

Nährstoffgehalte alpiner Böden im Engadin

Vergleich zweier Standorte in- und ausserhalb
der Biosphera



Maturaarbeit an der Kantonsschule Wattwil

Fachbereich Chemie und Geographie

Anina Taverna 2022N

Betreuer:

Adrian Blatter

Eingereicht am:

29. Oktober 2025

Inhaltsverzeichnis

1	Vorwort	i
2	Einleitung	1
3	Theorie	2
3.1	Begriff «Boden»	2
3.1.1	Die vier Dimensionen	2
3.1.2	Die fünf Sphären	2
3.1.3	Bodenbildende Faktoren	3
3.2	Bodenaufbau	4
3.2.1	Horizonte	4
3.3	Chemische Bodenbestände	4
3.4	Definition des UNESCO Biosphärenreservat Engiadina Val Müstair	5
4	Material & Methodik	6
4.1	Ionenchromatographie - Messung	6
4.1.1	Probenaufbereitung	6
4.1.2	Herstellung der Bodenlösung	6
4.1.3	Ablauf der Analyse	7
4.1.4	Auswertung	8
4.2	Röntgenfluoreszenz - Messung	9
4.2.1	Probenaufbereitung	9
4.2.2	Ablauf der Analyse	10
4.2.3	Auswertung	11
4.3	pH - Messung	11
4.4	Elektrische Leitfähigkeit - Messung	12
4.5	Phosphatmessmethode	13
4.5.1	Probenaufbereitung	13
4.5.2	Ablauf der Analyse	14
4.5.3	Auswertung	17
4.6	Probenahme	18
4.7	Messpunkte	18
5	Ergebnisse	21
5.1	Bodenprofil	21
5.2	Analyse des Grundgesteins	22
5.3	pH – Messungen	23
5.4	Elektrische Leitfähigkeitsmessungen	25
5.5	Massenverteilung der Proben	26

5.6	Phosphat-Anteil	28
5.7	Stickstoffverbindungen	30
6	Diskussion	32
6.1	Einfluss des Grundgestein auf die Bodenzusammensetzung	32
6.2	Stickstoffquelle	34
6.3	Phosphatquelle	37
6.4	Fehlerbeurteilung	40
7	Fazit	42
7.1	Ausblick	42
8	Schlusswort	43
9	Dankeswort	44
	Literaturverzeichnis	ii
	Abbildungsverzeichnis	iv
	Tabellenverzeichnis	vi
	Formelverzeichnis	vii
	Selbständigkeitserklärung	viii
	Anhang	1

1 Vorwort

Seit meiner Kindheit habe ich eine starke Verbindung zum Schweizerischen Nationalpark. Bereits mit zwei Jahren wanderte ich im Trupchun umher und hatte durch meinen Grossvater das Glück, in einer Jägerhütte direkt an der Grenze zum Nationalpark im Trupchun etliche Tage meiner Sommerferien zu verbringen. Daher hatte ich bereits früh die Idee, einer naturwissenschaftlichen Arbeit im Nationalpark nachzugehen. Nach vielen Gesprächen mit meinem Betreuer Herr Adrian Blatter, entstand die Idee, Bodenproben bei der Alp Trupchun zu entnehmen und auf ihre Nährstoffe zu untersuchen, da es sich bei dieser Alp um eine ehemals bewirtschaftete handelt. Über Frau Heidi Hanselmann habe ich Kontakt mit der Verwaltung des Nationalparks aufgenommen und mein Vorhaben erläutert. Meine Anfrage wurde jedoch verweigert, da im Val Trupchun keine Forschungen dieser Art zugelassen werden. Nach weiteren Abklärungen am Ofenpass, entschied ich mich für eine Alp in der Biosphera im Val Müstair, welche direkt an der Grenze zum Schweizerischen Nationalpark einen Bauernhofbetrieb führt. Durch die Kontaktaufnahme mit dem Pächter wurde mir die Entnahme der Bodenproben auf der Weide der Alp Buffalora bewilligt. Da die Biosphera ein Teil des Schweizerischen Nationalparks ist, entstand trotzdem eine Zusammenarbeit mit dem Team des Schweizerischen Nationalparks. Als Standort für den Vergleich entschied ich mich für eine Alp im Val Zeznina, die auf der gleichen Höhe, aber ausserhalb der Biosphera liegt. Hierfür genehmigte Herr Peider Saluz die Bodenproben.

2 Einleitung

Das Ziel bestand einerseits darin, mittels Untersuchungen verschiedener Nährstoffe, welche im Boden zu finden sind, die Qualität des Bodens in der Biosphera und ausserhalb zu analysieren. Landwirtschaftsbetriebe in der Biosphera Val Müstair unterliegen strengen Vorschriften, die sie einhalten müssen und welche den anthropogenen Einfluss verkleinern sollten. Als Vergleichsstandort galt es, eine vergleichbare Alp zu finden, welche sich ausserhalb jeglicher Schutzzone und auf gleicher Meereshöhe befindet. Dabei handelt es sich um eine Alp im Val Zeznina.

Um dies zu erreichen, wurden bei beiden Standorten Feldarbeit und Laborarbeit in der Schule geleistet. Es wurden insgesamt 20 Proben auf dem Feld entnommen, die anschliessend in der Schule mit verschiedenen Analysemethoden wie der pH- und Leitfähigkeitsmessung, sowie der IC-, XRF- und Phosphatmessung, analysiert wurden.

Ein weiteres Ziel der Arbeit war, herauszufinden, ob sich Unterschiede zwischen den Standorten in- und ausserhalb der Schutzzone bestimmen lassen und den Ursprung dieser Unterschiede zu untersuchen. Theoretisch müsste der Standort in der Schutzzone positiv auffallen, was die Nährstoffzusammensetzung angeht, da es sich bei der Alp Buffalora um eine biologisch-betriebene Alpbewirtschaftung handelt.

Schliesslich wurden die Ergebnisse mit 'normalen Werten' von Alpenböden verglichen, um einen Anhaltspunkt zu bekommen, was von den Standorten an Resultaten zu erwarten ist. Dabei stellt sich die Frage, ob die beiden gewählten Standorte den typischen Merkmalen von alpinen Böden entsprechen.

3 Theorie

3.1 Begriff «Boden»

3.1.1 Die vier Dimensionen

Der Boden ist ein bedeutungsvoller Teil unserer Erde und wichtig für unser Überleben. Böden sind Flächen, auf welchen eine Bewegung in jede Himmelsrichtung möglich ist, weshalb sie mathematisch aus zwei Dimensionen bestehen. Eine dritte Dimension bildet die Mächtigkeit des Bodens, welche aus Wurzelsystemen, Gesteinen und aufgenommenem Wasser besteht. Biotische Faktoren im Boden arbeiten täglich an einer Wiederherstellung von Pflanzenresten zu nährstoffreicher Erde, während abiotische Faktoren den Boden auswaschen und topografisch verändern. Der entscheidende Faktor spielt dabei die Zeit, welche die vierte Dimension bildet [1]. Die zeitliche Veränderung hat einen grossen Einfluss auf die Beschaffenheit eines Bodens und dem entsprechend auf dessen Aufbau.

3.1.2 Die fünf Sphären

Der Boden ist nur ein kleiner Teil der Erde. Er ist umgeben von verschiedenen Sphären, welche diesen beeinflussen. Böden ändern sich stark durch Sonneneinstrahlung, Wind und Regen, was durch die Atmosphäre beeinflusst wird. Der Atmosphäre gegenüber steht die Lithosphäre, welche den Boden von der anderen Seite her begrenzt, und die Erdkruste bildet. Der Boden wird auch als Durchdringungsraum von Atmosphäre und Lithosphäre innerhalb der oberen Erdkruste bezeichnet [1]. Doch allein diese beiden Einflüsse reichen nicht aus, dass sich Leben bilden kann. Lebewesen benötigen Wasser, welches der Boden bis zu enormen Mengen speichern und aufbewahren kann. Dieser Anteil an Wasser im Boden wird als Hydrosphäre bezeichnet [1].

Der letzte Faktor, welcher den Boden täglich beeinflusst und ihn verändert, sind Lebewesen, die den Boden als Nahrungsquelle und Lebensraum brauchen. Dieser ökologische Einfluss auf die Bodenbeschaffenheit wird Biosphäre genannt [1]. Wie in der Grafik zu sehen ist, überschneiden sich die einzelnen Sphären und Einflussfaktoren. Der Überschneidungsbereich wird als Pedosphäre oder auch Bodendecke definiert, welche eine

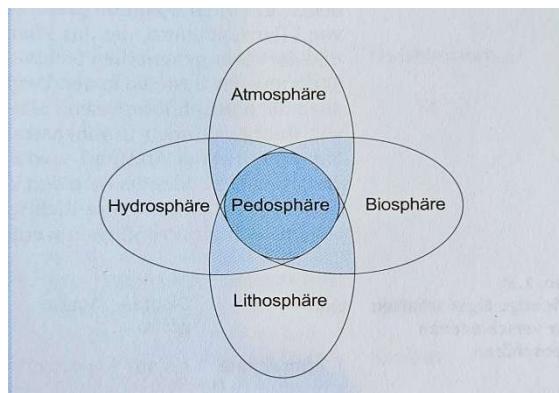


Abbildung 1: Darstellung der Pedosphäre als Überschneidungsbereich der vier Sphären [1]

Mächtigkeit von nur wenigen Millimeter auf Felsen bis zu 50 Meter in tropischen Gebieten erreichen kann [1].

3.1.3 Bodenbildende Faktoren

Wie in der Abbildung 2 zu erkennen, wird der Boden nicht nur von den vier Sphären beeinflusst. Für die Entstehung eines Bodens sind noch andere Faktoren notwendig. Daher wird der Boden auch als Produkt der abiotischen bodenbildender Faktoren Gestein, Klima und Relief, wie auch der biotischen bodenbildenden Faktoren Flora, Fauna und Mensch bezeichnet [1].

$$\text{Boden} = f(t) \{ \text{Gestein} \times \text{Klima} \times \text{Relief} \times \text{Flora} \times \text{Fauna} \times \text{Mensch} \} \quad (1)$$

Der Mensch kann mit seinen technischen Mitteln auch zu einem abiotischen Faktor werden. Durch verschiedene Prozesse wird das anorganische Ausgangsmaterial verwittert und umgebaut, woraus der Mineralkörper und der Humuskörper eines Bodens entstehen. Viele Organismen müssen sich der neuen Umgebung im Boden anpassen, da es beim Übergang in den Boden einen Wechsel von starken Temperaturschwankungen zu einer gleichbleibenden Temperatur gibt, von niedriger Luftfeuchtigkeit zu einer hohen relativen Luftfeuchtigkeit und das Licht nicht durchdringen kann [1]. Durch das fehlende Licht wechseln die photoautotrophen Organismen wie Pflanzen zu chemoheterotrophen Organismen, zu welchen unter anderem auch Bakterien, Pilze, Pflanzenwurzeln und Tiere gehören [2].

Die Bodenoberfläche ist in den meisten Fällen negativ geladen, da anorganische Partikel wie Tonplättchen eine negative Ladung aufweisen. Mit dieser Eigenschaft können positiv geladene Teilchen durch einen Komplex mit den negativ geladenen Teilchen festgehalten werden [3]. Diese Komplexe verlangsamen den mikrobiellen Abbau der organischen Substanzen und stabilisieren den Boden. Tonplättchen sind auch für den Kationenaustausch verantwortlich. Durch die negativ geladene Oberfläche, umhüllt diese ein Belag aus Kationen, welche bei zunehmendem Abstand an Konzentration verliert. Durch Kationenbrücken zwischen den zwei Tonplättchen entstehen Hohlräume, welche mit Wasser gefüllt werden können [2].

3.2 Bodenaufbau

3.2.1 Horizonte

Der Boden wird nach charakteristischen Eigenschaften in verschiedene Horizonte aufgeteilt. Die untere Begrenzung der Horizonte bildet das unveränderte Muttergestein,

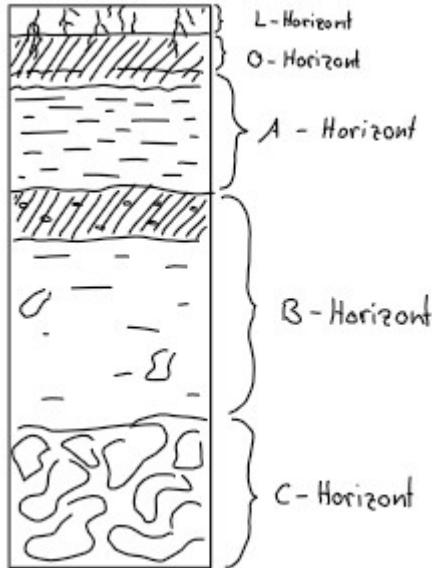


Abbildung 2: Skizze eines standardisierten Bodenprofil [2]

welches, je nach Entstehung des Bodens, nach wenigen Zentimetern, bis mehreren Metern zum Vorschein kommen kann. Der unterschiedliche Aufbau der Horizonte wird zur Unterscheidung verschiedener Bodentypen genutzt. Ein Übergang von einem Horizont zum nächsten kann mehrere Millimeter bis vollkommen fliessend sein [2]. Die Darstellungsmethode wird Bodenprofil genannt. Grob kann das Bodenprofil in die Horizonte L, O, A, B und C unterteilt werden, welche verschiedene Charaktereigenschaften aufweisen. Der L-Horizont bezeichnet die Streuauflage, welche aus nicht oder

wenig zersetzer Pflanzensubstanz besteht. Direkt darunter liegend befindet sich der O-Horizont, welcher auch als organischer Horizont bezeichnet wird und sich über dem oberen Mineralboden befindet. Der A- und B-Horizont bilden den mineralischen Ober- und Unterbodenhorizont, wobei der Humus ein Teil des A-Horizonts bildet und als Akkumulation zersetzer organischer Substanzen bezeichnet wird. Je tiefer man in die Erde vordringt, desto kleiner wird der Anteil der organischen Substanz, bis der B-Horizont erreicht wird, der als Verwitterungshorizont bezeichnet wird. Der B-Horizont ist aus einer Mischung von Nährstoffen aus dem Oberboden, wie auch den Mineralien aus dem Ausgangsgestein, weswegen er in den meisten Fällen farbliche Unterschiede zum A-Horizont zeigt. Der C-Horizont schliesst das Bodenprofil als Untergrundhorizont ab, welches bei ungeschichteten Böden dem Ausgangsgestein entspricht [2].

3.3 Chemische Bodenbestände

Böden haben viele verschiedene Eigenschaften, in die auch zu ihrer Unterscheidung beigezogen werden können. Eine wichtige Eigenschaft des Bodens ist dessen Gesundheit. Dazu gehört die Konzentration verschiedener Ionen, welche für den Boden wichtig sind, wie zum Beispiel wichtige Nährstoffe für Pflanzen und Lebewesen wie Phosphor und Stickstoff. Mittlerweile sind 118 Elemente auf der Erde bekannt, von denen viele auch in Böden zu finden sind. So sind Calcium und Magnesium wichtige

Bestandteile und Nährstoffe von Pflanzen, Menschen und Tieren, während Kupfer und Zink ungern in hohen Konzentrationen im Boden detektiert werden [4]. Wieder andere Elemente wie Arsen, Cadmium und Quecksilber schaden bereits bei minimalen Konzentrationen. Die Konzentration der einzelnen Ionen kann je nach Standort stark variieren und sind stark von den biologischen Einflüssen, sowie auch der Geologie, anthropogenen Einflüssen und der Nutzung abhängig [4].

3.4 Definition des UNESCO Biosphärenreservat Engiadina Val Müstair

Das Biosphärenreservat bezeichnet ein Gebiet, welches die Natur und den Menschen gleichermaßen berücksichtigt. Laut Schweizer Nationalpark gilt für das Biosphärenreservat Val Müstair folgender Wunsch: «Wir geben Natur und Kultur der nächsten Generation als Kapital und attraktiven Lebensraum weiter» [5]. Der Schweizer Nationalpark wurde 1979 zum ersten Schweizer Biosphärenreservat ernannt. 2001 hat dessen Verwaltung die Zusammenarbeit mit dem Val Müstair eingeleitet, um eine Pflege- und Entwicklungszone einzurichten und schliesslich wurde der Biosphera Val Müstair den Status eines regionalen Naturparks verliehen [5]. Für die Bauern, welche in der Biosphera einen Hof betreiben gelten strenge Regelungen. 80% aller Bauernhöfe sind rein biologisch betrieben [6]. Diese Betriebe besitzen eine Zertifizierung und werden mindestens einmal im Jahr kontrolliert. Dafür müssen sie der Schweizer Bio-Verordnung (SR 910.18), der WBF-Bio-Verordnung (SR 910.181) und der BLW-Bio-Verordnung (SR 910.184) entsprechen [7]. Unter anderem heisst es darin, dass natürliche Kreisläufe und Prozesse berücksichtigt werden, der Einsatz von chemisch-synthetischer Hilfsstoffe vermieden wird, die Zahl der Nutztiere und der Hofdünger der geeigneten Nutzfläche angepasst werden sollten und dass auf zusätzlichen Dünger verzichtet werden sollte [8].

4 Material & Methodik

4.1 Ionenchromatographie - Messung

4.1.1 Probenaufbereitung

Der Ionenchromatograph (IC) wird für die Konzentrationsbestimmung von Anionen und Kationen in Wasserproben genutzt. Da Bodenproben aus Feststoffen bestehen, welche vom IC nicht direkt untersucht werden können, sind vor der Messung mehrere Zwischenschritte nötig. Die Proben sind anfänglich noch sehr feucht, weswegen sie im Trocknungsofen für mehrere Stunden getrocknet werden müssen, bis alles Wasser entfernt ist. Anschliessend kann durch Abwägen des Gewichts und durch die Differenz zum Anfangsgewicht der Feuchtigkeitsgehalt des Bodens bestimmt werden. Die getrocknete Probe wird anschliessend mit einem Sieb mit der Maschengrösse 2mm in Grob- und Feinmaterial aufgetrennt, welches über längere Zeit gelagert werden kann [9].

4.1.2 Herstellung der Bodenlösung

Der zweite Teil besteht aus der Herstellung der Bodenlösung, welche schliesslich für die Messung des pH, der elektrischen Leitfähigkeit, sowie die des IC genutzt werden kann. Dafür wird das Feinmaterial der Bodenprobe aus der Aufbereitung im Massenverhältnis von 1:5 (ein Teil Boden und fünf Teile Wasser) mit destilliertem Wasser in einem sauberen Marmeladenglas vermischt. Mit dem Schüttelapparat werden die Proben nun für 5 Minuten geschüttelt, für 25 Minuten stehen gelassen und danach wird dieser Prozess nochmals wiederholt, bis alle Proben zweimal für 5 Minuten im Schüttelapparat waren. Von der entstandenen Lösung, werden 20 ml in eine Spritze aufgesogen und anschliessend durch den Spritzenvorsatzfilter mit einer Maschengrösse von 0.45 µm gefiltert. Dadurch wird die Kontamination des Wassers minimiert, um diese für die IC-Messungen zu verwenden. Die restliche Lösung wird für die pH- und elektrische Leitfähigkeitsmessung verwendet [10].

4.1.3 Ablauf der Analyse

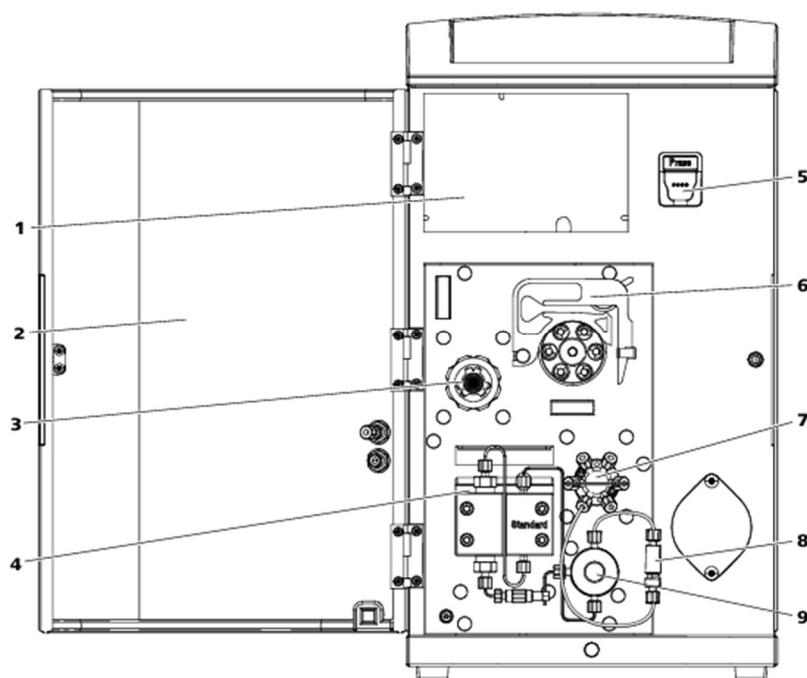
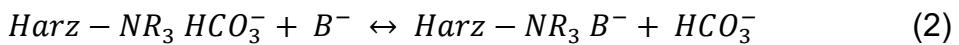
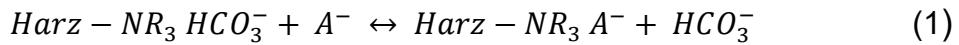


Abbildung 3: Darstellung eines Eco IC-Geräts von der Vorderseite [11]

- | | |
|---|--------------------|
| 1 | : Detektorraum |
| 2 | : Tür |
| 3 | : Suppressor |
| 4 | : Hochdruckpumpe |
| 5 | : Säulenhalter |
| 6 | : Peristaltikpumpe |
| 7 | : Injektionsventil |
| 8 | : Inline-Filter |
| 9 | : Ventil |

Das Analyseverfahren geschieht mit dem Metrohm Eco IC Kationen [12] für die Kationenmessung und dem Metrohm Eco IC Anionen [12] für die Anionenmessung. Aufgebaut sind diese Geräte, wie in Abbildung 4 zu sehen ist, aus einem Eluent, dem Injektionsprofil und einer Pumpe für die Aufnahme der Probe, einer Trennsäule, auf der die Austauschreaktion stattfindet und die am Säulenhalter befestigt ist, einem Detektor und der Suppressorreaktion, welche nur für die Anionenmessung gebraucht wird, der Leitfähigkeitsmesszelle und dem Ausgang mit dem Schreiber und Integrator (Laptop) [9]. Die Geräte der Kantonsschule Wattwil arbeiten mit dem Prinzip der Ionenaustausch-Chromatographie. Das verwendete Harz, welches für den Prozess notwendig ist, trägt eine funktionelle Gruppe mit einer fixen Ladung auf sich. Der Eco IC (Anionen) arbeitet momentan mit der Anionen-Trennsäule Metrosep A Supp 5 – 150/4.0 und der Eco IC (Kationen) mit der Kationen-Trennsäule Metrosep C 4 – 250/4.0. Das Gegenion der Ladung befindet sich in der Nähe der funktionellen Gruppe, damit die Gruppe nach

aussen elektrisch neutral ist. Gelangt nun die Probe in die Trennsäule, wird das Gegenion durch das Probeion ausgetauscht und so kurzzeitig an der stationären Ladung zurückgehalten. Aufgrund unterschiedlicher Anziehung zur stationären Phase, werden die verschiedene Komponenten der Probe getrennt. Anschliessend werden die Ionen von der mobilen Phase (dem Eluent) mitgerissen, damit sie vom Detektor erfasst werden können. Enthält eine Probe verschiedene Anionen, so werden diese im Gleichgewichtsprozess nach Gleichung 1 und 2 gegen das Gegenion ausgetauscht [13].



Die Trennung wird durch die Anziehung zur stationären Phase bestimmt, welche durch den Gleichgewichtsprozess charakterisierenden Selektivitätskoeffizient K folgendermassen definiert ist [13].

$$K = \frac{[X^-]_s [\text{HCO}_3^-]_m}{[\text{HCO}_3^-]_s [X^-]_m} \quad (3)$$

$[X^-]_{s,m}$: Konzentration des Probeions in den beiden Phasen

$[\text{HCO}_3^-]_{s,m}$: Konzentration des Gegenions in den beiden Phasen

Der Selektivitätskoeffizient kann anhand einer Lösung mit bekannter Konzentration des Probeions, sowie einer bekannten Konzentration des Gegenions und einer definierten Menge des Harzmaterials, berechnet werden. Die drei hergestellten Standards, bei welchen die Ionenkonzentration bekannt ist, werden als Kalibration verwendet und mit ihrer Hilfe wird der Selektivitätskoeffizient ausgerechnet. Dadurch lässt sich der Gleichgewichtsverteilungskoeffizient D definieren [13]:

$$D = \frac{[X^-]_s}{[X^-]_m} \quad (4)$$

Der Gleichgewichtsverteilungskoeffizient D kann auf alle Probelösungen angewendet werden, um die jeweiligen Konzentrationen der Ionen ausrechnen zu können. Zusätzlich wird meist der Kapazitätsfaktor k' verwendet, der in Gleichung 5 definiert ist [13].

$$k' = D \frac{g \text{ Harz}}{cm^3 \text{ Lösung}} \quad (5)$$

4.1.4 Auswertung

Die Darstellung der ausgewerteten Daten folgt anschliessend in einem Diagramm, welches von der Zeit abhängig ist. Wie in Abbildung 48 im Anhang zu sehen ist, sind verschiedene Peaks dargestellt. Durch die bekannte Retentionszeit, welche die Ionen

brauchen, um durch die Trennsäule zu gelangen, da sie je nach Affinität in der statio-nären Phase länger Zeit benötigen, können diese Peaks verschiedenen Ionen zuge-ordnet werden. Die Konzentration des jeweiligen Ions entspricht dem Flächeninhalt des Peaks. In den meisten Fällen ist noch eine manuelle Bearbeitung nötig, da die Geräte bereits älter sind und die Rezessionszeiten nicht übereinstimmen. Anschlies-send können die Daten als Excel-Datei exportiert werden [14]. Die Konzentrationen müssen in diesem Fall mit dem Faktor fünf multipliziert werden, da die Analyse mit einer Bodenlösung durchgeführt wurde, welche in einem Verhältnis von 1:5 hergestellt wurde.

4.2 Röntgenfluoreszenz - Messung

4.2.1 Probenaufbereitung

Die Röntgenfluoreszenz-Messung (XRF-Analyse) ist eine weitere Methode, Elemente in einer Trockenprobe zu analysieren. Im ersten Schritt müssen die Bodenproben, wie bei der Aufbereitung für die IC-Messung im Trocknungsofen getrocknet werden. An-schliessend werden die Proben mit einem 2mm Sieb in Grob- und Feinmaterial ge-trennt. Im Gegensatz zur IC-Probenvorbereitung werden die Proben jedoch nicht in destilliertem Wasser gelöst, sondern es werden Presstabletten hergestellt [9].

Presstabletten können aus trockenen Substanzen mit einer Korngrösse von weniger als 5mm hergestellt werden. Geeignet dafür sind organische Materialien, Bodenpro-ben und Gesteinsproben. Von der jeweiligen Probe wird ca. 2ml Probenmaterial in ei-nem Messzylinder abgemessen und zusammen mit einer 10nn-Mahlkugel in einen Mahlbecher abgefüllt. Das wird jeweils pro Durchgang für zwei Mahlbecher durchge-führt. Anschliessend wird die Probe mit der Mühle Retsch MM200, welche in Abbildung 5 zu sehen ist, für 8min mit einer Geschwindigkeit von 25Hz gemahlen. Dabei ist da-rauf zu achten, dass die Becher immer symmetrisch beladen sind und die Fixier- und Kontermutter gut angezogen sind. Nach dem Mahlvorgang wird die Probe auf ein Pa-pier ausgeklopft und die Mahlbecher werden mitsamt den Mahlkugeln gründlich mit Ethanol gereinigt. Liegt die Gesamtmasse der Probe noch nicht bei 4.00g, wird der Mahlbecher erneut mit Probenmaterial gefüllt und der Waschprozess kann übersprun-gen werden. Sobald genügend Probenmaterial vorhanden ist (4.00g), wird dieses mit 0.90g Licowax in einem Filmdöschen kräftig geschüttelt und vermischt. Das Gemisch von Wachs und Probenmaterial, welches nun ein Gewicht von 4.90g haben sollte, wird

mit der Pillenpressform, welche in Abbildung 6 zu erkennen ist, und 25 Tonnen Druck zu einer Pille gepresst, welche vorsichtig eingepackt wird [15].



Abbildung 4: Mühle Retsch MM200 der Kantonsschule Wattwil



Abbildung 5: Pressform aus Edelstahl für das Herstellen der Pillen für die XRF-Messung

4.2.2 Ablauf der Analyse

Für die Analysen wurden die vorbereiteten Pillen in das Wasserforschungsinstitut des ETH-Bereichs (EAWAG) zu Herrn Numa Pfenninger gebracht. Herr Pfenninger hat uns die Erlaubnis gegeben, das XRF-Gerät der EAWAG für die Analyse zu nutzen und hat für uns die Daten ausgewertet. Die EAWAG arbeitet mit dem Gerät SPECTRO XEPOS [16]. Die hergestellten Pillen wurden anschliessend, wie in Abbildung 7 zu erkennen, in das Messgerät gelegt. Für die Analyse der Ionen in der Pille werden Röntgenstrahlen auf die Ionen geschossen, um diese zu charakteristischen Fluoreszenzstrahlen anzuregen, welche von einem Detektorsystem auf die Intensität und spektrale Verteilung analysiert werden. Aufgebaut ist die Gerätschaft aus einer Röntgenröhre, welche die Röntgenstrahlen in Richtung der Pille sendet. Durch einen Kollimator wird die Energie der Röntgenstrahlung gebündelt, bevor diese auf die zu messende Pille trifft. Dabei verursacht diese Strahlung ein Herausspringen eines Elektrons auf der innersten Schale des Ions, was zu einem angeregten Zustand des Ions führt [17]. Durch einen

Elektronenübergang von der zweiten in die erste Schale, um wieder in die energetisch stabilere Konfiguration zu gelangen, wird Energie in Form von Fluoreszenzstrahlung frei, welche vom Detektor gemessen werden kann und sich bei jedem Ion unterscheidet. Ausgeschlossen werden können auch Interaktionen verschiedener Ionen, da es sich um die erste Schale des Ions handelt und somit auch um die Struktur der je eigenen Elektronenhülle. Dadurch können die Ionen anhand von theoretischen Werten charakterisiert und zugeordnet werden. Die Schwierigkeit liegt dabei darin, dass nun ein Elektron der zweiten Schale fehlt, welches durch ein Ion auf der dritten Schale ersetzt wird und erneut Energie in Form von Fluoreszenzstrahlung abgibt. Diese Energie ist in der Analytik nicht von Nöten, muss jedoch in der Auswertung berücksichtigt werden, da es sonst Ergebnisse anderer Ionen verfälschen kann [17].



Abbildung 6: Kalibration-Pillen von Herrn Heeb im XRF-Gerät der EAWAG

4.2.3 Auswertung

Die Ergebnisse der XRF-Analyse wurden von Herrn Numa Pfenninger in Form einer Excel-Tabelle zugestellt, in welcher alle Anteile von Elementen in Milligramm pro Kilogramm Bodenprobengewicht dargestellt sind und im Anhang zu erkennen ist. Dabei muss stets darauf geachtet werden, dass diese Werte keine Auskunft darüber geben, in welcher Form das Element vorhanden ist.

4.3 pH - Messung

Mit dem pH kann der saure oder basische Charakter einer wässrigen Lösung bestimmt werden [18]. Saure Lösungen besitzen einen hohen Anteil an H_3O^+ - Molekülen, während basische Lösungen einen erhöhten Anteil an OH^- besitzen. Der pH ist eine wichtige Messgröße in vielen Themengebieten. Einerseits in der Kosmetik- und der

Nahrungsmittelbranche, um die Gesundheitsgefährdung für den Mensch zu minimieren, andererseits in der Landwirtschaft, da verschiedene Pflanzen nur bei bestimmten pH-Werten wachsen [18].

Für die Messung gibt es verschiedene Möglichkeiten. Es gibt quantitative Methoden wie pH-Indikatoren, die visuell gemessen werden und einen hohen Fehlerkoeffizient haben, und es gibt qualitative Methoden, wie der pH-Meter, welcher mit einer Messsonde den genauen Wert berechnet. Dabei handelt es sich um ein Potentiometer, welches die Spannungsunterschiede zwischen Glaselektrode und Referenzelektrode misst und ihn anschliessend berechnet [18]. Damit das Messgerät auf die Probelösungen angewendet werden kann, muss es kalibriert werden. Dafür werden drei vorgefertigte Referenzlösungen gemessen, welche einen bereits vorbestimmten pH-Wert besitzen. Das pH-Messgerät von Mettler Toledo der Kantonsschule Wattwil, der SevenGo Duo pH/Ion/Cond meter [19] kann das Ergebnis direkt auf dem dazugehörigen Messgerät darstellen und es muss nichts Weiteres berechnet werden. Da der pH nur in wässrigen Lösungen gemessen werden kann, müssen Bodenproben, wie bei der Vorbereitung für das IC-Messgerät, getrocknet, gesiebt und in destilliertem Wasser gelöst werden [9; 10].

4.4 Elektrische Leitfähigkeit - Messung

Die elektrische Leitfähigkeit ist eine wichtige Charaktereigenschaft einer wässrigen Lösung. Sie eignet sich als schnelle Methode, um die Konzentration gelöster ionischer Stoffe zu bestimmen. Dabei handelt es sich um eine quantitative und keine qualitative Analyse, weshalb es nicht möglich ist, die einzelnen Ionen zu differenzieren. Die elektrische Leitfähigkeit ist die Fähigkeit eines Materials, elektrischen Strom zu leiten. Dafür werden geladene Teilchen benötigt, welche als Elektronenleiter fungieren. Für die Berechnung wird das Ohm'sche Gesetz verwendet [20]:

$$V = R \times I \quad (6)$$

- R : Widerstand in Ohm
- V : Spannung in Volt
- I : Stromstärke in Ampère

Der Widerstand kann durch die Division von Spannung durch Stromstärke ausgerechnet werden. Der Leitwert G hingegen, wird durch den Kehrwert des Widerstands ausgedrückt. Dieser erhält die Masseinheit Siemen (S) [20].

Für die Messung der elektrischen Leitfähigkeit wird eine Messzelle verwendet. Diese besteht aus mindestens zwei elektrisch leitfähigen Elektroden mit unterschiedlichen Ladungen, welche zusammen ein Messfeld einschliessen. Die Zellkonstante K beschreibt dabei das Verhältnis des Abstands und der Fläche der Elektroden. Die Zellkonstante wird anschliessend mit dem Leitwert multipliziert, um die elektrische Leitfähigkeit (S/cm) zu definieren [20].

$$k = G \times \frac{l}{A} = G \times K \quad (7)$$

k : elektrische Leitfähigkeit in S/cm

Die Messgeräte der Kantonsschule Wattwil arbeiten mit der Masseinheit $\mu\text{S}/\text{cm}$. Dabei rechnet das Gerät mit der gleichen Formel, das Ergebnis wird jedoch durch den Faktor 1'000'000 dividiert. Für die Analyse der Bodenprobe wurde die hergestellte Bodenlösung von der IC-Analyse verwendet, welche anschliessend mit dem Messgerät der Schule, dem SevenGo Duo pH/Ion/Cond meter von Mettler Toledo [19], welches auch für die Messung der pH-Werte verwendet wurde, gemessen wurde.

4.5 Phosphatmessmethode

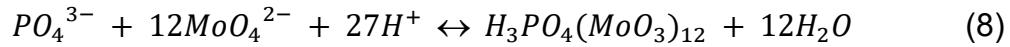
4.5.1 Probenaufbereitung

Bei der Phosphatmessmethode handelt es sich um eine International Organization for Standardization (ISO-Norm), bei welcher der Phosphatgehalt in einer wässrigen Lösung mittels Photometrie bestimmt werden kann. Dafür muss aus den Bodenproben eine Bodenlösung hergestellt werden. In einem ausgewaschenem Konfitüren Glas werden 20g getrocknete Bodenprobe mit 100g destilliertem Wasser vermischt. Danach wird das Gemisch 5min mit dem Schüttelapparat geschüttelt, 25min stehen gelassen und erneut 5min geschüttelt und 25min stehen gelassen [10]. Anschliessend werden 40ml der entstandenen Lösung mit einem Filterpapier der Sorte 602h abfiltriert. Um eine Verunreinigung möglichst ausschliessen zu können, wird das Filtrat mit einer Nutsche und erneut mit einem Filter der Sorte 602h abgenutscht und schliesslich mit einem Spritzenvorsatzfilter mit der Maschengrösse von $0.45\mu\text{m}$ in ein kleines Glasbehaltnis abfiltriert. Die Bodenlösungen können in diesem Zustand im Kühlschrank über mehrere Tage gelagert werden.

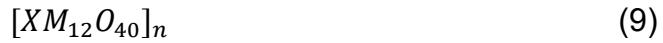
4.5.2 Ablauf der Analyse

Für die Analyse werden jeweils 5ml jeder Probe verwendet, die mit 0.5ml Schwefelsäure 4.5 Molar und ca. 35ml destilliertem Wasser für 30 min aufgekocht werden [21]. Die zugegebene Schwefelsäure wird für den Aufschluss von säurelabilem Phosphor zu Orthophosphat verwendet, welcher in thermisch warmen Gebieten die maximale Ausbeutung schneller erzielt [22]. Anschliessend wird die Lösung abgekühlt und erneut mit einer basischen Lösung, in diesem Fall 2.25ml Natronlauge 2 Molar, neutralisiert. Für die Detektion der nun gelösten Phosphate werden 1ml Ascorbinsäure und gleich darauffolgend 2ml saures Molybdat dazu gemischt, was zu einer Farbänderung der Lösung führt [21]. Bei der Zugabe von saurem Molybdat entsteht eine Polyoxometallat-Spezies, welche zu einer Phosphormolybdänblau-Spezies reduziert wird [23]. Die Reaktion der Probe mit den Molybdaten kann in zwei Stadien aufgeteilt werden:

Im ersten Stadium bildet das Molybdat als Addendumatom ein Keggin-Ion um das Orthophosphat, welches in dieser Verbindung einem Heteroatom entspricht [23].



Die Keggin-Struktur gehört zu den Polyoxymethylen und hat die allgemeine Summenformel [23]:



- X : Heteroatom
- M : Addendumatom
- n : Anzahl an Heteroatomen

Bei der Struktur handelt es sich um Oktaeder, welche aus den Addendaatomen und Sauerstoffatomen gebildet sind, die sich in angesäuerten wässrigen Lösungen bilden und miteinander verbunden sind. Wie in Abbildung 8 zu sehen, befindet sich dabei das Heteroatom in der Mitte der gebildeten Struktur [18].

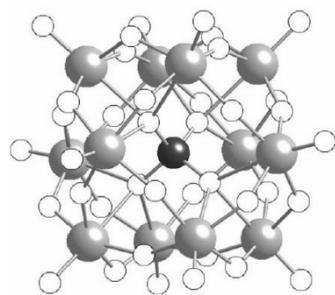
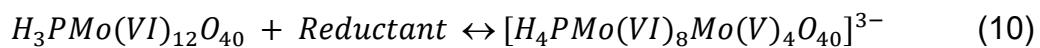


Abbildung 7: Darstellung einer Keggin-Struktur [22]

Im zweiten Stadium erfolgt die Reduktion der Heteropolysäure, weshalb eine blaugefärbte Lösung entsteht [23].



Die Reaktion soll in einem Milieu mit 0 – 1 pH stattfinden, damit eine geeignete Menge des reduzierten Molybdats entsteht, ohne eine übermässige direkte Reduktion [23].

Mit Hilfe des Photometrie-Gerät (UV/VIS FA590 Spectrophotometer) der Schule, wird die Absorption der jeweiligen Proben gemessen. Dabei wird die Absorptionseigenschaft von der Heteropolysäure in der Lösung bei konstanter Wellenlänge bestimmt. Bei dieser Bestimmungsmethode handelt es sich um ein organisches Reduktionsmittel (Ascorbinsäure), daher befindet sich das Absorptionsmaximum bei 820 nm. Durch die niedrige Säuren Konzentration ist jedoch die $\beta - [H_3PMo_{12}O_{40}]^{4-}$ dominant, was zu einem Absorptionsmaximum bei 880 nm führt, was auch in den Abbildungen 9 und 10 zu erkennen ist, in denen das ganze Massenspektrum der Absorption der Proben Zeznina 1 und Zeznina 6 dargestellt ist. Diese weisen vergleichsweise hohe und tiefe Phosphatwerte auf [23]. Wie in Abbildung 11 zu sehen, befindet sich das Absorptionsmaximum ausserhalb des für den Menschen sichtbaren Lichts, im Infrarotbereich. Nebst den Absorptionsmaximen bei 880 nm weisen die Proben ein grosses Absorptionsvolumen im Bereich der UV-Strahlen auf, welche für das Menschliche Auge nicht zu erkennen sind. Diese Strahlen sind für diesen Versuch nicht weiter von Bedeutung.

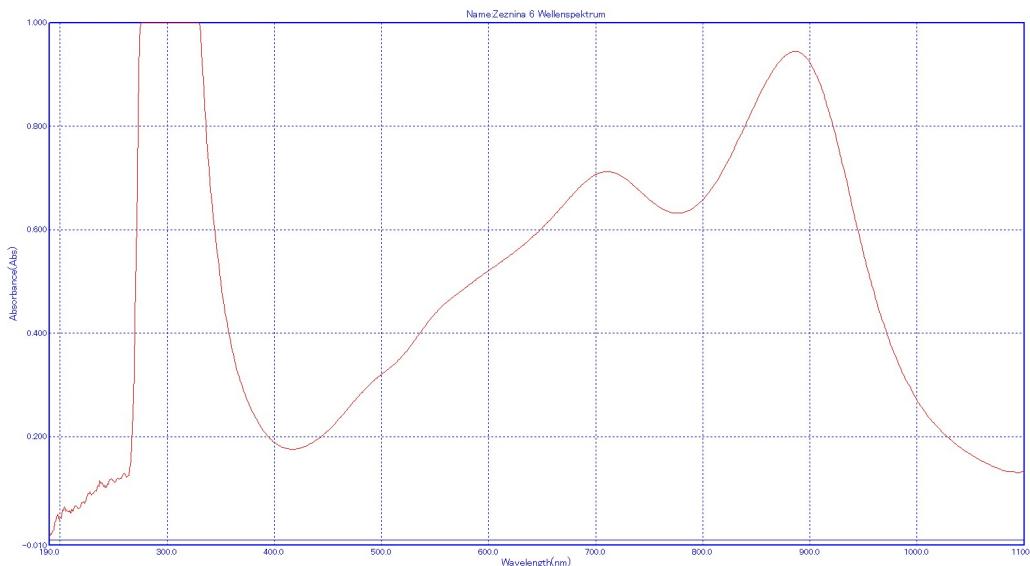


Abbildung 8: Wellen Spektrometrie der Probe Zeznina 6 mit einer Phosphatkonzentration von 214.2 mg/kg Probenengewicht

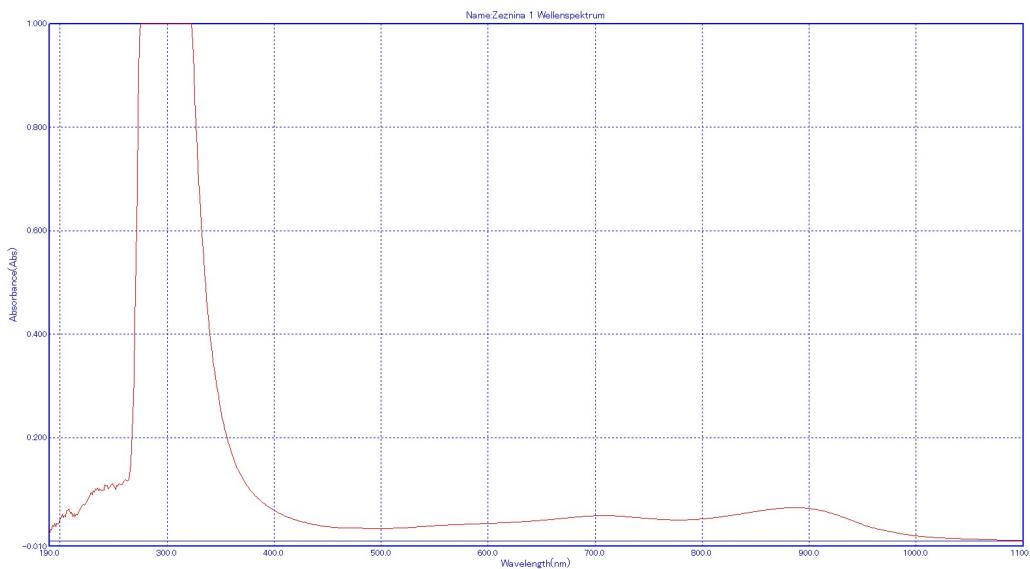


Abbildung 9: Wellen Spektrometrie der Probe Zeznina 1 mit einer Phosphatkonzentration von 14.4 mg/kg Proben-gewicht

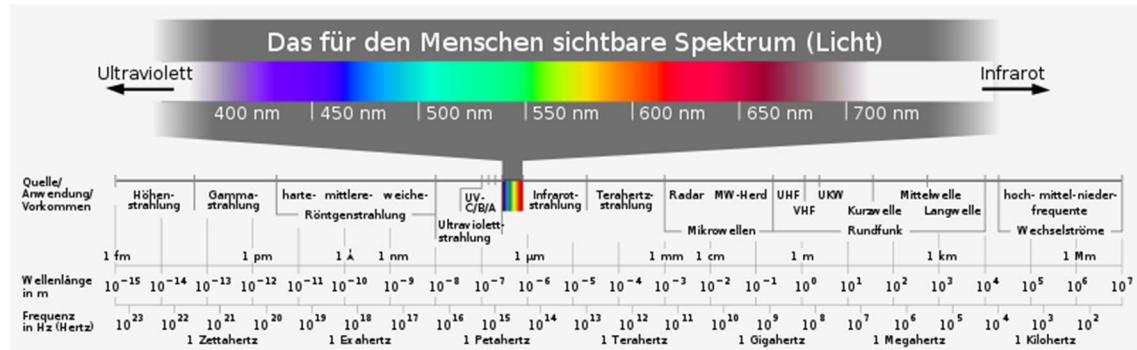


Abbildung 10: Darstellung des Lichtspektrums

Das Photometrie Gerät ist aus einer Lichtquelle, einem Filter, um den zu messende Wellenlängenbereich zu bestimmen, den Kristallglas Küvetten, in denen sich die zu untersuchende Lösung befindet und einem Detektor, der als Empfänger des transmittierten Lichts dient, aufgebaut [25]. Mit der Gleichung

$$E = \log \frac{I_0}{I} = \varepsilon * c * d \quad (11)$$

- E : Extinktion
- I_0 : Gesamtintensität des einfallenden Lichts
- I : Lichtintensität nach Durchlaufen eines homogenen Körpers
- ε : Extinktionskoeffizient (abhängig von der Wellenlänge) [$\text{L}/\text{mol} \cdot \text{cm}$]
- c : Konzentration des Farbstoffs im Lösungsmittel [mol/L]
- d : Dicke der Kristallglas Küvette [cm]

rechnet das Photometrie-Gerät die Extinktion aus, was ein Mass für die Abschwächung von Licht ist, welches durch die Kristallglas Küvetten gelangt [25]. Dieser Zahlenwert wird anschliessend auf dem dazugehörigen Laptop dargestellt.

4.5.3 Auswertung

Für die Auswertung der Daten wird folgende Gleichung verwendet [21].

$$\rho p = \frac{(A - A_0) V_{max}}{f \times V_s} \quad (12)$$

ρp	: Konzentration an Phosphor [mg/l]
A	: Extinktion der Probe
A_0	: Extinktion des Blanks
V_{max}	: Gesamtvolumen der Lösung [ml]
V_s	: Probevolumen in der Lösung [ml]
f	: Steigung der Kalibrierungsgerade [l/mg]

Bevor das Ergebnis ausgerechnet werden kann, muss eine Kalibrierungsgerade hergestellt werden, welche in Abbildung 50 im Anhang zu finden ist. Es werden jeweils zehn Lösungen erstellt, bei welchen die Konzentration linear ansteigt, was in der Abbildung 49 im Anhang schön zu erkennen ist [21]. Dabei steigt die Intensität der Farbe im gleichen Abstand, was anschliessend in einem Diagramm, abhängig von der Konzentration des Phosphats und der Extinktion, dargestellt werden kann. Durch das Erstellen einer Trendlinie, wird die Steigung ausgerechnet, welche für die Ausrechnung der Konzentration von Phosphor verwendet wird [21].

Da der ausgerechnete Wert der Variabel ρp der Konzentration von Phosphor in der Bodenlösung entspricht und nicht der Konzentration des Phosphats, muss dieser Wert noch umgerechnet werden. Der Umrechnungsfaktor wird dabei folgendermassen definiert [26]:

$$m(PO_4^{3-}) = \frac{m(P)}{M(P)} * M(PO_4^{3-}) = \rho p * 3.066 \quad (13)$$

$m(PO_4^{3-})$: Masse [g] von Phosphat in einem Liter Lösung
$m(P)$: Masse [g] von Phosphor in einem Liter Lösung
$M(P)$: Molmasse [mol] von Phosphor
$M(PO_4^{3-})$: Molmasse [mol] von Phosphat
ρp	: Masse [g/l] von Phosphor

Als letzter Schritt wird der Wert in g/kg umgerechnet, da es sich um eine Bodenlösung handelt. Diese wurde in einem Verhältnis von 1:5 gelöst, weswegen der Wert erneut mit einem Faktor von fünf multipliziert werden muss.

4.6 Probenahme

Die Feldarbeit wurde auf zwei aufeinanderfolgende Tage, den 7. und 8. Juni 2025 aufgeteilt. Mithilfe einer metallischen Drehschraube, wie in Abbildung 12 zu sehen, wurden die obersten 10 Zentimeter der Humusschicht entnommen. Dabei wurde der O-Horizont mit den Händen entfernt und anschliessend in den A-Horizont gegraben. Jeder gemessene Standort besteht aus drei Probenahmen im jeweiligen Abstand von einem Meter, um mögliche Kontaminationen durch Ausscheidungen oder andere lokale Einflüsse zu verhindern. Um die Distanz von einem Meter einzuhalten, wurden drei Holzstöcke mit einer Länge von je einem Meter als gleichseitiges Dreieck auf dem Messstandort platziert. Transportiert wurden die Proben in luftdicht verschlossenen Plastikboxen. Zusätzlich wurde bei jeder Alp mit der Drehschraube ein Bodenprofil von etwa 40 Zentimeter Tiefe erstellt.



Abbildung 11: Werkzeug zur Entnahme der Bodenprobe

4.7 Messpunkte

Insgesamt wurden 60 Proben entnommen, welche jeweils zu dritt einen Messstandort ergeben. Zehn Messpunkte befinden sich auf dem Ofenpass bei der Alp Buffalora (B1 – B10) und weitere zehn Messpunkte im Zeznina Tal bei der Alp Zeznina Dadaint (Z1 – Z10). Die Verteilung der Messpunkte hat kein mathematisches Schema. Es wurde jedoch darauf geachtet, dass die Standorte gleichmässig auf dem Feld verteilt liegen. Durch die grosse Distanz der beiden Standorte, wurde die Probenahme auf zwei Tage aufgeteilt, an welchen die Wetterverhältnisse in etwa übereinstimmten.

Tabelle 1: Darstellung aller Messstandorte

	Datum	CH-Koordinaten	Wetterlage	Bewirt-schaftung	Erde
B1	07.06.2025	2'816'229, 1'169'534	Bewölkt	Weide	feucht, braun
B2	07.06.2025	2'816'227, 1'169'551	Bewölkt	Weide	feucht, braun
B3	07.06.2025	2'816'246, 1'169'556	Bewölkt	Weide	feucht, braun
B4	07.06.2025	2'816'244, 1'169'574	Bewölkt	Weide	feucht, braun
B5	07.06.2025	2'816'266, 1'169'580	Bewölkt	Weide	feucht, braun
B6	07.06.2025	2'816'260, 1'169'609	Bewölkt	Weide	feucht, braun
B7	07.06.2025	2'816'285, 1'169'601	Bewölkt	Weide	feucht, braun
B8	07.06.2025	2'816'287, 1'169'626	Bewölkt	Weide	feucht, braun
B9	07.06.2025	2'816'300, 1'169'655	Bewölkt	Weide	feucht, braun
B10	07.06.2025	2'816'325, 1'169'655	Bewölkt	Weide	feucht, braun
Z1	08.06.2025	2'805'802, 1'181'027	Wolkenlos	Weide	sehr feucht, gesättigtes Braun
Z2	08.06.2025	2'805'781, 1'181'025	Wolkenlos	Weide	sehr feucht, gesättigtes Braun
Z3	08.06.2025	2'805'762, 1'181'021	Wolkenlos	Weide	sehr feucht, gesättigtes Braun
Z4	08.06.2025	2'805'757, 1'180'988	Wolkenlos	Weide	sehr feucht, gesättigtes Braun
Z5	08.06.2025	2'805'798, 1'180'960	Wolkenlos	Weide	sehr feucht, gesättigtes Braun
Z6	08.06.2025	2'805'797, 1'180'933	Wolkenlos	Weide	sehr feucht, gesättigtes Braun
Z7	08.06.2025	2'805'797, 1'180'927	Wolkenlos	Weide	sehr feucht, gesättigtes Braun
Z8	08.06.2025	2'805'775, 1'180'899	Wolkenlos	Weide	sehr feucht, gesättigtes Braun
Z9	08.06.2025	2'805'781, 1'180'857	Wolkenlos	Weide	sehr feucht, gesättigtes Braun
Z10	08.06.2025	2'805'794, 1'180'830	Wolkenlos	Weide	sehr feucht, gesättigtes Braun

**Abbildung 12:** Nordhang-Weide auf der Alp Buffalora mit Blickrichtung Norden; 100 Meter Abstand zur südlich liegenden Alp



Abbildung 13: Nordhang-Weide auf der Alp Zeznina mit Blickrichtung Süden; 100 Meter Abstand zur nördlich liegenden Alp

5 Ergebnisse

5.1 Bodenprofil

Für die Bodenbestimmung wurde an beiden Standorten ein Bodenprofil gefertigt. Diese sind in Abbildung 16 und 17 zu erkennen. Dabei fällt auf, dass die Mächtigkeit



Abbildung 15: Bodenprofil der Alp Buffalora in der Biosphera

des Bodens auf der Alp Buffalora deutlich grösser ist. Allgemein nimmt die Mächtigkeit des Bodens bei steigender Höhe in alpinen Gebieten immer weiter ab [27]. Das Bodenprofil der Alp Buffalora hat

deutlich schärfere Übergänge der einzelnen Horizonte. Nach sieben Zentimeter ist ein Übergang vom O-Horizont in den A-Horizont zu erkennen und nach weiteren zehn Zentimetern ein Übergang in den B-Horizont, welcher einen höheren Anteil der Grundgesteine beinhaltet. Der C-Horizont wurde dabei nie erreicht, da schon früher mit dem Graben aufgehört wurde. Bei der Alp Zeznina ist hingegen kaum eine Grenze zwischen dem A- und dem B-Horizont zu erkennen. Bereits nach 30 Zentimeter wurde der C-Horizont erreicht, was die Probenahme im Allgemeinen er-



Abbildung 14: Bodenprofil der Alp Zeznina

schwerte. In beiden Fällen handelt es sich mit grösster Wahrscheinlichkeit um Braunerde als Bodentyp. Der A-Horizont ist dunkel gefärbt und die Grenze ist vor allem bei der Alp Zeznina nicht scharf zu erkennen. Die Verwitterung der eisenhaltigen Silikate verfärbt den B-Horizont dunkelbraun, was von der Oxidation des Eisens herstammt. Ist das Ausgangsgestein nicht sehr eisenhaltig, ist die Verfärbung dementsprechend nicht sehr stark. Für die Braunerde ist die Verlehmung typisch, welche bei beiden Standorten festgestellt werden konnte [28].

5.2 Analyse des Grundgesteins

Einen grossen Einfluss auf die Beschaffenheit des Bodens hat das alpine Grundgestein, auch bekannt als C-Horizont. In Zusammenarbeit mit Herrn Adrian Blatter wurden Bruchstücke des Grundgesteins untersucht und den verschiedenen Gesteinsarten, zugeordnet wie in Abbildung 17 und 18 zu erkennen ist. Das Grundgestein beider Standorte ist ähnlich aufgebaut. Es setzt sich hauptsächlich aus Feldspat, Quarz und Glimmer zusammen. Feldspat ist ein Silikat-Mineral, welches die allgemeine Formel $(Ba, Ca, Na, K, NH_4)_4(Al, B, Si)_4O_8$ besitzt. Die Elemente in den Klammern können frei ausgetauscht werden [29]. Quarz setzt sich auch aus Siliciumdioxid zusammen, welches andere Elemente wie Aluminium, Natrium, Kalium, Eisen und Phosphat in die reine Verbindung aufbaut [30]. Der letzte Bestandteil Glimmer ist aus Silikat aufgebaut, welches eine Verbindung mit verschiedensten Kationen und Anionen eingeht [31]. Zusätzlich zum Silikat haltigen Gestein befinden sich noch Bruchstücke des Dolomits bei der Alp Buffalora, welche einen kleinen Anteil an Calcium besitzen, da dieser mit HCl eine Reaktion eingeht.

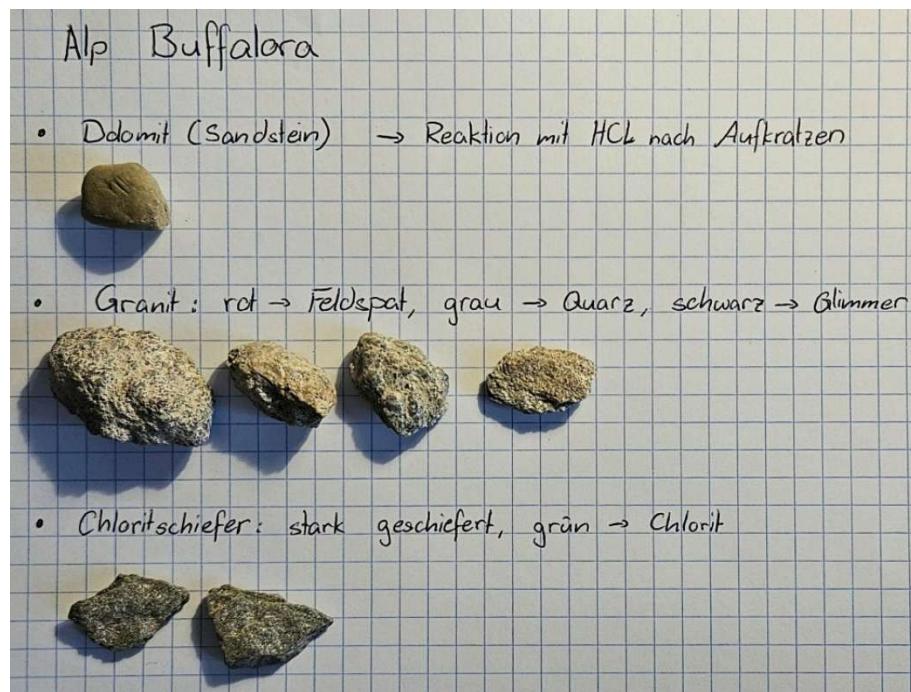


Abbildung 16: Gesteinsarten der Alp Buffalora



Abbildung 17: Gesteinsarten der Alp Zeznina

5.3 pH – Messungen

In Abbildung 19 und 20 sind die gemessenen pH-Werte der beiden Standorte zu sehen. Wie zu erkennen ist, liegt der pH-Wert bei beiden Standorten in einem sauren Bereich. Dabei fällt auf, dass die Humusschicht bei der Alp Zeznina durchschnittlich ein weniger saurer ist als die bei der Alp Buffalora. An beiden Standorten wurden Blumen gefunden, welche einen sauren Standort bevorzugen. Darunter fallen Blumenarten, wie der Pyramiden Günsel und der Mehlprimel, welche bei der Alp Buffalora in grösseren Mengen zu finden waren, jedoch auch die Trollblume, das Gold-Fingerkraut, der Berg-Hahnenfuss und das Langsporn Veilchen, welch bei der Alp Zeznina gefunden wurden. Die Blumen wurden mit der App «Picture This» bestimmt, welche zusätzliche Informationen über den bevorzugten Standort der Blumen preisgibt [32]. Die Bodenbeschaffenheit wird bei allen Blumen als vorzugsweise lehmig bezeichnet, was zur Braunerde passen würde.

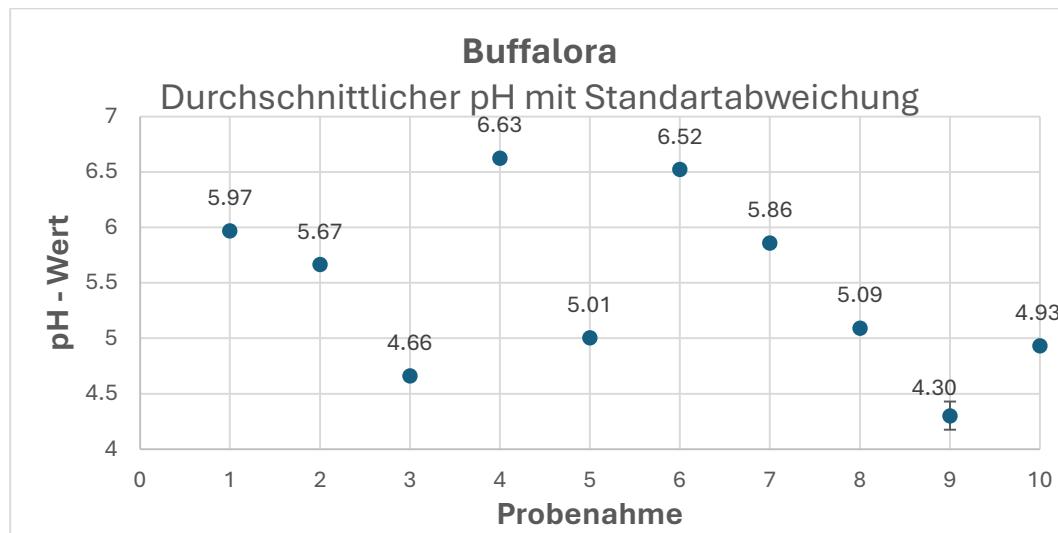


Abbildung 18: Darstellung der pH-Werte bei der Alp Buffalora

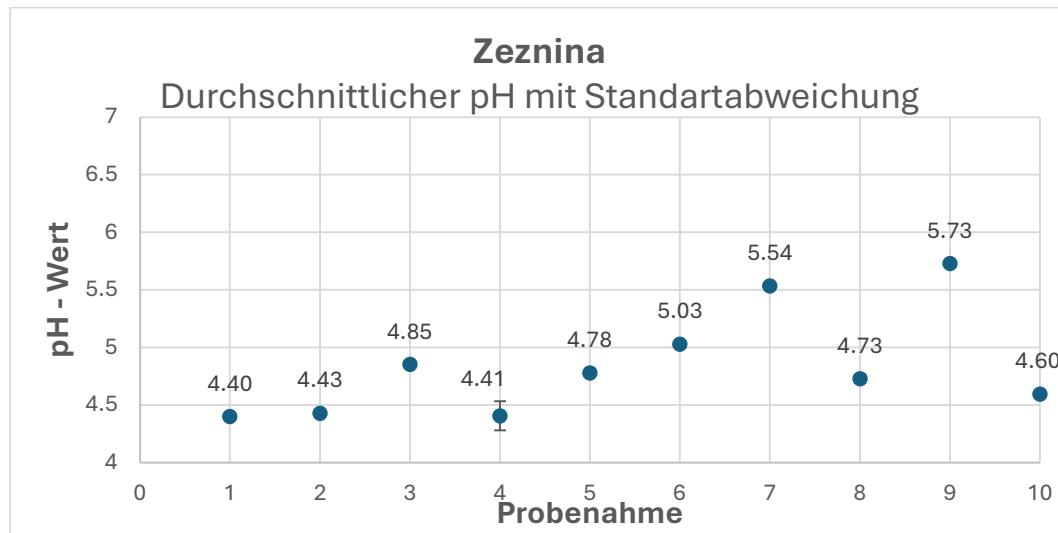


Abbildung 19: Darstellung der pH-Werte der Alp Zeznina

Alpine Böden sind meistens saure Böden, was jedoch dazu führen kann, dass die Löslichkeit der Nährstoffe eher zu gross ist. Es besteht die Gefahr der Auswaschung von wichtigen Nährstoffen wie Kalzium und Magnesium [33]. In der Grafik 21 ist die Konzentration an wichtigen Nährstoffen in einer Gesamtmenge von einem Kilogramm trockener Bodenmasse zu erkennen. Dabei stammen die ersten zehn Proben von der Alp Buffalora und die weiteren zehn Proben von der Alp Zeznina. Die Alp Zeznina mit einem durchschnittlich tieferem pH hat eine tiefere Konzentration der wichtigen Nährstoffe, was das Auswaschen der Nährstoffe durch ein saures Milieu bestätigt. Tiefe pH-Werte können zusätzlich zur Freisetzung von Eisen und Aluminium führen, wobei Aluminium für Pflanzen in bereits kleinen Konzentrationen schädlich ist und das Versauen des Bodens verschnellert [33].

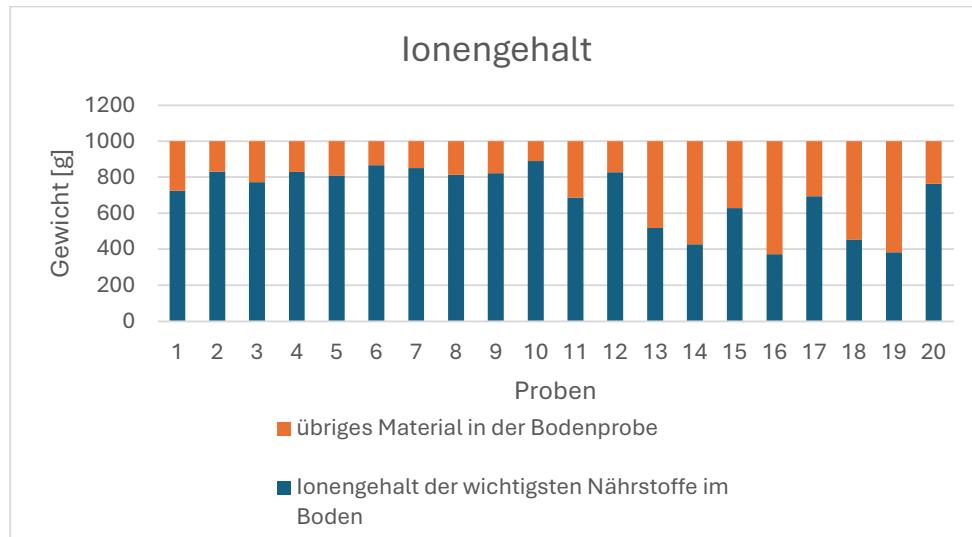


Abbildung 20: Darstellung der Ionengehalte der einzelnen Standorte in Abhängigkeit eines Kilogramms Gesamtgewicht

5.4 Elektrische Leitfähigkeitsmessungen

Wie bereits erwähnt sind alpine Böden für eine hohe Ionenkonzentration bekannt. Wie in Abbildungen 21 zu sehen ist, hat sich dies bestätigt. Die hohe Konzentration der Ionen hat einen positiven Einfluss auf die elektrische Leitfähigkeit, da Ionen im Allgemeinen gute Ladungsträger sind. Die elektrische Leitfähigkeit wird für die Bestimmung der Salzlöslichkeit des Bodens gebraucht [34]. Zusätzlich wird die elektrische Leitfähigkeit von der Porosität des Bodens, der Bodentextur, Bodenfeuchtigkeit und der Bodentemperatur beeinflusst. Böden, welche mit organischen Stoffen angereichert sind, oder chemische Düngemittel enthalten erhöhen die elektrische Leitfähigkeit, da sie den Salzgehalt erhöhen [31]. In Grafik 22 und 23 sind die elektrischen Leitfähigkeiten der Alp Buffalora und der Alp Zeznina dargestellt. Der Durchschnittswert der Alp Zeznina mit 315.37 Mikrosiemens pro Zentimeter ist dabei deutlich höher als der Durchschnittswert der Alp Buffalora mit 254.09 Mikrosiemens pro Zentimeter.

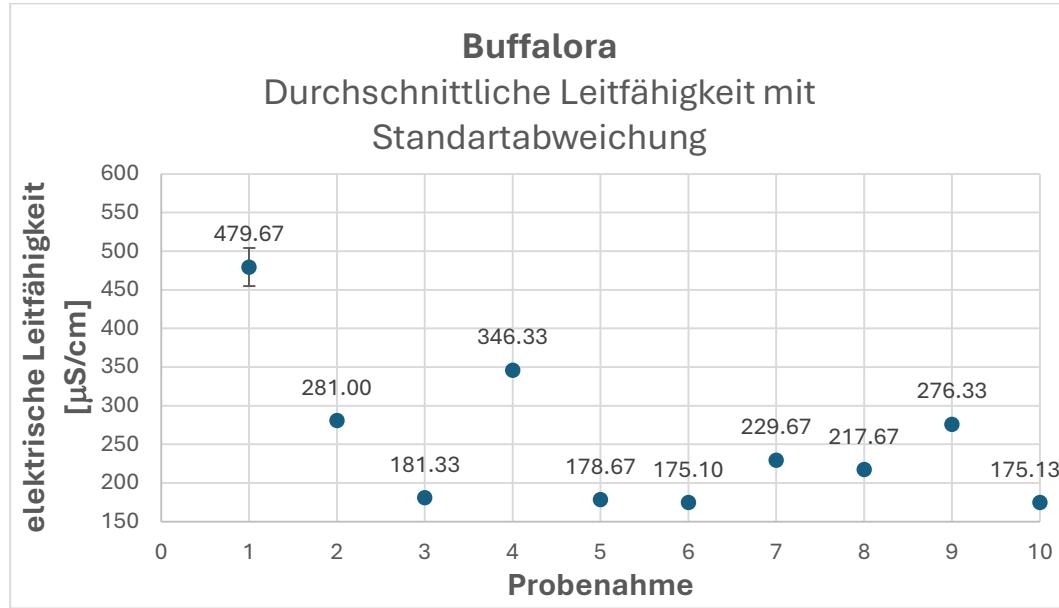


Abbildung 21: Darstellung der elektrischen Leitfähigkeitswerte der Alp Buffalora

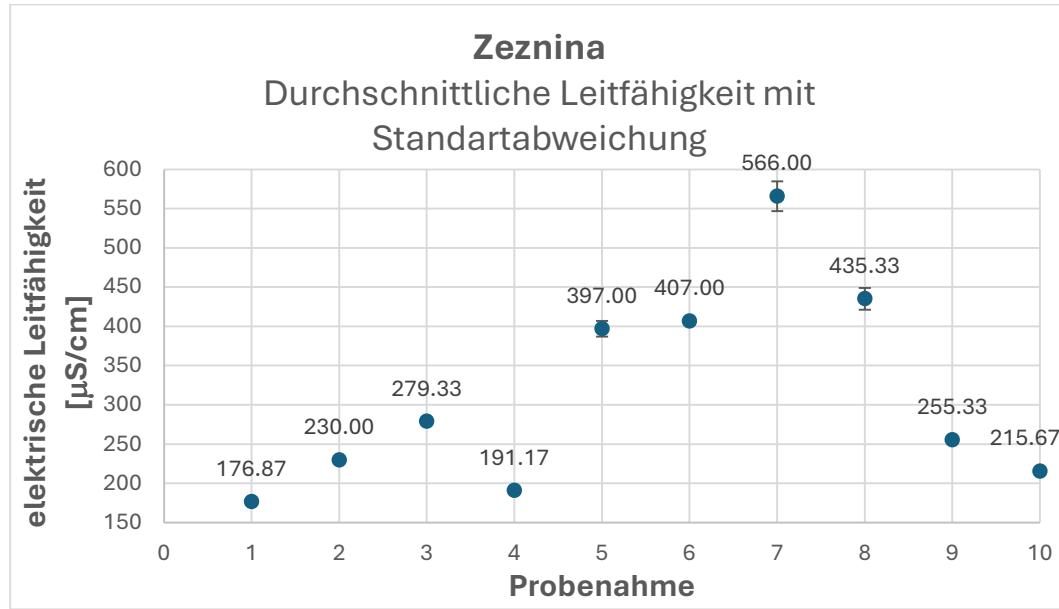


Abbildung 22: Darstellung der elektrischen Leitfähigkeitswerte der Alp Zeznina

5.5 Massenverteilung der Proben

Zusätzlich zur Probenvorbereitung für die XRF- und IC-Messungen wurde der entstandene Massenverlust im Trocknungsofen notiert. Die Proben wurden in Grob- und Feinmaterial aufgeteilt, wobei alle Körner und Steine, welche ein grösseres Volumen als 2mm Durchmesser besitzen, dem Grobmaterial zugeordnet werden. Vereinzelte Proben der Alp Zeznina mussten nach dem Siebvgang erneut getrocknet werden, da die Feuchtigkeit zu gross war. Durch den noch hohen Wasseranteil ist eine Art Pilz gewachsen, welcher in der Abbildung 24 schön zu sehen ist, der unter trockenen

Umständen nicht mehr wachsen würde. Zusätzlich hat die Feuchtigkeit das Sieben erschwert, weswegen das Feinmaterial nicht erneut getrocknet wurde. Das Massengewicht des erneuten Massenverlust wurde nicht auf die Gesamtmenge hochgerechnet. Grund dafür ist die ungenaue Massenverteilung der Feuchtigkeit. Feuchte Erde konnte nicht gesiebt werden und musste erneut getrocknet werden, weswegen davon ausgegangen wurde, dass die Verfälschung zu hoch sei, da das bereits Gesiebte weniger Feuchtigkeit besass. In der Grafik 25 sind die Massenverhältnisse der einzelnen Standorte dargestellt. Dabei sind Standorte 1 bis 10, die der Alp Buffalora und die anderen zehn von der Alp Zeznina. An allen Standorten geht man von 200g Grundgewicht aus. Der hellblaue Anteil der Säule entspricht dem Wasser, der hellbraune Anteil dem Feinkorn und der dunkelbraune Anteil dem Grobkorn. Die Massenverteilung der einzelnen Anteile variiert sehr stark und entspricht nicht wirklich einem Schema. Was jedoch auffällt ist, dass Säulen mit weniger Wasseranteil in den meisten Fällen zu einem erhöhten Grobkornanteil führt. Durchschnittlich ist der Grobkörnige Anteil jedoch an beiden Standorten gleichgross. Dadurch, dass der Durchschnittswert der Alp Buffalora mit 68.97g Wasserverlust ein wenig kleiner ist als der, der Alp Zeznina, welcher bei 81.71g liegt, ist auch ein Unterschied der Feinkornanteile zu erkennen. Die Differenz der beiden Durchschnitte liegt bei 12g, was einen Prozentanteil von 6% Differenz ausmacht.



Abbildung 23: Bild der gebildeten Mykorrhiza auf den feuchten Proben der Alp Zeznina

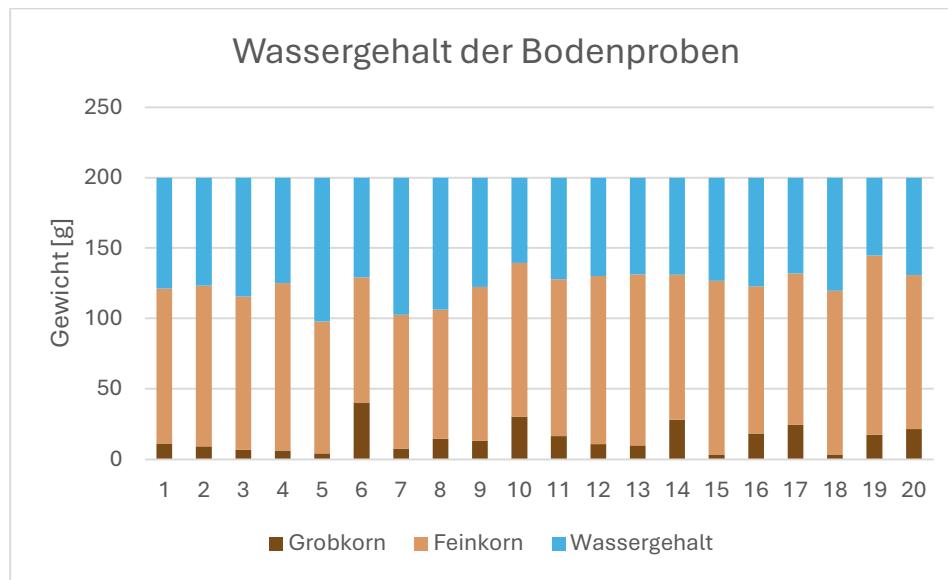


Abbildung 24: Massenverteilung der einzelnen Proben in Wasser, Fein- und Grobkorn

5.6 Phosphat-Anteil

Phosphor ist ein Bestandteil der Pflanzen und wichtig für deren Wachstum. Der Bodenphosphor kommt in den Formen organisch und anorganisch vor, welche in der Summe den Gesamtgehalt des Phosphors in der Erde ausmacht. Der anorganische Phosphor wird in drei weitere Gruppen aufgeteilt. Die erste Gruppe besteht aus dem mineralischen Phosphor, welcher aus Phosphatmineralien wie Calciumphosphat, Eisenphosphat und Aluminiumphosphat besteht. Die Lösung des Phosphors aus diesen Verbindungen geschieht nur sehr langsam [35]. Zusammen mit der zweiten Gruppe, welche den sorbierten Phosphor beinhaltet, welcher sich an Tonoberflächen haftet und nur langsam freigesetzt wird und dem organisch gebundenen Phosphor, sind diese Phosphorformen in den Grafiken 26 und 27 in oranger Farbe dargestellt. Diese Säule beinhaltet alle Phosphate, welche durch Wasser nicht gelöst werden können. Die dritte Gruppe entspricht dem wasserlöslichen Phosphor, welcher direkt für die Pflanzen verfügbar ist [35]. In den Grafiken 26 und 27 ist dieser Teil in der blauen Säule dargestellt. Der gesamte Phosphatgehalt der Alp Zeznina ist deutlich höher als der der Alp Buffalora. Hingegen ist der Anteil des löslichen Phosphats bei der Alp Buffalora mit einem Durchschnittswert von 9% durchschnittlich dreimal so hoch wie bei der Alp Zeznina, bei der gerade Mal 3% des Gesamtphosphats wasserlöslich ist.

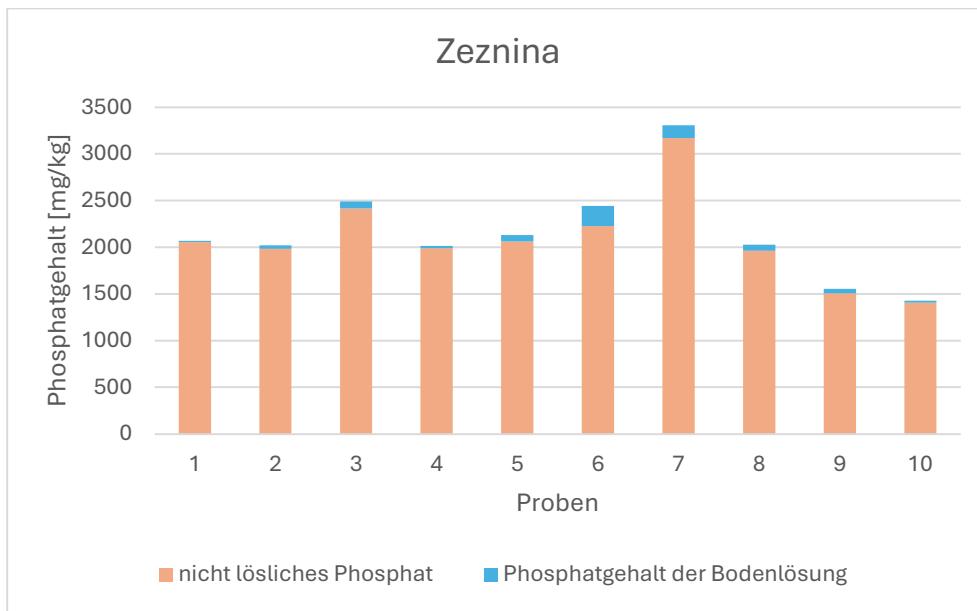


Abbildung 25: Phosphatgehalt der Alp Zeznina mit einem Durchschnittswert des Gesamtphosphats von 2147.9 mg/kg und einem Anteil von durchschnittlich 70.84 mg/kg wasserlösliches Phosphat

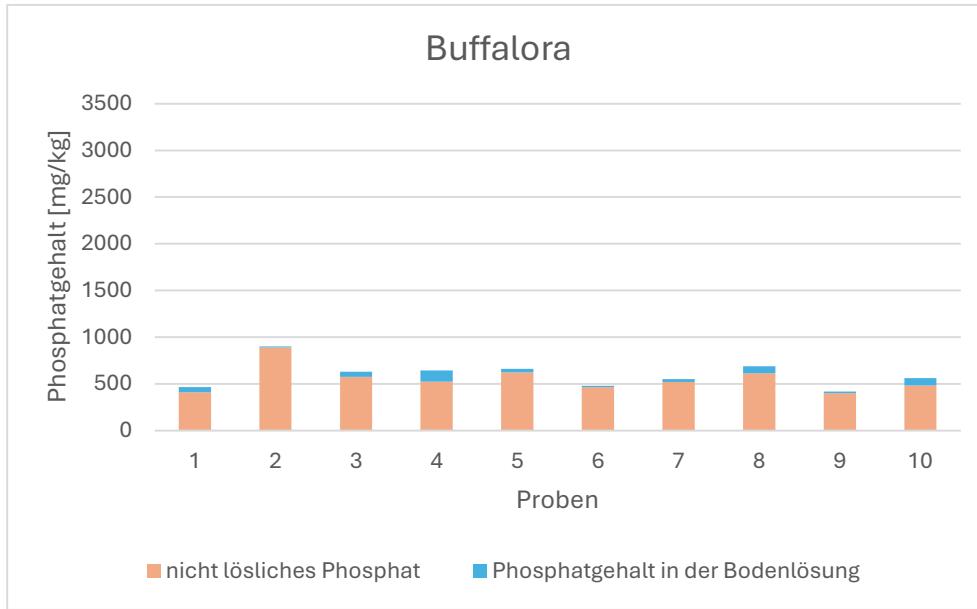
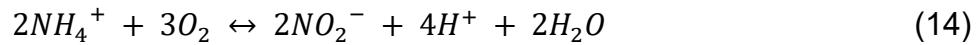


Abbildung 26: Phosphatgehalt der Alp Zeznina mit einem Durchschnittswert des Gesamtphosphats von 598.53 mg/kg und einem Anteil von durchschnittlich 40.09 mg/kg wasserlösliches Phosphat

5.7 Stickstoffverbindungen

Die Stickstoffverbindungen Ammonium, Nitrit und Nitrat sind eng miteinander verbunden. Dabei läuft ein ständiges Gleichgewicht innerhalb der drei Verbindungen ab. Zum einen gibt es die Ammoniumoxidation,



bei der Ammonium mit Sauerstoff zu Nitrit oxidiert wird, was Wasserstoffionen freigibt und den pH senkt [36]. Die andere Reaktion ist die Nitrit Oxidation,



bei der das Nitrit weiter zu Nitrat oxidiert wird [36]. Beide Prozesse sind biologische Prozesse, welcher von Bakterien durchgeführt werden und essenziell für den Stickstoffkreislauf sind [36]. Die für die Pflanzen verfügbare Form ist das Ammonium, welches nicht wasserlöslich ist und positiv geladen und das Nitrat, welches in löslicher Form im Boden vorkommt und negativ geladen ist. Bei etwa 80% aller aufgenommenen Ionen, welche eine Pflanze für ihr Wachstum und für ihre Entwicklung benötigt, handelt es sich um die Stickstoffverbindungen Ammonium und Nitrate. Nitrite hingegen sind für Pflanzen bereits in niedrigen Konzentrationen toxisch [37].

In den Grafiken 28 bis 30 ist die durchschnittliche Konzentration der drei verschiedenen Verbindungen Ammonium, Nitrit und Nitrat von jeder Alp zu erkennen. Die Konzentrationen der Alp Zeznina sind deutlich höher, als die der Alp Buffalora und weisen eine deutlich grössere Spannweite zwischen dem niedrigsten und höchsten gemessenen Wert auf. Auffallend ist, dass Nitrat die höchste Konzentration aufweist, direkt gefolgt von den Ammoniumwerten. Die Nitritwerte sind hingegen deutlich kleiner und weisen nur einen 100stel der Konzentration auf.

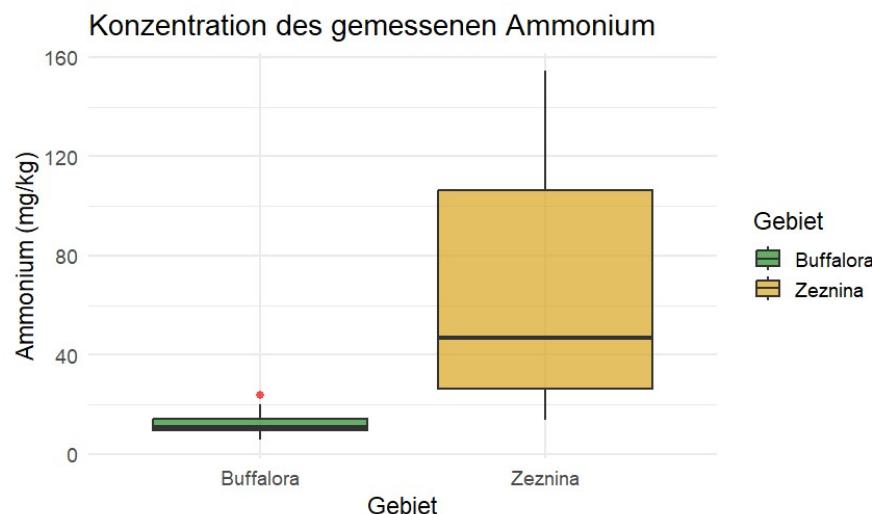


Abbildung 27: Konzentration von Ammonium im Boden der beiden Standorte verglichen durch die Darstellung eines Boxplots

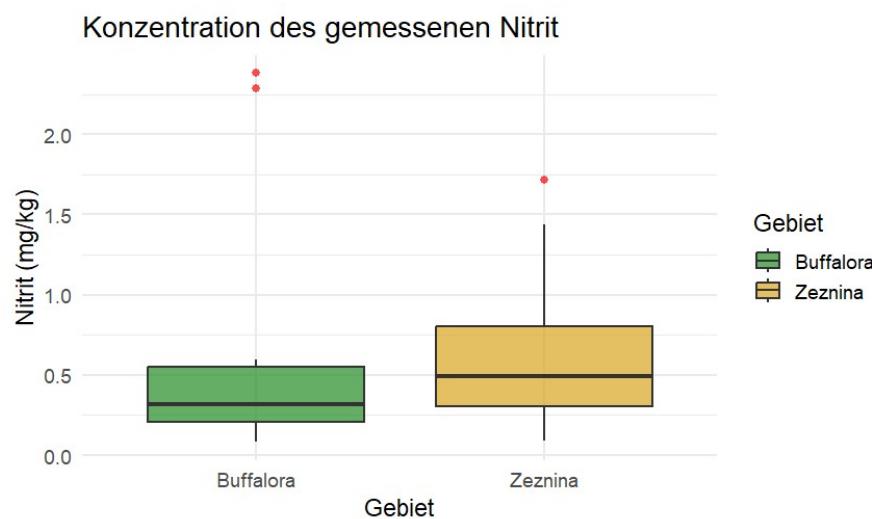


Abbildung 28: Konzentration von Nitrit im Boden der beiden Standorte verglichen durch die Darstellung eines Boxplots

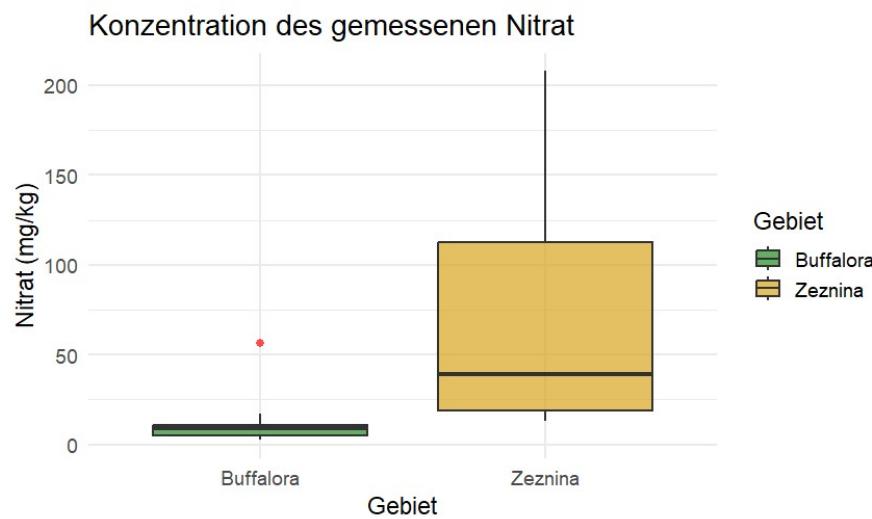


Abbildung 29: Konzentration von Nitrat im Boden der beiden Standorte verglichen durch die Darstellung eines Boxplots

6 Diskussion

6.1 Einfluss des Grundgesteins auf die Bodenzusammensetzung

In den folgenden Grafiken 31 bis 35 sind die Korrelationen der einzelnen wichtigen Elemente, welche oft in Verbindung mit Silikaten im Gestein vorkommen in Korrelation mit dem Siliciumdioxid dargestellt. Der Korrelationskoeffizient misst die Abhängigkeit zweier Zufallsgrößen X und Y, wobei die Zahl 1 einer 100% positiven Abhängigkeit und die Zahl -1 einer 100% negativen Abhängigkeit entspricht [38]. Die Darstellungen zeigen klar, dass bei der Alp Buffalora keine Korrelation der einzelnen Ionen nachweisbar ist, da alle Korrelationskoeffizienten tiefer als der Wert 0.3 sind. Bei der Alp Zeznina hingegen ist eine starke Korrelation von Aluminiumoxid und Siliciumdioxid zu erkennen, welche bei fast 90% liegt, was darauf hindeutet, dass beide aus derselben Quelle stammen. Auch beim Eisenoxid und dem Magnesiumoxid ist eine Korrelation mit dem Siliciumdioxid zu erkennen. Kaliumoxid und Calciumoxid weisen keine grosse Korrelation mit dem Siliciumdioxid auf, was überraschend gewesen wäre, da das Grundgestein der Alp Zeznina keine Reaktion mit dem HCl eingegangen ist und somit kein Calcium enthält. Auch Kalium wird dementsprechend kaum im Silikat-haltigen Grundgestein der Alp Zeznina vorkommen. Die leicht negative Korrelation vom Siliciumdioxid, dem Kaliumoxid und dem Calciumoxid bei der Alp Buffalora, könnte vom Grundgestein stammen, welches unter anderem auch aus dem Dolomit besteht, welcher bei der Alp Buffalora in Konkurrenz mit dem Silikat-haltigen Gestein steht. Die Korrelation ist sehr klein, weswegen es sich nur um Vermutungen handelt. Insgesamt macht es den Anschein, dass die Humusschicht der Alp Zeznina stärker vom C-Horizont beeinflusst wird, was daran liegen kann, dass die Akkumulation deutlich kleiner ist und bereits nach 30cm der C-Horizont erreicht wurde, wie in den Resultaten des Bodenprofils (Kapitel 5.1) bereits aufgezeigt wurde.

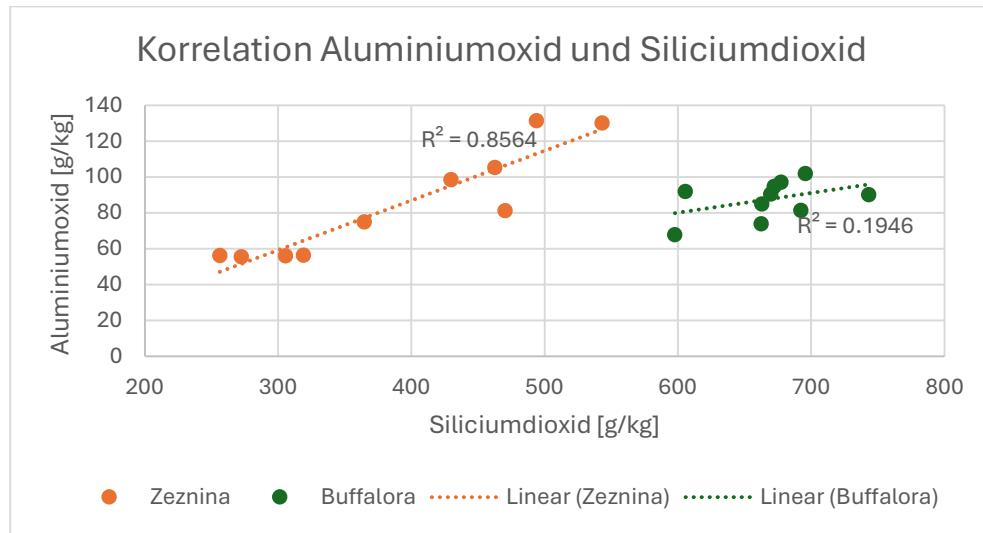


Abbildung 30: Korrelation von Aluminiumoxid und Siliciumdioxid

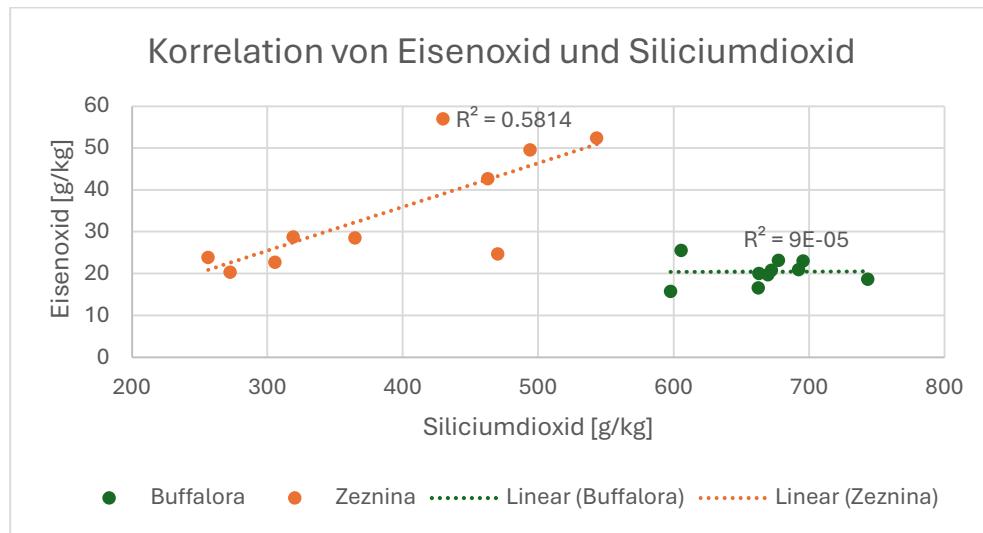


Abbildung 31: Korrelation von Eisenoxid und Siliciumdioxid

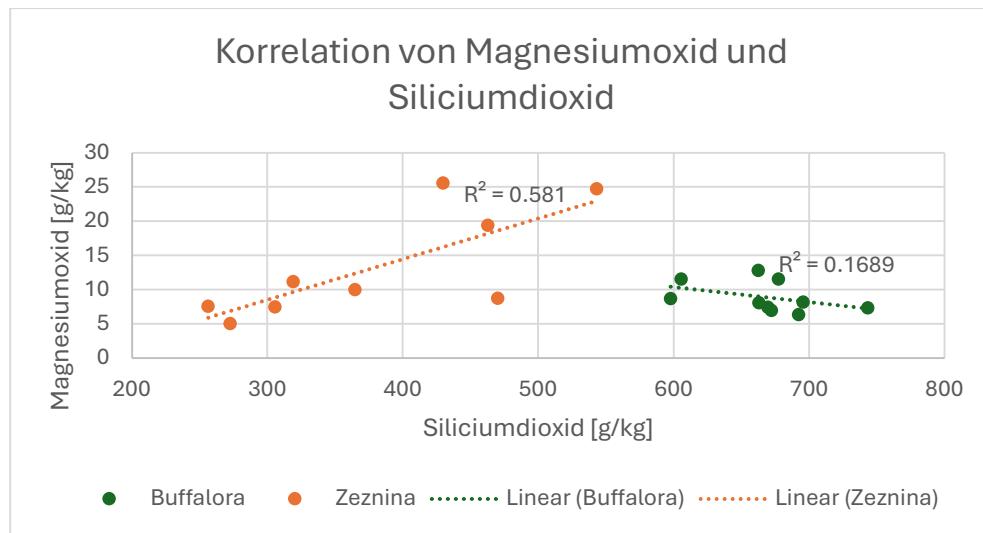


Abbildung 32: Korrelation von Magnesiumoxid und Siliciumdioxid

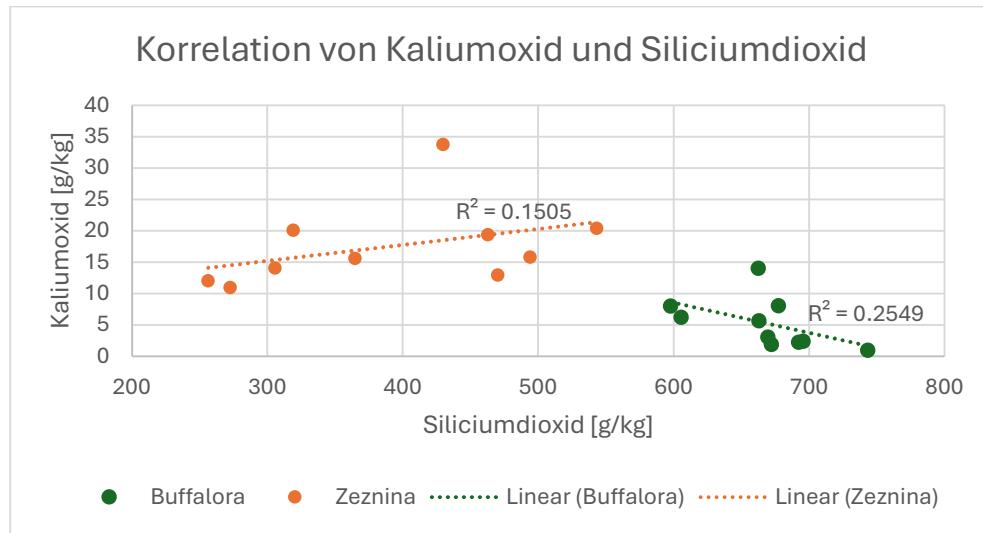


Abbildung 33: Korrelation von Kaliumoxid und Siliciumdioxid

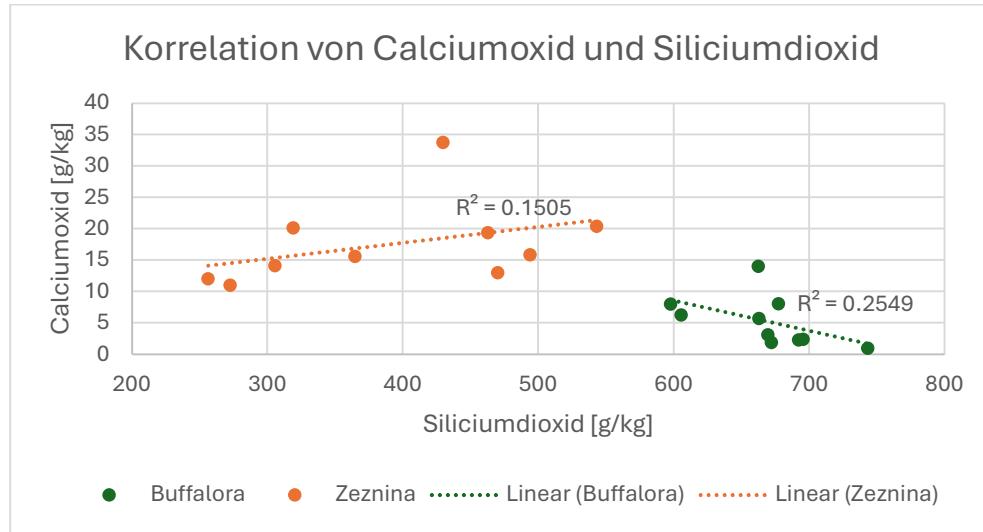


Abbildung 34: Korrelation von Calciumoxid und Siliciumdioxid

6.2 Stickstoffquelle

Sowohl Phosphat wie auch Ammonium können durch natürliche und anthropogene Weise in den Boden geraten. Phosphat ist an verschiedene Mineralien gebunden, welche im Untergrundgestein zu finden sind [35]. Stickstoff hingegen gelangt auf natürliche Weise durch stickstofffixierende Prokaryoten in den Boden, indem diese den Stickstoff zu Ammonium reduzieren [39]. Beide Nährstoffe können durch anthropogene Weise in die Umwelt gelangen. Einerseits durch die Düngung mit Düngemittel, anderseits auch durch die landwirtschaftliche Nutzung der Weiden durch Haftiere wie Kühe, Schafe oder Ähnliches, wie in Abbildung 36 zu erkennen ist. Nebst Stickstoff und Phosphor, können auch Kalium, Magnesium und Calcium durch anthropogene Nutzung wie der Landwirtschaft in den Boden gelangen [40].

Tierart/Nutzungsrichtung	7500 kg Jahresleistung ¹	Nährstoffausscheidung in kg pro Einheit (Tier oder Tierplatz) und Jahr					
		N	P	P ₂ O ₅	K	K ₂ O	Mg
Milchkuh	schwere Rassen (> 700 kg)	112	17	39	143	172	14
Mutterkuh ²	mittelschwere Rassen (600–700 kg)	95	14	31	131	158	10
	leichte Rassen (< 600 kg)	85	12	28	117	141	9,0
Aufzuchtrind ^{A1}	unter 1-jährig	72	10	24	98	118	8,0
	1- bis 2-jährig	25	3,3	7,5	29	35	4,0
	über 2-jährig	40	5,7	13	50	60	5,0
Mastkalb ^{A2}	pro Platz	55	8,7	20	62	75	7,0
	pro gemästetes Tier	18	3,1	7,1	9,4	11	1,1
Mutterkuhkalb ^{A3}	bis ca. 350 kg, pro gemästetes Tier	5,5	0,9	2,1	2,8	3,4	0,3
	bis ca. 220 kg, pro gemästetes Tier	22	3,1	7,0	20	24	1,3
		9,0	1,4	3,2	5,5	6,6	0,6
							1,5

Abbildung 35: Nährstoffausscheidungen im Kot und Harn verschiedener Nutztierarten [39]

Durch die Erstellung verschiedener Korrelationen, welche in den Abbildungen 37 bis 40 zu erkennen sind, fällt auf, dass das Ammonium bei beiden Hütten eine Korrelation von über 80% mit Kalium aufweist, was bedeutet, dass 80 – 90% den gleichen Ursprung haben. Die Korrelation von Phosphat und Ammonium bei der Alp Zeznina ist bei 75%, was ebenfalls einer starken Korrelation entspricht. Die Korrelation von Ammonium mit Magnesium und Calcium ist zwar nicht mehr allzu stark, dennoch lässt sich eine leichte Überschneidung feststellen. Daher liegt die Vermutung nahe, dass sowohl ein Grossteil des wasserlöslichen Phosphats wie auch des Ammoniums aus der Landnutzung stammen, welche im Fall der Alp Buffalora und der Alp Zeznina der Haltung von Hoftieren, genauer der Kuhhaltung, entspricht.

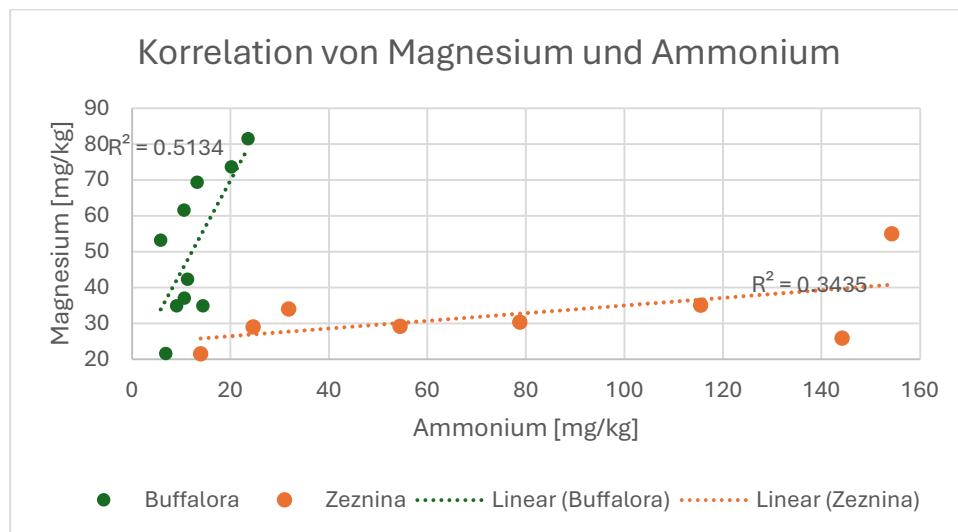


Abbildung 36: Korrelation von löslichem Magnesium und Ammonium im Boden

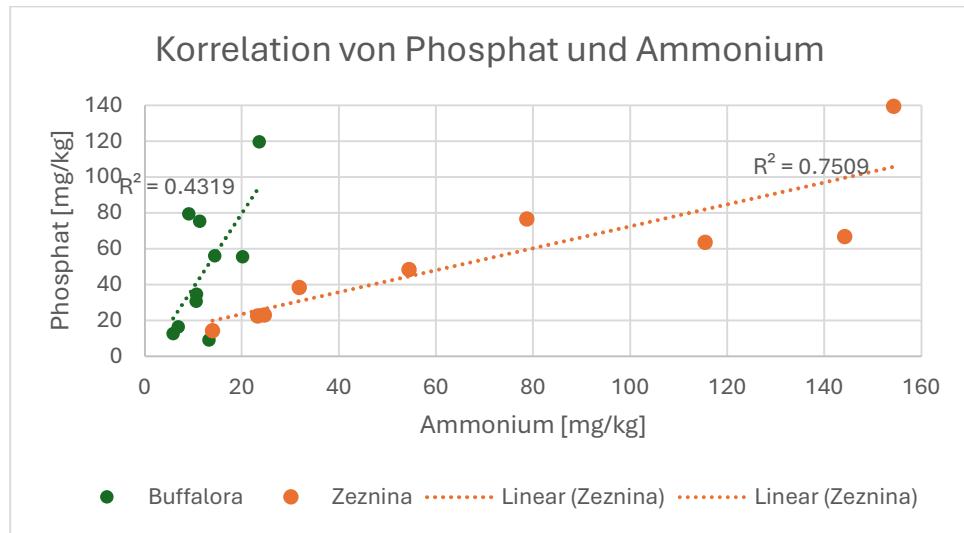


Abbildung 37: Korrelation von löslichem Phosphat und Ammonium im Boden

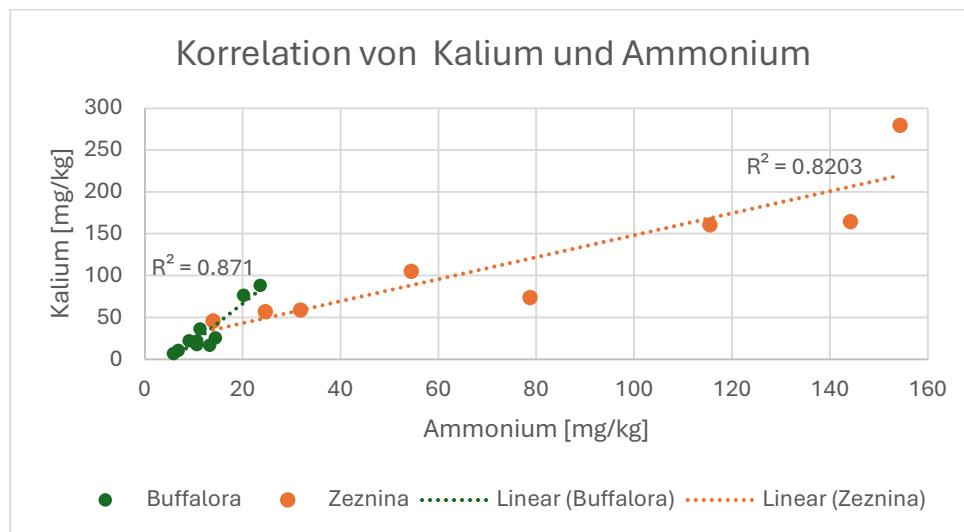


Abbildung 38: Korrelation von löslichem Kalium und Ammonium im Boden

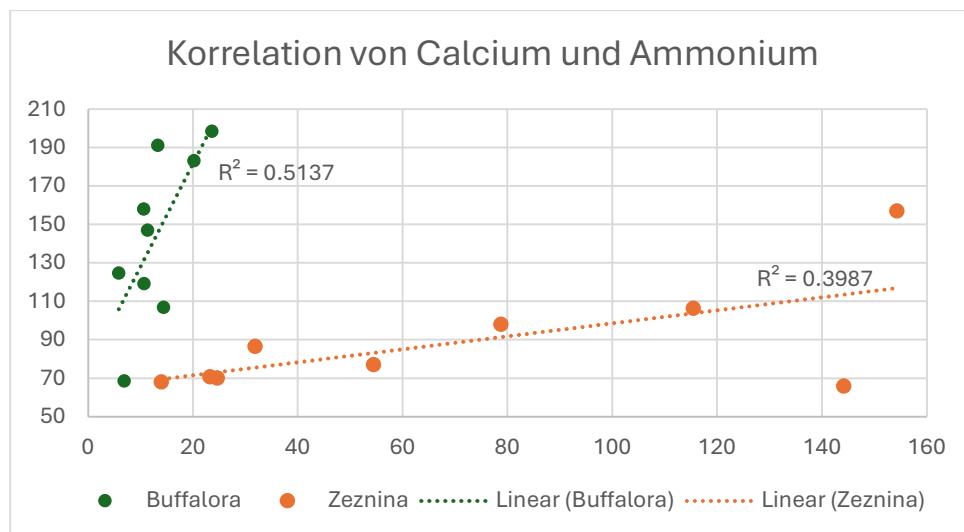


Abbildung 39: Korrelation von löslichem Calcium und Ammonium im Boden

Die Vermutung liegt nahe, dass die höhere Konzentration vom Phosphat und dem Ammonium von der Alp Zeznina daher stammt, dass die Alp Zeznina mehr Kühe auf kleinerem Raum hält. Für die Alp Buffalora, welche biologische Bewirtschaftung betreibt, gelten strenge Regeln, welche die maximale Anzahl der Tiere festlegen. Bei der Feldarbeit vor Ort ist aufgefallen, dass bei der Alp Zeznina deutlich mehr Spuren von Kühen, in Form von Abdrücken und Ausscheidungen zu erkennen sind. Der tiefere pH, welcher bei der Alp Zeznina gemessen wurde, könnte zusätzlich daran liegen, dass mehr Ammonium vorhanden ist, welches zu Nitrit und anschliessend zu Nitrat oxidiert wird, was H^+ - Ionen freigibt und den pH-Wert senkt [36]. Dadurch kommen mehr Nitrate im Boden vor, wie in Abbildung 30 zu sehen ist (Kapitel 5.7) und es besteht die Gefahr, dass wichtige Ionen ausgewaschen werden, wie in Abbildung 21 zu erkennen ist (Kapitel 5.3).

6.3 Phosphatquelle

Wie bereits in Kapitel 5.6 erwähnt, liegt Phosphat in vier verschiedenen Formen im Boden vor. In unlöslichen Formen wie im organischen Material oder in Phosphatmineralien wie Calciumphosphat, in schlecht löslichen Formen eingeschlossen in Eisen- und Aluminiumoxiden oder als wasserlösliches Phosphat, welches für die Pflanzen am besten verfügbar ist [35]. Der wasserlösliche Teil wurde mit der Phosphatmessmethode separat gemessen und hat eine gute Korrelation mit Ammonium, was in Abbildung 39 zu erkennen ist, was für einen anthropogenen Einfluss spricht. Der Gesamtanteil an Phosphat wurde mit der XRF-Analyse gemessen, von welchen der wasserlösliche Anteil subtrahiert wurde, um den nicht wasserlöslichen Teil auszurechnen. In den theoretischen Werten sind etwa 50 bis 70% des Phosphats mineralisch gebunden, während weitere 30 bis 50% organisch gebunden sind, was dem Humus entspricht [39]. In den Abbildungen 41 und 42 ist die jeweilige Korrelation von unlöslichem Phosphat mit Calciumoxid, Eisenoxid und Aluminiumoxid zu erkennen. Dabei fällt auf, dass nicht wirklich eine Korrelation zwischen den Oxiden und dem Phosphat zu erkennen ist, beziehungsweise die Korrelation von Aluminiumoxid und Phosphat bei der Alp Zeznina negativ ist. Daraus lässt sich herauslesen, dass das gemessene Phosphat nicht aus einem Grossteil von den Phosphatmineralien stammt. Die Bindung von Phosphat an Mineralien geschieht hauptsächlich im pH-Bereich von über pH 7 [41]. In Abbildung 19 und 20 ist zu erkennen, dass dies bei beiden Standorten nicht der Fall ist. Deshalb ist keine starke Korrelation mit Calcium zu erwarten. Ein pH-Wert unter pH

5.5 verstärkt hingegen die Bindung von Phosphat an Aluminium- und Eisenionen [41]. Dies ist bei beiden Alpen jedoch nicht der Fall, wie in Abbildung 41 und 42 zu erkennen ist, da die Korrelation zu gering ist. Der Grund für die geringe Korrelation könnte daher kommen, dass es sich bei den Bodenproben um den A-Horizont handelt, welcher primär aus Humus aufgebaut ist und damit aus organischem Material besteht. Organisches Material besteht aus abgestorbenen Pflanzenresten, welche hauptsächlich aus Kohlenstoff- und Stickstoffverbindungen aufgebaut sind. Wie in Kapitel 6.1 diskutiert wurde, ist der Humus der Alp Zeznina hingegen stark vom Grundgestein beeinflusst, da die Bodenmächtigkeit sehr klein ist, weshalb eine leichte Korrelation von Oxiden oder Mineralien mit dem Phosphat zu erwarten gewesen wäre. Da keine Korrelation zu erkennen ist, liegt die Vermutung nahe, dass das Phosphat hauptsächlich durch anthropogene Weise in den Boden gelangt, was bereits in Kapitel 6.2 mit dem Ammonium diskutiert wurde.

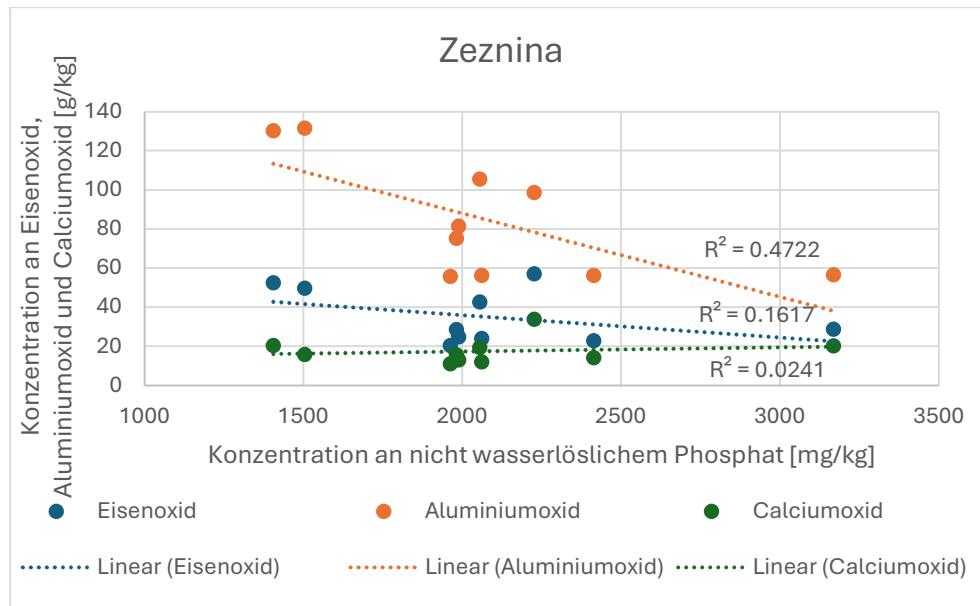


Abbildung 40: Korrelation von nicht wasserlöslichem Phosphat mit Eisenoxid, Aluminiumoxid und Calciumoxid der Alp Zeznina

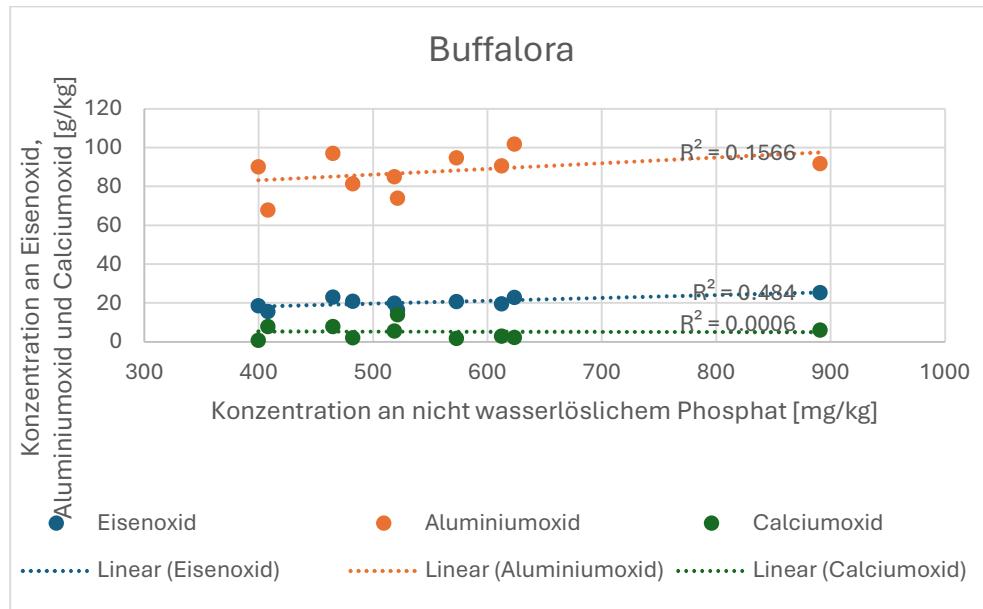


Abbildung 41: Korrelation von nicht wasserlöslichem Phosphat mit Eisenoxid, Aluminiumoxid und Calciumoxid der Alp Buffalora

Der theoretische Wert des Phosphatgehalt im Boden weist direkt keinen Grenzwert auf. Die Gefahr liegt dabei, dass es zu einer Überdüngung von Phosphat kommen kann, sodass alle Austauscher gesättigt sind und mobile Phosphate ausgewaschen werden [41]. Diese gelangen anschliessend ins Grundwasser und somit ins Trinkwasser. Dennoch wird ein Idealzustand des Bodenvorrats an labilem und wasserlöslichem Phosphor bei 0.136 bis 0.2 Gramm pro Kilogramm empfohlen. Eine Überschreitung von bereits 0.262 Gramm pro Kilogramm kann bei Pflanzen zu Mangelerscheinungen führen [42]. Der labile Teil des Phosphats wurde in dieser Arbeit nicht separat betrachtet, weswegen keine eindeutige Aussage darüber gemacht werden kann, ob die 'Grenzwerte' eingehalten werden. Hingegen lässt sich sagen, dass der wasserlösliche Teil, welcher in Abbildung 43 nochmals genauer dargestellt wurde, diese Werte nicht überschreitet.

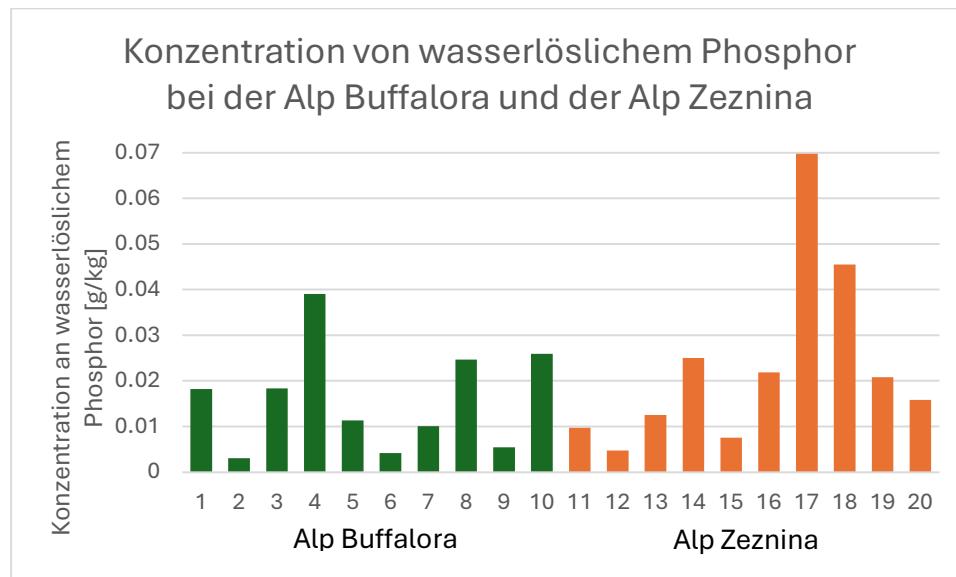


Abbildung 42: Konzentration des wasserlöslichen Phosphors an den 10 Messstandorten der beiden Alpen

6.4 Fehlerbeurteilung

Bei dieser Arbeit muss in erster Linie beachtet werden, dass beide Alpen nur zehn Messstandorte umfassen, welche sich aus je drei Probenahmen zusammensetzen. Daher ist die Aussagekraft der gemessenen Werte mit Vorsicht zu behandeln. Bei einer Abweichung einer einzigen Probe kann es bereits zu hohen Veränderungen im Ergebnis kommen, was mit mehr Messstandorten hätte verhindert werden können. Da die Mittel und Zeit jedoch begrenzt sind, wurde die Entscheidung getroffen, mit zehn Messpunkten pro Standort zu arbeiten.

XRF-Messung

Als zusätzliche Sicherheit bezüglich der Genauigkeit der Daten, wurde bei den XRF-Messungen eine Probe doppelt gemessen beziehungsweise eine Pille doppelt hergestellt. Die Doppelmessung bei den XRF-Daten hat dabei über alle Elemente hinweg eine Standardabweichung von +/- 0.2 bis 3.2% mit wenigen Ausnahmen von 4%, 6%, 9% und Kobalt, welches eine Standardabweichung der beiden Messungen von fast 25% hat. Diese starke Abweichung könnte an einer lokalen Konzentrationserhöhung innerhalb des Messstandorts liegen. Kobalt wird in dieser Arbeit nicht weiter erwähnt und alle Daten, welche für die Arbeit benötigt wurden, weisen eine maximale Standardabweichung von 3.2% auf, was in einem 'normalen' Rahmen liegt.

Phosphat-Messung

Als Überprüfung der Genauigkeit der Phosphatmessmethode wurde wie bei der XRF-Messung eine Probe doppelt gemessen. Die Standardabweichung der beiden

gemessenen Proben liegt dabei bei 0.45%, was für eine hohe Genauigkeit des Messgeräts spricht. Zusätzlich wurde eine Probe mit bekannter Phosphatkonzentration gemessen. Die Standardabweichung bei dieser Messung liegt bei fast 9%, was einer hohen Abweichung entspricht, die hingegen nicht am Messgerät liegen muss. Der Standard wurde selbst hergestellt und verdünnt, was möglicherweise nicht behutsam genug gemacht wurde. Der Blank wurde bei dieser Analyse aussen vorgelassen, da er vergessen ging und eine Wiederholung nicht möglich war. Durch Absprache wurde entschieden, ganz darauf zu verzichten, da die Proben einen hohen Phosphatgehalt haben und der Einfluss des Blanks nur eine kleine Grösse darstellt im Vergleich.

pH- und Leitfähigkeitsmessungen

Die Messung beider Methoden wurde in der hergestellten Bodenlösung gemacht, welche für die IC-Messung nötig war. Um die Ergebnisse so exakt wie möglich zu bestimmen, wurde jede Messung dreimal vorgenommen und der Durchschnitt der Messungen ausgerechnet. Diese Daten müssen jedoch mit Vorsicht zu geniessen sein, da die Bodenlösung aus einem Verhältnis von 1:5 von Boden und destilliertem Wasser hergestellt wurde und der Wert anschliessend nicht zurückgerechnet wurde. Grund dafür ist, dass der Boden an sich keine elektrische Leitfähigkeit aufweist, da es sich um ein festes Medium handelt und der pH im Boden schwierig zu definieren ist. Darum wurde entschieden, die Daten bei den Originalwerten der Bodenlösung zu belassen.

Bestimmung der Massenverteilung des Bodens

Ergänzend zu allen Analysemethoden, wurde der Wassergehalt des Bodens mittels Trocknung von 200g Erde bestimmt. Wie bereits in Kapitel 5.5 angedeutet, wurden die Proben der Alp Zeznina nicht lang genug getrocknet, was zum Wachstum von Pilzen führte. Im zweiten Trocknungsdurchlauf wurde nur der Grobkörnige Teil erneut getrocknet, da ein Grossteil des Feinmaterials verklebte und das Sieben verunmöglichte. Dennoch wäre es möglich, dass das bereits gesiebte Material erneut Masse durch den Entzug von Wasser verloren hätte. Dieser Massenverlust wurde hingegen nicht mehr beachtet, da ein Hochrechnen des erneuten Massenverlust des Grobmaterials wenig Sinn macht. Möglicherweise ist der Anteil des Wassers bei der Alp Zeznina ein wenig grösser und folglich der Massenanteil des Feinmaterials etwas kleiner.

7 Fazit

Abschliessend lässt sich sagen, dass meine Ziele mit meiner Arbeit erreicht wurden. Durch die Analyse vom pH und der elektrischen Leitfähigkeit, sowie dem Bodenprofil wurde die Hypothese, dass es sich bei beiden Standorten um Böden handelt, welche typische Merkmale von alpinen Böden aufweisen, bestätigt. Beide Standorte weisen sowohl einen tiefen pH wie auch eine hohe elektrische Leitfähigkeit auf, was den Erwartungen entspricht. Durch die Analyse des Stickstoffgehalts in Form von Ammonium und Nitrat sowie des Phosphats hat sich die Annahme bestätigt, dass der Anteil des anthropogenen Einflusses bei der Alp Buffalora kleiner ist. Es kann also ausgesagt werden, dass die strengen Massregelungen des Biosphärenreservat Val Müstair einen Einfluss auf die Nährstoffzusammensetzung des A-Horizont haben.

7.1 Ausblick

Eine naturwissenschaftliche Arbeit findet selten ein Ende. Es können unendlich viele Daten und Einflüsse analysiert und verglichen werden. Zum Beispiel würde mich eine genauere Analyse der Schwermetalle interessieren, welche in dieser Arbeit aussen vorgelassen wurden, da sie nicht dem Hauptthema der Arbeit entsprechen.

Zusätzlich wäre es spannend zu wissen, wie sich die Zusammensetzung des Bodens über die Jahre beziehungsweise über verschiedene Wetterlagen und Jahreszeiten verändert. Die Zusammensetzung hängt eng mit der Temperatur, dem Feuchtigkeitsgehalt und der Regenmenge zusammen, was eine Untersuchung in diese Richtung spannend machen würde.

Leider fehlen die Zeit und die Ressourcen, um alle Einflüsse im Rahmen einer Matraarbeit genauer zu untersuchen. Dennoch wäre es eine schöne Möglichkeit, das Projekt weiter zu verfolgen.

8 Schlusswort

Im Verlauf dieser Arbeit wurden zahlreiche neue Schwierigkeiten angetroffen, welche einen neuen Lösungsansatz brauchten. Das Projekt musste selbstständig geplant und zeitlich eingeteilt werden. An den vielen Tagen im Labor mussten immer wieder neue Versuchsanleitungen studiert und neues Können angeeignet werden. Die Tage im Feld und im Labor waren sehr aufregend, da der Fortschritt laufend mitangesehen werden konnte und die handwerkliche Arbeit eine grossartige Herausforderung war. Auch wenn an den Feld- und Labortagen bis zu 10 Stunden durchgearbeitet wurde, war die Motivation immer vorhanden, da die Ergebnisse spannende Resultate hervorbrachten.

Im Nachhinein ist es schade, dass keine Analyse des Kohlenstoffgehalts geplant war, da dieser eng mit dem organischen Phosphatgehalt verbunden ist und einen grossen Teil des Humus ausmacht. Ansonsten bin ich zufrieden mit meiner geleisteten Arbeit, da viele Daten ausgewertet und vieles interpretiert werden konnte, auch wenn es etliche Abende Zeit gekostet hat.

Leider konnte die ursprüngliche Idee im Val Trupchun nicht verwirklicht werden und das Projekt musste auf die Alp Buffalora verschoben werden. Schön, dass ich meine Arbeit dennoch im Engadin durchführen konnte, da mich meine Faszination für die schöne Natur in diesem Tal und meine Verbundenheit mit dem Schweizerischen Nationalpark zusätzlich motivierten das Projekt durchzuführen.

9 Dankeswort

Diese Arbeit wäre nicht möglich gewesen ohne die Hilfe vieler Personen. Ein grosses Dankeschön geht an meinen Betreuer, Herrn Adrian Blatter, der mit mir die Idee meiner Arbeit entwickelt und etliche Ferientage für meine Laborarbeit geopfert hat. Durch seine Expertise im Fachbereich Chemie und Geographie konnte er mir an vielen Stellen weiterhelfen und meine Fragen beantworten.

Ein besonderer Dank geht auch an das Team des Schweizerischen Nationalparks, welches mir etliche Male geholfen hat, mein Projekt in die Tat umzusetzen und für meine Fragen beantwortet hat. Ebenso danke ich Herrn Numa Pfenninger von der EAWAG, welcher die XRF-Analyse für mich übernommen und anschliessend eine Privatführung durch die Räumlichkeiten gegeben hat.

Zusätzlich danke ich Claudia Taverna, László Rubóczki, Nina Aeschbacher und Aline Zahner, die mich bei meiner Feldarbeit und Laborarbeit tatkräftig unterstützt haben. Ihre Hilfe hat meine Arbeit erheblich erleichtert.

Mein herzlicher Dank geht noch an alle weiteren Personen, die hier nicht namentlich erwähnt wurden und die mich während meiner Arbeit unterstützt haben.

Literaturverzeichnis

- [1] Stahr K., «Bodenkunde und Standortlehre», Eugen Ulmer KG, Stuttgart (2008), 3. Auflage
- [2] Gisi U. et al., «Bodenökologie», Georg Thieme Verlag Stuttgart, New York (1997), 2. Neu bearbeitete und erweiterte Auflage
- [3] Mengel D., «Fundamentals of Soil Cation Exchange Capacity (CEC)», Department of Agronomy, Purdue University, West Lafayette
- [4] Reusser E. et al., «Geochemischer Bodenatlas der Schweiz», Valmedia AG, Visp (2023), Aufgerufen unter: <https://doi.org/10.34776/gca23-q> (11.07.2025)
- [5] Anonym, «Biosphärenreservat», Schweizerischer Nationalpark, Zernez, Aufgerufen unter: <https://nationalpark.ch/about/netzwerke/biosphaerenreservat/> (11.07.2025)
- [6] Anonym, «Biosfera Val Müstair – Ein Naturpark stellt sich vor», bio.inspecta AG, Frick, Aufgerufen unter: <https://www.bio-inspecta.ch/de/blog/blog-100~ein-naturpark-stellt-sich-vor.html> (11.10.2025)
- [7] Anonym, «Kennzeichnung von Bio-Produkten», Bundesamt für Landwirtschaft BLW, Bern (2025), Aufgerufen unter: <https://www.blw.admin.ch/de/kennzeichnung-bio-produkte> (11.10.2025)
- [9] Anonym, «Verordnung über die biologische Landwirtschaft und die Kennzeichnung biologisch produzierter Erzeugnisse und Lebensmittel» Der Schweizerische Bundesrat, Bern (2025), Aufgerufen unter: https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/1997/2498_2498_2498/de (11.10.2025)
- [9] Amberg S., «Aufbereitung von Bodenproben SOP – academia – A0007», privates SOP (2022)
- [10] Leuenberger B., «Herstellung einer Bodenlösung SOP-A0008», privates SOP (2019)
- [11] Anonym, «Eco IC – Handbuch», Metrohm AG, Herisau (2023), Aufgerufen unter: <https://www.metrohm.com/content/dam/metrohm/shared/documents/manu-als/89/89258001DE.pdf> (13.07.2025)
- [12] Metrohm, «Metrohm Eco IC», Verfügbar unter: https://www.metrohm.com/de_ch/produkte/ionenchromatographie/eco-ic.html (19.10.2025)
- [13] Weiss J., «Handbuch der Ionenchromatographie», VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim (1985) 1. Auflage
- [14] Eugster G., «Ionen-Chromatographie (Eco IC) SOP – academia – G0050», privates SOP (2025)
- [15] Bal B., «Herstellung Presstabletten aus Trockenmaterial SOP – academia – A0023», privates SOP (2021)
- [16] Spectro, «XEPOS XRF-Spektrometer», Verfügbar unter: [SPECTRO XEPOS RFA-Spektrometer - EDRFA](https://www.spectro.com/xrf-xeops/) (14.10.2025)
- [17] Hahn-Weinheimer P. et al., «Grundlagen und praktische Anwendung der Röntgen-fluoreszenzanalyse (RFA)», Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig (1984)
- [18] METTLER TOLEDO Group, «Grundlagen-Wissen über pH», METTLER TOLEDO, Greifensee (2018), Aufgerufen unter: <https://www.mt.com/dam/non->

[indexed/po/ana/pH-meter/guides/essentials/30476893_V06.18_pH_Essentials-Guide_A5_de_LR.pdf](https://www.mt.com/ch/de/home/search/Advanced_Search.html#stq=SevenGo%20Duo%20pH/Ion/Cond%20meter&stp=1&cat=ALL) (28.08.2025)

[19] Mettler Toledo, «SevenGo Duo pH/Ion/Cond meter», Verfügbar unter: https://www.mt.com/ch/de/home/search/Advanced_Search.html#stq=SevenGo%20Duo%20pH/Ion/Cond%20meter&stp=1&cat=ALL (14.10.2025)

[20] METTLER TOLEDO Group, «A Guide to On-line Conductivity Measurement Theory and Practice», METTLER TOLEDO, Greifensee (2023), Aufgerufen unter: [Conductivity Sensors Explained: Types & How They Work](https://www.mt.com/ch/de/home/search/Advanced_Search.html#stq=Conductivity%20Sensors%20Explained%20Types%20How%20They%20Work) (28.08.2025)

[21] International Organization for Standardization (ISO), «ISO 6878:2004 - Water quality – Determination of phosphorus – Ammonium molybdate spectrometric method», private ISO (2004)

[22] Berthold M. et al., «A simplified method for total phosphorus digestion with potassium persulphate at sub-boiling temperatures in different environmental samples», Aufgerufen unter: https://wissenschaftscampus-rostock.de/files/Dateien/Methodenhandbuch/Deutsch/040105_basisches_Persulfat_Seston.pdf (03.10.2025)

[23] Kolev D. et al., «The molybdenum blue reaction for the determination of orthophosphate revisited: Opening the black box», Analytica Chimica Acta (2015), Aufgerufen unter: 10.1016/j.aca.2015.07.030 (03.10.2025)

[24] Ayass W. und Kortz U., «Remeber the Keggin Ion?», Jacobs University, Bremen (2018), Aufgerufen unter: [https://www.chemistryviews.org/details/ezine/10851273/Remember the Keggin Ion/](https://www.chemistryviews.org/details/ezine/10851273/Remember%20the%20Keggin%20Ion) (03.10.2025)

[25] Anonym, «Allgemeine Einführung in die Photometrie», Christian-Albrechts-Universität, Kiel, Aufgerufen unter: <https://www.molphys.uni-kiel.de/en/teaching/biol108-2018/allgemeine-einfuehrung-in-die-photometrie> (03.10.2025)

[26] Blatter A., «Chemie – Dossier Atom + Periodensystem der Elemente», Kapitel 3.12, privates Dokument (2022)

[27] Sutter R., «Erosion im Alpengebiet – Schlussbericht», Ingenieurbüro Roman Sutter, Appenzell (2007), Aufgerufen unter: https://www.sg.ch/content/dam/sgch/umwelt-natur/umwelt/dokumente/landwirtschaft/Alpenbewirtschaftung%20und%20Erosions-problematik_Bericht%202007.pdf

[28] Anonym, «Bodentypen», Stiftung Unternehmen Wald, Hamburg, Aufgerufen unter: <https://www.wald.de/bodenkunde/bodentypen-braunerde/> (11.10.2025)

[29] Seroka P., «Feldspat», Geolitho Stiftung gemeinnützige GmbH, Aufgerufen unter: <https://www.mineralienatlas.de/lexikon/index.php/Mineralienportrait/Feldspat> (13.10.2025)

[30] Seroka P., «Quarz », Geolitho Stiftung gemeinnützige GmbH, Aufgerufen unter: <https://www.mineralienatlas.de/lexikon/index.php/MineralData?mineral=Quarz> (13.10.2025)

[31] Seroka P., «Glimmer-Gruppe (Glimmer)», Geolitho Stiftung gemeinnützige GmbH, Aufgerufen unter: <https://www.mineralienatlas.de/lexikon/index.php/MineralData?mineral=Glimmer> (13.10.2025)

[32] Anonym, «Picture This», Glority Global Group Limited, Hong Kong (2025), Download unter: <https://www.picturethisai.com/de/> (22.09.2025)

[33] Payer A., «Einführung in Entwicklungsländerstudien - 3. Grundgegebenheiten: Gelände und Böden», Tuepfli Global Village Library, Stuttgart (2018), Aufgerufen unter: <https://www.payer.de/entwicklung/entw03.html> (13.10.2025)

- [34] Anonym, «Soil Quality Indicators», USDA Natural Resources Conservation Service, USA (2011), Aufgerufen unter: <https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-10/Soil%20Electrical%20Conductivity.pdf> (13.10.2025)
- [35] Prasad R. und Chakraborty D., «Phosphor-Grundlagen: Phosphorformen und ihren Kreislauf im Boden verstehen», Alabama Cooperative Extension System, Alabama (2019), <https://www.aces.edu/blog/topics/crop-production/understanding-phosphorus-forms-and-their-cycling-in-the-soil/> (14.10.2025)
- [36] Anonym, «Nitrifizierung und Denitrifikation», Duden Learnattack GmbH, Berlin (2025), Aufgerufen unter: <https://www.lernhelper.de/schuelerlexikon/biologie-abitur/artikel/nitrifikation-und-denitrifikation> (16.10.2025)
- [37] Biasz A., «Die Auswirkungen der Redox-Werte auf die Pflanzenernährung», Regenerativ Schweiz, Bern (2021), Aufgerufen unter: https://50ea490b-4463-4c57-bf40-a706dbabe469.usrfiles.com/ugd/50ea49_e5ce4b37806044abb971542c220bb05b.pdf (16.10.2025)
- [38] Hoffmann A. et al., «Grosses Handbuch Mathematik Physik Chemie - mit Formelsammlung», Compact Verlag GmbH, München
- [39] Selzer M., «Nitratreduktion, Denitrifikation und Dissimilatorische Nitritreduktion zu Ammonium in Grünland- und Waldböden: Populationen und Einflussfaktoren», Universität Bayreuth, Bayreuth (2016), Aufgerufen unter: <https://epub.uni-bayreuth.de/2858/1/Mirjam%20Selzer%20Dissertation%20Endversion.pdf> (16.10.2025)
- [40] Richner W. et al., «Eigenschaften und Anwendung von Düngern», Agrarforschung Schweiz, Zürich (2017), https://www.agrarforschungschweiz.ch/wp-content/uploads/2019/12/2017_06_2297.pdf (16.10.2025)
- [41] Bruckner A., «Phosphor (P)», FiBL Projekte GmbH, Frankfurt am Main (2025), Aufgerufen unter: <https://www.nutrinet.agrarpraxisforschung.de/naehrstoffmanagement/naehrstoffe/phosphor-p> (18.10.2025)
- [42] Lehmeier S., «Phosphor Verfügbarkeit gewährleisten», Spower GmbH & Co. KG, Abensberg, Aufgerufen unter: [https://www.spower-bio.de/wissen-phosphor.html#:~:text=Der%20Bodenvorrat%20von%20Phosphor%20\(labil,und%20840%20kg/ha%20liegen](https://www.spower-bio.de/wissen-phosphor.html#:~:text=Der%20Bodenvorrat%20von%20Phosphor%20(labil,und%20840%20kg/ha%20liegen). (18.10.2025)

Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1:** Alp Buffalora am 07.06.2025, Titelbild, Eigenaufnahme, (07.06.2025)
- Abbildung 2:** Darstellung der Pedosphäre als Überschneidungsbereich der vier Sphären, Bodenkunde und Standortlehre, (01.07.2025)
- Abbildung 3:** Skizze eines standardisierten Bodenprofil, Bodenökologie, S. 16, (11.07.2025)
- Abbildung 4:** Darstellung eines Eco IC-Geräts von der Vorderseite, <https://www.metrohm.com/content/dam/metrohm/shared/documents/manuals/89/89258001DE.pdf>, (13.10.2025)
- Abbildung 5:** Mühle Retsch MM200 der Kantonsschule Wattwil, Eigenaufnahme, (28.06.2025)
- Abbildung 6:** Pressform aus Edelstahl für das Herstellen der Pillen für die XRF-Messung, Eigenaufnahme, (28.06.2025)
- Abbildung 7:** Kalibration-Pillen von Herrn Heeb im XRF-Gerät der EAWAG, Eigenaufnahme (21.08.2025)

Abbildung 8: Darstellung einer Keggin-Struktur, The molybdenum blue reaction for the determination of orthophosphate revisited: Opening the black box, S. 7, (03.10.2025)

Abbildung 9: Wellen Spektrometrie der Probe Zeznina 6 mit einer Phosphatkonzentration von 214.2 mg/kg Probengewicht, Eigenaufnahme, (30.09.2025)

Abbildung 10: Wellen Spektrometrie der Probe Zeznina 1 mit einer Phosphatkonzentration von 14.4 mg/kg Probengewicht, Eigenaufnahme, (30.09.2025)

Abbildung 11: Darstellung des Lichtspektrums, <https://www.biancahoegel.de/physik/spektrum.html>, (14.10.2025)

Abbildung 12: Werkzeug zur Entnahme der Bodenprobe, Eigenaufnahme, (01.06.2025)

Abbildung 13: Nordhang-Weide auf der Alp Buffalora mit Blickrichtung Norden; 100 Meter Abstand zur südlich liegenden Alp, Eigenaufnahme, (07.06.2025)

Abbildung 14: Nordhang-Weide auf der Alp Zeznina mit Blickrichtung Süden; 100 Meter Abstand zur nördlich liegenden Alp, Eigenaufnahme, (08.06.2025)

Abbildung 16: Bodenprofil der Alp Buffalora in der Biosphera, Eigenaufnahme, (07.06.2025)

Abbildung 15: Bodenprofil der Alp Zeznina, Eigenaufnahme, (08.06.2025)

Abbildung 17: Gesteinsarten der Alp Buffalora, Eigenaufnahme, (29.09.2025)

Abbildung 18: Gesteinsarten der Alp Zeznina, Eigenaufnahme, (29.09.2025)

Abbildung 19: Darstellung der pH-Werte bei der Alp Buffalora, Eigenaufnahme, (10.08.2025)

Abbildung 20: Darstellung der pH-Werte der Alp Zeznina, Eigenaufnahme, (10.08.2025)

Abbildung 21: Darstellung der Ionengehalte der einzelnen Standorte in Abhängigkeit eines Kilogramms Gesamtgewicht, Eigenaufnahme, (11.10.2025)

Abbildung 22: Darstellung der elektrischen Leitfähigkeitswerte der Alp Buffalora, Eigenaufnahme, (10.08.2025)

Abbildung 23: Darstellung der elektrischen Leitfähigkeitswerte der Alp Zeznina, Eigenaufnahme, (10.08.2025)

Abbildung 24: Bild der gebildeten Mykorrhiza auf den feuchten Proben der Alp Zeznina, Eigenaufnahme, (19.06.2025)

Abbildung 25: Massenverteilung der einzelnen Proben in Wasser, Fein- und Grobkorn, Eigenaufnahme, (07.10.2025)

Abbildung 26: Phosphatgehalt der Alp Zeznina mit einem Durchschnittswert des Gesamtphosphats von 2147.9 mg/kg und einem Anteil von durchschnittlich 70.84 mg/kg wasserlösliches Phosphat

Abbildung 27: Phosphatgehalt der Alp Zeznina mit einem Durchschnittswert des Gesamtphosphats von 598.53 mg/kg und einem Anteil von durchschnittlich 40.09 mg/kg wasserlösliches Phosphat

Abbildung 28: Konzentration von Ammonium im Boden der beiden Standorte verglichen durch die Darstellung eines Boxplots, Eigenaufnahme, (16.10.2025)

Abbildung 29: Konzentration von Nitrit im Boden der beiden Standorte verglichen durch die Darstellung eines Boxplots, Eigenaufnahme, (16.10.2025)

Abbildung 30: Konzentration von Nitrat im Boden der beiden Standorte verglichen durch die Darstellung eines Boxplots, Eigenaufnahme, (16.10.2025)

Abbildung 31: Korrelation von Aluminiumoxid und Siliciumdioxid, Eigenaufnahme, (07.10.2025)

Abbildung 32: Korrelation von Eisenoxid und Siliciumoxid, Eigenaufnahme, (07.10.2025)

- Abbildung 33:** fKorrelation von Magnesiumoxid und Siliciumdioxid, Eigenaufnahme, (07.10.2025)
- Abbildung 34:** Korrelation von Kaliumoxid und Siliciumdioxid, Eigenaufnahme, (07.10.2025)
- Abbildung 35:** Korrelation von Calciumoxid und Siliciumdioxid, Eigenaufnahme, (07.10.2025)
- Abbildung 36:** Nährstoffausscheidungen im Kot und Harn verschiedener Nutztierarten, https://www.agrarforschungschweiz.ch/wp-content/uploads/2019/12/2017_06_2297.pdf, (16.10.2025)
- Abbildung 37:** Korrelation von löslichem Magnesium und Ammonium im Boden, Eigenaufnahme, (16.10.2025)
- Abbildung 38:** Korrelation von löslichem Phosphat und Ammonium im Boden, Eigenaufnahme, (16.10.2025)
- Abbildung 39:** Korrelation von löslichem Kalium und Ammonium im Boden, Eigenaufnahme, (16.10.2025)
- Abbildung 40:** Korrelation von löslichem Calcium und Ammonium im Boden, Eigenaufnahme, (16.10.2025)
- Abbildung 41:** Korrelation von nicht wasserlöslichem Phosphat mit Eisenoxid, Aluminiumoxid und Calciumoxid der Alp Zeznina, Eigenaufnahme, (17.10.2025)
- Abbildung 42:** Korrelation von nicht wasserlöslichem Phosphat mit Eisenoxid, Aluminiumoxid und Calciumoxid der Alp Buffalora, Eigenaufnahme, (17.10.2025)
- Abbildung 43:** Konzentration des wasserlöslichen Phosphors an den 10 Messstandorten der beiden Alpen, Eigenaufnahme, (18.10.2025)
- Abbildung 44:** Feldarbeit auf der Alp Buffalora, Eigenaufnahme, (07.06.2025)
- Abbildung 45:** Feldarbeit auf der Alp Zeznina, Eigenaufnahme, (08.06.2025)
- Abbildung 46:** Trocknungsofen der Schule, Eigenaufnahme, (14.06.2025)
- Abbildung 47:** Mit Proben vorbereitete Reagenzgläser für die IC-Messung an der Kantonsschule Wattwil, Eigenaufnahme, (09.07.2025)
- Abbildung 48:** Darstellung der Peaks für die Auswertung der IC-Messung, Aufnahme von Aline Zahner, (07.10.2025)
- Abbildung 49:** Lösungen für die Kalibrierungsgerade nach der Reaktion mit dem Molybdän, Eigenaufnahme, (29.09.2025)
- Abbildung 50:** Kalibrierungsgerade für die Phosphatmessung, Eigenaufnahme, (29.09.2025)
- Abbildung 51:** Spectrophotometer der Kantonsschule Wattwil, Eigenaufnahme, (29.09.2025)

Tabellenverzeichnis

- Tabelle 1:** Darstellung aller Messstandorte, Eigene Darstellung, (01.10.2025)
- Tabelle 2:** Rohdaten der XRF-Analyse Teil 1, Daten von der EAWAG, (28.08.2025)
- Tabelle 3:** Rohdaten der XRF-Analyse Teil 2, Daten von der EAWAG, (28.08.2025)
- Tabelle 4:** Rohdaten der XRF-Analyse Teil 3, Daten von der EAWAG, (28.08.2025)
- Tabelle 5:** Rohdaten der Anionen-Messung vom IC-Gerät der Kantonsschule Wattwil, Eigene Darstellung, (23.08.2025)
- Tabelle 6:** Rohdaten der Kationen-Messung vom IC-Gerät der Kantonsschule Wattwil, Eigene Darstellung (23.08.2025)

Tabelle 7: Rohdaten der Phosphatmessung der Alp Buffalora, Eigene Darstellung, (30.09.2025)

Tabelle 8: Rohdaten der Phosphatmessung der Alp Zeznina, Eigene Darstellung, (30.09.2025)

Formelverzeichnis

Formel 1: Gleichgewichtsprozess der Anionen in der Säule des Ionenchromatographen, Handbuch der Ionenchromatographie, S. 36, (28.08.2025)

Formel 2: Gleichgewichtsprozess der Anionen in der Säule des Ionenchromatographen, Handbuch der Ionenchromatographie, S. 36, (28.08.2025)

Formel 3: Definition des Selektivitätskoeffizient K der Messung mit dem Ionenchromatographen, Handbuch der Ionenchromatographie, S. 36, (28.08.2025)

Formel 4: Definition des Gleichgewichtsverteilungskoeffizient D der Messung mit dem Ionenchromatographen, Handbuch der Ionenchromatographie, S. 36, (28.08.2025)

Formel 5: Definition des Kapazitätsfaktor k' der Messung mit dem Ionenchromatographen, Handbuch der Ionenchromatographie, S. 36, (28.08.2025)

Formel 6: Definition des Ohm'schen Gesetzes, [Conductivity Sensors Explained: Types & How They Work](#), (28.08.2025)

Formel 7: Definition der elektrischen Leitfähigkeit, [Conductivity Sensors Explained: Types & How They Work](#), (28.08.2025)

Formel 8: Stöchiometrische Gleichung der Bildung eines Keggin-Ions um das Orthophosphat, 10.1016/j.aca.2015.07.030, (03.10.2025)

Formel 9: Allgemeine Summenformel einer Keggin-Struktur, 10.1016/j.aca.2015.07.030, (03.10.2025)

Formel 10: Stöchiometrische Gleichung der Reduktion der Heteropolysäure, 10.1016/j.aca.2015.07.030, (03.10.2025)

Formel 11: Gleichung zur Ausrechnung der Extinktion des Photometrie-Gerät, <https://www.molphys.uni-kiel.de/en/teaching/biol108-2018/allgemeine-einfuehrung-in-die-photometrie>, (03.10.2025)

Formel 12: Gleichung zur Ausrechnung des Phosphorgehalts der im Photometrie-Gerät analysierten Proben, ISO 6878:2004 - Water quality – Determination of phosphorus – Ammonium molybdate spectrometric method, (03.10.2025)

Formel 13: Gleichung zur Umrechnung der Phosphorkonzentration in die Phosphatkonzentration, Chemie – Dossier Atom + Periodensystem der Elemente, (03.10.2025)

Formel 14: Stöchiometrische Gleichung der Ammoniumoxidation, <https://www.lernhelder.de/schuelerlexikon/biologie-abitur/artikel/nitrifikation-und-denitrifikation>, (16.10.2025)

Formel 15: Stöchiometrische Gleichung der Nitrit Oxidation, <https://www.lernhelder.de/schuelerlexikon/biologie-abitur/artikel/nitrifikation-und-denitrifikation>, (16.10.2025)

Selbständigkeitserklärung

Ich, Anina Taverna, habe diese Maturaarbeit unter Benutzung der angeführten Quellen selbstständig entworfen, abgefasst, gestaltet und geschrieben.

Jana, 28.10.2025, Taverna

Anhang

Laborjournal

17.05.2025 - Labor Tag

Zusammen mit Nina Aeschbacher wurden ihre getrockneten Proben gesiebt und anschliessend gemahlen. Von jeder Probe wurden 4g benötigt, um diese anschliessend mit 0.9g Wachs zu vermischen, welches mit der Pillenpresse zu einer Pille gepresst wurde. Für die 8 Pillen entstand ein Zeitaufwand von 6 Stunden, da alles benötigte Material zwischen den einzelnen Proben mit Ethanol ausgewaschen werden musste.

31.05.2025 – Labor Tag

Mit Nina Aeschbacher wurden die Standards für die IC-Messung hergestellt. Anschliessend haben wir uns mit dem Programm auf dem Laptop vertraut gemacht und alle einzelnen Proben in die Reagenzgläser abgefüllt, das Programm vorprogrammiert und den Prozess gestartet. Für die 10 Proben entstand ein Zeitaufwand von 3 Stunden, welcher hauptsächlich durch die Standardherstellung entstand.

01.06.2025 - Feldarbeit

Als Probelauf wurden die ersten Proben im Garten entnommen. Dabei wurde das erste Mal mit der Bodenschraube gearbeitet. An jeweils zwei Standorten wurden 3 Bodenproben mit einem Abstand von je einem Meter entnommen, welche anschliessend im Plastikbehälter vermischt wurden.

06.06.2025 – Feldarbeit

Erneuter Probelauf im Garten für die Herstellung eines Bodenprofils.

07.06.2025 – Feldarbeit

Die erste Feld Arbeit im Engadin auf der Alp Buffalora fand statt. An 10 Standorten wurden jeweils mit Hilfe von László Rubóczki 3 Proben entnommen, welche in einem Plastikbehälter zusammengemischt wurden. Anschliessend reichte die Zeit noch für 2 Bodenprofile, was zu einem Arbeitstag von 4 Stunden auf dem Feld führte.

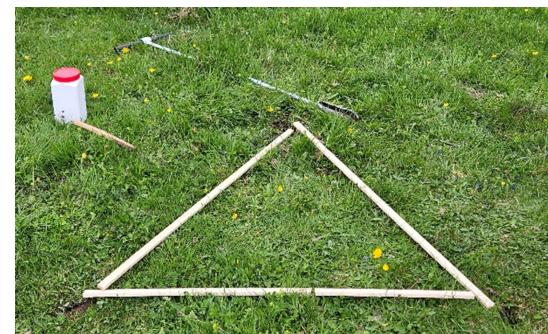


Abbildung 43: Feldarbeit auf der Alp Buffalora

08.06.2025 - Feldarbeit

Die zweite Feld Arbeit im Engadin auf der Alp Zeznina fand statt. An 10 Standorten wurden jeweils mit der Hilfe von Claudia Taverna und László Rubóczki 3 Proben entnommen, welche in einem Gefäss zusammengemischt wurden. In 2.5 Stunden wurden alle Proben entnommen und zwei Bodenprofile gemacht. Durch die Wanderung zum Standort kam es zu einem Arbeitstag von 6 Stunden.



Abbildung 44: Feldarbeit auf der Alp Zeznina

14.06.2025 – Labor Tag

Von jeder gesammelten Probe vom 07. Und 08. Juni 2025 wurden 200g abgewogen und bei 110°C in den Trocknungsofen gestellt.



Abbildung 45: Trocknungsofen der Schule

19.06.2025 – Labor Tag

Mit Hilfe von Nina Aeschbacher wurden alle 22 Proben gesiebt und in Grob- und Feinmaterial aufgeteilt. Anschliessend wurden von 10 von den 22 Proben bereits 4g gemahlen, welche mit 0.9g Wachs vermischt wurden und mit dem Pillenpressgerät zu Pillen für die XRF-Messung gepresst wurden. Für diese Arbeit haben wir zu zweit 6 Stunden gebraucht.

28.06.2025 – Labor Tag

Mit Hilfe von Nina Aeschbacher wurden die erneut getrockneten Proben der Alp Zeznina gesiebt und zusätzlich mit den noch nicht gemahlenen Proben gemahlen und

zu Pillen gepresst. In 5 Stunden konnten wir nebst dem erneuten Sieben 7 Proben mahlen und 10 Pillen pressen.

08.07.2025 – Labor Tag

Mit Hilfe von Nina Aeschbacher wurden die restlichen 12 Pillen gepresst und anschliessend mit der Vorbereitung für die Herstellung der Bodenlösung begonnen. Dafür wurden 20g der trockenen Probe mit 100g destilliertem Wasser vermischt und im Schüttelgerät geschüttelt. Danach wurden die hergestellten Lösungen gefiltert, der pH und die elektrische Leitfähigkeit gemessen. Für die 12 Pillen und die 8 hergestellten Lösungen wurde 9 Stunden Arbeit im Labor benötigt.

09.07.2025 – Labor Tag

Von den restlichen 14 Proben wurde die Bodenlösung hergestellt und der pH und die elektrische Leitfähigkeit gemessen. Anschliessend wurden je drei Standards für die IC-Messungen hergestellt, das Programm des ICs vorprogrammiert und die Bodenlösungen in die Reagenzgläser abgefüllt.



Abbildung 46: Mit Proben vorbereitete Reagenzgläser für die IC-Messung an der Kantonsschule Wattwil

21.08.2025 - Exkursion

Zusammen mit Rolf Heeb konnten alle XRF-Pillen für die Analyse in die EAWAG gebracht werden und anschliessend das Analyseverfahren beobachtet werden.

23.08.2025 – Labor Tag

Mit Hilfe von Aline Zahner konnten alle IC-Daten ausgewertet werden und als Excel-Datei exportiert werden.

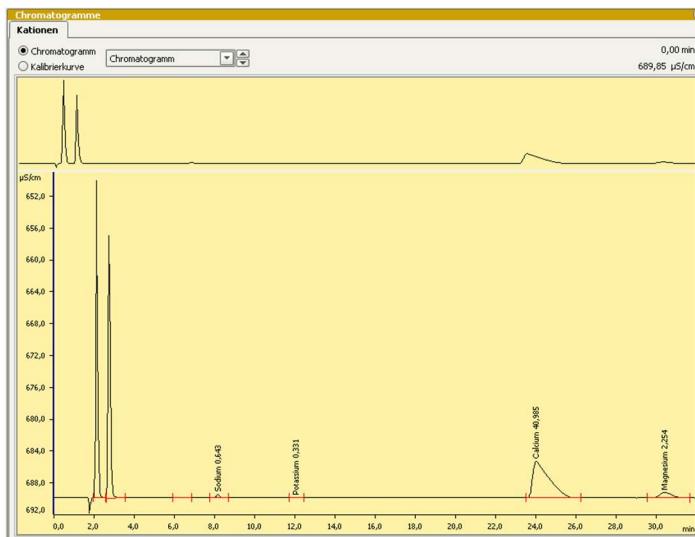


Abbildung 47: Darstellung der Peaks für die Auswertung der IC-Messung

28.09.2025 – Labor Tag

Es mussten erneut Bodenlösungen von allen Proben hergestellt werden. Dafür wurde wieder mit dem Schüttelgerät gearbeitet und anschliessend die Lösungen mehrfach filtriert. Für die ganze Arbeit wurde 9 Stunden Arbeit benötigt.

29.09.2025 – Labor Tag

Für die Phosphat-Analyse wurden die Lösungen für die Kalibrierungsgerade hergestellt und anschliessend mit dem Spectrophotometer der Kantonsschule Wattwil gemessen und eine Kalibrierungsgerade hergestellt. Für die Vorbereitung und die Analyse wurden 4 Stunden Arbeit benötigt.



Abbildung 48: Lösungen für die Kalibrierungsgerade nach der Reaktion mit dem Molybdän

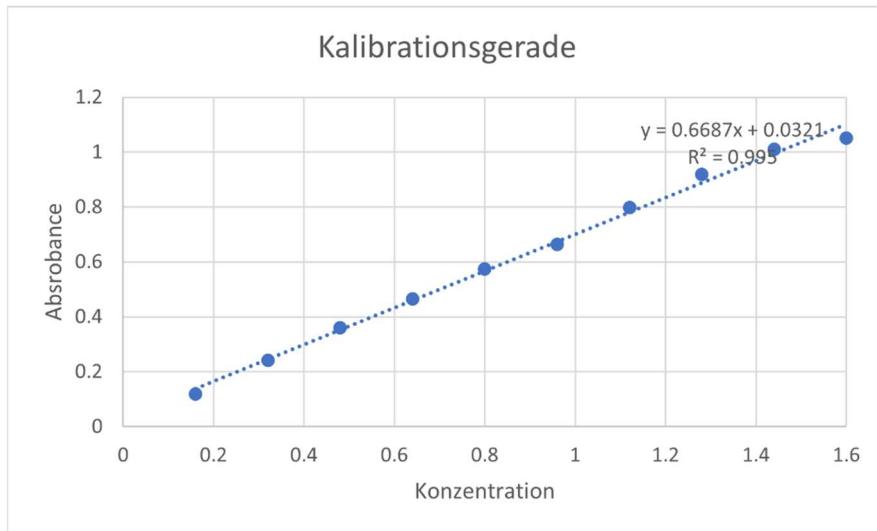


Abbildung 49: Kalibrierungsgerade für die Phosphatmessung

30.09.2025 – Labor Tag

Für die Phosphatmessung wurden alle Proben nach Anleitung mit Schwefelsäure angesäuert, für 30min gekocht, abgekühlt und mit den weiteren Lösungen vermischt. Anschliessend wurden die Proben in Kristallglasküvetten abgefüllt und im Spectrophotometer der Kantonsschule Wattwil gemessen. Für die Vorbereitung und Messung aller Daten wurden 6h benötigt.



Abbildung 50: Spectrophotometer der Kantonsschule Wattwil

Rohdaten der Röntgenfluoreszenz-Messungen

Tabelle 2: Rohdaten der XRF-Analyse Teil 1

Element Einheit	Na %	Mg %	Al %	Si %	P mg/kg	S mg/kg	Cl mg/kg	K mg/kg	Ca %	Ti %	V mg/kg	Cr mg/kg	Mn mg/kg	Fe %	Co mg/kg	Ni mg/kg	Cu mg/kg
B1	< 0.010	0.5233	3.602	27.94	463.8	670.3	80.9	20300	0.5741	0.1226	26.4	15	194.5	1.102	16.1	33.1	5.4
B2	< 0.010	0.6961	4.869	28.3	900.1	1033	74.7	24180	0.4492	0.19	53.7	25.5	1639	1.79	12.2	38.5	11.3
B3	< 0.010	0.4209	5.026	31.42	629.2	572	34.4	24570	0.1379	0.1812	39.9	22.7	427.4	1.459	13.9	35.9	3.8
B4	< 0.010	0.7737	3.924	30.97	641.1	779.4	62.8	22210	1.005	0.131	29.3	15.7	233	1.164	10.6	33.2	6.9
B5	< 0.010	0.4925	5.401	32.51	658.2	619.8	36.5	27330	0.1744	0.187	37.1	20.8	324.8	1.612	16.2	36.7	6.5
B6	< 0.010	0.6974	5.148	31.66	477.6	510.1	34.7	25750	0.5776	0.1532	40.6	35.8	332.7	1.625	9.5	35.9	7.7
B7	< 0.010	0.4872	4.505	30.99	549.4	704.2	39.1	24050	0.4086	0.144	25.7	16.6	292.2	1.402	10.8	34	4.9
B8	< 0.010	0.4495	4.802	31.3	688	770.8	59.2	22980	0.2223	0.1797	34.1	18.9	462.4	1.382	12	35.4	6.4
B9	< 0.010	0.4437	4.779	34.74	416.2	419.5	33.7	21840	0.07248	0.1854	31.2	18.2	477.9	1.308	11.4	34.2	2.7
B10	< 0.010	0.3827	4.318	32.36	561.7	620.4	73.3	20480	0.1649	0.1429	33.9	37.2	347.4	1.47	11.5	35	4.8
Z1	0.4923	1.171	5.584	21.63	2070	1507	98.1	15490	1.387	0.4237	96.6	65.6	510.7	2.987	22.4	52.7	15.1
Z2	0.1759	0.6039	3.979	17.05	2020	1973	121.1	11390	1.117	0.3823	76.5	46.2	1392	1.996	76.9	41.5	15.9
Z3	0.2057	0.4521	2.979	14.29	2491	2653	165.2	8631	1.01	0.2854	61.5	39.7	3088	1.592	75.8	39.9	15.9
Z4	0.3138	0.5281	4.31	21.98	2012	1834	75	13540	0.9293	0.3375	75.4	43.5	2572	1.73	44.6	39	14.4
Z5	0.02948	0.4572	2.98	11.98	2129	2265	162.2	9025	0.8626	0.2572	59.4	36.4	779.1	1.674	249.1	42.4	11
Z6	0.993	1.541	5.22	20.09	2441	1478	103.8	13230	2.416	0.5402	118.8	74.9	1074	3.99	83.9	61.1	23.1
Z7	0.0817	0.6723	2.989	14.91	3308	3076	125.9	9501	1.44	0.2734	66.1	42.1	3759	2.015	78.1	45.2	20.9
Z8	< 0.010	0.3047	2.948	12.74	2027	2081	121.9	11080	0.7879	0.2499	62.2	38.1	368.7	1.427	393.2	47.1	10.9
Z9	0.5287	1.672	6.963	23.09	1553	860.8	69.3	21890	1.134	0.387	101.4	69.5	986	3.471	164.4	61.5	23.4
Z10	1.071	1.492	6.891	25.39	1428	787.5	80.2	19130	1.461	0.4453	101.1	69.7	661.9	3.666	80.3	59.1	21.7

Tabelle 3: Rohdaten der XRF-Analyse Teil 2

Zn mg/kg	Ga mg/kg	Ge mg/kg	As mg/kg	Se mg/kg	Br mg/kg	Rb mg/kg	Sr mg/kg	Y mg/kg	Zr mg/kg	Nb mg/kg	Mo mg/kg	Ag mg/kg	Cd mg/kg	Sn mg/kg	Sb mg/kg	Te mg/kg	I mg/kg
65.3	8.3	< 0.5	8.5	< 0.5	3.6	96	12.9	14	85.7	6.7	3.5	< 2.0	2.5	< 2.0	20.1	19.2	19.3
250.5	10.2	< 0.5	25.9	< 0.5	5.1	122	20.6	16.9	218	9.9	5.2	< 2.0	0.6	< 2.0	16.8	21.8	18.5
63.9	11.5	< 0.5	11.4	< 0.5	2	133.1	14.2	17.3	226.6	10.1	< 1.0	< 2.0	< 2.0	< 2.0	19	24.1	20
76.6	9.1	< 0.5	11.6	< 0.5	3.3	103.9	15.5	15.4	176	8.5	< 1.0	< 2.0	1.9	< 2.0	16.6	25.9	19.3
81.7	9.7	< 0.5	16.9	< 0.5	3.2	137.3	15.7	18.4	209	10.8	< 1.0	< 2.0	2.3	< 2.0	18.8	24.9	18
68.1	11.7	< 0.5	10.3	< 0.5	2.5	124.4	13.8	17.9	188.8	9	< 1.0	< 2.0	0.6	< 2.0	10.7	19.7	< 3.0
93.8	10.9	< 0.5	13	< 0.5	3.7	117.1	12.9	16.6	180.9	8.9	3.8	< 2.0	1.8	< 2.0	20.2	27.4	24.8
81.6	9.5	< 0.5	19.1	< 0.5	3.1	122.5	15.4	15.6	189	9.8	< 1.0	< 2.0	2.2	< 2.0	17.2	20.7	17.9
46.2	8.4	< 0.5	12.5	< 0.5	1.7	107.3	12.8	15.9	199.1	10.5	< 1.0	< 2.0	1.4	< 2.0	12.3	16.3	17.8
53.7	8.9	< 0.5	7.1	< 0.5	1.8	100.1	12.9	14.7	166.7	8.2	< 1.0	< 2.0	2	< 2.0	21.2	23.7	< 3.0
80.2	16.1	< 0.5	4.5	< 0.5	4.8	112.2	118.9	21.2	150.8	14.1	5.6	< 2.0	1.4	< 2.0	13.5	20.5	17.8
104.1	13.5	< 0.5	3.7	< 0.5	4.1	84.3	92.8	14.3	203.8	12.4	< 1.0	< 2.0	0.8	< 2.0	12.3	15.1	14.6
121.5	10.7	< 0.5	2.4	< 0.5	4.5	49.3	75.4	11.8	160.9	10.5	< 1.0	< 2.0	0.6	< 2.0	18	23.6	15.6
92.4	14.1	< 0.5	3.8	< 0.5	3.3	85.5	88.1	12.5	187.1	11.3	< 1.0	< 2.0	0.8	< 2.0	18.1	25.2	17
71	11.2	< 0.5	2.2	< 0.5	4.4	61.8	79.8	12.2	152.4	9.8	< 1.0	< 2.0	0.2	< 2.0	20.7	26.1	14.7
110.6	14.8	< 0.5	3	< 0.5	2.8	95.5	152.4	23.7	146.9	16.4	< 1.0	< 2.0	3.1	< 2.0	11.7	15.2	< 3.0
192.7	11.2	< 0.5	1.7	< 0.5	4.6	78.5	92.3	13	142.1	9.7	< 1.0	< 2.0	1.6	< 2.0	14	20.3	15.5
62.1	12.3	< 0.5	1.7	< 0.5	4.1	82.8	85.8	13.1	133.5	9.6	< 1.0	< 2.0	< 2.0	< 2.0	17.8	27.3	17.5
106.8	18.9	< 0.5	6.2	< 0.5	2.7	131.2	160.2	26.8	154.4	14	< 1.0	< 2.0	1.3	< 2.0	9.1	16.6	13.7
84.9	18.1	< 0.5	5.1	< 0.5	2.7	111.2	160.1	25.8	176	14.7	< 1.0	< 2.0	1.9	< 2.0	12.4	20.5	18.4

Tabelle 4: Rohdaten der XRF-Analyse Teil 3

Cs	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Hf	Ta	W	Hg	Tl	Pb	Bi	Th	U	Summenkonzentration
mg/kg	%														
68.2	228.2	102	< 2.0	2.7	25.1	9.6	1.7	515.5	< 1.0	1.8	42.5	< 1.0	10.2	2.6	36.2
< 4.0	394.2	140	< 2.0	2.2	33.7	8.9	< 1.0	370.3	< 1.0	2.2	133	< 1.0	10.7	2.8	39.3
< 4.0	437.6	< 2.0	< 2.0	6	45.9	10.8	6.4	341.8	< 1.0	1.7	58.1	< 1.0	12	2.1	41.4
< 4.0	278.1	< 2.0	< 2.0	3.8	27.5	9.9	< 1.0	515.3	< 1.0	1.9	46.8	0.3	10.4	1.9	40.5
< 4.0	408.1	< 2.0	60.6	15.9	30.1	10.8	2.6	248.2	< 1.0	1.9	157.3	< 1.0	13	2.5	43.4
< 4.0	362.9	118	< 2.0	0.9	32.8	7	< 1.0	130.8	< 1.0	1.6	64.2	< 1.0	11.6	2.1	42.7
< 4.0	317.2	174	84.7	11.4	20.6	8.9	4.3	313.5	< 1.0	1.6	82.5	< 1.0	11.5	2.1	40.7
< 4.0	401.2	< 2.0	72	15	29.9	10.4	2.1	500.2	< 1.0	2.2	131.9	< 1.0	10.4	2.1	41.0
< 4.0	267.3	< 2.0	119.8	16.7	27.3	10.1	6.1	181.9	< 1.0	1.6	110	< 1.0	10.8	1.6	44.0
< 4.0	347.8	151	< 2.0	1.6	24.4	8.4	3.8	220.8	< 1.0	1.5	44	< 1.0	10	1.7	41.2
< 4.0	442.9	< 2.0	< 2.0	7.9	34.7	10.6	3.8	246.7	< 1.0	1.6	31.4	< 1.0	8.4	4.7	35.8
< 4.0	428.8	< 2.0	< 2.0	5.8	29.6	10.3	2.5	237.4	< 1.0	1.2	34.5	< 0.3	6.2	2.9	27.2
68.7	478.1	< 2.0	< 2.0	6.4	18.4	7.5	2.3	191.6	< 1.0	0.9	39.1	< 1.0	4.8	2.3	22.7
< 4.0	494.6	< 2.0	< 2.0	5.1	25.7	9	2.2	342	< 1.0	1.7	37.2	0.5	5.9	3.1	32.3
< 4.0	376.5	< 2.0	< 2.0	5.3	23.4	7.2	2.9	198.6	1	1.1	50.9	< 0.3	5.3	2.6	19.8
< 4.0	416.6	< 2.0	< 2.0	8.3	40.6	9.8	4.7	235.2	< 1.0	1.2	28.7	< 1.0	6.5	1.3	36.8
< 4.0	528.9	< 2.0	< 2.0	6.5	22.9	7.6	1.1	113.7	< 1.0	1	38.1	0.4	5.1	2.9	24.5
< 4.0	371.3	< 2.0	< 2.0	2.7	21.4	9.5	2.9	382.6	< 1.0	1.4	30.1	0.5	6.4	4.8	20.2
< 4.0	583.4	< 2.0	< 2.0	8.2	49.7	10.4	1.9	225.6	< 1.0	1.6	28	0.6	11.2	3.2	40.0
< 4.0	530.3	125	< 2.0	4.3	47.4	11.8	5	175.2	< 1.0	1.7	27.1	< 1.0	10.1	3.2	42.8

Rohdaten des Ionenchromatographen

Tabelle 5: Rohdaten der Anionen-Messung vom IC-Gerät der Kantonsschule Wattwil

Be-stim-mungs-ID	Fluo-ride. Re-tenti-onszeit	Fluo-ride. Gauß-faktor	Fluo-ride. Kon-zentra-tion	Chlo-ride. Re-tenti-onszeit	Chlo-ride. Gauß-faktor	Chlo-ride. Kon-zentra-tion	Nitrit. Re-tenti-onszeit	Nitrit. Gauß-faktor	Nitrit. Kon-zentra-tion	Nitrate. Re-tenti-onszeit	Nitrate. Gauß-faktor	Nitrate. Kon-zentra-tion	Sul-fate. Re-tenti-onszeit	Sul-fate. Gauß-faktor	Sul-fate. Kon-zentra-tion
B1	3,49	0.813	5.141	5,01	0,863	8.518	5,96	0,849	0,457	8,81	0,888	2.084	13,57	0,711	17.775
B2	3,51	0.858	4.101	5,01	0,864	6.979	5,96	1,142	0,036	8,79	0,882	3.453	13,58	0,757	19.148
B3	3,49	0,899	3.981	5,00	0,860	4.823	5,94	1,156	0,021	8,81	0,852	1.64	13,57	0,720	19.033
B4	3,49	0,789	4.764	5,01	0,875	6.735	5,95	0,890	0,476	8,75	0,895	11.273	13,58	0,714	13.355
B5	3,49	0,907	3.572	5,00	0,844	5.488	5,95	1,177	0,017	8,80	0,844	1.965	13,56	0,736	14.779
B6	3,49	0,815	2.497	5,00	0,853	4.995	5,95	1,073	0,066	8,81	0,855	1.265	13,56	0,697	9.169
B7	3,49	0,842	4.056	5,00	0,854	5.205	5,94	1,064	0,119	8,80	0,856	2.203	13,54	0,679	14.146
B8	3,49	0,883	1.559	5,00	0,842	6.583	5,93	1,078	0,083	8,83	0,848	0.923	13,53	0,662	17.002
B9	3,49	0,768	2.724	5,00	0,837	4.744	6,20	0,919	0,059	8,84	0,861	0.539	13,53	0,693	17.413
B10	3,48	0,885	3.401	5,00	0,832	6.869	5,94	1,447	0,061	8,83	0,836	0.774	13,52	0,671	14.137
Z1	3,48	0,949	1.569	5,00	0,837	5.475	5,92	1,160	0,018	8,74	0,844	10.575	13,52	0,682	13.568
Z2	3,49	0,841	3.195	5,00	0,837	6.673	6,21	0,958	0,077	8,80	0,851	3.714	13,52	0,673	21.413
Z3	3,48	1,080	3.192	5,00	0,842	7.064	6,20	0,949	0,107	8,81	0,851	2.612	13,51	0,666	31.351
Z4	3,49	0,792	2.438	5,00	0,839	6.795	6,19	0,892	0,09	8,75	0,848	8.322	13,50	0,676	20.233
Z5				5,00	0,838	15.715				8,81	0,876	3.914	13,49	0,679	45.754
Z6	3,49	0,869	4.89	5,00	0,853	7.67	5,94	1,164	0,343	8,71	0,863	41.563	13,51	0,638	17.92
Z7	3,46	1,009	3.019	5,00	0,846	8.679	6,20	0,945	0,288	8,75	0,858	26.529	13,49	0,688	43.063
Z8	3,47	1,193	5.233	4,99	0,826	10.807	6,18	0,889	0,171	8,81	0,862	3.248	13,45	0,693	42.492
Z9	3,46	0,976	0.978	4,99	0,823	6.838	5,92	1,160	0,019	8,67	0,836	33.863	13,46	0,685	12.905
Z10	3,47	0,870	1.477	4,99	0,813	7.621	6,18	0,917	0,055	8,75	0,832	7.2	13,44	0,658	15.169

Tabelle 6: Rohdaten der Kationen-Messung vom IC-Gerät der Kantonsschule Wattwil

I-dent	Sodium. Re-tenti-onszeit	Sodium. Gauß-faktor	Sodium. Kon-zentra-tion [mg/l]	Ammo-nium. Re-tenti-onszeit	Ammo-nium. Gauß-faktor	Ammo-nium. Kon-zentra-tion [mg/l]	Ammo-nium. a(0,044)	Potas-sium. Re-tenti-onszeit	Potas-sium. Kon-zentra-tion [mg/l]	Potas-sium. Retenti-onszeit	Cal-cium. Gauß-faktor	Cal-cium. Kon-zentra-tion [mg/l]	Magne-sium. Re-tenti-onszeit	Magne-sium. Gauß-faktor	Magne-sium. Kon-zentra-tion [mg/l]
B1	8,22	0,968	7.208	9,14	0,982	4.038	0,19	12,14	15.316	23,94	0,969	36.626	29,54	0,976	14.738
B2	8,22	0,967	8.09	9,14	0,983	2.651	0,19	12,17	3.412	23,92	0,971	38.227	29,59	0,978	13.885
B3	8,21	0,968	7.142	9,13	0,980	2.883	0,19	12,15	5.181	24,32	0,981	21.393	30,05	0,989	6.996
B4	8,21	0,971	6.934	9,13	0,984	4.721	0,19	12,13	17.741	23,87	0,973	39.706	29,44	0,979	16.322
B5	8,21	0,971	7.687	9,12	0,988	2.134	0,19	12,15	3.579	24,24	0,974	23.835	29,97	0,988	7.424
B6	8,21	0,972	7.023	9,12	0,972	1.168	0,19	12,16	1.408	24,21	0,976	24.929	29,76	0,983	10.648
B7	8,21	0,973	6.702	9,13	0,976	2.123	0,19	12,16	4.427	24,05	0,973	31.614	29,67	0,987	12.33
B8	8,21	0,972	6.748	9,12	0,988	2.263	0,19	12,15	7.28	24,10	0,975	29.403	29,90	0,993	8.47
B9	8,21	0,972	6.627	9,12	0,989	1.376	0,20	12,16	2.166	24,54	0,988	13.714	30,22	1,001	4.34
B10	8,24	0,973	7.05	9,16	0,985	1.821	0,19	12,20	4.433	24,37	0,986	20.083	30,06	0,992	7.003
Z1	8,22	0,974	7.454	9,13	0,986	2.79	0,19	12,16	9.192	24,54	0,978	13.623	30,23	0,999	4.325
Z2	8,22	0,963	8.878	9,14	0,982	6.372	0,20	12,15	11.781	24,39	0,985	17.307	30,00	1,000	6.81
Z3	8,22	0,974	7.093	9,18	0,987	15.747	0,22	12,16	14.815	24,36	0,983	19.606	30,09	1,000	6.091
Z4	8,22	0,973	8.35	9,14	0,988	4.925	0,19	12,16	11.455	24,51	0,986	14.029	30,10	0,994	5.823
Z5	8,22	0,972	8.38	9,23	1,002	28.837	0,26	12,14	32.948	24,55	0,990	13.173	30,18	1,002	5.188
Z6	8,22	0,972	8.278	9,15	0,978	7.883	0,20	12,14	34.402	23,93	0,976	35.447	29,50	0,989	15.682
Z7	8,22	0,972	7.711	9,24	1,003	30.859	0,27	12,12	55.994	24,02	0,976	31.407	29,76	0,988	11.009
Z8	8,23	0,970	8.854	9,22	0,994	23.095	0,24	12,16	32.163	24,27	0,984	21.273	30,02	1,002	7.039
Z9	8,22	0,973	8.043	9,17	0,985	10.892	0,21	12,18	21.043	24,46	0,998	15.407	30,14	0,993	5.846
Z10	8,22	0,971	8.043	9,14	0,988	4.649	0,19	12,17	16.255	24,48	0,995	14.145	30,08	1,010	5.859

Rohdaten der Phosphatmessung

Tabelle 7: Rohdaten der Phosphatmessung der Alp Buffalora

Proben-ID	Absorbance	Standardabweichung	Phosphorkonzentration [mg/L]	Standardabweichung	Phosphatkonzentration [mg/l]	Standardabweichung	Phosphatkonzentration [mg/kg]	Standardabweichung
dest. Wasser Orthophosphat 20	0.0012	0.00116619	0.017945267	0.01743966				
	0.6502	0.000979796	9.723343801	0.01465225				
B1*	0.2406	0.001019804	3.598026021	0.015250544	11.03222291	0.046761031	55.16111453	0.233805153
B1	0.2428	0.0004	3.630925677	0.005981756	11.13309942	0.018341185	55.66549712	0.091705926
B2	0.0418	0.0004	0.607148198	0.005981756	1.861630299	0.018341185	9.308151496	0.091705926
B3	0.2466	0.000489898	3.669807088	0.007326125	11.25231713	0.022463273	56.26158564	0.112316363
B4	0.5232	0.000748331	7.806191117	0.01119084	23.9352467	0.034313216	119.6762335	0.171566078
B5	0.1528	0.000748331	2.26708539	0.01119084	6.951309196	0.034313216	34.75654598	0.171566078
B6	0.057	6.93889E-18	0.834454913	1.03767E-16	2.558595337	3.18169E-16	12.79297669	1.59084E-15
B7	0.1358	0.0004	2.012860775	0.005981756	6.171808824	0.018341185	30.85904412	0.091705926
B8	0.3308	0.000979796	4.928966652	0.014652249	15.11313662	0.044926545	75.56568308	0.224632725
B9	0.0732	0.0004	1.076716016	0.005981756	3.301413338	0.018341185	16.50706669	0.091705926
B10	0.348	0.000894427	5.186182144	0.013375612	15.90180758	0.041012137	79.5090379	0.205060685

Tabelle 8: Rohdaten der Phosphatmessung der Alp Zeznina

Proben-ID	Absorbance	Standardabweichung	Phosphorkonzentration [mg/L]	Standardabweichung	Phosphatkonzentration [mg/l]	Standardabweichung	Phosphatkonzentration [mg/kg]	Standardabweichung
dest. Wasser	0	0						
Standard	0.1334	0.000489898	1.95005234	0.007326125	5.97922638	0.02246327		
Z1	0.063	0	0.942126514	0	2.88873667	0	14.44368336	0
Z2	0.1678	0.026232804	2.509346493	0.392295557	7.6941272	1.20285179	38.47063598	6.014258935
Z3	0.3346	0.0008	5.003738597	0.011963511	15.3424014	0.03668237	76.71200715	0.183411852
Z4	0.1008	0.000748331	1.507402423	0.01119084	4.62197867	0.03431322	23.10989337	0.171566078
Z5	0.2922	0.000748331	4.369672499	0.01119084	13.3982358	0.03431322	66.99117899	0.171566078
Z6	0.9342	0.000748331	13.97039031	0.01119084	42.8358381	0.03431322	214.1791903	0.171566078
Z7	0.6088	0.002993326	9.104232092	0.04476336	27.9152839	0.13725286	139.5764195	0.686264311
Z8	0.278	0.000632456	4.157320173	0.009457986	12.7471237	0.02899996	63.73561862	0.144999801
Z9	0.2116	0.0008	3.164348736	0.011963511	9.70248698	0.03668237	48.51243489	0.183411852
Z10	0.099	0.000632456	1.480484522	0.009457986	4.53944334	0.02899996	22.6972167	0.144999801