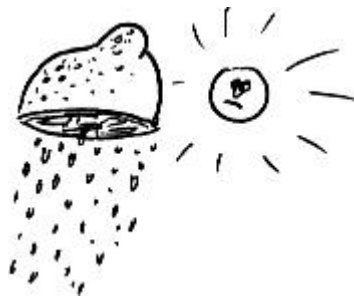


# Biologie-Projekt

## Saurer Regen



von

Athene Sakellariou, Ina Heimberger  
Holger Langlotz und Daniel Vollbrecht

11a  
2001/2002

Lehrer: Herr Konrad

# Inhaltsverzeichnis

I. Themenfindung .....	2
II. Projektdefinition .....	2
III. Zeitplan.....	3
IV. Aufgabenverteilung.....	3
V. Vorversuch .....	3
VI. Hauptversuch .....	6
VII. Auswertung .....	7
VIII. Recherchen .....	8
IX. Quellenangaben .....	13
X. Weiterführende Informationen .....	13

## Anhang

- A1 Zeitplan
- A2 Messergebnisse
- A3 Versuchsbilder

# Saurer Regen

## I. Themenfindung

Am Anfang des Projekts stand natürlich die Themenfindung, wofür wir uns maximal bis zum 15.04.2002 Zeit lassen wollten. Von den Teammitgliedern wurden dabei mehrere Ideen in den Raum gestellt, wobei folgende vier Vorschläge favorisiert wurden.

Der erste Vorschlag befasste sich mit dem Thema, wie sich das Wachstum von Pflanzen in Rein- und Mischkultur ändert. D. h. wie sich physiologisches und ökologisches Optimum unterscheiden. Dies wollten wir unter verschiedenen Standortbedingungen untersuchen. Eine weitere Idee war, sich mit dem Einfluss von Licht auf das Pflanzenwachstum zu befassen. Also z.B. wie sich ein schattiger Standort im Vergleich zu einem sehr sonnigen auf die Pflanze auswirkt.

Ebenso stand zur Debatte, ein Kleinbiotop wie z.B. ein Moospolster zu untersuchen. Hierbei hätte man sich vielleicht damit befassen können, wie eine solche Lebensgemeinschaft aussieht und welches Lebewesen wie von welchem abhängt, oder aber auch, wie sich Feuchtigkeit und Temperatur im Moospolster von der außerhalb unterscheiden.

Ein weiterer Projektvorschlag bestand darin, die Einwirkungen durch Umweltverschmutzung auf Pflanzen zu untersuchen. Hierbei wollten wir genauer betrachten, inwiefern eine Pflanze, die unter ständigem Einfluss von Saurem Regen steht, von einer unter gesunden oder natürlichen Voraussetzungen wachsenden Pflanze abweicht. Ziel sollte es also sein, herauszufinden, welche Folgen die Umweltbelastung und das immer häufigere Auftreten von Saurem Regen auf die Natur haben.

Da wir die Vorgabe erhalten hatten, eine klare und nicht zu komplexe Aufgabe zu finden, gaben wir die Idee der Untersuchung des Kleinbiotops auf. Ebenso wussten wir, dass sich auch andere Gruppen darüber Gedanken machten, die Auswirkungen von Standortfaktoren auf das Pflanzenwachstum zu untersuchen. Und natürlich wollten wir nicht das selbe Projekt wie ein anderes Team durchführen. Letztlich entschieden wir uns dann für das „Saure-Regen-Projekt“, da uns dies ein allgemeines Umweltproblem unserer Zeit zu sein schien. Deshalb wollten wir mehr über Ursachen, Auswirkungen und Gegenmaßnahmen dieses in der Öffentlichkeit viel, aber leider meist sehr oberflächlich und demagogisch diskutierten Themas erfahren.

## II. Projektdefinition

Um herauszufinden, wie sich Saurer Regen auf das Wachstum von Pflanzen auswirkt, werden jeweils 40 Kressesamen auf Watte in fünf Schalen ausgesät. Diese Schalen werden nebeneinander aufgestellt, um gleiche Standortbedingungen herzustellen. Kresse haben wir gewählt, da sie relativ schnell wächst und somit das Wachstum vom Samen bis zur ausgewachsenen Pflanze genau zu beobachten ist.

Eine Schale wird dann mit Leitungswasser (pH-Wert 7) gegossen, weitere mit Wasser, dessen pH-Wert 2, 3, 4, 5 und 6 beträgt, also mit „Saurem Regen“ verschiedener Konzentration. Während des Versuchs wird täglich protokolliert, wann die Samen sprießen und wie groß die einzelnen Pflanzen sind. Zur Versuchsauswertung werden aus den Aufzeichnungen dann die Durchschnittswerte errechnet.

Diese Versuchsanordnung werden wir zwei mal aufbauen, wobei wir beim ersten Versuch auch herausfinden wollen, ob wir den pH-Wert-Bereich für genauere Beobachtungen eingrenzen sollen, oder ob der gewählte Bereich zweckmäßig ist. Beim zweiten Versuch werden wir den Aufbau dann – falls nötig – abändern.

Ergänzend zu diesem Versuch wollen wir recherchieren, wie sich Saurer Regen zusammensetzt und welche Hauptursachen (Schadstoffquellen) für Sauren Regen verantwortlich sind. Desweiteren stellt sich dabei auch die Frage, inwiefern Saurer Regen Auswirkungen auf die Fruchtbarkeit der Pflanzen hat und wie er sich auf das gesamte

Ökosystem auswirkt.

### III. Zeitplan

Für die Durchführung des Projekts erarbeiteten wir uns den unten stehenden Zeitplan (vgl. A1). Während der Arbeit an den Versuchen stellte es sich teilweise als sinnvoll heraus, die geplanten Aktivitäten geringfügig nach vorne oder hinten zu verschieben (z.B. da in den Ferien einzelne Teammitglieder in Urlaub waren, oder da wir in einer Woche extrem viel für Klassenarbeiten lernen mussten, etc.). Deshalb ergaben sich bei der Arbeit am Projekt einige kleinere Verschiebungen, die letztlich jedoch bedeutungslos waren.

#### Zeitplan

- ☒ Praktische Vorbereitung des Versuchs vom 15.04. bis zum 21.04.
- ☒ Versuchsdurchführung vom 22.04. bis zum 19.05.
- ☒ Versuchsauswertung vom 20.05. bis zum 26.05.
- ☒ Recherche und Auswertung der Quellen vom 15.04. bis zum 26.05.
- ☒ Erstellung der Projektmappe und der Präsentation vom 27.05. bis 09.06.
- ☒ Spätester Abgabetermin: 28.06.2002

### IV. Aufgabenverteilung

Der Aufbau der Versuche und die Herstellung der Säuren verschiedener pH-Werte wurde jeweils vom gesamten Team gemeinsam durchgeführt. Den ersten Versuch führte Ina Heimberger durch, die diesen auch auswertete. Die Durchführung und Auswertung des zweiten Versuchs übernahm Daniel Vollbrecht. Athene Sakellariou und Holger Langlotz waren für die Recherche zuständig, also dafür, weitere Informationen zu dem Thema zu finden, die über die Versuche hinausgehen. So musste jedes Teammitglied zu seinem Thema die Texte für diese Mappe ausarbeiten (daraus ergibt sich, dass für die allgemeinen Texte A. Sakellariou und H. Langlotz, für die Texte zum ersten Versuch I. Heimberger und für die zum zweiten D. Vollbrecht verantwortlich sind). Daniel Vollbrecht stellte dann aus den einzelnen Texten die Projektmappe zusammen. Für die Präsentationserstellung gilt das gleiche wie für die Projektmappe.

### V. Vorversuch

#### A. Materialien

Kressesamen, Watte, sechs Schälchen, destilliertes Wasser, PH-Meter, Schutzbrille, Messzylinder; konzentrierte Schwefelsäure

#### B. Fragestellung/Thema

Das AtInaHoVo-Team entschied sich gemeinsam für folgenden Versuch: Wir wollten herausbekommen, welchen Einfluss Saurer Regen auf das Wachstum von Pflanzen, in unserem Fall auf das Wachstum von Kresse, hat. Um uns vor dem eigentlichen Versuch ein Bild über die Folgen zu machen und ob der Versuch überhaupt klappen würde, hatten wir uns dazu entschlossen, vorher einen Vorversuch durchzuführen, um gegebenenfalls im eigentlichen Versuch neue pH-Werte zu nehmen.

## C. Durchführung

Zunächst besorgten wir uns aus dem Chemiepraktikum die benötigte, konzentrierte Schwefelsäure (pH-Wert 1). Diese verdünnten wir im Verhältnis 100 ml Wasser zu 10 ml Schwefelsäure und so bekamen wir eine konzentrierte Schwefelsäure mit dem pH-Wert 2. Diese Schwefelsäure mit dem pH-Wert 2 war nun der Ausgangspunkt für die Schwefelsäure mit dem pH-Wert 3 (und diese wiederum für die mit dem pH-Wert 4 usw.), die nach dem gleichen Prinzip gemischt wurde. Diesen Vorgang wiederholten wir natürlich einige Male, um so jeweils genügend Schwefelsäure für das Gießen über einen Zeitraum von zwei Wochen zu erhalten. Nun hatten wir 5 Flaschen gefüllt mit Schwefelsäure mit den pH-Werten 2, 3, 4, 5 und 6, die wir auf die jeweiligen Flaschen schrieben, um Verwechslungen vorzubeugen. Anschließend nahmen wir unsere 6 Schälchen, legten reichlich Watte hinein und gaben in jedes Schälchen ca. 30 Kressesamen. Die Schälchen beschrifteten wir mit den Zahlen 2 bis 7, die für die jeweiligen pH-Werte stehen, mit dem die Kresse in den folgenden 14 Tagen gegossen werden würde. Danach gossen wir die Kressesamen mit der jeweiligen Schwefelsäure und stellten die Schälchen auf eine Fensterbank, wo die Samen ausreichend Sonne hatten und vor Regen geschützt waren. Jetzt waren wir natürlich alle sehr gespannt, was sich in den nächsten Tagen ereignen würde...

Allgemein ist noch zu sagen, dass wir die Kresse immer einmal am Tag gegossen haben.

## D. Beobachtungen

Tag 1 und 2	Noch keine besonderen Veränderungen zu erkennen.
Tag 3	Die Samen der Kresse, die mit dem pH-Wert 3, 4, 5, 7 gegossen werden, sind aufgeplatzt. Bei den Samen, die mit dem pH-Wert 2 und 6 gegossen werden sind noch keine Veränderungen zu erkennen.
Tag 4	Die Samen der Kresse, die mit dem pH-Wert 6 gegossen werden sind nun auch aufgeplatzt. Bei dem pH-Wert 2 sind keine besonderen Veränderungen zu erkennen und bei den Samen, die mit den pH-Werten 3, 4, 5, 7 gegossen werden sprießen langsam weiße Keime aus den aufgeplatzen Samen.
Tag 5	Die Keime aus den aufgeplatzen Samen der Kresse, die mit den pH-Werten 3, 4, 5, 7 gegossen werden, sind deutlich länger geworden. Die Kresse ,die mit dem pH-Wert 6 gegossen wird keimt nun auch aus und beim pH-Wert 2 sind nach wie vor keine Veränderungen zu erkennen.
Tag 6	Die Keime, der pH-Werten 3, 4, 5, 7 wachsen deutlich und man bemerkt wie sie beginnen sich in der Watte zu verankern. Beim pH-Wert 2 und 6 sind keine neuen Veränderungen zu erkennen.
Tag 7	Die Keime der pH-Werten 3, 4, 5, 7 sind wieder deutlich gewachsen und stehen schon senkrecht in die Luft. Sie sind jetzt ca.2-3 cm groß und es haben sich am Kopf der Sprossen grüne Blättchen gebildet. Die Samen mit dem pH-Wert 6 treiben nun auch immer mehr aus und wachsen, liegen jedoch noch deutlich hinter den anderen. Die Samen mit dem pH-Wert 2 beginnen zu schrumpfen und trocknen ein.
Tag 8	Die Keime der pH-Werten 3, 4, 5, 7 wachsen noch und treiben nun alle die grünen Blätter der Kresse aus. Bei den Samen mit den pH-Werten 2 und 6 sind keine Veränderungen zu erkennen.
Tag 9	Die Keime der pH-Werten 3,4,sind nun ca. 3 cm hoch und 5,7 sind nun ca. 4 cm hoch und zur voll ausgebildeten Kresse gekeimt. Die Keime mit dem pH-Wert 6 bildet nun auch grüne Blättchen und ist deutlich gewachsen. Ihre Größe beträgt nun ca. 2 cm. Die Samen, mit dem ph-Wert 2 sind nun vollkommen verschrumpelt und eingegangen.

Tag 10	Die Keime der pH-Werte 3,4,5,7 sind noch ein wenig gewachsen und 3,4 sind nun ca.4 Zentimeter hoch und 5,7 setzten sich nochmals ab und sind nun deutlich größer als die Samen der pH-Werte 3, 4. Die Keime mit dem pH-Wert 6 sind nicht mehr gewachsen.
Tag 11	Die Keime mit dem pH-Wert 3, 4 und 6 werden langsam kleiner und drohen einzugehen. Die Keime mit den pH-Werten 5, 7 nehmen langsam eine gelbliche Farbe ein. Die Samen mit dem pH-Wert 2 beginnen zu schimmeln.
Tag 12	Die Keime mit dem pH-Wert 3, 4, 6 werden wiederum kleiner und beginnen schon zu verdorren. Die Keime mit den pH-Werten 5, 7 werden immer gelblicher und die grüne Farbe verschwindet fast vollkommen. Die Samen mit dem pH-Wert 2 werden heute aufgrund des zunehmenden Schimmels entfernt und weggeschmissen.
Tag 13	Die Keime mit dem pH-Wert 3, 4, 6 sind vollkommen verdorrt, die Keime mit dem pH-Wert 5, 7 besitzen nun eine gelbliche Farbe.
Tag 14	Ende des Versuchs

### *E. Endergebnis*

pH-Wert 2	Die Samen platzten noch nicht einmal auf, d.h. kein Auskeimen. Sie vertrockneten und begannen nach einer Weile zu schimmeln.
pH-Wert 3 und 4	Die Samen platzten auf, keimten zur vollständigen Kresse heran und verdorrten zum Schluss.
pH-Wert 5	wie bei pH-Wert 3 bzw. 4, nur zum Schluss gelblich.
pH-Wert 6	Die Samen platzten später als die anderen auf, keimten auch später zur Kresse heran, verdorrten jedoch auch zum Schluss.
pH-Wert 7	wie bei pH-Wert 5.

### *F. Fazit*

Es hat den Anschein, dass sich Saurer Regen mit dem pH-Wert 2 so schlecht auf das Wachstum von Kresse ausübt, dass ein Wachstum gar nicht möglich ist. Außerdem lässt Saurer Regen die Kresse entweder verdorren oder gelblich werden. Positive Veränderungen auf das Wachstum der Kresse waren nicht zu erkennen.

### *G. Verbesserungsvorschläge*

Für unseren eigentlichen Versuch haben wir uns nun vorgenommen, die Kresse zu messen sowie genauere Beobachtungen vorzunehmen. Ansonsten waren wir mit unserem Vorversuch zufrieden und wollten keine weiteren Veränderungen vornehmen.

## VI. Hauptversuch

### A. Fragestellung

Der Hauptversuch setzt auf den Vorversuch und seine Ergebnisse an und soll eine genauere Beobachtung der Auswirkungen Sauren Regens ermöglichen. Im Wesentlichen ist er ähnlich zum Vorversuch, wir haben diesmal jedoch das Wachstum und die Keimzahl der Kressesamen genauer beobachtet und gemessen.

### B. Durchführung

Mit den gleichen Ausgangsmaterialien wie beim Vorversuch haben wir hierbei erneut die Schwefelsäuren mit den pH-Werten 2 bis 7 hergestellt, um eventuelle Mischungsungenauigkeiten bei der Herstellung im Vorversuch auszuschließen.

Der Versuchsaufbau fand nun mit jeweils 40 Kressesamen pro Kultur statt und das Gießintervall betrug wiederum 1 Tag (vgl. A3), alles Übrige haben wir genauso wie beim Vorversuch gehandhabt.

### C. Beobachtungen

Tag 1 und 2	Noch keine besonderen Veränderungen zu erkennen.
Tag 3	Ansatzweise ist das Keimen deutlich (außer pH 2), besonders bei pH 7.
Tag 4	weiße Keimlinge sprießen aus (außer pH 2), bei pH 4 sogar deutlicher als bei pH 7.
Tag 5	die Keime wachsen deutlich und werden länger, die Samen mit dem pH-Wert 2 scheinen heller geworden zu sein (hellbraune Farbe gegenüber dunkelbraun der gekeimten Samen)
Tag 6	Die Keime mit dem pH-Wert 7 beginnen, sich aufzurichten; die übrigen liegen noch größtenteils flach in der Schale.
Tag 8	Die Keime sind nun zwischen 1,5 und 2,5 cm groß (siehe Wachstumstabelle).

Die folgenden Tage ergaben keine wesentlichen Unterschiede mehr zu den beschriebenen Beobachtungen beim Vorversuch.

### D. Messergebnisse

Messung / pH-Wert	2	3	4	5	6	7
gekeimt (von 40)	0	34	35	38	32	39
Länge [cm] Woche 1 26.05.	-	1,8	1,5 - 2,0	1,9 - 2,5	1,8 - 2,1	2,1 - 2,5
Länge [cm] Woche 2 02.06.	-	2,1	2,1 - 2,8	3,5	2,6 - 3	2,8 - 3,5
Zustand am 02.06.	ungekeimt	verdorrt	verdorrt	grün	verdorrt	grün

## VII. Auswertung

Das Ergebnis der beiden Versuche wurde sehr deutlich: Saurer Regen beeinflusst das Wachstum der Kresse sowohl hinsichtlich des Wachstums als auch der Keimgeschwindigkeit und –dauer im negativen Sinne.

Wie die Messungen zeigen, ergibt sich auf dem Versuch zugrunde liegenden pH-Spektrum bei der Anzahl der gekeimten Samen eine Verteilung mit den meisten bei reinem Wasser, das offensichtlich das Optimum darstellt, über eine Abnahme bei zunehmendem Säuregehalt bis hin zur Keimunfähigkeit, die beim pH-Wert 2 eingetreten ist (vgl. A2). Lediglich die Samen mit dem pH-Wert 6 fielen beim Hauptversuch aus der Reihe; diesbezüglich nehmen wir aber an, dass dies eher experimentelle Ungenauigkeiten zur Ursache hat als eine Störung des Keimverhaltens bei dieser nur im geringfügig sauren Bereich liegenden Kultur.

Zur Messung der Länge haben wir aufgrund von einigen Unterschieden bei der Größe innerhalb einer Kultur versucht, pro Kultur jeweils das Minimum und Maximum der Länge zu messen (siehe Länge A2). Bei dieser durchschnittlichen Länge der einzelnen Kressekeime wird das Ergebnis besser sichtbar. Hier zeigt sich deutlich, dass in reinem Wasser (pH 7) das Wachstum am Besten voranschreitet, während dies bei zunehmendem Säuregehalt behindert wird. Die diesem Geschehen zugrunde liegenden Ursachen werden wir bei der Recherche weiter hinten genauer erläutern.

Nachdem die Keimlinge ausgewachsen waren, zeichnete sich bei den stärker säurehaltigen Kulturen (pH 2 bis 4) ein Absterben (die Keimlinge verdorrten bzw. wurden gelblich) ab, das bei den weniger säurehaltigen zu diesem Zeitpunkt noch nicht eintraf. Diese Kulturen waren noch grün (vgl. A3). Weil wir alle Kulturen gleich stark gegossen hatten, vermuteten wir, dass die Säure auch auf die Populationsdauer negative Auswirkungen haben muss. Diesbezüglich haben wir bei der Recherche hilfreiche Informationen gefunden.

## VIII. Recherchen

### A. Historie

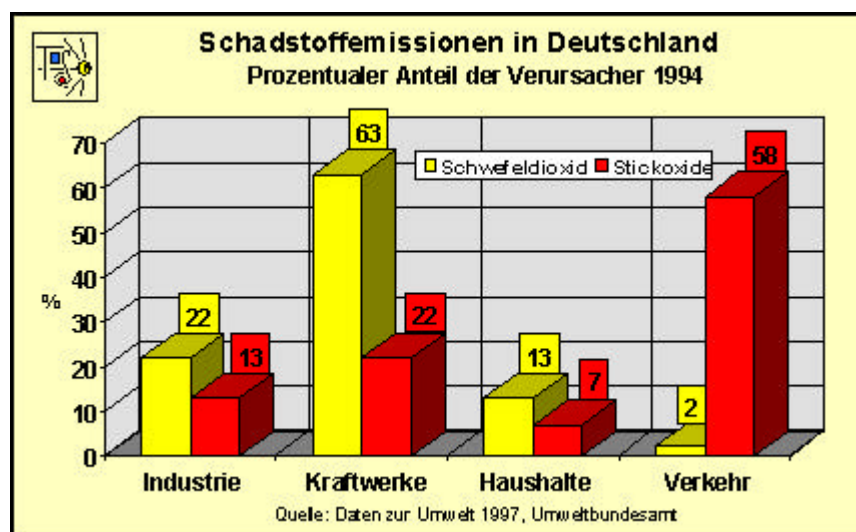
Dass Saurer Regen ein ernst zunehmendes Problem ist, erkannte man erst Ende der 70er Jahre. Man wurde mit großflächigem Waldsterben und einer Versäuerung der Seen konfrontiert. Die ersten Beobachtungen von kristallklaren, absolut sauberen Seen machte man in Schweden. Schließlich stellte sich heraus, dass diese Seen deshalb so sauber waren, weil in ihnen kein Leben mehr existierte. Die Versäuerung mancher Seen war teilweise schon so weit fortgeschritten, dass sie einen pH-Wert von 3 hatten, was etwa dem pH-Wert von Essigsäure entspricht. Anschließend folgte ein großer Medienrummel und der Begriff des Sauren oder Giftigen (sic!) Regens wurde geprägt. In Deutschland sprachen große Zeitungen davon, dass deutschen Wälder irreversibel seien. Die Ursache für den Sauren Regen glaubte man im Treibhauseffekt zu finden, welcher schließlich zu einer Klimakatastrophe führen sollte. Mittlerweile ist erwiesen, dass – falls das Klima durch weltweite Erwärmung trockener wird – Nieder- und Hochmoore austrocknen werden. Der in ihnen vorhandene Schwefel oxidiert zu Schwefeldioxid, welches in die Gewässer gespült wird.

### B. Was ist Saurer Regen?

Saurer Regen ist Niederschlag, der durch Schwefeldioxyde, Stickoxide, Ammoniak und anderen chemischen Verbindungen verunreinigt ist.

Während der natürliche pH-Wert des Regens ungefähr bei 5,5 liegt, beträgt der pH-Wert von Saurem Regen in Deutschland durchschnittlich 4 bis 4,5. Dieses entspricht etwa einer bis zu circa 40fachen Säuremenge gegenüber unbelastetem Regenwasser.

Studien zeigen, dass Schwefel und Salpetersäure am meisten für die Versäuerung des Regens verantwortlich sind.



## C. Entstehung Sauren Regens

Bei Verbrennungsprozessen entstehen Schwefeldioxid, Stickstoffoxide und weitere säurebildende Gase.

Die so freigesetzten Nichtmetalloxide oxidieren in der feuchten Atmosphäre mit Wasserdampf zu Schwefelsäure und Salpetersäure. Diese Stoffe liegen dann gelöst in der Luft vor, so dass sie dann mit dem Niederschlag abregnen. Da diese Verbrennungsprodukte vermehrt in Städten und in industriellen Ballungsgebieten entstehen, ist dort der pH-Wert meist niedriger als auf dem Land.

Zugrunde liegende Reaktionsgleichungen:

Kohlenstoffdioxid:



Stickstoffdioxid:



Schwefeloxide:



Die ausgewählten Reaktionen verstehen sich als Beispiele; es gibt allerdings noch weitere Möglichkeiten, wie sich Säuren bilden könnten, die ebenfalls zur Entstehung des Sauren Regens beitragen.

## D. Auswirkungen Sauren Regens

### a) Auf Pflanzen

Durch die Versäuerung des Bodens, d.h. durch die Anreicherung von  $\text{H}^+$ -Ionen, werden wichtige Mineralstoffe wie Magnesium, Kalium, Calcium usw. von den Bindungsplätzen verdrängt und aus dem Boden ausgewaschen. Damit verliert dieser die normalerweise gute Pufferfunktion<sup>1</sup>. Dadurch kann es zu einer drastischen Absenkung des pH-Werts kommen. Aufgrund der Absenkung des pH-Werts entstehen infolge chemischer Prozesse  $\text{Al}_3^+$ -Ionen, die schädigend auf Pflanzenwurzeln und Boden auswirken. Selbiges trifft auch für Eisen-Ionen zu, die bei pH-Werten kleiner 3,8 freigesetzt werden. Der Schädigungsgrad hängt maßgeblich vom Bodentyp ab.

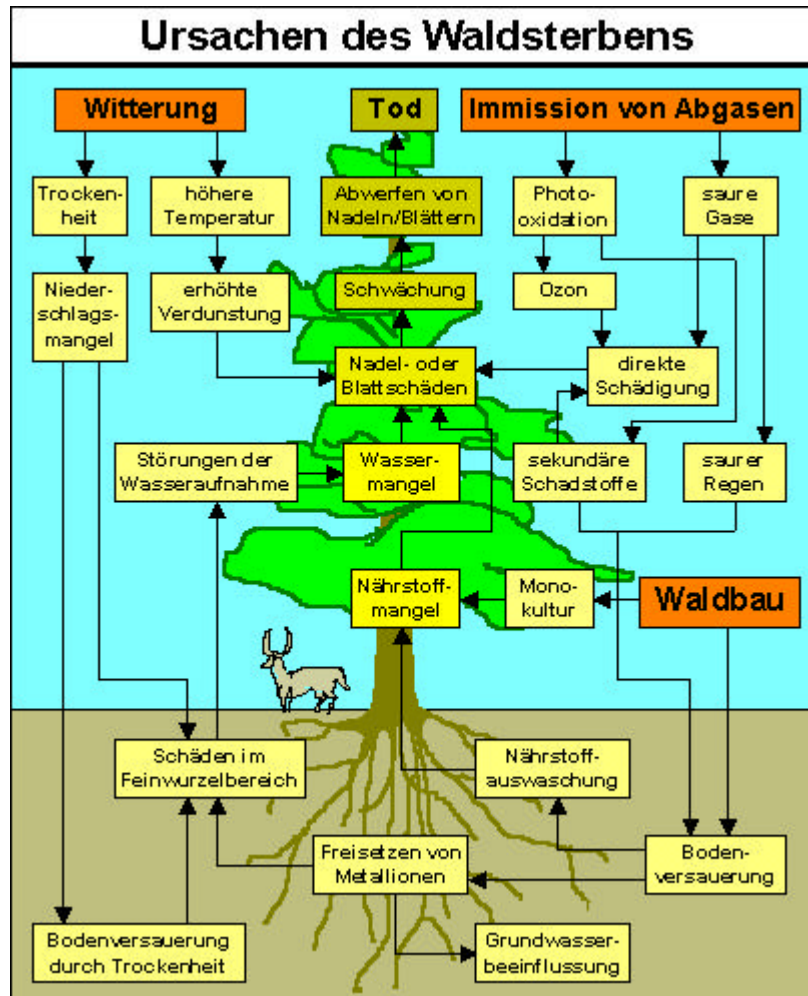
Von den durch Sauren Regen verursachten Schäden sind besonders Nadelbäume betroffen, die Tanne stärker als die Fichte. Unter den Laubbäumen ist die Eiche am stärksten betroffen. Geschädigt sind vor allem Wälder an Standorten mit häufigen und ergiebigen Niederschlägen die zudem relativ niedrige Jahresdurchschnittstemperaturen aufweisen. Dies trifft in Deutschland insbesondere auf Wälder in höheren Lagen der Mittelgebirge und der Alpen zu. Allerdings sind die auftretenden Krankheitsbilder sehr unterschiedlich. Neben gesunden Beständen kommen in vergleichbarer Lage auch stark geschädigte vor. Somit lässt sich schon hier vermuten, dass der Saurer Regen nicht der einzige Faktor für die

---

<sup>1</sup> Pufferfunktion bedeutet die Fähigkeit des Bodens, den pH-Wert in gewissen Grenzen konstant zu halten.

Schädigung der Pflanzen ist.

Neben den sichtbaren Schäden kommt es auch noch zu einer Reduktion des Genpools, die die Anfälligkeit der Pflanzen vergrößert.



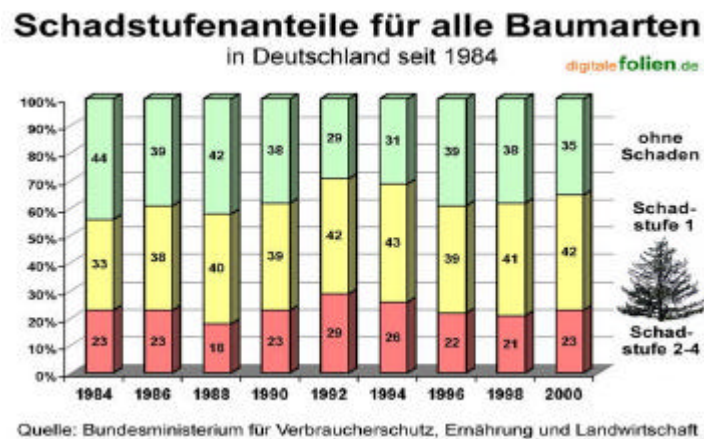
Die einzelnen Krankheitssymptome treten unabhängig voneinander auf und können zudem regional sehr unterschiedlich sein. Bei Nadelbäumen wurden folgende Schäden festgestellt:

- ☒ Schäden an Nadeln (Vergilbung, später Abfall)
- ☒ Schäden an Knospen und jungen Trieben
- ☒ Kronenverlichtung
- ☒ Rindenschäden
- ☒ Holzschäden
- ☒ Wachstumsanomalien
- ☒ Schäden im Feinwurzelbereich
- ☒ Nachlassende Widerstandsfähigkeit gegen Frost, Infektionen, Schädlinge usw.
- ☒ Schädigung aller physiologischen Leistungen, was zum Tod der Pflanzen führen kann

Ursache für die Vergilbung der Nadeln ist oft ein Nährstoffmangel. Vergilbte Nadeln sterben meist ab, wodurch es zum Abfall dieser kommt. Bei besseren Umweltbedingungen besteht die Möglichkeit einer Regeneration und Wiederergrünung der Bäume.

Kommt es zu Waldsterben, hat dies eine Veränderung des gesamten Ökosystems zu Folge. Was bedeutet, dass sich dann wieder niederere Pflanzen ansiedeln können, die besser an

den sauren Boden angepasst sind. Es ist jedoch in Mitteleuropa nicht so weit, dass die Waldschäden irreversibel sind.



### **b) Auf Seen**

Besonders oligotrophe und damit ungepufferte Seen versauern sehr schnell. So sind pH-Werte von etwa 3 in skandinavischen Seen aufgetreten. Das führt zum Absterben von Mikroorganismen und Pflanzen und letztlich des gesamten Ökosystems. Werden Seen von Zuflüssen gespeist, die vorher versauerten Waldboden durchlaufen haben, verstärkt sich das Absinken des pH-Wertes zusätzlich.

### **c) Auf Gebäude**

Der Protonenüberschuss im Regenwasser verursacht eine verstärkte Auflösung von Gestein, was bedeutet, dass die Verwitterung wesentlich schneller voranschreitet. So reagiert beispielsweise Kalkstein mit Schwefelsäure zu Gips. Dadurch bröckelt das Gestein ab, auf ähnliche Weise wird auch Sandstein zersetzt. Dadurch werden zahlreiche Kulturdenkmäler unwiederbringlich zerstört.

## **E. Gegenmaßnahmen**

Man versuchte, den pH-Wert des Bodens wieder auf sein natürliches Niveau anzuheben, indem man großflächig Kalk ausbrachte, um dadurch die Schäden einzuschränken. Allerdings war das aufgrund der enormen Kosten und der zu großen benötigten Kalkmenge nicht praktikabel. Außerdem lindert die Maßnahme nur die Wirkung des Sauren Regens und bekämpft nicht den Sauren Regen an sich bzw. seine Ursachen.

Die einzig effiziente Möglichkeit, den Sauren Regen zu vermeiden, ist der Einsatz von Filteranlagen in der Industrie sowie Katalysatoren in Automobilen. Diese Maßnahmen werden bereits in einigen westlichen Industrienationen angewendet.

Desweiteren sollte natürlich Energie sinnvoll und sparsam eingesetzt werden, um niedrigere Emissionswerte zu erreichen und Ressourcen zu bewahren.

## *F. Einschränkungen*

Die Schädigung an Pflanzen bzw. das Waldsterben beruhen auf einem komplexen Ursachenbündel, welches schwer zu verstehen ist. Hinzu kommt, dass sich die verschiedenen Ursachen, von denen jede für sich wohl recht unbedeutend wäre, in ihrer Gesamtheit verstärken und somit verheerende Auswirkungen haben können.

Allerdings ist die nasse Deposition, d.h. Schadstoffe, die über das Regenwasser an die Pflanzen gelangen, nicht die einzige Ursache für die Säurebelastung der Pflanzen. Des Weiteren gibt es noch trockene sowie feuchte Deposition.

Bei der trockenen Deposition werden die Schadstoffe als Gas bzw. als Staub über die Spaltöffnungen aufgenommen. Dies führt letztlich zu einer Minderleistung der Fotosynthese, dies führt zu vorzeitiger Alterung der Blattorgane und zu Verbleichung des Chlorophylls. Außerdem wird die Funktion der Spaltöffnungen beeinträchtigt. Insgesamt kommt es allein durch die trockene Deposition zu einer starken Schädigung der Pflanzen.

Feuchte Deposition bedeutet, dass die Pflanzen die Schadstoffe über Nebel oder Tau aufnehmen. Hierbei werden die Schadstoffe im Wasserfilm, der die Blatt- oder Nadeloberfläche überzieht, gelöst. In diesem Falle entstehen sehr schnell pH-Werte kleiner 3. Dies bewirkt, dass durch chemische Reaktionen wichtige Mineralien aus den Blättern herausgelöst werden und Stoffwechselprozesse gestört werden, was zu nachhaltigen Schädigungen führen kann.

Ein weiteres Problem, besonders in landwirtschaftlich genutzten Gebieten mit Massentierhaltung, ist, dass auch Ammoniak, welches in der zur Düngung verwendeten Gülle vorhanden ist, bodenversauernd wirkt. Denn Ammoniak bzw. Ammonium wird im Boden nitrifiziert, was letztendlich zu einer Überdüngung des Bodens führt und weitere Schädigungen der Pflanzen hervorrufen kann.

Weitere Einschränkungen stellen Pilzbefall, Insektenplagen oder Epidemien dar, wobei man sagen muss, dass die Pflanzen gegenüber solchen Einflüssen wesentlich anfälliger werden, wenn sie bereits durch andere negative Umwelteinflüsse wie Sauren Regen vorbelastet sind.

Klar ist auch, dass die mitteleuropäischen Böden einen nicht besonders guten Zustand aufweisen. Denn wie in der Landwirtschaft wird in der Forstwirtschaft auch geerntet, aber so gut wie gar nicht gedüngt. Das hat eine kontinuierliche Verarmung des Bodens an Mineralstoffen zur Folge.

Zwar ist der Schadstoffausstoß, der zum Sauren Regen führt in den letzten Jahren zurückgegangen, ebenso wie der Ausstoß von Staubpartikeln, die ja auch gesundheitsschädigend auf den Menschen wirken. Da diese Staubpartikel basische Komponenten besitzen, wirken sie neutralisierend auf Sauren Regen. Jedoch wird durch die geringere Staubemission weniger Säure neutralisiert, so dass sich die beiden Komponenten ausgleichen und der pH-Wert des Regens etwa gleich bleibt.

Dies sind jedoch nur einige Komponenten, die sich belastend auf die Pflanzen auswirken.

## IX. Quellenangaben

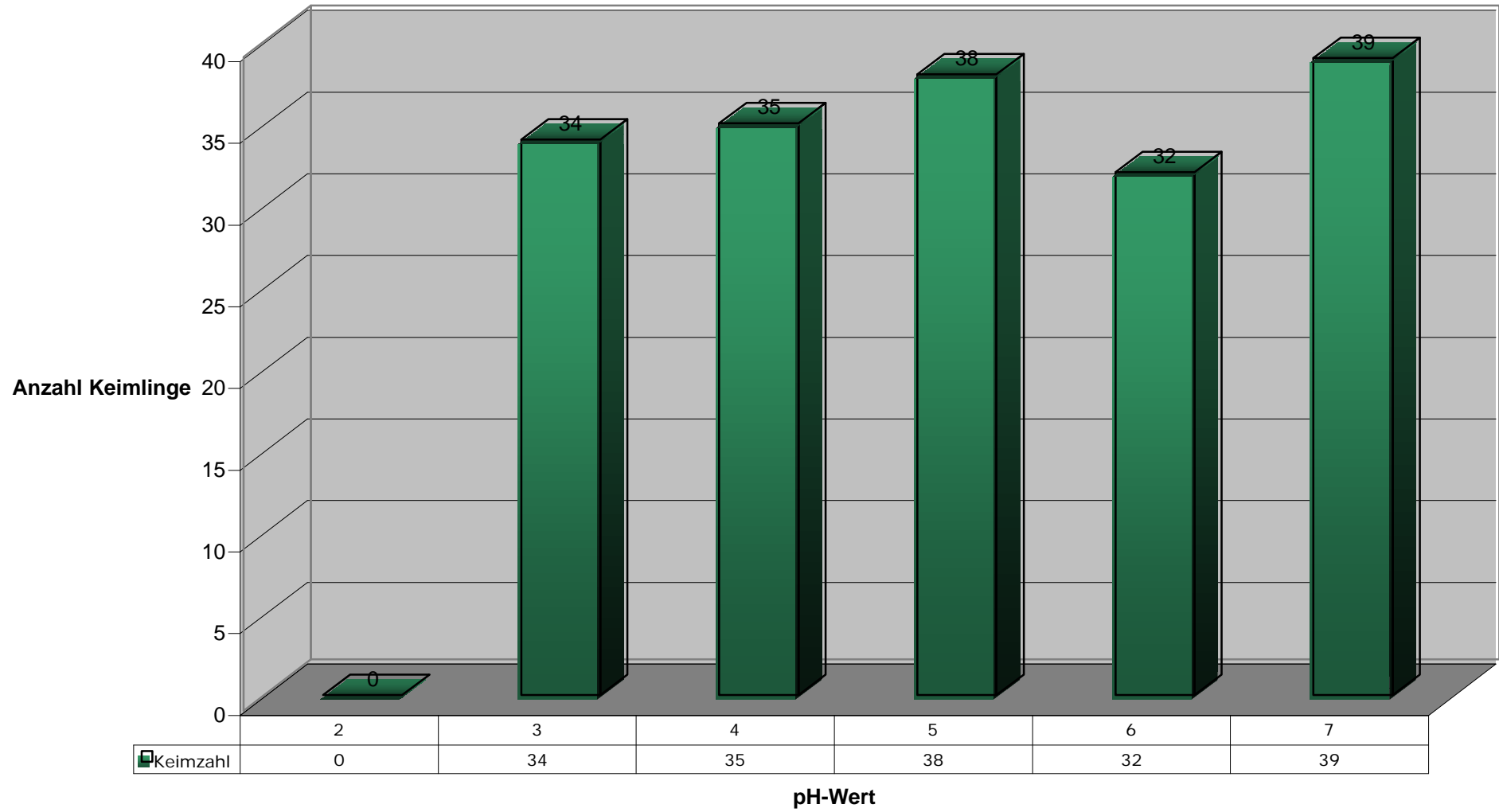
<http://www.biologie.uni-hamburg.de/b-online/d55/55a.htm>  
<http://www.stud.uni-hannover.de/~gundula/hausarb/chemie/ch5.htm>  
<http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-daten/daten/saure-niederschlaege.htm>  
<http://www.geo.de/themen/geoskope/92/12/OEKSauerSorgen.html>  
[http://www.emil-gruenbaer.de/klub/lexikon/u\\_saurer.htm](http://www.emil-gruenbaer.de/klub/lexikon/u_saurer.htm)  
<http://www.seilnacht.tuttlingen.com/Lexikon/Waldster.htm>  
<http://www.wald.de/forstwirtschaft/waldschaeden/waldschaeden.htm>  
<http://www.chemieunterricht.de/dc2/abgas/sauerreg.htm>  
<http://www.rz.shuttle.de/rn/sae/acid/info.htm>  
<http://www.woogie-online.ch/deutsch/sregen>  
<http://www.wissen.de>

## X. Weiterführende Informationen

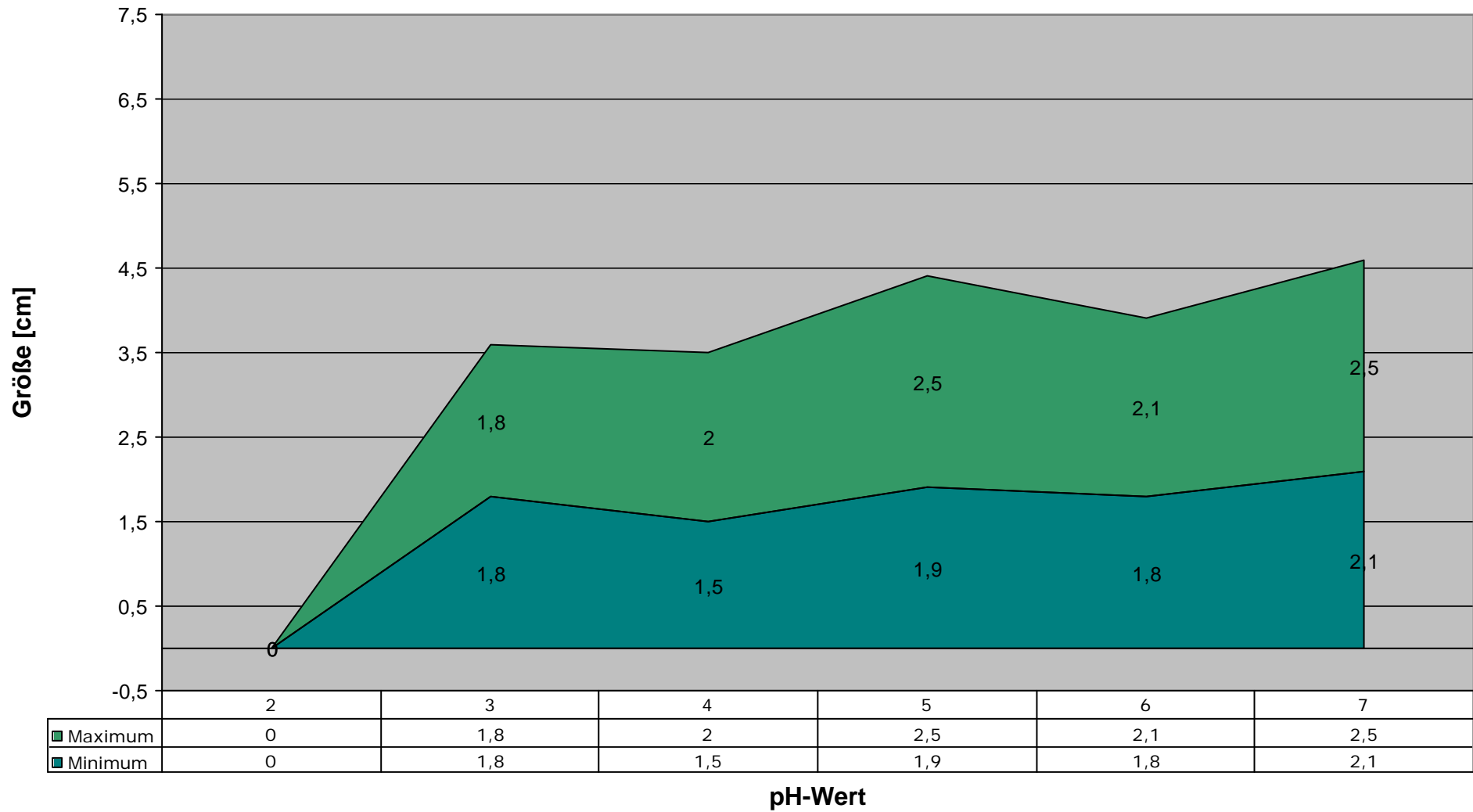
Versuchsbeschreibung, Messergebnisse, weitere Versuchsbilder und Links mit weiterführenden Informationen sind unter SNEAKER REFERATE verfügbar im

Intranet (CFG)	<a href="http://sneaker/referate/inhalt/regen">http://sneaker/referate/inhalt/regen</a>
Internet	<a href="http://sneaker.cfg-hockenheim.de/referate/inhalt/regen">http://sneaker.cfg-hockenheim.de/referate/inhalt/regen</a>

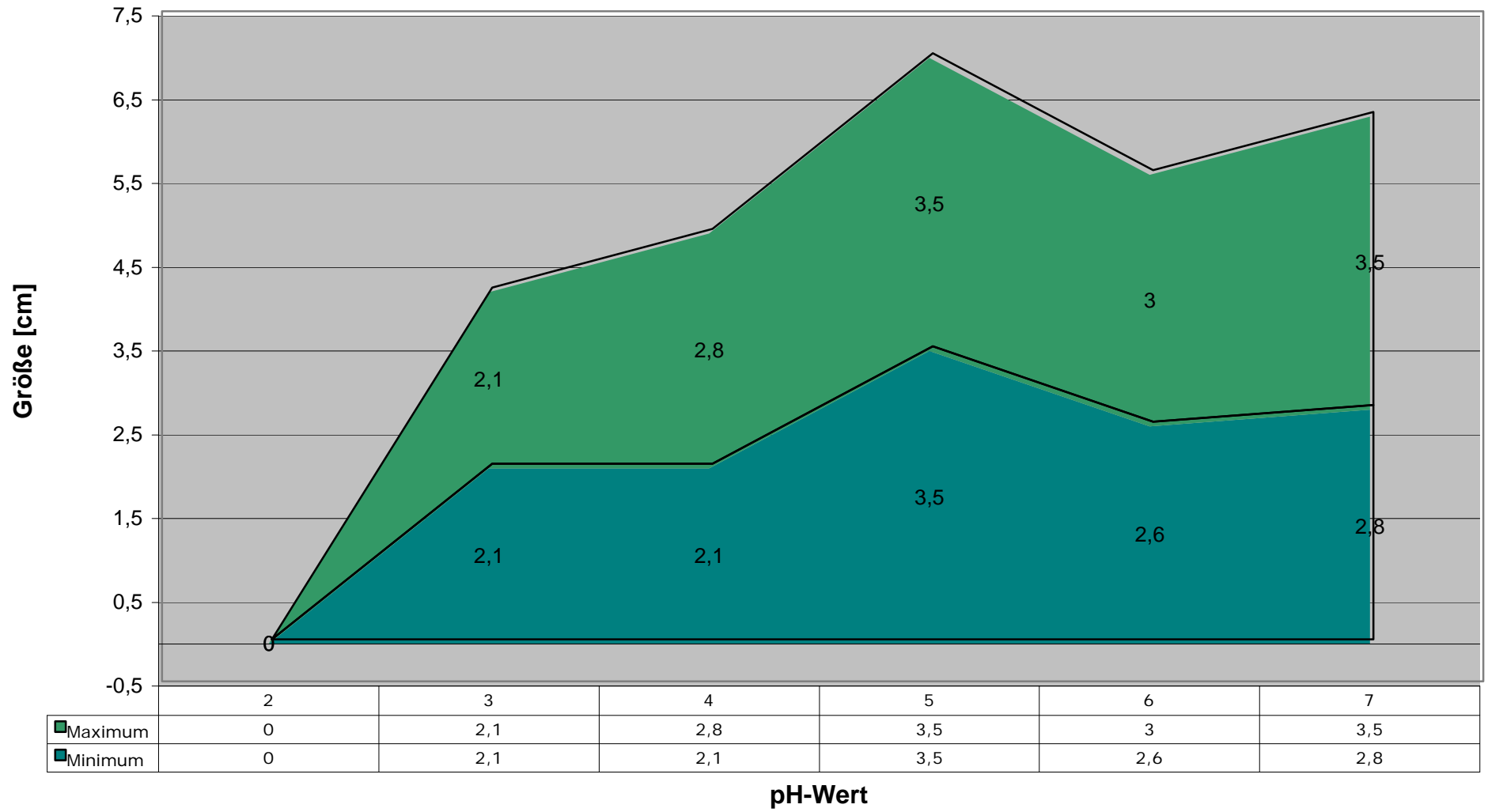
### Anzahl gekeimter Samen



### Länge Woche 1 (26.05.2002)



### Länge Woche 2 (02.06.2002)



Maximum	0	2,1	2,8	3,5	3	3,5
Minimum	0	2,1	2,1	3,5	2,6	2,8



↓ Kressekulturen am 1. Tag



↓ Kressekulturen am 3. Tag



↓ Kressekulturen am 4. Tag



↓ Kressekulturen am 5. Tag



↓ Kressekulturen am 6. Tag