



Technische Hochschule Bingen
Fachbereich 2 – Technik, Informatik und Wirtschaft
Angewandte Bioinformatik (B. Sc.)

Das Wachstumsverhalten von Kresse unter Extrembedingungen

**Wie sich pH-Wert und Salzgehalt des Bodens auf
Gartenkresse auswirken**

Wissenschaftliche Hausarbeit für WIAS
abgegeben am: 31.08.2023
von: Franz-Eric Sill

Dozent: Prof. Dr. Asis Hallab

Zusammenfassung

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Frage, wie sich das Wachstumsverhalten von Gartenkresse unter extremen Bedingungen verändert, hierbei in Betrachtung der Salzkonzentration und der Säure des Gießwassers. Die Fragestellung ist dadurch entstanden, dass Gartenkresse scheinbar ziemlich anspruchslos weltweit verbreitet ist und gedeiht. Um das Problem anzugehen, wurde ein Experiment entwickelt und mehrfach durchgeführt, in dem über 14 Tage die Wuchshöhen dreier Versuchsgruppen von Gartenkresse gemessen werden. Eine der Gruppen wird dabei mit normalem Leitungswasser gegossen und dient somit als Nullprobe zur Referenz. Die zweite Gruppe wird mit salzigem und die Dritte mit saurem Medium bewässert. Im Anschluss werden die Ergebnisse ausgewertet, wonach Salz definitiv einen hemmenden Einfluss auf das Wachstum zu haben scheint. Für das saure Umfeld müssen noch Nachuntersuchungen erfolgen, da die Messwerte der hier betrachteten Durchführung sehr von denen der anderen abweichen.

Abstract

This thesis deals with the question of how the growth behavior of garden cress changes under extreme conditions, considering the salt concentration and the acidity of the irrigation water. The question arose from the fact that garden cress seems to grow undemanding around the globe. To face the problem, an experiment was designed and carried out several times, in which the growth heights of three experimental groups of garden cress were measured over 14 days. One of the groups is watered with normal tap water and serves as a blank sample for reference. The second group is watered with salty and the third with acidic medium. Afterwards, the results are evaluated, according to which salt definitely seems to have an inhibiting influence on the growth. For the acidic environment, further investigations are necessary, as the measured values of this run differ greatly from those of the others.

Literatur

- [Red12] Redaktion Pflanzenforschung.de. *Stress durch zu viel Salz*. (Zugriff am 26.02.2023). 2012. URL: <https://www.pflanzenforschung.de/de/pflanzenwissen/journal/stress-durch-zu-viel-salz-2118>.
- [Sch22] Verena Schmidt. *Gartenkresse*. (Zugriff am 26.02.2023). 2022. URL: <https://www.mein-schoener-garten.de/pflanzen/gemuese/gartenkresse>.
- [Spe01] Spektrum Akademischer Verlag. *Nährstoffverfügbarkeit*. (Zugriff am 26.02.2023). 2001. URL: <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie-kompakt/naehrstoffverfuegbarkeit/7992>.
- [TU 23] TU Dortmund. *Tabelle der t-Verteilung*. (Zugriff am 25.02.2023). 2023. URL: https://www.statistik.tu-dortmund.de/fileadmin/user_upload/Lehrstuehle/Oekonometrie/Lehre/WiSo0ekoSS16/tabelletV.pdf.

Abbildungsverzeichnis

1	Vorbereitung des Experiments	4
2	t-Tests	6
3	lineare Entwicklung der Messwerte	7
4	Messwerte als Box-Plot	7
5	Wertevergleich mit anderen Durchführungen	8
6	Pflanzen am letzten Tag	8

Tabellenverzeichnis

1	Materialien	2
2	t-Test-Ergebnisse	6

Inhaltsverzeichnis

Abstract	II
Literatur	III
Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis	V
1 Einleitung	1
2 Material und Methoden	2
2.1 Durchführung	4
3 Ergebnisse	6
4 Diskussion	9

1 Einleitung

Kressen (*Lepidium*) sind krautige oder strauchartige Pflanzen der Familie der Kreuzblütergewächse und werden vielseitig in der Küche verwendet, da sie vitaminhaltig sind und sich gut zum Würzen von Speisen eignen [vgl. Sch22]. Es gibt sehr viele verschiedene Arten von Kresse, doch am weitesten verbreitet ist die Gartenkresse (*Lepidium sativum*), um die es im Folgenden gehen wird. Dass sie vielerorts vorkommt, hängt damit zusammen, dass diese Art von Kresse hinsichtlich ihres Wuchsumfelds sehr anspruchslos ist und daher nahezu überall wächst, sofern Plusgrade herrschen [vgl. Sch22]. Letzteres wirft die Frage auf, ob es neben sehr tiefen Temperaturen noch andere Extrembedingungen gibt, die sich negativ auf das Wachstum auswirken.

Ein solcher Faktor ist bei vielen Pflanzen der Salzgehalt im Boden, denn “hohe Salzkonzentrationen in den Böden verursachen bei Pflanzen [...] sogenannten Salzstress. Dieser hemmt das Wachstum [...] und kann in Pflanzen gar zum Tod führen” [Red12]. Auch der pH-Wert ist beim Pflanzenwachstum von Bedeutung, da die Nährstoffaufnahme bei sonderbar sauren oder alkalischen Bedingungen beeinträchtigt wird [vgl. Spe01] und zudem auch die Funktionalität der pflanzeneigenen Enzyme, die meist bei neutralem Umfeld optimal katalysieren.

Diesbezüglich soll ein Experiment stattfinden, das das Wachstum vom Samen unter solchen Bedingungen für zwei Wochen beobachtet. Es ist anzunehmen, dass erstgenannter Faktor mehr Einfluss auf das Wachstum haben wird als der pH-Wert, da Letzterer lediglich die Nährstoffaufnahme beeinträchtigt, was nicht notwendigerweise ein Problem darstellt, wenn die entsprechenden Nährstoffe aus den Samen gezogen werden können, während der Salzgehalt durch den kausierten osmotischen Stress viel tiefer in den Wachstumsprozess eingreift.

2 Material und Methoden

Es werden drei Versuchsmedien erstellt, um das Wachstum differenziert betrachten zu können. Dabei wird eines mit normalem Leitungswasser gewässert, eines mit Salzwasser und eines mit angesäuertem Wasser. Der Salzgehalt von Zweitem soll bei $0,1 \frac{mol}{l}$ liegen. Dementsprechend werden dazu 5,85g NaCl in 100ml Leitungswasser gelöst und anschließend zu einem Liter aufgefüllt (Werte siehe Gleichung 1).

$$\begin{aligned}
 m(NaCl) &= 0,1 \frac{mol}{l} * V(H_2O) * M(NaCl) \\
 &= 0,1 \frac{mol}{l} * 1l * 58,5 \frac{g}{mol} \\
 &= 5,85g
 \end{aligned} \tag{1}$$

Das saure Medium soll einen pH-Wert von 5 haben. Zur Verfügung steht Essigessenz mit dem pH-Wert 2,65, sodass von dieser 4,5ml zu einem Liter aufgefüllt werden (siehe Gleichung 2).

$$\begin{aligned}
 pH(Essig) &= 2,65 \\
 \Rightarrow c(H^+)_{alt} &= 10^{-2,65} \\
 c(H^+)_{neu} &= 10^{-5} = 10^{-2,65} * x \\
 x &= \frac{10^{-5}}{10^{-2,65}} = 0,0045
 \end{aligned} \tag{2}$$

In folgender Tabelle 1 sind alle verwendeten Materialien aufgelistet, samt Menge, Art der Verwendung und zusätzlichen relevanten Informationen.

Tabelle 1: Materialien

Material	Menge	Zweck	Zusatzinfo
Teelöffel	3	Gießen	Reinigung nach Nutzung aus Bingen am Rhein
Leitungswasser	2,9955 l	Herstellung Medien	
Essig (pH = 2,65)	4,5 ml	Herstellung Medien	2 Monate dunkel gelagert
Salz	5,85 g	Herstellung Medien	
Wolle	3 * 30 g	Wuchsbeden	100% Baumwolle
Kressesamen	3 * 20	Testobjekte	2 Monate dunkel gelagert
Tasse	3 * 350 ml	Blumentopf	
Messbecher	1 * 1l	Herstellung Medien	Reinigung nach Nutzung
verschließbares Glas	3	Gefäß Medien	gebraucht, aber gereinigt
Maßband (3m)	1	Höhenmessung	Genauigkeit: mm
Pinzette	1	Aussaat	

Die erfassten Daten werden tabellarisch in Dateien mit der Endung `.csv` gespeichert, ein Semikolon zur Trennung der Spalten verwendet. Diese befinden sich im Ordner **Supplement**.

In `Wuchshohen.csv` werden die täglich gemessenen Höhen eingetragen. Die erste Spalte enthält dabei die Bezeichnung des Mediums, die zweite den Messtag des Formats “`TT.MM.YYYY, hh:mm`” (T=Tag, M=Monat, Y=Jahr, h=Stunde, m=Minute), die dritte die gemessene Wuchshöhe in mm (NA wenn Pflanze abgestorben) und die vierte Spalte meine Matrikelnummer.

In `Watering.csv` werden die Bewässerungszeiten erfasst. Die erste Spalte enthält den Zeitpunkt in demselben Format wie der zweiten Spalte der Datei für die Wuchshöhen, die zweite Spalte erfasst die Gießmenge an Medium in Teelöffeln. Pro Tag werden die Pflanzen genau ein Mal gegossen.

Die Datei `Materials.csv` dient der Auflistung aller verwendeten Materialien, die für die Durchführung des Experiments notwendig gewesen sind. Diese Datei ist die exakte Vorlage für Tabelle 1.

Für die Analyse der erfassten Daten liegen in **Supplement** zwei Skripte vor. Diese sind für die Erstellung aller Abbildungen und Tabellen in Abschnitt 3 zuständig und legen die generierten Dateien in **Supplement/Results** ab, abgesehen von `preparation.png` (Abbildung 1) und derer mit dem Suffix `_after.png` (Abbildung 6), welche eigene Fotoaufnahmen sind.

Das Eine ist ein R-Skript mit dem Suffix `.R`, welches die in diesem Experiment erfassten Daten mit Referenzwerten vergleichend graphisch darstellt (siehe Abbildung 5) und in `scatterplot_my_vs_others.png` speichert. Als Referenzdaten werden alle Dateien aus **Supplement/Analyse/measurements_other_students** verwendet. Diese stammen aus Experimenten gleicher Art, die parallel stattgefunden haben und haben die gleiche Funktion wie `Wuchshohen.csv`. Zudem wird **Supplement/Results/my_measurements.csv** verwendet, welche vom anderen Skript generiert wird. Bei dieser Datei handelt es sich um eine angepasste Version von `Wuchshohen.csv`, welche den Referenzdateien gleicht, die einen weniger exakten Messzeitpunkt erfassen.

Das andere Skript, das mit `.py` endet, ist ein python-Skript. Neben `my_measurements.csv` erstellt es zudem alle anderen, noch nicht genannten, Dateien, die sich in dem **Results**-Ordner befinden. Dieses Skript ist nur abhängig von `Wuchshohen.csv` und `Watering.csv`. Zudem verwendet es das python-Modul `matplotlib`.

Um die Ergebnisse der Skripte zu generieren, muss innerhalb des **Supplement**-Ordners folgender Code im Terminal ausgeführt werden (exakte Versionen siehe `Readme.txt` in **Supplement**):

```
$ python3 Analyse.py  
$ Rscript my_analysis.R
```

2.1 Durchführung

An Tag 0 wird das Experiment vorbereitet. Dazu werden die drei Tassen jeweils bis zum Rand mit Watte gefüllt, so dass eine ebene Oberfläche entsteht. Darauf werden nun mithilfe einer Pinzette die Samen rasterförmig positioniert, also je Tasse 5 Reihen mit je 4 Samen (siehe Abbildung 1). Die Tassen werden nun in einer Reihe aufgestellt, nicht direkt am Fenster, sondern in der Mitte des Raumes, sodass sie den ganzen Tag über Tageslicht haben, aber nicht direkt in der prallen Sonne oder im Durchzug des Fensters stehen.

Die Vorbereitung der Nährmedien erfolgt der Reihe nach. Zuerst wird das Glas für das neutrale Medium mit Leitungswasser (LW) ausgespült und dann erneut voll aufgefüllt.

Dann wird der Messbecher ausgespült und das Salz in das entsprechende Glas gegeben. Diesem Glas werden 100 ml LW zugegeben, in welchem das Salz schwenkend gelöst wird. Die Lösung wird nun in den Messbecher gegeben, dann das Glas mit deutlich weniger als einem Liter LW aufgefüllt, geschwenkt und auch in den Becher gegeben, um Restlösung mit zu übertragen. Im Anschluss wird der Messbecher mit LW zu einem Liter aufgefüllt. Die fertige 0,1-molare NaCl-Lösung wird nun in das eben geleerte Glas gegeben.

Für die Herstellung des sauren Mediums wird der Messbecher zwei mal gründlich ausgespült und diesem dann darauffolgend das abgemessene Essig zugegeben. Dieses befand sich in einem separaten 156 ml Gefäß, welches vor der Nutzung auch gereinigt wurde und nun mit LW halb aufgefüllt, geschwenkt, und auch in den Messbecher geleert wird, um Restflüssigkeit mitzunehmen. Der Messbecher wird nun geschwenkt, zu einem Liter aufgefüllt und dessen Inhalt folglich in das dritte Gefäß für das saure Medium gefüllt.

Die eindeutig voneinander unterscheidbaren Gläser mit entsprechenden Medien werden verschlossen hinter ihre zugehörigen Tassen gestellt (siehe Abbildung 1).



Abbildung 1: Vorbereitung des Experiments

An jedem Messtag, einschließlich Tag 0, werden dieselben Schritte in derselben Reihenfolge durchgeführt, wobei Schritt 2 und 3 je Probe nur genau ein Mal pro Tag durchgeführt werden.

1. Messen und notieren der Wuchshöhen jedes einzelnen Samens der neutralen Probe mit dem Maßband
2. gleichmäßiges Gießen des Samenrasters mit drei Teelöffeln aus dem neutralen Medium
3. Reinigen des genutzten Teelöffels (wird ausschließlich für dieses Medium verwendet)
4. anschließendes Wiederholen der vorigen Schritte für die salzige und zum Schluss der sauren Probe

Tagsüber wird das Zimmer nicht künstlich verdunkelt, das Fenster ist durchgängig angekippt. Beim Messen selbst wird künstliches weißes Licht verwendet, um die Stängel besser unterscheiden zu können. Zudem werden die Blätter mit in die Wuchshöhe mit einbezogen.

Mit dem ersten Gießen startet die Erfassung der Wuchshöhen, alle somit zuerst bei 0 mm.

3 Ergebnisse

Tabelle 2: t-Test-Ergebnisse

Nullhypothese	Sauer	Salzig
$E(\text{Normal}) = E(M)$	75.00% akzeptiert	0.00% akzeptiert
$E(\text{Normal}) \leq E(M)$	100.00% akzeptiert	0.00% akzeptiert
$E(\text{Normal}) \geq E(M)$	71.43% akzeptiert	100.00% akzeptiert

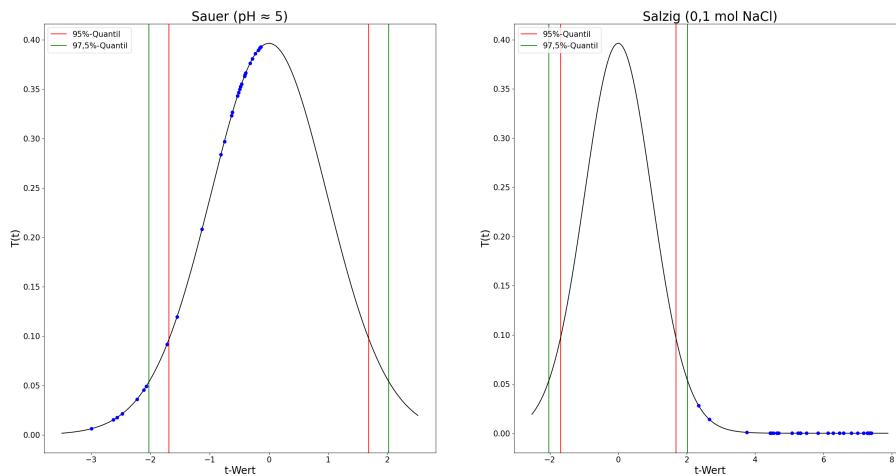


Abbildung 2: t-Tests

In Tabelle 2 und Abbildung 2 sind die Ergebnisse der t-Tests gegenüber des neutralen Mediums dargestellt, tabellarisch und graphisch. Als Signifikanzniveau wurde hierfür ein α von 5% gewählt und dementsprechend für die Werte der t-Verteilung bei 38 Freiheitsgraden für einseitige Betrachtung 1,686 und die Zweiseitige 2,024 [vgl. TU 23].

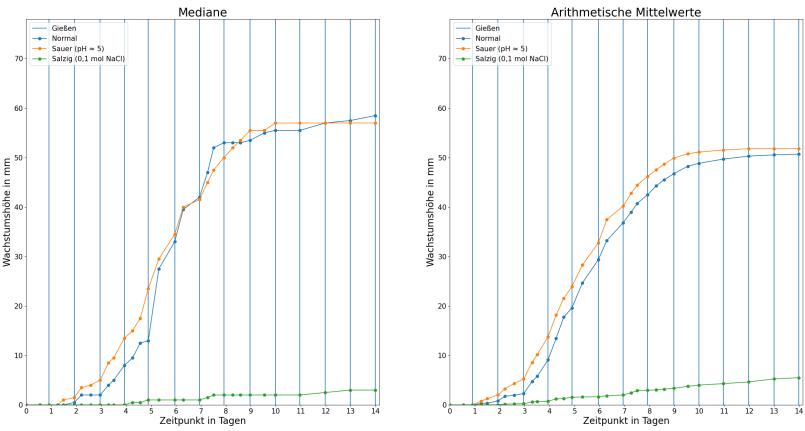


Abbildung 3: lineare Entwicklung der Messwerte

In Abbildung 3 ist die zeitliche Entwicklung der Wuchshöhen dargestellt, einschließlich wann die Proben gegossen wurden, einmal in Betrachtung der Mediane (links) und rechts mit Fokus auf das arithmetische Mittel aller Höhen eines Mediums. Pflanzen, die durch vorzeitiges Eingehen zu NA-Werten führten, wurden nach dem Absterben mit ihrer letzten validen Höhe gewertet.

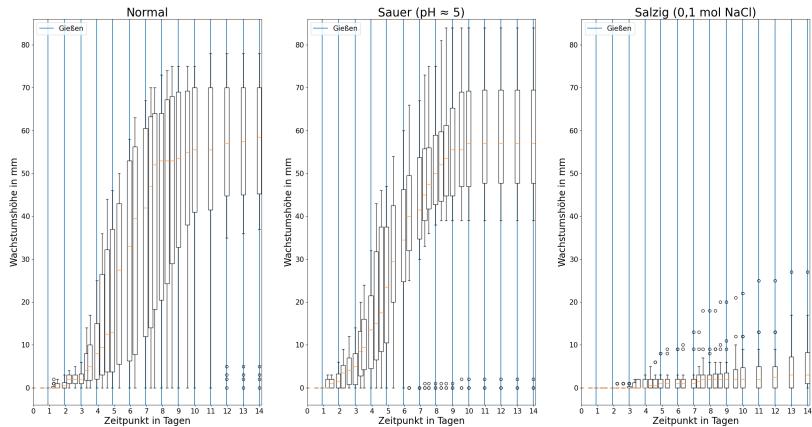


Abbildung 4: Messwerte als Box-Plot

Abbildung 4 zeigt alle selbst erhobenen Wuchshöhen innerhalb der 14 Tage, die das Experiment durchgeführt wurde, als Box-Plot, wobei die teilenden Linien innerhalb der Boxen den Median der jeweiligen Messung darstellen und die Whiskers bis zum ersten Messwert außerhalb der jeweiligen Box reichen.

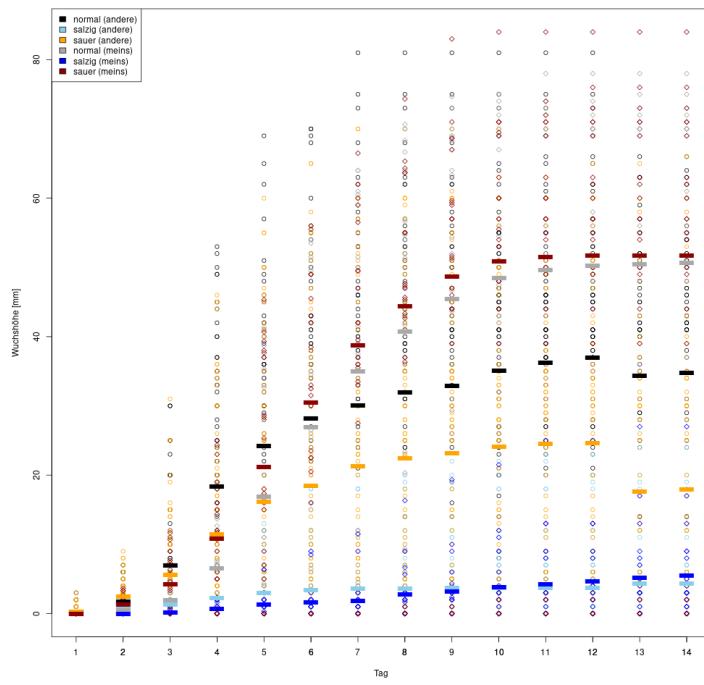


Abbildung 5: Wertevergleich mit anderen Durchführungen

In Abbildung 5 sind alle Messwerte graphisch dargestellt, zusammen mit den Werten aus parallel von anderen Wissenschaftlern durchgeführten Experimenten gleicher Art, als vergleichende Referenz. Hierbei sind die Mittelwerte als dicke Striche abgebildet.



Abbildung 6: Pflanzen am letzten Tag

Abbildung 6 zeigt die Pflanzen der jeweiligen Medien am letzten Tag des Experiments.

4 Diskussion

Betrachtet man die Ergebnisse, zeichnet sich das salzige Medium als eindeutig signifikant beeinflussenden Faktor ab. Die Hypothesentests in Tabelle 2 liefern eine 100%-ige Bestätigung dessen, und auch in Abbildung 2 ist dies abzulesen, da alle Messwerte außerhalb des rechtsseitigen 97,5%-Quantils liegen.

Das saure Medium ist etwas weniger eindeutig. Zwar liegen die Werte im Mittel immer über denen des normalen Mediums (Abbildung 3), weisen aber nur zu etwas unter 30% einen signifikanten Unterschied zu diesen auf (Tabelle 2). Dieses Ergebnis ist auch aus Abbildung 4 ableitbar. Im Verlauf ähneln sich die Messungen stark, nur dass sie beim sauren Medium weniger streuen. Möglicherweise kommt diese Streuung dadurch zustande, dass die Säure die Samenhülle angreift und somit das Durchbrechen des Keims erleichtert. Vielleicht sorgt ebendieser ‘Vorteil’ auch für den kleinen, unaufholbaren Vorsprung zum normalen Medium, sodass sich das Wachstum beider Medien eigentlich gleich verhält. Anhand dieser Werte scheint der anfänglich beschriebene negative Einfluss der Säure auf die Nährstoffaufnahme nicht zu greifen, entweder durch Resistenz oder weil der Samen genug Nährstoffe für das gesamte Wachstum enthält.

Allerdings scheinen die Referenzdaten von diesem Resultat abzuweichen. In Abbildung 5 sind deren Verläufe vergleichend dargestellt. Die Wachstumsentwicklung des salzigen Mediums ähnelt der der Referenz stark, sodass dieses Ergebnis nicht betroffen ist. Zwar sind die Pflanzen bei Normalbedingungen dort weniger hoch gewachsen, unterscheiden sich aber dennoch stark vom salzigen Verlauf.

Bei der sauren Probe hingegen liegen alle Werte deutlich unter denen der Normalen. Zwischen Tag 12 und 13 ist zwar ein plötzlicher Abfall sichtbar, aber vermutlich wurden hier teilweise NA-Werte als 0 ausgewertet. Aber unabhängig davon stellt sich hier die Frage, wo dieser große Unterschied zu den selbst erhobenen Daten herrührt.

Eine mögliche Erklärung hierfür ist, dass die Referenzdaten unter schlechteren Umweltbedingungen erhoben wurden, sodass die Pflanzen in ihrer Entwicklung fundamental eingeschränkt waren. Da diese Daten allerdings aus fünf voneinander unabhängigen Durchführungen stammen, ist diese Annahme nicht sehr wahrscheinlich, aber dennoch nicht unmöglich.

Deutlich naheliegender ist ein Fehler in der Erzeugung der eigenen Daten. Die Materialienliste in Tabelle 1 betrachtend, erschließen sich mir zwei Theorien:

1. Die Lagerung des Essigs hat dessen Wirkung beeinflusst
2. Die verschließbaren Gläser wurden nicht gründlich genug gereinigt

Die erste Theorie erklärt zwar nicht den Unterschied des Wachstums zum normalen Medium, kann aber dennoch einen relevanten Einfluss auf das Experiment gehabt haben. Die benötigte Menge wurde in ein eigenes Gefäß abgefüllt und dann bis zum Tag 0 bei Zimmertemperatur dunkel gelagert. Während der Durchführung wurde das saure Medium bei Tageslicht gelagert. Möglicherweise hatten Lichtverhältnisse oder Temperatur bei der Lagerung keine neutrale Rolle gespielt.

Die zweite Theorie kann beide Unterschiede erklären. Die Gläser wurden vorher für die Aufbewahrung von Lebensmitteln verwendet. Wenn die Reinigung davon nicht ausreichend gewesen ist und dementsprechen noch Nährstoffrückstände an der Innenwand erhalten wurden, könnten diese einen düngenden Effekt auf die Kresse gehabt haben. Das begründet das erhöhte Wachstum. Dass die Wuchshöhe beim sauren Medium dem des Normalen ähnelt, hängt vermutlich mit der maximalen Wuchshöhe von Kresse zusammen. Angenommen, die genutzte Gartenkresse könnte unbeschränkt wachsen, wären die Verläufe meiner Messwerte in Abbildung 5 vermutlich proportional zu der Referenz. In Abbildung 6c ist auf jeden Fall ein Einfluss der Säure zu erkennen, da einige Blattspitzen leicht gelb sind, sofern das kein Zufall ist.

Die Ausgangsfrage, ob es neben tiefen Temperaturen noch andere wachstumsbeeinflussende Extremfaktoren gibt, wird durch diese Resultate teilweise bestätigt, da Gartenkresse zumindest in sehr salziger Umgebung stark eingeschränkt zu wachsen scheint.

Im Hinblick auf ein saures Umfeld sollte das Experiment nochmal wiederholt werden, allerdings mit sterilen Gefäßen für die Lagerung des Mediums. Zudem schlage ich vor, die sauer bestellten Kressesamen in drei Gruppen aufzuteilen. Die erste wird mit Medium gewässert, dass bei Tageslicht gelagert wird, die zweite mit welchem bei dunkler Lagerung, und die dritte mit welchem bei kühler, dunkler Lagerung. Gibt es dann Unterschiede zwischen Hell und Dunkel bei Normaltemperatur oder zwischen Dunkel bei normaler und Dunkel bei kühler Temperatur, wird dadurch Theorie 1 geprüft.

Zudem besteht noch die Möglichkeit, das Wachstum hinblicklich anderer Einflüsse zu beobachten. So könnte man das Verhalten bei unterschiedlichen Lichtverhältnissen auswerten oder bei Überschuss oder Mangel bestimmter Nährstoffe. Auch ist die Konsistenz des Wuchsbodens ein denkbarer Faktor.

Es besteht also noch viel Potenzial für weitergehende Experimente.

Eigenständigkeitserklärung

Ich bestätige, dass die eingereichte Arbeit eine Originalarbeit ist und von mir ohne weitere Hilfe verfasst wurde. Die Arbeit wurde nicht geprüft, noch wurde sie widerrechtlich veröffentlicht. Die eingereichte elektronische Version ist die einzige eingereichte Version.

Unterschrift

Ort und Datum

Erklärung zu Eigentum und Urheberrecht

Ich erkläre hiermit mein Einverständnis, dass die Technische Hochschule Bingen diese Arbeit Studierenden und interessierten Dritten zur Einsichtnahme zur Verfügung stellen und unter Nennung meines Namens (Franz-Eric Sill) veröffentlichen darf.

Unterschrift

Ort und Datum