2008). Lediglich die Stoffe Kohlenstoff und Sauerstoff werden direkt aus der Atmosphäre aufgenommen, ersteres durch die Stomata und Sauerstoff über die gesamte Fläche der Blätter (Nover u. a. 2008). Die übrigen Makro- und Mikronährstoffe werden mithilfe des Bodenwassers gelöst und über die Wurzeln und deren feine Wurzelhaare aufgenommen. Die Einteilung in Makro- und Mikronährstoffe wurde mit hydroponischen Kulturen, einer Untersuchung von Pflanzen in Nährlösungen, von unterschiedlichen Forschern ermittelt (Brennicke und Schopfer 2010; Kadereit u. a. 2014; Campbell u. a. 2019). Mit diesem umfassenden Wissen konnte man anschließend auch die spezifische Bedeutung unterschiedlicher Nährsalze für das Wachstum und die optimale Entwicklung des Lebenszyklus feststellen. Dadurch konnte festgestellt werden, dass Calcium bei Eudikotylen, zu denen unter anderem Zucchini, Sonnenblume und Gurke gehören, notwendig für das bestmögliche Wachstum ist (Kadereit u. a. 2014). Auch andere Nährstoffe zeigen einen eindeutigen Einfluss auf die Genese, so führt etwa ein Mangel gewisser Nährstoffe zu Wachstumsstörungen bei Pflanzen. Die Kenntnis über die Makro- und Mikronährstoffe bildet somit eine zentrale Grundlage, um das Wachstum der Pflanzen und den Zusammenhang mit deren abiotischen und biotischen Umweltfaktoren zu verstehen.

5.5 Einfluss des pH-Gehalts auf Pflanzen

Hinsichtlich der Wasserqualität stellt der pH-Wert eine der am einfachsten zu untersuchenden Eigenschaften des Wassers dar, da er mithilfe von Teststreifen oder Messgeräten erfasst werden kann. Die Messverfahren geben den Säure- bzw. Basengehalt einer Flüssigkeit wieder. Dieser wird auf einer Skala im Bereich von 0 bis 14 angegeben. Ein pH-Wert von 7 gilt als neutral, Werte unterhalb werden als sauer und oberhalb als basisch definiert (Sadava u. a. 2019). Der pH-Wert ergibt sich aus der Messung der Konzentration der Wasserstoffkationen in einer

Flüssigkeit, die in mol/l angegeben wird. Für reines Wasser liegt dieser Wert bei 10^{-7} mol/l, was umgerechnet einem pH-Wert von 7 entspricht (Sadava u. a. 2019). Aus der Literatur geht hervor, dass reines, d. h. destilliertes Wasser einen pH-Wert von 7 aufweist, Brunnenwasser im Bereich zwischen 7 und 8,5 liegt, Meerwasser einen pH-Wert von etwa 8 besitzt und Oberflächenwasser, wie es beispielsweise aus Flüssen und Bächen stammt, einen pH-Wert von 6,5 hat (Sadava u. a. 2019; Panter 2007). Man kann also sagen, dass Wasser tendenziell neutral bis leicht sauer oder leicht alkalisch ist. Hinsichtlich der Bedeutung des pH-Wertes für das Pflanzenwachstum werden in der Forschungs- und Fachliteratur unterschiedliche Blickwinkel aufgezeigt. Einerseits wird der pH-Wert als wesentlicher Faktor für die Verfügbarkeit der Nährstoffe im Substrat verantwortlich gemacht und nimmt somit direkten Einfluss auf Wurzel und Pflanzenwachstum (Sadava u. a. 2019). Andererseits geben andere Quellen an, dass der pH-Wert keinen direkten Einfluss auf das Pflanzenwachstum hat und somit für die Wasserqualität von geringerer Bedeutung ist (Panter 2007). Diese Aussagen stehen somit nicht vollständig in Einklang. Denn auch Dallmann (2009) gibt an, dass vor allem der Nährstoffgehalt von besonderer Bedeutung ist, dabei lässt Dallmann dem pH-Wert jedoch eine direkte Rolle zukommen in Bezug auf die Verfügbarkeit. Der pH-Wert spielt demnach in Bezug auf Pflanzenwachstum eine eher untergeordnete, aber nicht ganz unwichtige Rolle.

5.6 Zusammensetzung von Regenwasser und Leitungswasser

Das verwendete Wasser spielt eine zentrale Rolle für die Genese der Pflanzen. Besonders im Gartenanbau ist die richtige Wahl der Wasserquelle entscheidend für ein erfolgreiches Pflanzenwachstum und eine reiche Ernte. Das verwendete Wasser kann über den Erfolg, wie etwa die Wuchshöhe, oder Misserfolg, durch beispielsweise Fehlbildungen und Verfärbungen, entscheiden (Panter 2007). Jede Wasserquelle weist verschiedene Merkmale wie den pH-Wert, die Leitfähigkeit oder die Wasserhärte auf (Lüttge 2017; Sakin und Yanardag 2024; BMLFUW 2017). Weltweit ist die Problematik von vorhandenen Wasserquellen und insbesondere deren Qualität ein aktuelles Thema, welches Kleinbauern oftmals dazu bringt, aufgrund der Wasserknappheit auf qualitätsgeringeres Wasser zurückzugreifen (Qadir u. a. 2007). Auch in Österreich ist die Problematik der Wasserknappheit in den Sommermonaten ein gegenwärtiges Thema. Deshalb sollte man sich gerade im Hobbybereich mit der optimalen Bewässerung nicht nur aus Nährwertgründen, sondern auch aus Umweltgründen beschäftigen (BML 2021). Hierfür eignet es sich, die Überlegung anzustellen, Regenwasser einzufangen und jenes für den Gartenanbau zu verwenden, wobei natürlich Überlegungen bezüglich der Qualität relevant sind. Bei unserem Leitungswasser handelt es sich hauptsächlich um gefiltertes und gereinigtes Grundwasser. Regenwasser hingegen ist stärker von der Atmosphäre abhängig und nimmt in

genau dieser Nähr- sowie Schadstoffe auf. Die Wasserqualität ist mittlerweile ein fester Bestandteil der aktuellen Forschung, sowohl im Hinblick auf Regenwasser als auch in Bezug auf Trink- und Grundwasserquellen (Allen u. a. 1968; BMLFUW 2017). Ein zentraler Faktor, welcher in Bezug auf das Gießwasser eine Rolle spielt, ist der Kalkgehalt. Österreich weist aufgrund seiner geografischen Lage und der geologischen Gegebenheiten massive Unterschiede in Bezug auf das Leitungs- und Grundwasser, von sehr weichem bis extrem hartem Wasser, auf (BMLFUW 2017). Insbesondere im Bereich der Alpen und Voralpen verursachen das Kalkgestein und die kalkhaltigen Gletscherablagerungen einen hohen Calciumgehalt im Wasser, wodurch dieses besonders hart ist (Sakin und Yanardag 2024; BMLFUW 2017). Umgangssprachlich spricht man in diesem Fall von „Kalk im Wasser“ oder „kalkhaltigem Wasser“, wenn eigentlich hartes Wasser gemeint ist. Wissenschaftlich betrachtet bedeutet dies, dass eine große Menge an Calciumcarbonat (CaCO_3) im Wasserkörper gelöst ist (Sakin und Yanardag 2024; BMLFUW 2017). Die Härte des Wasser hängt also primär vom Calcium- und Magnesiumionengehalt ab und wird als „Grad deutscher Härte (°dH)“ angegeben, wobei 1°dH 10mg Calciumoxid oder 7,15 mg Calciumionen auf einen Liter Wasser entspricht (BMLFUW 2017). Ein kalkhaltiges Ausgangsgestein reagiert mit Wasser basisch und bildet schwach basische Nährlösungen, wobei silikatreiche Gesteine zu einer sauren Wasserlösung führen (Lüttge 2017). Insgesamt bedecken kalziumhaltige Böden etwa 30 % der Erdoberfläche, wobei in Österreich kalkhaltige Grundgesteine – insbesondere Kalkstein, Dolomit, Mergel, Muschelkalk und andere kalkhaltige Sedimente – vor allem in den Alpen und Voralpen vorkommen und dadurch das Kalkvorkommen in Boden und Wasser erhöhen. Neben der Wasserhärte, welche lediglich die Menge der gelösten Calcium- und Magnesiumionen angibt, ist auch die Leitfähigkeit in Bezug auf die Pflanzenbewässerung von Bedeutung. Die Leitfähigkeit liefert eine detailliertere Aussage über im Wasser gelöste Salze (Panter 2007; Dallmann 2009). Die Anzahl der gelösten Stoffe im Wasser gibt jedoch nicht unbedingt einen Hinweis darauf, dass es sich um besonders gutes Wasser für die Bewässerung handelt, hierfür ist die genauere Betrachtung der gelösten Mineralsalze durch die Auswertung einzelner wichtiger Stoffe hilfreicher. Entgegen der Annahme, dass ein hoher Nährstoffgehalt gleich eine besseres Pflanzenwachstum begünstigen, können sich diese negativ auf die Entwicklung der Pflanzen auswirken. Ein Überschuss an gelösten Nährstoffen kann dazu führen, dass die Pflanzen diese nicht aufnehmen können und es dadurch zu reduziertem Wachstum, Fehlbildungen oder anderen Problemen wie abgebrannten Blättern kommen kann (Panter 2007; Takase u. a. 2010). Pflanzen benötigen eine komplexe Zusammensetzung aus Nährsalzen, wobei manche mehr von Bedeutung sind als andere. Einige dieser Nährstoffe sind auch im

Regenwasser enthalten, wie etwa Stickstoff, Phosphor, Kalium, Calcium und Natrium (Allen u. a. 1968). Ferner unterliegt Leitungswasser oft einem Grenzwert an zugelassenem Nitrat, welches jedoch einer der essentiellen Nährstoffe der Pflanze darstellt (Panter 2007). Aber auch Regenwasser kann nicht immer als ideal angesehen werden, da Wetterereignisse wie zum Beispiel Starkregen zu Nährstoffschwankungen führen können. Eine britische Studie hat massive Nährstoffgehaltswechsel in Regenwasser nach starken Regenfällen gemessen, welche einen erhöhten Anstieg von gewissen Nährsalzen (N, P, Ca, K, Na) nachgewiesen hat (Allen u. a. 1968). Bezieht man nun mit ein, dass zuvor bereits erwähnt wurde, dass eine hohe Leitfähigkeit nicht unbedingt optimal für die Pflanzengese ist, kann man Starkregenereignisse als eher schlecht für die Qualität des Bewässerungswassers einstufen. Neben Wetterereignissen führen auch noch standortspezifische Belastungen des Wassers zu einer unterschiedlichen Qualität. Dabei spielen der Einfluss von saurem Regen, Abwässer, Schadstoffe im Boden, welche über den Wasserkreislauf auch in das Regenwasser gelangen können, sowie natürlich vorkommende Stoffe im Wasser, welche nicht von Vorteil sind für das Pflanzenwachstum, eine Rolle (Panter 2007; Qadir u. a. 2007). Das Vorkommen von gelösten Salzen im Wasser ist aufgrund seiner Verträglichkeit mit Pflanzen enorm komplex, wobei man in Bezug auf Pflanzen nun auch noch die artspezifische Toleranz und Bedürfnisse einbeziehen muss. Man unterscheidet grundsätzlich nährsalztolerante und nährsalzsensible Arten, wobei die meisten Pflanzen einen eher alkalischen Boden, welcher als nährstoffreicher gilt, bevorzugen (Lüttge 2017). Dazu zählen Pflanzen wie der Spargel oder auch die Rübe, welche beide zu den nährstofftoleranten Arten gezählt werden (Panter 2007). Einige Pflanzen wiederum bevorzugen saure Böden, wie zum Beispiel manche Beerenarten und Apfelsorten (Panter 2007; Sakin und Yanardag 2024). Wenn man berücksichtigt, dass die chemische Zusammensetzung des Wassers Einfluss darauf hat, ob der Boden leicht sauer oder leicht alkalisch wird, wird deutlich, dass bei der Bewässerung und der Beschaffenheit des Bodensubstrats besondere Aufmerksamkeit auf die angebauten Pflanzenarten gelegt werden sollte.

5.7 Bedeutung von Regenwasser in Bezug auf den Klimawandel

Der Klimawandel ist ein nun seit mehreren Jahrzehnten aktuelles Thema, welches sich mit vielen alltäglichen und lebenswichtigen Bereichen überschneidet. Von Extremwetterereignissen bis zu Auswirkungen auf die Gesundheit der Menschen hat der Klimawandel bereits einen entscheidenden Einfluss auf unser Dasein auf der Erde. Deshalb muss die Menschheit sich in allen Bereichen damit beschäftigen, wie man möglichst effizient, aber auch schonend das alltägliche Leben bestreiten kann. Dazu gehört es, sich in allen Bereichen Gedanken über Möglichkeiten zu machen und sich vor allem auch schonende

Alternativen zu überlegen. Dies betrifft ebenso die Lebensmittelproduktion im privaten Garten. Durch die Aktivität des Menschen und die Zunahme der Bevölkerung auf der Erde hat sich bis heute bereits 50 % der Landfläche verändert und ist nicht mehr in ursprünglicher Form vorhanden (Sadava u. a. 2019). Dies hat vor allem mit der Verstädterung, Bebauung und Versiegelung der Landschaft zu tun. Der Trend zum urbanen Leben steigt stetig an. Menschen wohnen in Großstädten, welche hauptsächlich aus Beton, Asphalt und dunklen Flächen bestehen, welche sich wiederum in den Sommermonaten enorm aufheizen (Sadava u. a. 2019). Dieser Hitzeanstieg ist mittlerweile auf der ganzen Welt als Problematik bekannt und betrifft auch Österreich in den Sommermonaten enorm. Durch die zunehmende Hitze kommt es zu einer verstärkten Verdunstung, was bei gleichzeitig geringem Niederschlag zu einer schnelleren Erschöpfung der vorhandenen Wasserressourcen führt. Die Begriffe „Wasserknappheit“ und „Sparmaßnahmen“ fallen im Sommer bereits jährlich und führen in vielen städtischen, aber auch bereits in ländlichen Gebieten zu Verboten, wie etwa dem Verbot der Rasen- und Gartenbewässerung. Studien haben gezeigt, dass in Amerika zwischen 40 und 70 % des verbrauchten Wassers in städtischen Regionen zur Bepflanzung der Landschaft genutzt werden (Hartin u. a. 2018). In Österreich werden im Durchschnitt pro Einwohner*in pro Tag ca. 126 Liter Trinkwasser verbraucht, wovon wiederum 9 % für die Bewässerung von Pflanzen im Außenbereich verwendet werden (BML 2025; 2021). Dies entspricht einer Wassermenge von über 11 Litern pro Tag ausschließlich für die Bewässerung im Außenbereich. Berücksichtigt man zudem die zunehmende Wasserknappheit in den heißen Sommermonaten, erscheint diese Menge beinahe unvorstellbar. Aufgrund dessen ist anzudenken, gerade im Hobbygärtnerbereich auf Alternativen umzusteigen, wie etwa Regenwasser.

6 Material und Methode

6.1 Artprofil der Versuchspflanzen

Für die Forschungsarbeit wurden die Pflanzen Zucchini (*Cucurbita pepo* L.), Gurke (*Cucumis sativus* L.) und Sonnenblume (*Helianthus annuus* L.) verwendet. Bei allen drei Arten handelt es sich um eudikotyle Angiospermen mit typischen Merkmalen dieser Gruppe. Ferner finden die gewählten Pflanzenarten sowohl als Zier- als auch als Nutzpflanzen in unseren heimischen Gärten eine breite und vielseitige Verwendung. (Lexikon der Biologie 2025c)

Cucurbita pepo L.

Die Zucchini (*Cucurbita pepo* L.) gehört zu den Kürbisgewächsen (Cucurbitaceae), genauer zur Gattung *Cucurbita*. Die Pflanze bevorzugt tropische, subtropische bis warm-gemäßigte Klimazonen und ist weltweit verbreitet. Andere Vertreter dieser Familie sind Melonen oder auch Kürbisse. (Stephens 2003)

Morphologisch betrachtet handelt es sich um eine einjährige krautige Pflanze mit kriechenden oder kletternden Trieben. Die Stiele sind meist leicht behaart und fünfkantig mit einer Länge von bis zu 15 Metern. Die Früchte sind morphologisch betrachtet wie auch jene der Gurke den Beeren unterzuordnen und sind höchst variabel in Form, Farbe und Größe. Die Größe kann bis zu fünfmal länger als breit ausfallen, die Schale zeigt von glatt, runzelig bis gefurchte Oberflächen. Farblich sind die Schalen der Früchte in einem weiten Spektrum von weiß, gelb und orange bis zu dunkelgrün vertreten. Ebenfalls farblich vielfältig ist auch das Fruchtfleisch. (Stephens 2003)

Die Zucchini bevorzugt wärmere Gebiete, ist jedoch im Vergleich zur Melone auch für kühlere Regionen durchaus zugänglich. Bezüglich Boden- und Wasserbeschaffenheit bevorzugt die Pflanzenart eine leicht saure bis neutrale Nährlösung mit einem pH-Wert von 6 bis 6,5 (University of Minnesota Extension 2020). Die optimale Temperatur für die Anzucht der Jungpflanzen aus Samen liegt im Bereich zwischen 18 und 24 °C. (Department of Agriculture, Forestry and Fisheries o. D.) Standortspezifisch bevorzugt die Zucchini warme, nährstoffreiche Böden, obwohl die Pflanze zugleich als trockenheitstolerant gilt und wenig bis keinen Schatten benötigt (Stephens 2003). Die Zucchini weist demnach ein gewisses Maß an Anpassungsfähigkeit auf, was sie sowohl für den Anbau in gemäßigten Zonen als auch in tropischen Zonen vielseitig einsetzbar macht und somit die breite Beliebtheit im privaten Gartenanbau erklärt.

***Cucumis sativus* L.**

Die Gurke (*Cucumis sativus* L.) gehört, wie auch die Zucchini, zur Gattung *Cucumis* innerhalb der Familie der Kürbisgewächse (*Cucurbitaceae*) (Homm 2021). Die Familie der Kürbisgewächse umfasst insgesamt etwa 120 Gattungen und um die 700 verschiedene Arten (Lexikon der Biologie 2025b). Zu dieser Pflanzenfamilie gehören niederliegende und mit Ranken kletternde Pflanzen wie die Gurke, Zucchini oder auch der Kürbis (Lexikon der Biologie 2025b). Die Gurke zählt zu den Sommerannuelle-Pflanzen und ist als typisches Gartengemüse beliebt (Homm 2021). Wenn die Gegebenheiten passen, wächst die Gurke überwiegend rankend oder kriechend und kann kletternde Wuchsformen ausbilden. Der Blütenstand der Gurkenpflanze ist radiärsymmetrisch, trichterförmig und gelb gefärbt (Homm 2021). Die großen gelben Blüten sind trotz der Dimension der Blätter besonders gut mit bloßem Auge sichtbar. Die Früchte der Gurke sind dunkelgrün und besitzen meist eine glatte Schale. In seltenen Fällen sind kleine Stacheln auf dieser erhalten, diese sind jedoch bereits meist weggezüchtet (Homm 2021). Botanisch zählen die Früchte der *Cucumis sativus* L. zu den Beerenfrüchten, genauer zu den Panzerbeeren.

In Bezug auf den Wuchserfolg der Pflanze sind Nährstoffe und Wasser- sowie Bodenbeschaffenheiten wie auch bei anderen Pflanzen von Bedeutung. Die Gurke bevorzugt dabei einen pH-Wert von 5,5 bis 6,5 und befindet sich damit in einer leicht sauren bis neutralen Bodenlösung für die optimale Nährstoffverfügbarkeit und maximales Pflanzenwachstum (Blanchard u. a. 2020). Zusätzlich zur optimalen Versorgung mit einem geeigneten pH-Wert ist ein nährstoffreicher Boden besonders geeignet (Homm 2021). Wirtschaftlich ist die Gurke nicht nur für den Hobbygärtnerbereich von besonderer Bedeutung, sondern stellt neben Gemüsearten wie Mais, Kartoffel und Tomate eine der essenziellsten Kulturen im Gemüseanbau dar.

***Helianthus annuus* L.**

Die Sonnenblume (*Helianthus annuus* L.) ist eine einjährige Pflanze, welche zur Familie der Korbblütler (*Asteraceae*) und innerhalb dieser zur Gattung *Helianthus* gehört (Helmut 1992). Die *Asteraceae* stellen eine der umfassendsten Pflanzenfamilien in der Botanik dar, mit etwa 25 000 Arten in 1100 Gattungen (Lexikon der Biologie 2025a). Zu der Familie der Korbblütler gehören auch andere im Gartenanbau gut bekannte Pflanzen. Beispiele hierfür sind Kopfsalat, Endivie, Chicorée, Schwarzwurzel, Artischocke und Topinambur (Lexikon der Biologie 2025a). Die Sonnenblume ist eine einjährige krautige Pflanze und fällt vor allem durch ihre besonders hohe Wuchsform und die beeindruckenden großen Blütenstände auf. Der

Blütenstand der Sonnenblume setzt sich wie bei anderen Korbblütlern aus einem Körbchen zusammen, wobei die einzelnen Blüten Zungen- oder Röhrenblüten sein können (Lexikon der Biologie 2025a; Helmut 1992). Als Quelle für Öl gewinnt die Sonnenblume auch in der Agrarwirtschaft an Bedeutung. Im häuslichen Garten wird sie hauptsächlich als Zierpflanze kultiviert, während verwandte Arten wie der Topinambur zunehmend als Nahrungspflanzen im heimischen Garten Verwendung finden (Helmut 1992; Lexikon der Biologie 2025a). Die Pflanze eignet sich nicht zuletzt aufgrund ihrer weiten Verbreitung. Sie wächst von den Tropen über Subtropen bis in sommerwarme Gebiete der gemäßigten Zone. Die optimalen Wachstumsbedingungen sind auf lehmig-sandigem Boden mit ausreichend Kalk gegeben und einem pH-Wert der Nährlösung von 5 oder höher (Sutradhar u. a. 2014). Aufgrund der Standortansprüche und der vielseitigen Nutzung, sowohl als Nutz- als auch als Zierpflanze, nimmt *Helianthus annuus* eine bedeutende Rolle ein.

6.2 Analyse der Wasserbeschaffenheit

Insgesamt kamen vier verschiedene Wasserquellen für die Untersuchung der Parameter zum Einsatz:

- reines Regenwasser aus Pöggstall
- Regenwasser aus Dach und Dachrinne aus Pöggstall
- Leitungswasser aus Pöggstall
- Leitungswasser aus Kirchberg

Das Regenwasser wurde für die Probennahme von reinem Regenwasser in sauberen Kübeln aufgefangen, die mit einem handelsüblichen Spannnetz für Regentonnen bespannt waren, um grobe Verschmutzungen wie Laub zu verhindern. Ebenfalls wurden die Kübel, welche unter der Regenrinne angebracht wurden, mit einem solchen Netz ausgestattet. Die Untersuchung der gesammelten Wasserquellen wurde in allen Parametern, ausgenommen den pH-Wert, durchgeführt vom Department für Funktionelle und evolutionäre Ökologie Division Limnologie der Universität Wien. Der pH-Wert wurde an der Mittelschule Yspertal mit einem schulüblichen pH-Meter gemessen. Die Division Limnologie hat zur Ermittlung der Wasserbeschaffenheit festzustellen, folgende Parameter vermessen: Natrium, Kalium, Calcium, Magnesium, Chlorid, Nitrat, Sulfat, Orthophosphat, Nitrit und Ammonium. Zusätzlich wurde bei allen Wasserquellen durch die Division der Limnologie der Grad der Deutschen Härte (°dH) ermittelt.

6.3 Versuchsanordnung und -design

Zur Untersuchung der Einflüsse von Wasserquellen auf Pflanzen wurde ein standardisiertes quantitatives Forschungsdesign gewählt. Das Versuchsdesign wurde innerhalb der

Klimakammern der Universität Wien durchgeführt, um äußere Störfaktoren auszuschließen und eine größtmöglich kontrollierte Wachstumsumgebung in Bezug auf Temperatur, Lichteinfluss und Luftfeuchtigkeit gewährleisten zu können. Die Parameter der Klimakammer waren auf eine konstante Tagestemperatur von 22 °C und eine Nachtabenkung auf 17 °C determiniert. Die Beleuchtung wurde mit einer Kombination aus weißem und rotem Licht (80 % Cool White, 18 % Deep Red, 8 % Far Red) durchgeführt. Die relative Luftfeuchtigkeit wurde auf einen Bereich zwischen 40 und 60 % reguliert.

Für die Versuchsvarianten wurde Wasser aus vier verschiedenen Quellen verwendet:

- Leitungswasser aus Kirchberg an der Pielach (Ortsteil Scherbachgasse)
- Leitungswasser aus Pöggstall (Ortsteil Zöbri)
- Regenwasser
- Regenwasser (welches über eine begrünte Dachfläche und eine Dachrinne gesammelt wurde)

Während der Versuchsdurchführung und Datenerfassung wurden die Wasserquellen als Wasser 1 (Leitung Kirchberg), Wasser 2 (Leitung Pöggstall), Wasser 3 (Regenwasser) und Wasser 4 (Dachrinne/Dach) gekennzeichnet. Die Wasserquellen wurden aufgrund der geografischen Lage und der daraus resultierenden Wassergegebenheit ausgewählt. In Kirchberg an der Pielach ist das Leitungswasser stark kalkhaltig, während es in Pöggstall eher weich ist. Diese Orte wurden in die Untersuchung einbezogen, um festzustellen, ob gebietsabhängige Vorteile von Leitungswasser gegeben sein könnten. Die Wasserquellen „Regenwasser“ und „Regenwasser aus der Dachrinne“ wurden ebenfalls separat analysiert, da durch das Abfließen über eine mit Flechten und Moosen bewachsene Dachfläche und die mit organischen Material gefüllte Dachrinne eine potenzielle Kontamination sowie Nährstoffanreicherung auftreten könnte. Das Wasser wurde jeweils zum gleichen Zeitpunkt gesammelt beziehungsweise abgefüllt und anschließend dunkel und kühl für die gesamte Bewässerung gelagert. Für die Aufbewahrung der Wasserquellen wurden PET- und Glasflaschen verwendet, welche vor der Füllung dreimal mit dem jeweiligen Wasser der Quelle gespült wurden. Pro Wasserquelle wurden jeweils drei Pflanzenarten angepflanzt:

- Gurke (Sorte „Ashley“).
- Zucchini (Sorte „Gold Rush“)
- Sonnenblume (Sorte „Pacino“)

Von den Pflanzen wurden pro Wasser insgesamt neun Anzuchttöpfe bepflanzt, mit jeweils drei Töpfen pro Pflanzenart (Abbildung 1). Die Positionen der Anzuchttöpfe wurden während der Durchgänge kontinuierlich beibehalten.



Abbildung 1 Versuchsdesign Bepflanzung und Bewässerung (Quelle: Ballwein)

Zu Beginn der Bepflanzung waren die jeweiligen Schalen mit Hauben für Anzuchtschalen bedeckt (Abbildung 2).



Abbildung 2 Anzuchthauben (Quelle: Ballwein)

Die Samen wurden in das Vermiculit-Substrat in einer Tiefe von etwa 1 bis 0,5 cm platziert und reichlich gegossen. Da Vermiculit eine sehr hohe Wasserhaltekapazität aufweist, ist die erste Bewässerung mit einer größeren Menge notwendig als die nachfolgenden. Die Bewässerung wurde nach Bedarf in gleichbleibender Menge gänzlich von den Gärtnern der Universität Wien über den ganzen Zeitraum der Forschung durchgeführt. Für den Vorgang wurden pro Wasserquelle jeweils eigene Bechergläser verwendet, welche ebenfalls beschriftet waren. Der weitere Versuchsablauf umfasste zwei Messungen, eine nach zwei Wochen und die nächste nach vier Wochen Wuchsdauer. Die Versuchsdurchgänge wurden im Frühjahr bis Frühsommer 2025 durchgeführt. Die Bepflanzung der ersten Versuchsreihe fand am 26.3.2025 statt, der zweite Durchlauf startete am 21.5.2025. Insgesamt wurden zwei vollständige Durchgänge durchgeführt. Bei den Messungen wurden folgende morphologische Parameter erfasst:

- Sprosslänge (in mm)
- Größe der Keimblätter (in cm²)
- Größe der Blätter (in cm²)

Für die Datenauswertung wurden pro Wasser- und Pflanzenart mindestens vier, optimal sechs Individuen einzeln vermessen. Die geringe Menge von vier Pflanzen pro Messung war nur dann gegeben, wenn zu wenig geeignetes Material zur Verfügung stand. In manchen Fällen wurden bei einer besonders großen Anzahl an Individuen alle Parameter bei mehr als sechs Pflanzen vermessen.

6.4 Beschreibung der Messmethoden

Die Messmethoden gliederten sich in einen zweiteiligen Prozess: (1) dokumentieren und scannen der realen Individuen und (2) anschließende Vermessung der Blattgrößen mit Hilfe von Bildbearbeitungsprogrammen und mathematischen Berechnungen.

Die Erfassung der Sprosslänge erfolgte mit Hilfe eines Lineals. Dabei wurde die Pflanze von der Wurzel mit Hilfe eines Skalpells getrennt und anschließend vermessen. Die Sprossachse wurde dabei möglichst gerade ausgerichtet. Die Messung und Dokumentierung der Sprossachse erfolgten in mm. Die Daten wurden unmittelbar während der Messung dokumentiert. Als zweiten Punkt der Messung wurden die Keimblätter und Blätter einzeln gescannt. Die Keimblätter und Blätter wurden hierfür an der Sprossachse abgetrennt und ohne Petiolus mittels Kleberoller auf reinweißem Papier fixiert. Diese Fixierung verhindert das Rutschen und Überdecken der einzelnen Blätter im Scanner. Der Kleberoller ist durchsichtig und wird vom Scanner nicht erfasst. Die Blätter wurden fortlaufend mit Nummern nummeriert (Abbildung 3). Für die Messung wurde anschließend immer die Größe aller Blätter gesamt für ein Individuum berechnet.

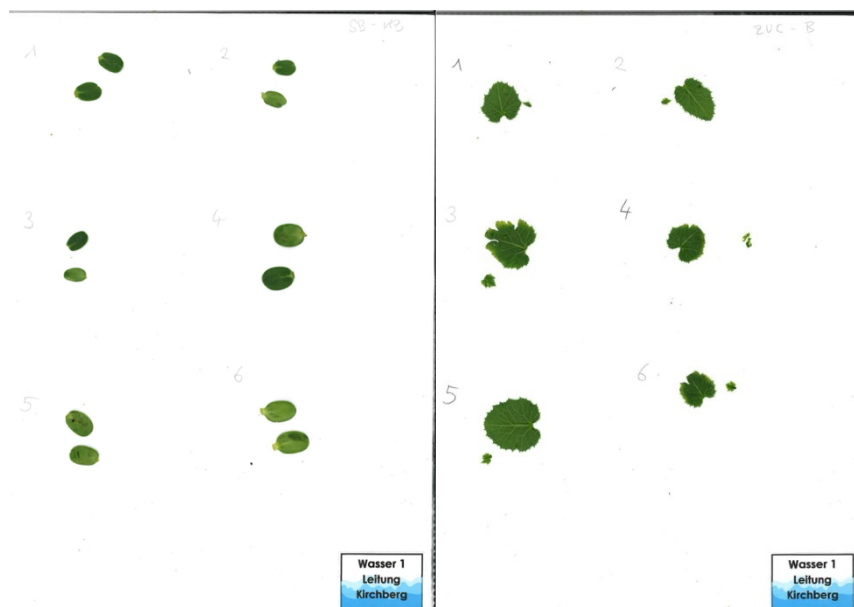


Abbildung 3 Scans Zucchini Keimblätter und Blätter nummeriert von 1 bis 6 mit Angabe der Wasserquelle im rechten unteren Bildrand (Quelle: Ballwein)

Die Scans wurden anschließend über das Open-Source-Programm Gimp weiterverarbeitet. Gimp ist ein pixelbasiertes Bildbearbeitungsprogramm, welches kostenlos über die Website des Programms heruntergeladen werden kann. In Gimp wurden die Scans als JPEG-Datei eingefügt, wobei darauf geachtet werden muss, dass beim Importiervorgang die Einstellungen der Auflösung auf 300 Pixel/Inch eingestellt sind. Anschließend sind im Programm bestimmte Einstellungen vorzunehmen, damit die Messung der Pixel durchgeführt werden kann. Zu Beginn wird die Sättigung des Bildes über den Reiter „Farben“ und den Unterpunkt „Farbton/ Sättigung“ bearbeitet und auf -100 gesetzt, wodurch ein Schwarz-Weiß-Bild entsteht. Um graue Schattierungen zu reduzieren, erfolgt anschließend über den Reiter „Farben“, diesmal jedoch über die Option „Helligkeit/ Kontrast“ eine Einstellung der Helligkeit auf -80 und des Kontrasts auf 126. Auf diese Weise entsteht ein Schwarz-Weiß-Bild ohne Schatten (Abbildung 4).



Abbildung 4: Beispiel einer bearbeiteten Scandatei; Scan vom 4. Juni, Wasser 1, Individuum 1, Gurke, Keimblätter

Zuletzt muss der Schwellenwert auf 0,28 gelegt werden, damit ausschließlich schwarze Pixel gezählt werden. Die Messung der Pixel erfolgt anschließend mit dem Lassotool. Die gewünschte Fläche wird markiert und unter „Wert“ kann man anschließend die Pixel (Anzahl) ablesen. Da es sich bei der Angabe zunächst lediglich um Pixelangaben handelt, müssen diese zur Ermittlung der realen Blattfläche in Quadratzentimeter umgerechnet werden. Hierfür sind mathematische Berechnungen notwendig, um aus der Pixelanzahl auf die tatsächliche Blattfläche schließen zu können.

6.5 Datenerhebung und -auswertung

Die Datenerhebung beinhaltet, wie bereits in Kapitel 6.3 erläutert, die präzise Dokumentation der Sprosslänge in Millimetern sowie die Erfassung der Blatt- und Keimblattgröße in Quadratzentimetern. Wohingegen die Sprosslänge mit Hilfe einfacher Mittel gemessen werden kann, benötigt die Bestimmung der Blattflächen eine umfangreichere Methodik. Die eingescannten Blätter wurden zunächst mit Hilfe des Bildbearbeitungsprogrammes bearbeitet und anschließend die jeweiligen Pixel pro Individuum festgestellt. Um aus den Pixelwerten die

Fläche in Quadratzentimetern zu berechnen, ist eine Umrechnung erforderlich. Die Auflösung des verwendeten Scanners lag bei 300 dpi (dots per inch), was angibt, dass pro Zoll (inch) 300 Bildpunkte erfasst werden. Da Zoll in Europa kein gängiges Flächenmaß darstellen, wurden für die weitere Forschung die Bildelemente in Quadratzentimeter umgerechnet, um eine flächenbezogene Angabe im metrischen System zu gewährleisten. Ein Zoll entspricht 2,54 cm. Die Umrechnung von Zoll auf Zentimeter erfolgt durch die Berechnung ,300 dividiert durch 2,54‘, wodurch die Anzahl der Pixel pro Zentimeter bestimmt wird. Für die Umrechnung auf Quadratzentimeter wird diese Berechnung anschließend quadriert. Danach erfolgt die Berechnung der gemessenen Pixelanzahl durch die Umrechnung von Zoll in Zentimeter. Daraus ergibt sich die folgende Formel:

$$\frac{p}{\left(\frac{300}{2,54}\right)^2} \quad p = \text{Anzahl der Pixel}$$

Für Abbildung 4 ergibt sich anschließend die folgende Berechnung:

$$\frac{139375}{\left(\frac{300}{2,54}\right)^2} = 9.991019\bar{4}$$

Im nächsten Schritt erfolgte die Rundung der Zahl auf zwei Dezimalstellen, gefolgt von der Notierung. Die Dokumentation der Messwerte erfolgte in einer Exceldatei, wie in der Tabelle 1 dargestellten Form. Hierbei wurde die anfängliche Nummerierung der Individuen für alle Mess- und Berechnungsschritte beibehalten. Diese Nummerierung gewährleistete während der Forschung die eindeutige Zuordnung von erfassten Werten. Die Vermessungen und Berechnungen der Pflanzen erfolgten individuell. Es wurden für jedes Individuum alle Parameter einzeln erhoben und dokumentiert, wobei jeweils die Gesamtheit aller Keimblätter und Blätter für die Berechnung zusammen vermessen wurde.

Tabelle 1 Dokumentation der Messwerte; Wasser 1, Zucchini (Quelle: Ballwein)

Individuum Nr.	Länge der Sprossachse (mm)	Fläche der Keimblätter (cm²)	Fläche der Blätter (cm²)
1	46	15,64	2,85
2	70	14,65	2,92
3	54	24,30	4,51
4	57	18,70	2,71
5	28	22,76	5,83
6	60	17,59	2,27

Die Datenerhebung und -auswertung wurde konsistent und präzise durchgeführt, um Fehlerquellen möglichst gering zu halten. Die Beibehaltung der Nummerierung der einzelnen

Exemplare ermöglicht eine lückenlose Rückverfolgbarkeit aller Messwerte. Die Messung der Blatt- und Keimblattflächen durch standardisierte Bildverarbeitungstools und mathematische Berechnungen garantiert die Vergleichbarkeit der Werte.

7 Ergebnisse

7.1 Auswertungen der Makro- und Mikronährstoffe und pH-Werte in den Wasserquellen

Um den genauen Unterschied zwischen den für die Forschung verwendeten Wasserquellen zu ermitteln, wurden diese Wasserquellen vom Department für funktionelle und evolutionäre Ökologie Division Limnologie untersucht und auf Makro- und Mikronährstoffe sowie ihren Härtegrad überprüft. Um potentielle Schwankungen der Wasserquellen festzustellen, wurden Wasserproben an zwei Terminen (15.03.2025 und 30.03.2025) gesammelt und separat analysiert. Bei jeweils beiden Terminen wurden alle für die Forschung verwendeten Wasserquellen Wasser 1 (Leitung Kirchberg), Wasser 2 (Leitung Pöggstall), Wasser 3 (Regenwasser) und Wasser 4 (Dachrinne/Dach) jeweils gesondert ausgewertet.

Wasserwerte vom 15.03.2025

Die Ergebnisse zeigten bei den Wasserwerten vom 15.03.2025 bereits einen deutlichen Unterschied zwischen den Wasserquellen (Tabelle 2). Wasser 1 (Leitungswasser aus Kirchberg) weist mit einer Wasserhärte von 14,3 °dH große Unterschiede zu den anderen Wasserquellen auf. Während alle anderen Wasserquellen aus Pöggstall eine Wasserhärte von 1,2 °dH (Wasser 2 Leitung Pöggstall) oder weniger aufweisen, gibt es einen signifikanten Unterschied zu den Daten aus Kirchberg (Tabelle 2). Dies unterstreicht auch die Tatsache, dass der Gehalt an Calcium und Magnesium in Wasser 1 (Leitung Kirchberg) viel höher war als in den anderen Wasserquellen. Das wiederum erklärt den signifikanten Unterschied in der Wasserhärte, da Calcium und Magnesium die Wasserhärte direkt beeinflussen.

Die Daten aus den Wasserquellen rund um Pöggstall, also Wasser 2 (Leitung Pöggstall), Wasser 3 (Regen Pöggstall) und Wasser 4 (Dach/Dachrinne), zeigten bei einigen der gemessenen Bestandteilen ähnliche Werte. Allerdings waren die Calcium- und Magnesiumwerte im Leitungswasser Wasser 2 (Leitung Pöggstall) mit 5,7 mg/l etwas höher als in den anderen Wasserquellen mit 0,6 mg/l (Wasser 3 Regen Pöggstall) und 1,9 mg/l in Wasser 4 (Dach/Dachrinne Pöggstall). Wasser 2 (Leitung Pöggstall) wies auch höhere Werte bei den Parametern Orthophosphat, Ammonium und Nitrit auf. Der größte Unterschied wurde bei der Ammoniummenge in den Regenwasserquellen Wasser 3 (Regen Pöggstall) und Wasser 4 (Dach/Dachrinne) festgestellt.

Wasserwerte vom 30.03.2025

Die Messungen der Wasserquellen aus der zweiten Probenahme zeigen ähnliche Ergebnisse für die verschiedenen Wasserquellen wie die Ergebnisse vom 15.03.2025. Eine Messung unterscheidet sich jedoch deutlich von den anderen, nämlich der signifikante Anstieg von

Ammonium in den Regenwasserquellen Wasser 3 (Regen Pöggstall) und Wasser 4 (Dach/Dachrinne). Im Fall des Wassers 3 (Regen Pöggstall) stieg dieser Wert im Vergleich zu den Daten vom 15.03.2025 sogar um mehr als das Dreifache (Tabelle 2). Die übrigen Messungen zeigten geringe Unterschiede.

Vergleich der Wasserparameter der beiden Messzeitpunkte

Innerhalb des Messzeitraums wurden nur geringfügige Unterschiede festgestellt. Die meisten Unterschiede zeigten sich beim Vergleich der einzelnen Wasserquellen untereinander. Wasser 1 (Leitung Kirchberg) war mit 13,5 bis 14,5 °dH das härteste aller Wasser. Alle Quellen aus Pöggstall, Regenwasser und Leitungswasser, wiesen eine geringe Härte auf, wobei der höchste Wert unter diesen Wasserquellen bei Wasser 2 (Leitung Pöggstall) mit 1,2 °dH lag. Wasser 1 (Leitung Kirchberg) lag bei den Messungen für Calcium und Magnesium unter den höchsten Werten, während die anderen Quellen nur geringe Mengen dieser Bestandteile aufwiesen. Betrachtet man die Wasserquellen nebeneinander, so gibt es nur wenige sehr signifikante Messwerte, die sich in bemerkenswerter Weise unterscheiden. Dies sind der hohe Magnesium- und Calciumgehalt in Wasser 1 (Leitung Kirchberg) sowie ein höherer Sulfatgehalt in Wasser 1 (Leitung Kirchberg), die höheren Orthophosphatgehalte in Wasser 3 (Regen Pöggstall) und Wasser 4 (Dach/Dachrinne) und die deutlich höheren Ammoniumgehalte in denselben Wasserquellen 3 und 4 (Tabelle 2). Ansonsten unterscheiden sich die Wasser nur in geringen Mengen.

Tabelle 2 Auswertung der Wasserquellen zwei verschiedener Proben vom 15.3.2025 und vom 30.03.2025 (P-PO₄ = Orthophosphat, N-NO₂ = Nitrit, N-NH₄ = Ammonium)

	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	°dH
	Natrium	Kalium	Calcium	Magnesium	Chlorid	Nitrat	Sulfat	P-PO ₄	N-NO ₂	N-NH ₄	
Leitung Kirchberg 15.03.2025	0,0	0,5	75,1	16,5	5,3	5,0	56,7	6	0,6	15	14,3
Leitung Kirchberg 30.03.2025	0,2	0,5	71,3	15,3	6,2	6,2	40,9	6	1,0	1	13,5
Leitung Pöggstall 15.03.2025	0,6	0,6	5,7	1,9	0,9	6,6	4,5	30	0,2	0	1,2
Leitung Pöggstall 30.03.2025	n.a.	0,5	5,5	1,9	0,9	6,6	4,6	28	0,1	0	1,2
Regenwasser Pöggstall 15.03.2025	n.a.	n.a.	0,6	0,3	0,1	0,7	0,3	103	2,3	252	0,1
Regenwasser Pöggstall 30.03.2025	n.a.	n.a.	0,3	n.a.	0,2	1,6	1,2	111	8,7	867	0,0
Regenwasser Dachrinne P. 15.03.2025	n.a.	0,7	1,9	0,3	0,1	0,6	0,4	53	5,5	380	0,3

Regenwasser Dachrinne P. 30.03.2025	n.a.	0,4	2,1	0,3	0,1	0,6	0,4	133	2,9	483	0,4
---	------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Abgleich der Wasserparameter mit offiziellen Quellen

Um einen detaillierteren Einblick in die Wasserqualität des Leitungswassers von Kirchberg und Pöggstall zu erhalten, wurden die Ergebnisse des Departments für Funktionelle und evolutionäre Ökologie Division Limnologie der Universität Wien mit den Ergebnissen der offiziellen Testberichte der jeweiligen Gemeinden verglichen, wobei das Leitungswasser von Pöggstall im Gebiet von Zöbring von einer Wassergenossenschaft bereitgestellt wird, die eigene Tests durchführt. Im Prüfbericht der Gemeinde Kirchberg fällt auf, dass die Calcium und Magnesiummengen etwas geringer ausfallen. Die im Prüfbericht angegebenen Chloridwerte von 2,6 mg/l liegen hingegen bei weniger als der Hälfte der von uns gemessenen Konzentrationen, wie auch bei den gemessenen Sulfat-Werten, welche beim Prüfbericht bei 24 mg/l liegen (Tabelle 3). Im Vergleich zu den Sulfat-Werten vom 23. März liegt der Messwerte um die Hälfte niedriger. Im Bereich des Nitrats weisen die Messungen vergleichbare Werte auf. Die Messwerte für Ammonium und Nitrit werden in diesem Fall nicht verglichen, da der Prüfbericht lediglich angibt, dass ein Wert unter einem gewissen Schwellenwert gegeben ist. Die gelösten Mineralstoffe Natrium und Kalium waren im Prüfbericht höher als bei den anderen Wasserproben. Die Wasserhärte fiel im Prüfbericht leicht niedriger aus. (Scheidl 2024)

Tabelle 3 Messwerte der Wasserproben mit Ergebnissen der Prüfberichte (Scheidl 2024; Pfeifer 2025)

	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	P- PO4	N- NO2	N- NH4	°dH
	Natrium	Kalium	Calcium	Magnesium	Chlorid	Nitrat	Sulfat	µg/l	µg/l	µg/l	
Leitungswasser Kirchberg 13.03.2025	0,0	0,5	75,1	16,5	5,3	5,0	56,7	6	0,6	15	14,3
Leitungswasser Kirchberg 30.03.2025	0,2	0,5	71,3	15,3	6,2	6,2	40,9	6	1,0	1	13,5
Leitungswasser Kirchberg Prüfbericht der Gemeinde 30.09.2024	2,3	1,3	67	12	2,6	5,3	24	k.A.	< 6	< 20	12,1
Leitungswasser Pöggstall 13.03.2025	0,6	0,6	5,7	1,9	0,9	6,6	4,5	30	0,2	0	1,2
Leitungswasser Pöggstall 30.03.2025	n.a.	0,5	5,5	1,9	0,9	6,6	4,6	28	0,1	0	1,2
Leitungswasser Pöggstall	6,8	1,8	7,7	1,4	2,3	8,5	25,0	k.A.	< 10	< 20	1,4

Prüfbericht der Gemeinde 04.02.2025											
---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Auch der Prüfbericht aus der Wassergenossenschaft Pöggstall weist signifikante Unterschiede im Bereich Natrium und Kalium auf, mit deutlich höheren Werten. Ebenfalls höher ist der Wert von Chlorid, sowie auch die Werte von Nitrat und Sulfat. Der Wert für Sulfat ist im Prüfbericht um ein Vielfaches höher mit einer Menge von 25 mg/l als in den Messungen der Universität mit Werten von 4,5 und 4,6 mg/l. Etwas geringer fällt der Magnesium-Wert im Vergleich zu den Messwerten der Abteilung für Limnologie mit 1,4 mg/l statt 1,9 mg/l aus. Die Wasserhärte von 1,4 °dH ist vergleichbar mit den anderen Messwerten (1,2 °dH). (Pfeiffer 2025)

Ergebnisse der pH-Wert-Messungen

Die pH-Werte der Wasserquellen wurden mittels eines pH-Meters ermittelt, wobei jeweils drei Messungen durchgeführt wurden. Daraus ergibt sich ein pH-Wert von 8,4 bis 8,5 bei der Wasser 1 (Leitung Kirchberg), wodurch sich das Wasser als leicht alkalisch definieren lässt. Der pH-Wert von Wasser 2 (Leitung Pöggstall) lag im Bereich von 7,5 bis 7,9. Ähnliche Werte erzielte der pH-Wert von Wasser 3 (Regen Pöggstall) mit 7,3 bis 7,7. Beide Wasserquellen können somit als neutral bis leicht alkalisch beschrieben werden. Lediglich Wasserquelle 4 (Dach/ Dachrinne) zeigte mit Werten von 6,8 bis 7,2 eine Tendenz in Richtung eines sauren pH-Wertes.

7.2 Morphologische Unterschiede zwischen den Testgruppen

Die Pflanzen wurden bei beiden Messdurchgängen jeweils einmal nach zwei und einmal nach vier Wochen vermessen. Für die Auswertung der Ergebnisse werden die Messwerte nach Zeitpunkt der Datensammlung gesondert betrachtet und nicht miteinander verglichen. Für die einfachere Lesbarkeit werden die Wasserquellen weiterhin wie folgt bezeichnet: Wasser 1 (Leitung Kirchberg), Wasser 2 (Leitung Pöggstall), Wasser 3 (Regenwasser Pöggstall) und Wasser 4 (Dach/ Dachrinne).

Sprosslänge

Die Ergebnisse der Sprosslängenmessungen nach zwei Wochen der drei Pflanzen Gurke, Zucchini und Sonnenblume sind in Abbildung 4 dargestellt. Ergänzt wird die Auswertung der Daten durch Abbildung 5 bis Abbildung 7, welche die Messwerte nach vier Wochen veranschaulichen.

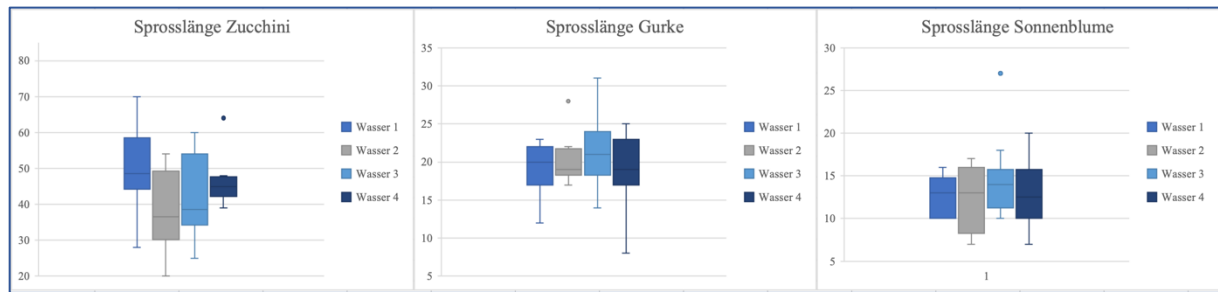


Abbildung 4 Sprosslänge der untersuchten Individuen (mm) zum Messzeitpunkt 2 Wochen nach Bepflanzung. (Wasser 1 = Leitungswasser Kirchberg an der Pielach; Wasser 2 = Leitungswasser Pöggstall; Wasser 3 = reines Regenwasser; Wasser 4 = Regenwasser, gesammelt über Dach und Dachrinne)

Zucchini

In der Auswertung der Ergebnisse zum Zeitpunkt nach zwei Wochen zeigt sich bei den Zucchini-Sprösslingen, die mit Wasser 1 (Leitung Kirchberg) gegossen wurden, Median und oberes Quartil im Vergleich zu den anderen Wasserquellen deutlich im oberen Bereich (Abbildung 4). Auffällig ist bei den Zucchini-Bepflanzungen nach zwei Wochen Wasser 4 (Dach/ Dachrinne), bei welchem der Ausreißer mit einem Wert von 64 mm sich deutlich von den übrigen Werten abhebt. Der Maximalwert (ohne Einbezug des Ausreißers) lag bei den mit Wasser 4 (Dach/ Dachrinne) gegossenen Pflanzen bei einem Wert von 48 mm, mit einem Minimalwert von 39 mm. Innerhalb der Zucchini zeigt sich, dass mit den Wasserquellen 1 bis 3 (Leitung Kirchberg, Leitung Pöggstall und Regen Pöggstall) gegossene Individuen eine hohe Streuung aufweisen, dem gegenüber steht die Auswirkung von Wasser 4 (Dach/ Dachrinne), bei welchem die Individuen relativ gleich hochgewachsen sind. Die geringsten Werte erzielte Wasser 2 (Leitung Pöggstall) in Bezug auf die Sprosslänge. Mit einem Minimalwert von 20 mm und einem Maximalwert von 54 mm lag Wasser 2 (Leitung Pöggstall) sowohl bei den Minimalwerten als auch bei den Maximalwerten im unteren Bereich. Die Verteilung und Streuung der Werte werden in Abbildung 4 durch Boxplots veranschaulicht, die die Unterschiede zwischen den Wasserquellen sichtbar machen.

Nach vier Wochen Wuchsdauer zeigt sich in manchen Fällen eine Veränderung der Auswirkung auf die Sprosslänge. Bei den Zucchini waren die Pflanzen, welche mit Wasser 1 (Leitung Kirchberg) gegossen wurden, deutlich höher. Ein mit Wasser 4 (Dach/ Dachrinne) gegossener Sprössling hatte zwar einen höheren Maximalwert von 82 mm, aber insgesamt zeigten jene Individuen einen deutlich geringeren Median im Vergleich zu den Messungen als jene mit Wasser 1 (Leitung Kirchberg) gegossenen Pflanzen. Wasser 2 (Leitung Pöggstall) konnte die dritthöchsten Werte erzielen, wohingegen Wasser 3 (Regen Pöggstall) sowohl hinsichtlich der Maximalwerte als auch bezüglich des Medians die niedrigsten Werte aufwies. Die niedrigsten Werte wurden bei Wasser 2 (Leitung Pöggstall) mit einer Länge von lediglich

20 mm festgestellt. Die beschriebenen Unterschiede lassen sich auch in Abbildung 5 nachvollziehen.

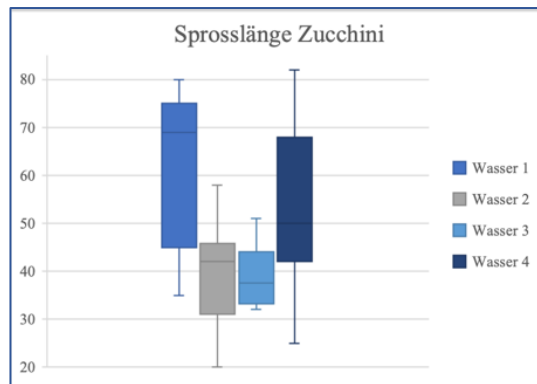


Abbildung 5 Sprosslänge der Zucchini (mm) zum Messzeitpunkt 4 Wochen nach Bepflanzung. (Wasser 1 = Leitungswasser Kirchberg an der Pielach; Wasser 2 = Leitungswasser Pöggstall; Wasser 3 = reines Regenwasser; Wasser 4 = Regenwasser, gesammelt über Dach und Dachrinne)

Gurke

Auch die Werte bei den Gurkensproßlingen haben sich zwischen der ersten und zweiten Messung verändert. Hierbei zeigt sich, dass Wasser 2 (Leitung Pöggstall) nun eine deutlich breitere Streuung bewirkte als zuvor, zugleich stieg der Maximalwert an und erreichte die höchste Messung unter allen Gurkenindividuen nach vier Wochen. Mit Wasser 4 (Dach/ Dachrinne) gegossene Pflanzen zeigten nach vier Wochen einen leichten Anstieg der Werte bezüglich Maximalwert und Median (Abbildung 6). Die geringsten Werte bezüglich Maximal- als auch Minimalwerte zeigte nach vier Wochen Wasser 3 (Regen Pöggstall), wobei der Interquartilbereich sich bei mit Wasser 2 (Leitung Pöggstall) gegossenen Sproßlingen beinahe überschneidet und auch mit Wasser 4 (Dach/ Dachrinne) hohe Überschneidungen aufweist.

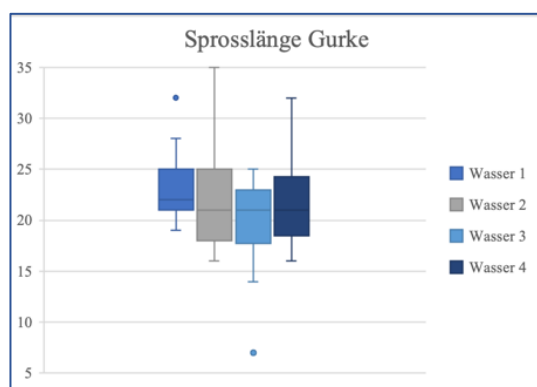


Abbildung 6 Sprosslänge der Gurken (mm) zum Messzeitpunkt 4 Wochen nach Bepflanzung. (Wasser 1 = Leitungswasser Kirchberg an der Pielach; Wasser 2 = Leitungswasser Pöggstall; Wasser 3 = reines Regenwasser; Wasser 4 = Regenwasser, gesammelt über Dach und Dachrinne)

Sonnenblume

Die Sonnenblumen wiesen im Gegensatz zu den Messungen nach zwei Wochen eine leichte Verschiebung auf, sowie eine größere Streuung auf (Abbildung 7). Dabei lag bei den Maximalwerten die Gießquelle Wasser 1 (Leitung Kirchberg) mit den daraus resultierenden

Ergebnissen im vorderen Bereich. Die geringsten Werte mit dem am weitesten nach unten reichenden Interquartilbereich und dem niedrigsten Minimalwert von 9 mm wurde durch Wasser 2 (Leitung Pöggstall) erwirkt. Den höchsten Median wiesen ebenfalls mit Wasser 1 (Leitung Kirchberg) gegossene Individuen auf, gefolgt von Wasser 3 (Regen Pöggstall) und Wasser 4 (Dach/ Dachrinne). Wie in Abbildung 7 und Abbildung 4 dargestellt werden, ist nach zwei Wochen die optimale Wasserquelle in Bezug auf Wachstumsförderung der Sprosslänge Wasser 4 (Dach/ Dachrinne), während nach vier Wochen Wasser 1 (Leitung Kirchberg) die höchsten Werte erreicht. Wasser 4 (Dach/ Dachrinne) zeigte bei allen Messungen überdurchschnittliche Werte. Ebenfalls gute Ergebnisse erzielten Pflanzen, welche mit Wasser 1 (Leitung Kirchberg) gegossen wurden, das bei den Messungen nach vier Wochen die höchsten Medianwerte aufwies.

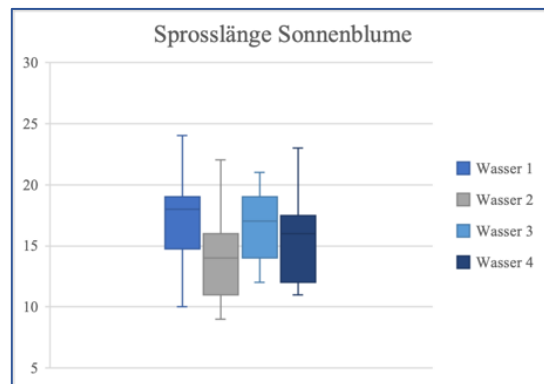


Abbildung 7 Sprosslänge der Sonnenblumen (mm) zum Messzeitpunkt 4 Wochen nach Bepflanzung. (Wasser 1 = Leitungswasser Kirchberg an der Pielach; Wasser 2 = Leitungswasser Pöggstall; Wasser 3 = reines Regenwasser; Wasser 4 = Regenwasser, gesammelt über Dach und Dachrinne)

Vergleich der Versuchsergebnisse zwischen den Pflanzenarten

Insgesamt war der Erfolg der Wasserquellen bei den untersuchten Individuen je nach Pflanzenart sehr unterschiedlich. Bei einem Großteil der Messungen lagen häufig Wasser 1 (Leitung Kirchberg) und Wasser 4 (Dach/ Dachrinne) im höheren Erfolgsbereich und bewirkten bezüglich der Sprosslängen höhere Werte. Bei den Gurken hingegen erzielte nach zwei Wochen Wuchsdauer Wasser 3 (Regen Pöggstall) und nach vier Wochen Wuchsdauer Wasser 2 (Leitung Pöggstall) die höchsten Maximalwerte (Abbildung 4, Abbildung 6). Auffällig ist, dass sich bei den Zucchini zwischen den Wasserquellen deutlich unterschiedliche Interquartilabstände zeigen, während diese bei den Gurken weitgehend überlappen und somit eine geringere Variation aufweisen. Bei den Sonnenblumen war nach zwei Wochen Wuchsdauer eine mäßige Überschneidung der Interquartilabstände sichtbar, welches sich nach vier Wochen in eine breitere Streuung änderte. Während Bewässerung mit Wasser 2 (Leitung Pöggstall) bei den Minimalwerten der Zucchini und Sonnenblumen die schlechtesten Ergebnisse lieferte, erzielte es bei den Gurken den höchsten Sprosslängenwert aller Individuen.

Detaillierte Auswertung der Kennwerte (Minimal-, Maximal- und Mittelwerte)

Zucchini

Zur vertiefenden Analyse werden im Folgenden die in Tabelle 4 dargestellten Maximal-, Minimal- und Mittelwerte der Zucchini-Individuen näher betrachtet. Zwei Wochen nach der Bepflanzung zeigte sich bei den Zucchini der optimale Mittelwert mit 49,50 mm bei Wasser 1 (Leitung Kirchberg), dicht gefolgt von Wasser 4 (Dach/ Dachrinne) mit 45,83 mm. Bei den Maximalwerten der Sprosslänge zählten die Zucchini-Individuen von Wasser 1 (Leitung Kirchberg) mit einer Sprosslänge von 70 mm zu den Individuen mit den höchsten Maximalwerten, gefolgt von Wasser 4 (Dach/ Dachrinne) mit 64 mm und Wasser 3 (Regen Pöggstall) mit 60 mm. Die geringste Maximallänge wiesen die Sprösslinge von Wasser 2 (Leitung Pöggstall) mit 54 mm auf. Die Minimalwerte waren ebenfalls bei Wasser 2 (Leitung Pöggstall) am geringsten. Die geringen Minimalwerte hielten auch bei der Messung nach 4 Wochen stand. Dabei zeigten die Ergebnisse von mit Wasser 2 (Leitung Pöggstall) gegossenen Sprösslingen mit 20 mm weiterhin den niedrigsten Wert. Die höchsten Werte erzielte diesmal Wasser 4 (Dach/ Dachrinne) mit 82 mm, jedoch dicht gefolgt von Wasser 1 (Leitung Kirchberg) mit 80 mm. Bei den Mittelwerten lag Wasser 1 (Leitung Kirchberg) abermals auch nach vier Wochen im oberen Bereich. Den niedrigsten Mittelwert erzielte Wasser 3 (Regen Pöggstall) mit 39,33 mm.

Tabelle 4 Mittelwert, Minimal- und Maximalwerte der Sprosslänge (mm) der untersuchten Individuen (Zucchini), getrennt nach Messzeitpunkten (2 bzw. 4 Wochen nach Bepflanzung) und Wasserquellen. Wasser 1 = Leitungswasser Kirchberg an der Pielach; Wasser 2 = Leitungswasser Pöggstall; Wasser 3 = reines Regenwasser; Wasser 4 = Regenwasser, gesammelt über Dach und Dachrinne)

Zucchini				
Sprosslänge (mm) der Individuen, 2 Wochen nach Bepflanzung; Mittelwerte aus zwei Messungen				
	Wasser 1	Wasser 2	Wasser 3	Wasser 4
Mittelwert	49,50	38,25	41,92	45,83
Min	28	20	25	39
Max	70	54	60	64
Sprosslänge (mm) der Individuen, 4 Wochen nach Bepflanzung; Mittelwerte aus zwei Messungen				
	Wasser 1	Wasser 2	Wasser 3	Wasser 4
Mittelwert	62,87	39,42	39,33	54,20
Min	35	20	32	25
Max	80	58	51	82

Gurke

In Tabelle 5 werden die Kennwerte (Minimal-, Maximal- und Mittelwert) für die untersuchten Gurkenindividuen aufgeschlüsselt nach Wasserquellen dargestellt. Bei den Gurken wiesen zwei

Wochen nach der Bepflanzung Individuen mit Wasser 3 (Regen Pöggstall) als Gießquelle deutlich höhere Werte, sowohl bei den Mittelwerten mit 21,20 mm als auch bei den Maximalwerten mit 31 mm, auf. Dicht gefolgt wurden die Höchstergebnisse von Wasser 2 (Leitung Pöggstall) mit 20,17 mm (Mittelwert) und 28 mm (Maximalwert). Am niedrigsten lag der Mittelwert mit 18,73 mm bei Wasser 4 (Dach/ Dachrinne). Hier wurde auch der niedrigste Minimalwert mit 8 mm vermessen. Nach zwei Wochen wurde der niedrigste maximale Wert bei Wasser 1 (Leitung Kirchberg) mit 23 mm festgestellt. Diese Ergebnisse veränderten sich mit der Dauer der Bepflanzung, resultierend in einer Verschiebung der Erfolgsquote der unterschiedlichen Wasserquellen bei der Messung nach vier Wochen Wuchsdauer von Wasser 3 (Regen Pöggstall) in Richtung Wasser 2 (Leitung Pöggstall) und Wasser 1 (Leitung Kirchberg). Wasser 3 (Regen Pöggstall) zeigte mit einem Mittelwert von 19,40 mm nach vier Wochen die geringsten Werte. Die besten Mittelwerte erzielte Wasser 1 (Leitung Kirchberg) mit 23,27 mm. Auch bei den Maximalwerten zeigte Wasser 3 (Regen Pöggstall) ebenfalls geringe Werte mit 25 mm, den höchsten Maximalwert erzielte Wasser 2 (Leitung Pöggstall) mit 35 mm.

Tabelle 5 Mittelwert, Minimal- und Maximalwerte der Sprosslänge (mm) der untersuchten Individuen (Gurke), getrennt nach Messzeitpunkten (2 bzw. 4 Wochen nach Bepflanzung) und Wasserquellen. Wasser 1 = Leitungswasser Kirchberg an der Pielach; Wasser 2 = Leitungswasser Kirchberg an der Pielach; Wasser 2 = Leitungswasser Pöggstall; Wasser 3 = reines Regenwasser; Wasser 4 = Regenwasser, gesammelt über Dach und Dachrinne)

Gurke				
Sprosslänge (mm) der Individuen, 2 Wochen nach Bepflanzung; Mittelwerte aus zwei Messungen				
	Wasser 1	Wasser 2	Wasser 3	Wasser 4
Mittelwert	19,00	20,17	21,20	18,73
Min	12	17	14	8
Max	23	28	31	25
Sprosslänge (mm) der Individuen, 4 Wochen nach Bepflanzung; Mittelwerte aus zwei Messungen				
Gurke				
	Wasser 1	Wasser 2	Wasser 3	Wasser 4
Mittelwert	23,27	22,08	19,40	21,92
Min	19	16	7	16
Max	32	35	25	32

Sonnenblume

Die Sonnenblumen zeigten einen Wechsel der Erfolgsquote in Bezug auf Minimal-, Maximal- und Mittelwert zwischen den beiden Messungen nach zwei und nach vier Wochen, welche genauer in Tabelle 6 dargestellt werden. Nach zwei Wochen wiesen im Bereich des Mittelwertes und der Maximallänge Wasser 3 (Regen Pöggstall) mit 14,5 mm (Mittelwert) und

27 mm (Maximalsprosslänge) die höchsten Werte auf. Die geringsten Messungen bezüglich Minimalwerte erreichte Wasser 2 (Leitung Pöggstall) mit 9 mm, während Wasser 1 (Leitung Kirchberg) mit 10 mm einen nahezu vergleichbaren Wert erreichte. Die Werte änderten sich hingegen der Untersuchung nach 4 Wochen (Dach/ Dachrinne), wobei hier die herausragendsten Werte Wasser 1 (Leitung Kirchberg) mit einem Mittelwert von 16,89 mm und einem Maximalwert von 24 mm zeigte. Die Werte von Wasser 3 (Regen Pöggstall) mit einem Mittelwert von 16,75 mm und einem Maximalwert von 21 mm lagen jedoch nur knapp hinter den Werten von Wasser 4 (Dach/ Dachrinne), die einen Mittelwert von 15,5 mm und einen Maximalwert von 23 mm aufwiesen.

Tabelle 6 Mittelwert, Minimal- und Maximalwerte der Sprosslänge (mm) der untersuchten Individuen (Sonnenblume), getrennt nach Messzeitpunkten (2 bzw. 4 Wochen nach Bepflanzung) und Wasserquellen. Wasser 1 = Leitungswasser Kirchberg an der Pielach; Wasser 2 = Leitungswasser Pöggstall; Wasser 3 = reines Regenwasser; Wasser 4 = Regenwasser, gesammelt über Dach und Dachrinne)

Sonnenblume				
Sprosslänge (mm) der Individuen, 2 Wochen nach Bepflanzung; Mittelwerte aus zwei Messungen				
	Wasser 1	Wasser 2	Wasser 3	Wasser 4
Mittelwert	12,67	12,25	14,50	12,75
Min	10	7	10	7
Max	16	17	27	20
Sprosslänge (mm) der Individuen, 4 Wochen nach Bepflanzung; Mittelwerte aus zwei Messungen				
	Wasser 1	Wasser 2	Wasser 3	Wasser 4
Mittelwert	16,89	14,33	16,75	15,50
Min	10	9	12	11
Max	24	22	21	23

Gesamtbetrachtung der Kennwerte

Insgesamt bewirkte Wasser 1 (Leitung Kirchberg) durchaus konstant hohe Wachstumswerte, sowohl bei den Mittelwerten als auch beim Median, vor allem aber bei Zucchini und Gurke. Zudem waren die Ergebnisse meist stabil ohne erhebliche Ausreißer, womit es eine der leistungsstärksten Quellen darstellt. Ebenfalls gute Werte erzielte Bewässerung mit Wasser 3 (Regen Pöggstall), vor allem in den frühen Wachstumsphasen (Gurke und Sonnenblume), wobei in den späteren Entwicklungsphasen ein leichter Abfall bemerkbar war. Wasser 4 (Dach/ Dachrinne) hingegen erzielte geringfügig schlechtere Werte als Wasser 3 (Regen Pöggstall), obgleich es einige Spitzenwerte (z. B. höchster Maximalwert nach vier Wochen bei den Zucchini) gab. Meist hielten sich aber auch hier die Ergebnisse im mittleren Bereich auf. Die Ergebnisse von Wasser 2 (Leitung Pöggstall) zeigen die geringste Erfolgsquote. Es gab generell nur vereinzelt hohe Mittelwerte und tendenziell geringere Wuchshöhen. Dadurch setzte sich

Wasser 1 (Leitung Kirchberg) als insgesamt am erfolgreichsten, dicht gefolgt von Wasser 3 (Regen Pöggstall) und anschließend Wasser 4 (Dach/ Dachrinne), durch.

Keimblätter

Entgegen der Erwartung, dass die Keimblätter aufgrund der genetischen Disposition gleich wachsen in Form und Größe, zeigt die Untersuchung, dass es auch hierbei beträchtliche Unterschiede zwischen den Wasserquellen gab.

Zucchini

Bei den Zucchini-Sprösslingen zeigten sich erhebliche Unterschiede mit einer Fläche von 24,30 cm² (Wasser 1 – Leitung Kirchberg) bis zu einem Tiefstwert von 5,20 cm² (Wasser 2 – Leitung Pöggstall). Die höchsten Werte erzielte abermals Wasser 1 (Leitung Kirchberg), die niedrigsten Werte wurden bei Wasser 2 (Leitung Pöggstall) vermessen. Nach zwei Wochen Wuchsdauer wies Wasser 3 (Regen Pöggstall) beim Mittelwert (Abbildung 14) deutlich geringere Messwerte auf, ebenso fiel auch der Median (Abbildung 8) bei Wasser 3 (Regen Pöggstall) am niedrigsten aus. Die Interquartile von Wasser 1 (Leitung Kirchberg) und Wasser 4 (Dach/ Dachrinne) sind beinahe überschneidend, wobei Wasser 4 (Dach/ Dachrinne) generell eine geringere Streuung aufweist als Wasser 1 (Leitung Kirchberg). Bei den Zucchiniplanzen zeigt sich demnach bei der Messung nach zwei Wochen, dass Wasser 1 (Leitung Kirchberg) im Bereich Maximalfläche bessere Ergebnisse erzielte, jene guten Messwerte wurden dicht gefolgt von Messungen der Sprösslinge gegossen mit Wasser 4 (Dach/ Dachrinne). Wasser 3 (Regen Pöggstall) zeigte durchgehend relativ niedrige Werte im Vergleich zu anderen Wasserquellen.

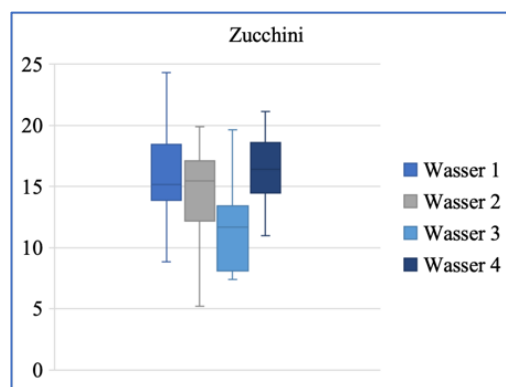


Abbildung 8 Fläche der Keimblätter der Zucchini (mm²) zum Messzeitpunkt 2 Wochen nach Bepflanzung. (Wasser 1 = Leitungswasser Kirchberg an der Pielach; Wasser 2 = Leitungswasser Pöggstall; Wasser 3 = reines Regenwasser; Wasser 4 = Regenwasser, gesammelt über Dach und Dachrinne)

Nach vier Wochen änderten sich die Ergebnisse leicht (Abbildung 9). Bei den Zucchini-Sprösslingen rückte Wasser 4 (Dach/ Dachrinne) mit einem Maximalwert von 21,28 cm² in den

Vordergrund, dicht gefolgt von Wasser 1 (Leitung Kirchberg). Die Maximalwerte aller Wasserquellen zeigten nur geringe Unterschiede, wobei der niedrigste Wert mit 4,67 cm² bei Wasser 2 (Leitung Pöggstall) gemessen wurde.

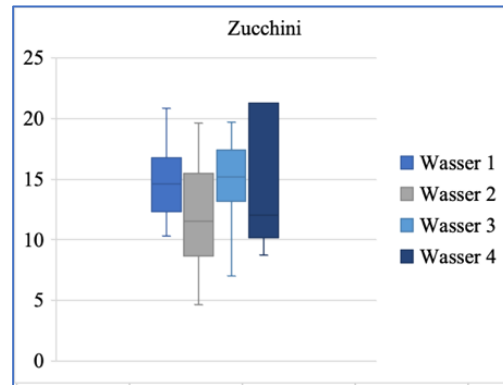


Abbildung 9 Fläche der Keimblätter der Zucchini (mm²) zum Messzeitpunkt 4 Wochen nach Bepflanzung. (Wasser 1 = Leitungswasser Kirchberg an der Pielach; Wasser 2 = Leitungswasser Pöggstall; Wasser 3 = reines Regenwasser; Wasser 4 = Regenwasser, gesammelt über Dach und Dachrinne)

Gurke

Bei den Gurken erzielte Wasser 1 (Leitung Kirchberg) den höchsten Maximalwert, dicht gefolgt von den Messwerten der Pflanzen, die mit Wasser 2 (Leitung Pöggstall) gegossen wurden (Abbildung 10). Auch bezüglich des Medians und der oberen 50 % der Werte liegt Wasser 2 (Leitung Pöggstall) eindeutig im vorderen Bereich. Die insgesamt geringsten Werte, bezogen auf Median, Interquartilbereich und Maximalwerte, erzielte Wasser 3 (Regen Pöggstall), wobei der niedrigste Wert bei Wasser 1 (Leitung Kirchberg) mit 2,22 cm² vermessen wurde.

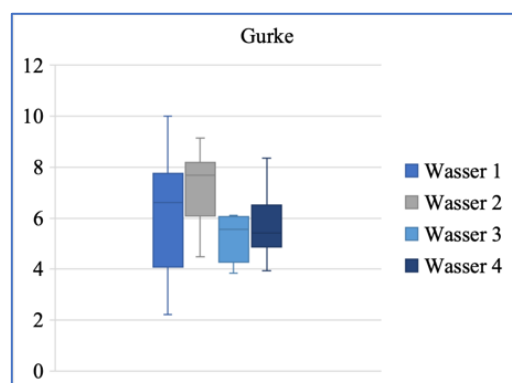


Abbildung 10 Fläche der Keimblätter der Gurken (mm²) zum Messzeitpunkt 2 Wochen nach Bepflanzung. (Wasser 1 = Leitungswasser Kirchberg an der Pielach; Wasser 2 = Leitungswasser Pöggstall; Wasser 3 = reines Regenwasser; Wasser 4 = Regenwasser, gesammelt über Dach und Dachrinne)

Nach vier Wochen Wuchsdauer zeigten die Gurkenpflanzen bei den Wasserquellen 1 (Leitung Kirchberg) und 2 (Leitung Pöggstall) ähnliche Werte als nach zwei Wochen Wachstumszeit. Der höchste Maximalwert wurde abermals nach vier Wochen bei den Gurkensprosslingen, gegossen mit Wasser 1 (Leitung Kirchberg), gemessen.

Beim Median schnitt Wasser 2 (Leitung Pöggstall) am besten ab, während Wasserquelle 3 (Regen Pöggstall) bei den Gurken mit dem niedrigsten Maximalwert, dem niedrigsten Minimalwert und einem ebenfalls geringen Median nach vier Wochen deutlich schlechter abschnitt als bei der Messung nach zwei Wochen (Abbildung 10 und Abbildung 11).

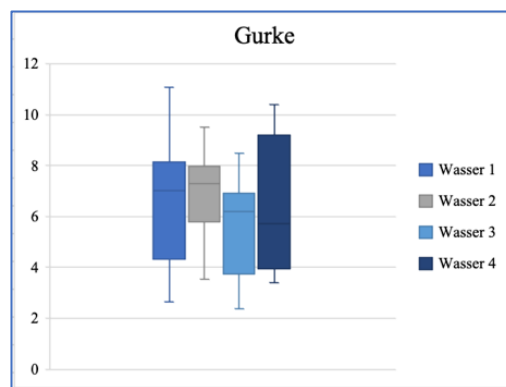


Abbildung 11 Fläche der Keimblätter der Gurken (mm^2) zum Messzeitpunkt 4 Wochen nach Bepflanzung. (Wasser 1 = Leitungswasser Kirchberg an der Pielach; Wasser 2 = Leitungswasser Pöggstall; Wasser 3 = reines Regenwasser; Wasser 4 = Regenwasser, gesammelt über Dach und Dachrinne)

Sonnenblume

Bei den Sonnenblumen zeigt sich abermals ein klarer Vorteil von Wasser 1 (Leitung Kirchberg), denn obwohl sich die Interquartile der Wasserquellen überlappen, liegen Median, Maximalwert (ohne Berücksichtigung von Ausreißern) sowie die oberen 25 % der Werte klar über jenen der übrigen Wasserquellen (Abbildung 12). Sowohl Wasser 2 (Leitung Pöggstall) als auch Wasser 3 (Regen Pöggstall) zeigen extreme Ausreißer. Die niedrigste Fläche wurde bei Wasser 4 (Dach/ Dachrinne) mit $1,14 \text{ cm}^2$ gemessen, dicht gefolgt von Wasser 2 (Leitung Pöggstall) mit $1,15 \text{ cm}^2$. Darauf folgend schnitt Wasser 1 (Leitung Kirchberg) zum Messzeitpunkt nach zwei Wochen Wuchsdauer etwas besser ab im Vergleich zu den anderen Wasserquellen, wobei keine extremen Unterschiede wie bei den Zucchini zu beobachten waren. Interessant ist, dass bei den Sonnenblumen Wasser 2 (Leitung Pöggstall) sehr ähnlichen Werte wie Wasser 4 (Dach/ Dachrinne) aufweist.

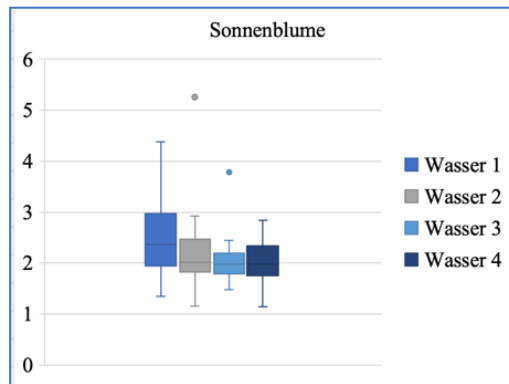


Abbildung 12 Fläche der Keimblätter der Sonnenblumen (mm^2) zum Messzeitpunkt 2 Wochen nach Bepflanzung. (Wasser 1 = Leitungswasser Kirchberg an der Pielach; Wasser 2 = Leitungswasser Pöggstall; Wasser 3 = reines Regenwasser; Wasser 4 = Regenwasser, gesammelt über Dach und Dachrinne)

Bei den Sonnenblumen spiegelte sich nach vier Wochen Wuchsdauer im Vergleich zu den Messungen nach 2 Wochen abermals ein sehr homogenes Bild, wobei die Ergebnisse bei Wasser 4 (Dach/ Dachrinne) diesmal deutlich schlechter ausgefallen waren. Am erfolgreichsten war Wasser 3 (Regen Pöggstall), dicht gefolgt von Wasser 2 (Leitung Pöggstall). Die niedrigsten Werte bei den Sonnenblumen wurden bei Wasser 1 (Leitung Kirchberg) berechnet. Vergleicht man die Ergebnisse nach zwei und vier Wochen, zeigt sich, dass bezüglich der Keimblätter kein großer Wachstumsschub in zwei zusätzlichen Wochen bemerkbar war. Wasser 1 (Leitung Kirchberg) zeigte zwar die niedrigsten Werte, wobei Interquartilbereich und Maximalwerte durchaus vergleichbar mit jenen Werten von Wasser 2 (Leitung Pöggstall) und Wasser 3 (Regen Pöggstall) waren.

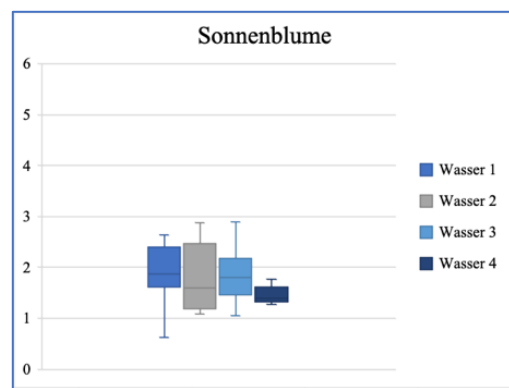


Abbildung 13 Fläche der Keimblätter der Sonnenblumen (mm^2) zum Messzeitpunkt 4 Wochen nach Bepflanzung. (Wasser 1 = Leitungswasser Kirchberg an der Pielach; Wasser 2 = Leitungswasser Pöggstall; Wasser 3 = reines Regenwasser; Wasser 4 = Regenwasser, gesammelt über Dach und Dachrinne)

Analyse der Mittelwerte der Keimblätter

Betrachtet man nun die Mittelwerte nach zwei und nach vier Wochen im Vergleich, sieht man, dass die Zucchiniplanzen Wasser 1 (Leitung Kirchberg) in beiden Fällen bevorzugten, Wasser 3 (Regen Pöggstall) erst nach vier Wochen erfolgreicher war und Wasser 4 (Dach/

Dachrinne) durchgehend gute Werte erzielte. Wasser 2 (Leitung Pöggstall) erzielte zu Beginn ebenfalls moderate Werte, fiel jedoch nach vier Wochen stark zurück. Bei den Sonnenblumen zeigt sich erneut ein moderates Bild, sowohl nach zwei als auch nach vier Wochen, mit einer geringen Differenz zwischen den Bewässerungsquellen (Abbildung 15 und Abbildung 16). Ebenfalls einen geringeren Unterschied kann man bei den Gurkensprösslingen beobachten. Hierbei ist in beiden Fällen Wasser 2 (Leitung Pöggstall) knapp vor Wasser 1 (Leitung Kirchberg), dicht gefolgt von Wasser 4 (Dach/ Dachrinne) .

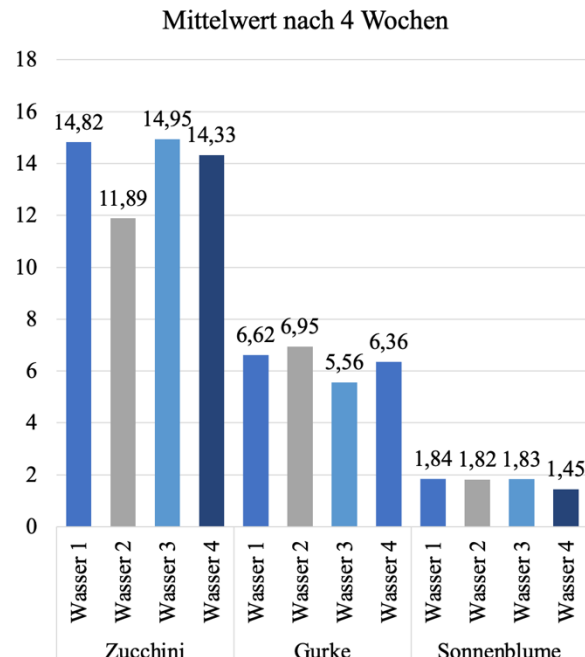
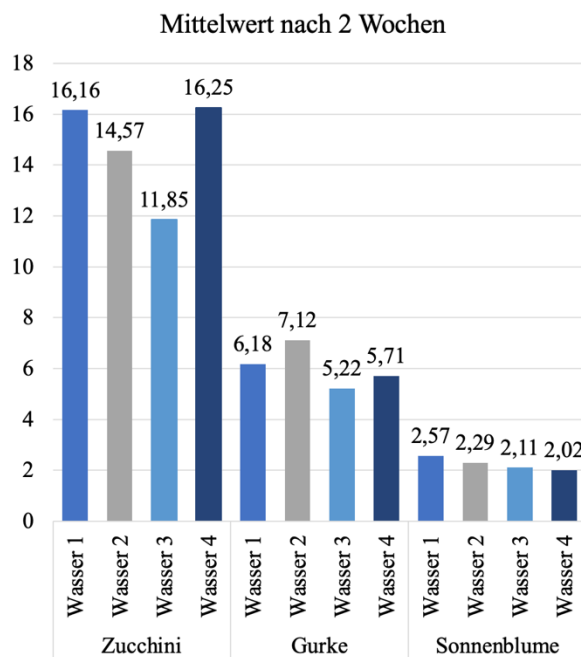


Abbildung 14 Balkendiagramme der mittleren Blattfläche (cm²) nach 2 Wochen für Zucchini, Sonnenblume und Gurke in Abhängigkeit von vier Wasserarten (Wasser 1 = Leitungswasser Kirchberg an der Pielach; Wasser 2 = Leitungswasser Pöggstall; Wasser 3 = reines Regenwasser; Wasser 4 = Regenwasser, gesammelt über Dach und Dachrinne)

Abbildung 15 Balkendiagramme der mittleren Blattfläche (cm²) nach 4 Wochen für Zucchini, Sonnenblume und Gurke in Abhängigkeit von vier Wasserarten (Wasser 1 = Leitungswasser Kirchberg an der Pielach; Wasser 2 = Leitungswasser Pöggstall; Wasser 3 = reines Regenwasser; Wasser 4 = Regenwasser, gesammelt über Dach und Dachrinne)

Blätter

Zucchini

Die nachfolgenden Ergebnisse beziehen sich auf die Zucchini-Sprösslinge und werden in Abbildung 16 dargestellt. Nach zwei Wochen zeigten sich die ersten Blätter bei den Sprösslingen. Aufgrund der kurzen Zeit war die Blattfläche der Blätter noch eher gering, wobei ein deutlicher Anwuchs dieser nach vier Wochen bemerkbar war. Wasser 4 (Dach/ Dachrinne) hatte tendenziell die höchsten Werte bezüglich des Medians und des Maximalwerts, mit einer beträchtlichen Spannweite der Messwerte. Die geringste Streuung war bei Wasser 1 (Leitung

Kirchberg) zu beobachten, wobei hier auch der geringste Maximalwert berechnet wurde. Der niedrigste Medianwert nach zwei Wochen zeigte sich bei Wasser 3 (Regen Pöggstall), wobei sich dies nach vier Wochen stark änderte. Nach einer Wuchsdauer von vier Wochen zeigten sich die Sprösslinge bezüglich des Maximalwerts und des Medians, welche mit Wasser 3 (Regen Pöggstall) gegossen wurden, am erfolgreichsten. Ebenfalls gute Werte erreichten die mit Wasser 4 (Dach/Dachrinne) bewässerten Individuen. Die Ergebnisse von Wasser 2 (Leitung Pöggstall) zeigen zuerst moderate Werte, welche sich jedoch bei einer längeren Bewässerungsphase als schlechteste Bewässerungsquelle herausstellten. Bemerkenswert ist der hohe Ausreißer bei Wasser 3 (Regen Pöggstall) mit 33 cm².

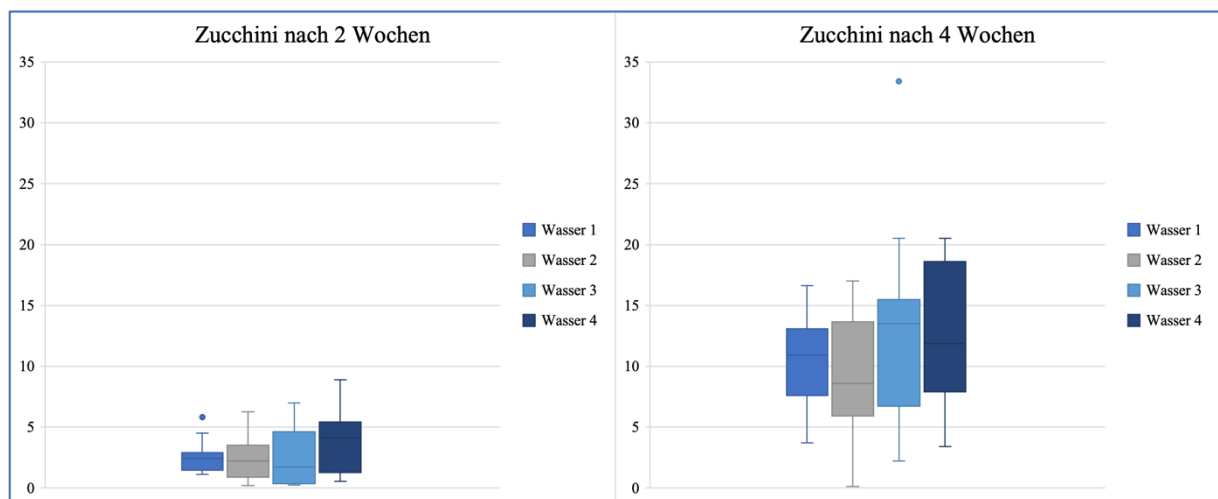


Abbildung 16 Boxplots der Blattfläche (in cm²) von Zucchini nach zwei und vier Wochen in Abhängigkeit von der Wasserquelle (Wasser 1 = Leitungswasser Kirchberg an der Pielach; Wasser 2 = Leitungswasser Pöggstall; Wasser 3 = reines Regenwasser; Wasser 4 = Regenwasser, gesammelt über Dach und Dachrinne)

Gurke

Bei den Gurkensprösslingen war der Unterschied zwischen den zwei Wochen deutlich sichtbar, mit einer starken Zunahme der Blattfläche (Abbildung 17). Bezüglich der Mediane war Wasser 2 (Leitung Pöggstall) bei den Messungen sowohl nach zwei als auch nach vier Wochen am erfolgreichsten. Nach vier Wochen zeigte sich deutlich, dass Individuen, mit Wasser 2 (Leitung Pöggstall) gegossen, die größten Blattflächen aufwiesen. Bei Wasser 2 (Leitung Pöggstall) wurden bereits nach zwei Wochen einzelne sehr große Individuen festgestellt (siehe Ausreißer in Abbildung 17). Ebenfalls große Blattflächen zeigten sich nach zwei Wochen Wuchsdauer, bei Wasser 3 (Regen Pöggstall). Wasser 1 (Leitung Kirchberg) und Wasser 4 (Dach/ Dachrinne) wiesen eher kleinere Blattflächen nach zwei Wochen auf. Nach vier Wochen Wuchsdauer zeigte sich ein deutlicher Anstieg der Blattflächen, wobei Wasser 2 (Leitung Pöggstall) bei Median und oberen 50% der Werte sich deutlich abhebt von den Ergebnissen der übrigen Bewässerungsquellen. Bezüglich Maximalwerte zeigte sich ein geringer Unterschied

zwischen Wasser 1 (Leitung Kirchberg), Wasser 2 (Leitung Pöggstall) und Wasser 4 (Dach/ Dachrinne). Wasser 3 (Regen Pöggstall) hatte den geringsten Maximalwert.

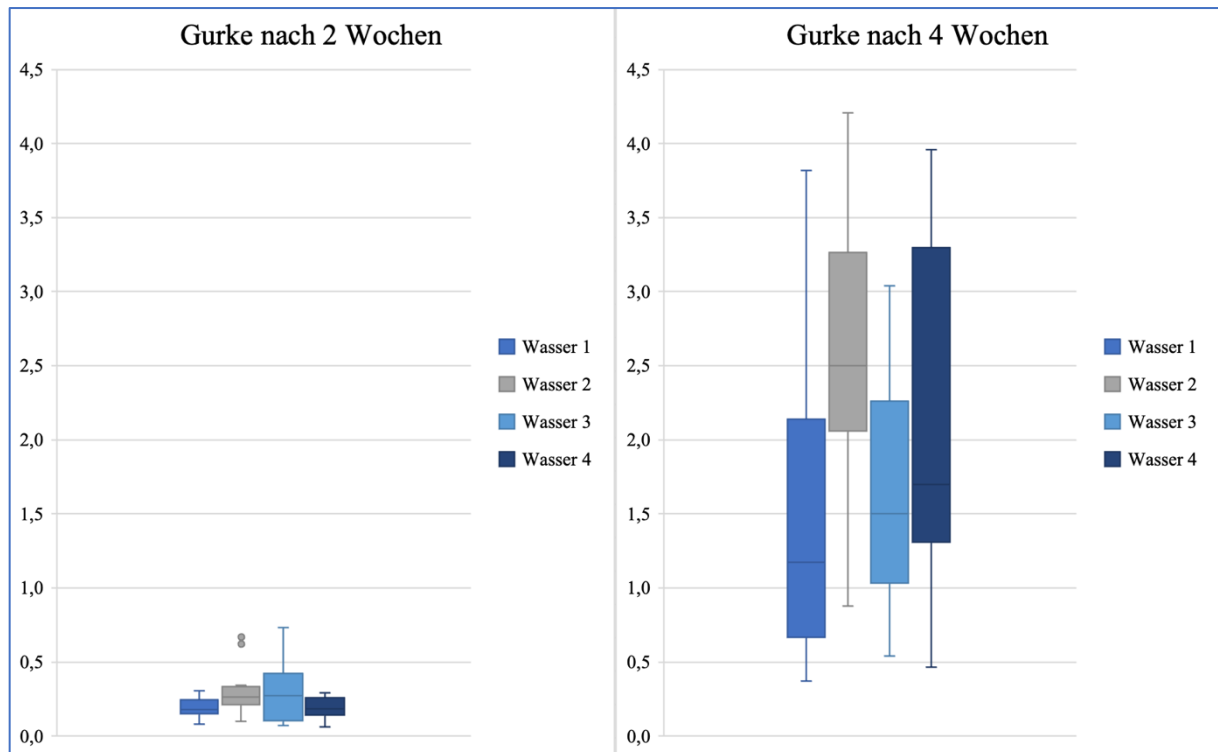


Abbildung 17 Boxplots der Blattfläche (in cm^2) der Gurken nach zwei und vier Wochen in Abhängigkeit von der Wasserquelle (Wasser 1 = Leitungswasser Kirchberg an der Pielach; Wasser 2 = Dach und Dachrinne)

Sonnenblume

Bei den Blattflächen der Sonnenblumensprösslinge war sowohl nach zwei als auch nach vier Wochen Wasser 1 (Leitung Kirchberg) bezüglich der Maximalwerte am erfolgreichsten (Abbildung 18). Besonders schlechte Werte erzielten die Blattflächen der Sonnenblumen nach zwei Wochen bei Individuen gegossen mit Wasser 2 (Leitung Pöggstall). Wasser 3 (Regen Pöggstall) und Wasser 4 (Dach/ Dachrinne) wiesen nach zwei Wochen moderate Werte im Vergleich zu Wasser 1 (Leitung Kirchberg) auf. Nach vier Wochen änderte sich der Erfolg von Wasser 2 (Leitung Pöggstall) deutlich mit einem starken Anstieg der Blattfläche, wohingegen diese bei Wasser 1 (Leitung Kirchberg) kaum zunahm innerhalb des zwei-Wochen-Abstands. Bei allen anderen Wasserquellen konnte eine deutliche Zunahme der Blattgröße innerhalb der zwei Wochen beobachtet werden.

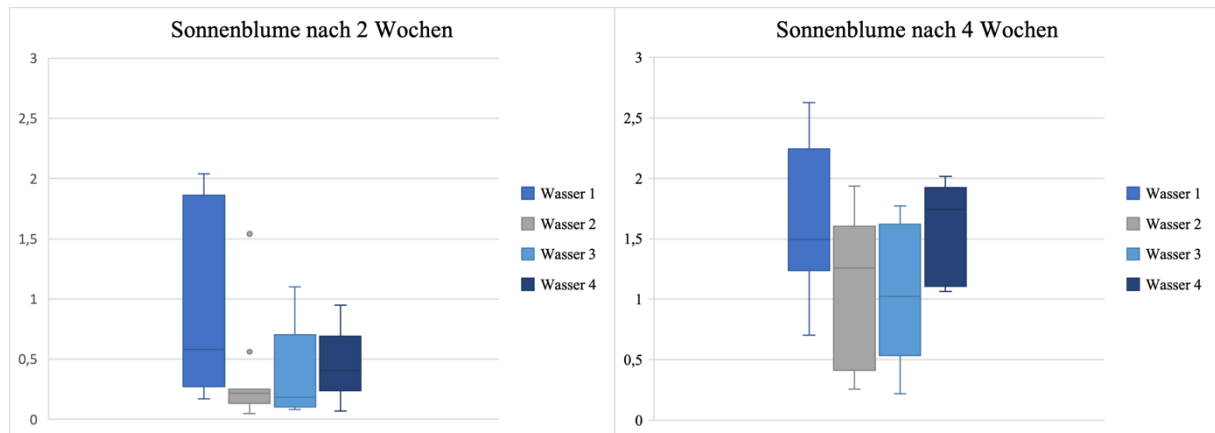


Abbildung 18 Boxplots der Blattfläche (in cm^2) der Sonnenblumen nach zwei und vier Wochen in Abhängigkeit von der Wasserquelle (Wasser 1 = Leitungswasser Kirchberg an der Pielach; Wasser 2 = Leitungswasser Pöggstall; Wasser 3 = reines Regenwasser; Wasser 4 = Regenwasser, gesammelt über Dach und Dachrinne)

Vergleichende Auswertung der Pflanzen

In Tabelle 7 ist ersichtlich, dass die Zucchini- und Sonnenblumenindividuen, die mit Wasser 2 (Leitung Pöggstall) gegossen wurden, sehr geringe Blattflächen aufwiesen. Wasser 1 (Leitung Kirchberg) war hingegen bei Sonnenblumen, sowohl nach zwei Wochen als auch nach vier Wochen, am erfolgreichsten. Bei Zucchini zeigt sich eine Tendenz bezüglich Wasser 4 (Dach/ Dachrinne) mit dem herausragendsten Mittelwert von $3,67 \text{ cm}^2$, welches beinahe eine Differenz von einem Quadratzentimeter zu den nachfolgend besten Werten von Wasser 1 (Leitung Kirchberg) hatte. In den ersten zwei Wochen waren sowohl Wasser 2 (Leitung Pöggstall) als auch Wasser 3 (Regen Pöggstall) bei Zucchini und Sonnenblumen mit den niedrigsten Werten vertreten. Bei den Gurkensprösslingen wurden zu Beginn sowohl bei Wasser 2 (Leitung Pöggstall) als auch bei Wasser 3 (Regen Pöggstall) hohe Werte notiert, wobei nach vier Wochen diese nur bei Wasser 2 (Leitung Pöggstall) konstant gute Werte erzielten. Einen deutlichen Zuwachs erhielten die Gurken, welche mit Wasser 4 (Dach/ Dachrinne) gegossen wurden. Diese hatten einen starken Wachstumszuwachs nach insgesamt vier Wochen Wuchszeit im Vergleich zu zwei Wochen.

Tabelle 7 durchschnittliche Blattfläche (cm²) von Zucchini, Sonnenblume und Gurke nach zwei und vier Wochen in Abhängigkeit von der Wasserquelle. Farbskala zur Verdeutlichung von niedrigen (grün) bis hohen Werten (rot).“

	Zucchini				Gurke				Sonnenblume			
	Wasser 1	Wasser 2	Wasser 3	Wasser 4	Wasser 1	Wasser 2	Wasser 3	Wasser 4	Wasser 1	Wasser 2	Wasser 3	Wasser 4
Mittelwert nach 2 Wochen	2,70	2,52	2,52	3,67	0,19	0,31	0,31	0,18	0,91	0,33	0,37	0,45
Mittelwert nach 4 Wochen	10,54	8,93	12,76	12,51	1,57	2,55	1,61	2,08	1,64	1,15	1,07	1,56

Gesamtvergleich aller Parameter

Insgesamt war bei den Zucchini Wasser 1 (Leitung Kirchberg) die erfolgreichste Wasserquelle, dicht gefolgt von Wasser 4 (Dach/ Dachrinne) mit ebenfalls hohen Wachstumswerten der Versuchspflanzen. Dies erscheint bemerkenswert, da beide Wasserquellen sowohl im Bereich des pH-Werts als auch in der chemischen Zusammensetzung der Mineralsalze große Unterschiede aufwiesen. Wasser 1 (Leitung Kirchberg) war mit einem pH-Wert von 8,4 bis 8,5 deutlich alkalischer als in der Literatur als empfehlenswert angegeben (University of Minnesota Extension 2020). Bei der Fläche der Blätter und Keimblätter zeigte sich Wasserquelle 3 (Regen Pöggstall) als erfolgreichste. Das Leitungswasser (Wasser 2) aus Pöggstall schnitt bezüglich der Zucchini-Sprösslinge insgesamt am schlechtesten ab.

Im Fall der Gurkenindividuen ergab die Auswertung, dass Wasser 1 (Leitung Kirchbger) bei allen Parametern meist gute bis moderate Werte dicht gefolgt von Wasser 4 (Dach/ Dachrinne) erzielte. Die besten Werte erreichte Wasser 2 (Leitung Pöggstall). Die niedrigsten Werte wurden bei Wasser 3 (Regen Pöggstall) bei beinahe allen gemessenen Parametern gemessen, lediglich bei der Sprosslänge nach zwei Wochen war es die bessere Quelle.

Bei den Sonnenblumen zeigt sich ein ähnliches Muster bezüglich der Erfolgsquote von Wasser 1 (Leitung Kirchberg), welches in fünf von sechs Mittelwerten den klaren Spitzenreiter darstellt. Wasser 2 (Leitung Pöggstall) zeigte hierbei bei den Sprosslängen zwar niedrige Werte, hielt sich bezüglich der Blattgrößen aber im moderaten bis hohen Bereich. Ebenfalls gute bis moderate Werte erzielte Wasser 3 (Regen Pöggstall). Dies deckt sich auch mit den in der Literatur angegeben benötigten Nährstoffen und Werte. Die Sonnenblumen hingegen gedeihen laut Sudtradhar (2014) am besten auf Böden mit einem pH-Wert ab 5 oder höher in Kombination mit einer kalkreichen Bodenlösung. Diese Parameter stützen wiederum die Wasseranalyse, da Wasser 1 (Leitung Kirchberg) mit seinem hohen Calcium- und Magnesiumgehalt den klaren Spitzenreiter darstellte.

Tabelle 8 Mittelwerte ($\bar{x}$) pro Pflanzenart und Wasserquelle für alle Messparameter (Sprosslänge, Keimblattfläche, Blattfläche)

	Zucchini				Sonnenblume				Gurke			
	Wasser 1	Wasser 2	Wasser 3	Wasser 4	Wasser 1	Wasser 2	Wasser 3	Wasser 4	Wasser 1	Wasser 2	Wasser 3	Wasser 4
	Sprosslänge (mm)											
$\bar{x}$ nach 2 Wo.	49,50	38,25	41,92	45,83	12,67	12,25	14,50	12,75	19,00	20,17	21,20	18,73
$\bar{x}$ nach 2 Wo.	62,87	39,42	39,33	54,20	16,89	14,33	16,75	15,50	23,27	22,08	19,40	21,92
	Keimblätter (cm ²)											
$\bar{x}$ nach 2 Wo.	16,16	14,57	11,85	16,25	2,57	2,29	2,11	2,02	6,18	7,12	5,22	5,71
$\bar{x}$ nach 2 Wo.	14,82	11,89	14,95	14,33	1,84	1,82	1,83	1,45	6,62	6,95	5,56	6,36
	Keimblätter (cm ²)											
$\bar{x}$ nach 2 Wo.	16,16	14,57	11,85	16,25	2,57	2,29	2,11	2,02	6,18	7,12	5,22	5,71
$\bar{x}$ nach 2 Wo.	14,82	11,89	14,95	14,33	1,84	1,82	1,83	1,45	6,62	6,95	5,56	6,36

8 Diskussion

Die Ergebnisse zeigen teilweise eindeutige Überschneidungen mit dem theoretischen Hintergrund, in einzelnen Bereichen traten jedoch Abweichungen von den dort beschriebenen Zusammenhängen auf. Demnach wäre die Annahme, dass Gurken und Zucchini, da sie zur gleichen Familie der Kürbisgewächse (Cucurbitaceae) gehören, relativ ähnlich auf die Wasserquellen reagieren. Auch die Literatur hat teilweise sehr ähnliche Bedürfnisse für Zucchini und Gurken, wie zum Beispiel eine leicht saure, aber nährstoffreiche Wasserlösung angegeben (Blanchard u. a. 2020; Homm 2021; Department of Agriculture, Foerstry and Fisheries o. D.). Insgesamt hat sich gezeigt, dass sowohl die Pflanzenart, die verwendete Wasserquelle (Leitungs- oder Regenwasser), die Art der Auffangmethode sowie geologische Unterschiede einen Einfluss auf die morphologische Ausprägung der untersuchten Individuen genommen haben.

8.1 Einfluss der Wasserzusammensetzung auf das Pflanzenwachstum

pH-Wert und Wasserhärte

Die Ergebnisse zeigen, dass zwischen den Wasserquellen erhebliche Unterschiede bei den Ausprägungen zu beobachten waren. Wohingegen Zucchini-Sprösslinge das Leitungswasser aus Kirchberg bevorzugten, war bei den Gurkenkeimlingen das Leitungswasser aus Pöggstall die Wasserquelle mit den überragendsten Werten. Die Wasserquellen unterschieden sich (Tabelle 2) massiv in der Zusammensetzung der Nährstoffe sowie auch in Bezug auf die Wasserhärte. Im Vergleich zu diesen deutlich relevanten Faktoren trat der Einfluss des pH-Wertes wesentlich geringer in Erscheinung, was auch Panter (2007) hervorhebt. Die gemessenen Werte überschritten sich nur bedingt mit den Optimalwerten aus der Literatur und waren meist neutral, während dort eher leicht saure bis neutrale Bedingungen betont werden (Blanchard u. a. 2020; Department of Agriculture, Foerstry and Fisheries o.D.; Sutradhar u. a. 2014). Im Falle der gemessenen pH-Werte wurden eher neutral bis bei Wasser 1 (Leitung Kirchberg) leicht alkalische und bei Wasser 4 (Dach/ Dachrinne) leicht saure Werte gemessen. Die Spannbreite war mit Werten zwischen 6,8 bis 8,5 nicht sonderbar groß, weshalb eine Korrelation mit den pH-Werten in Bezug auf die verwendete Wasserquelle für diese Forschungsarbeit als wenig aussagekräftig erscheint. Zwischen den Wasserproben gab es im Gegensatz zu den pH-Werten bezüglich der gelösten Stoffe teilweise gravierende Unterschiede. Obwohl Wasser eine Vielzahl an gelösten Ionen aufweisen kann, ist ein hoher Nährstoffgehalt nicht zwangsläufig ein Garant für gutes Pflanzenwachstum (Panter 2007; Takase u. a. 2010).

Makro- und Mikronährstoffverfügbarkeit

Pflanzen benötigen eine spezifische Zusammensetzung aus Makro- und Mikronährstoffen. In Bezug auf die Makronährstoffe wurden in den Wasserproben Magnesium, Phosphor, Kalium, Calcium und Stickstoff untersucht. Magnesium ist einer der essentiellen Makronährstoffe von Pflanzen und somit ein zentrales Element für optimales Wachstum (Sadava u. a. 2019; Brennicke und Schopfer 2010). Ein Magnesiummangel führt zu einer Reduktion des Chlorophyllgehalts in den grünen Pflanzenteilen, was wiederum mit einer verringerten Photosyntheseaktivität und rückwirkend mit einer Hemmung des Pflanzenwachstums einhergeht (Guo u. a. 2016). Diese Erkenntnisse wurden auch von der Studie bestätigt. Dabei hatte Leitungswasser mit einem sehr hohen Magnesiumwert sehr gute bis gute Ergebnisse bezüglich des Wachstums. Dem gegenüber zeigten sich bei dem reinen Regenwasser aus Pöggstall oft niedrige bis mittlere Werte und nur selten sehr hohe Ergebnisse. Die Analysen zeigen auch bei dem Makronährstoff Calcium ähnliche Werte, mit abermals hohen Ergebnissen für Wasser 1 (Leitung Kirchberg) und geringen Spuren bei Wasser 3 (Regen Pöggstall). Da Magnesium ebenfalls für ein optimales Wachstum unerlässlich ist, lassen sich somit die geringe Wuchshöhe und Blattgröße bei Wasser 3 (Regen Pöggstall) erklären. Die Sprosslänge zeigt, dass Individuen, welche mit Wasser 3 (Regen Pöggstall) gegossen wurden, bei der ersten Messung teilweise sehr groß wuchsen. Diese Ergebnisse decken sich auch mit einem leicht erhöhten Gehalt an Magnesium und Calcium. Gegen diese Argumentation spricht jedoch der Anstieg der Keimblatt- und Blattgröße bei Zucchinikeimlingen. Diese stieg trotz Reduktion von Magnesium und Calcium an. Ein weiteres für das Wachstum entscheidendes Makroelement ist Stickstoff, welchen Pflanzen vor allem in Form von NO_3^- und Ammonium (NH_4^+) aufnehmen (Zayed u. a. 2023). Nitrat nimmt ebenfalls Einfluss auf das Wachstum und die Bildung von Chlorophyll, da ein Mangel zu Wachstumsdepressionen und Ertragsminderungen führen kann (Sandhu u. a. 2021; Wang u. a. 2024). Die Nitratkonzentration nimmt einen so wichtigen Faktor bezüglich des optimalen Wachstums ein, dass in herkömmlichen Düngern meist Nitrat beigemischt ist, da dieses Makroelement ein zentraler Leitnährstoff für die Pflanzenernährung ist (Zayed u. a. 2023). Hohe Nitratwerte können dagegen jedoch zu einer Überdüngung führen (Wang u. a. 2024). Auch hierbei zeigten sich im Fall von Wasser 3 (Regen Pöggstall) deutliche Ausprägungen. Die Nitratwerte nahmen von der ersten zur zweiten Messung zu. Dieses Muster spiegelt sich auch in der Ausprägung der Blattgrößen. Unter Berücksichtigung der geringen Magnesium- und Calciumwerte sowie des Anstiegs des Nitratgehalts wird ersichtlich, warum die Pflanzensprosslinge einen Wachstumsanstieg von der ersten zur zweiten Messung zeigten. Bezüglich der Makroelemente hat zusätzlich Phosphor eine bedeutende Rolle für den

Energiehaushalt der Pflanze sowie auch für Wachstum und Bildung von Blüten und Früchten (Shen u. a. 2011). In den Wasserproben wurde Phosphor in Form von Orthophosphat (P-PO_4) in allen Wasserquellen mit besonders hohen Werten bei Regenwasser (sowohl Wasser 3 als auch 4) festgestellt. Ebenfalls spielt Kalium eine wichtige Rolle, insbesondere für den osmotischen Prozess (Kadereit u. a. 2014). In Hinblick auf die gemessenen Makronährstoffe lassen sich die Ergebnisse der Forschung bestätigen. Wasser 1 (Leitung Kirchberg) hatte bei allen gemessenen Makronährstoffen (C, Mg, K, N) hohe bis moderate Werte, welche sich auch bei den Keimblatt- und Blattgrößen sowie bei der Wuchshöhe der Sprosse zeigen. Eine eindeutige Korrelation zwischen Nährstoffgehalt und Wuchshöhe sowie Blattgröße lässt sich jedoch nicht erschließen, da Wasser 2 (Leitung Pöggstall) mit relativ moderaten Werten sehr große Blätter bei den Gurken erzielte. Ebenfalls gute Blatt- und Keimblattgrößen wurden bei Wasser 3 (Regen Pöggstall) und 4 (Dach/ Dachrinne), welche durchwegs eine sehr geringe Anzahl an gelösten Nährstoffen hatten, dokumentiert. Daraus kann geschlossen werden, dass eine eindeutige Korrelation zwischen Nährstoffgehalt und Wachstum nicht lediglich auf den Nährstoffgehalt zurückzuführen ist, unterstützt aber die durchwegs guten Ergebnisse von Wasser 1 (Leitung Kirchberg).

Regionale Unterschiede und geologische Einflüsse

Die Ergebnisse hinsichtlich Calcium und Magnesium waren in Bezug auf die Herkunft des Wassers nicht überraschend. Das Leitungswasser aus Kirchberg stammt aus der Voralpenregion, welche geologisch von Kalkgestein, Dolomit, Mergel- und Sandkalkstein geprägt ist (BMLFUW 2017; Sakin und Yanardag 2024; Umweltbundesamt 2017). In der Region rund um Pöggstall liegt hingegen vorwiegend Granitgestein aus der böhmischen Masse vor (Umweltbundesamt 2017). In Bezug auf die verwendeten Wasserquellen erzielte Wasser 1 (Leitung Kirchberg) die überragendsten Werte, die übrigen Wasserquellen wiesen in bestimmten Bereichen gute bis hohe Werte auf. Die Blätter und Keimblätter der Gurken wuchsen mit dem Leitungswasser aus Pöggstall (Wasser 2) am besten. Ebenfalls ertragreiche Ergebnisse erzielten die Zucchini-Sprösslinge mit dem Regenwasser.

Praktische und ökologische Bedeutung der Ergebnisse

In Bezug auf die ökologische und praktische Anwendung der Erkenntnisse der Forschungsarbeit, hat sich gezeigt das Regenwasser durchaus eine geeignete Wasserquelle für den heimischen Gartenanbau ist. Teilweise waren bei manchen Pflanzen deutliche Verbesserungen zwischen den Ergebnissen nach zwei und vier Wochen zu erkennen, was durchaus für den Einsatz von Regenwasser spricht. Zusätzlich lagen die Unterschiede bezüglich

der verwendeten Wasserquellen häufig in einem sehr geringen Bereich. Die durchschnittliche Blattgröße der Gurken nach vier Wochen war bei Wasser 1 (Leitung Kirchberg) bei 6,62 cm², bei Wasser 2 (Leitung Pöggstall) bei 6,95 cm² und bei Wasser 4 (Dach/ Dachrinne) im Bereich von 6,36 cm². Lediglich Wasser 3 (Regen Pöggstall) hatte mit einer durchschnittlichen Größe von 5,56 cm² eine deutlich geringere Fläche. Demnach kann daraus geschlossen werden, dass die Blattgröße bei Wasser 4 (Dach/ Dachrinne) zwar geringer ausfiel, der Unterschied zu den übrigen Wasserproben jedoch nur minimal war. Die Tendenz zeigte sich auch bei den anderen Werten, wobei Wasser 1 (Leitung Kirchberg) insgesamt die besten Ergebnisse erzielte. Dennoch waren die Resultate der anderen Wasserquellen durchwegs zufriedenstellend und meist nur in geringem Abstand zu den anderen Ergebnissen. Dadurch lässt sich bezüglich der Erfolgsquote des Wassers in Bezug auf das Wachstum der Pflanzen keine eindeutige Empfehlung abgeben. In Bezug auf die ökologischen Vorteile ist jedoch dadurch bestätigt, dass sich Regenwasser im heimischen Gartenanbau durchaus als sinnvolle Gießquelle eignet. Besonders das Regenwasser aus der Dachrinne (Wasser 4) zeigte dabei meist moderate bis sogar hervorragende Ergebnisse. Berücksichtigt man, dass der durchschnittliche Österreicher von 126 l täglichen Trinkwasserbedarfs etwa 11 Liter für die Bewässerung von Pflanzen im Garten verwendet und Trinkwasserknappheit in den heißen Monaten in den letzten Jahren immer mehr ansteigt, sollte die Sammlung von Wasser zu diesem Zweck durchaus in Erwägung gezogen werden (BML 2025; 2021). Bei einem Verbrauch von 11 Litern pro Tag summiert sich dieser in einem Monat auf etwa 330 Liter Trinkwasser. In den Monaten März bis August kam es im Jahr 2024 zu einem durchschnittlichen Niederschlag von ca. 108 mm (Stangl u. a. 2025), und Bewässerungsverbote standen im Raum. Das Sammeln von Wasser über Dach und Dachrinne erweist sich somit sowohl in Bezug auf das Pflanzenwachstum als auch zur Sicherstellung der Bewässerung während sommerlicher Gießverbote als nützlich.

9 Ausblick

Die Ergebnisse haben einen deutlichen Unterschied in Bezug auf den geologischen Ursprung von Wasserquellen aufgezeigt. Ein klarer Vorteil des Regenwassers ließ sich jedoch nicht nachweisen.

Für künftige Untersuchungen wäre insbesondere ein direkter Vergleich zwischen Regenwasser aus Kirchberg und dem dortigen Leitungswasser von Interesse. Ebenfalls erscheint eine vertiefte Analyse innerhalb einzelner Pflanzenfamilien sinnvoll, da in Quellen oftmals Empfehlungen für solche angegeben werden. Wie zum Beispiel der Hinweis auf Nitratsensitivität bei Cucurbitaceae und Asteraceae (Britto und Kronzucker 2002).

Von besonderer Relevanz wäre darüber hinaus eine längere Beobachtung von Wasserproben, da bei den Regenwasserproben teilweise erhebliche Unterschiede zwischen den Messungen bestanden. In diesem Zusammenhang wird in der Literatur auf das sogenannte First-Flush-Phänomen hingewiesen. Bei ersten heftigen Regengüssen nach langen Trockenperioden werden mehr Schadstoffe und eine größere Menge an Nährstoffen aus dem organischen Material in und auf Dach und Dachrinne ausgespült (Tobiszewski u. a. 2010). Laut den Quellen eignet sich das Wasser nach langen Trockenperioden nicht und eine Empfehlung zu einer Ableitung des First-Flush-Wassers oder einem Filter wird hervorgehoben. Für die gewonnenen Quellen wurde weder ein Filter noch eine Ableitung des First-Flush berücksichtigt.

Zusätzlich zu den beobachteten Arten wäre eine weitere Spannbreite an Pflanzen aus dem Gartenbereich interessant, eventuell mit typischen Vertretern wie Kopfsalat, Tomate, Kohlrabi, Brokkoli oder Ähnlichem. Insgesamt zeigt sich, dass die Wahl der Wasserquelle komplexer ist und nicht nur das Pflanzenwachstum als Parameter, sondern auch aktuelle ökologische Vorteile in Betracht gezogen werden müssen. Während sowohl Leitungs- als auch Regenwasser Vor- und Nachteile zeigten, wird deutlich, dass aufgrund der geologischen Lage und der derzeitigen Problematik der Wasserknappheit keine eindeutige Aussage getroffen werden kann.

Die Arbeit bietet einen ersten Einblick in die Unterschiede, welche durch die Bewässerungsquelle entstehen können, verdeutlicht jedoch, dass noch eine große Lücke bezüglich pflanzenfamilienspezifischer Abweichungen und umfassenderen Vergleichen zwischen regionalen Unterschieden von Regen- und Leitungswasser besteht.

10 Literaturverzeichnis

- Allen, S. E., A. Carlisle, E. J. White, und C. C. Evans. 1968. „The Plant Nutrient Content of Rainwater“. *The Journal of Ecology* 56 (2): 497. <https://doi.org/10.2307/2258247>.
- Blanchard, Caroline, Daniel Wells, Jeremy Pickens, und David Blersch. 2020. „Effect of pH on Cucumber Growth and Nutrient Availability in a Decoupled Aquaponic System with Minimal Solids Removal“. *Horticulturae* 6 (1): 10. <https://doi.org/10.3390/horticulturae6010010>.
- BML. 2021. *Wasserschatz Österreichs*. Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus. https://www.bmluk.gv.at/dam/jcr:c6bb05d2-418e-4905-a66c-325a7d39756c/Bericht_Wasserschatz_Zusammenfassung_gsb.pdf.
- BML. 2025. *Trinkwasserverbrauch in Österreich*. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft. <https://www.bmluk.gv.at/themen/wasser/wasser-oesterreich/zahlen/trinkwasserverbrauch.html>.
- BMLFUW. 2017. *Hydrochemische Karte Österreichs 2017*. Bundesamt für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. https://www.bmluk.gv.at/dam/jcr:e19211cb-5b3c-4e70-b1a8-612d28165f5e/Hydrochemische-Karte%20Österreichs_20-11-2017.pdf.
- Brendel, Oliver. 2021. „The Relationship between Plant Growth and Water Consumption: A History from the Classical Four Elements to Modern Stable Isotopes“. *Annals of Forest Science* 78 (2): 47. <https://doi.org/10.1007/s13595-021-01063-2>.
- Brennicke, Axel, und Peter Schopfer. 2010. *Pflanzenphysiologie*. Spektrum Akademischer Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-3-8274-2352-8>.
- Britto, Dev T., und Herbert J. Kronzucker. 2002. „NH₄⁺ Toxicity in Higher Plants: A Critical Review“. *Journal of Plant Physiology* 159 (6): 567–84. <https://doi.org/10.1078/0176-1617-0774>.
- Campbell, Neil A., Lisa A. Urry, Michael L. Cain, Steven A. Wasserman, Peter V. Minorsky, und Jane B. Reece. 2019. *Campbell Biologie*. 11., Aktualisierte Auflage. Herausgegeben von Achim Paululat und Jürgen J. Heinisch. Pearson Studium - Biologie Series. Pearson.
- Dallmann, Margret. 2009. „Düngungsschnelltests Zierpflanzenbau“. *Schriftenreihe des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie* 10.
- Department of Agriculture, Foerstry and Fisheries. o.D. *Cucurbita pepo*.
- Guo, Wanli, Hussain Nazim, Zongsuo Liang, und Dongfeng Yang. 2016. „Magnesium Deficiency in Plants: An Urgent Problem“. *The Crop Journal* 4 (2): 83–91. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2015.11.003>.
- Hartin, Janet S., David W. Fujino, Lorence R. Oki, S. Karrie Reid, Charles A. Ingels, und Darren Haver. 2018. „Water Requirements of Landscape Plants Studies Conducted by the University of California Researchers“. *HortTechnology* 28 (4): 422–26. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH04037-18>.

- Heldt, Hans Walter, und Birgit Piechulla. 2015. *Pflanzenbiochemie*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-44398-9>.
- Helmut, Reiner. 1992. „Kulturpflanzen aus Amerika erobern Europa: Die Sonnenblume (Heliantus Annuus L.) - Feschichte einer Nutzpflanze aus Amerika“. *Kataloge des OÖ Landesmuseums* 61.
- Homm, Caroline. 2021. „Cucumis sativus var. sativus – Gurke (Cucurbitaceae) Gemüsepflanze der Jahre 2019/2020“. *Jahrbuch des Bochumer Botanischen Vereins* 12: 293–98.
- Kadereit, Joachim W., Christian Körner, Benedikt Kost, und Uwe Sonnewald. 2014. *Strasburger – Lehrbuch der Pflanzenwissenschaften*. 37. Aufl. 2014. Herausgegeben von E. Strasburger. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-54435-4>.
- Lexikon der Biologie. 2025a. *Korbblüter*. Spektrum Akademischer Verlag. <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie/korbbluetler/37074>.
- Lexikon der Biologie. 2025b. *Kürbisgewächse*. Spektrum Akademischer Verlag. <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie/kuerbisgewaechse/37699>.
- Lexikon der Biologie. 2025c. *Systematik*. Spektrum Akademischer Verlag. <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie/systematik/65147>.
- Lexikon der Biologie. 2025d. „Turgor“. In *Lexikon der Biologie*. Spektrum Akademischer Verlag. <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie/turgor/68092>.
- Lüttge, Ulrich. 2017. *Faszination Pflanzen*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-52983-6>.
- Nover, Lutz, Elmar W. Weiler, und Wilhelm Kuhn. 2008. *Allgemeine und molekulare Botanik*. 1. Auflage. Thieme.
- Panter, Karen. 2007. „Water quality determines plant health“. *Barnyards & Backyards* 5: 20–22.
- Pfeifer, Theresa. 2025. *Inspektionsbericht*. Überprüfung des Trinkwassers. Pöggstall.
- Qadir, Manzoor, D. Wichelns, Liqa Raschid-Sally, u. a. 2007. *Agricultural Use of Marginal-Quality Water: Opportunities and Challenges*. 425–57. <https://doi.org/10.22004/AG.ECON.158131>.
- Sadava, David, David M. Hillis, H. Craig Heller, und Sally D. Hacker. 2019. *Purves Biologie*. Herausgegeben von Jürgen Markl. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-58172-8>.
- Sakin, Erdal, und Ibrahim Halil Yanardag. 2024. „The Advantages and Disadvantages of Calcareous Soils“. In *Agricultural Research Updates. Volume 45*, 1st ed. Agricultural Research Updates Series 45. Nova Science Publishers, Incorporated.
- Sandhu, Nitika, Mehak Sethi, Aman Kumar, Devpriya Dang, Jasneet Singh, und Parveen Chhuneja. 2021. „Biochemical and Genetic Approaches Improving Nitrogen Use

- Efficiency in Cereal Crops: A Review“. *Frontiers in Plant Science* 12 (Juni): 657629. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.657629>.
- Scheidl, Gerhard. 2024. *Inspektionsbericht*. Untersuchung von Trinkwasser. Kirchberg an der Pielach.
- Schubert, Sven. 2024. *Pflanzenernährung*. 4. Aufl. Utb GmbH. <https://doi.org/10.36198/9783838561530>.
- Shen, Jianbo, Lixing Yuan, Junling Zhang, u. a. 2011. „Phosphorus Dynamics: From Soil to Plant“. *Plant Physiology* 156 (3): 997–1005. <https://doi.org/10.1104/pp.111.175232>.
- Stangl, Martha, Herbert Formayer, Alexander Orlik, u. a. 2025. *Klimastatusbericht Österreich 2024*. Climate Change Centre Austria.
- Stephens, James M. 2003. „Squash, Zucchini—Cucurbita pepo L.: HS675/MV142, 5/2003“. *EDIS* 2003 (5). <https://doi.org/10.32473/edis-MV142-1994>.
- Sutradhar, Apurba, Romulo P. Lollato, Katy Butchee, und Daryl B. Arnall. 2014. „Determining Critical Soil pH for Sunflower Production“. *International Journal of Agronomy* 2014: 1–13. <https://doi.org/10.1155/2014/894196>.
- Takase, M., J.D. Owusu-Seky, und L.K. Sam-Amoah. 2010. „Effects of Water of Different Quality on Tomato Growth and Development“. *Asian Journal of Plant Sciences* 9 (6): 380–84. <https://doi.org/10.3923/ajps.2010.380.384>.
- Tobiszewski, Marek, Żaneta Polkowska, Piotr Konieczka, und Jacek Namieśnik. 2010. *Roofing Materials as Pollution Emitters – Concentration Changes during Runoff*. Polish Journal of Environmental Studies, Bd. 19 (5): 1019–28.
- Umweltbundesamt. 2017. *Hydrochemische Karte Österreichs*. Umweltbundesamt. 1:500000. https://www.bmluk.gv.at/dam/jcr:32e3a2ab-1dfd-4bff-bc62-797a42a34d71/A0_Hydrochemie_500000_versARCGIS10_5_1.pdf.
- University of Minnesota Extension. 2020. *Growing summer squash and zucchini*. <https://extension.umn.edu/vegetables/growing-summer-squash-and-zucchini>.
- Wang, Qian, Shasha Li, Junrong Li, und Dong Huang. 2024. „The Utilization and Roles of Nitrogen in Plants“. *Forests* 15 (7): 1191. <https://doi.org/10.3390/f15071191>.
- Willigen, Clare van der. 2014. „How Water Travels up Trees“. *Science in School* 29: 41–48.
- Zayed, Omar, Omar A. Hewedy, Ali Abdelmoteleb, u. a. 2023. „Nitrogen Journey in Plants: From Uptake to Metabolism, Stress Response, and Microbe Interaction“. *Biomolecules* 13 (10): 1443. <https://doi.org/10.3390/biom13101443>.

11 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Versuchsdesign Bepflanzung und Bewässerung (Quelle: Ballwein).....	23
Abbildung 2 Anzuchthauben (Quelle: Ballwein).....	23

Abbildung 3 Scans Zucchini Keimblätter und Blätter nummeriert von 1 bis 6 mit Angabe der Wasserquelle im rechten unteren Bildrand (Quelle: Ballwein)	24
Abbildung 4 Sprosslänge der untersuchten Individuen (mm) zum Messzeitpunkt 2 Wochen nach Bepflanzung. (Wasser 1 = Leitungswasser Kirchberg an der Pielach; Wasser 2 = Leitungswasser Pöggstall; Wasser 3 = reines Regenwasser; Wasser 4 = Regenwasser, gesammelt über Dach und Dachrinne)	32
Abbildung 5 Sprosslänge der Zucchini (mm) zum Messzeitpunkt 4 Wochen nach Bepflanzung. (Wasser 1 = Leitungswasser Kirchberg an der Pielach; Wasser 2 = Leitungswasser Pöggstall; Wasser 3 = reines Regenwasser; Wasser 4 = Regenwasser, gesammelt über Dach und Dachrinne)	33
Abbildung 6 Sprosslänge der Gurken (mm) zum Messzeitpunkt 4 Wochen nach Bepflanzung. (Wasser 1 = Leitungswasser Kirchberg an der Pielach; Wasser 2 = Leitungswasser Pöggstall; Wasser 3 = reines Regenwasser; Wasser 4 = Regenwasser, gesammelt über Dach und Dachrinne)	33
Abbildung 7 Sprosslänge der Sonnenblumen (mm) zum Messzeitpunkt 4 Wochen nach Bepflanzung. (Wasser 1 = Leitungswasser Kirchberg an der Pielach; Wasser 2 = Leitungswasser Pöggstall; Wasser 3 = reines Regenwasser; Wasser 4 = Regenwasser, gesammelt über Dach und Dachrinne)	34
Abbildung 8 Fläche der Keimblätter der Zucchini (mm ²) zum Messzeitpunkt 2 Wochen nach Bepflanzung. (Wasser 1 = Leitungswasser Kirchberg an der Pielach; Wasser 2 = Leitungswasser Pöggstall; Wasser 3 = reines Regenwasser; Wasser 4 = Regenwasser, gesammelt über Dach und Dachrinne)	38
Abbildung 9 Fläche der Keimblätter der Zucchini (mm ²) zum Messzeitpunkt 4 Wochen nach Bepflanzung. (Wasser 1 = Leitungswasser Kirchberg an der Pielach; Wasser 2 = Leitungswasser Pöggstall; Wasser 3 = reines Regenwasser; Wasser 4 = Regenwasser, gesammelt über Dach und Dachrinne)	39
Abbildung 10 Fläche der Keimblätter der Gurken (mm ²) zum Messzeitpunkt 2 Wochen nach Bepflanzung. (Wasser 1 = Leitungswasser Kirchberg an der Pielach; Wasser 2 = Leitungswasser Pöggstall; Wasser 3 = reines Regenwasser; Wasser 4 = Regenwasser, gesammelt über Dach und Dachrinne)	39
Abbildung 11 Fläche der Keimblätter der Gurken (mm ²) zum Messzeitpunkt 4 Wochen nach Bepflanzung. (Wasser 1 = Leitungswasser Kirchberg an der Pielach; Wasser 2 = Leitungswasser Pöggstall; Wasser 3 = reines Regenwasser; Wasser 4 = Regenwasser, gesammelt über Dach und Dachrinne)	40

Abbildung 12 Fläche der Keimblätter der Sonnenblumen (mm ²) zum Messzeitpunkt 2 Wochen nach Bepflanzung. (Wasser 1 = Leitungswasser Kirchberg an der Pielach; Wasser 2 = Leitungswasser Pöggstall; Wasser 3 = reines Regenwasser; Wasser 4 = Regenwasser, gesammelt über Dach und Dachrinne)	41
Abbildung 13 Fläche der Keimblätter der Sonnenblumen (mm ²) zum Messzeitpunkt 4 Wochen nach Bepflanzung. (Wasser 1 = Leitungswasser Kirchberg an der Pielach; Wasser 2 = Leitungswasser Pöggstall; Wasser 3 = reines Regenwasser; Wasser 4 = Regenwasser, gesammelt über Dach und Dachrinne)	41
Abbildung 14 Balkendiagramme der mittleren Blattfläche (cm ²) nach 2 Wochen für Zucchini, Sonnenblume und Gurke in Abhängigkeit von vier Wasserarten (Wasser 1 = Leitungswasser Kirchberg an der Pielach; Wasser 2 = Leitungswasser Pöggstall; Wasser 3 = reines Regenwasser; Wasser 4 = Regenwasser, gesammelt über Dach und Dachrinne).....	42
Abbildung 15 Balkendiagramme der mittleren Blattfläche (cm ²) nach 4 Wochen für Zucchini, Sonnenblume und Gurke in Abhängigkeit von vier Wasserarten (Wasser 1 = Leitungswasser Kirchberg an der Pielach; Wasser 2 = Leitungswasser Pöggstall; Wasser 3 = reines Regenwasser; Wasser 4 = Regenwasser, gesammelt über Dach und Dachrinne).....	42
Abbildung 16 Boxplots der Blattfläche (in cm ²) von Zucchini nach zwei und vier Wochen in Abhängigkeit von der Wasserquelle (Wasser 1 = Leitungswasser Kirchberg an der Pielach; Wasser 2 = Leitungswasser Pöggstall; Wasser 3 = reines Regenwasser; Wasser 4 = Regenwasser, gesammelt über Dach und Dachrinne)	43
Abbildung 17 Boxplots der Blattfläche (in cm ²) der Gurken nach zwei und vier Wochen in Abhängigkeit von der Wasserquelle (Wasser 1 = Leitungswasser Kirchberg an der Pielach; Wasser 2 = Dach und Dachrinne)	44
Abbildung 18 Boxplots der Blattfläche (in cm ²) der Sonnenblumen nach zwei und vier Wochen in Abhängigkeit von der Wasserquelle (Wasser 1 = Leitungswasser Kirchberg an der Pielach; Wasser 2 = Leitungswasser Pöggstall; Wasser 3 = reines Regenwasser; Wasser 4 = Regenwasser, gesammelt über Dach und Dachrinne)	45

12 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Dokumentierung der Messwerte; Wasser 1, Zucchini (Quelle: Ballwein)	26
Tabelle 2 Auswertung der Wasserquellen zwei verschiedener Proben vom 15.3.2025 und vom 30.03.2025 (P-PO ₄ = Orthophosphat, N-NO ₂ = Nitrit, N-NH ₄ = Ammonium)	29
Tabelle 3 Messwerte der Wasserproben mit Ergebnissen der Prüfberichte (Scheidl 2024; Pfeifer 2025).....	30

Tabelle 4 Mittelwert, Minimal- und Maximalwerte der Sprosslänge (mm) der untersuchten Individuen (Zucchini), getrennt nach Messzeitpunkten (2 bzw. 4 Wochen nach Bepflanzung) und Wasserquellen. Wasser 1 = Leitungswasser Kirchberg an der Pielach; Wasser 2 = Leitungswasser Pöggstall; Wasser 3 = reines Regenwasser; Wasser 4 = Regenwasser, gesammelt über Dach und Dachrinne)	35
Tabelle 5 Mittelwert, Minimal- und Maximalwerte der Sprosslänge (mm) der untersuchten Individuen (Gurke), getrennt nach Messzeitpunkten (2 bzw. 4 Wochen nach Bepflanzung) und Wasserquellen. Wasser 1 = Leitungswasser Kirchberg an der Pielach; Wasser 2 = Leitungswasser Kirchberg an der Pielach; Wasser 2 = Leitungswasser Pöggstall; Wasser 3 = reines Regenwasser; Wasser 4 = Regenwasser, gesammelt über Dach und Dachrinne)	36
Tabelle 6 Mittelwert, Minimal- und Maximalwerte der Sprosslänge (mm) der untersuchten Individuen (Sonnenblume), getrennt nach Messzeitpunkten (2 bzw. 4 Wochen nach Bepflanzung) und Wasserquellen. Wasser 1 = Leitungswasser Kirchberg an der Pielach; Wasser 2 = Leitungswasser Pöggstall; Wasser 3 = reines Regenwasser; Wasser 4 = Regenwasser, gesammelt über Dach und Dachrinne)	37
Tabelle 7 durchschnittliche Blattfläche (cm ²) von Zucchini, Sonnenblume und Gurke nach zwei und vier Wochen in Abhängigkeit von der Wasserquelle. Farbskala zur Verdeutlichung von niedrigen (grün) bis hohen Werten (rot).“	46
Tabelle 8 Mittelwerte (Ø) pro Pflanzenart und Wasserquelle für alle Messparameter (Sprosslänge, Keimblattfläche, Blattfläche).....	47