

# Auswirkungen von Kupfer auf Pflanzenwachstum

## Versuchsprotokoll Pflanzversuch Teil II

Benedikt Lamberty

4. Januar 2024

DURCHFÜHRUNG: Peter-Joerres-Gymnasium  
Bad Neuenahr-Ahrweiler  
12.06. – 28.07.2023

PARTNER: Anna Hinson  
BETREUERIN: Andrea Karlein

### Zusammenfassung

Dieser Versuch ist Teil einer Versuchsreihe zur Kupferbelastung im Boden nach der Flut im Ahrtal, insbesondere im Weinbau, und die resultierenden Folgen für Pflanzen. In diesem Versuch wurden Radieschen und Kresse in mit verschiedenen Konzentrationen von Kupfer präparierte Erde gepflanzt und ihr Wachstum dokumentiert. Hiermit sollen unter anderem die Ergebnisse einer schon erfolgten Bodenuntersuchung im Ahrtal [1] näher beleuchtet werden. Das hier vorliegende Protokoll enthält vor allem Informationen zu den gesammelten Daten während und zum Ende des Versuchs, nicht jedoch zum Versuchsaufbau. Die Beendigung des Versuchs ist jedoch beschrieben. Für mehr Informationen zum Anfang des Versuchs siehe Protokoll [2]. Eine Interpretation der Ergebnisse folgt in einem weiteren Bericht.

<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>3</b>	<b>Versuchsende . . . . .</b>	<b>5</b>	
<b>1</b>	<b>Messungen . . . . .</b>	<b>2</b>		
<b>2</b>	<b>Beobachtungen . . . . .</b>	<b>3</b>	<b>Quellenangaben . . . . .</b>	<b>6</b>

# 1 Messungen

## 1.1 Keimrate

### 1.1.1 Daten

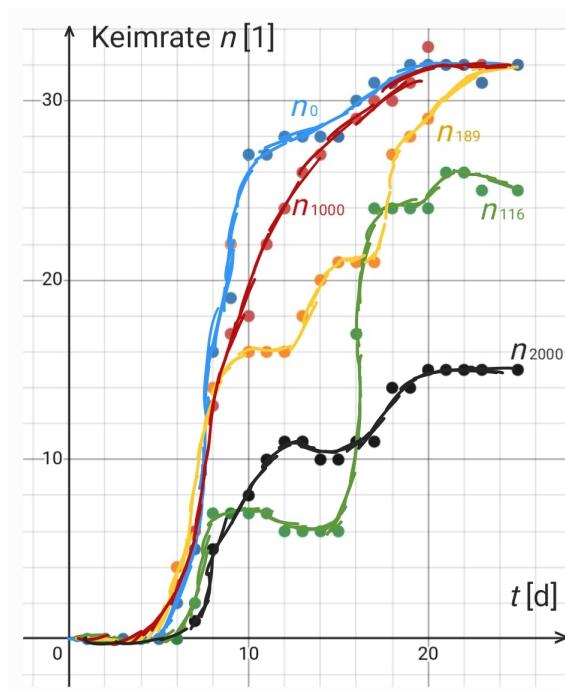


Abbildung 1: tägliche Keimrate

Während des Pflanzversuchs wurde täglich gezählt, wie viele Pflanzen in jeder Pflanzkiste schon gekeimt sind. Dabei wurde die Messung in der Desmos-Tabelle [3] festgehalten. Die Ergebnisse sind in Graph 1 dargestellt, wobei auf der x-Achse die Zeit in Tagen nach Versuchsstart und auf der y-Achse die Keimrate (bereits gekeimte Keimlinge aus 40 Samen) aufgetragen ist. Die Keimraten der einzelnen Pflanzkästen  $K_\omega$  an einem bestimmten Tag werden  $n_\omega(t)$  genannt.  $\omega$  ist hierbei der Kupfergehalt der Erde in mg/kg Ts ohne mitgeschrie-

bene Einheit. Die Datenpunkte wurden zur Veranschaulichung qualitativ mit Kurven verbunden. Nach Tag 25 gab es in keinem Kasten neue Keimlinge. Das Absterben von Radieschen bis zum Versuchsende an Tag 47 ist in Abschnitt 3.2 dokumentiert.

### 1.1.2 Auswertung und Fehlerbe trachtung

Alle Datensätze haben gemeinsam, dass die Keimrate von Tag zu Tag überwiegend steigt oder gleich bleibt. Manchmal nimmt die Keimrate jedoch auch leicht ab, was entweder aus dem Tod einzelner Keimlinge oder aus Verzählen resultiert.

Alle Datensätze pendeln sich um den Tag 20 um eine maximale Anzahl an Keimlingen ein. Die Raten am letzten Messtag betrugen:  $n_0(25) = n_{189}(25) = n_{1000}(25) = 32, n_{116}(25) = 25, n_{2000}(25) = 15$ .

Die ersten Keimlinge wuchsen in allen Kästen am 6. oder 7. Tag. In den ersten Keimtagen verzeichneten alle Kästen einen großen Zuwachs an Keimlingen in wenigen Tagen. Dabei steigt  $n_0$  am schnellsten an.  $n_{189}$  steigt zunächst schneller als  $n_{1000}$  an, flacht jedoch schon bei  $t = 10\text{d}$  wieder ab und steigt dann stufenweise auf den Maximalwert an.  $n_{2000}$  steigt langsamer als alle anderen Keimraten an und erreicht auch den niedrigsten Maximalwert.

$n_{116}$  ist ein Ausreißer. Wenn man die benachbarten Datensätze  $n_0$  und  $n_{189}$  betrachtet, so könnte man erwarten, dass  $n_{116}$  sich zwischen diese eingliedert. Allerdings hat

$n_{116}$  einen ganz anderen Verlauf. Zunächst ist die Keimrate ähnlich hoch, wie bei den anderen Sätzen. Jedoch flacht diese schnell auf ein Niveau um den Wert 7 ab. Erst am Tag 16 folgt ein verzögerter Wachstumsanstieg, woraufhin die Keimrate allerdings immer noch nicht die Raten der anderen Sätze erreicht. Diese vom Rest abweichen- den Werte röhren wahrscheinlich von einem groben Fehler im Versuch her. Wie in Ab- schnitt 3 in [2] angesprochen, wurde  $K_{116}$  überwässert. Dabei sind wahrscheinlich die meisten Samen tiefer in die Erde gesunken, wodurch sie länger gebraucht haben, zu keimen. Einige wurden ganz keimunfähig gemacht und einige weitere konnten noch normal keimen. Durch diesen Fehler wird  $K_{116}$  statistisch unbrauchbar und wird in dieser Arbeit nur unter Vorbehalt betrach- tet.

## 1.2 Höhe der Keimlinge

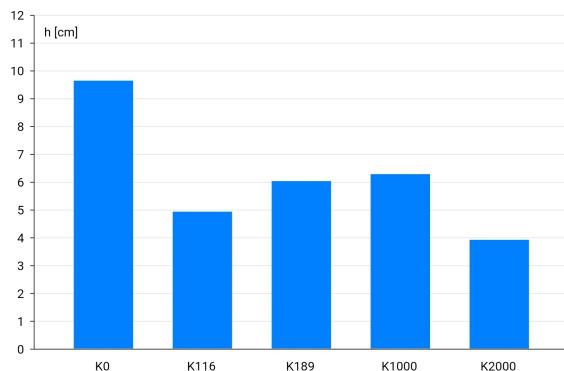


Abbildung 2: Höhen am Tag 21

Am Tag 21 wurden in allen Kästen die Höhen der Keimlinge mit einem Lineal

gemessen und der Mittelwert bestimmt. Bei der Messung wurden die Blätter nach oben glatt gezogen. Die Höhe ist also vergleichbar mit der vollen Länge des längsten Blatts einer Pflanze. Der geschätzte Messfehler beträgt  $\pm 0.2\text{cm}$ .

Die durchschnittliche Höhe in  $K_0$  betrug 9.7cm.  $K_{189}$  und  $K_{1000}$  lagen mit durch- schnittlichen Höhen von 6.0cm und 6.3cm nahe beieinander.  $K_{2000}$  hatte die gerings- te Höhe mit durchschnittlich 3.9cm.  $K_{116}$  schneidet auch hier unerwartet ab, vermut- lich aus den bereits genannten Gründen. (s. Abb. 2)

## 2 Beobachtungen

### 2.1 Blätter



Abbildung 3: Blätter von  $K_{116}$  zum Ver- suchsende



Abbildung 4: Blätter von  $K_{1000}$  zum Versuchsende



Abbildung 5: Blätter von  $K_{2000}$  zum Versuchsende

Man kann in den Abbildungen 3, 4 und 5 deutlich erkennen, dass sich mit steigender Kupferkonzentration der Zustand der Blätter verschlechtert. Dabei werden die Blätter „schrumpliger“, gelb-bräunlicher oder sterben sogar ganz ab und liegen vertrocknet in der Pflanzkiste.

Dieses ungesunde Aussehen der Blätter tritt auch nicht erst zum Versuchsende auf, sondern lässt sich auch schon am Tag 21

beobachten. Dabei sind die Blätter im Kasten ohne Zusatz (s. Abb. 6) deutlich grüner und weiter entwickelt, als die im Kasten mit der höchsten Konzentration (s. Abb. 7).



Abbildung 6: Blätter von  $K_0$  an Tag 21



Abbildung 7: „Ungesunde“ Blätter in  $K_{2000}$  an Tag 21

## 2.2 Wasserproben

Während des Pfaltzversuchs regnete es einmal so stark, dass die Kästen entwässert

werden mussten. Das abgelassene Wasser wurde dann über die nächsten Tage beim Gießen wieder eingebbracht. In Abb. 8 ist ein kleiner Rest dieses Wassers zu sehen. Dabei fällt auf, dass das Wasser in den Kästen mit hohen Konzentrationen klarer ist, als in denen mit niedrigeren.



Abbildung 8: Wasserproben aus  $K_{1000}$ ,  $K_{2000}$ ,  $K_{116}$ ,  $K_{189}$  (von links)

gestorbenen Radieschen. An diesen Daten (s. Abb. 9) kann man erkennen, dass in den Kästen mit wenig Kupferzusatz nur wenige Radieschen abgestorben sind ( $\Delta n_0 = 3$ ,  $\Delta n_{116} = \Delta n_{189} = 1$ ). Die Kästen mit hohen Konzentrationen verzeichneten Steberaten von bis zu 40% ( $\Delta n_{1000} = 5$ ,  $\Delta n_{2000} = 6$ ).

### 3.3 Gewicht der Radieschen

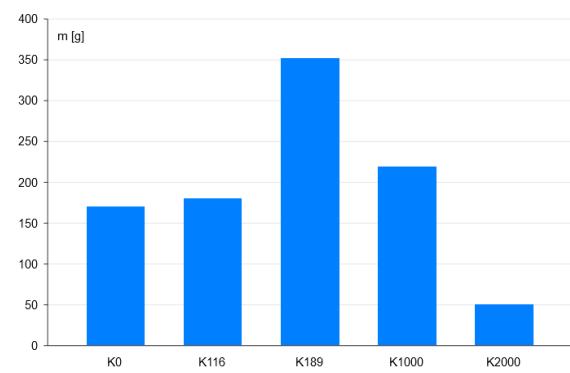


Abbildung 10: Gesamtmasse an Radieschen pro Kasten

## 3 Versuchsende

### 3.1 Vorgehen

Am Tag 47 endete der Versuch. Die Blätter der Radieschen wurden abgeschnitten und pro Kasten in Beuteln gesammelt. Die Radieschen wurden aus der Erde gezogen, gewaschen und gezählt. Außerdem wurde vor dem Verpacken das Gesamtgewicht an Radieschen pro Kasten bestimmt. Die Blätter wurden nach dem Versuch für weitere Bestimmungen an der Luft und die Radieschen in einem Trockenschränk getrocknet.

### 3.2 Schlussendliche Anzahl an Radieschen

Wie angesprochen wurde am Tag 47 die Anzahl an Pflanzen erneut bestimmt und die Differenz zwischen den Tagen 25 und 47  $\Delta n_\omega$  berechnet, also die Anzahl an ab-

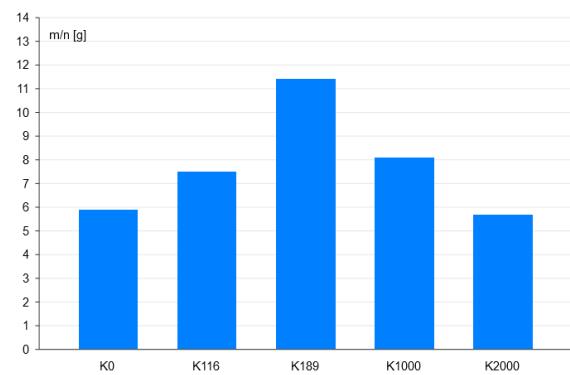


Abbildung 11: Durchschnittliche Masse an Radieschen pro Kasten

Das bestimmte Gesamtgewicht  $m_\omega$  der Radieschen pro Kasten ist höchst interessant.

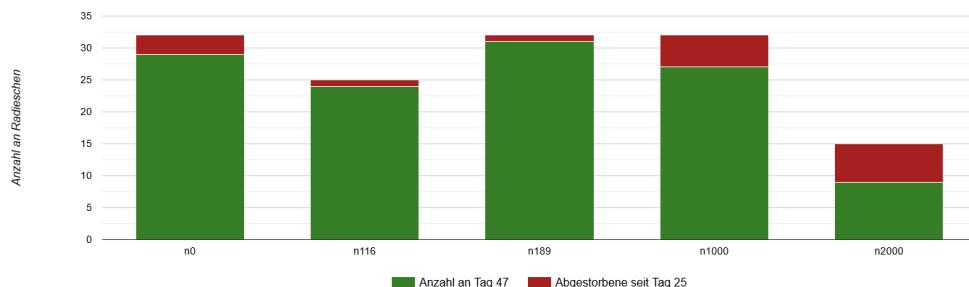


Abbildung 9: Absterben von Radieschen

Anders als bei den anderen Messungen gibt es hier keine Randmaxima, sondern die meiste Biomasse entstand in  $K_{189}$  mit  $m_{189} = 353\text{g}$ . Die Kästen mit geringe Konzentration weisen eine ähnliche Masse auf mit  $m_0 = 170\text{g}$  und  $m_{116} = 180\text{g}$ . Diese werden immer noch von  $m_{1000} = 219\text{g}$  übertroffen.  $m_{2000} = 51\text{g}$  ist die kleinste Biomasse. (s. Abb. 10)

Betrachtet man die durchschnittlichen Massen  $\bar{m}_\omega = m_\omega/n_\omega(47)$ , so bildet sich ein fast symmetrisches Bild um das Maximum  $\bar{m}_{189} = 11.4\text{g}$ . Die übrigen Werte lauten:  $\bar{m}_0 = 5.9\text{g}$ ,  $\bar{m}_{116} = 7.4\text{g}$ ,  $\bar{m}_{1000} = 8.1\text{g}$ ,  $\bar{m}_{2000} = 5.7\text{g}$ . Die Radieschen mit mittelhohen Kupferkonzentrationen sind also „die dicksten“. (s. Abb. 11)

*teifel).* [Online; Stand 8. Juli 2023]. 2023. URL: [https://sgdnord.rlp.de/fileadmin/sgdnord/Abteilung\\_3/Dokumente/Ahr/Ahr-Bericht\\_Sedimente\\_Ahrtal\\_01-AT\\_TW\\_An11.20230320.MS.pdf](https://sgdnord.rlp.de/fileadmin/sgdnord/Abteilung_3/Dokumente/Ahr/Ahr-Bericht_Sedimente_Ahrtal_01-AT_TW_An11.20230320.MS.pdf).

- [2] Benedikt Lamberty. „Auswirkungen von Kupfer auf Pflanzenwachstum – Versuchsprotokoll Pflanzversuch Teil I“. [Erster Teil dieses Protokolls]. 2023.
- [3] Benedikt Lamberty. *Keimrate Desmos*. [Online; Stand 28. Sep. 2023]. 2023. URL: <https://www.desmos.com/calculator/bsak2wrusr>.

## Quellenangaben

- [1] Struktur- und Genehmigungsdirektion Nord. *Bodenuntersuchungen auf Sedimentationsflächen in den von der Flutkatastrophe betroffenen Gebieten in Rheinland-Pfalz (Ahrtal und Wes-*