

Inhaltsverzeichnis		Seite
1.	Vorwort	2
2.	Zusammenfassung	3
3.	Einleitung.....	5
3.1	Zielsetzung.....	5
3.2	Fragestellungen	5
4.	Theoretische Grundlagen.....	6
4.1	Prozess der Versauerung und deren Folgen.....	6
4.2	Situation der Waldböden in der Schweiz.....	7
5.	Eigene Untersuchungen	9
5.1	Definition der Waldstücke	9
5.1.1	Flächen in den Kantonen Fribourg und Bern.....	9
5.1.2	Flächen in der Region	10
5.2	Vorgehen.....	11
5.2.1	Triebmessungen	11
5.2.2	Kronenverlichtung	12
5.2.3	Bodenvegetation	13
5.2.4	Regenwürmer.....	14
5.2.5	Bodenproben.....	16
5.3	Laborarbeit zu den Bodenproben.....	17
5.3.1	pH-Wert.....	17
5.3.2	Basensättigung	29
6.	Auswertung	20
6.1	Auswertung der Triebmessungen	20
6.2	Auswertung der Kronenverlichtung	24
6.3	Auswertung Bodenvegetation	30
6.4	Auswertung Regenwürmer.....	31
6.5	Auswertung Bodenproben.....	33
7.	Diskussion zu den Resultaten	36
8.	Schlusswort.....	40
9.	Quellen	41
10.	Anhang	43

1. Vorwort

Schon von klein an wurde ich von meinen Eltern immer wieder auf die Natur und ihr Befinden aufmerksam gemacht. Mein Vater brachte mir vor allem das Ökosystem „Wald“ näher, da er selbst Forstwart lernte und noch immer als Selbständiger in dieser Branche tätig ist.

Vielen Leuten ist gar nicht bewusst, dass der Wald, trotz prächtigem Aussehen, krank sein kann. Denn Bäume stehen, im Vergleich zu Menschen und Tieren, trotzdem noch immer da, auch wenn es ihnen schlecht geht.

Im Rahmen meiner Maturarbeit wollte ich nun herausfinden, wie man einem Wald ansehen kann, ob es ihm gut oder schlecht geht.

Auch interessierten mich die chemischen und physikalischen Prozesse, die zur Versauerung von Waldböden führen können.

Ich entschied mich für den Vergleich zwischen einer versauerten Waldfläche und einer kalkreichen Fläche, da so die Auswirkungen der Versauerung am besten zu sehen sind.

Herr Walter Flückiger vom Institut für angewandte Pflanzenbiologie in Schönenbuch (IAP) konnte mir Gebiete in den Kantonen Fribourg und Bern empfehlen, welche sich gut für einen solchen Vergleich eignen.

Mich interessierte zudem, welchen Einfluss der immer mehr an Bedeutung gewinnende Klimawandel auf den Wald hat.

Während des Arbeitsprozesses hatte ich Gelegenheit, diverse Aspekte kennen zu lernen, welche die Gesundheit des Waldes beeinflussen. Zudem konnte ich die Arbeiten zur Untersuchung verschiedener Indikatoren über den Zustand von Pflanzen und Tieren erlernen.

Dafür möchte ich mich bei Herrn Walter Flückiger, Frau Sabine Braun und Herrn Dieter Bader vom IAP in Schönenbuch herzlich bedanken. Sie haben mir Material und Labor zur Verfügung gestellt und sich viel Zeit genommen, um mir Zusammenhänge und Gegebenheiten zu erklären, so dass ich damit selbständig weiter arbeiten konnte.

Weiter gilt mein Dank dem Pflanzensoziologen Thomas Burger, der mir über die Bodenvegetation Wissenswertes erzählen konnte.

Beiläufig erfuhr ich auch sehr interessante Fakten über die Wälder und ihren Zustand in der ganzen Schweiz.

Und ebenso bedanke ich mich bei meinem Betreuer Herrn Eduard Baader für die Unterstützung während des ganzen Arbeitsprozesses.

2. Zusammenfassung

In meinen Untersuchungen beschäftigte ich mich mit den Auswirkungen eines versauerten Bodens auf die Pflanzen und Tierwelt im Wald.

Ich betrachtete also je ein basenarmes und ein basenreiches Waldstück und verglich diese in verschiedenen Aspekten miteinander. Die basenreiche Fläche befindet sich in Magglingen (BE) und die basenarme und somit versauerte Fläche in Oberschrot (FR).

Aus der Tierwelt untersuchte ich die Anzahl Regenwürmer in den verschiedenen Bodenschichten und deren Biomasse.

Bei den Pflanzen wollte ich wissen, wie sich die Bodenvegetation in den beiden Waldstücken unterscheidet, wie stark die Kronenverlichtung der Fichten in den jeweiligen Gebieten ist und ob die Jungbuchen im versauerten Waldstück ein geringeres Triebwachstum haben als jene auf der kalkreichen Fläche. Ich nahm in beiden Gebieten Bodenproben und untersuchte diese im Labor auf pH-Werte und berechnete die Basensättigung.

Der Unterschied der Regenwürmeranzahl, beziehungsweise deren Biomasse ist frappant, denn in Oberschrot sind absolut keine Würmer zu finden. Die Anzahl Regenwürmer und deren Grösse stellen einen wichtigen Indikator für den Zustand des Bodens dar, da sie sensibel auf veränderte Bedingungen reagieren. In Oberschrot ist es also schlichtweg zu sauer.

Auch bei der Betrachtung der Bodenvegetation sieht man eindeutig, dass im sauren Waldstück vor allem viele säurezeigenden Pflanzen zu finden sind, und dass die Pflanzenvielfalt viel geringer ist. Praktisch die ganze Fläche in Oberschrot ist „teppichartig“ mit Heidelbeeren übersät.

Anhand der Kronenverlichtung sieht man, dass es den Magglinger Fichten einiges besser geht als denen in Oberschrot, obwohl zu erwähnen ist, dass auch in Magglingen der Wert verlichteter Kronen zu hoch ist.

Im Triebwachstum zeigen sich keine relevanten Unterschiede, höchstens, dass es in Oberschrot eine Herausforderung war, überhaupt die angestrebten 15 Jungbuchen zu finden. Anhand der gefundenen Bäume war dann aber zu sehen, dass das Gebiet dabei ist, sich zu erholen, denn seit 2002 nimmt das Wachstum stetig zu.

Die Versauerung wirkt sich aber in allen Aspekten ausser dem Triebwachstum negativ auf die Pflanzen- und Tierwelt aus - zumindest in diesen Flächen.

Das gute Triebwachstum in Oberschrot ist auf die gute Wasserspeicherkapazität des Bodens zurückzuführen, die nutzbare Feldkapazität ist also hoch. Das erlaubt den Pflanzen auch in wasserarmen Perioden den Zugang zum knapp vorhandenen, gespeicherten Wasser.

Ein weiterer interessanter Aspekt ist der Einfluss von trockenen Zeiten wie zum Beispiel dem Hitzesommer 2003. Dazu nahm ich weitere Triebmessungen bei Jungbuchen auf zwei Flächen in unserer Region vor. Die Fläche in Rodersdorf hat eine hohe nutzbare Feldkapazität und diejenige in Bubendorf eine niedrige. Eine niedrige Feldkapazität entsteht, wenn der Boden sehr feinkörnig ist (Ton) und so das wenige Wasser zu stark gebunden wird.

Das heisst, die Bäume haben auch mit den feinsten Wurzeln keinen Zugriff mehr zum Wasser, wenn nur noch wenig Wasser im Boden vorhanden ist. Das wirkte sich sehr stark auf das Triebwachstum aus. So wuchsen die Jungbuchen in Rodersdorf pro Jahr im Durchschnitt um 17.5 cm mehr.

Der Hitzesommer 2003 zeigte in Bubendorf keinen Einfluss, hingegen gab es in Rodersdorf im darauf folgenden Jahr (2004) einen Wachstumsrückgang.

Vom IAP in Schönenbuch bezog ich noch weitere Daten der beiden Gebiete in unserer Region. So sah ich, dass auch die Kronenverlichtung in Bubendorf dramatisch ist: es gibt dort sehr viele Buchen, die eine Verlichtung von über 60% aufweisen, was extrem schlecht ist. Aus den Bodendaten ergab sich, dass die Basensättigung in Bubendorf höher ist als in Rodersdorf und somit der Rodersdorfer Boden etwas sauer ist. Das Vorkommen der Regenwürmer ist deshalb in Bubendorf auch grösser. Aber wie sich in den Ergebnissen gezeigt hat, nützt all dies den Bäumen nichts, wenn sie kein oder nicht genügend Wasser haben. Die Klimaerwärmung wird aber nicht nur den Wachstumsrückgang der Pflanzen bewirken, sondern es werden auch neue, wärmetolerantere Arten bei uns heimisch werden - unter anderem auf Kosten der Buche.

Ein Wald mit - durch Bodenversauerung oder Trockenheit - geschwächten Bäumen kann seinen Hauptaufgaben schlechter nachkommen als ein gesunder Wald. Seine Funktionen als Holzlieferant, Lebensraum für Fauna und Flora, Erholungsraum für die Menschen und Schutz vor Lawinen oder Erdbeben sind also beeinträchtigt. Zudem werden kranke Bäume mit schlechter Bewurzelung schon bei kleineren Stürmen umfallen und sie sind anfälliger auf Schädlingsbefall.

3. Einleitung

3.1 Zielsetzung

Das Ziel meiner Maturarbeit war es, herauszufinden, wie sich ein versauerter Waldboden auf seine pflanzlichen und tierischen Bewohner auswirkt und ob diese Auswirkungen positiv oder negativ zu werten sind. Beim Vergleichen des sauren und des basischen Gebietes wollte ich möglichst viele Aspekte miteinander vergleichen, so dass auch möglichst alle Einflüsse miteinbezogen sind.

Trotzdem musste ich mich einschränken und habe deshalb Aspekte wie Stickstoffbelastung, Parasitenbefall oder Ozonbelastung nicht berücksichtigt.

3.2 Fragestellungen

Ich stellte meine Maturarbeit unter die Leitfrage: „Was sind wesentliche Auswirkungen eines sauren Bodens auf die Pflanzen- und Tierwelt des Waldes?“ Die folgenden sechs zentralen Fragen versuchte ich mit Hilfe der Feldarbeiten und deren Auswertung zu beantworten.

- Wie unterscheidet sich die Anzahl Regenwürmer in den verschiedenen Bodenschichten (aufgeteilt nach Ökogruppen) in einem versauerten Waldboden gegenüber einem nicht versauerten Waldboden?
- Wie gross war der Zuwachs bei Jungbuchen im Jahr 2006 sowie in den letzten vier Jahren?
- Welche Schäden findet man auf dem versauerten Waldstück am Baum (Fichte) selbst? (Kronenverlichtung)
- Wie wirkt sich die Versauerung auf die Bodenvegetation aus? (Bodenbedeckung vor allem auf säure- oder baseanzeigende Pflanzen bezogen)
- Wie unterscheiden sich die pH-Werte in den beiden Waldstücken (an verschiedenen Stellen)?
- Wie unterscheiden sich die Werte der Basensättigung in den beiden Waldböden?

In einem theoretischen Teil zeige ich auf, wie die Versauerung der Waldböden über die letzten zwanzig Jahre in der Schweiz zugenommen hat und wie sich das auf die Wälder auswirkte. Das IAP in Schönenbuch hat dazu schon diverse Langzeitstudien erstellt.

Der theoretische Teil beinhaltet zudem die Erläuterung chemischer und physikalischer Prozesse, welche zu einer Versauerung der Böden führen und deren Folgen.

Ein Thema, das in der heutigen Zeit immer mehr an Bedeutung gewinnt und auch einen Einfluss auf das Befinden des Waldes hat, ist der Klimawandel. In meiner Arbeit kann ich leider nicht gross darauf eingehen. Im Zusammenhang mit dem Hitzesommer 2003 werde ich das Thema aber aus eigenem Interesse in der Diskussion kurz aufgreifen.

4. Theoretische Grundlagen

4.1 Prozesse der Versauerung und deren Folgen

Die Bodenversauerung ist eigentlich ein natürlicher Prozess, jedoch wird sie durch vom Menschen verursachte Schadstoffeinträge stark beschleunigt, vor allem durch Luftschadstoffe, welche Stickstoffverbindungen (NO_x) enthalten, also vorwiegend vom Kraftfahrzeugverkehr. Der Prozess wird ebenfalls durch - im organischen Dünger enthaltenes - Ammonium beschleunigt (vor allem aus der Landwirtschaft). Mit Hilfe der Abbildung 1 versuche ich den Prozess der Versauerung zu erklären:

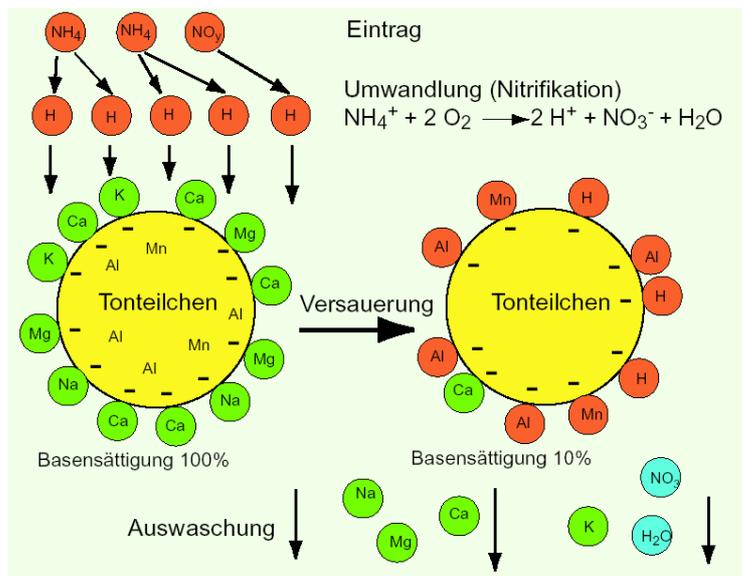


Abb. 1: Schema des Prozesses der Bodenversauerung
(Bericht 2: Ergebnisse aus Dauerbeobachtungen, S. 35)

Im Boden enthaltene **Tonteilchen** binden **Nährstoffionen**, also basische Kationen wie **Kalium**, **Calcium**, **Natrium** und **Magnesium**. Die Teilchen selbst enthalten Aluminium und Mangan.

Bei der im Boden stattfindenden Nitrifikation (Umwandlung von Ammonium in **Nitrat**), werden zwei **Protonen** frei. Diese tauschen die **Nährstoffionen** aus und setzen gleichzeitig das **Aluminium** und **Mangan** frei.

Die **Aluminium- und Manganionen** werden nun zusammen mit den **Protonen** anstelle der **Nährstoffionen** gebunden. Die Basensättigung an dem Tonteilchen beträgt also nicht mehr 100%, sondern in diesem Beispiel nur noch 10%, da von den zehn gebundenen Ionen nur eines ein basisches Kation ist. Eine Basensättigung von 15% oder kleiner wird als kritisch angesehen.

Die nun freien, positiven **Nährstoffionen** werden aufgrund der Elektroneutralität zusammen mit dem negativ geladenen **Nitrat** aus dem Boden ausgewaschen.

Diese Prozesse sind dafür verantwortlich, dass ein neutrales Salz wie NH_4NO_3 zu einer Verarmung des Bodens an basischen Kationen und damit zu einer Versauerung führt.

Die Bodenversauerung führt also einerseits zum Verlust von wichtigen Nährstoffen und andererseits werden giftige Aluminiumionen freigesetzt.

(Bericht 2: Ergebnisse aus Dauerbeobachtungen des IAP, S.35)

Durch die Abnahme der Basensättigung sinkt gleichzeitig der pH-Wert, das heisst die Acidität steigt.

Es gibt aber auch natürliche Einflüsse auf den pH-Wert des Bodens wie zum Beispiel organische Säuren, welche von Pflanzenwurzeln ausgeschieden werden und Zwischenprodukte beim Abbau organischer Substanzen sind.

Auch die Kohlensäure, welche aufgrund der hohen CO₂-Konzentration bei der Atmung von Wurzeln und Bodenorganismen entsteht, trägt zur Senkung des pH-Wertes bei.

Da der Prozess der Versauerung im kühl-humiden und gemässigten Klima wie dem der Schweiz natürlich abläuft, haben die Böden demgegenüber die Fähigkeit, solche Säuren zu neutralisieren, was man als Säurepufferung bezeichnet. Es gibt aber Böden, die geologisch bedingt schwächere Puffereigenschaften haben und somit von diesem Prozess stärker betroffen sind.

Viele Pflanzen ertragen eine zunehmende Versauerung der Böden nicht, das Wachstum wird bei pH-Werten unter 3.0 sogar eingestellt.

Die Versauerung hat zudem einen Einfluss auf das Wasser. Wasser, das durch einen sauren Boden sickert, wird selbst sauer, gelangt ins Grundwasser und kommt eines Tages wieder an die Oberfläche. So entstehen saure Seen.

<http://de.wikipedia.org/wiki/Bodenversauerung> (Stand: 25.10.2006)

<http://www.wald.de/?cat=16> (Stand: 28.02.2007)

4.2 Situation der Waldböden in der Schweiz

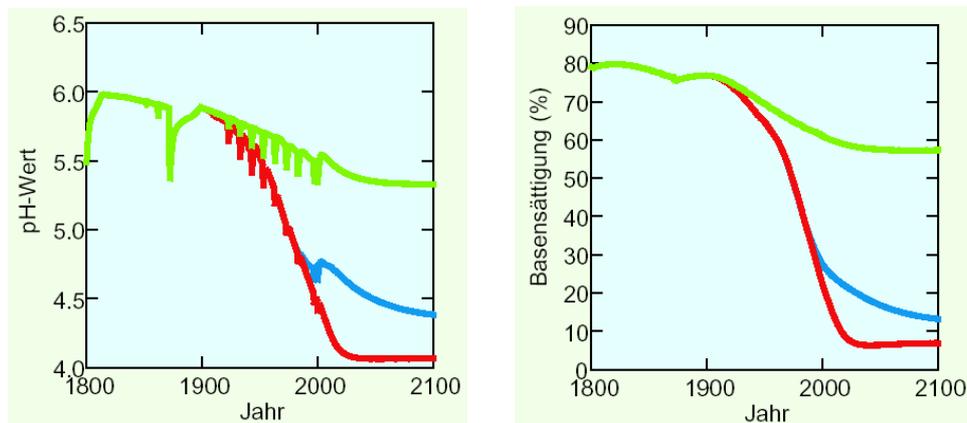
Schäden, die man an der Oberfläche, also an den Pflanzen antrifft, haben ihren Ursprung oft im Wurzelbereich und somit im Boden.

Das Institut für Angewandte Pflanzenbiologie in Schönenbuch (IAP) führt seit 1984 Untersuchungen in den Schweizer Wäldern durch. Daraus entstand von 1984 bis 2004 eine Langzeitstudie mit 124 Dauerbeobachtungsflächen. (Bericht 2: S. 6/7)

Die Messreihen der Buchen- und Fichtenflächen zeigen Entwicklungen über 20 Jahre auf und lassen gewisse Prognosen zu. Die Walddauerbeobachtung ist wichtig, um sehr langsam vorangehende Veränderungen und Gefahren im Wald frühzeitig zu erkennen.

16 dieser 124 Walddauerbeobachtungsflächen weisen in den obersten 40 cm des Bodens eine Basensättigung im kritischen Bereich auf und 40 Flächen haben einen pH-Wert zwischen 3.2 und 4.0, was als stark sauer bis äusserst sauer bezeichnet wird. Diese Flächen befinden sich vor allem im Fricktal, Mittelland, Voralpenraum und im Tessin. (Bericht 2: S.35/36)

Das IAP hat Modellrechnungen durchgeführt und so herausgefunden, dass anthropogene Schadstoffeinträge in den Wald die Bodenversauerung stark beschleunigen (Abb.2). Die Studie hat gezeigt, dass diese Einträge ab 1900 stark zugenommen haben. In Diagrammen der Beobachtungsfläche Frienisberg (BE) ist zu sehen, dass der pH-Wert von 1900 an stark absank (rot) und nur dank einer UN/ECE-Reduktionsmassnahme¹ ab 2000 noch nicht bei 4.0 angelangt ist (blau). Das Gleiche gilt für die Basensättigung, die trotz UN/ECE-Massnahmen unter 20% sank. Die grüne Kurve zeigt den Verlauf, falls die Einträge immer noch gleich gross wären wie im Jahre 1900.



● Deposition Stand 1900 ● UN/ECE-Protokolle ● keine Massnahmen

Abb. 2:
Modellierter Verlauf des pH-Wertes und der Basensättigung für die Bodentiefe 0-40 cm.
(Bericht 2, S.41)

Die verschiedenen Baumarten reagieren unterschiedlich auf die sauren Böden. Zum Beispiel sind Fichte und Tanne gegenüber einer niedrigen Basensättigung um einiges toleranter als Ahorn oder Buche, dafür vertragen letztere die giftigen Aluminiumionen besser.

Allgemein aber trägt die zunehmende Bodenversauerung dazu bei, dass, vor allem bei Buche und Fichte, nur noch sehr wenige Feinstwurzeln gebildet werden, und diese weniger in die Tiefe vordringen. Das hat Auswirkungen auf den Wasserhaushalt und auf die Standfestigkeit der Bäume. Der Sturm „Lothar“ hat auf basenarmen Böden 4,8 mal mehr Buchen geworfen als auf basenreichen.

¹ Massnahme der UNECE (United Nations Economic Commission for Europe):
Abkommen mit 8 Protokollen zwischen 51 europäischen Staaten, dessen Ziel es ist, dass sich die Staaten nach allen technischen und wissenschaftlichen Möglichkeiten darum bemühen, die Emission von verschiedenen Luftschadstoffen zu verringern und so gut wie möglich zu verhindern.
<http://www.unece.org/env/lrtap/> (Stand: 29.11.2006)
www.umweltbundesamt.de/uba-infodaten/daten/umweltqualitaetsziele/uqzderregierung.html
(Stand: 19.3.2001)

5. Eigene Untersuchungen

5.1 Definition der Waldstücke

5.1.1 Flächen in den Kantonen Fribourg und Bern

Für den Vergleich eines versauerten und eines basenreichen Waldstückes wählte ich die Flächen Oberschrot (FR) und Magglingen (BE, auch „Biel oben“ genannt) aus (Abb. 3).

Der „Sauerstandort“ befindet sich in der Gemeinde Oberschrot am Rande des Kantons Fribourg in der Nähe des Schwarzsees, also im Sense-Oberland. Es ist ein 4855 m² grosses Südhang-Gebiet auf einer Höhe von 850 m.ü.M. Im Verlaufe der Arbeit nenne ich dieses Waldstück „Fläche 1“.

Das basenreiche Gebiet, Fläche 2, liegt in der zweisprachigen Gemeinde Magglingen oberhalb der Stadt Biel, direkt neben der Schweizerischen Sportschule. Die Fläche ist an einem Nordhang auf einer Höhe von 875 m.ü.M und hat eine Grösse von 6999 m².

Die Grössen und Landeskoordinaten (in Abb. 3) der Flächen haben an sich nichts mit den Untersuchungen zu tun, sie dienen bloss dazu, die Gebiete genauer zu definieren.

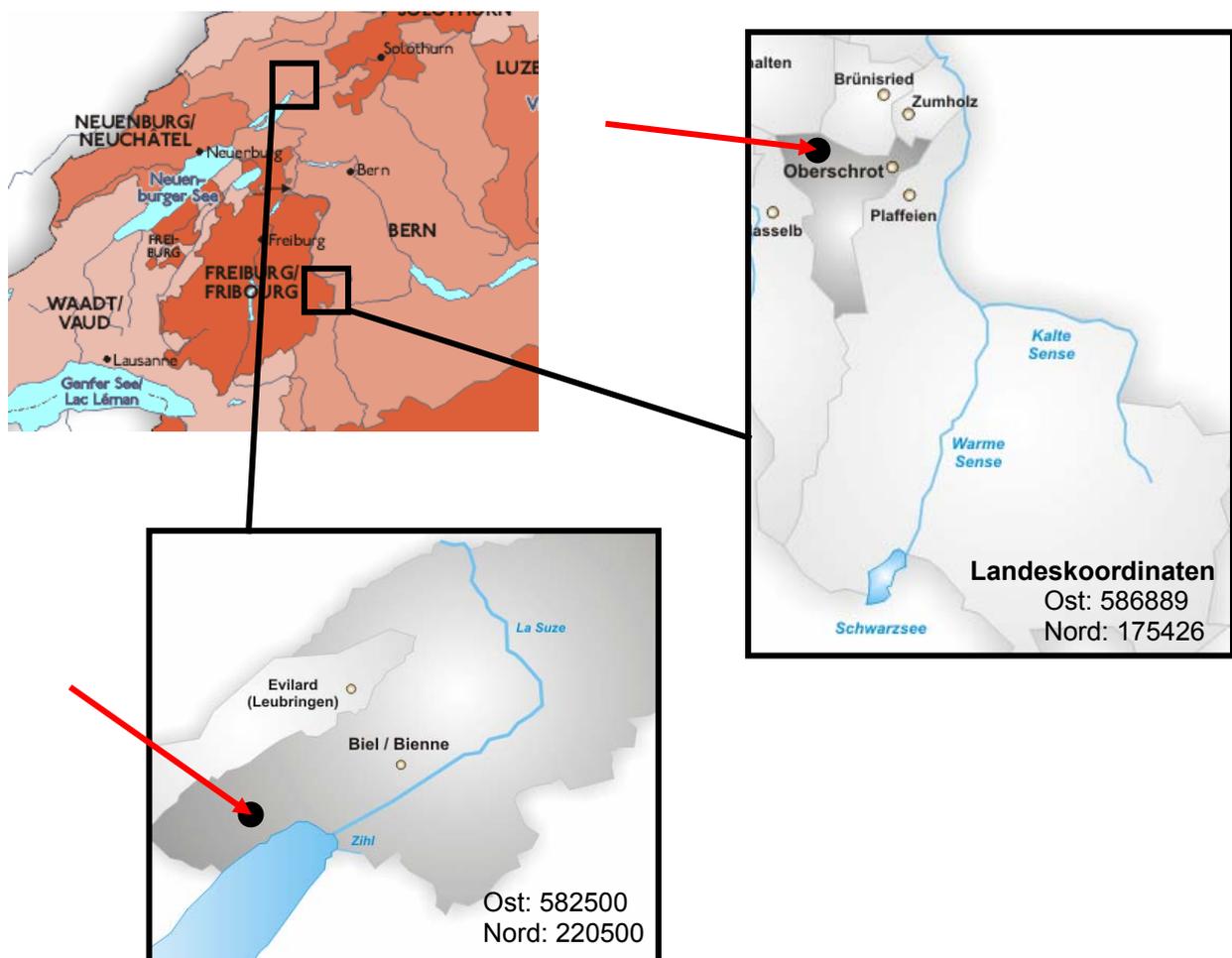


Abb. 3:
Genauere Lage der Untersuchungsflächen Magglingen (BE) und Oberschrot (FR)

5.1.2 Flächen in der Region

Um den Einfluss von Trockenzeiten im Zusammenhang mit der Beschaffenheit des Bodens anzuschauen, betrachtete ich weitere zwei Waldstücke in Bubendorf (BL) und Rodersdorf (SO) (Abb. 4).

Die Fläche Bubendorf besteht aus sehr feinkörniger Erde, der Boden weist deshalb eine niedrige Wasserspeicherkapazität auf. Diese 7728 m² grosse Fläche nenne ich „Fläche 3“. Als Gegensatz dazu untersuchte ich einen Standort, der gut mit Wasser versorgt ist. Die Fläche 4, in der Solothurner Gemeinde Rodersdorf, hat einen tiefgründigen Boden, d.h. der Wurzelraum wird nicht durch Gestein, Bodenverdichtung oder Stauwasser auf die oberen Bodenschichten beschränkt. Und der Boden verfügt über eine gute Mischung von grobkörnigen und feinkörnigen Materialien, also von Ton und Sand.

Die Grösse von Fläche 4 beträgt 6498 m².

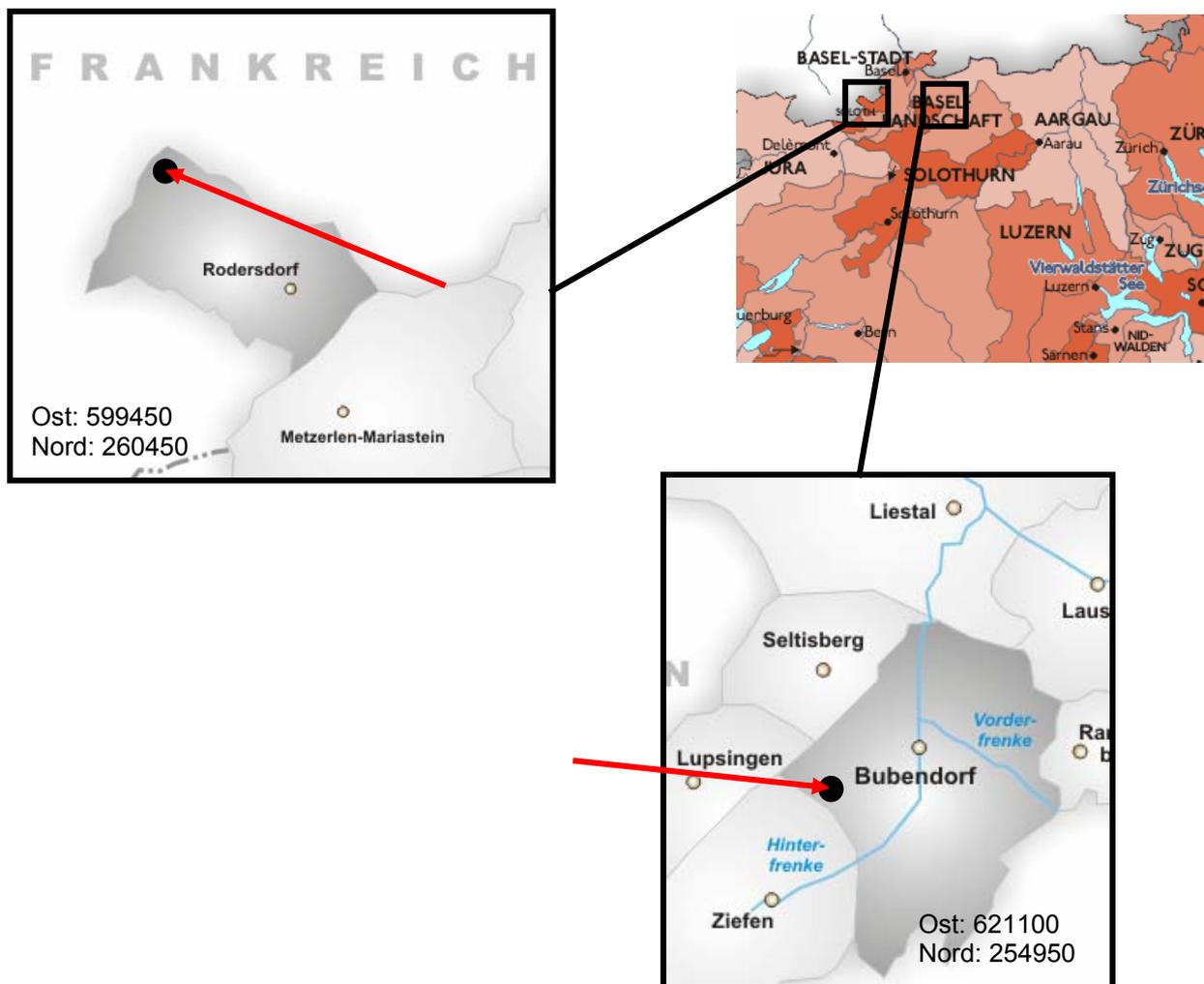


Abb. 4:
Genauere Lage der Untersuchungsflächen Bubendorf (BL) und Rodersdorf (SO)

5.2 Vorgehen

5.2.1 Triebmessungen

Die Triebmessungen bei Buchen führte ich auf allen vier Flächen durch. Dazu unternahm ich das folgende Szenario bei 15 Jungbuchen pro Fläche:

Die Jungbuchen müssen alle etwa die gleiche Grösse haben, in diesem Fall eine Höhe zwischen zwei und drei Metern.

Hat man eine passende Jungbuche gefunden, muss man die Spitze (den Haupttrieb) der Buche finden und von dieser Spitze an bis zu der Stelle messen, an der im vorangehenden Winter die Endknospe war. Diese Stelle erkennt man an einigen kleinen, dicht aneinander liegenden Rillen um das Ästlein herum (Abb. 5).

Dieser Abschnitt ist die Länge, um die diese Buche im Jahr 2006 wuchs. Misst man von dieser „Ringstelle“ baumabwärts zur nächsten solchen Stelle, erhält man die Länge, um welche die Buche im Jahr 2005 wuchs. Die Messungen kann man nun beliebig viele Jahre zurück vornehmen, jedoch wird es immer schwieriger, die Knospenstelle zu erkennen, je älter diese ist. Für meine vier Flächen habe ich die Messungen bis zurück ins Jahr 2002 durchgeführt.

Die Messung macht man mit einem Messband, da dieses sich an die Krümmungen des Triebes anpassen kann. Die Messdaten schrieb ich in der Einheit „cm“ in einer Tabelle auf.

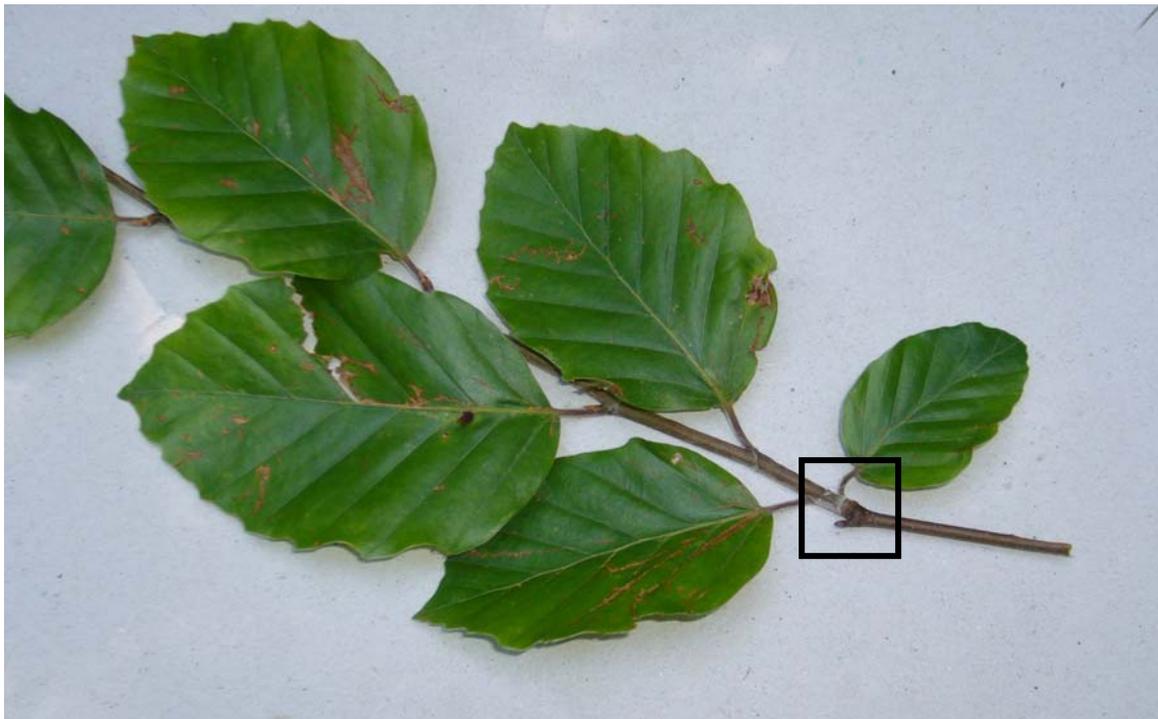


Abb. 5:
*Buchentrieb mit Ansatzstelle
der letztjährigen Knospe*

5.2.2 Kronenverlichtung

Die Kronenverlichtung ermittelte ich auf den Flächen 1 und 2 selbst und zwar nur bei Fichten. Von allen vier Flächen erhielt ich zudem die Daten zur Kronenverlichtung von den Buchen vom IAP in Schönenbuch.

Die Kronenverlichtung ist ein Indikator für die Stressbelastung der Bäume.

Die Stressursachen können verschiedener Natur sein, zum Beispiel Luftschadstoffe, Witterungsextreme, Parasitenbefall oder Probleme im Wurzelbereich, d.h. im Boden.

Das Ermitteln der Kronenverlichtung wird auch „bonitieren“ genannt. Die Methode beruht auf einer Einschätzung, deshalb habe ich meine Daten mit denen von einer weiteren Person verglichen, die diese Bäume schon vor mir bonitierte. Alle Bäume der Fläche wurden vom IAP bereits durchnummeriert, so dass ich ohne grossen Aufwand meine Resultate mit denen der Zweitperson vergleichen konnte.

Beim Bonitieren nimmt man an, dass eine Krone, die vollständig mit Nadeln oder Blättern besetzt ist, eine Verlichtung von 0% hat. Die Verlichtung wird nun in 5%-Stufen eingeschätzt, je mehr Nadeln beziehungsweise Blätter fehlen, also je mehr leere Triebe, desto höher ist die Verlichtung (Abb. 6). Dabei kann es vorkommen, dass bei einer Fichte der Baumwipfel nicht gleich stark verlichtet ist als der untere Teil des Baumes. Nach Herrn Flückiger legt man in diesem Fall mehr Gewicht auf die Spitze, man nimmt also einen Zwischenwert, bei dem die Spitze etwa zu zwei Dritteln gewichtet wird.

Die Verlichtung wird dann anhand einer europaweit einheitlichen Skala eingestuft (Kapitel 6.2).

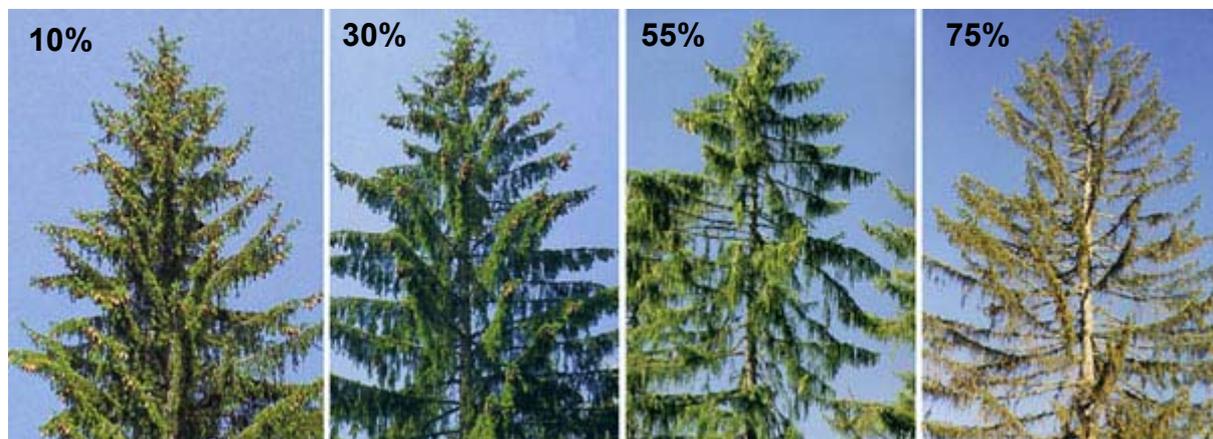


Abb. 6
Verschieden starke Kronenverlichtung bei Fichten

http://www.waldwissen.net/themen/inventur_monitoring/oekosystemmonitoring/wsl_sanasilva_kronenbilder_EN (Stand: 17.1.2006)

5.2.3 Bodenvegetation

Jede Pflanzenart besitzt ihren eigenen Charakter und wächst nur dort, wo ihre Ansprüche in Hinblick auf Nährstoffe, Wasser, Licht und Wärme erfüllt sind. Bodenpflanzen sind also Indikatoren für die Beschaffenheit des Bodens, auf dem sie wachsen, deshalb gibt es auf unterschiedlichen Böden auch ganz verschiedene Vegetationen.

Um die verschiedenen Bodenvegetationen auf unterschiedlichen Böden kennen zu lernen, verbrachte ich einen Tag mit Sabine Braun vom IAP und dem Pflanzensoziologen Thomas Burger. Sie nahmen auf verschiedenen Flächen im Emmental Bodenproben und bestimmten die Bodenvegetation. So hatte ich eine gute Gelegenheit, diese beiden Arbeiten zu erlernen. Viele der Pflanzen, die ich antraf, nahm ich nach Hause und beschriftete und presste sie (Abb. 7). Beim Bestimmen der Bodenvegetation ist es wichtig, dass man Pflanzen, die direkt an einem Weg wachsen, nicht berücksichtigt, da dort fremde Einflüsse zu anderen respektive verfälschten Bodenbedingungen führen.

Nun konnte ich auf den Flächen 1 und 2 meine Kenntnisse anwenden. Viele Pflanzen kannte ich dank dem ersten Ausflug schon, für die restlichen verwendete ich einen an die Kantone Bern und Fribourg angepassten Schlüssel aus einer Broschüre. Darin sind die Pflanzen sortiert nach den verschiedenen Boden-Charakteren, auf denen sie wachsen. Weiter wird nicht nur erklärt, ob sie säure- oder basezeigend sind, sondern auch ob sie eher auf nassen, lehmigen, trockenen oder steinigten Böden wachsen.

Die verschiedenen Pflanzen listete ich auf und gab jeweils dazu an, ob sie in der Fläche oft vorkamen oder nur selten anzutreffen waren. Pflanzenarten, von welchen ich nur ein oder zwei Exemplare fand, liess ich ganz weg, da diese eher per Zufall gerade dort vorkamen.

Pflanzen, die ich nicht identifizieren konnte, nahm ich mit nach Hause und bestimmte sie mit weiteren Hilfen.

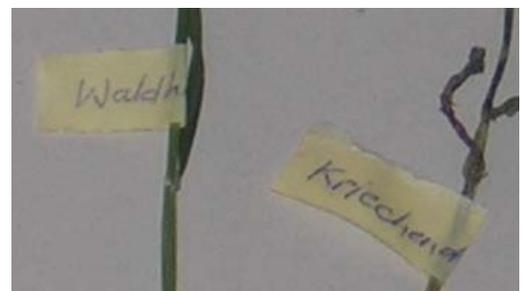


Abb. 7:
Gepresste und beschriftete
Pflanzen des Waldes

5.2.4 Regenwürmer

Die Regenwurmpopulation interessierte mich hauptsächlich in den Flächen 1 und 2. Regenwürmer reagieren stark auf Störungen im Boden, so stellen sie ein wichtiges Qualitätsmerkmal für die Bodenfruchtbarkeit und für den Säuregehalt dar.

Ich nahm jedoch die Untersuchungen in meinen Flächen nicht selbst vor, sondern übernahm die Daten des IAP, welches die Populationen bereits ermittelt hatte.

Mich interessierte die Methode trotzdem und ausserdem war es wichtig für meine Maturarbeit, dass ich das Vorgehen kenne. Also konnte ich an einem Tag mit Dieter Bader und Michael Tobler im Kanton Thurgau das so genannte „Wümmeln“ erlernen. Pro Gebiet muss man an vier verschiedenen Stellen folgende Prozedur durchführen:

Man hebt eine Grube aus, von je 50 cm Länge und Breite sowie 40 cm Tiefe, das ergibt 0.1 m^3 .

Die herausgeholtte Erde verteilt man nun, nach Tiefenstufen unterteilt (0-10 cm/10-25 cm/25-40 cm), auf 3 Planen (Abb. 8).

Damit auch die Würmer aus den Schichten tiefer als 40 cm an die Oberfläche kommen, schüttet man zusätzlich in Wasser aufgelöstes Senfpulver in die Grube (Abb. 9 und 10). Die Regenwürmer ertragen diese Lösung anscheinend nicht und kommen schon nach wenigen Minuten an die Oberfläche, Schaden nehmen sie dabei nicht.



Abb. 8:
Ausheben der Grube



Abb. 9: *Auflösen des Senfpulvers in Wasser*



Abb. 10: *Senfpulverlösung in der Grube*

Nun werden die drei Erdhaufen möglichst genau nach Regenwürmern abgesucht, dabei müssen auch verstükelte Würmer berücksichtigt werden. Grössere Knollen muss man vorsichtig zerkleinern, denn ruhende Würmer verknoten sich zu einem kleinen Knäuel, so dass sie leicht übersehen werden könnten. Das ist eine Fingerarbeit, die viel Ausdauer benötigt (Abb. 11 und 12).

Wenn man alle Würmer gesammelt hat, werden diese noch gewaschen und sortiert. Es gibt drei Ökogruppen mit unterschiedlichen Lebensbereichen (Abb. 13). Die Horizontalbohrer (*Octolasion* & *Allolobophora*) kommen eigentlich nie an die Oberfläche, deshalb sind sie auch überhaupt nicht pigmentiert. Man erkennt sie zudem an einem Stück Fettgewebe am Schwanzende. Vertikalbohrer (*Nicodrilus* & *Lumbricus*) hingegen kommen ab und zu an die Oberfläche, jedoch nur mit dem Kopf. Aus diesem Grund sind sie vom Kopf weg ein Stück weit pigmentiert. Die dritte Gruppe sind die Streubewohner. Sie leben vor allem in den obersten 5-10 cm und sind ganzkörperlich pigmentiert.

Um die jeweiligen Arten der Horizontal- und Vertikalbohrer zu unterscheiden, braucht es dann schon einiges mehr an Erfahrung. Einige „Musterexemplare“ konnte ich bestimmen, die übrigen wurden durch Herrn Bader zugeordnet.

Hat man diese nun geschafft, werden sie kurz zum Abtrocknen auf ein Tuch gelegt, und dann nach Arten sortiert gewogen. So kann die Biomasse bestimmt werden. Denn die Bodenqualität wird nicht nur durch die Anzahl der Würmer bestimmt, die sich in einem Bodenabschnitt aufhalten, sondern es kommt auch darauf an, wie gross und lang die einzelnen Exemplare sind.



Abb. 11: Gründliches Durchsuchen der aus der Grube ausgehobenen Erde



Abb. 12: Gefundene Regenwürmer werden gesammelt



Abb. 13: Regenwürmer sortiert nach Arten

5.2.5 Bodenproben

Von den Flächen 1 und 2 benötigte ich mehrere Bodenproben, um diese auf pH-Wert und Basensättigung zu untersuchen. Dabei bohrt man pro Gebiet an mindestens fünf verschiedenen Stellen. Alle in einem Gebiet gewonnenen Bodenproben werden, unterteilt nach Tiefenstufen, in Säckchen abgepackt, dabei entstehen so genannte Mischproben. Die Tiefenstufen können gross sein (z.B. 15 – 40 cm) oder klein (z.B. 10 – 16 cm). Das wird jeweils vor Ort, also in der Untersuchungsfläche, entschieden, denn Tiefenstufen werden nach Bodenhorizonten unterteilt (Abb. 14).

„Bodenhorizonte sind Bereiche innerhalb des Bodens, die einheitlich ähnliche Merkmale und Eigenschaften besitzen und sich von darüber liegenden oder darunter folgenden Bereichen unterscheiden.“

<http://de.wikipedia.org/wiki/Bodenhorizont> (Stand: 24.11.06)

Die Proben habe ich jedoch nicht selbst genommen, sondern ich benutzte für meine Messungen bereits vorhandene Proben des Instituts in Schönenbuch. Das Vorgehen ist mir seit dem Ausflug, als ich auch die verschiedenen Bodenvegetationen kennen lernte, bekannt (vgl. Kapitel 5.2.3).

Von der Fläche 1 erhielt ich Proben von 0 bis 220 cm Tiefe und von der Fläche 2 waren es Proben von 0 bis 45 cm. Um bei beiden Flächen gleiche Voraussetzungen zu haben, machte ich auch bei Fläche 1 nur mit den Werten bis zu einer Tiefe von 50 cm Durchschnittsberechnungen und Interpretationen. Es ist oft so, dass in basenarmen Gebieten der pH-Wert steigt, je tiefer man in den Boden vordringt. Der Durchschnitt aller Werte wäre so erhöht worden.

Über die Messungen im Labor berichte ich im Kapitel 5.3.

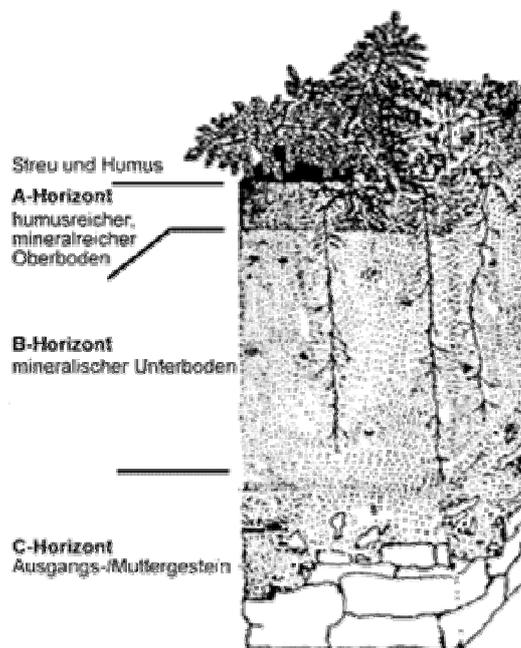


Abb. 14

Hauptunterteilung der Bodenhorizonte in A, B und C

<http://hypersoil.uni-muenster.de/0/04/06.htm>

(Stand: 01.02.2003)

5.3. Laborarbeit zu den Bodenproben

5.3.1 pH-Wert

Für die pH-Messungen der Bodenproben von Flächen 1 und 2 hat mir das IAP ihr Labor zur Verfügung gestellt. Eine Laborantin gab mir kurz Instruktionen, so dass ich danach selbständig arbeiten konnte (Versuchsordnung siehe Anhang A).

Um den pH-Wert zu ermitteln, muss man die Proben verdünnen. Das wird einerseits mit Wasser gemacht und bei einem zweiten Satz mit Calciumchlorid (CaCl_2). Für die Proben, die mit Wasser verdünnt werden, benötigt man frische Bodenproben, für die anderen kann man auch ältere verwenden.

Jedes Säckchen mit einer Bodenschicht hat eine eigene Nummer (Lnr). Das dient dazu, dass die Proben später schneller gefunden, aber auch, dass sie nicht verwechselt werden (Abb. 15).



Abb. 15:
Beschriftete Säckchen mit der Erde verschiedener Bodentiefen

Man markiert nun je zwei kleine Plastikfläschchen mit der gleichen Nummer. In jedes Fläschchen kommen 6 g Erde der entsprechenden Bodenschicht. Somit hat man dann von jedem Gebiet zwei Sätze aller Bodenschichten, abgefüllt in Plastikfläschchen (Abb. 16 und 17).

Danach fügt man dem „frischen“ Satz 15 ml Wasser hinzu und in den anderen, mit älteren Proben, 15 ml 0.01 molare CaCl_2 -Lösung (Abb. 18). Alle Fläschchen werden gut geschüttelt.

Die mit CaCl_2 verdünnten Bodenproben muss man eine Stunde stehen lassen, um dann mit dem pH-Meter den pH-Wert ermitteln zu können. Die Proben, die mit Wasser verdünnt sind, müssen jedoch 15 bis 16 Stunden ruhen.



Abb. 16:
Abwägen der Proben à 6 Gramm



Abb. 17
Je zwei Proben der gleichen Bodenschicht, eine ältere und eine frische



Abb. 18: *Hinzufügen der 0.01 molaren Calciumchloridlösung*

Haben die Proben entsprechend lange geruht, kann man mit dem Messen beginnen. Dazu verwendete ich einen pH-Meter des Instituts (Abb. 19). Man schüttelt das Fläschchen nochmals gut, hält das Messgerät in die Lösung und wartet, bis sich der Wert stabilisiert hat, das heisst solange, bis das Wort „DRIFT“ auf der Anzeige verschwindet. Diesen Wert schreibt man bei der dem Fläschchen entsprechenden Nummer, in Form einer kleinen Tabelle, auf. Man geht bei allen Fläschchen analog vor. Zwischen den einzelnen Messungen muss der pH-Meter immer mit destilliertem Wasser abgespült und abgetrocknet werden, damit es zu keinen falschen Einwirkungen auf die nachfolgenden Proben kommt.

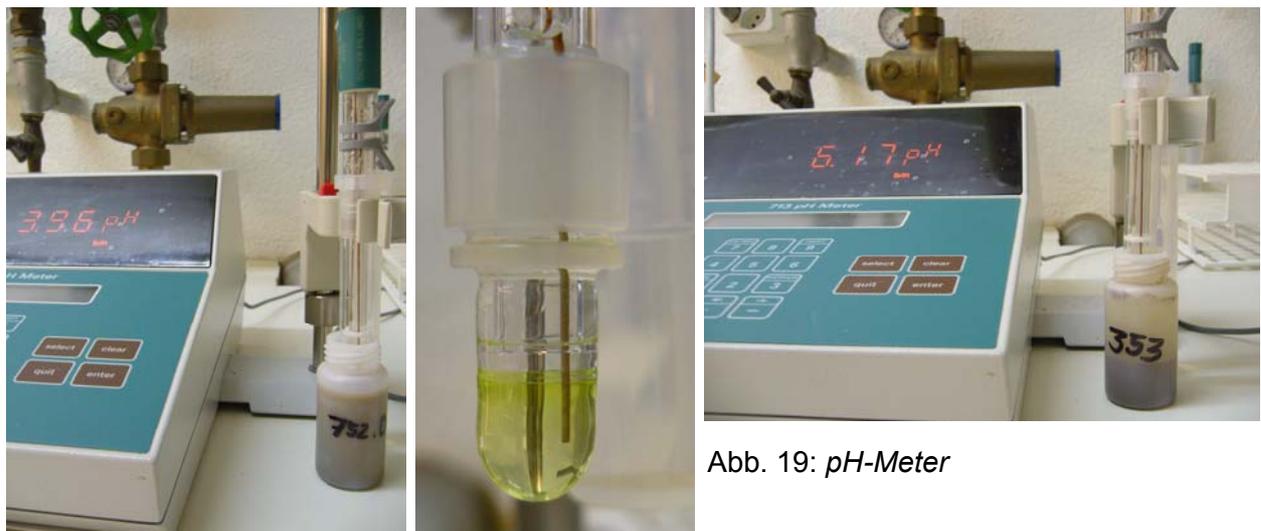


Abb. 19: pH-Meter

5.3.2 Basensättigung

Um die Basensättigung der verschiedenen Bodenproben zu ermitteln, musste ich selbst keine Laborarbeit machen. Für die Berechnung verwendete ich Daten des IAP. Man benötigt dazu die Konzentrationen von den Elementen Kalium, Mangan, Magnesium, Calcium, Natrium, Eisen und Aluminium in den jeweiligen Bodenproben. Man geht nun nach einer Formel vor, die die Basensättigung in Prozent angibt (Theorie siehe Kapitel 4.1).

Die Werte werden wiederum in einer Tabelle aufgelistet.

$$\frac{100 \cdot (K + Mg + Ca + Na)}{(K + Mg + Ca + Na + Al + Fe + Mn)} = BS \rightarrow \text{in}\%$$

Alle Bodendaten zusammen, das heisst pH-Werte, Basensättigungen und die Konzentrationen der Elemente, stellte ich in einer Excel-Tabelle dar (siehe Anhang B).

6. Auswertungen

6.1 Auswertung der Triebmessungen

Die Daten aller Triebzuwachsmessungen bei den Jungbuchen stellte ich für jede Fläche einzeln in Tabellen mit der Einheit „cm“ dar (Tab. 1 a bis d). Zusätzlich berechnete ich jeweils die Jahresmittelwerte und die Jahresmediane über alle 15 Buchen. Um noch eine bessere Übersicht zu erhalten, berechnete ich von jeder Fläche den Mittelwert und Median *aller* Zahlen.

Beim Median werden nicht, wie beim arithmetischen Mittel (Mittelwert), alle Werte zusammengezählt und dann durch die Anzahl Werte dividiert, sondern es wird die mittlere Zahl der nach Grösse geordneten Werte übernommen. Der Median ist somit weniger anfällig auf „Ausreisser“ als der Mittelwert.

In diesem Fall beeinträchtigen also kranke Jungbuchen oder Spezialfälle die Resultate kaum.

Aus diesem Grund stellte ich aus den Medianen ein Diagramm auf, welches den Verlauf des Zuwachses über die letzten fünf Jahre aufzeigt (Abb. 20).

Tab. 1: *Triebzuwachs der Jungbuchen aller vier Flächen von 2002 bis 2006 mit Mittelwerten und Medianen*

a)

	2002	2003	2004	2005	2006
1	33	31	28.5	31.5	46
2	30	51	53	54	34.5
3	26	25	27	35	35
4	20.5	16	26.5	30	50
5	10.5	8	12	13	11.5
6	33	28.5	40.5	22	20
7	30	36	20.5	21.5	30
8	12.5	11	7.5	12.5	10
9	24	21.5	26	40	32.5
10	15	35	25.5	28.5	48
11	12	14.5	16	7.5	10
12	43	36	18	41.5	41
13	18.5	17	34	21.5	41
14	14.5	10	24.5	30	32
15	15.5	35	26.5	29.5	45
Jahresmittelwerte:	22.53333333	25.03333333	25.73333333	27.86666667	32.43333333
Jahresmediane:	20.5	25	26	29.5	34.5

Fläche 1
Oberschrot
(FR)

Summe aller Zahlen: 1099.5
Mittelwert aller Zahlen: 24.43333333

Median aller Zahlen: 25

b)

Fläche 2 Maggingen (BE)

	2002	2003	2004	2005	2006
1	31	43	34.5	34	29
2	42	21.5	34	36	18
3	36	29	29.5	32	30
4	26	25.5	17	27	16
5	25	19.5	15	15	17
6	28.5	30	25.5	13	16
7	25.5	26	23	2	31
8	28	24	21	15	14
9	40	30	34	47	39
10	38	20	21	25.5	15
11	28.5	33	24	35	29
12	46	29	34	38	35
13	32	24	16	34	29
14	33	24	29.5	27	28
15	27	23.5	30	18	24

Jahresmittelwerte:	32.4333333	26.8	25.8666667	26.5666667	24.6666667
Jahresmediane:	31	25.5	25.5	27	28

Summe aller Zahlen: 1276.5

Mittelwert aller Zahlen: 28.3666667

Median aller Zahlen: 28.5

c)

Fläche 3 Bubendorf (BL)

	2002	2003	2004	2005	2006
1	48	24	60	57	39
2	33	34	23	45.5	39
3	53	30	34	52	33
4	43	2	53	46	55
5	38	20	35	33	55
6	27	34	19	41.5	45
7	22	42.5	19.5	23	41
8	26	29	30	23.5	43
9	24.5	23.5	19	23.5	24
10	17	14.5	11	11	11.5
11	34	37	32	30	36
12	28	18.5	18	14.5	20
13	18	22	25	1	14
14	21.5	25	14	20	27
15	14	19	35.5	30	23

Jahresmittelwerte:	29.8	25	28.5333333	30.1	33.7
Jahresmediane:	27	24	25	30	36

Summe aller Zahlen: 1250

Mittelwert aller Zahlen: 27.7777778

Median aller Zahlen: 25

d)

Fläche 4
Rodersdorf
(SO)

	2002	2003	2004	2005	2006
1	48	45	56	47	43
2	61	54	48	57	47.5
3	29	37	30	68	46
4	44.5	44	35	40.5	48
5	57	63	27	33	42
6	47.5	60	47	47.5	48
7	36	43	32	37	38
8	32.5	40	37	50	33
9	35	20	49	41	55
10	27	30	56	23.5	32
11	31.5	52	34	31	44
12	33.5	49	53	61	60
13	34	50	33	32	67
14	61	50.5	47	54	51
15	41	42.5	51	42	53

Jahresmittelwerte: **41.2333333 45.3333333 42.3333333 44.3 47.1666667**
 Jahresmediane: **36 45 47 42 47.5**

Summe aller Zahlen: 1933.5

Mittelwert aller Zahlen: 42.9666667

Median aller Zahlen: 44

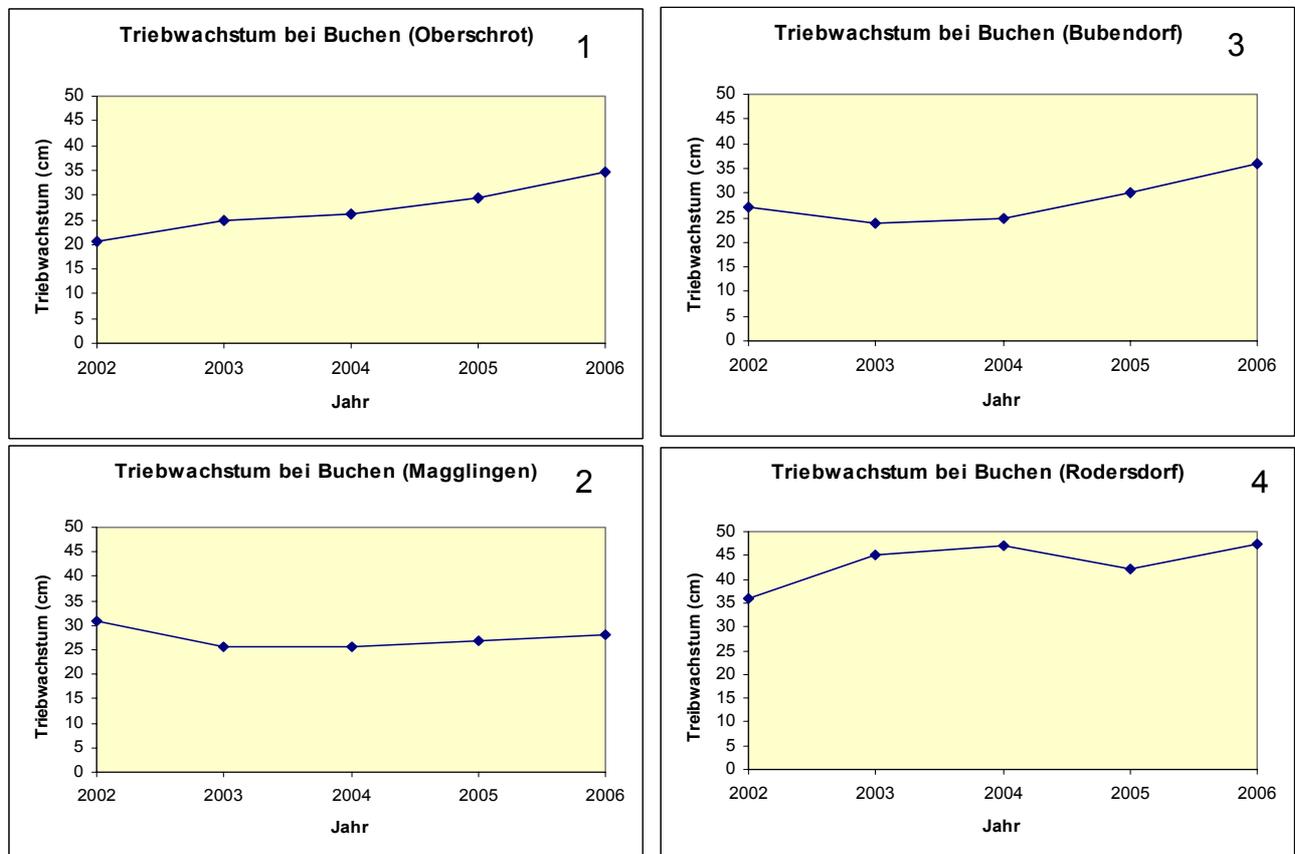


Abb. 20: Triebwachstum von Jungbuchen dargestellt in Jahresdiagrammen, jeweils Mediane der 15 Jungbuchen

In der Fläche Oberschrot ist das Triebwachstum seit 2002 stetig angestiegen. Im Schnitt lag der Zuwachs im Jahr 2006 etwa zehn cm höher als 2002.

Im Jahr 2004 war die Zunahme gegenüber dem Vorjahr etwas kleiner, was eventuell auf den Hitzesommer von 2003 zurückzuführen ist.

Wenn man die Fläche in Magglingen betrachtet, stellt man fest, dass das Triebwachstum dort von 2002 bis 2003 um etwa 6 cm abnahm, bis 2004 konstant blieb und von da an leicht zunahm. Jedoch erreicht der Wert von 2006 den Anfangswert von 2002 nicht.

Vergleicht man nun die Flächen 1 und 2, ist erkennbar, dass in Magglingen zwar der Median aller Zahlen um 3.5 cm höher liegt als in Oberschrot, jedoch sieht es so aus, als ob sich die Jungbuchen in Oberschrot von früheren Stresssituationen erholen und nun ein sehr gutes Wachstum aufweisen. Magglingen hingegen hatte im Jahr 2003 ein Tief, und erholte sich nur langsam.

Es gibt zwei relevante Faktoren, welche das Wachstum der Jungbuchen mitbestimmen.

Das eine ist die Sonnenscheindauer, welche in Anzahl Stunden pro Tag gemessen wird. Die Daten erhielt ich vom IAP. Die Sonnenscheindauer wurde in beiden Gebieten an verschiedenen Stellen gemessen und zeigte im Durchschnitt keine relevanten Unterschiede, womit ich also diesen Faktor weglassen konnte.

Der zweite Faktor ist die nutzbare Feldkapazität des Bodens, welche im Kapitel 6.5 noch näher erläutert wird. Im Vergleich ergibt sich eine grössere Feldkapazität zu Gunsten der Fläche in Oberschrot.

Die Fläche Bubendorf zeigt eine Abnahme des Triebwachstums der Jungbuchen im Jahre 2003 gegenüber dem Vorjahr. Jedoch stieg der Wert von da an bis ins Jahr 2006 stark an. Der Wert von 2002 wurde somit im Median um 9 cm übertroffen.

Die Fläche in Rodersdorf weist einige Schwankungen auf. Von 2002 bis 2004 stieg das Wachstum um 11 cm im Median an, danach sank es in einem Jahr um 5 cm ab, und bis zum Jahr 2006 nahm es wiederum um 5.5 cm zu.

Vergleicht man die Flächen 3 und 4, stellt man fest, dass der Median aller Zahlen in Rodersdorf um ganze 17.5 cm höher liegt. Jedoch weist Bubendorf im Jahr 2006 einen guten Wert auf, vielleicht ist auch diese Fläche daran, sich zu erholen.

Auch hier möchte ich die beiden oben genannten Faktoren mit einbeziehen.

Die Sonnenscheindauer ist in Bubendorf im Durchschnitt um knappe 20 Minuten pro Tag höher als in Rodersdorf.

Doch der in dieser Fläche eindeutig wichtigere Faktor ist die nutzbare Feldkapazität, welche in Rodersdorf mehr als doppelt so gross ist als in Bubendorf. Das überrascht eigentlich nicht, da Rodersdorf ja der Standort ist, der eine hohe Wasserspeicherkapazität hat und der Boden daher nicht zu grob- aber auch nicht zu feinkörnig ist.

Betreffend des Triebzuwachses bei Jungbuchen ist die Fläche 4 (Rodersdorf) eindeutig die vitalste aller vier Flächen. Jedoch sieht es auch für die anderen Flächen eher positiv aus, da in allen drei Flächen seit 2004 der Zuwachs stetig angestiegen ist.

6.2 Auswertung der Kronenverlichtung

Für die Kronenverlichtung stellte ich die Daten aller Flächen in einer Tabelle dar (Tab. 3).

Bei diesen Daten ist es wichtig, dass man sie so darstellt, dass gut erkennbar ist, wo nun die Verlichtung grösser als 25% ist und wo grösser als 60%. Denn nach einer europaweit gültigen Einteilung sind Bäume mit einer Verlichtung zwischen 25% und 60% leicht bis mittelstark geschädigt und Bäume über 60% stark geschädigt (Tab. 2).

Ich verpackte die Daten der Tabelle 3 also in zwei Säulendiagramme, bei denen man auf einen Blick sieht, in welchem Waldstück wie viel Prozent der bonitierten Bäume eine Verlichtung über 25% aufweisen (ganze Säule) und wie viele davon sogar über 60% verlichtet sind (roter Teil). Das eine Diagramm zeigt die Verlichtung der *Fichten* auf, es beinhaltet also nur die Flächen 1 und 2 (Abb. 21). Das andere Diagramm präsentiert die Verlichtung der *Buchen* aller vier Flächen (Abb. 22).

Die Verlichtungsdaten von Fichten der Flächen 1 und 2, welche ich selbst ermittelte, stellte ich je in eigenen Tabellen dar. So konnte ich nun anhand einer Excel-Datei Mittelwert, Median und Summe der 40 Bäume pro Fläche berechnen (Tab. 4). Damit sind die beiden Flächen gut vergleichbar.

Tab. 2:

Definition der Schadstufen Nadel-/Blattverlust

Verlichtungsstufen	Kronenverlichtung
0 „ohne Schadmerkmale“	bis 10 %
1 „schwach geschädigt“	11–25 %
2 „mittelstark geschädigt“	26–60 %
3 „stark geschädigt“	über 60 %
4 „abgestorben“	100 %

http://www.mluv.brandenburg.de/cms/media.php/2324/wse02_2.pdf; S. 3

Tab. 3:

Übersicht der Kronenverlichtungsdaten von Fichten und Buchen

Jahr 2006	Oberschrot (1) Fichten	Maggingen (2) Fichten	Oberschrot (1) Buchen	Maggingen (2) Buchen	Bubendorf (3) Buchen	Rodersdorf (4) Buchen
% verlichtete Bäume > 25%	70	27.5	6.52	9.25	37.3	6.8
% verlichtete Bäume > 60%	2.5	0	0	0	6.7	0
n bonitierte Bäume	40	40	92	65	75	73
n verlichtete Bäume > 25%	28	11	6	6	28	5
n verlichtete Bäume > 60%	1	0	0	0	5	0

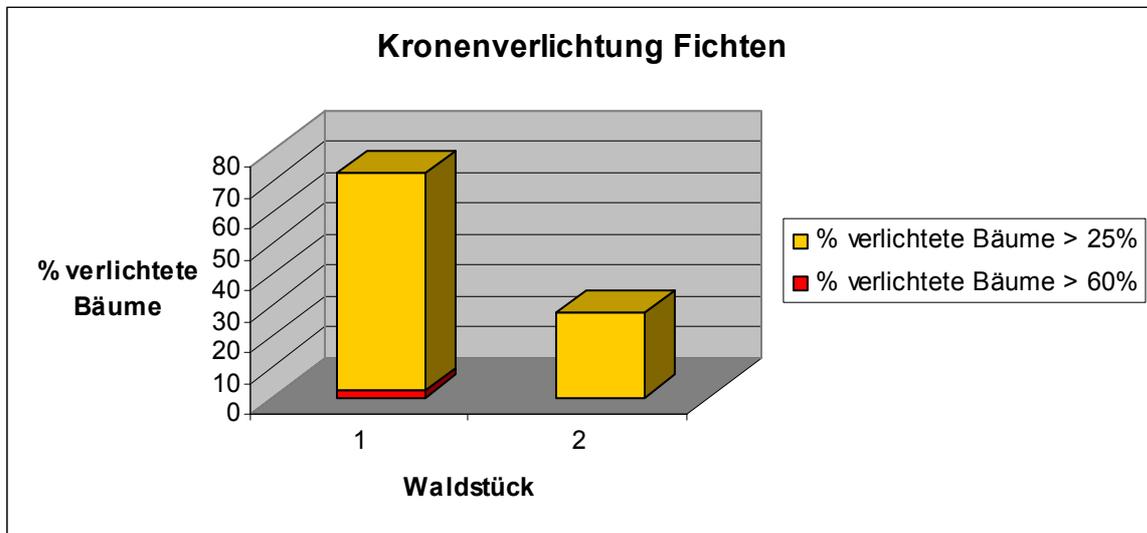


Abb. 21:
Säulendiagramm der Kronenverlichtung bei Fichten der Flächen Oberschrot (1)
und Magglingen (2)

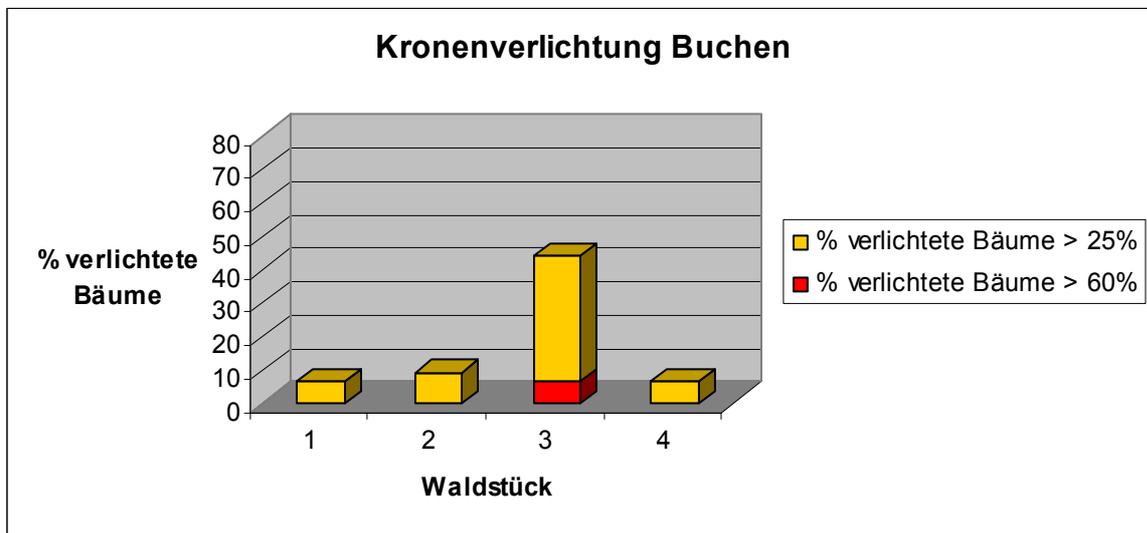


Abb. 22:
Säulendiagramm der Kronenverlichtung bei Buchen der Flächen Oberschrot (1),
Magglingen (2), Bubendorf (3) und Rodersdorf (4)

Tab. 4: Tabellen mit den 40 selber bonitierten Fichten und deren Verlichtung, Flächen 1 und 2

Fläche 1 (Oberschrot)			Fläche 2 (Maggingen)		
	Baumnummer	Verlichtung in %		Baumnummer	Verlichtung in %
1	5	25	1	1	25
2	6	40	2	3	25
3	7	40	3	4	25
4	8	30	4	6	20
5	9	45	5	7	25
6	10	25	6	8	10
7	11	35	7	9	30
8	12	30	8	10	30
9	13	40	9	11	25
10	14	35	10	12	25
11	15	40	11	14	25
12	16	30	12	16	25
13	17	30	13	17	15
14	18	25	14	18	25
15	19	35	15	19	25
16	21	30	16	20	30
17	30	55	17	21	25
18	31	55	18	22	25
19	32	20	19	23	30
20	33	25	20	24	45
21	35	25	21	25	50
22	37	20	22	26	10
23	38	30	23	27	30
24	40	55	24	28	10
25	41	30	25	29	25
26	42	40	26	30	30
27	45	45	27	31	40
28	54	20	28	32	30
29	55	40	29	36	35
30	57	25	30	37	25
31	58	30	31	38	20
32	60	20	32	41	25
33	62	70	33	42	15
34	63	45	34	43	20
35	64	25	35	44	20
36	66	40	36	45	20
37	67	40	37	47	25
38	77	30	38	48	5
39	?	25	39	49	25
40	?	40	40	50	15

In Oberschrot haben **28 von 40** Fichten eine Kronenverlichtung von mehr als 25%

Summe von 40 Bäumen:	1385
Mittelwert von 40 Bäumen:	34.625
Median von 40 Bäumen:	30

In Maggingen haben **11 von 40** Fichten eine Kronenverlichtung von mehr als 25%

Summe von 40 Bäumen:	945
Mittelwert von 40 Bäumen:	24.868
Median von 40 Bäumen:	25

Wie man unterhalb von Tabelle 4 lesen kann, weisen in Oberschrot 28 der 40 bonitierten Fichten eine Kronenverlichtung von über 25% auf, das heisst 70% aller Bäume sind mittelstark bis stark geschädigt, was als „verlichtet“ bezeichnet wird. Der Median und der Mittelwert liegen bei 30% beziehungsweise 34.6%, was ebenfalls über dem Schwellenwert liegt. Das ist ein sehr schlechtes Zeichen für den Zustand der Fichten dieser Fläche.

Von den 40 Bäumen weist zwar nur ein Baum eine Verlichtung von über 60% auf (= stark geschädigt).

In Magglingen haben 11 der 40 Fichten eine Kronenverlichtung von über 25%, was ein Anteil von 27.5% ist. Der Median und der Mittelwert liegen ziemlich genau auf dem Schwellenwert, was nicht gut, aber besser ist als in Oberschrot.

Es gibt unter den 40 Fichten keine mit einer Verlichtung über 60%.

In einem Diagramm des IAP (Abb. 23 a) kann man zusätzlich sehen, dass die Kronenverlichtung in Magglingen seit 1988 stets geschwankt hat, seit 2004 stark zunahm und nun 2006 den Höchstwert seit Messbeginn erreicht hat.

Wenn man also die beiden Flächen vergleicht, geht es den Magglinger Fichten eindeutig besser als denen in Oberschrot. Trotzdem hat sich auch der Wert in Magglingen in den letzten Jahren verschlechtert.

Eigentlich sollte in einem gesunden Wald der Anteil verlichteter Bäume bei höchstens 5% liegen.

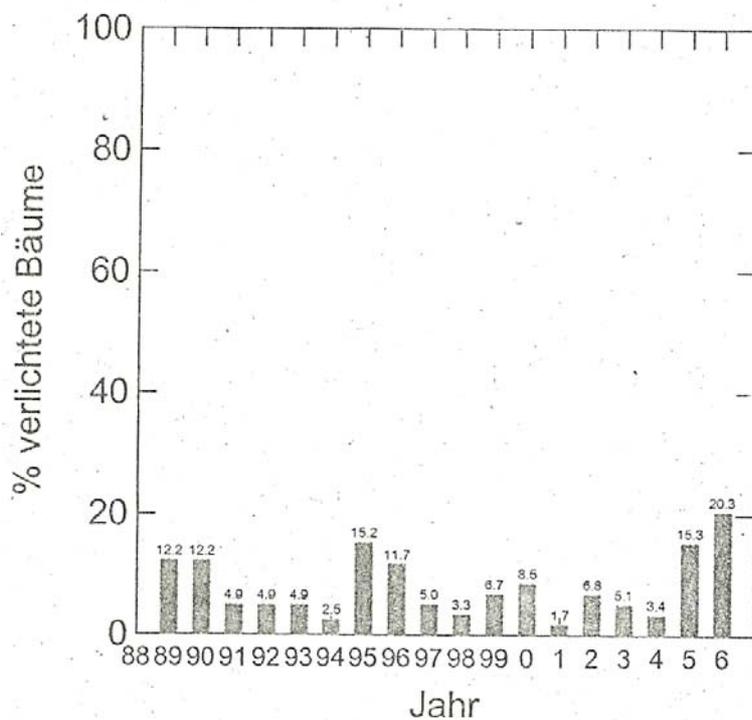


Abb. 23 a):

Jahresdiagramm der Kronenverlichtung von Fichten von 1988 bis 2006, Magglingen (Prozentzahl der Fichten mit einer Verlichtung über 25%)

Bei der Verlichtung der Buchen in Oberschrot sieht es ganz anders aus. Von den Buchen der Fläche 1 haben 6.52% eine Verlichtung über 25% und keine der 92 Buchen ist mehr als 60% verlichtet. Den Buchen geht es also viel besser als den Fichten der gleichen Fläche.

Betrachtet man die Situation in Magglingen sieht es ähnlich aus. Es weisen nur 9.25% der Buchen eine Verlichtung auf und auch hiervon gibt es keine stark geschädigten (>60%).

Im Jahresdiagramm der Buchen (Abb. 23 b) von Magglingen ist zu sehen, dass auch hier die Werte der Kronenverlichtung seit 1988 schwanken, aber in den gleichen Jahren Höchst- beziehungsweise Tiefstwerte erreichten wie die Fichten.

Die Tatsache, dass die Buchen im 2006 von der Kronenverlichtung viel weniger betroffen sind, ist sehr interessant. Die Buchen im kalkhaltigen Gebiet sind im Gesamten sogar leicht stärker geschädigt als jene im versauerten Gebiet.

Aber wie zum Beispiel im Jahr 1995 zu sehen ist, waren die Buchen bis 2004 - in schlechten Jahren - jeweils stärker von der Verlichtung betroffen als die Fichten.

Hingegen gab es Jahre, wo praktisch keine Buche verlichtet war, während die Fichten stärker betroffen waren. Das kann also immer wieder ändern, es macht aber den Anschein, also ob sich Buchen schneller wieder erholen können als Fichten.

Dies ist sehr gut ersichtlich, wenn man die verlichteten Bäume von 1995 mit denen vom Folgejahr 1996 vergleicht. Ein Grund für die grossen jährlichen Schwankungen bei der Buche könnte darin liegen, dass sie ihre Blätter jährlich abwerfen, während die Fichten ihre Nadeln vier bis fünf Jahre behalten.

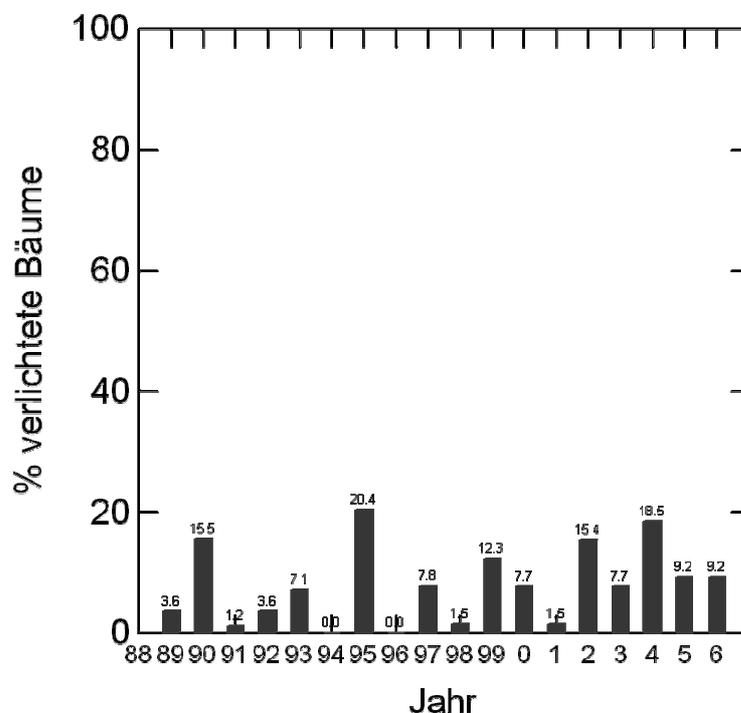


Abb. 23 b):

*Jahresdiagramm der Kronenverlichtung von Buchen von 1988 bis 2006, Magglingen
(Prozentzahl Buchen mit einer Verlichtung über 25%)*

Aus Oberschrot gibt es noch keine Langzeitdaten, da die Fläche im 2006 neu aufgenommen wurde.

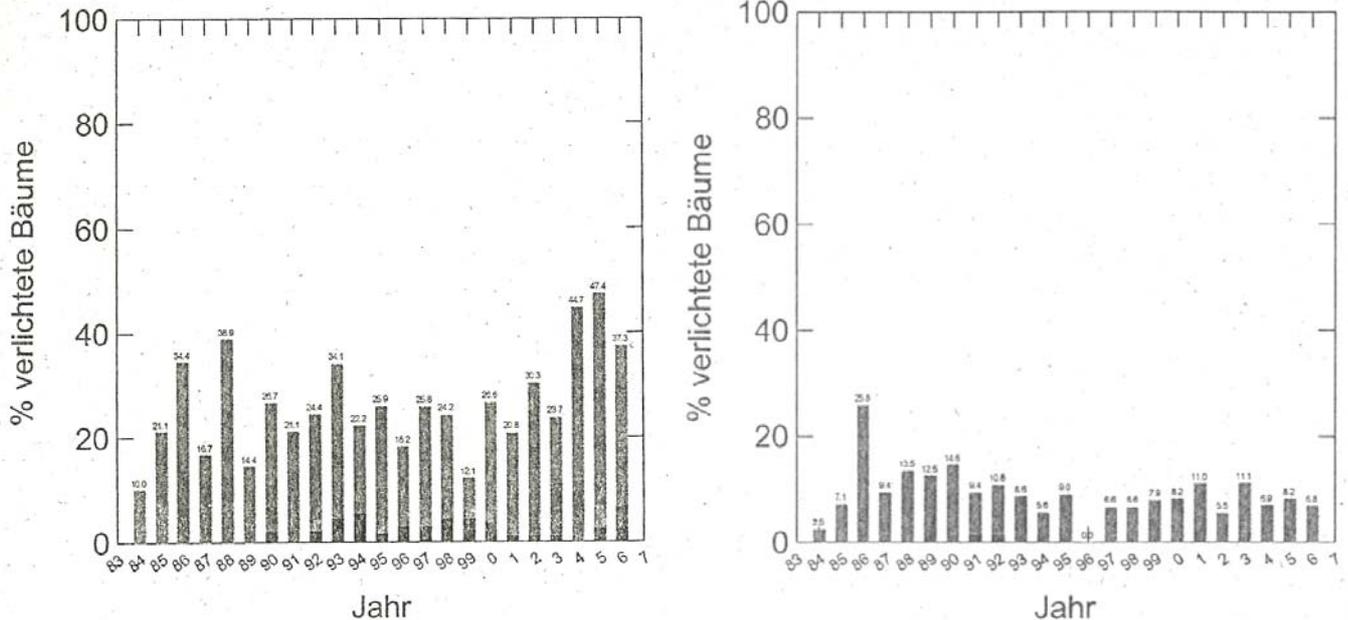


Abb. 24:

Jahresdiagramme der Kronenverlichtung von Buchen in Bubendorf (links) und Rodersdorf (rechts) von 1983 bis 2006

In Bubendorf sind 37.3% der Buchen verlichtet, 6.7% dieser Bäume haben sogar eine Kronenverlichtung von über 60%.

Die Werte waren schon seit 1986 oft sehr hoch (Abb. 24), der Höchstwert von 47.4% verlichteter Bäume wurde im 2005 erreicht. Von 2005 bis 2006 sank zwar die Prozentzahl verlichteter Bäume im Gesamten wieder, dafür stieg die Zahl der stark geschädigten Buchen (>60%), die sogar den Höchstwert seit Messbeginn erreichten. In Rodersdorf haben „nur“ 6.8% der Buchen eine Kronenverlichtung von über 25%, jedoch zeigt kein einziger Baum eine starke Schädigung.

1986 war der Wert von verlichteten Buchen interessanterweise am höchsten und sank dann ab. Auch in den letzten Jahren ist eine leicht sinkende Tendenz zu sehen. Die Fläche 3 sieht ziemlich schlecht aus im Vergleich zur Fläche 4.

Von den vier Buchenflächen sind die Bubendörfer Buchen eindeutig am schlechtesten dran. Es ist nicht nur eine grosse Anzahl Bäume mehr als 25% verlichtet, sondern auch der Anteil an stark verlichteten Bäumen ist sehr hoch.

Was im Gesamten auffällt ist, dass überhaupt auf allen vier Flächen, egal ob man Buchen oder Fichten betrachtet, mehr als 5% der Bäume verlichtet sind, was kein gutes Zeichen ist.

6.3 Auswertung Bodenvegetation

Bei der Bodenvegetation erstellte ich von den Waldflächen 1 und 2 je eine Liste mit den vorkommenden Pflanzen. Zudem gab ich bei jeder Pflanzenart jeweils an, wie stark sie den Boden bedeckt, also wie oft sie vorkommt und ob sie säure- oder basenzeigend ist.

Oberschrot (1)

Das Erste, was mir in dieser Fläche auffiel, waren die Heidelbeeren, welche den Waldboden praktisch überwuchern. Es gibt fast keine Stelle, die nicht mit Heidelbeeren bedeckt ist (siehe Abb. 25). Heidelbeeren gehören zu den in der Schweiz verbreiteten Arten und kommen speziell auf säurehaltigen Böden vor.

Auf der Fläche findet man auch sehr viele verschiedene Moosarten. Ich habe die zwei häufigsten darunter identifiziert:

Das „Schöne Widertonmoos“ (Polytrichum) bevorzugt säurehaltige Böden und das „Sichlige Kleingabelzahnmoos“ (Dicranella Heteromalla) kommt auf lehmigen, sauren Böden vor.

Als letztes fand ich noch wenig Farn, vermutlich handelt es sich dabei um eine Art des Wurmfarne. Dieser bevorzugt schwach säurehaltige Böden und kommt im Gebirge vor.

Maggingen (2)

In der Fläche 2 ist die Artenvielfalt einiges grösser, was die Arbeit auch etwas aufwändiger machte.

Sehr oft fand ich den Waldmeister.

Er ist sehr verbreitet und wächst dort, wo durchschnittliche Bedingungen herrschen, deshalb trifft man ihn auch in ziemlich vielen Wäldern an.

Das gleiche gilt für die Himbeeren, welche ich jedoch etwas seltener antraf.

Weiter findet man ab und zu den Waldfarn, welcher eine grosse ökologische Nische hat, also einen sehr grossen Toleranzbereich in verschiedenen Faktoren besitzt.

Auch der Sauerklee hat diesen grossen Toleranzbereich, ihn entdeckte ich etwa alle zwei Quadratmeter.

Typisch für aufgelockerte Kalkböden mit eher trockenen Bedingungen ist die Schlaffe Segge, welche man in dieser Fläche auch sehr häufig findet.

Zusätzlich fand ich in dieser Fläche ab und zu die Waldgerste, die vor allem in höher gelegenen Wäldern vorkommt.

Das Bingelkraut kommt nur selten vor, es ist ein Indikator für basenreiche, kalksteinhaltige, frische Böden.

Der „Quirlblättrige Salomonssiegel“, welcher für schwach saure, mittelfeuchte Böden steht, konnte ich nur ganz selten auffinden.

Die Gundelrebe, auch Gundermann genannt, wächst auf durchschnittlichen bis basenreichen Böden. Sie war auch nur an wenigen Orten zu finden.

Moos konnte ich nur an gewissen Steinen und an Stammansätzen finden. Sie sind also eher unbedeutend.



Abb. 25:
Heidelbeeren überdecken den Waldboden der Fläche in Oberschrot

Schon alleine an der Artenvielfalt sieht man, dass der Boden in Magglingen sehr viel fruchtbarer ist als derjenige in Oberschrot.

In Oberschrot dominiert die Heidelbeere und daneben fand man nur gewisse Moosarten, sehr wenig Farn und sehr selten eine weitere Pflanze, die man dann aber bestimmt kein zweites Mal vorfand.

In Magglingen dagegen fand ich 10 bis 11 verschiedene Arten, die häufig vorkamen, wovon aber keine Art die Überhand gewonnen hat. Aber es gibt natürlich auch hier gewisse Pflanzen die man nur ausnahmsweise entdeckt.

Betrachtet man das, was die Pflanzen indizieren, ist eindeutig, dass der Magglinger Boden frisch, basisch und kalksteinhaltig sein muss, wo hingegen der Boden in Oberschrot bestimmt säurehaltig ist.

6.4 Auswertung Regenwürmer

Um die Daten der Regenwürmer übersichtlich zu zeigen, erstellte ich von allen vier Waldstücken eine gemeinsame Excel-Tabelle, unterteilt nach den drei Ökogruppen und jeweils getrennt in Biomasse und Stückzahl (Tab. 5).

In der untersten Zeile ist jeweils das Durchschnittsgewicht eines Regenwurms zu sehen.

Tab. 5: Übersicht über die Biomasse und Anzahl Regenwürmer in allen vier Flächen

Ökogruppen	Oberschrot (1)		Maggingen (2)		Bubendorf (3)		Roddersdorf (4)	
	Stückzahl	Biomasse (g)	Stückzahl	Biomasse (g)	Stückzahl	Biomasse (g)	Stückzahl	Biomasse (g)
Streubewohner	0	0	7	2.1	0	0	1	0.1
Horizontalbohrer	0	0	194	69.3	175	59.5	16	22.2
Vertikalbohrer	0	0	82	58.1	84	64.5	36	7
Total	0	0	283	129.5	259	124	53	29.3
Durchschn. Gewicht			0.458 g		0.479 g		0.553 g	

Zu Oberschrot gibt es in diesem Fall nicht viel zu sagen. Wie die Tabelle zeigt, ist in diesem Gebiet kein einziger Regenwurm anzutreffen.

In Maggingen hingegen befanden sich in den $4 \times 0.1 \text{ m}^3$ Erde 238 Regenwürmer, die im Gesamten eine Masse von 129.5 g wogen. Von der Stückzahl her waren dies zu 69% Horizontalbohrer, die eigentlich nie an der Oberfläche erscheinen und zu 29% Vertikalbohrer. Von Streubewohnern fanden sich nur wenige. Das ist eigentlich ein gutes Zeichen für den Boden, denn das bedeutet, dass der Boden auch in tieferen Lagen fruchtbar und frisch ist.

Betreffend der Biomasse nehmen die Horizontalbohrer nur knappe 54% der Gesamtmasse ein und die Vertikalbohrer dafür 45%. Demnach sind die Vertikalbohrer grösser als die Horizontalbohrer, sie liegen mit einem Durchschnittsgewicht von 0.709 g auch deutlich über dem gesamten Durchschnittsgewicht von 0.458 g.

In Bubendorf fand man gesamthaft 259 Regenwürmer, wovon kein einziger ein Streubewohner ist. Zu 68% sind es Horizontalbohrer und zu 32% Vertikalbohrer. Auch hier sind die Vertikalbohrer einiges schwerer als die Horizontalbohrer, denn sie nehmen 52% der Gesamtmasse ein und haben ein Durchschnittsgewicht von 0.768 g.

In Roddersdorf fanden sich in den 0.4 m^3 Erde nur 53 Würmer und in diesem Fall zu 30% Horizontalbohrer und zu 68% Vertikalbohrer. Das Verhältnis war also gerade umgekehrt als in Maggingen und Bubendorf.

Wenn man hier die Biomasse betrachtet, beanspruchen die Vertikalbohrer jedoch nur 24% der Gesamtmasse und die wenigen Horizontalbohrer mit einem durchschnittlichen Gewicht von 1.39 g ganze 77%. Die Vertikalbohrer haben ein Durchschnittsgewicht von nur 0.194 g.

Das durchschnittliche Gewicht aller drei Ökogruppen ist gesamthaft trotzdem etwas höher als in Bubendorf.

In Bubendorf hat es sehr viel mehr Würmer als in Roddersdorf, die im Gesamten aber ein kleineres Durchschnittsgewicht haben. Das liegt jedoch vor allem daran, dass die Horizontalbohrer in Roddersdorf sehr schwer sind und den Schnitt erhöhen.

Bei Betrachtung aller vier Flächen erkennt man, dass sich Bubendorf und Maggingen sehr ähnlich sind. Roddersdorf hat nur etwa ein Fünftel so viele Würmer als die Flächen 2 und 3, dafür mit Abstand die schwersten Horizontalbohrer.

6.5 Auswertung Bodenproben

Mit den verschiedenen Daten, die ich aus den Bodenproben ermittelte, erstellte ich eine Tabelle. In dieser finden sich zusätzlich sehr viele Werte, die ich nicht selbst ermittelte, sondern vom IAP erhielt. Die Tabelle ist durch diese zusätzlichen Daten sehr gross geworden und aus diesem Grund ist sie nun im Anhang zu finden (Anhang B).

Damit man beim Lesen des folgenden Abschnittes trotzdem gut folgen kann, habe ich die wichtigsten Daten hier eingefügt (Tab. 6).

Tab. 6: Wichtigste Bodendaten aller vier Flächen

LNR	Standort	Bodentiefe von	bis	pH in H ₂ O	Basen-sättigung (%)	Nutzbare Feldkapazität (mm)
351	Maggingen	0	15	Ø 6.44	Ø 98.76	118
352	Maggingen	15	30			
353	Maggingen	30	45			
744	Oberschrot	0	10	Ø 4.32	Ø 17.57	202
745	Oberschrot	10	16			
746	Oberschrot	16	40			
747	Oberschrot	40	50			
748	Oberschrot	50	90	4.94	11.67	
749	Oberschrot	90	120	5.22	14.68	
750	Oberschrot	120	170	5.29	49.67	
751	Oberschrot	170	190	5.72	67.83	
752	Oberschrot	190	220	5.98	81.61	
	Bubendorf	0	40	Ø 6.66	Ø 98.8	65
	Rodersdorf	0	40	Ø 4.68	Ø 52.2	191

In der ersten Spalte steht die Nummer der Bodenprobe, siehe Kapitel 5.3, in der zweiten Spalte findet man die zu den Werten gehörende Fläche und in der dritten sowie vierten Spalte die Tiefe der genommenen Probe in cm.

Die Spalten fünf und sechs erklären sich von selbst.

Ergänzend ist zu erwähnen, dass von Maggingen nur der Durchschnitt der pH-Werte aller drei Bodenschichten angegeben ist. Das ist deshalb so, weil das Institut von der Fläche 2 keine frischen Bodenproben besitzt und ich somit keine Messungen bei *wassergelösten* Proben durchführen konnte. Aus diesem Grund verwendete ich den vorhandenen Wert von 2005.

Wie im Kapitel 5.2.5 schon angesprochen, verwendete ich für die Auswertungen der Fläche Oberschrot ebenfalls nur die Bodenschichten von 0 bis 50 cm, um gleiche Bedingungen wie in der Fläche 2 zu schaffen. Aus diesem Grund sind die Daten tieferer Schichten eingeklammert.

Für die Flächen 3 und 4 bezog ich die Daten des IAP, deshalb sind dort in den Spalten fünf und sechs nur Durchschnittswerte angegeben.

In der letzten Spalte ist die nutzbare Feldkapazität aufgelistet, welche ich schon in vorangehenden Kapiteln ansprach.

Die Feldkapazität (FK) ist diejenige Wassermenge, welche der Boden maximal gegen die Schwerkraft halten kann, es wird sozusagen das vorhandene Wasser über dem Wurzelraum zusammengezählt.

Die Feldkapazität wird vor allem durch zwei Faktoren bestimmt:

Die *Gründigkeit* des Bodens spielt eine wichtige Rolle. Wird die Bewurzelung nicht durch Gestein, Bodenverdichtung oder Stauwasser auf die oberen Bodenschichten beschränkt, ist der Boden tiefgründig. Der Wurzelraum ist also grösser, es ist demnach mehr Wasser über dem Wurzelraum vorhanden, was die Feldkapazität erhöht.

Eine hohe Feldkapazität entsteht zudem durch eine ausgeglichene *Korngrössenverteilung*, d.h. die Mischung zwischen grobkörnigem Sand, Sedimentgestein und feinkörnigem Ton ist genau richtig. Ist der Boden nämlich zu grobkörnig, kann nur wenig Wasser gegen die Schwerkraft gehalten werden und ist er zu feinkörnig, wird das Wasser zu stark gebunden.

Das im Boden gehaltene Wasser ist nicht immer vollständig pflanzenverfügbar.

Wasser in zu kleinen Poren (unter 0,2µm Durchmesser) kann von den Pflanzen nicht mehr aufgenommen werden, da das Wasser sozusagen in den Poren „klebt“. Dieses Wasser wird dann „Totwasser“ genannt.

Der Teil der Feldkapazität, der von den Pflanzen durch die Wurzel aufgenommen werden kann, ist die nutzbare Feldkapazität (nFK) und dies ist in meiner Arbeit der wichtigere Wert. FK und nFK werden in „mm“ angegeben.

In den Tabellen 7 und 8 stellte ich zum Vergleich Übersichtstabellen auf, in denen die Feldkapazität beziehungsweise die nutzbare Feldkapazität von sehr gering bis sehr hoch eingestuft wird.

Tab. 7: *Einstufung der Feldkapazität*

FK in mm	0 bis 130	130 bis 260	260 bis 390	390 bis 520	520 bis 650
Klassifikation	sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch

http://www.gd.nrw.de/g_bkfeld.htm (Stand 25.2.2007)

Tab. 8: *Einstufung der nutzbaren Feldkapazität*

nFK in mm	0 bis 50	50 bis 90	90 bis 140	140 bis 230	230 bis 350
Klassifikation	sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch

http://www.gd.nrw.de/g_bknufe.htm (Stand 25.2.2007)

Nun zur eigentlichen Auswertung:

Der durchschnittliche pH-Wert in H₂O von 0 bis 50 cm Tiefe beträgt in Oberschrot 4.32. Man sieht deutlich, dass der Boden immer basischer wird, je tiefer man sich in der Erde befindet, bei 220 cm beträgt der pH-Wert beinahe 6.0.

Die Basensättigung liegt im Durchschnitt bei nur 17.57%, was gerade knapp über der kritischen Grenze von 15% ist. Bei den Werten der Basensättigung in Oberschrot fällt auf, dass der Wert bei der Tiefe 0-10 cm sehr hoch ist im Vergleich zu den Werten von 10-120 cm. Der Grund ist, dass mit dem Abbau des Laubstreu dem Boden basische Kationen zurückgeführt werden, die sich in den obersten Bodenschichten anreichern. Die mittleren Schichten sind am basenärmsten, weil da die Nachfuhr von oben mit der Streu sowie die Nachfuhr von unten mit kalkhaltigem Kapillarwasser am geringsten ist und die Wurzeln dort Nährstoffe aufnehmen.

Die nFK in der Fläche 1 liegt bei 118 mm, was als „mittel“ eingestuft werden kann.

In Magglingen liegt der pH-Wert im Durchschnitt bei 6.44 und die durchschnittliche Basensättigung beträgt 98.76%, was ein guter Wert ist.

Auch die nFK von 202 mm kann man als „hoch“ bezeichnen.

Magglingen ist also eindeutig weniger sauer und hat eine viel höhere Basensättigung als Oberschrot. Oberschrot wird jedoch in tieferen Schichten - Herr Flückiger schätzte in etwa 3 m Tiefe - kalkhaltiger. Das sah man gut an den tiefwurzigen Weisstannen, die auf dieser Fläche sehr schön und kräftig wachsen.

In Bubendorf liegt der pH-Wert bei 6.66 und der Boden weist eine hohe Basensättigung von 98.8% auf.

Was ich in den Flächen 3 und 4 aber auch anschauen wollte, ist die Beeinflussung der Klimaerwärmung und somit ist natürlich die nutzbare Feldkapazität sehr wichtig. Diese liegt in Bubendorf bei nur 65 mm, was nach der Tabelle 8 als gering angesehen wird.

In Rodersdorf ist der pH-Wert mit 4.68 ziemlich tief, die Basensättigung ist dafür einigermaßen gut, sie beträgt 52.2%. Zudem besitzt Rodersdorf eine hohe nFK von 191 mm.

Bubendorf ist also kalkhaltiger als Rodersdorf und hat eine um einiges höhere Basensättigung. Das nützt jedoch nicht viel, da die Bäume aufgrund der niedrigen nutzbaren Feldkapazität nicht zum Wasser kommen und so in trockenen Zeiten darunter leiden, obwohl Wasser im Boden vorhanden wäre.

Nun will ich noch kurz alle vier Flächen vergleichen:

Bubendorf und Magglingen sind sich sehr ähnlich, was den pH-Wert und die Basensättigung angeht. Magglingen hat aber eine fast doppelt so hohe nFK.

Rodersdorf und Oberschrot sind beide ziemlich stark versauert, jedoch ist die Basensättigung in Rodersdorf im Vergleich zu Oberschrot recht hoch.

Die nFK ist in beiden Flächen hoch.

7. Diskussion zu den Resultaten

Um auf meine Leitfrage zurück zu kommen, wie sich ein saurer Waldboden auf die Pflanzen- und Tierwelt auswirkt, möchte ich die Flächen 1 und 2 nochmals kurz und übersichtlich mit den ermittelten Daten darstellen (Tab. 9).

Tab. 9: Übersicht mit allen wichtigen Daten der Flächen 1 und 2

	Oberschrot (1) saure Fläche	Maggingen (2) basische Fläche
<i>Grösse</i>	4855 m ²	6999 m ²
<i>Lage</i>	850 m.ü.M, Nordhang	875 m.ü.M, Südhang
<i>Ø pH (0-50 cm Tiefe)</i>	4.32	6.44
<i>Basensättigung</i>	17.57% = schlecht	98.76% = gut
<i>nFK*</i>	202 mm = hoch	118 mm = mittel
<i>Ø Jungzuwuchs pro Jahr im Median</i>	25 cm	28.5 cm
<i>Ø Sonnenscheindauer*</i>	1.5 h pro Tag	2 h pro Tag
<i>Fichten mit Verlichtung > 25%</i>	70%	27.5%
<i>Fichten mit Verlichtung > 60%</i>	2.5%	0%
<i>Buchen mit Verlichtung > 25%</i>	6.52%	9.25%
<i>Buchen mit Verlichtung > 60%</i>	0%	0%
<i>Bodenvegetation</i>	-überdeckt mit Heidelbeeren -vor allem Säurezeiger	-grosse Artenvielfalt -viele Basenzeiger und Pflanzen mit grossem Toleranzbereich
<i>Regenwürmer</i>	keine	-283 Würmer in 0.4 m ³ Erde -viele kleinere/leichte Horizontalbohrer -einige grosse/schwere Vertikalbohrer

* nicht versauerungsrelevant

Wichtig bei der Interpretation aller Resultate ist, dass man sich bewusst ist, dass ich bei den Untersuchungen und Auswertungen Daten über die Luftqualität, Ozonwerte oder Stickstoffbelastung weggelassen habe, was eine mögliche Fehlerquelle darstellt.

Es zeigt sich also ganz klar, dass der Säuregehalt des Bodens seine Auswirkung auf die Pflanzen- und Tierwelt hat, denn man kann die beiden Flächen dank der ähnlichen Lage gut miteinander vergleichen. Von den Bodenwerten her ist Oberschrot eindeutig sehr sauer, denn der pH-Wert ist tief und gleichzeitig ist die Basensättigung nur 2% über dem kritischen Wert von 15%.

Jedoch muss man beachten, dass die nutzbare Feldkapazität in Oberschrot 70% höher ist und so in einem gewissen Masse den Zustand dieser Waldfläche aufbessert.

Gut sichtbar ist die Einwirkung des Säuregehaltes auf die Bodenvegetation und in diesem Fall ist es eindeutig auf die Übersäuerung zurückzuführen. Denn die säureliebenden Heidelbeeren dominieren die Fläche Oberschrot ganz klar. Das stört und schadet ja eigentlich niemandem, könnte man denken. Doch es reduziert die Vielfalt der Pflanzen, was beispielsweise die Nahrungsgrundlage gewisser Tiere verschwinden lässt.

Weiter ist es für Regenwürmer unmöglich, in einem zu sauren Boden zu leben, denn das ist der Grund, weshalb in Oberschrot kein einziger Wurm lebt. Die Regenwürmer sind ein wichtiger Indikator für die Bodenqualität, da sie schnell auf Störungen reagieren. Auch hat er die wichtige Aufgabe den Boden aufzulockern, was einer Verdichtung entgegenwirkt und das Wurzelwachstum der Pflanzen begünstigt. Weitere Aufgaben sind der Streuabbau und die Bioturbation, d.h. die Einarbeitung der Streu in den Boden sowie die Verbindung von Humus und Mineralboden. Das bewirkt die Bildung von stabilen, gut durchmischten Böden mit höherer nFK und guter Basensättigung.

Beim Zuwuchs der Jungbuchen lässt sich im Durchschnitt kein all zu grosser Unterschied feststellen. Wenn man aber den Verlauf über die Jahre betrachtet, sieht man, dass es in Oberschrot im 2002 noch sehr schlecht aussah und sich die Situation nun stark verbessert hat. Die Oberschroter Jungbuchen wuchsen im letzten Jahr durchschnittlich 5 cm mehr als jene in Magglingen, obwohl Magglingen der Kalkstandort mit einer höheren nFK ist.

Das lässt sich durch einen Alterstrend erklären: junge Buchen wachsen zunächst wenig und dann mehr (bei erwachsenen Buchen ist der Alterstrend umgekehrt, diese wachsen weniger, wenn sie älter werden).

Die Sonnenscheindauer auf den beiden Flächen weist keinen relevanten Unterschied auf.

Am eindeutigsten zeigt sich der Einfluss bei der Kronenverlichtung der Fichten, welche in Oberschrot extrem hoch ist. Ein verlichteter Baum kann seine Funktion - Kohlenstoffdioxid aus der Luft zu fixieren - nicht mehr so gut erfüllen wie ein gesunder Baum. Zudem ist die Kronenverlichtung der Indikator für den Zustand des Baumes, vor allem für seine Stressbelastung. Die Bäume, die eine verlichtete Krone aufweisen, sind also als Ganzes geschwächt und tragen zur Aufgabe „Wald zu sein“ nicht mehr so viel bei. Sie sind unter anderem auch anfälliger auf Schädlingsbefall, wie z.B. durch Borkenkäfer bei Fichten.

Was ist eigentlich die Aufgabe des Waldes?

Der Wald hat grundsätzlich drei Hauptfunktionen.

Er dient einerseits im wirtschaftlichen Bereich als Holzlieferant für den Bau, für Möbel oder als Brennstoff, weiter stellt er Lebensraum für Fauna und Flora dar und schliesslich ist er auch ein Erholungs- und Naturraum für die Menschen.

Weitere Aufgaben sind der Schutz vor Erdbeben und Lawinen sowie die Aufrechterhaltung der Trinkwasser- und Luftqualität.

Egal, welche dieser Aufgaben ich betrachte, eines ist klar: Die Menschheit braucht den Wald, und zwar in einem gesunden Zustand, so dass er seinen Funktionen nachkommen kann.

In einem zweiten Teil wollte ich die Auswirkungen von Trockenheit auf den Wald betrachten. Ein Sommer wie im 2003 wird in Zukunft bestimmt immer öfters vorkommen. Weshalb ertragen gewisse Wälder eine solche Trockenheit überhaupt nicht und weshalb gibt es Wälder, die sich praktisch nichts anmerken lassen? Bevor ich diese Frage diskutiere, stelle ich auch die Daten der Flächen 3 und 4 nochmals übersichtlich und zusammengefasst dar (Tab. 10).

Tab. 10: Übersicht mit allen wichtigen Daten der Flächen 3 und 4

	Bubendorf (3) niedrige Wasserspeicher- kapazität	Rodersdorf (4) hohe Wasserspeicher- kapazität
<i>Grösse</i>	7728 m ²	6498 m ²
<i>Ø pH (0-50 cm Tiefe)</i>	6.66	4.68
<i>Basensättigung</i>	98.8% = gut	52.2% = zu niedrig
<i>nFK</i>	65 mm = gering	191 mm = hoch
<i>Ø Jungzuwuchs pro Jahr im Median</i>	25 cm	44 cm
<i>Ø Sonnenscheindauer</i>	1.4 h pro Tag	1.1 h pro Tag
<i>Buchen mit Verlichtung > 25%</i>	37.3%	6.8%
<i>Buchen mit Verlichtung > 60%</i>	6.7%	0%
<i>Regenwürmer</i>	-259 Würmer in 0.4 m ³ Erde -eher leichte Horizontalbohrer -schwere Vertikalbohrer	-53 Würmer in 0.4 m ³ Erde -viele leichte Vertikalbohrer -einige schwere Horizontalbohrer

Wenn man in diesen beiden Flächen nur die Basensättigung, den pH-Wert sowie die Anzahl Regenwürmer betrachtet, sieht es eindeutig danach aus, dass es der Fläche in Bubendorf einiges besser gehe als jener in Rodersdorf. Wie man aber anhand des Jungzuwachses und der Kronenverlichtung sieht, ist eben diese Fläche viel stärker gestresst. Da die Sonnenscheindauer auch in diesen beiden Flächen keinen relevanten Unterschied aufweist, kann es also nicht an ihr liegen.

In der vorangegangenen Tabelle sieht man schnell, wo der Faktor ist, welcher für das schlechte Befinden der Fläche 3 zuständig ist.

Die nutzbare Feldkapazität ist in Bubendorf gering, während sie in Rodersdorf hoch ist. Wie ich im Kapitel 6.5 schon erwähnte, kann der Boden in Bezug auf Säuregehalt noch so vorteilhaft sein, wenn die Feldkapazität zu gering ist, leiden die Bäume schon bei kleineren Trockenzeiten.

Der heisse Sommer von 2003 hat gewisse Wälder sehr geschwächt und somit die Vermehrung der Borkenkäfer unterstützt.

Nicht nur im Trockenjahr selbst haben die Bäume durch frühzeitiges Abwerfen der Blätter oder Ablösen der Rinde wegen „Sonnenbrand“ Schaden gezeigt, sondern im Folgejahr 2004 gab es in vielen Wäldern, vor allem solchen mit schlechten nFK-Werten, einen Anstieg der Kronenverlichtung. Das sieht man auch im Jahresdiagramm (Kapitel 6.2, Abb. 24) von Bubendorf.

Laut Frau E. Graf Pannatier's Aussage in ihrem Buch „Wie steht's um unseren Wald?“ lassen sich die Folgen eines Hitzesommers eventuell noch Jahre lang spüren:

Da das Feinwurzelsystem, welches zur Ernährung des Baumes dient, durch die Trockenheit möglicherweise Schaden genommen hat, kann es leicht von Pilzen und anderen Krankheitserregern befallen werden. Pannatier schreibt zudem, dass es auch in den 50er Jahren schon Dürreperioden gegeben habe und sich die Wälder dann aber in den Folgejahren erholten hätten. Jedoch lasse sich die Situation von damals nur mit Vorbehalt auf die heutige übertragen, da vor allem die Klimaerwärmung gewisse Ausmasse angenommen habe, welche es vor 50 Jahren noch nicht gegeben habe.

Man kann das Ganze auch als eine Art Teufelskreis betrachten:

Durch den Klimawandel gibt es weniger Niederschläge und vor allem vermehrt trockene Sommer, was zu geringerem Wachstum der Bäume führt. Wachsen die Bäume und natürlich weitere Pflanzen weniger, kann weniger CO₂ fixiert werden, was wiederum die Klimaerwärmung unterstützt.

Eine weitere Folge des Klimawandels wird die Veränderung der Vegetation sein. Andere, Wärme liebende Baumarten wie zum Beispiel die Eiche oder Föhre, werden unsere Wälder dominieren, dafür werden Buche und Fichte langsam aus unserem Waldbild verschwinden. Die Veränderung der Artenzusammensetzung ist grundsätzlich nicht negativ, jedoch könnte der Klimawandel zu rasch ablaufen, so dass sich Flora und Fauna nicht schnell genug daran anpassen können.

8. Schlusswort

Diese Arbeit war für mich eine äusserst interessante und lehrreiche Erfahrung. Die Tage, die ich im Wald verbrachte, waren genau das, was ich mir vom praktischen Teil der Arbeit erhoffte. Ich wollte Methoden zur Untersuchung des Zustandes der Wälder kennen lernen und direkt sehen, wie sich verschiedene Faktoren auf den Wald auswirken.

Was mir nach dieser Arbeit stärker bewusst geworden ist, ist dass der Wald ein einziges, grosses Ökosystem darstellt und jeder Faktor vom anderen abhängig ist und dass es dem Baum nicht nur dann schlecht geht, wenn der Boden etwas versauert ist.

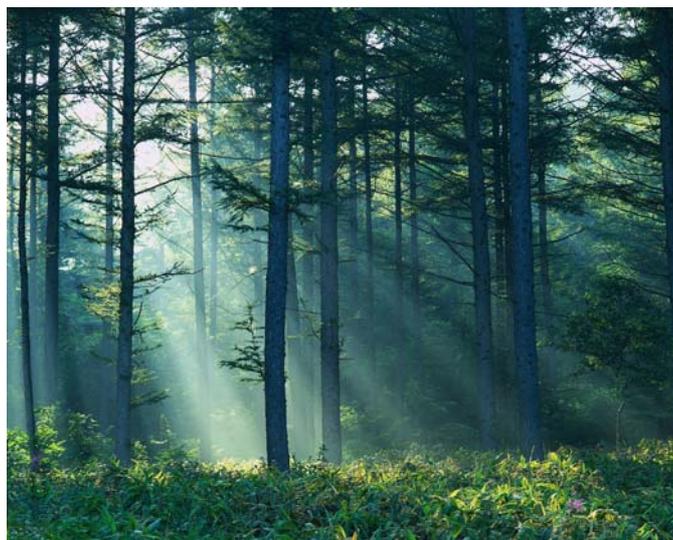
Wenn ich jetzt mit dem Zug durch die Landschaft fahre oder mich in Ferienlagern oder beim Sport im Wald befinde, ertappe ich mich oft dabei, wie ich die Kronen der Bäume genau anschau und einzuschätzen versuche, ob es den Bäumen in diesem Wald gut geht oder nicht. Auch betrachte ich gerne die Bodenvegetation und freue mich immer, wenn ich eine Pflanze sehe, die ich erst dank meiner Maturarbeit benennen kann und wenn ich dann sogar noch sagen kann, auf welchem Boden sie gerne wächst.

Oberflächlich betrachtet sieht der Wald mehrheitlich vital und mächtig aus. Dieser Schein trügt oft, denn auf vielen Flächen leidet der Wald unter anderem an den Folgen der von uns Menschen verursachten Luft- und Bodenbelastung und der raschen Klimaveränderung.

Ich hoffe, dass ich den Leser mit dieser Arbeit auf die Probleme und „Sorgen“ des Waldes aufmerksam machen kann, so dass er bei einem nächsten Spaziergang mit offenen Augen durch den Wald geht. Es ist nämlich auch für „Nichtfachleute“ möglich, kranke von gesunden Bäumen zu unterscheiden.

Bei jedem Umdrehen des Autozündschlüssels sollte uns bewusst sein, dass wir in diesem Moment dem Wald respektive der Natur Schaden zufügen.

Dasselbe gilt für die gesamte Umwelt mit ihren Seen, Wiesen, Gletschern, Bergen und eben den Wäldern!



*Jedes Waldbild verbirgt hinter
- der Momentaufnahme -
eine dynamische Geschichte.*

9. Quellen

Literatur:

- Wie geht es unserem Wald? - Institut für Angewandte Pflanzenbiologie
Schönenbuch
Ergebnisse aus Dauerbeobachtungsflächen von 1984 bis 2004, Bericht 2
- Seite 39: Wie steht's um unseren Wald? - Elisabeth Graf Pannatier
Zustand und Zukunft der Schweizer Wälder
- Seite 39: Zeitungsartikel der Basellandschaftlichen Zeitung vom 31. März 2007:
„Der Wald protestiert stumm“ – Klimawandel: Förster und Holzfachleute
fürchten den Borkenkäfer und den Sonnenbrand

Quellen aus dem Internet:

- Definition Bodenhorizonte:
<http://de.wikipedia.org/wiki/Bodenhorizont> (Stand: 24.11.06)
- Definition des Medians
<http://de.wikipedia.org/wiki/Median> (Stand: 20.4.07)
- Informationen über Waldpflanzen der Wildpflanzen-Infostelle in Basel:
<http://www.wildpflanzen.ch/index.php?cat=1&subcat=9&lang=de&pageNo=10>
- Prozesse der Bodenversauerung:
<http://de.wikipedia.org/wiki/Bodenversauerung> (Stand: 25.10.2006)
<http://www.wald.de/?cat=16> (Stand: 28.02.2007)
- UN/ECE-Reduktionsmassnahme von Luftschadstoffen:
<http://www.unece.org/env/lrtap/> (Stand: 29.11.2006)
www.umweltbundesamt.de/uba-info-daten/daten/umweltqualitaetsziele/ugzderregierung.html (Stand: 19.3.2001)

Mündliche Quellen:

- Walter Flückiger, Heidi Flückiger, Sabine Braun, Dieter Bader, Michael Tobler
vom Institut für Angewandte Pflanzenbiologie, Schönenbuch
- Pflanzensoziologe Thomas Burger von Burger + Stocker, Lenzburg

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis:

- Anhang A: Versuchsanleitung Bodenproben:
Vom IAP, Schönenbuch (Oktober 2006)
- Anhang B: Tabelle mit allen Bodendaten:
Daten vom IAP, ergänzt mit eigenen Auswertungen (Basensättigung und pH-Werte)
- Abb. 1 und 2: Schema des Prozesses der Bodenversauerung und Verlauf des pH-Wertes/Basensättigung für die Bodentiefe 0-40 cm:
<http://www.iap.ch/german/deutsch.html> aus den Ergebnissen aus *Dauerbeobachtungen, Bericht 2, Seite 35 und 41*
- Abb. 6: Verschieden starke Kronenverlichtung bei Fichten:
http://www.waldwissen.net/themen/inventur_monitoring/oekosystemmonitoring/wsl_sanasilva_kronenbilder_DE (Stand: 17.1.2006)
- Abb. 14: Unterteilung der Bodenhorizonte in A,B und C:
<http://hypersoil.uni-muenster.de/0/04/06.htm>
(Stand: 1.2.03) (verändert nach: BRAUCKMANN/ LETHMATE/ WENDELER 2002, S. 24)
- Abb. 23 a) & b) und 24: Jahresdiagramme zur Kronenverlichtung in Magglingen, Bubendorf und Rodersdorf:
Vom IAP, Schönenbuch (Oktober 2006)
- Tab. 2: Definition der Schadstufen Nadel-/Blattverlust:
http://www.mluv.brandenburg.de/cms/media.php/2324/wse02_2.pdf; Seite 3
- Tab. 7 und 8: Klassifikation von FK und nFK vom Geologischen Dienst Nordrhein-Westfalen:
http://www.gd.nrw.de/g_bkfeld.htm (Stand 25.2.2007)
http://www.gd.nrw.de/g_bknufe.htm (Stand 25.2.2007)
- Alle weiteren Abbildungen und Tabellen:
Melanie Vögtli

10. Anhang

A: Versuchsanordnung betreffend Seite 17

pH(H₂O) IN BODEN

Prinzip

Der Boden wird mit Wasser. Nach einer Reaktionszeit von 12-16 Stunden wird der pH-Wert in der Suspension gemessen.

Reagenzien

1. Pufferlösungen zur Kalibration der pH-Elektrode: „LOW IONIC STRENGTH“ (Orion)
2. 3M KCl zum Füllen des inneren Elektrolytschlüssels der Elektrode: 223.6 g/l
3. 0.05 M KCl zum Füllen des äusseren Elektrolytschlüssels der Elektrode: 3M Lösung 1:60 verdünnen
4. pH-Elektrode Metrohm 6.0219.110 (mit Glasschliff)

Probenaufbereitung

Feldfrischen Boden durch ein 1 cm Sieb sieben. 6 g Erde werden in ein Szintillationsfläschchen eingewogen. Anschliessend werden 15 ml dem Wasser zugegeben. Bei Böden mit einem organischen Anteil von 20-30% und Komposten gilt ein Mischungsverhältnis 1 Volumenteil feldfeuchter Boden : 3 Volumenteilen Wasser. Die Proben werden verschlossen, intensiv geschüttelt und über Nacht stehen gelassen.

Messung

pH-Meter einschalten. Füllstand der Elektrolytschlüssel kontrollieren und wenn nötig nachfüllen. Zuerst mit Puffer pH 6.97 und anschliessend mit pH 4.10 nach der Gerätevorschrift eichen (Pufferlösungen Orion für low ionic strength). Steigung der Elektrode zusammen mit der Elektrodenidentifikation notieren.

Unmittelbar vor der Messung werden die Proben nochmals aufgeschüttelt; die Elektrode wird direkt in die Suspension getaucht. Auf einem Schreiber die Einstellung eines stabilen Signals verfolgen (<0.01 pH-Einheiten in 30s). Während der Messung nicht rühren!

Die Resultatangabe erfolgt unter Angabe der Methode (pH(H₂O))

Interpretation

pH (H ₂ O)	
<4.0	extrem sauer
4.0-5.2	stark sauer
5.3-5.8	sauer
5.9-6.7	schwach sauer
6.8-7.2	neutral
7.3-7.6	schwach alkalisch
> 7.7	alkalisch

6.7.89

8.1.98: Angabe über Elektrodentyp und Pufferlösungen

pH(CaCl₂) IN BODEN

Prinzip

Der Boden wird in einer verdünnten Salzlösung suspendiert. Nach einer Reaktionszeit von mindestens 1 Stunde wird der pH-Wert in der Suspension gemessen.

Reagenzien

1. 1 M CaCl₂ (Stammlösung): 147 g Calciumchlorid-2-hydrat in entsalztem Wasser lösen und auf 1 Liter auffüllen
2. 0.01 M CaCl₂ : Stammlösung 1:100 mit entsalztem Wasser verdünnen
3. Pufferlösungen zur Kalibration der pH-Elektrode („konzentrierte“ Puffer, Metrohm)
4. 3M KCl zum Füllen des Elektrolytschlüssels der Elektrode: 223.6 g/l
5. pH-Elektrode Metrohm 6.0232.100

Probenaufbereitung

6 g lufttrockene Feinerde werden in ein Szintillationsfläschchen eingewogen. Anschliessend werden 15 ml 0.01 M CaCl₂-Lösung zugegeben. Bei Böden mit einem organischen Anteil von 20-30% und Komposten gilt ein Mischungsverhältnis 1 Volumenteil feldfeuchter Boden : 3 Volumenteilen CaCl₂-Lösung. Die Proben werden verschlossen, intensiv geschüttelt und während mindestens einer Stunde stehen gelassen.

Messung

pH-Meter einschalten. Füllstand des Elektrolytschlüssels kontrollieren und wenn nötig nachfüllen. Zuerst mit einem Puffer pH 7 und anschliessend mit pH 4 (wenn die Messung alkalischer Böden vorgesehen ist: pH 9.2) nach der Gerätevorschrift eichen ("konzentrierte" Pufferlösungen). Steigung der Elektrode zusammen mit der Elektrodenidentifikation notieren.

Unmittelbar vor der Messung werden die Proben nochmals aufgeschüttelt; die Elektrode wird direkt in die Suspension getaucht. Auf einem Schreiber die Einstellung eines stabilen Signals verfolgen (<0.01 pH-Einheiten in 30s). Während der Messung nicht rühren!

Die Resultatangabe erfolgt unter Angabe der Methode (pH(CaCl₂))

Interpretation

pH (CaCl ₂)	
3	extrem sauer
3-4	sehr stark sauer
4-5	stark sauer
5-6	mässig sauer
6-7	schwach sauer
7-8	schwach alkalisch
8-9	stark alkalisch
> 9	extrem alkalisch

6.7.89

8.1.98: Angabe über Elektrodentyp und Pufferlösungen

B: Tabelle mit Bodendaten betreffend Seite 33

LNr	STANDORT NAME	VON	BIS	BAUMART	JAHR	pH in H2O	pH in CaCl2	KNH4CL	MGNH4CL	MNH4CL	CANH4CL	NANH4CL	FENH4CL	ALNH4CL	Basensättigung	Nutzbare Feldkapazität	Feldkapazität
								mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	%	mm	mm
								39.098	24.305	54.94	40.08	22.99	55.847	26.98			
								1	2	2	2	1	2	3			
351	Magglingen	0	15	Buche/Fichte	2005		5.62	86.222	234.27	38.684	4100.9	12.92	0.342	15.96	98.61		
352	Magglingen	15	30	Buche/Fichte	2005	Ø 6.44	5.08	54.15	143.6	14.706	3136.3	12.388	1.14	17.1	98.566	118	199
353	Magglingen	30	45	Buche/Fichte	2005		6.22	69.122	212.46	3.724	4117.1	13.566	2.128	16.34	99.108		
744	Oberschrot	0	10	Buche/Fichte	2006	3.77	2.76	215.84	193.72	36.86	845.58	18.05	22.078	550.24	50.44		
745	Oberschrot	10	16	Buche/Fichte	2006	4.15	3.27	80.522	51.642	29.792	58.938	10.564	102.52	1506.3	5.3361		
746	Oberschrot	16	40	Buche/Fichte	2006	4.61	3.75	57.608	26.372	21.28	19.608	9.5	28.082	1153.3	3.7282		
747	Oberschrot	40	50	Buche/Fichte	2006	4.76	3.89	102.98	67.526	54.036	57.494	13.642	25.156	841.7	10.778	202	391
748	Oberschrot	50	90	Buche/Fichte	2006	4.94	3.81	60.534	106.59	8.056	96.9	9.69	14.934	1053	11.668		
749	Oberschrot	90	120	Buche/Fichte	2006	5.22	3.89	53.618	109.25	7.676	97.812	10.412	13.148	813.58	14.681		
750	Oberschrot	120	170	Buche/Fichte	2006	5.29	3.76	120.46	486.13	3.116	672.14	11.856	5.016	700.34	49.669		
751	Oberschrot	170	190	Buche/Fichte	2006	5.72	3.99	126.65	439.43	12.274	797.13	13.148	2.774	335.16	67.835		
752	Oberschrot	190	220	Buche/Fichte	2006	5.98	3.97	81.814	331.85	7.904	1488.1	12.882	1.14	208.24	81.611		
	Bubendorf	0	40	Buche		Ø 6.66	Ø 6.36								Ø 98.8	65	193
	Rodersdorf	0	40	Buche		Ø 4.68	Ø 4.11								Ø 52.2	191	367
								Basensättigung: $100 \cdot (K+Mg+Ca+Na) / (K+Mg+Ca+Na+Al+Fe+Mn)$									