

Projektbericht

Mikroplastik in Landwirtschaftlichen Böden

Auftraggeber:	Institut für Biomasse und Ressourceneffizienz Dr. Misato Toda Bahnhofstrasse 6 5210 Windisch
Projektleiter:	Calvin Strebel
Projektcoach:	Prof. Dr. Petar Mandaliev Institut für Biomasse und Ressourceneffizienz FHNW Brugg-Windisch
Projektnummer:	EUT-P3-22HS-08
Starttermin:	23.09.2022
Abgabe:	23.12.2022
Version:	1.2

Management Summary

Plastik ist dank seiner vielfältigen Eigenschaften omnipräsent und von der modernen Gesellschaft nicht mehr wegzudenken. Doch seine Entsorgung stellt ein globales Problem dar. Ca. 79 Prozent des weltweit produzierten Plastiks landen aufgrund der schlechten Entsorgungsinfrastruktur in vielen Ländern in der Umwelt. Dort angelangt, zerfällt Plastik aufgrund verschiedener chemischer und physikalischer Prozesse. Sind die zerfallenen Plastikstücke kleiner als fünf Millimeter werden sie als Mikroplastik bezeichnet. Diese stellen eine Belastung für die Umwelt dar, dessen Ausmass noch nicht klar ist. Mikroplastik in marinen Ökosystemen wurde intensiv untersucht. Über Mikroplastik in Böden fehlen Studien allerdings weitgehend. Die FHNW hat darum das Projekt «MIRACLE» lanciert, zu welchem auch diese Projektarbeit gehört.

Das Ziel dieser Projektarbeit ist es herauszufinden, welche Arten und welche Formen von Mikroplastik in landwirtschaftlichen Böden vorkommen. Zusätzlich untersucht wird ein allfälliger Zusammenhang der Mobilität von Mikroplastik und den Bodeneigenschaften. Dafür wurden an 30 Standorten Bodenproben aus drei verschiedenen Tiefen von 0 bis 90 cm gesammelt und zur Analyse aufbereitet. Das Projekt wurde in drei Phasen gegliedert: Die Recherchephase, die Analysephase und die Auswertungsphase.

Aus der Recherchephase ging hervor, dass für landwirtschaftlich genutzte Felder Mulchfolie die Hauptquelle für Mikroplastik ist. Ausserdem beeinflussen die chemischen und physikalischen Eigenschaften des Plastiks den Zerfall und die Mobilität. Bei der Bildung von sekundärem Mikroplastik ist Licht der wichtigste Faktor. Die vertikale und horizontale Mobilität von Mikroplastik ist abhängig von den Bodeneigenschaften. Externe Einflüsse wie landwirtschaftliche Maschinen und biologische Einflüsse wie Organismen spielen ebenfalls eine wichtige Rolle. Mikroplastik interagiert je nach Eigenschaften, Grösse und Form unterschiedlich mit Schadstoffen. Ausserdem beeinflusst Mikroplastik die chemischen, sowie physikalischen Eigenschaften des Bodens und hat Auswirkungen auf den Nährstoffkreislauf von Pflanzen und Tieren.

Die Analyse der pH-Werte haben ergeben, dass die am Feld angrenzende Strasse und der Fluss einen Einfluss auf den pH-Wert des Bodens haben. Bei der Analyse der Bodenproben mit dem FTIR-Spektrometer wurden folgende vier Plastikarten gefunden: Epoxidharz, Polystyrol, Polycaprolactam und Polyvinylchlorid. Um weitere Schlüsse für das Projekt «MIRACLE» zu ziehen, müssen die Daten der Mikroplastikextraktion und der chemischen Analyse der Bodenproben abgewartet und miteinbezogen werden. Dafür reichte die während dem Modul *Projekt 3* zur Verfügung stehende Zeit nicht aus. Das Projektteam empfiehlt für den weiteren Verlauf des Projekts «MIRACLE» auf eine gute Zeitplanung zu achten. Dadurch kann die Messgenauigkeit gesteigert und der Zeitaufwand verringert werden.

Glossar

Begriff	Definition
Absorption	Aufnahme eines Stoffes in das Innere eines Objekts
Adsorption	Anlagerung eines Stoffes an eine feste Oberfläche
Aggregatsstabilität	Fähigkeit eines Bodens, die Bewegung und Speicherung von Luft und Wasser im gesamten Bodenprofil zu regulieren
Fenton-Reaktion	Die Fenton-Reaktion ist eine durch Eisensalze katalysierte Oxidation organischer Substrate mit Wasserstoffperoxid in saurem Medium (<i>Fenton-Reaktion</i> , o. J.)
FHNW	Fachhochschule Nordwestschweiz
FTIR-Spektrometer	Fourier-Transform-Infrarot-Spektrometer
hydrophob	wasserabweisend, nicht wasserlöslich
Klärschlamm	Schlamm, der bei der Behandlung von Abwasser in Abwasserreinigungsanlagen entsteht.
Mesoplastik	Plastikteilchen der Grösse 5mm bis 25mm
Mobilität von Mikroplastik	Die Bewegung von Mikroplastikpartikeln in ihrer Umwelt
MP	Mikroplastik
Mulchfolie	Kunststoffolie, welche den Boden eines Beets/Ackerfläche abdeckt, um bessere Wachstumsbedingungen zu schaffen
Persistenter organischer Schadstoff (POP)	Organische Verbindung, welche in der Natur nur langsam abgebaut wird, sich in Organismen anreichern kann und dort negative Auswirkungen haben kann (Persistent Organic Pollutants).
Photooxidation	Oxidationsreaktion, welche durch photometrische Strahlung ausgelöst wird.
Research-Article	Wissenschaftliche Artikel, welche sich mit einem bestimmten Thema beschäftigen
Retentat	Als Retentat wird das Fluid bezeichnet, das beim Trennprozess von der Membran zurückgehalten wird. (<i>Retentat</i> , o. J.)
Review-Article	Wissenschaftliche Arbeit, die das gesamte verfügbare Wissen über ein bestimmtes Thema, basierend auf bestehenden Studien, zusammenstellt.
TIC	Gesamter anorganischer Kohlenstoff (Total Inorganic Carbon)
TOC	Gesamter organischer Kohlenstoff (Total Organic Carbon)
ZHAW	Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	1
1.1	Ausgangslage	1
1.2	Ziel des Projekts	3
2.	Methodik	4
2.1	Allgemeines Vorgehen	4
2.2	Literaturrecherche	4
2.3	Entnahme der Bodenproben	5
2.4	Vorbereitung der Bodenproben	7
2.5	Bodenanalyse	9
2.5.1	Messung pH-Wert	9
2.5.2	Extraktion Mikroplastik	10
3.	Ergebnisse und Diskussion	11
3.1	Grundlagen Mikroplastik	11
3.1.1	Eintragspfade von Mikroplastik	11
3.1.2	Eigenschaften von Mikroplastik	13
3.1.3	Mobilität von Mikroplastik	15
3.1.4	Zusammensetzung und Oberflächenbeschaffenheit	17
3.1.5	Folgen von Mikroplastik im Boden	18
3.2	Analyse der Bodenproben	20
3.2.1	Messung pH-Wert	20
3.2.2	Extraktion von Mikroplastik	26
3.3	Diskussion	28
4.	Zusammenfassung	31
5.	Ausblick	33
6.	Danksagung	34
7.	Verzeichnisse	35
7.1	Literaturverzeichnis	35
7.2	Abbildungsverzeichnis	37
7.3	Tabellenverzeichnis	38
8.	Ehrlichkeitserklärung	39
9.	Anhang	40

1. Einleitung

Dieser Bericht entstand im Rahmen des Moduls *Projekt 3* des Studiengangs «Energie- und Umwelttechnik» an der Fachhochschule Nordwestschweiz. Das Projekt ist Teil des übergeordneten Forschungsprojekts «MIRACLE» der FHNW. «MIRACLE» sucht Methoden zum Nachweis und zur Untersuchung von Mikroplastik und seiner Mobilität in landwirtschaftlichen Böden. Zudem dient es den Studierenden sich im Projektmanagement weiterzuentwickeln und gelerntes anzuwenden.

Das Projektteam konnte während der Arbeit am Projekt viel über das wissenschaftliche Arbeiten, Arbeiten im Labor, sowie über Mikroplastik lernen. Jedes Projektmitglied konnte sich fachlich, wie auch persönlich weiterentwickeln.

1.1 Ausgangslage

Plastik ist in der modernen Gesellschaft längst zu einem unverzichtbaren Produkt geworden. Täglich profitieren Menschen von vielfältigen Produkten aus Plastik. Trotz der Omnipräsenz von Plastik stellt seine Entsorgung immer noch ein weltweites Problem dar. Die schlechte Entsorgungsinfrastruktur in vielen Ländern der Welt führt dazu, dass Unmengen an Plastik in die Umwelt gelangt. Die Verschmutzung der Ozeane durch Plastik ist längst zu einem globalen Thema geworden. Im vergangenen Jahrzehnt fand auch die Verschmutzung der Landflächen immer mehr Beachtung.

Laut (Yang et al., 2022) wird weltweit nur 9 Prozent des produzierten Plastiks recycelt, 12 Prozent wird thermisch verwertet und die restlichen 79 Prozent gelangen in die Umwelt. Diese Anhäufung von Plastik stellt eine Gefahr für viele Ökosysteme dar. Plastik ist nicht biologisch abbaubar. Er zerfällt durch äussere Einflüsse wie Licht, Temperatur, Luft, Wasser und mechanische Einflüsse, wie Reibung, in kleinere Stücke (Zhang et al., 2021). Ist ein Plastikstück kleiner als fünf Millimeter in Durchmesser, wird es als Mikroplastik bezeichnet. Diese können von Organismen aufgenommen werden und reichern sich in den Nahrungsnetzen an (Qi et al., 2020). Laut (Qiu et al., 2022) ist der jährliche Eintrag von Mikroplastik in die Böden der Erde vier bis dreiundzwanzig Mal höher als jener in die Ozeane. Auch die Gesamtmenge übertrifft die der Hydrosphäre bei weitem.

Mit der schnellen Entwicklung der globalen Plastikindustrie ist die weltweite Plastikproduktion stark angestiegen. Wie in Abbildung 1 ersichtlich stieg sie von 1.5 Millionen Tonnen im Jahre 1950 auf 367 Millionen Tonnen im Jahre 2022. Die totale summierte Plastikproduktion seit

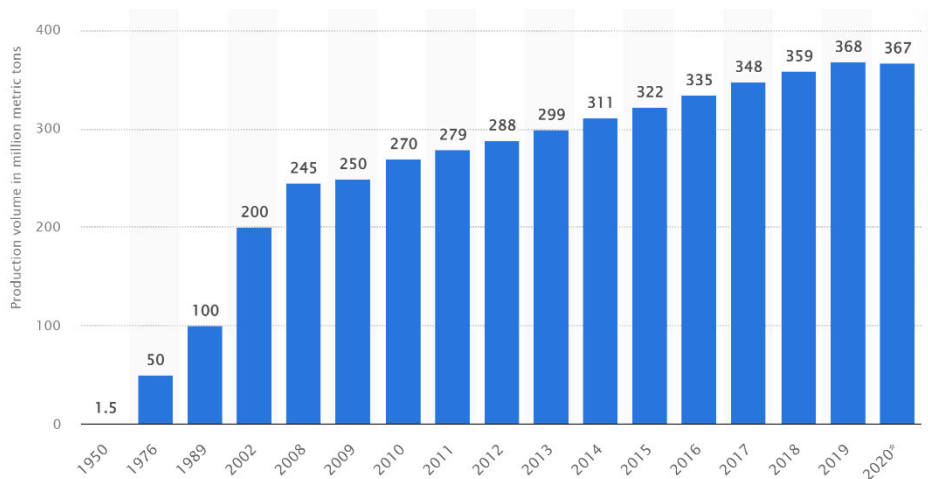


Abbildung 1: Globale Plastikproduktion von 1950 - 2022 (Tiseo, 2022)

1950 beträgt schätzungsweise 10 Mrd. Tonnen, von welchen 55 Prozent in Deponien auf dem Land, oder in den Ozeanen entsorgt worden sind. Laut einer Schätzung von (Qi et al., 2020) kommen 80 Prozent des Plastiks in den Ozeanen über verschiedene Wege (vgl. 3.1.1) vom Land her. Jährlich werden 8 Millionen Tonnen Plastik für die Landwirtschaft verwendet. Plastikfolien für den landwirtschaftlichen Gebrauch und kontaminierter organischer Dünger werden als die grössten Verursacher von Mikroplastik in landwirtschaftlichen Böden angenommen (Yang et al., 2022). Aufgrund des langsam ablaufenden Zerfallsprozesses der Kunststoffe ist unausweichlich mit einer progressiven Anreicherung von Mikroplastik in Böden zu rechnen. In Europäischen Landwirtschaftsflächen existiert bereits eine Mikroplastikkonzentration von 670 Teilen pro kg Oberboden. Auch in 90 Prozent der Schweizer Auen wurde Mikroplastik nachgewiesen (Qi et al., 2020).

Schweizweit werden jährlich ca. 16'000t Kunststoffe auf landwirtschaftlichen Flächen ausgebracht, von welchen etwa 160 Tonnen im Boden verbleiben. Die grössten Eintragspfade sind Littering, kontaminierte Gärreste und Kompostdünger. Diese Einträge führen zu Kunststoffkonzentrationen von bis zu 200 mg pro Kilogramm Boden. Kunststoffe bauen sich meistens nur langsam ab. Sie reichern sich in den Böden und Gewässern an und stellen somit eine noch nicht vollständig erforschte Gefahr für Mensch, Pflanze und Tier dar (Mandaliev, 2022). Die Forschung im Bereich von Nano- und Mikroplastik in landwirtschaftlichen Böden, dem Grundbaustein unserer Lebensmittelproduktion, ist somit eminent wichtig. Allerdings ist der Boden ein sehr komplexes Ökosystem, welches von vielen verschiedenen Faktoren abhängt. Es ist deshalb wichtig die Interaktionen in ihrer Gesamtheit genauer zu erforschen und zu verstehen.

1.2 Ziel des Projekts

Das Projektteam soll sich ein fundiertes Wissen über Mikroplastik, speziell in landwirtschaftlichen Böden aneignen. Anschliessend sollen an 30 Standorten eines bewirtschafteten Feldes Bodenproben aus 30, 60 und 90 Zentimeter Tiefe entnommen werden. Diese sollen aufbereitet und auf pH-Wert, elementare Zusammensetzung und Mikroplastik untersucht werden. Die dabei entstandenen Daten sollen auf eventuelle Korrelationen untersucht werden.

Dabei sollen folgende Fragen beantwortet werden:

- Welches sind die häufigsten Arten von MP in den Bodenschichten?
- In welcher Form liegt MP an der Oberfläche und in welcher Form in tieferen Bodenschichten vor?
- Wo findet der Abbau zu Mikroplastik statt?
- Welcher Zusammenhang besteht zwischen den Bodeneigenschaften und der Mobilität von Mikroplastik in Böden?

Weiter dienen die entnommenen Bodenproben und erhaltenen Resultate als Material für das übergeordnete Projekt «MIRACLE» der FHNW.

2. Methodik

Im folgenden Kapitel werden das allgemeine Vorgehen, die Methodik der Literaturrecherche, die Entnahme der Bodenproben und die Analyse derselben behandelt.

2.1 Allgemeines Vorgehen

Zu Beginn des Projektes wurde gemeinsam mit der Auftraggeberschaft und dem Projektcoach die Fragestellung geklärt und die Ziele des Projektes festgelegt. Um die Fragestellung bestmöglich beantworten zu können, wurde das Projekt in drei Phasen aufgeteilt.

Die erste Phase ist die Recherchephase. Dabei erarbeitete sich das Projektteam ein grundlegendes Wissen über Mikroplastik. Fokussiert hat man sich dabei auf Mikroplastik in landwirtschaftlichen Böden, dessen Eintragspfade, die Auswirkungen auf die Bodeneigenschaften und die Mobilität des Mikroplastiks im Boden.

In der zweiten Phase wurden Bodenproben gesammelt, welche dann im Labor aufbereitet und analysiert wurden. Die Analyse beinhaltete die Untersuchung des pH-Wertes des Bodens und die qualitative Messung des Mikroplastiks.

Die dritte und letzte Phase des Projektes beinhaltet die Auswertung der Daten aus der Analysephase. Die Daten wurden verglichen, diskutiert und aufbereitet, um die Fragestellungen bestmöglich beantworten zu können.

2.2 Literaturrecherche

Für die Literaturrecherche wurde ausschliesslich auf der Website: «Science Direct» recherchiert. Vor dem Beginn der Recherche wurden in Absprache mit dem Projektcoach Stichworte und Kategorien definiert, nach denen recherchiert werden sollte. Die Stichworte lauteten: «Microplastic» und «Soil». Man bezog sich dabei auf die Zeitschriften «Science of the total environment», «Environmental Pollution» und «Chemosphere».

Die Recherche beschränkte sich zuerst nur auf Review-Articles. Falls weitere Informationen benötigt wurden, griff man zusätzlich auf Research-Articles zurück. Diese Texte wurden gemäss ihrem Titel und dem Abstract auf ihre Relevanz überprüft. Die als gut beurteilten Artikel wurden notiert und vollständig gelesen. Relevante Informationen über die Artikel und eine Zusammenfassung wurden in einer Excel Tabelle erfasst. Auf Basis dieser Literaturrecherche wurden die Schlüsse in dieser Arbeit gezogen.

2.3 Entnahme der Bodenproben

Die Entnahme der Bodenproben wurde am 27. Oktober 2022 durchgeführt. Als Standort für die Entnahme der Bodenproben diente eine landwirtschaftliche Nutzfläche des Haldenhofs in Hallwil AG. Es handelt sich dabei um einen landwirtschaftlichen Betrieb auf Demeter-Standard. Die Fachhochschule Nordwestschweiz entnahm bereits für frühere Forschungsarbeiten Bodenproben von diesem Betrieb. Das ausgewählte Feld liegt in unmittelbarer Nähe des Flusses «Aabach», welcher nördlich des Feldes liegt. Im Osten wird das Feld durch eine Strasse abgegrenzt.

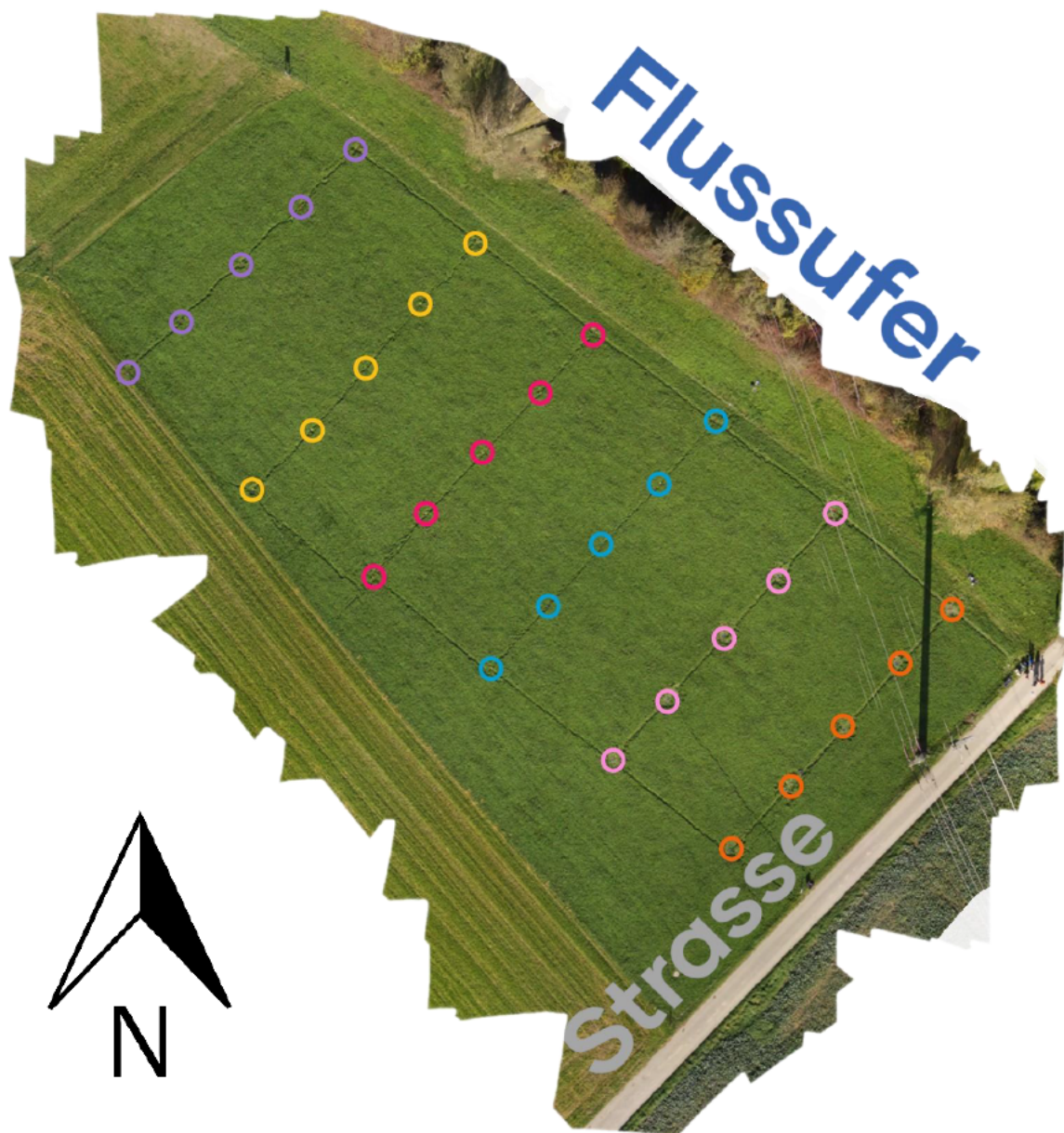


Abbildung 2: Aufnahme des Bereiches der Bodenproben. Die Standorte sind mit den farbigen Kreisen eingezeichnet.

Um eine aussagekräftige Sammlung von Bodenproben zu haben, wurden Bodenproben vom ganzen Feld entnommen. Dafür wurde ein Raster über das Feld gelegt. Die Abstände zwischen den verschiedenen Standorten der Bodenproben betragen längs zehn und quer achtzehn Meter. Ursprünglich sollte die Entfernung zwischen den Standorten mit einem Laser gemessen werden. Aufgrund des dichten Nebels, welcher am Morgen des Tages der Entnahme herrschte, war diese Messmethode nicht möglich und es musste auf ein Massband zurückgegriffen werden. So entstanden 30 Standorte, von welchen jeweils Proben von 0 bis 30 cm, 30 bis 60 cm und 60 bis 90 cm Tiefe entnommen wurden. Die gesamte Anzahl der Bodenproben belief sich somit auf 90 Stück. Für die spätere Analyse wurden zusätzlich acht weitere Proben in Ufernähe des Aabachs an vier verschiedenen Stellen entnommen.

Die Entnahme der Proben wurde mit Erdbohrstöcken nach Dr. Pürckhauer durchgeführt. Dabei handelt es sich um Erdbohrstäbe, welche am Ende ein Rohr mit U-Profil haben, mit dem die Erde ausgestochen werden kann. Um den Kohlenstoffanteil der Proben nicht zu verfälschen, wurden die oberste Erdschicht mit ihren Gräser und Wurzeln vor der Entnahme der Bodenproben entfernt. Danach konnten die Erdbohrstöcke mit einem Hammer in den Boden getrieben werden. Zuerst wurden die Proben bis zur Tiefe von 30 cm entnommen, danach die der Tiefe 60 cm und zum Schluss die 90 cm tiefen Proben. In unmittelbarer Nähe der Proben wurde jeweils zusätzlich eine weitere Probe entnommen, um die Dichte des Bodens zu messen. Aufgrund von Steinen im Boden mussten einige Standorte verschoben werden. Um die Werkzeuge nicht zu beschädigen, wurde zuerst mit einem Holzstab vorsondiert. So konnten Steine frühzeitig erkannt werden.

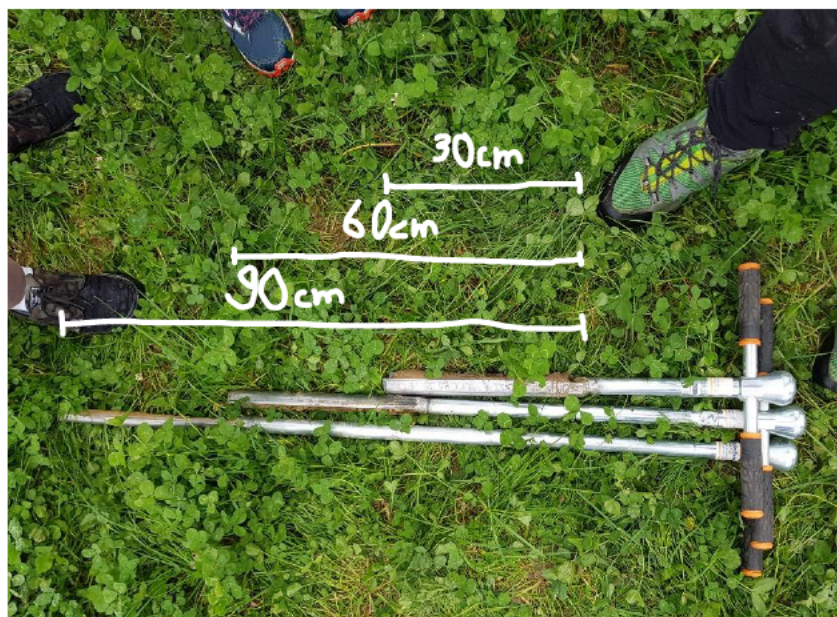


Abbildung 3: Entnommene Bodenproben in Pürckhauer-Tool

Nicht alle Bodenproben haben die gleiche Menge an Boden hervorgebracht. Zum Teil entstanden Löcher in den Proben. Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass ein Teil der Masse beim Herausziehen verloren geht, oder dass die Bodenproben im Erdbohrstab komprimiert wurden.



Abbildung 4: Bodenprobe mit Löchern

Damit die Bodenproben nicht verunreinigt wurden, traf man während der Entnahme einige Vorsichtsmassnahmen. Um die Bodenproben nicht durch Kunststoff zu kontaminieren, wurden sie in einen Behälter aus Glas gefüllt. Um die Kontamination durch Metalle zu vermeiden, wurde für das Abschaben der Proben aus dem Pürckhauer-Tool ein Keramikmesser verwendet. So konnten Metallspäne, welche durch das Aneinanderreiben zweier Metalle entstehen, vermieden werden.

2.4 Vorbereitung der Bodenproben

Im Labor wurden die Bodenproben in Aluminiumschalen gefüllt. In diesen konnten die Proben als erster Schritt der Vorbereitung zerkleinert werden. Das war nötig, damit die Stücke der Proben nicht zu gross sind. Ansonsten würden die zu grossen Stücke zu Problemen beim Mörsern der getrockneten Proben führen. Für das Zerkleinern in den Aluminiumschalen wurde ein Metallspatel verwendet. Die Proben wurden so weit verkleinert, bis sie kleiner als ein Zentimeter waren. Bereits bei diesem frühen Schritt der Analyse wurden erste Plastikstücke in den Bodenproben gefunden.



Abbildung 5: zerkleinerte und getrocknete Bodenprobe

Der nächste Schritt in der Aufbereitung war das Trocknen. Als letzter Teil der Vorbereitung wurden die bereits zerkleinerten Bodenproben mit einem Mörser weiter zerkleinert und danach gesiebt. Die Proben wurden in ein Metallsieb mit einem Gitterabstand von zwei Millimeter geschüttet. Sichtbare Steine und Wurzeln konnten somit bereits aussortiert werden. Die Wurzeln wurden entfernt, da diese den Kohlenstoffgehalt verfälscht hätten. Alles, was grösser als zwei Millimeter war, wurde in einen Keramikmörser geschüttet und weiter verkleinert. Es wurde auf einen Steinmörser verzichtet, da ansonsten Steinmehl von dem Mörser in die Probe gelangen konnte. Sieb und Mörser wurden nach jeder Probe gereinigt, um eine Vermischung der verschiedenen Bodenproben zu verhindern.

Auf diese Weise wurden alle Steine, welche grösser als zwei Millimeter sind, aussortiert. Das Gewicht der aussortierten Steine und Wurzeln wurde von jeder Probe einzeln gemessen und notiert. Verdächtige Stücke, bei welchen es sich um Kunststoff handeln könnte, wurden mit der Nummer der Probe beschriftet und ebenfalls aussortiert. Diese wurden im Labor mit FTIR-Spektrometer untersucht. Die Resultate sind in Kapitel 3.2.2 aufgeführt.



Abbildung 6: Fertig vorbereitete Bodenprobe nach dem Sieben

2.5 Bodenanalyse

Die vorbereiteten Bodenproben wurden auf folgendes analysiert:

- pH-Wert
- Mikroplastik

Nachfolgend werden die Analysemethoden genauer erklärt.

2.5.1 Messung pH-Wert

Der pH-Wert eines Feststoffes ist schwer zu ermitteln. Deshalb wird der Feststoff oft in einer Flüssigkeit gelöst, die dann gemessen wird. Diese Bodensuspension nimmt dann den pH-Wert des Bodens an. Es wurde von jeder Probe fünf Gramm Erde abgewogen und mit 12,5 ml Calciumchloridlösung mit 0.01 mol/l in ein Zentrifugenröhrchen gegeben. Da der pH-Wert vom Verhältnis der Erde zur Lösung abhängt war es wichtig, exakt zu Arbeiten und die genauen Messwerte zu notieren. Die abgefüllten Proben wurden dann 30 Minuten lang auf einem Rührtisch durchmischt. Anschliessend wurde für jede Probe einzeln eine pH-Messung mit einem Elektrodenmessgerät durchgeführt. Da sich der pH-Wert mit der Zeit verändert, beziehungsweise stabilisiert, wurde die Messung für aussagekräftigere Ergebnisse jeweils nach zwei Minuten gestoppt und der Wert notiert. Der genaue Ablauf ist im Laborprotokoll, welches sich im Anhang befindet, ersichtlich.

2.5.2 Extraktion Mikroplastik

Für die Extraktion des Mikroplastiks wurde auf eine von der ZHAW entwickelte Methode zurückgegriffen. Dabei wird die unterschiedliche Dichte der einzelnen Bodenbestandteile genutzt. Hier wird nur grundsätzliches zur Methodik erklärt. Genauere Angaben befinden sich im Anhang bei «Laborprotokoll Extraktion Mikroplastik».

Zuerst werden mithilfe einer Fenton-Reaktion organische Bestandteile aufgespalten, um das MP freizusetzen und Verunreinigungen zu minimieren. Danach wird die Lösung getrocknet. Um den leichteren MP vom Restmaterial zu trennen wird die vorbereitete Erde mit Natriumbromid gemischt und in einen Scheidentrichter gefüllt. Von Hand und mit Ultraschall durchgeschüttelt lässt sich dann die schwerere Fraktion durch Sedimentation von der leichteren trennen. Dieser Sedimentationsprozess wird zweimal durchgeführt. Danach wird die Lösung mittels eines Metallgewebefilters und einer Vakuumpumpe filtriert. Das Retentat wird dann rückgespült und nachdem die Lösung getrocknet ist, wird der komplette Vorgang wiederholt. Ist die zweite Fenton-Reaktion und Sedimentation beendet, wird die Natriumbromidlösung mit den Kunststoffpartikeln filtriert. Die Filter werden dann mithilfe eines FTIR-Spektrometers untersucht. Die gefundenen Partikel werden vom Spektrometer gemessen und mit einer internen Datenbank verglichen. Es erkennt die einzelnen Verbindungen anhand deren Reflexionscharakteristik. Dadurch kann relativ genau gesagt werden, um welches Material es sich handelt. In Abbildung 7 sieht man ein Spektrum eines PA6 Partikels. Da die Aufnahmen zweidimensional sind kann keine genaue Aussage über die Form des Partikels gemacht werden.

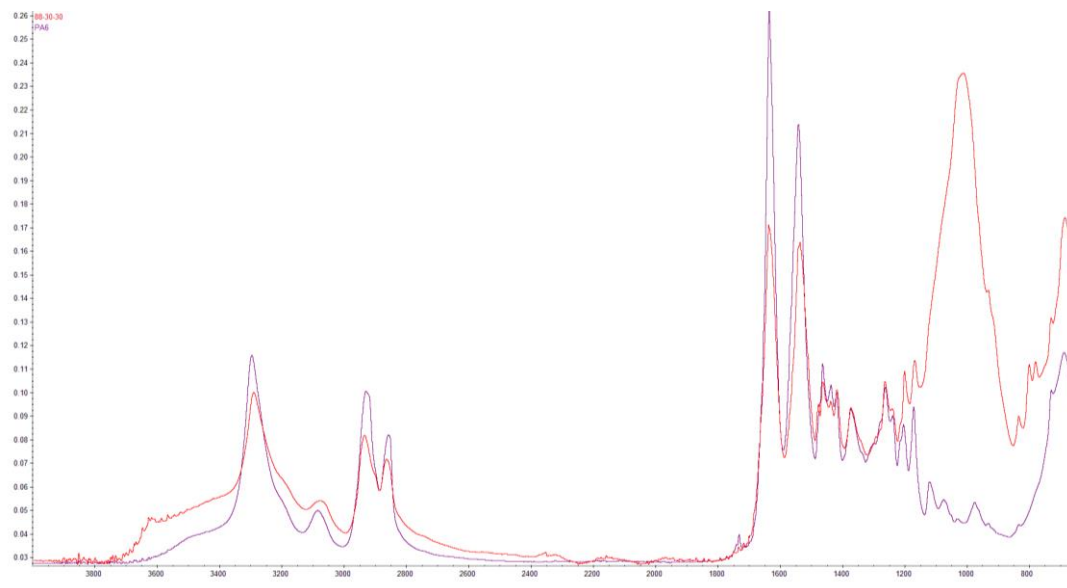


Abbildung 7: FTIR-Spektrum Polycaprolactam (PA6)

3. Ergebnisse und Diskussion

Im folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse der Literaturrecherche, sowie die aus den Proben erhaltenen Daten dargestellt. Es wird dabei auf die Eintragspfade von MP, seine Mobilität, chemischen und physikalischen Eigenschaften und Auswirkungen auf den Boden eingegangen.

3.1 Grundlagen Mikroplastik

Hier wird grundlegende Theorie zu Mikroplastik, speziell in landwirtschaftlichen Böden erläutert.

3.1.1 Eintragspfade von Mikroplastik

Mikroplastik gelangt über viele verschiedene Wege in den Boden. Daher sind die genauen Quellen der verschiedenen Mikroplastikarten nur schwer zu definieren. Je nach Ort haben die verschiedenen Quellen unterschiedlich grossen Einfluss auf den gesamten MP im Boden. Sekundärer MP entsteht durch den Abbau von Kunststoffteilen in kleinere Teile. Dies geschieht durch physikalische, biologische und chemische Vorgänge (Ding et al., 2020).

Im Fall eines landwirtschaftlichen Feldes haben die Aktivitäten auf dem Feld wohl den grössten Einfluss (Ding et al., 2020). In der Landwirtschaft wird viel Kunststoff eingesetzt, um das Wachstum der Pflanzen zu optimieren (Chang et al., 2022). Da sich der Kunststoff in kleinere Teile zersetzt, wird er oft nicht vollständig wieder von den Feldern entfernt. In der Schweiz bleiben so jährlich rund 160t Kunststoff in den Feldern zurück (Mandaliev, 2022). Da sich der Plastik im Boden nicht, beziehungsweise nur minimal, abbaut, akkumuliert sich der Plastikgehalt über die Jahre (Ding et al., 2020).

In Landwirtschaftlichen Böden sind hauptsächlich folgende Kunststoffarten vorzufinden:

- Polystyrol (PS)
- Polyethylen (PE)
- Polypropylen (PP)
- High-Density Polyethylen (HDPE)
- Polyvinylchlorid (PVC)
- Polyethylenterephthalat (PET)

(Ding et al., 2020)

Sehr relevant ist die Verwendung von Mulchfolie. Diese wird auf Feldern, auf denen Pflanzen angebaut werden, verwendet. Die Mulchfolie erhöht die Temperatur des Bodens, hindert das Wachstum von Unkraut und senkt den Wasserverbrauch (Chang et al., 2022). Mulch Folie

gibt es aus verschiedenen Kunststoffen, jedoch wird meistens PE oder PVC verwendet. Im Boden wird PE in der Form von Fasern und Film gefunden. Weiter stammen die PE und HDPE-Vorkommen auch von Verpackungsfolien (Ding et al., 2020).

Befestigungen für Pflanzen sowie Netze zum Schutz vor Vögel oder Hagel sind Quellen von PE, PET, PP und HDPE. Mikroplastik Teile aus PVC stammen hauptsächlich von den Rohren, die zur Bewässerung genutzt werden. Zusätzlich können auch Verpackungen PVC beinhalten. PS stammt ebenfalls von Verpackungen.

Nebst den direkt eingeschleppten Kunststoffen kann auch MP direkt über den Dünger, Klärschlamm oder Kompost, welche bereits kontaminiert sind, in den Boden gelangen. Zusätzlich zu den Mikroplastikquellen, welche direkt aus den landwirtschaftlichen Tätigkeiten kommen, kommen auch noch die allgemeinen Eintragspfade wie Reifenabrieb, Littering, MP von Kleidern, Überschwemmungen, Deponien und die Verteilung von MP über die Luft dazu (Ding et al., 2020). Abbildung 8 zeigt eine graphische Übersicht der verschiedenen Eintragspfade von MP, sowie dessen Auswirkungen auf den Boden. Darauf wird in den folgenden Kapiteln noch genauer eingegangen.

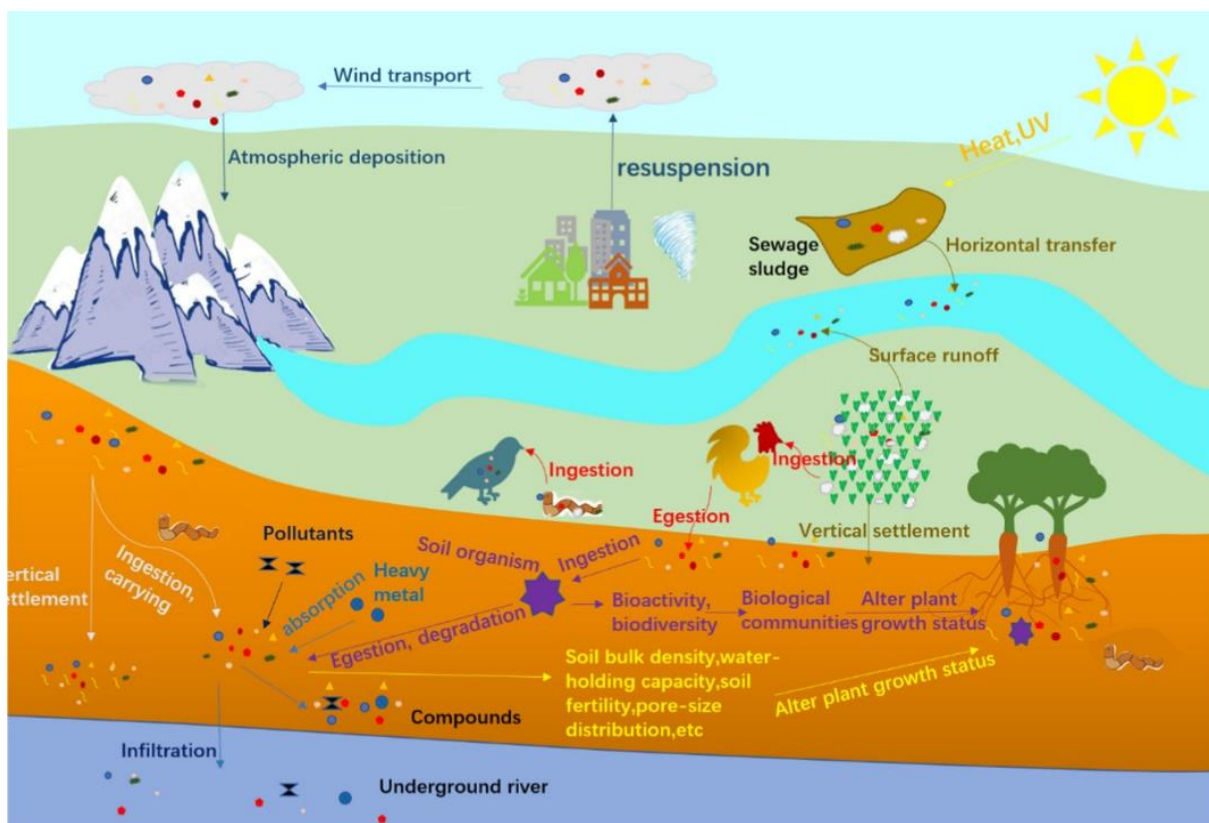


Abbildung 8: Eintragspfade Mikroplastik (Yang et al., 2022)

3.1.2 Eigenschaften von Mikroplastik

Die Plastikarten, welche am meisten hergestellt werden, sind Polyethylen (PE), Polypropylen (PP), Polyethylenterephthalat (PET), Polystyrol (PS), Polyvinylchlorid (PVC) und Polyurethan (PU). Sie werden künstlich aus Mineralöl hergestellt. Aufgrund ihrer verschiedenen chemischen und physikalischen Eigenschaften kommen sie in verschiedenen Anwendungsbereichen zum Einsatz. Diese Charakteristiken beeinflussen die entsprechenden Wege und Verteilungspfade des MP, welche dann einen Einfluss auf die Umwelt haben. Somit ist es wichtig, die unterschiedlichen Eigenschaften von Plastik zu kennen, um das Verhalten von Mikroplastik zu verstehen (Hu et al., 2022). Folgend werden die Eigenschaften der oben genannten Plastikarten beschrieben.

Polyethylen

PE ist in vielen Formen, eingeteilt nach der Dichte, im Umlauf: PE niedriger Dichte (LDPE), PE hoher Dichte (HDPE), PE mittlerer Dichte (MDPE) und lineares PE mit niedriger Dichte (LLDPE). Aufgrund von Eigenschaften wie tiefe Kosten, einfache Herstellung und Rezyklierbarkeit wird PE in vielen häuslichen Anwendungen eingesetzt. Dazu gehören Einkaufstaschen, Essensverpackungen, Spielzeug sowie Behälter und Röhren. Zudem wird es als primäres MP in der Kosmetik verwendet.

Die hohe Nachfrage und die tiefe Dichte machen PE zu dem meist vorkommenden MP im Oberflächenwasser und Küstenlinien der Ozeane. In tieferen Gewässern ist es selten vorhanden. Weil PE ein hydrophobes Polymer ist, kann es leicht an Sedimenten und Klärschlamm anheften. Zudem führt die tiefe Glasstemperatur zu einer hohen Flexibilität und vereinfacht die Adsorption von Schadstoffen. Dadurch besitzt PE eine höhere Adsorptionskapazität als andere Kunststoffe. PE ist immun gegen Photooxidation. Ohne die Photooxidation ist der biologische Zerfall limitiert. Zusätzlich kann der abiotische Zerfall Carbonyl-Funktionsgruppen bilden, welche die hydrophilen Eigenschaften und somit auch den biologischen Zerfall, verbessern. Darum ist die Photooxidation der kritische Faktor für die Bildung von PE MP in der Umwelt (Hu et al., 2022).

Polypropylen

PP ist ein hochkristallisiertes Polymer bestehend aus Propylen-Monomeren. PP besitzt eine hohe Resistenz gegen Chemikalien, Alterung und Hitze, was es mit 20 Prozent Marktanteil zum meistverkauften Kunststoff im EU-Raum macht. PP wird in unterschiedlichen Bereichen, wie der Verpackungsindustrie, Baubranche, Medizinaltechnik, Banknotenproduktion und Autoindustrie verwendet.

Die tiefe Recyclingrate von einem Prozent und der hohe Bedarf führt zu grossen Ansammlungen von PP in der Umwelt. Ursprüngliches PP besitzt eine tiefe Dichte und schwimmt somit

in aquatischen Ökosystemen. Aufgrund von externen Unreinheiten ist PP anfällig für den lichtbedingten Zerfall. PP ist allerdings aufgrund der langen Polyolefinketten resistent gegenüber dem biologischen Zerfall. Die photooxidativen Zwischenglieder sind jedoch biologisch abbaubar. Darum ist es wahrscheinlicher, dass MP aus PP durch lichtbedingten Zerfall entsteht (Hu et al., 2022).

Polystyrol

PS ist eine lineare Kohlenstoffkette mit seitlich angebrachten Phenylringen. Aufgrund von vielfältigen Eigenschaften und tiefen Kosten wird es für Anwendungen wie Gebäudeisolationen, Auskleidungen, Nahrungsmittelverpackungen, Becher und Lampenabdeckungen verwendet. Die Dichte von Standard PS beträgt 1.04 bis 1.07 kg pro m³. Für expandiertes PS kann die Dichte kleiner als 0.05 kg pro m³ betragen. Die Zerteilung von PS wird hauptsächlich durch UV-Licht verursacht. Der biologische Zerfall wird durch die Phenylringe verhindert (Hu et al., 2022).

Polyvinylchlorid

Reines PVC ist ein sprödes und weisses Polymer. Durch Weichmacher kann die Flexibilität von PVC für verschiedene Anwendungen erhöht werden. Angesichts der hohen Resistenz gegenüber Säuren, Basen, Salzen, Alkohole und Fette wird PVC oft in der Baubranche verwendet. Andere Anwendungen sind aufblasbare Produkte, Verpackungen, Kunstleder und Bankkarten. PVC kann sieben Mal recycelt werden und hat eine Lebensdauer von über 100 Jahren. Die hohe Dichte von PVC (1.2 bis 1.7 kg pro m³) erschwert bei der Extraktion von MP die Trennung durch Dichte-Separation. PVC ist aufgrund der hohen Sensitivität gegenüber UV-Strahlung wenig beständig gegenüber photooxiativem Zerfall. Die Existenz von Halogenen stattet PVC mit einer hohen Resistenz gegenüber biologischem Zerfall aus. (Hu et al., 2022).

Polyethylenterephthalat

PET wird für Textilfasern, Plastikflaschen und Krüge verwendet. Es eignet sich dafür aufgrund der Durchsichtigkeit und der Bruchsicherheit. In marinen Ökosystemen findet man PET MP aufgrund der hohen Dichte (1.36 bis 1.37 kg pro m³) in der Tiefsee und im Abwasser. Die maximale Bruchspannung von PET reduziert sich linear zur molaren Masse, was die Zerkleinerung von PET zu MP begünstigt. Trotzdem ist PET aufgrund der kompakten Struktur und hohen Kristallinität hochresistent gegenüber biologischem Zerfall. Demnach ist eine abiotische Vorbehandlung nötig, bevor es zu biotischem Zerfall kommt. Biologischer Zerfall von PET kommt in der Natur allerdings auch vor, aber er kann über hundert Jahre dauern (Hu et al., 2022).

Polyurethan

PU kann mit verschiedenen funktionellen Gruppen ausgestattet werden. Zudem kann es aus verschiedenen Quellen hergestellt werden. Diese Eigenschaften erlauben eine vielseitige Anwendung von PU. Es wird hauptsächlich als Schaum, faulheitshindernde Farbe, Hausisolationen, Isolationsschaum, Matratzen, Kissen und von der Automobilindustrie verwendet. In MP-Studien wird PU im Vergleich zu anderen Kunststoffen wenig erwähnt. Grund dafür ist, dass PU und Akryl von einem FTIR-Mikroskop nur begrenzt unterschieden werden kann. PU wird so oft als Akryl klassifiziert. Photooxidativer Zerfall, biologischer Zerfall und Hydrolyse können zu der Bildung von PU-MP führen (Hu et al., 2022).

Zusammenfassend beeinflussen die chemischen und physikalischen Eigenschaften von Kunststoffen die Transportwege und die Art des Zerfalls. Dies resultiert in spezifischen Verteilungen der verschiedenen Plastikarten. Plastik mit einer Kohlenstoffkette sind sensitiver für photooxidativen Zerfall. Plastik, welcher Zwischenglieder oder eine oxidierte Oberfläche hat, kann den biologischen Zerfall vereinfachen (Hu et al., 2022). Photooxidativer Zerfall ist der wichtigste Prozess in der Bildung von MP. Thermalzerfall kommt in der Umwelt selten vor, wird aber kommerziell verwendet. Biologischer Zerfall ist wichtig für den Zerfall von Schadstoffen, er hat aber einen limitierten Einfluss auf den Zerfall von MP. Abiotischer Zerfall ist nötig, um den biologischen Zerfall möglich zu machen (Liu et al., 2020).

3.1.3 Mobilität von Mikroplastik

Verschiedene Faktoren beeinflussen die vertikale und horizontale Mobilität von MP in Böden. Eine wichtige Rolle spielen dabei die Bodeneigenschaften. Die Bodenart ist eine Schlüsseleigenschaft, welche eine entscheidende Rolle in der Größe der Poren spielt. Diese ist entscheidend für die Migration von MP in Böden. Versickerung hat einen positiven Einfluss auf die vertikale Mobilität. Das Versickern von Wasser und Spalten im Boden haben laut (Ya et al., 2021) den größten Einfluss auf die vertikale Mobilität. Trockenes Klima führt vermehrt zu Rissen in Böden und bietet somit einen Zugang für MP in tiefere Bodenschichten. Nass-Trocken Zyklen beschleunigen somit die vertikale Mobilität von MP (Li et al., 2020).

Externe Einflüsse beeinflussen die Mobilität von MP ebenfalls. Durch das Pflügen wird MP im Oberboden und in tieferen Erdschichten nach unten getrieben oder vermischt. Durch Wind und oberirdischen Abfluss von Wasser kann MP auch horizontal bewegt werden (Yang et al., 2022). MP an der Bodenoberfläche kann durch Winde in die Atmosphäre aufgenommen werden und an anderen Orten angehäuft werden. Durch das Pflügen werden Plastikstücke weiter zerkleinert und die Wahrscheinlichkeit, dass die Partikel vom Wind weggetragen werden,

steigt. Studien haben gezeigt, dass MP durch Windsysteme in der Atmosphäre bis in entlegene Gegenden und Gletscher transportiert werden (Ya et al., 2021). Für kleinere MP-Partikel ist die Migration leichter. Sie verfangen sich weniger in der Bodenstruktur oder der Vegetation an der Oberfläche. Zudem sind Eigenschaften wie die Form, Typ und Oberflächenbeschaffenheit wichtige Faktoren, welche die Mobilität beeinflussen (Qi et al., 2020).

Biologische Einflüsse können ebenfalls zur Verbreitung von MP beitragen. Studien haben gezeigt, dass MP-Partikel von Vertretern der Springschwänze (Collembola) verbreitet werden. Auch Milben können zur Mobilität beitragen. MP-Partikel können ausserdem an der Oberfläche von Regenwürmern haften bleiben. Es wird angenommen, dass dies eine Möglichkeit zum Transport sein kann (Li et al., 2020). Durch den Verzehr, das Ausscheiden und die vertikale Bewegung von Bodenorganismen kann MP ebenfalls migrieren. Auch Landlebewesen wie Hühner, Rinder oder Vögel können durch das Verzehren und Ausscheiden von MP zur Mobilität beitragen (Yang et al., 2022). In Exkrementen und Mägen von Hühnern wurde MP gefunden, welchen sie über den Boden aufnehmen. MP wurde ausserdem in Exkrementen von Schafen gefunden, die auf Felder gehalten wurden, welche bevor mit Plastikfolien abgedeckte Ackerflächen waren (Ya et al., 2021). Die Bewegung, Expansion und Extraktion vom Wasser von Wurzeln haben einen signifikanten Einfluss auf die Bewegung von Bodenpartikeln. Vergleichsweise könnte auch der Transport von MP durch Wurzeln beeinflusst werden. Auch Wurzelgemüse wie Karotten oder Kartoffeln können die Mobilität vereinfachen. Weiter könnten verrottete Wurzeln, die Poren in dem Boden hinterlassen, die Mobilität von MP vereinfachen (Li et al., 2020). Ebenso kann sich MP in Wurzeln von Pflanzen akkumulieren. MP findet so den Weg in verschiedene Nahrungsnetze und stellt eine potenzielle Gefahr für den Menschen dar (Yang et al., 2022). MP kann sich durch natürliche und menschengemachte

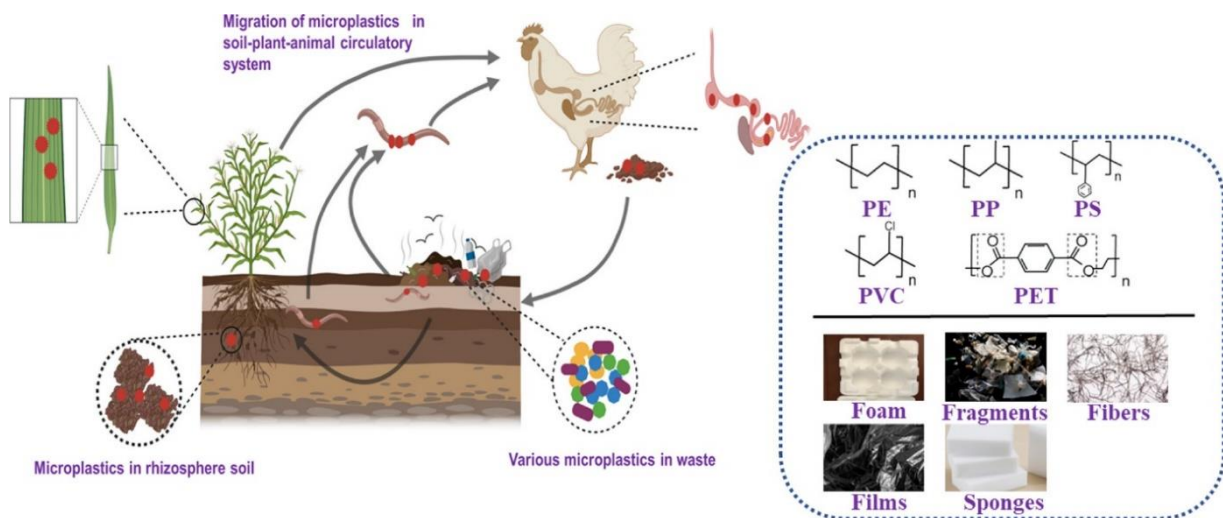


Abbildung 9: Migration von Mikroplastik im Boden (Chang et al., 2022)

Einflüsse in landwirtschaftlichen Böden verbreiten und bis in die Nahrungskette des Menschen eindringen. Der Boden ist aber nicht nur eine Senke für MP. Durch Versickerung und Oberflächenabfluss dient er auch als Quelle für aquatische Ökosysteme (Qi et al., 2020).

3.1.4 Zusammensetzung und Oberflächenbeschaffenheit

Plastik besteht aus Polymeren. Das sind grosse Moleküle, welche bei der Polymerisation von Monomeren entstehen. Die häufigsten Polymertypen sind PP, PE, PVC, PUR, PET und PS (Ali et al., 2021). Der Aufbau der Polymere ist abhängig vom chemischen Aufbau der Monomere und dem Grad der Polymerisation (Anzahl von Monomeren, welche zusammengefügt werden). Plastik wird oft mit chemischen Zusatzstoffen wie Weichmachern, Stabilisatoren, Antioxidantien oder Pigmenten ergänzt, um das Verhalten und die Herstellung zu verbessern (Zhang et al., 2021). Dadurch entsteht eine grosse Vielfalt an MP-Partikeln. In landwirtschaftlichen Böden gibt es MP in Form von Fragmenten, Fasern, Folien, Schaumstoffen, Pellets und irregulären Formen (Qiu et al., 2022). Die unterschiedliche Zusammensetzung von MP spiegelt die funktionellen Gruppen in der Polymerstruktur wider. Diese beeinflusst die Adsorption von MP und organischen Schadstoffen. (Yang et al., 2022).

Die Form, in welcher MP in der Umwelt vorkommt, hängt von verschiedenen Faktoren ab. Entscheidend ist die Zeit, in der MP in der Umwelt verweilt, die ursprüngliche Sorte des Plastiks und der Verwitterungsprozess. Studien haben gezeigt, dass scharfkantiges MP vor kurzer Zeit in die Umwelt eingedrungen ist. Glatte Kanten sind ein Indiz dafür, dass das MP schon längere Zeit in der Umwelt ist. Die Form von MP spielt ausserdem eine wichtige Rolle im Transport von Schadstoffen in der Umwelt. MP-Partikel in der Atmosphäre sind generell kleiner als jene in aquatischen Ökosystemen, Sedimenten oder Böden. Kleine MP-Partikel haben eine grössere Oberfläche im Verhältnis zum Gewicht, wodurch der Eintrag in die Atmosphäre häufiger wird. Die am Meisten verbreiteten MP-Partikel in der Atmosphäre sind Fasern, Fragmente, Folien und Schaumstoffe (Ali et al., 2021).

MP kommt in einer Vielzahl von Farben vor. Während der umweltbedingten Transformation und dem Zerfall kann MP seine Farbe ändern. Die Untersuchung der Farbe kann allerdings hilfreich sein, um den Ursprung des MPs zu finden (Ali et al., 2021).

Weiter hat die Grösse der Partikel Einfluss auf die Interaktion von MP und Bodenorganismen (Ali et al., 2021). Wenn die Partikelgrösse auf ein Nanometer-Level (70 nm) reduziert wird, ist der Adsorptionsgrad um ein bis zwei Grössenordnungen höher. Die Adsorption von organischen Schadstoffen wird einerseits von der Oberfläche und der Dichte von MP beeinflusst. Die spezifische Oberfläche, Porosität und Form sind die Eigenschaften, welche die Interaktion von MP und Metallmolekülen beeinflusst (Yang et al., 2022).

Die verschiedenen Eigenschaften von MP wie die funktionellen Gruppen, Oberfläche, Ordnung der Polymerketten, Oberflächenladung und Säuregrad sind die Schlüsselfaktoren, welche die Interaktion mit anderen chemischen Stoffen beeinflussen (Ali et al., 2021).

3.1.5 Folgen von Mikroplastik im Boden

Wie genau sich Mikroplastik auf terrestrische Ökosysteme auswirkt ist noch nicht vollständig erforscht. Es gibt allerdings Studien, welche einen Einfluss auf die physikalischen sowie chemischen Eigenschaften von Böden nachweisen. Hinzu kommt eine Beeinflussung von Nährstoffkreisläufen, sowie von tierischen und pflanzlichen Lebewesen (Ya et al., 2021). Die zunehmende Produktion von synthetischen Kunststoffen und ein schlechter Umgang mit Plastikabfällen haben die Menge an Kunststoffen in der Umwelt drastisch erhöht. Die Forschung im Bereich MP beschränkte sich allerdings weitgehend auf aquatische Lebensräume wie Flüsse, Seen und Meere (Chang et al., 2022). Man geht davon aus, dass der jährliche Eintrag von MP auf dem Land allerdings bis zu 23-mal höher ist als der in die Ozeane (Ya et al., 2021). Der Einfluss, der MP auf terrestrische Ökosysteme hat, ist allerdings noch wenig erforscht. Erst in den letzten Jahren begannen verschiedene Regierungen in die Grundlagenforschung von MP zu investieren. Diese mit MP belasteten Böden dienen als Grundlage für fast die gesamte weltweite Lebensmittelproduktion. Es ist also naheliegend, dass auch der Mensch täglich mit MP in Berührung kommt. Welchen Einfluss dies auf den menschlichen Körper hat, ist noch nicht vollständig erforscht. Deshalb ist es wichtig, die Auswirkungen welche MP auf tierische und pflanzliche Lebewesen und deren Lebensräume hat, genauer zu erforschen.

MP hat eine grosse spezifische Oberfläche und ist hydrophob. Dadurch können verschiedenste persistente organische Schadstoffe (POP), wie sie zu Beispiel in diversen Pestiziden vorkommen, absorbiert werden. Diese gelangen dann mit dem MP in Wasser- und Landorganismen und somit in unterschiedlichste Nahrungsketten. Dort können sie sich anhäufen und ihre toxische Wirkung entfalten. Ein weiterer Effekt der Absorption ist, dass sich der Abbau der POPs verlangsamt. Die hydrophoben Eigenschaften von MP behindern die natürlichen Abbauprozesse und die Schadstoffe verbleiben länger im Boden (Ya et al., 2021).

In Bezug auf Schwermetalle wie Blei, Zink, Kupfer oder Cadmium spielt hingegen die Adsorption eine wichtige Rolle. An den meisten MP-Typen können sich Schwermetalle anheften. Dadurch migrieren sie mit dem MP und erreichen so verschiedenste Organismen. Es kommt dann vor, dass sich das Schwermetall wieder vom MP ablöst (Desorption) und somit negative Auswirkungen auf den betroffenen Organismus hat (Ya et al., 2021). Das Ausmass der Adsorption hängt neben der Art und Grösse des MP auch vom pH-Wert des Bodens ab (Yang et

al., 2022). Verschiedene Studien fanden einen Zusammenhang zwischen der Sorptionsfähigkeit von MP und dem pH-Wert des Bodens. Die Adsorption von Polystyrol Mikropartikeln nahm mit steigendem pH-Wert ab (Luo et al., 2020).

Abbildung 10 zeigt eine Übersicht der Umwelteinflüsse von Mikroplastik im Boden. MP hat neben der Transportfunktion auch die Fähigkeit Bodeneigenschaften zu verändern. Er fungiert als Trigger zur Veränderung von Porosität, wasserabweisender Wirkung, Wasserhaltevermögen, Aggregatstabilität und Dichte eines Bodens. Der Einfluss auf Lebewesen kann grob in drei Arten unterteilt werden: den Einfluss auf Pflanzen, Mikroorganismen und Kleinlebewesen. Bei den Pflanzen kann der MP durch die Wurzeln aufgenommen werden. Als Folge davon können deren Wachstum gestört, die Fotosynthese behindert oder Poren verstopft werden. Die Auswirkungen auf Kleinlebewesen wurden meistens anhand von Regenwürmern untersucht. Ergebnisse daraus waren Entzündungen, Stoffwechselprobleme, Wachstums- und Fortpflanzungsstörungen bis hin zum Tod. Mikroorganismen sind wichtig in Bezug auf die Bodenqualität. Sie sind an geochemischen Stoffkreisläufen, wie auch am Abbau von Schadstoffen beteiligt. MP kann die Vielfalt der Mikroorganismen beeinflussen, einerseits direkt, andererseits durch die Veränderung des Sauerstofftransports zwischen den verschiedenen Erdschichten (Ya et al., 2021).

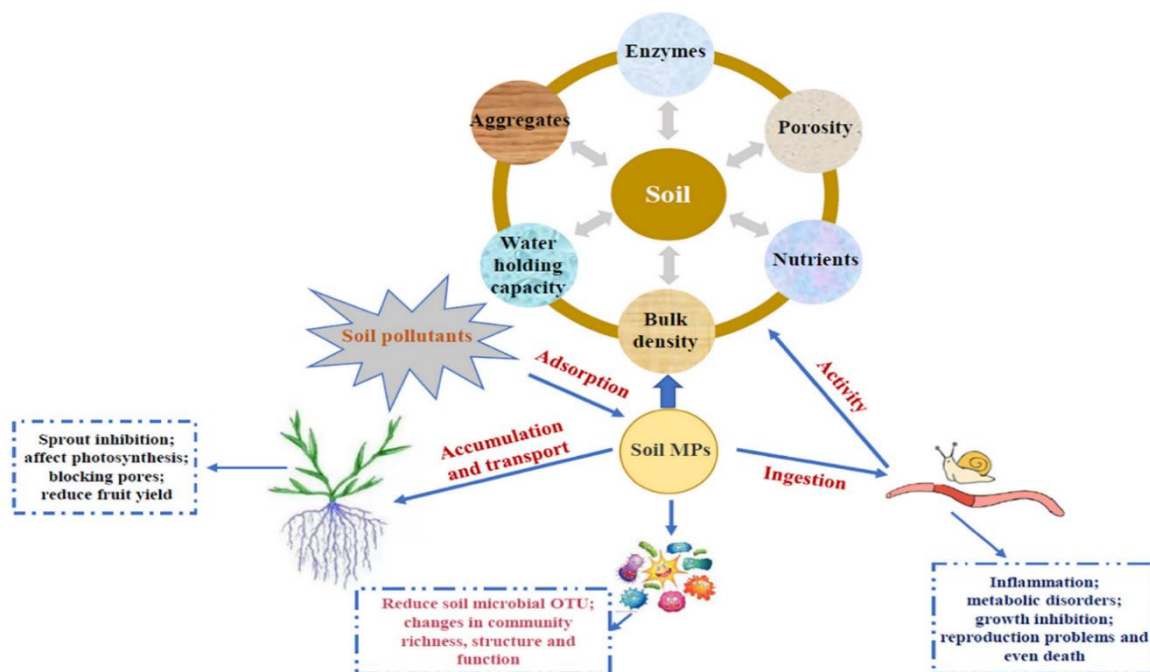


Abbildung 10: Auswirkungen von Mikroplastik im Boden (Ya et al., 2021)

3.2 Analyse der Bodenproben

Die Bodenproben wurden auf ihren pH-Wert untersucht und das gefundene MP wurde analysiert. In diesem Kapitel werden die Ergebnisse aufgezeigt und diskutiert.

3.2.1 Messung pH-Wert

Wie in Kapitel 2.5.1 beschrieben wurde, wurden die pH-Werte der Bodenproben gemessen. In diesem Kapitel wird versucht Zusammenhänge der Werte zu finden.

Die Daten wurden verglichen nach:

- Tiefe
- Spalten
- Zeilen

Die Spalten und Zeilen wurden nur in den jeweiligen Tiefen untereinander verglichen. Es wurden zum Beispiel nur die Zeile 1 mit Tiefe 30 cm mit der Zeile 2 mit der Tiefe 30 cm verglichen. Zeilen und Spalten, welche eine unterschiedliche Tiefe haben, wurden nicht miteinander verglichen.

Die folgenden Diagramme zeigen die Vergleiche der pH-Werte nach der Tiefe, nach den Reihen im Raster und den Zeilen im Raster (vgl. Abbildung 12). Die pH-Werte liegen zwischen pH 6.2 und 8.4. Zusätzlich zu den Bodenproben vom Feld, wurden noch Bodenproben vom Flussufer genommen (siehe Abbildung 11). Mit diesen Werten kann ein Vergleich zu den Werten vom Feld gemacht werden. Zur Unterstützung der Lesbarkeit wurde bei den folgenden Diagrammen die Y-Achse skaliert. Alle Diagramme zeigen den Bereich von pH 6.2 bis 8.4.

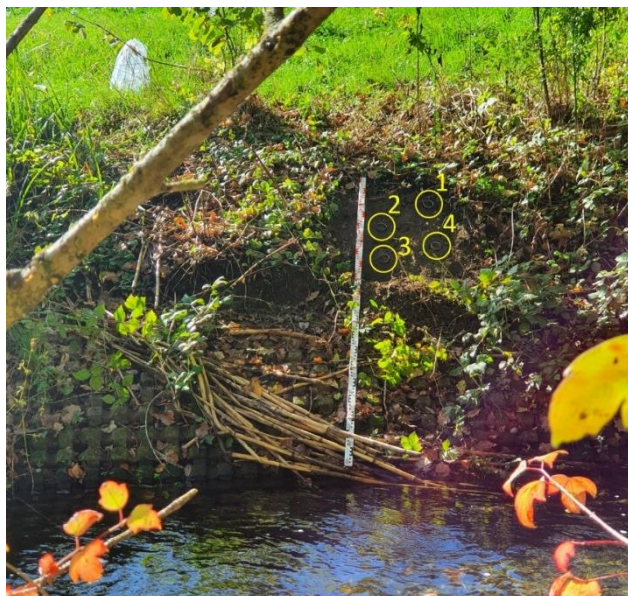


Abbildung 11 Bodenproben vom Flussufer

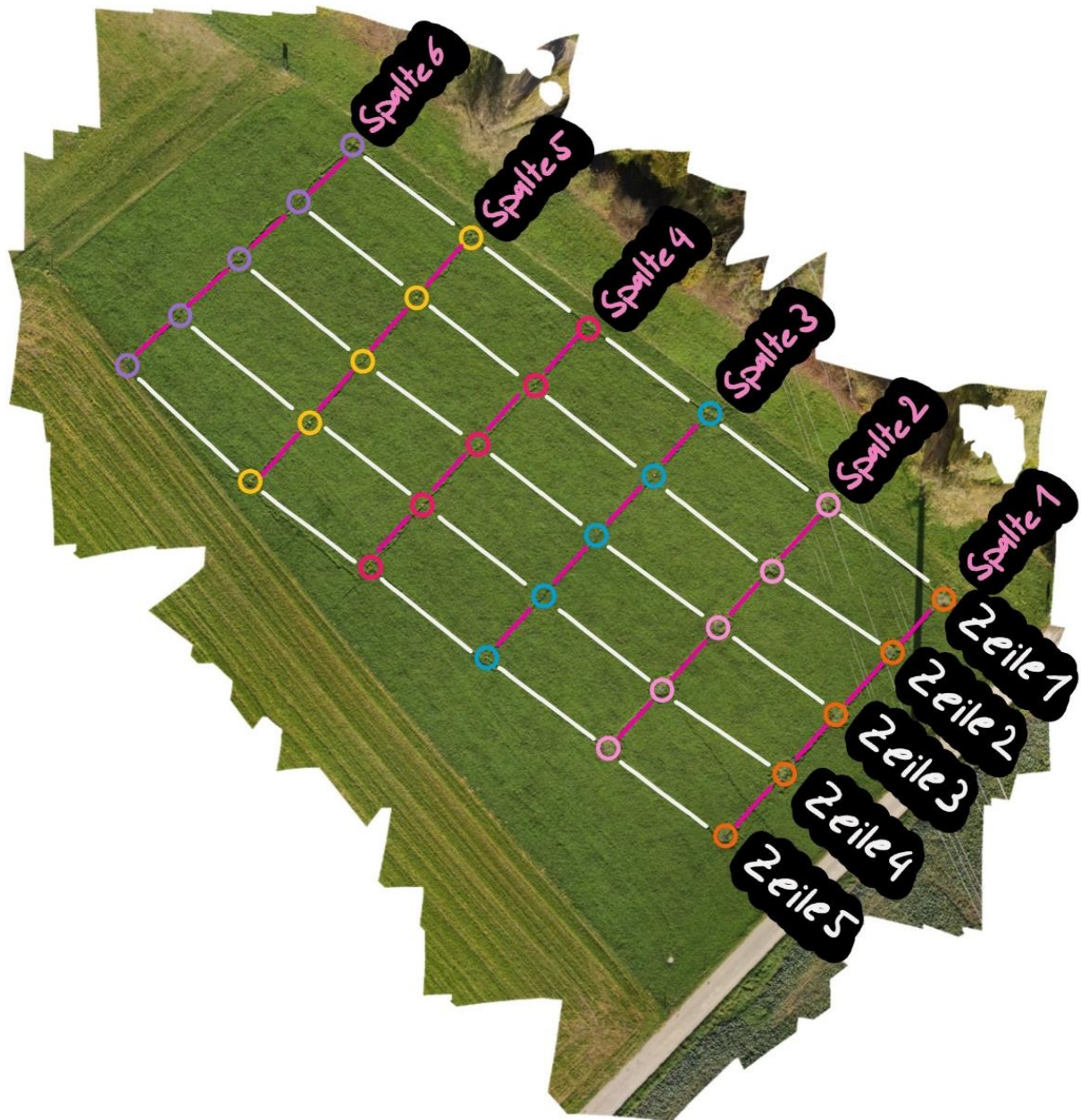


Abbildung 12 Probenraster mit Spalten und Zeilen

3.2.1.1 Vergleich der pH-Werte nach Tiefe

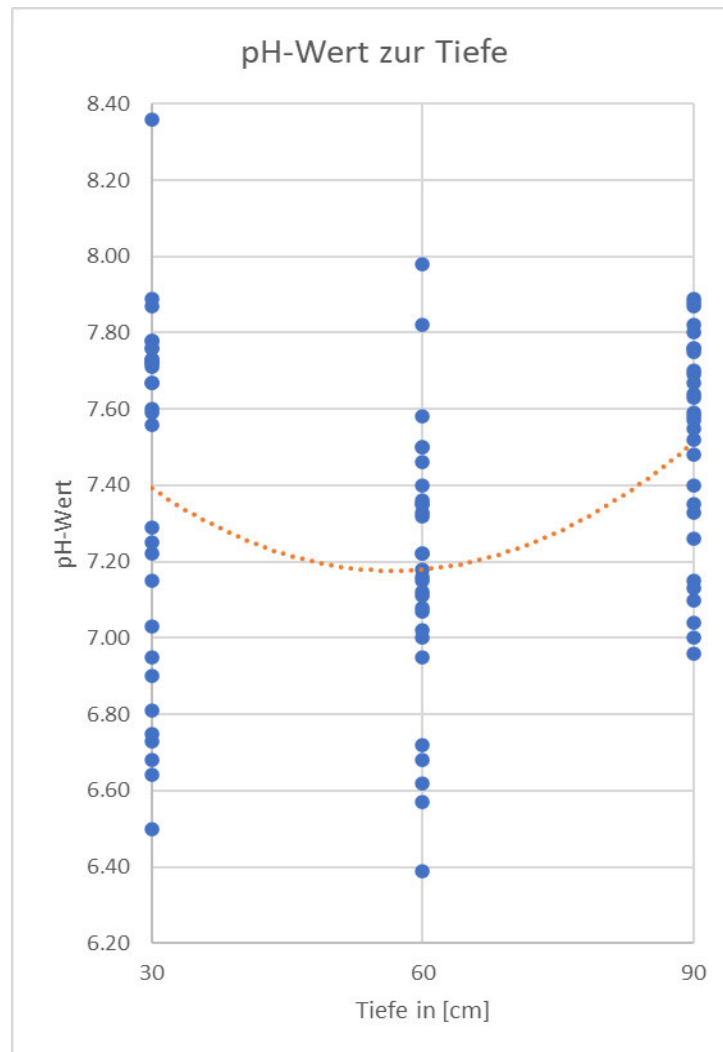


Abbildung 13: alle pH-Werte im Vergleich zur Tiefe. Die orange Linie zeigt den Durchschnitt der pH-Werte.

Der Vergleich der pH-Werte nach der Tiefe hat ergeben, dass die durchschnittlichen pH-Werte in den obersten 30 cm höher sind, dann in den mittleren 30 cm (30-60 cm) etwas abnehmen und schliesslich in den tiefsten 30 cm (60-90 cm) wieder ansteigen. Die tiefsten Proben (60-90 cm) haben im Schnitt den höchsten pH-Wert. Ausserdem fällt auf, dass die Verteilung der Werte bei 90 cm geringer ist als bei den anderen Tiefen. Ein Grund dafür könnte sein, dass der tiefere Boden weniger durch natürliche oder menschengemachte Einflüsse beeinflusst wird.

30 cm	pH 7.39
60 cm	pH 7.17
90 cm	pH 7.50

3-1 Durchschnittlicher pH-Wert nach Tiefe der Proben

3.2.1.2 Vergleich der pH-Werte in den Spalten:

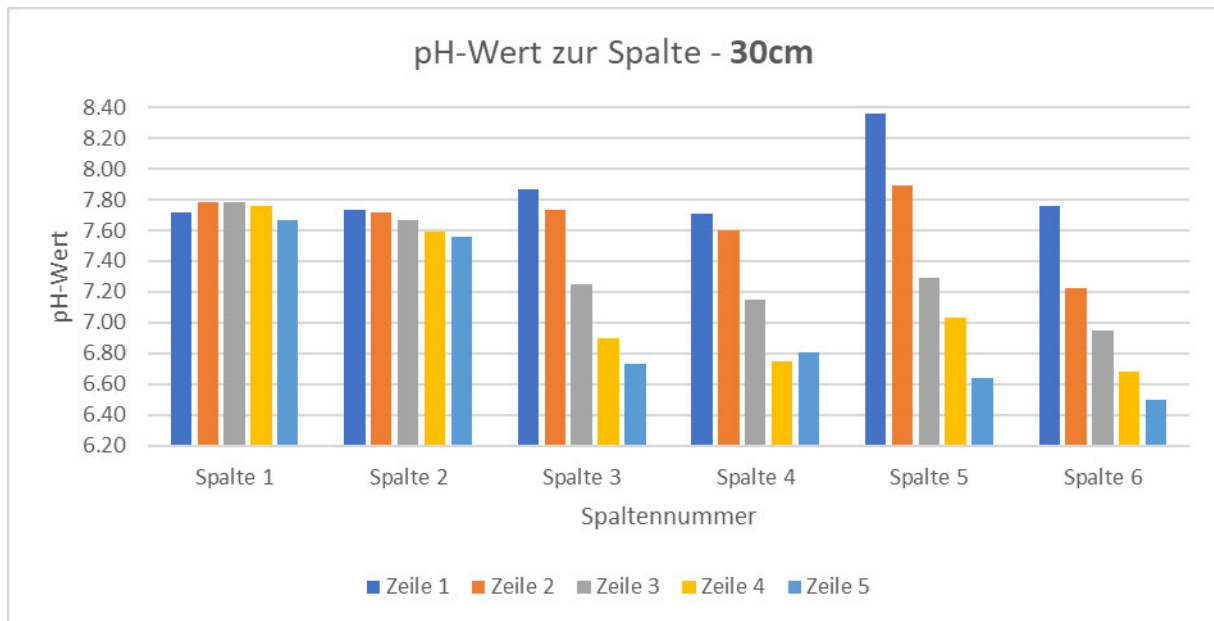


Abbildung 14: pH-Wert Vergleich zu den Spalten – 30 cm Proben

In den Spalten 3-6 ist ein klarer Trend zu erkennen. Je weiter der Standort vom Fluss weg ist, desto tiefer ist der pH-Wert. Bei den Spalten 1 und 2 ist dieser Trend nicht, beziehungsweise nur ein wenig zu erkennen. Wie in Abbildung 12 zu erkennen ist, befinden sich die Spalten 1 und 2 am nächsten an der Strasse. Es ist anzunehmen, dass der Fluss sowie die Strasse einen Einfluss auf den pH-Wert des Bodens haben.

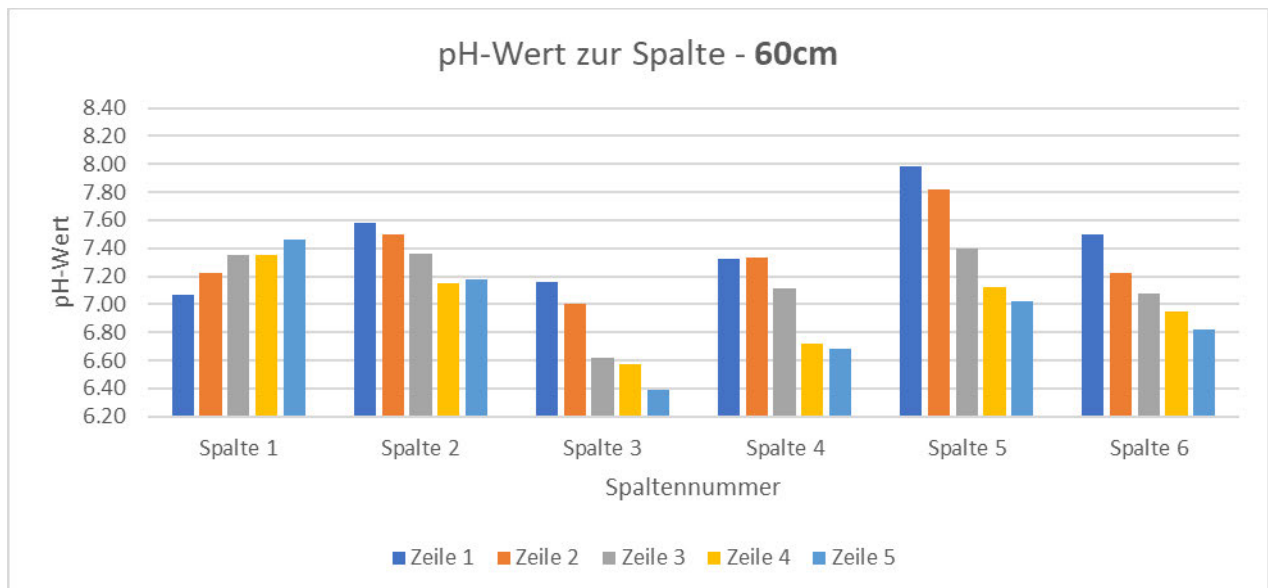


Abbildung 15: pH-Wert Vergleich zu den Spalten – 60 cm Proben

Die Proben bis 60 cm Tiefe verhalten sich in den Spalten 2-6 ähnlich wie die Proben bis 30 cm Tiefe. Auch hier senkt sich der pH-Wert mit zunehmendem Abstand zum Aabach. Die

Spalte 1 spiegelt den Trend von der 30 cm Tiefe wider und weist flussseitig einen höheren pH-Wert auf.

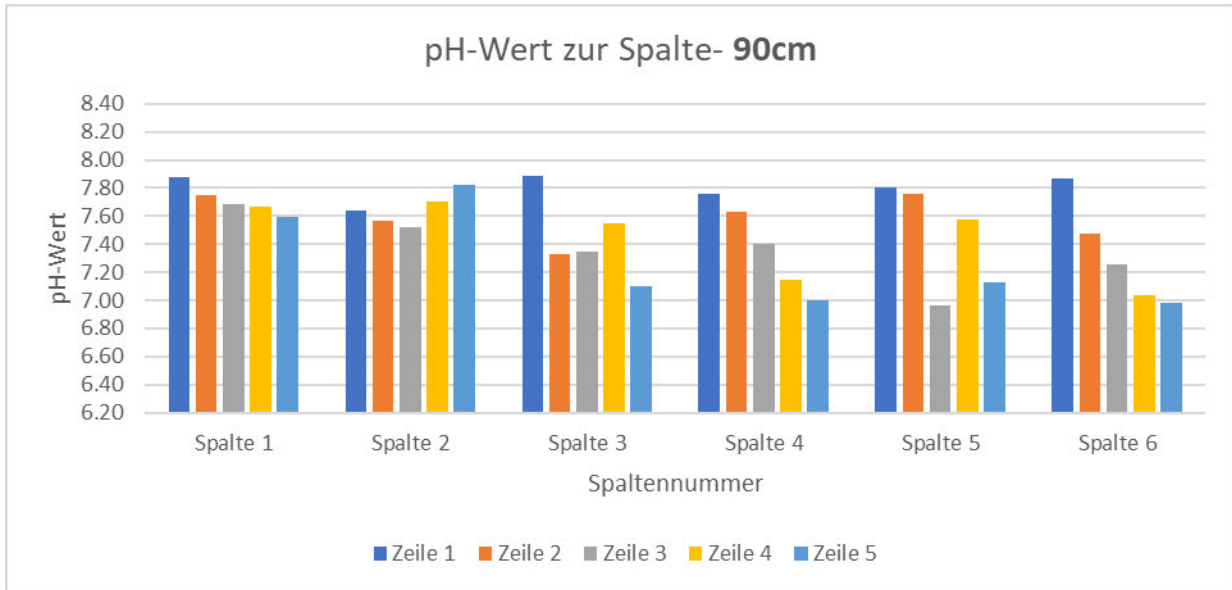


Abbildung 16: pH-Wert Vergleich zu den Spalten – 90 cm Proben

Auch bei den tiefsten Proben, 60-90 cm, ist grob der Trend von den beiden oberen Proben zu erkennen.

3.2.1.3 Vergleich der pH-Werte nach Zeilen

Zur Unterstützung der Lesbarkeit wurde bei den folgenden Diagrammen die Y-Achse skaliert.

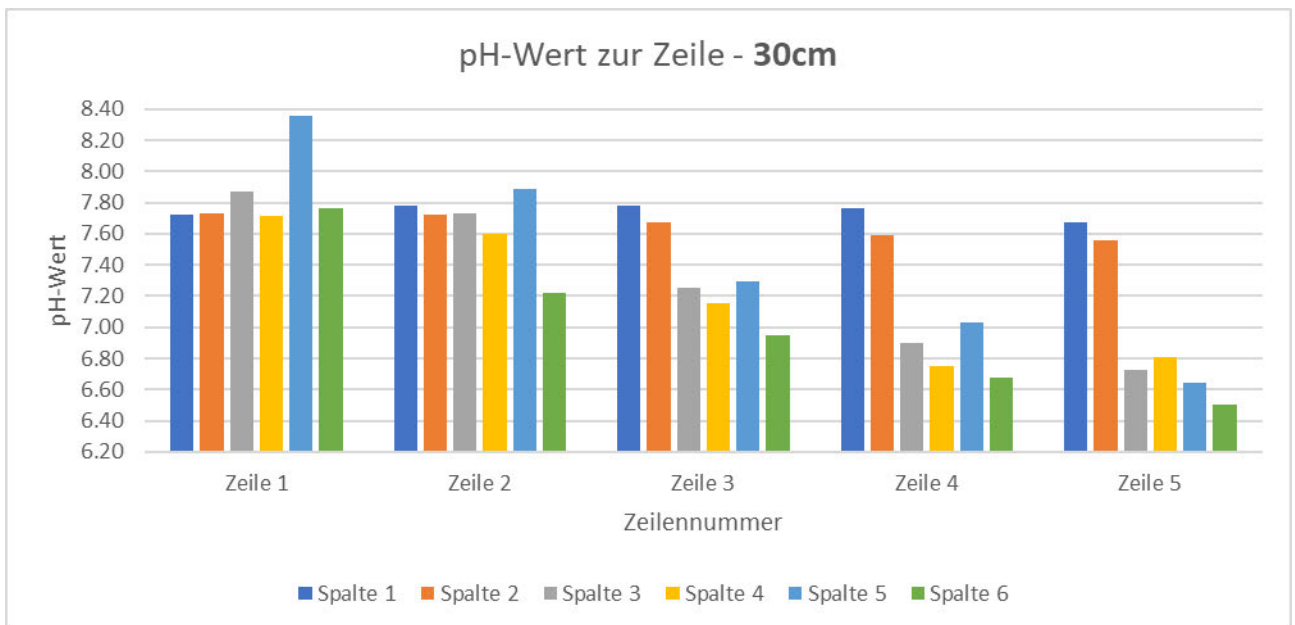


Abbildung 17: pH-Wert Vergleich der Zeilen – 30 cm Proben

Beim Vergleich in den Zeilen ist zu erkennen, dass die Zeilen, die näher am Fluss sind, einen höheren pH-Wert aufweisen als die weiter weg vom Fluss. Zeile 1 hat im Schnitt einen pH-Wert von 7.89. Zeile 5 hat einen durchschnittlichen pH-Wert von 6.99.

Je tiefer die Bodenproben sind, desto kleiner sind die Differenzen zwischen den Zeilen

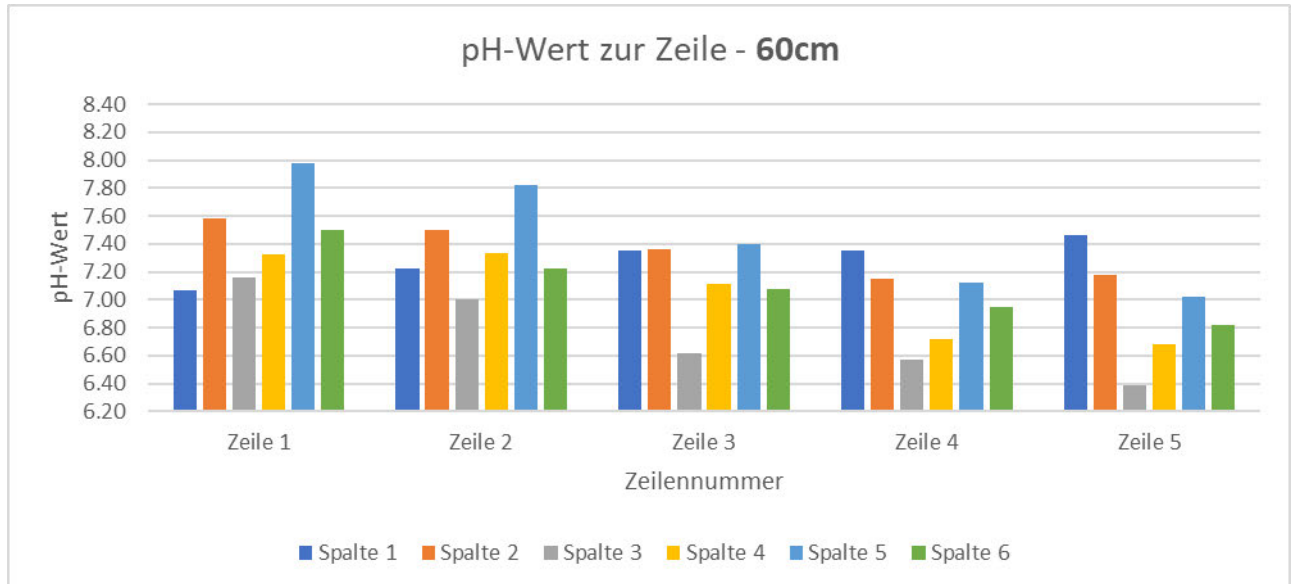


Abbildung 18: pH-Wert Vergleich zu den Zeilen – 60 cm Proben

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass der Fluss und die Strasse wohl einen Einfluss auf die pH-Werte des Bodens haben. Ob dies mit einem Plastikeintrag von den jeweiligen Orten zusammenhängt, lässt sich nicht sagen.

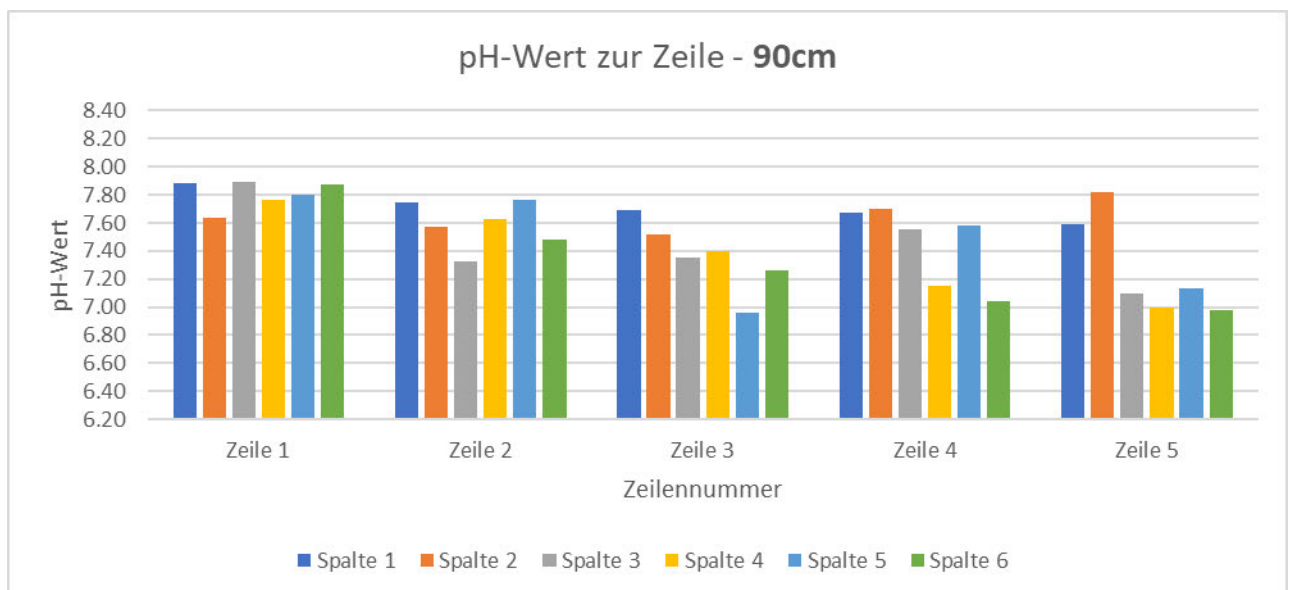


Abbildung 19: pH-Wert Vergleich zu den Zeilen – 90 cm Proben

3.2.1.4 Vergleich pH-Wert zwischen Feld und Flusssufer

Die pH-Werte vom Fluss werden ausschliesslich mit den pH-Werten der 0-30 cm Bodenproben verglichen, da diese ebenfalls an der Oberfläche gemessen wurden. Abbildung 20 zeigt die erhaltenen Werte der Messung am Flusssufer. Im Durchschnitt ergibt sich ein Wert von pH 7.61. Der durchschnittliche pH-Wert von Zeile 1 beträgt 7.89 und ist damit etwas höher. Die pH-Werte nehmen im Schnitt ab, je weiter sie vom Fluss weg sind. Bei der obersten Zeile, Nummer 5, liegt der durchschnittliche pH-Wert bei 6.99. Wahrscheinlich hat der Fluss einen Einfluss auf den pH-Wert der Bodenproben vom Feld.

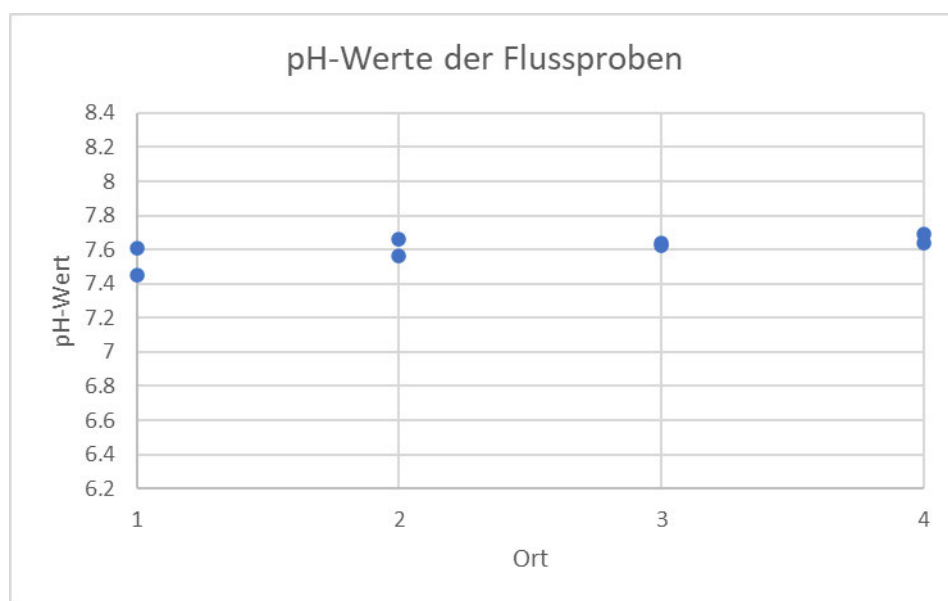


Abbildung 20: pH-Werte am Flusssufer

3.2.2 Extraktion von Mikroplastik

Der Extraktionsprozess stellte sich als zeitaufwändiger heraus als gedacht. Das Extrahieren von fünf Proben nimmt etwa drei Arbeitstage in Anspruch. Da das Zeitbudget begrenzt war, musste auf eine Analyse im Rahmen dieses Projektes verzichtet werden. Beim Zerkleinern und Sieben der Bodenproben wurden allerdings bereits einige Kunststoffteilchen gefunden. Die Partikel hatten alle eine Grösse von einigen Millimetern. Deshalb beschränkt sich das folgende Kapitel auf den gefundenen Mesoplastik.



Abbildung 21: Gefundenes Mesoplastikpartikel der Probe 64-22-30

Insgesamt wurden vier unterschiedliche Plastikteilchen gefunden. Nach der Separation wurden die Mesoplastikteilchen mit einem FTIR-Spektroskop auf ihre Zusammensetzung analysiert. Abbildung 22: Spektren der gefundenen Plastikpartikel zeigt die Spektren der gefundenen Teilchen, sowie die am besten passenden Referenzspektren.

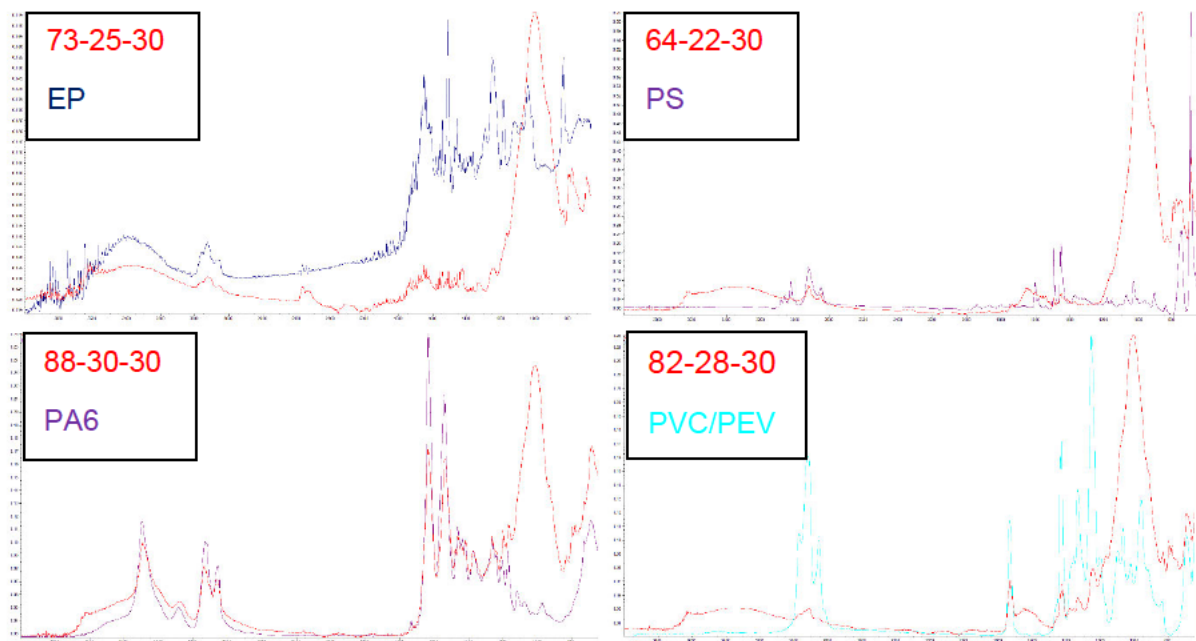


Abbildung 22: Spektren der gefundenen Plastikpartikel

3.3 Diskussion

Aufgrund von fehlenden Daten bezieht sich die folgende Diskussion auf die Messungen des pH-Wertes und die Charakterisierung der gefundenen Mesoplastik-Partikel. Es werden auf Basis der Literaturrecherche Schlussfolgerungen und Annahmen getroffen.

pH-Wert

Die gemessenen pH-Werte stimmen nicht genau mit den Erwartungen überein. Normalerweise hat die oberste Bodenschicht den tiefsten pH-Wert und mit steigender Tiefe erhöht sich dieser. Durch den Einsatz von sauer wirkenden Düngemitteln wie zum Beispiel Ammoniumsulfat oder Superphosphat werden die oberen Bodenschichten saurer. Weiter zur Versauerung tragen Bodenorganismen bei, indem sie bei ihrer Atmung grosse Mengen an CO₂ freisetzen, welches in Reaktion mit Wasser H⁺ Ionen freisetzt. Auch einen pH-Wert senkenden Einfluss haben Huminstoffe, welche in den oberen Schichten des Bodens entstehen. Am meisten aber senkt saurer Regen den pH-Wert. Durch die Aufnahme von Stickoxiden beim Herunterfallen der Regentropfen und dessen Auflösung darin entstehen positiv geladene Ammonium-Ionen (Bliefert, 2002).

Demnach sollte die oberste Schicht den tiefsten pH-Wert haben. Dass dem nicht so ist, kann verschiedene Gründe haben. Es könnte sein, dass zum Beispiel durch Kalkung aktiv der pH-Wert erhöht wurde. Das kann je nach Bepflanzung zu höheren Erträgen führen (Scherstjanoi et al., 2021). Dafür spricht auch, dass der pH-Wert im Allgemeinen über alle Tiefen eher hoch ist. Ob die MP-Konzentration mit den Abweichungen des realen pH-Wertes und dem Erwartetem zusammenhängt, lässt sich aufgrund der fehlenden Daten nicht sagen. Dafür müssen die Resultate von «MIRACLE» abgewartet werden.

Die Vermutung liegt nahe, dass der Fluss und die Strasse einen Einfluss auf den pH-Wert des Bodens haben. Je weiter die Bodenproben vom Fluss und der Strasse entfernt sind, desto näher sind die Werte an den Erwartungen. Abbildung 23 zeigt die Messung, welche absolut gesehen am weitesten von Fluss und Strasse entfernt ist. Man erkennt das Ansteigen des pH-Wertes mit zunehmender Tiefe.

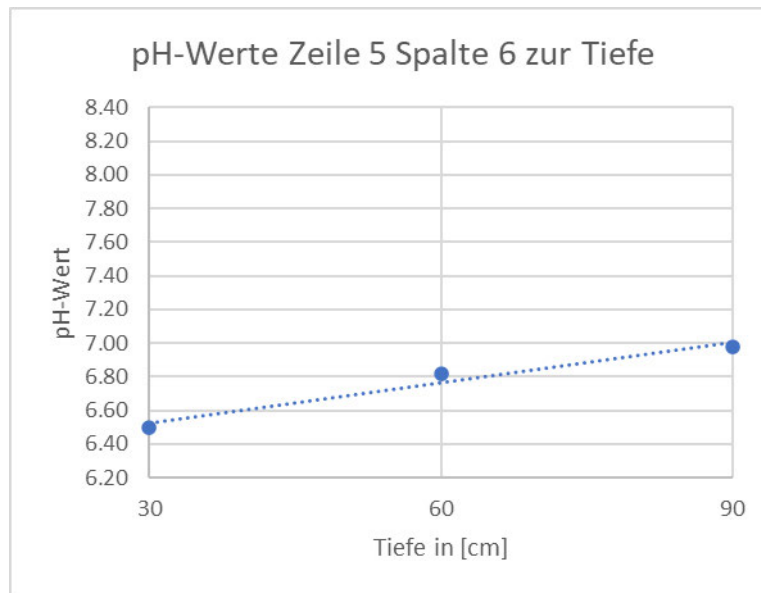


Abbildung 23: pH-Werte von Zeile 5 und Spalte 6 im Vergleich zur Tiefe

Die tiefsten Bodenproben weisen die geringste Streuung der pH-Werte auf. Grund dafür könnte sein, dass tiefere Bodenschichten weniger stark von Umwelteinflüssen, sowie von der Landwirtschaft beeinflusst werden. Vergleicht man die Spalten fällt auf, dass der pH-Wert mit steigendem Abstand zu dem Fluss sinkt. Dies ist über alle drei Tiefen zu erkennen. Der Vergleich der Zeilen ergibt dasselbe Muster. Je weiter die Bodenproben von der Strasse entfernt sind, desto tiefer ist der pH-Wert. Dieser Trend ist jedoch weniger klar zu erkennen als bei dem Vergleich der Spalten. Die Strasse und der Fluss scheinen einen Einfluss auf den pH-Wert des Bodens zu haben. Auch die Proben vom Flussufer bestätigen diese Annahme. Ob dies mit dem Plastikeintrag dieser Quellen zusammenhängt, lässt sich nicht sagen.

Mesoplastik

Aufgrund der breiten Einsatzgebiete der gefundenen Kunststoffe ist es schwierig eine Aussage über dessen Herkunft zu machen. Da gewisse Arten von Kunststoff spezielle Einsatzgebiete in der Landwirtschaft haben, kann dennoch ein «wahrscheinlicher» Eintragspfad evaluiert werden. In der folgenden Tabelle werden die gefundenen Kunststoffe aufgelistet, sowie eine Vermutung über dessen Herkunft aufgestellt. Für aussagekräftigere Vermutungen müssten weitere Informationen zur Nutzung des Feldes, sowie zu vergangenen Unwettern etc. beschaffen werden.

Kunststoff	Abkürzung	Mögliche Herkunft
Epoxidharz	EP	Epoxidharz ist ein weit verbreiteter Klebstoff, welcher vielseitig einsetzbar ist. Er wird allerdings auch in Ställen als Überzug eingesetzt, um die Rohbetonflächen vor chemischer und physikalischer Abnutzung zu schützen. (epoxidharze.net, o. J.)
Polystyrol	PS	Polystyrol hat ebenfalls ein breites Einsatzgebiet. Deshalb gilt er auch als einer der meistverwendeten Kunststoffe. Am wahrscheinlichsten scheint der Eintrag in Form einer Lebensmittelverpackung. Entweder durch den direkten Eintrag oder indirekt über den ausgetragenen Kompostdünger. (<i>Mikroplastik belastet Ackerböden</i> , o. J.)
Polycaprolactam	PA6	Aufgrund der hohen Stabilität und des geringen Verschleisses wird PA6 häufig im Fahrzeugbau eingesetzt. Es ist also denkbar, dass das Teilchen von einer landwirtschaftlichen Maschine kommt. (<i>Polyamid (PA) - Technischer Kunststoff</i> , o. J., S. 6)
Polyvinylchlorid	PVC	Als dritthäufigste Plastikart hat PVC auch etliche Einsatzgebiete. In der Landwirtschaft wird es als Bodenbelag in den Ställen, Melkschläuche, Bewässerungssysteme, usw. eingesetzt. Auch als Baustoff z. B für Fenster wird PVC verwendet. Es ist demnach schwierig zu sagen, woher das Plastikteilchen kommt. (<i>Kunststoff-Schweiz</i> , o. J.)
Poly(Ethylen-Vinyl-Acetat)	PEVA	PEVA wird in grossen Mengen in der Schuhindustrie für Abriebfeste Schuhsohlen verwendet. Allgemein bietet es für witterungsbeständige Anwendungen auch im Bereich der Fahrzeugindustrie viele Vorteile. Das Partikel könnte demnach von einer Schuh- oder Stiefelsohle, oder auch von einer Maschine kommen (Chemietechnik, o. J.). Allerdings werden auch Abdeckungsfolien aus PEVA in der Landwirtschaft eingesetzt.

3-2 Gefundene Kunststoffe und deren mögliche Herkunft

4. Zusammenfassung

Die Quellen von MP in die Umwelt sind durch die diversen Eintragspfade des MPs schwer zu bestimmen. Die landwirtschaftlichen Aktivitäten zur Steigerung der Produktivität, speziell der Einsatz von Mulchfolie, ist die grösste Quelle von MP. Weiter kann MP durch kontaminierten Dünger in die Böden gelangen. Durch den Zerfall des Plastiks kann dieser am Ende seiner Lebenszeit nicht mehr vollständig entfernt werden. MP akkumuliert sich und es verbleiben grosse Mengen in den Böden.

Kunststoffe kommen aufgrund ihrer vielfältigen Eigenschaften in unterschiedlichen Anwendungsbereichen vor. Diese Eigenschaften und Anwendungen beeinflussen seine Mobilität und den Einfluss, welcher MP auf die Umwelt hat. Die häufigsten Plastikarten, die produziert werden, sind PE, PP, PET, PS, PVC und PU. Die Verteilung der verschiedenen MP Arten hängt von ihrem Aufbau ab. Kunststoffe mit einer Kohlenstoffkette sind anfälliger für photooxidativen Zerfall, welcher den signifikantesten Einfluss auf die Bildung von MP darstellt. Besitzt der Kunststoff eine oxidierte Oberfläche oder Zwischenglieder kann dies den biologischen Zerfall vereinfachen.

Die Eigenschaften des Bodens bestimmen die Porengrösse und spielen eine wichtige Rolle in der Mobilität des MP in Böden. Vertikale Mobilität geschieht hauptsächlich durch Versickerung und Spalten in den Böden. Auch externe Einflüsse wie Pflügen oder biologische Einflüsse wie Organismen können zur vertikalen Mobilität beitragen. Hauptsächlich Wind und Abfluss von Wasser bestimmen die horizontale Mobilität von MP. Zudem wird MP durch den Verzehr und die Ausscheidung von Nutztieren transportiert. Der Boden fungiert als Senke für MP in terrestrischen Ökosystemen. Durch Auswaschen gelangt allerdings viel MP von der Pedo- in die Hydrosphäre. Man schätzt, dass ein Grossteil des MP in den Meeren vom Land herkommt. Plastik wird oft mit Zusatzstoffen angereichert, um die Eigenschaften zu verbessern. So kommt es zu einer Vielfalt an MP-Partikeln in landwirtschaftlichen Böden. Kleinere MP-Partikel haben einen grösseren Einfluss auf die Interaktion mit Bodenorganismen als grosse.

Die unterschiedliche Zusammensetzung beeinflusst die Sorptionseigenschaften des MP. Er kann POPs und Schwermetalle adsorbieren. Diese werden über Land- und Wasserlebewesen bis in die Nahrungskette der Menschen transportiert, wo sie ihre toxische Wirkung entfalten können. MP verlangsamt den natürlichen Abbau von POPs, wodurch sie länger in den Böden verbleiben. Die Adsorptionsfähigkeit von MP nimmt mit steigendem pH-Wert ab. In Bezug auf Pflanzen kann MP die Photosynthese und somit das Wachstum hindern. Bei Kleinlebewesen kann MP den Stoffwechsel und die Fortpflanzung stören. Auch auf Mikroorganismen nimmt MP, entweder direkt oder über den Sauerstofftransport zwischen den Erdschichten, Einfluss.

Die vollständigen Auswirkungen von MP auf terrestrische Ökosysteme sind noch nicht vollständig erforscht. Man weiss allerdings, dass sie die physikalischen, sowie chemischen Eigenschaften der Böden verändern können und somit einen Einfluss auf Nährstoffkreisläufe, Pflanzen und Tiere hat.

Eine systematische Beprobung eines landwirtschaftlich genutzten Feldes hat ergeben, dass der pH-Wert mit steigendem Abstand zum benachbarten Fluss abnimmt. Weiter wurde ein Einfluss der neben dem Feld verlaufenden Strasse festgestellt. Über die Ursachen dafür kann nur spekuliert werden. Der pH-Wert hängt von vielen Faktoren ab, welche von ausgetragenen Düngern über Huminsäuren der Pflanzen bis hin zum Mineraliengehalt und der Tiefe des Bodens reicht. Es kann allerdings gesagt werden, dass bei den tiefsten Proben (60 cm – 90 cm) die geringste Streuung beobachtet wurde. Ursachen für eine höhere Streuung in den oberen Erdschichten könnten die grösseren Umwelteinflüsse, sowie der Einfluss der landwirtschaftlichen Nutzung sein.

Aus zeitlichen Gründen konnten keine Daten über den MP-Gehalt erhoben werden. Jedoch fand man beim Aufbereiten der Proben einige Mesoplastikpartikel, welche mit einem FTIR-Spektroskop untersucht wurden. Dabei wurden Epoxidharz, Polystyrol, Polycaprolactam und Polyvinylchlorid Teilchen gefunden. Über den Zeitpunkt und die Art des Eintrages kann man nur spekulieren. Als wahrscheinliche Eintragungspfade wurden die Ausbringung mit städtischem Kompost, Littering sowie die landwirtschaftliche Nutzung definiert.

Da die Arbeiten auf dem Feld und im Labor mehr Zeit in Anspruch nahmen als geplant, konnten nicht genügend Daten erarbeitet werden. Demnach können vorerst auch keine Aussagen über den Zusammenhang zwischen MP und diversen Bodeneigenschaften gemacht werden. Mit dem übergeordneten Projekt «MIRACLE» wird allerdings die Arbeit fortgeführt und abgeschlossen werden. Diese Arbeit dient somit als Grundbaustein für weitere Untersuchungen.

5. Ausblick

Um einen Zusammenhang zwischen dem Mikroplastik und den Bodeneigenschaften zu erkennen sind weitere Analysen nötig. Das Projekt wird im Rahmen des «MIRACLE» Projekt der FHNW weitergeführt. Die Erkenntnisse dieses Berichts können in weitere Analysen mit einbezogen werden.

Um die in Kapitel 1.2 gestellten Forschungsfragen zu beantworten, sind zusätzlich noch folgende Schritte nötig:

- Extraktion und Analyse des Mikroplastiks aus den Bodenproben.
- Messung des organischen und anorganischen Kohlenstoffgehalt.
- Untersuchung von statistischen Zusammenhängen zwischen den verschiedenen Messungen.

Die Extraktion des Mikroplastiks aus den Bodenproben ist zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Berichtes bereits im Gange, wird aber noch ca. drei Monate andauern.

Das Projektteam empfiehlt für den weiteren Verlauf des Projekts «MIRACLE» und für ähnliche Projekte auf eine gute Zeitplanung zu achten. Die Laborarbeiten dauern lange und sind nicht zu unterschätzen. Um die Konstanz der Analysen zu gewährleisten, sollten auch die Pausen, in denen die Proben in einer Lösung oder ähnlichem sind, möglichst kurzgehalten werden. Die weiteren Arbeitsschritte müssen im Vorhinein vorbereitet werden, um Wartezeiten zu vermindern. Dies hilft einerseits bei der Konstanz der Messwerte und verringert den gesamten Zeitaufwand der Arbeit.

6. Danksagung

An dieser Stelle möchten wir uns bei Prof. Dr. Petar Mandaliev für die Unterstützung als Projektcoach bedanken.

Des Weiteren bedanken wir uns bei Dr. Misato Toda für die unkomplizierte Zusammenarbeit während des gesamten Projekts.

Ebenfalls möchten wir uns bei Daniel Fischer bedanken, welcher uns bei der Laborarbeit hilfsbereit unterstützt hat. In diesem Zusammenhang auch ein grosses «Dankeschön» an Raphael Dietiker für die tatkräftige Unterstützung beim Sammeln der Bodenproben und bei späteren Laborarbeiten.

Ein weiterer Dank geht an den Haldenhof in Hallwil, welcher uns ein Feld zur Beprobung zur Verfügung stellte.

Auch dankbar sind wir für die Zusammenarbeit mit der ZHAW und Dr. Basilius Thalmann und Co. für die spannende Einführung in die Mikroplastikextraktion.

7. Verzeichnisse

7.1 Literaturverzeichnis

- Ali, M. U., Lin, S., Yousaf, B., Abbas, Q., Munir, M. A. M., Ali, M. U., Rasihd, A., Zheng, C., Kuang, X., & Wong, M. H. (2021). Environmental emission, fate and transformation of microplastics in biotic and abiotic compartments: Global status, recent advances and future perspectives. *Science of The Total Environment*, 791, 148422. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148422>
- Chang, X., Fang, Y., Wang, Y., Wang, F., Shang, L., & Zhong, R. (2022). Microplastic pollution in soils, plants, and animals: A review of distributions, effects and potential mechanisms. *Science of The Total Environment*, 850, 157857. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157857>
- Chemietechnik, R. (o. J.). *Reichelt Chemietechnik*. Reichelt Chemietechnik. Abgerufen 9. Dezember 2022, von <https://www.rct-online.de/de/RctGlossar/detail/id/28>
- Ding, L., Zhang, S., Wang, X., Yang, X., Zhang, C., Qi, Y., & Guo, X. (2020). The occurrence and distribution characteristics of microplastics in the agricultural soils of Shaanxi Province, in north-western China. *Science of The Total Environment*, 720, 137525. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137525>
- epoxidharze.net. (o. J.). Epoxidharz nach Einsatzbereichen / Branchen. *epoxidharze.net*. Abgerufen 9. Dezember 2022, von <https://epoxidharze.net/einsatzbereich/>
- Hu, K., Yang, Y., Zuo, J., Tian, W., Wang, Y., Duan, X., & Wang, S. (2022). Emerging microplastics in the environment: Properties, distributions, and impacts. *Chemosphere*, 297, 134118. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134118>
- Kunststoff-Schweiz*. (o. J.). www.kunststoff-schweiz.ch. Abgerufen 9. Dezember 2022, von <https://www.kunststoff-schweiz.ch/cgi-bin/arlight/view.php?cid=10>

- Li, J., Song, Y., & Cai, Y. (2020). Focus topics on microplastics in soil: Analytical methods, occurrence, transport, and ecological risks. *Environmental Pollution*, 257, 113570. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113570>
- Liu, P., Zhan, X., Wu, X., Li, J., Wang, H., & Gao, S. (2020). Effect of weathering on environmental behavior of microplastics: Properties, sorption and potential risks. *Chemosphere*, 242, 125193. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125193>
- Luo, Y., Zhang, Y., Xu, Y., Guo, X., & Zhu, L. (2020). Distribution characteristics and mechanism of microplastics mediated by soil physicochemical properties. *Science of The Total Environment*, 726, 138389. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138389>
- Mandaliev, P. (2022). *Projektskizze P3 Mikroplastik*.
- Mikroplastik belastet Ackerböden*. (o. J.). Abgerufen 9. Dezember 2022, von <https://www.oekolandbau.de/bio-im-alltag/bio-fuer-die-umwelt/klima-und-natur/mikroplastik-belastet-unsere-boeden/>
- Polyamid (PA)—Technischer Kunststoff*. (o. J.). Kunststoffe: Nachrichten, Stellenmarkt, Produkte für die Kunststoffindustrie | Kunststoffe.de. Abgerufen 9. Dezember 2022, von <https://www.kunststoffe.de/a/grundlagenartikel/polyamide-pa-285284>
- Qi, R., Jones, D. L., Li, Z., Liu, Q., & Yan, C. (2020). Behavior of microplastics and plastic film residues in the soil environment: A critical review. *Science of The Total Environment*, 703, 134722. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134722>
- Qiu, Y., Zhou, S., Zhang, C., Zhou, Y., & Qin, W. (2022). Soil microplastic characteristics and the effects on soil properties and biota: A systematic review and meta-analysis. *Environmental Pollution*, 313, 120183. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120183>
- Retentat*. (o. J.). Abgerufen 2. Dezember 2022, von <https://www.chemie.de/lexikon/Retentat.html>
- Ya, H., Jiang, B., Xing, Y., Zhang, T., Lv, M., & Wang, X. (2021). Recent advances on ecological effects of microplastics on soil environment. *Science of The Total Environment*, 798, 149338. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149338>

Yang, H., Dong, H., Huang, Y., Chen, G., & Wang, J. (2022). Interactions of microplastics and main pollutants and environmental behavior in soils. *Science of The Total Environment*, 821, 153511. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153511>

Zhang, K., Hamidian, A. H., Tubić, A., Zhang, Y., Fang, J. K. H., Wu, C., & Lam, P. K. S. (2021). Understanding plastic degradation and microplastic formation in the environment: A review. *Environmental Pollution*, 274, 116554. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116554>

7.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Globale Plastikproduktion von 1950 - 2022 (Tiseo, 2022).....	2
Abbildung 2: Aufnahme des Bereiches der Bodenproben. Die Standorte sind mit den farbigen Kreisen eingezeichnet.....	5
Abbildung 3: Entnommene Bodenproben in Pürkhauer-Tool.....	6
Abbildung 4: Bodenprobe mit Löchern	7
Abbildung 5: zerkleinerte und getrocknete Bodenprobe	8
Abbildung 6: Fertig vorbereitete Bodenprobe nach dem Sieben.....	9
Abbildung 7: FTIR-Spektrum Polycaprolactam (PA6).....	10
Abbildung 8: Eintragspfade Mikroplastik (Yang et al., 2022).....	12
Abbildung 9: Migration von Mikroplastik im Boden (Chang et al., 2022)	16
Abbildung 10: Auswirkungen von Mikroplastik im Boden (Ya et al., 2021).....	19
Abbildung 11 Bodenproben vom Flussufer.....	20
Abbildung 12 Probenraster mit Spalten und Zeilen	21
Abbildung 13: alle pH-Werte im Vergleich zur Tiefe. Die orange Linie zeigt den Durchschnitt der pH-Werte.	22
Abbildung 14: pH-Wert Vergleich zu den Spalten – 30 cm Proben.....	23
Abbildung 15: pH-Wert Vergleich zu den Spalten – 60 cm Proben.....	23
Abbildung 16: pH-Wert Vergleich zu den Spalten – 90 cm Proben.....	24
Abbildung 17: pH-Wert Vergleich der Zeilen – 30 cm Proben.....	24
Abbildung 18: pH-Wert Vergleich zu den Zeilen – 60 cm Proben	25
Abbildung 19: pH-Wert Vergleich zu den Zeilen – 90 cm Proben	25
Abbildung 20: pH-Werte am Flussufer	26
Abbildung 21: Gefundenes Mesoplastikpartikel der Probe 64-22-30	27

Abbildung 22: Spektren der gefundenen Plastikpartikel 27
Abbildung 23: pH-Werte von Zeile 5 und Spalte 6 im Vergleich zur Tiefe..... 29

7.3 Tabellenverzeichnis

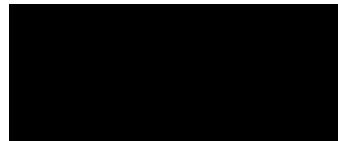
3-1 Durchschnittlicher pH-Wert nach Tiefe der Proben 22
3-2 Gefundene Kunststoffe und deren mögliche Herkunft 30

8. Ehrlichkeitserklärung

«Hiermit erkläre ich, die vorliegende Projektarbeit selbständig und nur unter Benutzung der angegebenen Quellen verfasst zu haben. Die wörtlich oder inhaltlich aus den aufgeführten Quellen entnommenen Stellen sind in der Arbeit als Zitat bzw. Paraphrase kenntlich gemacht. Diese Projektarbeit ist noch nicht veröffentlicht worden. Sie ist somit weder anderen Interessierten zugänglich gemacht noch einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt worden.»

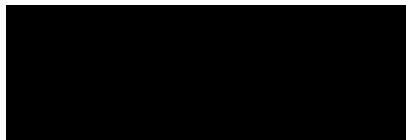
Name: Calvin Strebel

Unterschrift:



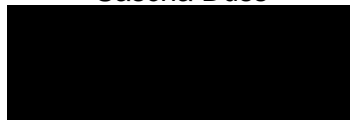
Name: Renato Ackermann

Unterschrift:



Name: Sascha Duss

Unterschrift:



Windisch, 23.12.2022

9. Anhang

Laborprotokoll PH-Wert Messung

1

Safety/ Protective equipment



* This procedure involves handling of pH4 (acid) and 10 (caustic) buffer solutions.

Labware/ Reagents

pH meter	Deionized water
Volumetric flask 1L	0.01 M CaCl ₂ (Dissolve 1.1 g of CaCl ₂ (1.5 g CaCl ₂ •2H ₂ O) in de-ionized water. Adjust volume to 1L in a volumetric flask)
Spatula	1 M KCl (Dissolve 74.6 g of KCl in in deionized water. Adjust volume to 1 L in a volumetric flask)
50 mL centrifuge tubes	pH 4, 7, +/- 10 buffer solutions

pH meter calibration

- Using the correct technique to avoid exposure to atmospheric air, pour a small amount of pH 4, 7 and 10 buffer solution in the corresponding 20 mL bottle. Contact with air can alter the pH of the buffer solution over time. Replace the contents of the 20 mL bottles every 2 weeks.
- Rinse the pH electrode with deionized water. Blot dry using a Kimwipe. Do not rub or wipe as this creates static electricity that interferes with measurement.
- Turn on the pH meter.
- Follow the instrument-specific calibration protocol.
- Rinse the electrode and blot dry.

pH measurement in water

1.Setup

- Work in batches of 4-6 samples.
- Line up and number centrifuge tubes.
- Using a spatula, weigh 6 +/- 0.1 g of soil sample into the tubes.
- Add 15 mL of water to each tube using a graduated cylinder (1:2.5 soil:solution ratio; see AFNOR standard NF X-31-103, 1998).
- Close the tubes and set on the agitation table at low speed for 30 min (e.g., 200 rpm; see Qiu and Zhu, 1986).

- Take the tubes off the table and set upright. Allow the suspension to decant for 30 min.

Notes:

- Don't forget to include a batch of analytical replicates every 5-10 batches (10-20% replicates)
- Organic samples tend to form a thick slurry at a soil:solution ratio of 1:2.5. A lower ratio must then be accepted (e.g. 1:5).

2. pH measurement

- Measure pH by inserting the tip of the electrode into the supernatant. The tip of the electrode should be submerged, but should not come in contact with the slurry at the bottom of the tube.
- Wait for a stable reading.
- Record the sample number, solution type and pH reading to one decimal place.
- Rinse the electrode with deionized water and gently blot dry with a Kimwipe.
- Repeat for other samples.
- At the end of each batch, check the pH of the first sample to ensure that there was no drift.
- At the end of the analysis, clean, dry and store the electrode back in the appropriate junction solution. The electrode should never be allowed to dry. Close the filling opening (small hole on the electrode body).

3. Cleanup

- Re-suspend soil and discard the slurry into the soil waste bucket.
- Rinse centrifuge tubes with tap water until all traces of soil are gone.
- Rinse 3 times with deionized water.
- The tubes can then be re-used for the next batch of samples of **identical matrix** (e.g., pH_{water}, pH_{CaCl2}, etc.)

pH measurement in 0.01 M CaCl₂ and 1 M KCl

Repeat the measurements in 1:2.5 soil: CaCl₂ or soil: KCl suspensions.

References

Conyers MK and Davey BG (1988) Observation on some routine methods for soil pH determination. *Soil Sci* 145:29-36.

Pansu M and Gautheyrou J (2006) *Handbook of soil analysis*. Springer-Verlag: Berlin.

Qiu X-C and Zhu Y-Q (1986) Spectrophotometric determinations of pH value, buffer capacity and rate of lime need in acidic soil, using chrysoidine as a chromogenic agent. *Soil Sci* 142:275-278.

Schofield RK and Taylor AW (1955) The measurement of soil pH. *Soil Sci Soc Am Proc* 19:164167.

Laborprotokoll Extraktion Mikroplastik

1.	5 g Boden sowie 1.2 mg MP (0.4 mg MP (250 – 500 µm)/Sorte, Partikelanzahl bestimmen) abmessen und in einen Erlenmeyerkolben (500 ml) geben
2.	Magnetfisch und Thermometer hinzufügen und mittels Magnetrührer bei 300rpm rühren
3.	10 ml FeSO ₄ *7H ₂ O (20 g/L) mit HNO ₃ auf pH=3 einstellen
4.	20 ml 30 % H ₂ O ₂ hinzufügen
5.	Alle 2 Minuten 5 ml 30 % H ₂ O ₂ hinzufügen, bis 10 Minuten erreicht sind
6.	Temperaturkontrolle während 60 Minuten und beim Überschreiten von 40 °C die Reaktion im Eisbad kühlen
7.	Stoppen der Reaktion durch Zugabe von Reinstwasser
8.	Probe im Erlenmeyer für 24–48h in einem Trockenschrank bei 40 °C trocknen
9.	In den Scheidetrichter (250 ml, Spezialanfertigung mit 8 mm Öffnung) werden ~ 20 ml NaBr-Lösung (95 g NaBr / 100 g Reinstwasser) vorgelegt, um eine Verstopfung zu vermeiden
10.	Getrocknete Probe aus Schritt 8 wird über einen Glastrichter in den Scheidetrichter transferiert. Die Wände des Trichters werden mit einer Glaspipette mit NaBr nachgespült.
11.	150 ml NaBr-Lösung zugeben
12.	Geschlossenen Scheidetrichter 1 Minute lang schütteln
13.	Scheidetrichter für 2 Minuten im Ultraschallbad behandeln
14.	Absetzen für 10 Minuten
15.	Die schwere Fraktion wird abgelassen (aber für das Recycling gelagert)
16.	~ 50 ml frische NaBr-Lösung hinzufügen
17.	Geschlossener Scheidetrichter 1 Minute lang schütteln
18.	Absetzen für 30 Minuten
19.	Die schwere Fraktion am Boden wird abgelassen (aber für das Recycling gelagert)
20.	Falls erforderlich, Schritte 9. bis 12. wiederholen, wenn mit dem Auge noch viele Bodenpartikel erkennbar
21.	Tonpartikel durch einen Metallgewebefilter mittels Vakuumpumpe abfiltrieren
22.	Metallgewebefilter (inkl. Retentat) wägen
23.	Retentat auf Metallgewebefilter mit Reinstwasser in Erlenmeyerkolben (250 ml) rückspülen
24.	Erlenmeyer für 24–48h in einem Trockenschrank bei 40 °C trocknen