Schwermetallgehalte in Pflanzen und Boden bei der Pfadi Gerlafingen

Autor(en): **Flury, Valentin**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Mitteilungen / Naturforschende Gesellschaft des Kantons Solothurn**

Band (Jahr): **40 (2007)**

PDF erstellt am: **28.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-543382

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Schwermetallgehalte in Pflanzen und Boden bei der Pfadi Gerlafingen

Verfasst von Valentin Flury, 4eL, Kantonsschule Solothurn 2006

Adresse des Autors

Valentin Flury
Maimatt 4
4556 Aeschi SO

Vorwort

Ich möchte mich an erster Stelle ganz herzlich bei Frau Dr. Susanna Stieger bedanken. Sie hat mich während meiner Maturaarbeit professionell betreut und mir bei Fragen immer gerne weitergeholfen. Ebenfalls bedanken möchte ich mich auch bei Herrn Norbert Emch, der mir freund-licherweise die kantonalen Resultate über das Belastungsgebiet Biberist/Gerlafingen zur Verfügung stellte und mir somit eine Vergleichsmöglichkeit mit meinen Resultaten ermöglichte.
Ein riesiges Dankeschön geht an die ETH Zürich, insbesondere an die Herren Professoren Kretschmar und Barmettler, bei welchen ich mit dem XRF-Apparat meine Proben untersuchen konnte. Ausserdem standen sie mir bei der Durchführung zur Seite, obwohl sie in dieser Zeit gerade am Umsiedeln ihres Labors waren. Ohne ihre Hilfsbereitschaft wäre die Durchführung meiner Arbeit nicht möglich gewesen! Vielen, vielen Dank!
Zuletzt möchte ich mich bei meiner Familie bedanken, welche sich immer für meine Arbeit interessierte und mir bei Problemen zur Seite stand (insbesondere meiner Schwester, die mir bei inhaltlichen, naturwissenschaftlichen Fragestellungen half).

Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung 92

2. Einleitung 92
   2.1. Fragestellung 92
   2.2. Grundlagen 92
   2.2.1. Stahl AG [1] 92
   2.2.2. Grundlage Schwermetalle [2] 93
   2.2.3. Verwendete Methoden / Apparate 95

3. Material und Methoden 95
   3.1. Schwermetallbestimmung 95
   3.1.1. Vorbereitung der Proben 95
   3.1.2. Mahlen 96
   3.1.3. Tablettenpressen und Röntgen-fluoreszenzanalyse 96
   3.2. Bestimmung des pH-Werts der Bodenproben 96
   3.3. Ammoniumbestimmung 96
   3.4. Abhängigkeit der Aluminiumfreisetzung vom pH-Wert 96
   3.4.1. Vorbereitung der Bodenproben und der Standardlösungen 96
   3.4.2. Vorbereiten der Lösungen 97
   3.4.3. Vorbereiten der Lösungen für die Al-Bestimmung 97
   3.4.4. Bestimmung der Eichgerade 97
   3.4.5. Bestimmung des Aluminium-Gehalts 97

4. Resultate 97
   4.1. Standort 97
   4.2. Schwermetallgehalt 99
   4.2.1. Methode 99
   4.2.2. Bodenresultate 99
   4.2.3. Pflanzenresultate 102
   4.3. pH-Wert und Ammoniumgehalt 101
   4.4. pH-Abhängigkeit der Aluminiumfreisetzung 101
   4.4.1 .Methode: 101
   4.4.2. Resultate 102

5. Diskussion 103
   5.1 Schwermetallgehalt 103
   5.2 pH-/Ammonium-Wert und pH-Abhängigkeit der Freisetzung 103

6. Literaturverzeichnis 104

Schwermetallgehalte in Pflanzen und Boden bei der Pfadi Gerlafingen

Verfasst von Valentin Flury, 4eL, Kantonsschule Solothurn 2006

1. Zusammenfassung

Ich habe mich wegen meinem Interesse am Fach Chemie und meinem langjährigen Mitwirken in der Pfadi Gerlafingen dazu entschlossen, den Schwermetallgehalt im Boden und in den Pflanzen bei dem Pfadigelände zu bestimmen. Dieses Gelände liegt direkt neben den Metalllagerungsplätzen der Stahl AG Gerlafingen, welche Alteisen zu Stahl rezykliert. Darum erhoffte ich mir interessante Resultate und bestimmte in der ETH Zürich die Schwermetallgehalte, sowie in der Kanti Solothurn den pH- und Ammoniumwert als auch die Abhängigkeit der Schwermetallfreisetzung in dem Boden vom pH-Wert.
Bei der Schwermetallbestimmung überschreiten die Gehalte fast immer den Richtwert. Die Konzentration nimmt aber nicht kontinuierlich zur Entfernung ab. Ausschlaggebender Parameter des Gehalts ist nämlich die Hecke, welche sich als Art Schutzschild zwischen dem Depot und dem Pfadigelände befindet. Der niedrigste Wert wurde unter der Hecke gefunden, da die Bäume und Sträucher die Schwermetalle absorbieren, die somit den Boden nicht so belasten. Der hinter der Hecke gelegene Bach spielt eine untergeordnete Rolle. Die Gehalte der auf dem Pfadigelände liegenden Standorte nehmen dann wieder zu, da sie nicht mehr so stark windgeschützt sind, und sich somit die in der Luft enthaltenen Schwermetalle absenken und verteilen können.
Die anderen Experimente zeigen, dass sowohl der Ammoniumgehalt wie der pH-Wert in normalen Rahmen liegen. Das Experiment der Abhängigkeit der Aluminiumfreisetzung - die auch ein Mass für die Schwermetallfreisetzung ist – vom pH-Wert zeigt, dass bei tiefem pH-Wert (< pH 5) sehr viel mehr Aluminium (oder eben auch Schwermetall) gelöst wird als bei normalen pH-Wert. Weil aber der pH-Wert gemässigt ist, kann die Möglichkeit der Freisetzung von Schwermetall in das Grundwasser ausgeschlossen werden.
Zusammenfassend kann ich sagen, dass für die Umwelt der Nutzen der Metallwiederaufbereitung grösser ist als der zugefügte Schaden durch die Schwermetallbelastung. Unbedingt zu vermeiden gilt natürlich, dass der dortige Boden von der Landwirtschaft genutzt wird, doch dies kann man ja eigentlich ausschliessen, da der Kanton eine solche Bewilligung sicher nicht erteilen würde.

2. Einleitung

2.1. Fragestellung

Von Beginn weg faszinierte mich in der Schule das Fach Chemie. Somit lag es für mich nahe, in diesem Bereich meine Maturaarbeit zu schreiben. Gleichzeitig engagiere ich mich seit Jahren in der Pfadi und die Auseinandersetzung mit dieser Jugendbewegung liess mich schwanken zwischen einer chemischen bzw. sozialen Aufgabenstellung. Glücklicherweise fand ich einen Weg, die beiden Themen miteinander zu verknüpfen:
Die Pfadi Gerlafingen und das zugehörige Spielgelände sind direkt neben dem Schrott- und Sammelplatz der Stahl AG Gerlafingen gelegen, und dies ist unmittelbar für die Pfader spür- und erfahrbar (Geruch, «Bastelmaterial», ständiges Vorbeigehen an den Schrottbergen). Schon immer interessierte mich, wie stark verschmutzt wohl diese Umgebung von der Schrott-ablagerung bzw. -verarbeitung ist. In dieser Hinsicht beschäftigten mich die folgenden konkreten Fragen:

- ➔ Wie hoch ist der Schwermetallgehalt im Boden und in den Pflanzen?
- ➔ Wie stark nimmt dieser Gehalt bei immer grösserer Entfernung ab?
- ➔ Welche Rolle spielt dabei der zwischen Pfadi- und Schrottgelände gelegene Bach?
- ➔ Wie wirkt sich ein unterschiedlicher pH-Wert auf die Aufnahmekapazität des Bodens von Schwermetallen aus?

und als Zusatz:

- ➔ Wie hoch ist der Ammoniumgehalt?

2.2. Grundlagen

2.2.1. Stahl AG [1]

Die Stahl AG Gerlafingen gehört zur weltweit tätigen Swiss Steel AG und beschäftigt an die 600 Mitarbeiter. Da in der rohstoffarmen Schweiz Eisenschrott sehr gefragt ist, verarbeitet die Stahl AG an die 750 000 Tonnen Altmetall. Dieses Altmetall besteht aus vielen verschiedenen Metallen, wie Kadmium- oder Bleilegierun-

gen, und ist zum Teil auch verunreinigt durch Schwefel, Phosphor und diverse Schwermetalle. Da solcher Schrott nicht reiner Eisenschrott ist, wird er nach Metallart sortiert. Dieser Vorgang ist sehr wichtig, weil z.B. reiner Eisenschrott die Umwelt wesentlich weniger belastet als durchmischter. Die Stahl AG stellt im Jahr an die 650 000 Tonnen Stahl her, wie z.B. Betonstahl, Draht, Stahlmatten und andere Stahlarten. Die Stahl AG achtet darauf, dass die Umwelt so wenig belastet wird als möglich, so wird unter anderem ¾ des Schrotts per Bahn gebracht, es werden hochmoderne Apparaturen gebraucht (Abgassystem, Hochöfen) und die Abfallerzeugnisse werden gefiltert (Abgase) oder weiterverwendet (Schlacke als Kies-Baustoff nach aufwändiger Bearbeitung). Deshalb arbeitet die Stahl AG eng mit dem Amt für Umwelt zusammen, um die Nachteile für die Umwelt möglichst klein zu halten. Trotzdem ist aber auch eine grösstmögliche Produktivität zu gewährleisten, da das Recycling von Alteisen zuletzt selbst auch der Umwelt zu Gute kommt.

2.2.2. Grundlage Schwermetalle [2]

Blei (Pb)
Allgemein:
Der Name Blei kommt von indogermanisch «bhlei» = leuchten, glänzen. Die chemische Abkürzung lautete Pb und kommt vom Lateinischen *«plumbum»*. Blei ist ein glänzendes, an der Luft grau anlaufendes Schwermetall, welches sehr weich ist. Deshalb wurde es früher zum Schreiben gebraucht (➔ Bleistift). Heute wird dafür der ungiftige Graphitstab benutzt. Blei ist ein relativ edles Metall, es steht in der Tabelle der Standard-Elektrodenpotenziale unter Zinn und über Wasserstoff. Es bildet mit anderen Metallen wichtige Blei-Legierungen. Da es in Kontakt mit Säuren eine unlösliche Blei-Verbindung bildet, wird es zum Auskleiden von (Stahl-)Röhren mit aggressivem Inhalt benutzt oder auch als reines Metall zur Absorption von Röntgenstrahlen. Ebenfalls gebraucht wird es für Bleiakkus oder Batterien oder für die Herstellung von Munition (Bleikugeln). In Gerlafingen tritt es wahrscheinlich beim Schmelzen solcher Röhren und bei Bleilegierungen auf.
Ausserdem spielt Blei eine wichtige Rolle bei dem Zerfall von radioaktiven Metallen, da es das schwerste stabile Metall ist und somit am Ende der Zerfallsreihe steht. Es kann, wie auch alle anderen Schwermetalle, im Boden also nicht abgebaut oder zersetzt werden.

Auswirkungen auf Mensch und Flora:
Sowohl Pb selber als auch seine Verbindungen sind für den Menschen hochgiftig und gehören aus diesen Gründen nicht zu den vom Menschen benötigten Spurenelementen. Blei kann durch Einatmen, über die Nahrung oder durch Hautkontakt aufgenommen werden. Akute Bleivergiftungen kommen eher selten vor, da es dazu eine hohe Aufnahme von Blei bedarf. Sie sind jedoch sehr gefährlich und können zu Erbrechen, Koliken oder Kollaps bis hin zum Tode führen. Bei akuter Bleivergiftung sind diese Folgen rasch erkennbar und es kann schnell gehandelt werden. Gefährlicher ist die ständige unbemerkte Aufnahme von sehr kleinen Pb-Dosen: Dabei wird Blei zum grössten Teil in den Haaren, Knochen und Zähnen gespeichert. Die Beschwerden dieser chronischen Bleivergiftung äussern sich wie folgt: Müdigkeit, Kopfschmerzen, Appetitlosigkeit, Anämie, Muskelschwäche, Störungen des Nervensystems, Hirnschäden, verminderte Fruchtbarkeit und/oder verminderte Intelligenz.
Bei den Pflanzen hemmt Blei die Bildung des lebenswichtigen Chlorophylls. Zwar kann der Hauptteil des Bleis durch Waschen entfernt werden, doch die Einschleppung von Blei in die Nahrungskette ist bedenklich. Deshalb wurden Massnahmen ergriffen, um den Bleigehalt zu senken, wie z. B. Verbot des Gebrauchs von bleihaltigen Pflanzenschutzmitteln, Benzin, Geschirr, und die Einführung des Katalysators.

Eisen (Fe)
Allgemein:
Das Wort Eisen stammt vom gotischen «isarn» = festes Metall ab, die Abkürzung Fe von lat. *«ferrum»* ab. Im Gegensatz zu den anderen Metallen ist Eisen kein besonders giftiges Schwermetall. Ich habe es dennoch in meine Beurteilung einbezogen, da der Schrottberg aus Alteisen besteht. Eisen kommt in verschiedenen Modifikationen vor. Teilweise ist es sogar unmagnetisch! Eisen ist silber-weiss und wahrscheinlich das häufigste Element unseres Erdballs, da der Erdkern am häufigsten Eisen enthält. In der Erdkruste bildet Eisen nur einen Anteil von etwa 5%. Der Gesamtanteil wird auf 37% geschätzt. Eisen gehört zu den unedleren Metallen und kommt deshalb vor allem in Verbindungen vor. Weil Eisen so unedel ist, oxidiert es sehr leicht mit der Luft/dem Wasser zu Rost.
Eisen ist klar das wichtigste Metall für die Industrie, v.a. in Verbindung mit Kohlenstoff ist es bei uns als Stahl allgegenwärtig. Ausserdem haben Fe-Verbindungen auch eine wichtige Bedeutung als Arzneimittel, Katalysatoren und Pigmente (=Farbstoffe). Eisen wurde schon sehr früh entdeckt, nämlich ca. 4000 v.Chr.. Die Römer konnten sogar schon selber Eisen in Verhüttungsanlagen herstellen. Eisen ist der Hauptbestandteil des Recycling von Alteisen.

Auswirkungen auf Mensch und Flora:
Eisen ist ein wichtiges Spurenelement und somit unentbehrlich für einen pflanzlichen oder tierischen Organismus. Ein erwachsener, 70kg-schwerer Mensch enthält ca. 4.2g Eisen. Der grösste Anteil davon ist im Hämoglobin enthalten, worin Eisen die Sauerstoffbindung ermöglicht. Eisen ist somit notwendig für die Atmung. Der Mensch sollte deshalb pro Tag etwa 1-3mg Eisen zu sich nehmen. Eisen ist v.a. in Leber, weissen Bohnen in

[1] Schwermetalle: In der Erdkruste vorkommende metallische Elemente mit einer Dichte von mehr als 5.6g/cm3 [5]

besonders hoher Menge enthalten. Es findet sich aber auch in vielen anderen Lebensmitteln wie Teigwaren, Gemüse und Nüssen. Eisenmangel (und dadurch verursachter Hämoglobin-Mangel) kann Bleichsucht auslösen.
Für Pflanzen ist Fe ein wichtiger Nährstoff, der die Photosynthese, die Chlorophyll- und die Kohlenhydratbildung ermöglicht.

Kadmium (Cd)
Allgemein:
Kadmium stammt vom griechisch. *«cadmeila»* = Zinkerz ab. Es wurde erst 1817 von Stromeyer entdeckt und ist ein eher seltenes Metall. Kadmium ist ein silberweisses, glänzendes, weiches Metall, welches in der Natur häufig in Verbindung mit Zink vorkommt. Das Metall verfärbt sich an der Luft und es entsteht ein grauweisser CO_2-Überzug. Es verbrennt mit roter Flamme zu einem äusserst giftigen Gas. Das reine Kadmium wird von Säuren kaum angegriffen, obwohl es relativ unedel ist. Kadmium wird in der Industrie v.a. für Batterien, als Korrosionsschutz und als Pigment verwendet. Es ist ein Abfallstoff, der bei der Gewinnung des Zinks entsteht. Heute versucht man durch Recycling das Kadmium zurückzugewinnen, um eine weitere Belastung der Umwelt zu verhindern. Kleine Mengen an Cd fallen auch bei dem Recycling von Eisen und Stahl an (Legierungen als Schutz vor Säuren), was auch bei der Stahl AG Gerlafingen geschieht.

Auswirkungen auf Mensch und Flora:
Kadmium ist ein nicht-essentielles Element für den Menschen und auch in Verbindungen hochgiftig für den Menschen. Bei Aufnahme sind die Folgen Erbrechen, Leber-schädigungen, Krämpfe und Kopfschmerzen. Chronische Vergiftungen äussern sich in Anämie, Wirbelschmerzen und sogar in Knochenmarkschädigungen. Kadmium wird zudem mit der oft letalen Itai-Itai-Krankheit in Verbindung gebracht[2]. Ausserdem gelten viele Kadmiumverbindungen, welche sich auch in der Zigarette befinden, als krebserzeugend. Die negativen Auswirkungen von Kadmium auf Pflanzen sind bestätigt, aber noch nicht genauer untersucht.

Kupfer (Cu)
Allgemein:
Der Name Kupfer stammt vom latein. *«cuprum»* ab, hergeleitet von *«aes Cyprium»*, welches zyprisches Erz bedeutet. Kupfer ist ein rotes, ziemlich hartes Metall, welches trotzdem aber sehr gut formbar ist. Aus diesem Grund wurde es früher zum Münzprägen gebraucht und ist bis heute ein Bestandteil von Münzen geblieben. Kupfer ist ein ausgezeichneter Wärme- und Stromleiter. An feuchter Luft bildet Kupfer mit O_2 eine grünliche Oxidverbindung, welche die Haltbarkeit von Kupfer verlängert. In der Erdkruste tritt Kupfer oft in Form von Kupfererzen und Arsenverbindungen auf. Wegen seiner guten Leitfähigkeit wird Kupfer heute für die Kabelherstellung und für Blitzableiter gebraucht. Kupfer fällt in Gerlafingen v.a. wegen alten Blitzableitern, Kupferblechen oder in Kupferlegierungen (wegen ihrer Korrosionsbeständigkeit an der Luft) an.

Auswirkungen auf Mensch und Flora:
Cu^{2+}-Ionen wirken auf Bakterien und Kleinpilze als starkes Gift und werden daher für die Bekämpfung von Bakterien gebraucht. Da der Mensch eine grosse Menge an Kupfer(-Verbindungen) ohne Risiken einnehmen kann, wird Kupfer als Antibiotikum eingesetzt[3]. Nur die Cu-Dämpfe wirken sich auf den Menschen nachteilig aus und führen in hohen Konzentrationen zum Metallfieber. Ausserdem wird vermutet, dass zu viele Cu-Ionen den Aufbau der DNA schädigen. Kupfersulfat ist ebenfalls ein starkes Brechmittel, weshalb es oft bei Vergiftungen eingesetzt wird. [3]
Für Pflanzen wirkt sich Kupfer vor allem positiv aus, weil es indirekt die Bildung des Chlorophylls fördert. Bei zu hoher Kupferdüngung in der Landwirtschaft wird das Pflanzenwachstum jedoch gehemmt.

Zink (Zn)
Allgemein:
Der Name Zink kommt von Zinke = Zacke, weil Zink zackenförmig erstarrt. Zink ist ein bläulichweisses, stark glänzendes Metall, welches mit blaugrüner Flamme verbrennt. Bei gewöhnlichen Temperaturen ist Zn spröde, erst ab 150°C kann es geformt werden. Ausserdem bildet das unedle Zink an feuchten Oberflächen eine schwer wasserlösliche Schutzschicht und wird somit v.a. für den Rostschutz bei anfälligen Metallen wie Eisen gebraucht. In diesem Fall spielt Zink die Opferanode für Eisen, da Zink unedler ist und somit die Elektronen an Eisen abgibt. Ausserdem wird Zink auch als Bestandteil der Trockenbatterie benutzt. Somit wird Zink in der Stahl AG v.a. aus Rostschutz für Eisen gewonnen
Auswirkungen auf Mensch und Flora:
Zink ist für Mensch und Tier ein lebenswichtiges Spurenelement und erfüllt viele Funktionen bei der Hormonbildung, Zellbildung und für die Funktion des Immunsystems. Zu hohe Zn-Dosen bewirken äusserliche Verätzungen, Entzündung der Verdauungsorgane und Erbrechen. Diese obere Toxizitätsgrenze liegt aber viel höher als bei anderen Schwermetallen wie z.B. bei Kupfer. Vor allem das Zubereiten von sauren Lebensmitteln in verzinkten Behältern kann Unwohlsein hervorrufen, das aber bald darauf wieder vergeht.
Auf die Pflanzen haben gemässigte Zn-Mengen eine überaus positive Auswirkung. So können durch Zn sogar einige Pflanzenkrankheiten geheilt werden. In zu hohen Konzentrationen treten aber Schädigungen auf.

[2] Itai-Itai-Krankheit: In Japan auftretende Knochenmarkerweichung bei Frauen. Ist wahrscheinlich eine chronische Kadmiumvergiftung.

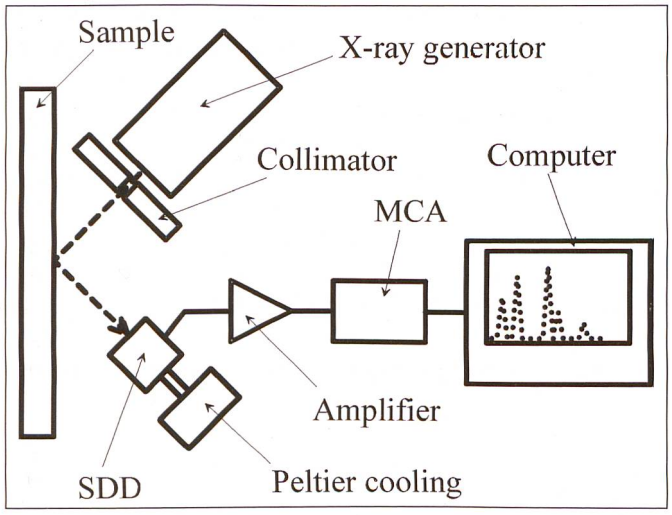
[3] Antibiotika: Wirkstoff zur Behandlung von krankheitserregenden Bakterien. Die Bakterien werden abgetötet oder in ihrem Wachstum gehemmt, der Körper des Menschen wird dabei nicht angegriffen.

2.2.3. *Verwendete Methoden / Apparate*

• XRF-Apparat [4,5]
Die Röntgenfluoreszenzanalyse (engl.: X-Ray-Fluorescence) dient dazu, die Gehalte jedes einzelnen stabilen Elementes (also bis Blei) zu ermitteln. Allgemein geht es darum, aufgrund von Röntgenstrahlen herauszufinden, welchen Massenanteil jedes Element der Probe ausmacht. Dabei wird der Anteil der Strahlen gemessen die das jeweilige Atom «reflektiert». Die Wellenlänge ist dabei für jedes Element unterschiedlich und so können die Gehalte bestimmt werden. Es gibt verschieden Möglichkeiten dazu:

i. EDX (energiedispersive Röntgenspektroskopie)
ii. WDXRF (wellenlängendispersives Röntgenfluoreszenzspektrometer)
iii. EDXRF (energiedispersives Röntgenfluoreszenzspektrometer)

Die Methode, mit der ich gearbeitet habe, ist die EDXRF-Methode. Im Folgenden wird nur diese Methode erklärt, die anderen weichen z.T. nur geringfügig von dieser Methode ab:
Bei der EDXRF-Methode wird die Probe durch Röntgenstrahlen angeregt. Die Strahlen kommen dabei von einer Anode aus Chrom, Gold oder auch aus anderen Metallen, welche von einem Elektronenstrahl beschossen werden. Dabei entstehen Röntgenstrahlen, die dann auf die Probe gelenkt werden. Der Kollimator dient dazu die Strahlen zu bündeln. Die Röntgenstrahlen treffen nun auf die Probe und veranlassen dabei Elektronen der inneren Schalen auf die äusseren zu wandern. Beim Zurückfallen senden diese Elektronen ebenfalls für jedes Element charakteristische Röntgenstrahlen (bestehend aus Photonen) aus. Diese Strahlen werden beim Detektor (ein Kristall) gebrochen und in fluoreszierendes Licht umgewandelt. Diese Strahlen werden nun in elektrische Impulse verwandelt (durch den Amplifier), verstärkt (MCA) und können nun am PC dargestellt werden. Anhand des Beugungswinkel der Strahlen beim Kristall (bei dem hier gebrauchten Apparat ist es ein Silizium-Lithium-Kristall) kann nun das Element bestimmt werden. Die Intensität der Röntgenstrahlen liefert die Quantität des Elements.

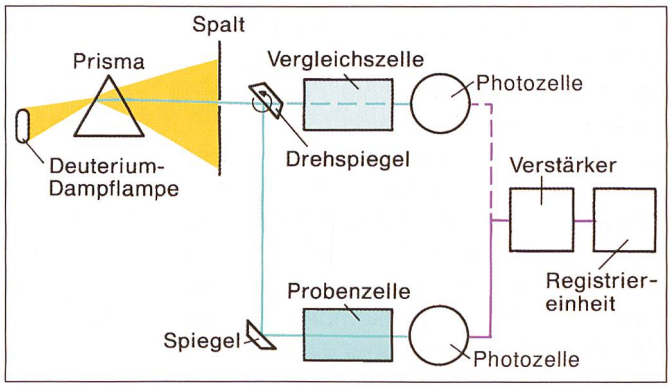


Funktionsweise des XRF

Da der Detektor durch die ständige Röntgenstrahlung erwärmt wird, kühlt ein spezielles, so genanntes Peltier-Element den Detektor auf – 20°C. Ausserdem können noch zusätzliche Filter angehängt werden, um eine empfindlichere Auflösung zu erhalten.

• pH-Messgerät/Ammoniumionenspezifische-Elektrode
Beim pH-Messgerät misst eine Elektrode die Spannung in der Lösung. Vorher wurde mit zwei Kalibriermessungen die Spannung für pH 4.01 und pH 7.00 festgelegt und daraus können nun automatisch die anderen pH-Werte an einer Art Kalibrierkurve abgelesen werden. Auch bei der Ammonium-Messung wur-den solche Elektroden verwendet, nur war die eine Elektrode auf die Ammoniumspannung (hervorgerufen von dem Ammonium) spezialisiert. Je grösser die Spannung also ist, desto grösser ist auch der Ammoniumgehalt.

Photometer [7]
Das Photometer arbeitet eigentlich ähnlich wie ein XRF-Apparat, nur wird hier mit Lichtstrahlen gearbeitet. Dabei wird die Lichtintensität beim Nullwert gemessen und dann mit der Lichtintensität der jeweiligen Probe verglichen. Die Lichtintensität ist die Menge an Licht, die von der Lösung durchgelassen wird (→ nur mit gelösten Proben möglich). Abhängig von den jeweiligen Stoffen in der Lösung wird immer eine Wellenlänge absorbiert. Das Photometer gibt dann die Extinktion an, die folgendermassen berechnet werden kann: Extinktion E = log(I0/I). Eine Extinktion von 1 bedeutet also, dass nur noch ein Zehntel der Lichtintensität vorhanden ist.



Funktionsweise eines Photometers [7]

3. Material und Methoden

3.1. Schwermetallbestimmung

3.1.1. Vorbereitung der Proben

Material: Boden- und Pflanzenproben, Trockenschrank, Alufolie, Kristallierschalen, Stift, 2mm-Kunststoffsieb

Vorgehen: Es wurden zuerst ca. 100-200g Bodenproben und ca. 50g Pflanzenproben genommen und anschliessend im Trockenschrank bei 40°C während 4-5 Tagen getrocknet. Die Bodenproben wurden in eine Kristallisierschale gegeben, die Pflanzen auf Alufolie ausgebreitet,

um ein schnelleres Trocknen zu ermöglichen. Danach wurden die Bodenproben durch ein 2 mm-Kunststoffsieb gesiebt und die Pflanzen von Hand zerrieben.

3.1.2. Mahlen

Material: Proben, Mahlapparat, Stift, Kunststoffbehälter, Kosmetiktücher, Spatel
Chemikalien: Ethanol

Vorgehen: Die Probe wurde in das Mahlgefäss hineingeschüttet und im Apparat während 20 s (Pflanzen), bzw. 30 s (Boden) gemahlen. Das Gefäss wurde anschliessend mit Kosmetiktüchern und Ethanol gereinigt. Die gemahlenen Proben wurden schlussendlich mit einem Spatel in den Kunststoffbehälter gefüllt.

3.1.3. Tablettenpressen und Röntgenfluoreszenzanalyse

Material: Waage, Spatel, Glaskügelchen, Proben, Mischapparat, Presseinrichtung, Kunststoffbehälter, Spectro X-LAB 2000 mit dazugehöriger Software
Chemikalien: Kunstwachs

Vorgehen: Es wurden 4g gemahlene Boden- bzw. Pflanzenproben genommen und mit 0.9g Kunstwachs vermischt und in den Behälter gefüllt. Ausserdem wurden 2 Glaskügelchen dazugegeben, damit später im Mischapparat die Vermischung besser erfolgen kann. In diesem Mischapparat wurden die Proben und das darin befindende Wachs während 8 Minuten geschüttelt. Die nun vollständig gemischte Probe wurde nun mit der Presse mit einem Druck von 15t zu einer Tablette gepresst. Die Glaskügelchen wurden vorher natürlich herausgenommen. Die entstandenen Tabletten wurden in das XRF-Medium gelegt und per Röntgenfluoreszenzanalyse der Gehalt an allen Elementen ermittelt. Die Dauer betrug bei den Bodenproben 30 min, bei den Pflanzenproben 40 min. Auf die komplizierte Funktionsweise bin ich bei der Einleitung näher eingegangen.

3.2. Bestimmung des pH-Werts der Bodenproben

Material: pH-Messgerät Portamess,, Bodenproben, Waage, 50ml-Becherglas, 25ml- Pipette, Wägepapier, Glasstäbchen
Chemikalien: destilliertes Wasser
Vorgehen: Es wurden 10g Bodenproben abgewogen und anschliessend in ein 50ml-Becherglas eingefüllt. Dazu wurde 25ml destilliertes Wasser gegeben und während 5 Minuten mit einem Glasstäbchen gut gerührt. Nun wurden die Proben 10min stehen gelassen, damit die Festkörper sedimentieren, da bei aufgewirbelten Teilchen das Resultat des Messgeräts verfälscht werden würde. Danach wurde mit dem kalibrierten (pH 4.01 und pH 7.00) Portamess, der pH-Wert ermittelt.

3.3. Ammoniumbestimmung

Material: 25ml-Messzylinder, Filterpapier, Glastrichter, Bodenproben, Ammoniumlonenselektive Elektrode, Lab-Pro Interface, Notebook mit Software LoggerPro 3
Chemikalien: dest. Wasser
Vorgehen: Von der unter 3.2. erhaltenen Lösung wurde die Flüssigkeit mit einem Schnellfilterpapier und einem Trichter in einen 25ml-Messzylinder abfiltriert. Von dieser Flüssigkeit wurde dann mit der Ammoniumionen-spezifischen Elektrode der Ammonium-Gehalt gemessen. Da diese Elektrode den Ammoniumgehalt pro Liter und nicht pro Gramm angibt, wurde das Ganze anschliessend für die einzelnen Proben berechnet:

Beispiel: B1 ergibt 1.3 mg/l ➔ 1.3mg/l / 0.025l (abfiltrierte Flüssigkeit) =0.0325 mg/ Probe (10g) ➔ * 100 = 3.25 mg/kg ➔ * 100 = 3.25 mg/kg

3.4. Abhängigkeit der Aluminiumfreisetzung vom pH-Wert

3.4.1. Vorbereitung der Bodenproben und der Standardlösungen

Material: automatische Pipette (1-5ml), Pipetten (5,10,20ml), Waage, 50ml-Bechergläser, Bodenprobe Nr.1, 1l-Messkolben, Wägepapier, 100ml-Messkolben
Chemikalien: dest. Wasser, Aluminium-Standardlösung (1.000 g/l), Salzsäure (0.1 mol/l), Essigsäure (CH3COOH) konzentriert, Ammoniak, Phosphatpuffer, Carbonatpuffer, Acetatpuffer

Vorgehen: Zuerst wurde die Standardlösung für die Erstellung der Eichgerade vorbereitet. Hierzu wurden sieben verschiedene Konzentrationen hergestellt:

1. 5 mg/l: 5ml Aluminium-Standardlösung wurde in einen 1l-Messkolben pipettiert (mit automatischer Pipette) und bis zur 1l-Marke mit destilliertem Wasser aufgefüllt.
2. 2.5 mg/l: 50 ml aus Lösung 1 in einen 100ml-Messkolben
3. 1 mg/l: 20 ml aus Lösung 1 in einen 100ml-Messkolben
4. 0.5 mg/l: 10 ml aus Lösung 1 in einen 100ml-Messkolben
5. 0.1 mg/l: 20 ml aus Lösung 4 in einen 100ml-Messkolben
6. 0.02 mg/l:20ml aus Lösung 5 in einen 100ml-Messkolben
7. 0 mg/l (rein): destilliertes Wasser

Bei den Bodenproben wurde folgendermassen vorgegangen:
Es wurden 7x je 2g Bodenprobe des Standorts 1 abgewogen und in ein 50ml-Becherglas gegeben. Dazu wurde 20ml eines Puffers gegeben um möglichst unterschiedliche pH-Werte zu erhalten:
pH 1: 20ml Salzsäure (0.1 mol/l)
pH 3: 20ml Lösung aus Acetatpuffer und Essigsäure

pH 4. 5: 20ml Acetatpuffer
pH 6: 20ml Phosphatpuffer
pH 7: 20ml Phosphatpuffer (unterschiedliche Konzentrationen)
pH 9: 20ml Lösung aus Ammoniakpuffer mit Salzsäure
pH 11. 5: 20ml Carbonatpuffer

3.4.2. Vorbereiten der Lösungen

Material: automatische Pipette (1-5ml), Waage, Wägepapier, 1l-Messkolben, 0.5l-Messkolben
Chemikalien: Schwefelsäure (H_2SO_4) konz.; Salpetersäure (HNO_3) konz.; Natrium-Thioglycolat; Ethanol; Eriochromcyanin; Natriumchlorid (NaCl); Ammoniumnitrat (NH_4NO_3), Ammoniumacetat (NH_4CH_3COO); Essigsäure (CH_3COOH), dest. Wasser

Vorgehen:
Säurelösung:
5ml konz. Salpetersäure und 5ml konz. Schwefelsäure werden in der Kapelle in einen 1l-Messkolben pipettiert und mit dest. Wasser bis zur 1l-Marke verdünnt.

Thioglycolat-Lösung:
2.5g Natrium-Thioglycolat wurde mit 250ml Ethanol in einen 0.5l-Messkolben gegeben und mit dest. Wasser aufgefüllt.

Eriochrom-Reagens:
0.75g Eriochromcyanin, 25g Natriumchlorid (NaCl), 25g Ammoniumnitrat (NH_4NO_3) sowie 2ml konz. Salpetersäure wurden in einen 1l-Messkolben gegeben und bis zur 1l-Marke mit dest. Wasser aufgefüllt.

Pufferlösung:
160g Ammoniumacetat (NH_4CH_3COO) und 2.5ml Essigsäure (CH_3COOH) wurden in einen 0.5l-Messkolben gegeben und bis zur 0.5l-Marke mit destilliertem Wasser aufgefüllt.

3.4.3. Vorbereiten der Lösungen für die Al-Bestimmung

Material: Heizrührer, Kristallisierschale, Standardlösungen / Bodenlösungen, automatische Pipette (1-5ml), 50ml-Messkolben, Wasser, Eiswürfel, Becken, Stoppuhren, wasserfester Stift
Chemikalien: Lösungen (Eriochrom-Reagens, Pufferlösung, Säurelösung, Thioglykolat-Lösung), dest. Wasser
Vorgehen: Die Kristallisierschale wurde ca. 3 cm hoch mit Wasser gefüllt und auf den angestellten Heizrührer gestellt. Von den Standardlösungen bzw. Bodenlösungen wurden 2ml abpipettiert und in einen 50ml-Messkolben gegeben. Anschliessend wurden 2ml Säurelösung und 5ml Thioglykolat-Lösung dazugegeben und während 10 Minuten im Wasserbad (ca. Siedetemperatur) auf dem Heizrührer erwärmt. Während-dessen wurde das Eisbad vorbereitet. Nach 10 Minuten Erhitzung wurden die 50ml-Messkolben im Eisbad während 2-3 Minuten gekühlt. Nun wurde je 2.5ml Eriochrom-Reagens und Pufferlösung dazugegeben und der Kolben wurde mit dest.Wasser bis zur Marke aufgefüllt. Das Ganze wurde für 20 Minuten stehen gelassen. Schlussendlich wurden die Werte mit Hilfe des Photometers gemessen.

3.4.4. Bestimmung der Eichgerade

Material: Standardlösungen (5, 2.5, 1, 0.5, 0.1, 0.02 mg/l, dest. Wasser), Plastik-küvetten, Photometer, 540nm-Filter
Vorgehen: Die Küvetten wurden mit den Standardlösungen gefüllt und im Photometer gemessen. Das Photometer wurde mit dem Nullwert auf 0 geeicht. Es wurden 2 Messserien im Abstand von 10min. erstellt.

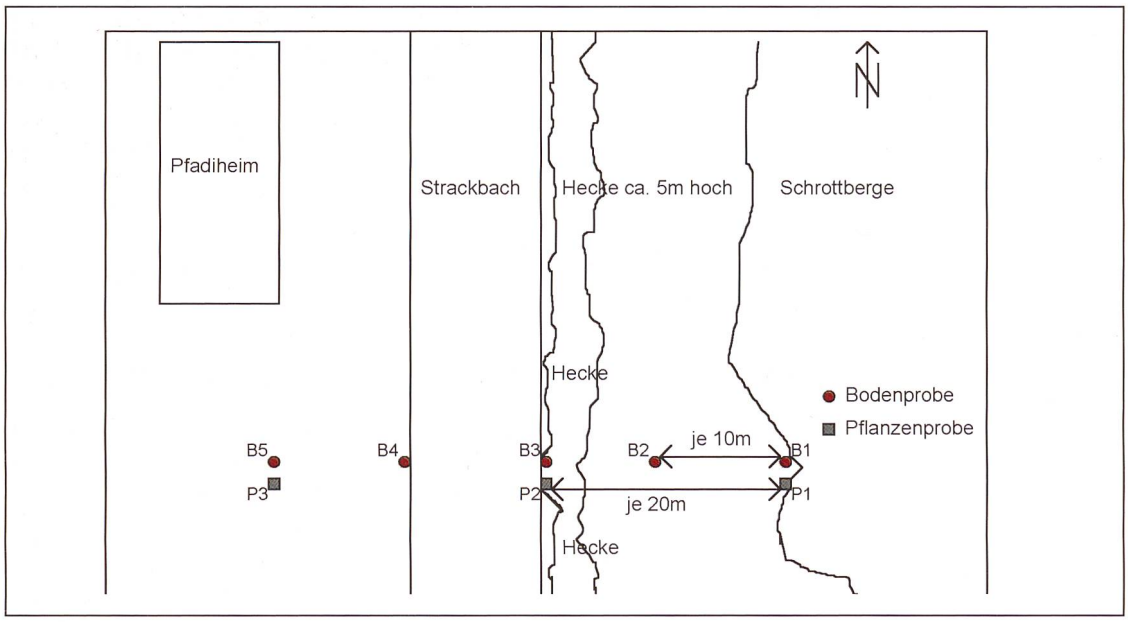
3.4.5. Bestimmung des Aluminium-Gehalts

Material: vorbereitete Bodenlösungen, Plastikküvetten, Null-Lösung (dest.Wasser), Photometer, 540nm-Filter
Vorgehen: Die Lösungen wurden in die Küvetten gefüllt und im Photometer gemessen. Da merkwürdigerweise die Extinktion mancher Lösungen kleiner war als die des destillierten Wassers, wurde beim Messen der Nullwert bei der Lösung mit dem pH-Wert 11.5 angenommen. Obwohl die reine dest. Wasser-Lösung noch einmal vorbereitet wurde, gab sie auch beim zweiten Male einen zu hohen Wert an. Vielleicht haben die Festkörper das Resultat verfälscht oder ein darin enthaltener Stoff hat das Eriochrom-Reagens neutralisiert. In diesem Fall konnte somit dennoch der Gehalt bestimmt werden. Man vergleicht nun die Extinktionswerte mit der Eichgerade, von der der Al-Gehalt ja bekannt ist. Nun kann man den Gehalt einfach von der Kurve ablesen.

4. Resultate

4.1. Standort

Ergänzungen zum Standort:
Der Standort meiner Proben liegt etwa 300m südlich der Fabrikanlagen. Deshalb können wir davon ausgehen, dass die Luftemissionen des Stahlwerkes nicht grösser sind als sonst in diesem Gebiet. Ausserdem liegt er bestimmt 250m von der nächsten (stark) befahrenen Strasse entfernt. Also ist die Belastung des Bodens und der Pflanzen durch die Strasse nicht übermässig hoch. Auch die Eisenbahnstrecke liegt nicht allzu nahe beim Standort. Somit können wir sagen, dass die (Haupt-)Belastung durch die Metallablagerungen und -verfrachtungen zu Stande gekommen ist. Die Hecke, welche als Art "Schutzwall" gilt, ist ca. 5-7m hoch, während der Bach ca. 8m breit ist. Der Boden wird hier weder gedüngt noch sonst übermässig genutzt. Kupferüberschuss auf Grund der Düngung kann also auch ausgeschlossen werden.
Eine Skizze des Standortes finden Sie auf nachfolgender Seite.



Standortskizze

Bild 3: Bodenstandorte 3 (direkt vor der Hecke), 4 und 5 (vor dem Bach)

Bild 5: Pflanzenstandort 1 von nahmen

Bild 4: Ansicht der Probenstandorte 1 – 3 von Norden

Bild 6: Standort 3 von Westen (im Vordergrund der Bach)

	Metall (Dimension)	Kadmium (µg/g)	Eisen (%)	Kupfer (µg/g)	Zink (µg/g)	Blei (µg/g)
Probe	**Entfernung (m)**					
B1	0	11.9	12.89	710.1	5668	1668
B2	10	1.4	2.179	45.3	299.9	105.5
B3	20	0.5	2.212	23.3	109.	42.1
B4	30	0.4	1.773	35.1	144.8	82.8
B5	40	0.6	2.624	36.7	240	193.4
Richt[4]wert [8]		0.8	???	40	150	50

Tabelle 1: Schwermetallgehalt im Boden
Die nachfolgende Tabelle zeigt die Werte für den Boden. Zu beachten gilt, dass bei Eisen der Wert in Prozent (%) angegeben wird und deshalb 10 000 grösser als der Rest (in µg/g) ist!

4.2. Schwermetallgehalt

4.2.1. Methode

Die Pflanzen und Bodenproben wurden 4 Tage im Trockenschrank bei 40°C getrocknet, zuerst von Hand gesiebt und danach maschinell gemahlen. 4g Probe wurde nun mit Wachs zu einer Tablette gepresst und dann mit dem XRF-Apparat X-LAB 2000 auf ihre verschiedenen Gehalte der jeweiligen Elemente untersucht. Dabei konnte jedes (stabile) Element des Periodensystems bestimmt werden, ich habe aber nur meine ausgewählten Elemente einbezogen.

4.2.2. Bodenresultate

Was hier als Erstes auffällt, ist sicherlich, dass die Werte von B1 viel grösser sind als die Werte der anderen Bodenproben. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Probe Nr.1 direkt neben dem Schrottberg genommen wurde, nur so kann ein Eisengehalt von 12 % normal sein. Die Werte nehmen allgemein immer mehr ab bis zu B3 (Standort: unter der Hecke) und von dort an, wieder zu. Vom Aussehen her waren alle Proben in etwa gleich, mit Ausnahme der Bodenprobe Nr.2, welche extrem kalkhaltig war.
Zu Eisen: Der Gehalt ist hier zuerst ca. 6-mal so hoch wie die anderen Werte, welche sich um etwa 2 % herum bewegen
Kadmium: Auch hier beträgt der erste Wert das Achtfache der anderen. Das verdeutlicht nochmals die extreme Nähe des Standorts zu den Schrottbergen.

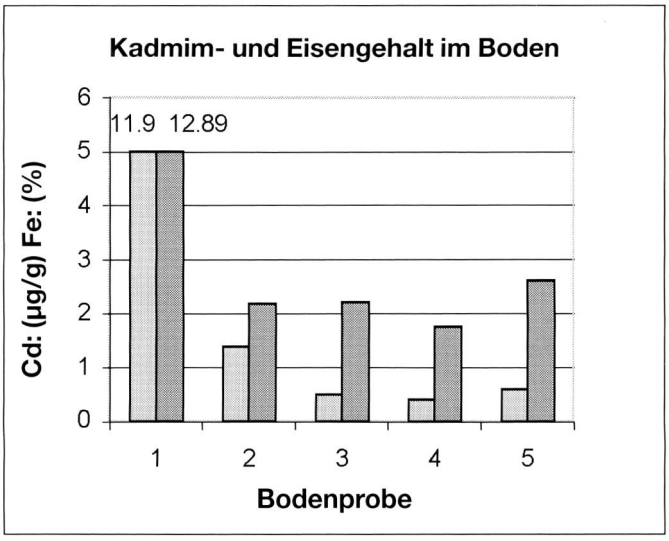


Abbildung 2:
Kadmium- (hell) und Eisengehalt (dunkel) im Boden.

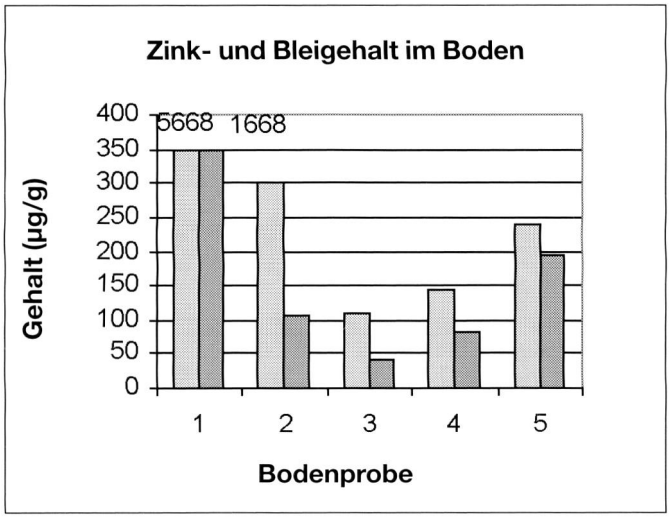


Abbildung 3:
Zink- (hell) und Bleigehalte (dunkel) im Boden.

[4] Richtwert: Richtwerte bezeichnen den Gehalt eines Schadstoffes im Boden, bei dessen Überschreitung die Fruchtbarkeit des Bodens langfristig nich mehr gewährleistet ist (nach Art. 352 USG'95) [9]

Zink: Auch hier ist der Wert überdurchschnittlich hoch, doch auch bei den anderen Werten ist der Unterschied prägnanter, ist doch der Wert der B5 doppelt und B2 dreimal so hoch wie B3.
Zu Blei: Der Anfangswert aber auch die anderen Werte überschreiten (zum Teil klar) den Richtwert vom hochgiftigen Blei, ausser B3. Vor allem dass der weitentfernteste Standort (B5) den Richtwert um das vierfache übersteigt gibt zu Denken!
Kupfer: Diese Werte sind die gemässigsten, da sie ausser B1 und B2 den Richtwert nicht überschreiten.

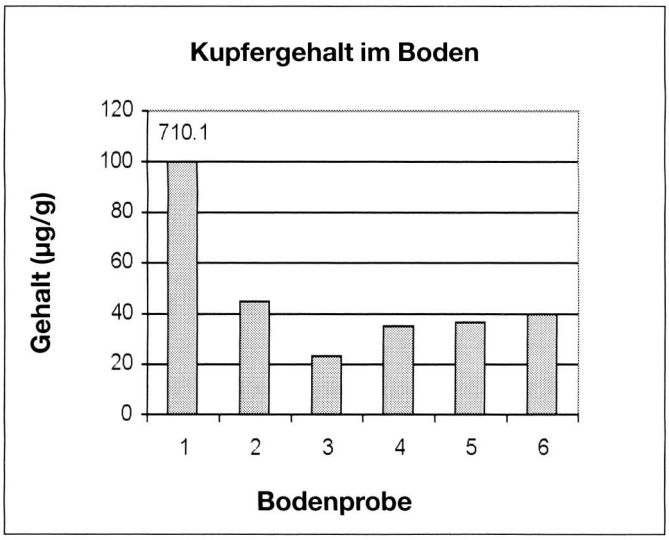


Abbildung 4:
Kupfergehalt im Boden.

4.2.3. Pflanzenresultate

Auch hier fällt der hohe (aber verständliche) Gehalt der ersten Probe auf. Im Gegensatz zum Boden ist der Bleigehalt nicht so extrem hoch. Da keine Richtwerte für die Pflanzen gefunden werden konnten, habe ich als Näherung die löslichen Richtwerte des Bodens genommen. Diese Richtwerte geben die löslichen Gehalte des Bodens an, das heisst wie viel Schwermetall aus dem Boden gelöst werden konnte. Da die Pflanzen aber nur einen Teil dieser löslichen Gehalte aufnehmen, könnte man die Richtwerte sogar noch tiefer ansetzen. Trotzdem sind die Richtwerte massiv überschritten. Im Gegensatz zu den Bodenproben ist hier der mittlere Wert nicht immer der tiefste, obwohl auch er in dem Schutz der Hecke gedieh.

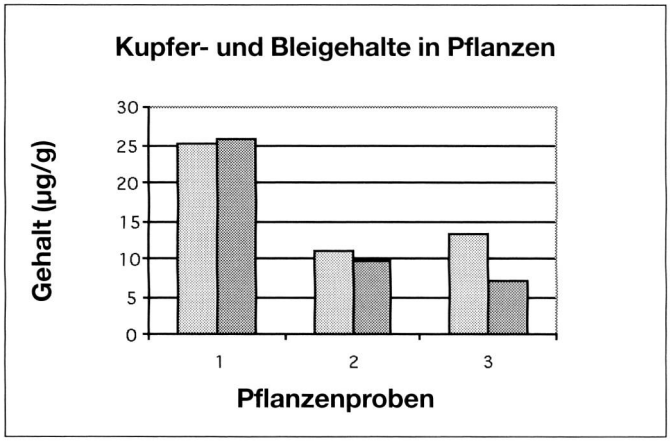


Abbildung 5:
Gehalt von Kupfer (hell) und Blei (dunkel) in Pflanzen

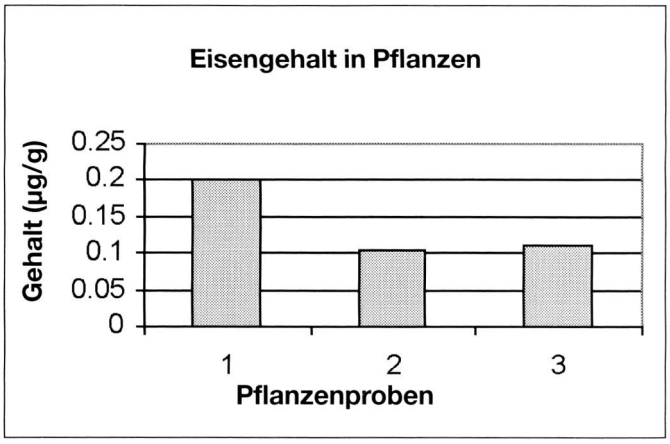


Abbildung 6:
Eisengehalt in Pflanzen

	Metall (Dimension)	Kadmium (µg/g)	Eisen (%)	Kupfer (µg/g)	Zink (µg/g)	Blei (µg/g)
Probe	**Entfernung (m)**					
Pfl 1	0	2.9	0.2013	25.3	458.9	25.8
Pfl 2	20	<0.7	0.104	10.9	95	9.6
Pfl 3	40	<0.7	0.1112	13.2	97.6	7
Richtwert Lösl. Gehalt [8]		0.02	???	0.7	0.5	0

Tabelle 2: Schwermetallgehalt in Pflanzen
Hier sind die Pflanzenresultate aufgelistet, welche nach dem gleichen Verfahren bestimmt wurden wie die Bodenresultate (XRF-Verfahren). Erneut gilt zu beachten, dass der Eisenwert in Prozent angegeben wird.

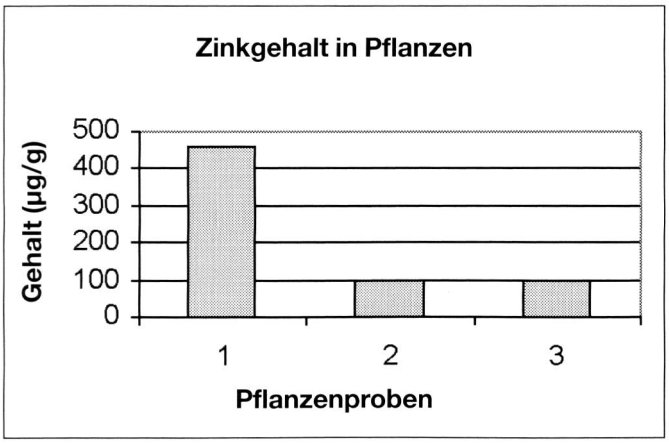


Abbildung 7: Zinkgehalt in Pflanzen.

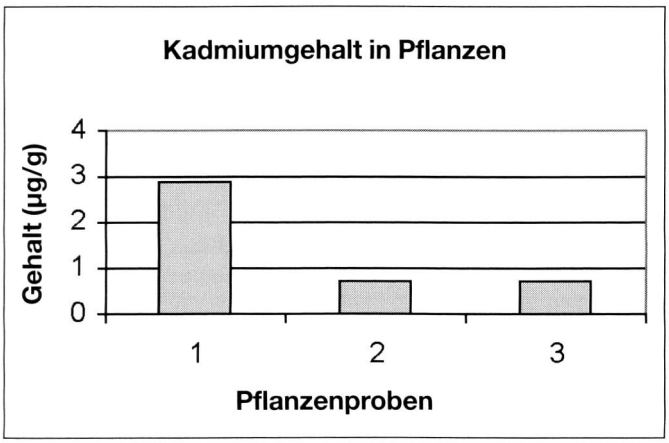


Abbildung 8: Kadmiumgehalt in Pflanzen.

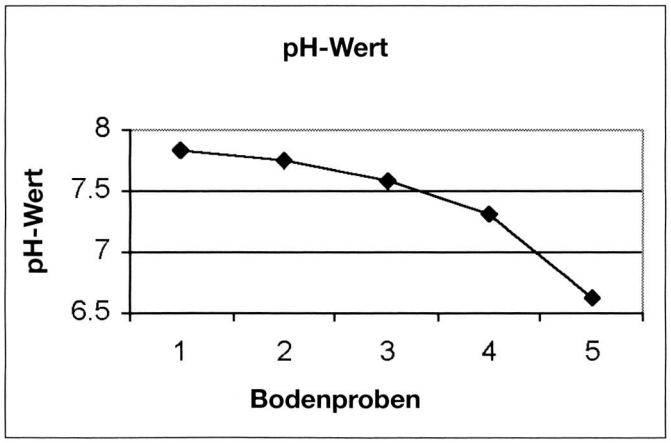


Abbildung 9: pH-Wert

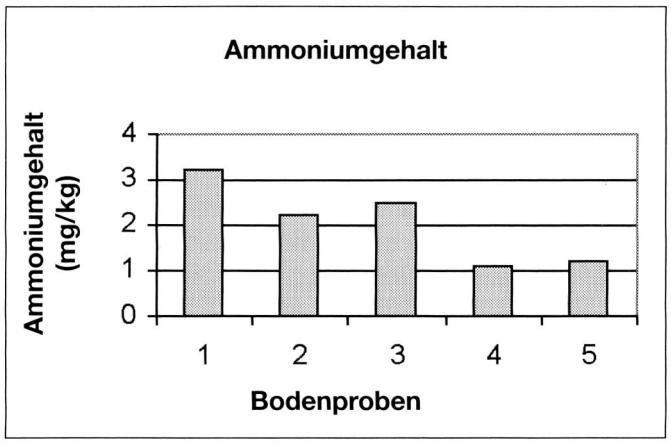


Abbildung 10: Ammoniumgehalt der Proben

4.3. pH-Wert und Ammoniumgehalt

Je 10 g Probe wird mit dest. Wasser versetzt und nach ca. 10 min wird der pH-Wert gemessen. Nach dem gleichem Verfahren wurde auch der Ammoniumgehalt gemessen, nur mit der Ammoniumionen-Selektiven Elektrode.

Probe	pH-Wert	Ammoniumgehalt (mg/kg)
B1	7.83	3.25
B2	7.76	2.25
B3	7.59	2.5
B4	7.32	1.125
B5	6.63	1.25

Tabelle 3:
pH-Wert und der Ammoniumgehalt im Boden.

Wir sehen hier, dass sowohl der pH-Wert, als auch der Ammoniumgehalt praktisch linear abnehmen und sich beide Werte im normalen Rahmen befinden.

4.4. pH-Abhängigkeit der Aluminiumfreisetzung

4.4.1. Methode

Da wir in der Kantonsschule Solothurn keine Möglichkeit haben, den Schwermetallgehalt zu bestimmen, wandte ich die Methode der Aluminiumbestimmung an. Aluminium ist zwar kein Schwermetall, aber seine Freisetzung in Abhängigkeit vom pH-Wert gibt auch Aufschluss über die Schwermetallfreisetzung.

Reaktionsgleichung

$$Al(OH)_{3\,(s)} + 3H_3O^+ \leftrightarrow Al^{3+}{}_{(aq)} + 6\,H_2O$$

$$Al^{3+} + \text{Eriochromcyanin} \rightarrow [\text{Al-Eriochromcyanin}]$$

(ergibt blau-violette Farbe)

Aluminium-Ionen reagieren in einer leicht sauren Lösung mit Eriochrom-Reagens zu einem violetten Komplex. Thioglycolat wird in diesem Experiment zusätzlich gebraucht, um eine Reaktion des Eriochrom-Reagens mit Eisen-Ionen zu verhindern. Der Puffer wurde dabei gebraucht, um den pH-Wert stabil zu halten.
Werden jetzt bei einem sauren Boden (pH ≤ 5) - das heisst mit viel H_3O^+ und wenig OH- – viele Al^{3+}-Ionen und

Schwermetall-Ionen freigesetzt, ist das schlecht für den Boden und die gesamte Umwelt, weil somit Schwermetall ins Wasser ausgeschieden wird. Da die Al^{3+}-Ionen nicht mit den fehlenden Hydroxiden reagieren können, bleiben sie so erhalten und wirken sich schlecht für die Umwelt aus.

4.4.2. Resultate

In die Eichlösungen wurde Aluminiumstandardlösung beigegeben und unterschiedlich verdünnt. Bei den Bodenproben wurde je 2g mit je 20ml verschiedener Puffer (pH 1, 3, 4, 6, 7, 9 und 11.5) zusammengemischt. Zu diesen Lösungen kamen nun noch Eriochrom-Reagens, Thioglycolat, eine Säure- und eine Pufferlösung dazu und die Lösungen wurden dann auch im Photometer gemessen.
Hier fallen mehrere Aspekte auf: Erstens sind die pH-Werte nicht mehr identisch mit den Puffern. Dies ist so, weil ich die Proben fast zwei Tage stehengelassen habe und sich so die pH-Werte des Bodens und des Puffers angleichen konnten und somit die Spannweite nicht mehr so gross ist. Positiv ist aber, dass sich in dieser Zeit das Gleichgewicht zwischen gelöstem und gebundenem Aluminium sicherlich einstellen konnte. Obwohl in destilliertem Wasser kein Aluminium enthalten sein sollte, ist diese Extinktion grösser als die der Bodenproben mit pH 10.68 und 7.4. Deshalb wurde die Probe mit dem pH-Wert 10.68 als Nullwert angenommen.
Auch bei der Eichgerade konnte beim Wert 0.5mg/l kein Resultat erreicht werden, wieso ist mir unklar. Trotzdem wurde in der Graphik mit Hilfe von Microsoft Excel eine gerade Trendlinie gesetzt, welche die erhaltenen Punkte möglichst gut repräsentiert. Mit Hilfe der Funktion der Eichgerade, bei deren Grundlagen der Aluminiumgehalt bekannt ist, konnte dann wieder mit Excel der Aluminiumgehalt berechnet werden. Hier sticht der Wert von pH 4.25 heraus, der viel grösser als die anderen ist!

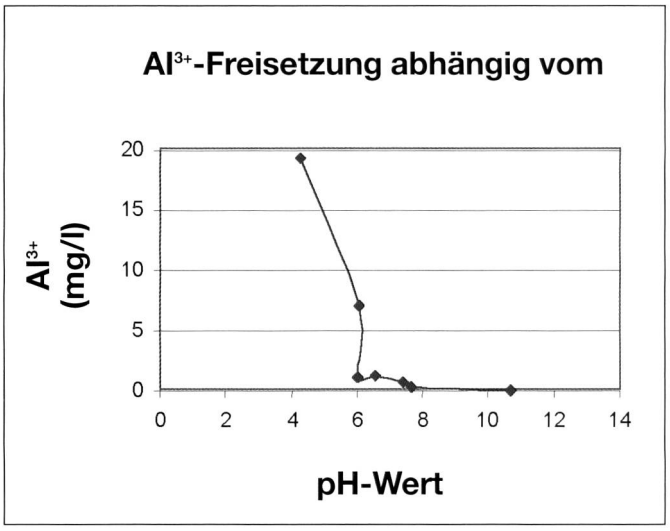


Abbildung 11:
Aluminiumfreisetzung in Abhängigkeit vom pH-Wert.

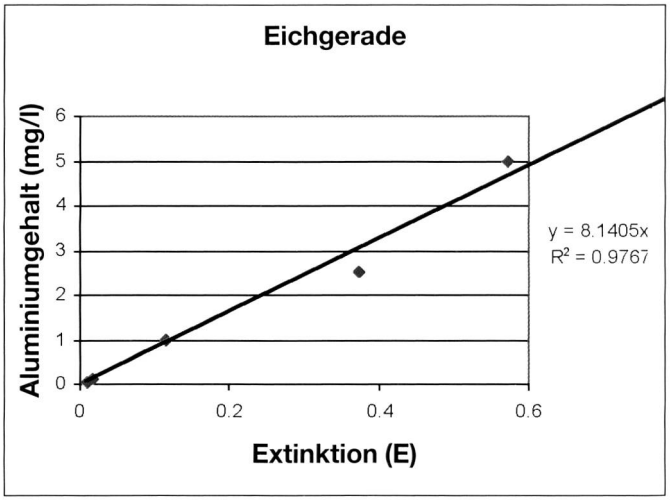


Abbildung 12: Eichgerade der Aluminiumlösungen

pH-Wert	Al-Gehalt (mg/l)	Extinktion (E)		
		1. Messung	2.Messung	Mittelwert
Eichlösungen	5	0.572	0.574	0.573
	2.5	0.371	0.374	0.3725
	1	0.114	0.116	0.115
	0.1	0.015	0.019	0.017
	0.02	0.009	0.011	0.010
4.25	11.50	1.413	1.321	1.413
6.08	1.02	0.125	0.038	0.125
6.03	0.27	0.033	0.001	0.033
6.57	0.31	0.038	0.001	0.038
7.4	0.17	0.021	>E	0.021
7.63	0.10	0.012	0.001	0.012
10.68	0	0	<E	0

Tabelle 4:
Darstellung der Resultate in Bezug auf die Abhängigkeit der Schwermetallfreisetzung vom pH-Wert. In der ersten Spalte sind die pH-Werte angegeben, in der zweiten im oberen Teil die Eichlösungen im unteren die berechneten Aluminiumgehalte. In der dritten gesamten Spalte sind die erhaltenen Extinktionswerte dargestellt. Bei den Eichlösungen wurde für die Graphik den Mittelwert verwendet, bei den verschiedenen Bodenlösungen nur der erste Wert, weil bei der zweiten Messung zu viele ungenügende Werte erhalten wurden.

5. Diskussion

5.1. Schwermetallgehalt

Die Schwermetallgehalte aller Metalle sind zu Teil massiv überhöht, wenn nicht sogar überschritten. Natürlich muss man sich hier fragen, wieso die Werte erhöht sind. Obwohl die Böden zwar sehr stark belastet sind, wird mit dem Metallrecycling gleichzeitig der Natur auch ein Gefallen getan. Ausserdem bemüht sich die Stahl AG ja auch sehr, die Emissionen und Schädigungen möglichst gering zu halten. Zu den Werten selbst gilt zu sagen, dass v.a. der erste Wert immer überschritten ist und zum Teil selbst dem Sanierungswert[5] gefährlich nahe kommt. Hier gilt also: Vorsicht! In dieser Region sollte man auf keinen Fall irgendwelche Nutzpflanzen anbauen oder Vieh halten. Deshalb erfüllt es mich mit Besorgnis, wenn ich die Schrebergärten betrachte, welche quasi direkt neben den Fabrikanlagen liegen. Dort wird bis heute Gemüse angepflanzt und verzehrt, und somit könnten sogar chronische Vergiftungen als Resultat auftreten!
Bei den Werten fällt aber auch auf, dass der dritte Wert fast immer der tiefste oder einer der tiefsten ist. In diesem Fall wird er natürlich von der 6m hohen Hecke am Boden ausreichend geschützt. Die Pflanzenprobe 2 kann in diesem Fall keine direkte Aussage über die Belastung machen, weil ich die Pflanzenprobe ebenfalls am Boden genommen habe (Sträucher, Gräser) und nicht vom obersten Teil der Heckensträucher. Es wäre vielleicht ganz interessant in einer anderen Maturaarbeit dies zu untersuchen. Die Hecke hat aber auch einen anderen wichtigen Mitbestimmungspunkt zu den Gehaltswerten: Sie dient als eine Art Schutzschild vor dem Wind. Wie hier klar wurde, wird das Schwermetall aerogen verfrachtet und nicht, wie man meinen könnte (Schwermetall), im Boden. Somit spielt hier auch der Bach gar keine oder eine untergeordnete Rolle, weil er selbst ja nichts gegen den Wind ausrichten kann. Die Tatsache, dass die Werte nach der Hecke wieder ansteigen, führe ich darauf zurück, dass der vierte Probenstandort noch im Schutz der Hecke liegt und der fünfte Wert dem Wind mehr ausgesetzt ist und deshalb mehr vom Schwermetall «abbekommen» hat. In diesem Fall wäre es auch interessant gewesen, wie es weiter entfernt, vielleicht nach 100 oder 200 Metern, ausgesehen hätte. Auch das könnte ein Punkt einer anderen Maturaarbeit sein.
Auch das Amt für Umweltschutz des Kantons Solothurn hat vor rund 10 Jahren den Boden in diesem Gebiet untersucht, allerdings in grösserer Entfernung vom Standort der Stahl AG. Sie haben die Abnahme in Abhängigkeit der Windrichtung untersucht und deshalb in grösseren Abschnitten Proben genommen als ich. Leider haben sie in dem Gebiet der Pfadi Gerlafingen keine Untersuchungen gemacht.

[5] Sanierungswert: «Sanierungswerte geben die Belastung an, bei deren Überschreitung nach dem Stand der Wissenschaft oder der Erfahrung bestimmte Nutzungen ohne Gefährdung von Menschen, Tieren oder Pflanzen nicht möglich sind». (Art. 353 USG 95) [9]

Metall	B5	Kant. Wert [1]
Blei	193.4 ppm	50 – 200 ppm
Zink	240 ppm	< 150 ppm
Kupfer	36.7 ppm	< 40 ppm
Kadmium	0.6 ppm	< 0.8 ppm
Eisen	2.624%	nicht untersucht

Tabelle 5:
Werte des kantonalen Amtes für Umweltschutz.

Trotzdem kann man sagen, dass auch sie auf Gehalte gestossen sind, die den Richtwert klar überschreiten.
Beim Vergleich zwischen dem Standort meiner Untersuchung (B5) und dem nächst gelegenem Standort der kantonalen Untersuchungen zum Pfadigelände, kam ich auf folgende Ergebnisse:

Zu sagen gilt, dass µg/g und ppm die gleiche Einheit darstellen. Man sieht hier, dass die Resultate des Kantons viel vager sind, weil sie ein grösseres Gebiet umfassten. Den Wert konnte ich nur anhand der Färbung der Belastungskarten abschätzen. Alles in allem komme ich aber auf ähnliche Werte wie das Amt für Umweltschutz.

5.2 pH-/Ammonium-Wert und pH-Abhängigkeit der Freisetzung

Unser Experiment mit Aluminium hat gezeigt, dass in saurer Umgebung mehr Al^{3+} gelöst wird als in neutralen oder basischen Böden, da in saurem Boden zu wenig OH- vorhanden ist um ein Salz zu bilden. Auch Schwermetall-Ionen sind positiv geladen (Kationen) und können bei tiefem pH-Wert nach dem gleichen Mechanismus mobilisiert werden.
Es ist nun aber beruhigend zu sehen, dass die pH-Werte des Bodens der Pfadi Gerlafingen klar über pH 6 liegen und somit die enthaltenen Schwermetalle nicht in den Boden und in das Grundwasser gelöst werden. Zudem ist es günstig, dass der Ammoniumgehalt relativ tief ist. Denn auch Ammonium (NH_4+) trägt zur Versauerung bei, weil es mit H_2O zu H_3O+ und NH_3 reagiert und somit den Boden saurer macht. Glücklicherweise ist also diese Gefährdung ausgeschlossen, wobei bei der Festlegung der Ablagerungsstätten sicherlich die Zusammensetzung des Bodens in die Kriterien miteinbezogen wurde. Trotzdem kann man ja nicht sicher sein ob sich die Zusammensetzung des Bodens nicht ändert. In diesem Fall ist die Ammonium-konzentration wohl zu klein und NH_4+ eine zu schwache Säure, um eine gravierende Änderung des pH-Wertes auszulösen. Gesamthaft gesehen wirken sich diese zusätzlichen Faktoren zur Bodenqualität nicht negativ aus, d.h. sie fördern die Freisetzung von Schwermetall in das Grundwasser oder in den Unterboden nicht.

Zusammenfassend kann man sagen, dass die Schwermetallkonzentrationen zwar klar die Richt- und sogar die Sanierungswerte überschreiten und die Natur in diesem Gebiet überdurchschnittlich belastetet ist. Trotzdem hält sich der Schaden in Grenzen, da ja der Nutzen für die Umwelt durch Alteisen-recycling das Ganze ausgleicht und meiner Meinung nach sogar übertrifft. Das Problem mit den Schrebergärten, wo (höchstwahrscheinlich) diese Konzentrationen mindestens gleich hoch sind wie auf dem Pfadigelände, muss gelöst werden. Es kann ja nicht sein, dass man einfach so zusieht, wie unwissende Menschen solch verseuchtes Gemüse essen. Man müsste dort den Gemüseanbau schlichtweg verbieten.

6. Literaturverzeichnis

Grundliteratur/Hintergrundwissen

Amt für Umweltschutz des Kantons Solothurns, Bodenbelastungsgebiet Biberist / Gerlafingen, Solothurn 1997

Konkrete Bezüge

www.stahl-gerlafingen.com, 26.11.2005

Römpp-Lexikon, 10. Auflage, Georg-Thieme Verlag, Stuttgart 1996/97

http://de.wikipedia.org/wiki/Kupfer#Biologische_Wirkung, 15.11.2005

http://de.wikipedia.org/wiki/Röntgenfluoreszenzanalyse, 20.11.2005

http://www.geomar.de/zd/labs/xrf/funktionsweise.htm, 20.11.2005

http://www.elet.polimi.it/upload/longoni/xrfart/spectrom.htm, 20.11.2005

Asselborn, W. 1998: Chemie heute, Sek. II, Schroedel Verlag, Hannover, S. 226 8:http://www.admin.ch/ch/d/sr/8/814.12.de.pdf, S.6, 24.11.2005

Amt für Umweltschutz des Kantons Solothurns, Bodenbelastungsgebiet Biberist/Gerlafingen, S.27, Solothurn 1997