



Vorarlberg
unser Land



Kunststoffe im Boden

Untersuchungen zu Kunststoffverunreinigungen in landwirtschaftlichen Böden Vorarlbergs

Umweltinstitut - Bericht UI-04/2019

Institut für Umwelt- und Lebensmittelsicherheit des Landes Vorarlberg

Kunststoffe im Boden

Untersuchungen zu Kunststoffverunreinigungen in landwirtschaftlichen Böden
Vorarlbergs

Gesamtbearbeitung:

Katharina Sexlinger

Email: katharina.sexlinger@vorarlberg.at

AutorInnen:

Katharina Sexlinger

Monika Humer

Christoph Scheffknecht

Impressum

Herausgeber und Medieninhaber:
Amt der Vorarlberger Landesregierung
Römerstraße 15, 6901 Bregenz

Verleger:
Institut für Umwelt und Lebensmittelsicherheit des Landes Vorarlberg
Montfortstraße 4, 6901 Bregenz
T +43 5574 511 42099

Titelbild: Kunststoffe im Boden
Quelle: Katharina Sexlinger

Bregenz, Februar 2019

Inhalt

1	Einleitung	3
2	Kunststoffe im Boden – Stand des Wissens	4
2.1	Begriffsdefinition Mikroplastik, Mesoplastik, Makroplastik.....	4
2.2	Plastikverunreinigungen in Böden – Stand der Forschung.....	5
2.3	Eintragsquellen von Kunststoffen in den Boden	6
2.4	Verhalten von Kunststoffen im Boden.....	7
2.5	Mögliche Auswirkungen und Gefahren von Kunststoffen im Boden	7
2.6	Situation in Vorarlberg.....	8
3	Ausarbeitung einer Bestimmungsmethode zu Kunststoffverunreinigungen in Böden	10
3.1	Kunststoffgehalt im Boden	10
3.2	Optischer Verunreinigungsgrad.....	14
3.3	Einflussfaktoren und Grenzen der Anwendbarkeit	16
3.4	Ergebnisse	19
3.5	Exkurs: Mikroplastikanalyse	25
4	Handlungsmöglichkeiten und Regelungen	27
5	Zusammenfassung	28
6	Literatur	30

Abstract

Plastic pollution of the environment, especially of marine and freshwater ecosystems has been receiving growing public and scientific attention over the past few years. Plastic pollution of soils has however been neglected, even though it is estimated that the contamination of soils with plastic is considerable. Especially microplastic pollution of soils is being increasingly documented. Sources of plastic pollution are manifold and diverse. In agroecosystems, secondary raw material fertilisers or plastic mulch have been identified as one of the main origins of plastics in soil.

So far, there are no existing legal threshold values addressing the input of plastics into soil. As part of the new soil protection regulation in Vorarlberg, threshold and precautionary levels for soils have now been implemented. Since no standardised methods to investigate contaminated soils existed, a method for sampling and analysis of plastics > 1mm has been developed. Several agricultural soils have been analysed. The results clearly showed that the use of secondary raw material fertilisers such as sewage sludge compost and digestate are leading to a notable input of plastics into agricultural soils. A comparison of our results with an external microplastic analysis (0,05 – 0,5 mm) furthermore indicated a correlation of meso- and microplastic contamination, suggesting possible fragmentation of mesoplastics in soil. However, our analysis also showed that sampling of plastic contaminated soils is challenging and still needs further improvement. Due to the heterogenic dispersion of plastic fragments in soil and on the soil surface, as well as the various sizes and properties of plastic particles, it is difficult to obtain conclusive samples and in a further step get significant results.

Nevertheless, it is obvious that the pollution of soils with plastics is an issue of growing concern, which cannot be neglected. Once plastic has entered the soil, it is being fragmented into smaller particles with yet unknown consequences. It is therefore crucial to further investigate the extent, sources and behaviour of plastic contamination in soils.

1 Einleitung

Der ubiquitäre Einsatz von Kunststoffen führte in den letzten Jahrzehnten zu einem stetig steigenden Eintrag von Kunststoffmüll in die Umwelt. Das Ausmaß dieses Problems in marinen und Frischwasserökosystemen wird bereits seit einigen Jahren thematisiert. Der Eintrag von Kunststoffen in den Boden wurde jedoch bis jetzt weitestgehend vernachlässigt. Obwohl erst wenig Informationen zu Kunststoffverunreinigungen von terrestrischen Ökosystemen zur Verfügung stehen, legen Schätzungen nahe, dass der Eintrag von Plastik in den Boden beträchtlich ist. Vor allem die Verunreinigung mit Düngemittel aus Sekundärrohstoffen ist hierbei ein bekanntes Problem. Aufgrund der steigenden Kunststoffproduktion und den vielfältigen potentiellen Eintragspfaden ist eine weiter anhaltende Verschmutzung von Böden zu erwarten, womit sich im Sinne des vorsorgenden Umweltschutzes bereits heute Handlungsbedarf ergibt.

Da auch in Vorarlberg die Problematik von mit Kunststoffen verunreinigten Materialien (z.B. Komposte, Gärrückstände) bekannt ist, und aufgrund von aktuellen Vorfällen von verunreinigten Böden, wurden in der neuen Vorarlberger Bodenqualitätsverordnung erstmals Kunststoffgrenzwerte für Materialien und den Boden festgelegt. Da dies die ersten rechtlich gültigen Grenzwerte für Kunststoffe im Boden sind, existierten auch keine standardisierten Verfahren zu Probenahme und Analyse.

Aus diesem Grund sollte eine praktikable Bestimmungsmethode zu Kunststoffverunreinigungen in Böden erarbeitet werden. Der Schwerpunkt lag dabei vorrangig auf Kunststofffragmenten welche mit freiem Auge sichtbar sind (> 1 mm). Mehrere landwirtschaftlich genutzte Flächen im Rheintal wurden untersucht um erste Informationen zur Situation in Vorarlberg zu erhalten und Rückschlüsse über eventuelle Eintragspfade ziehen zu können.

Der vorliegende Bericht beschreibt die Erfahrungen die im Zuge der Erarbeitung einer Bestimmungsmethode gemacht wurden, sowie die erzielten Ergebnisse und versucht einen allgemeinen Überblick über das Thema Kunststoffe im Boden zu geben.

2 Kunststoffe im Boden – Stand des Wissens

Kunststoff wurde in den letzten Jahrzehnten zu einem der wichtigsten Werkstoffe. Seine vorteilhaften Eigenschaften wie Langlebigkeit, Formbarkeit, geringes Gewicht und niedrige Kosten haben maßgeblich zum Wachstum der Kunststoffbranche beigetragen (IEEP, 2018). Während im Jahr 1950 zwei Millionen Tonnen Kunststoffe hergestellt wurden, betrug die Kunststoffproduktion im Jahr 2015 bereits 380 Millionen Tonnen, was einer jährlichen Wachstumsrate von 8,4% entspricht. Zur Entsorgung von Plastikmüll stehen grundsätzlich drei Möglichkeiten zur Verfügung: Recycling (und somit eine Verzögerung der Entsorgung), Verbrennung und Ablagerung auf Deponien bzw. in der Umwelt. Von der kumulierten Plastikmüllerzeugung in den Jahren 1950 bis 2015 wurden nur rund 9% recycelt, 12% wurden verbrannt und rund 79% landeten auf Deponien oder in der Umwelt. Halten derzeitige Produktions- und Abfallmanagementtrends an, steigt laut den Forschern die Zahl an Plastikmüll auf Deponien und in der Umwelt auf ca. 12.000 Mt bis 2050 (Geyer et al., 2017). In Vorarlberg fielen im Jahr 2014 rund 10.500 t Siedlungsmüll an Kunststoffverpackungen an, was einem pro-Kopf-Aufkommen von 27,5 kg/EW entspricht. (Land Vorarlberg, 2017).

Aufgrund der anhaltend hohen bzw. steigenden Produktion von Kunststoffen, ist auch eine permanente und steigende Verschmutzung von terrestrischen Ökosystemen mit Plastik zu erwarten. Keine dieser in Massen produzierten Kunststoffe werden biologisch abgebaut und akkumulieren sich somit in den Umweltmedien und werden oft auch von Tieren aufgenommen. Physikalische Einflüsse führen zu einer Fragmentierung der Makrokunststoffe bis in den Millimeter oder Mikrometerbereich und es entsteht sogenanntes Mikroplastik (<5 mm) (Geyer et al., 2017). Welchen Einfluss Mikroplastikpartikel auf den Menschen haben ist noch ungewiss, jedoch wurde MP bereits nicht nur in Lebensmitteln nachgewiesen, sondern auch im menschlichen Darm (Schwabl et al., 2018).

2.1 Begriffsdefinition Mikroplastik, Mesoplastik, Makroplastik

In der Literatur zu Plastikverschmutzungen in der Umwelt gibt es bezüglich der Größe von Kunststofffragmenten unterschiedliche Angaben. Häufig wird dabei Mikroplastik thematisiert, aber auch größere Kunststoffe werden angesprochen. Um Unklarheiten vorzubeugen, werden im Folgenden die Begriffe Mikroplastik, Mesoplastik und Makroplastik definiert.

Bisher gibt es keine offizielle, standardisierte Definition für den Begriff Mikroplastik (MP), jedoch hat sich in den letzten Jahren eine Klassifizierung im Größenbereich 5 mm – 1 µm durchgesetzt. Zusätzlich wird oft zwischen großem Mikroplastik (1 mm bis 5 mm) und kleinem Mikroplastik (1 µm bis 1 mm) unterschieden (UBA, 2015).

Je nach Herkunft kann Mikroplastik auch in primäres und sekundäres Mikroplastik unterteilt werden. Wird Mikroplastik bereits bei der Herstellung eines Produktes erzeugt, so spricht man von primärem Mikroplastik (Strahlkörper, Reibkörper in Kosmetik, etc.). Es gelangt also unmittelbar in einer Größe < 5 mm in die Umwelt. Sekundäres Mikroplastik hingegen entsteht durch Fragmentierung von Makroplastik in der Umwelt. Diese Fragmentierung

erfolgt durch den Einfluss von Sonnen-/UV-Licht, Mikroorganismen, Oxidation oder durch mechanischen Abrieb (UBA, 2015; GESAMP, 2016).

Auch für die Begriffe Mesoplastik (MEP) und Makroplastik gibt es keine einheitliche Definition, oftmals werden darunter jedoch die Bereiche 5 mm – 2,5 cm bzw. > 2,5 cm verstanden (Scheurer und Bigalke, 2018; Liu et al., 2018; GESAMP, 2016).

Definition Makro-, Meso- & Mikroplastik

Makroplastik: > 2,5 cm

Mesoplastik (MEP): 5 mm – 2,5 cm

Mikroplastik (MP): 1 µm – 5 mm

 Großes Mikroplastik: 1 mm – 5 mm

 Kleines Mikroplastik: 1 µm – 1 mm

2.2 Plastikverunreinigungen in Böden – Stand der Forschung

Das Wissen um Vorkommen, Verhalten und Auswirkungen von Plastik in Umweltmedien befindet sich derzeit noch am Anfang. Während Plastikverschmutzung in Gewässern in den letzten Jahren erhöhte Aufmerksamkeit erlangte und somit auch mehr Forschung in diesem Bereich betrieben wurde, ist die Kontamination von terrestrischen Systemen und Böden noch relativ unerforscht. Und das, obwohl laut Schätzungen die Kontamination mit Plastik an Land 4 – 23-mal höher ist als in den Ozeanen (Horton et al., 2017).

Eine Schweizer Studie, welche Kunststoffe in Auböden untersuchte, fand in 90% der untersuchten Proben Mikroplastik. Sogar in abgelegenen Bergregionen in Naturreservaten, ohne permanente Bewohner oder Klärschlammaufbringung konnte MP nachgewiesen werden. Die Studie fand eine Korrelation zwischen MP und MEP Konzentrationen, was darauf schließen lässt, dass MP durch das MEP entstanden ist oder beide aus derselben Quelle stammen (Scheurer und Bigalke, 2018). Studien aus China fanden Meso- und Mikroplastik in landwirtschaftlichen Böden und identifizierten als Haupteintragspfade Klärschlamm, Mulchfolien und Abwasser (Zhang und Liu, 2018; Liu, 2018). Eine deutsche Studie fand in konventionell bewirtschafteten Böden ohne Düngung mit Klärschlamm oder Komposten 206 Makroplastikfragmente pro Hektar und $0,34 \pm 0,36$ Mikroplastikpartikel pro kg TM Boden (Piehl et al., 2018).

Auch was die Analytik von Mikroplastik im Boden betrifft, steht die Forschung noch am Anfang. Während es zur Mikroplastikanalyse in Gewässern bereits mehr Erfahrung gibt – wobei es auch hier noch an standardisierten und vergleichbaren Methoden fehlt – steht die Analytik von MP im Boden noch ganz am Anfang. Aufgrund der Probenmatrix (Textur, organischen Substanz) stellt die Identifikation und Quantifizierung von Kunststoffen im Boden eine besondere Herausforderung dar. Zurzeit existierende analytische Methoden sind neben der visuellen Sortierung unter dem Mikroskop die Identifizierung durch Raman Spektroskopie, FT-IR sowie thermoanalytische Verfahren (Bläsing und Amelung, 2018).

2.3 Eintragsquellen von Kunststoffen in den Boden

Für den Eintrag von Kunststoffen in den Boden gibt es unterschiedliche Quellen. Hierzu zählen die Ausbringung von Düngemitteln, insbesondere Sekundärrohstoffdünger wie Klärschlamm, Gärrückstände und Kompost, aber auch der Eintrag durch Mulchfolien, Littering, Reifenabrieb, diffuse atmosphärische Deposition, Bewässerung, etc.

Vor allem Klärschlamm wurde als ein bedeutender Eintragungspfad von Kunststoffen auf landwirtschaftliche Böden identifiziert. Fasern aus synthetischen Kleidungsstücken, Mikrokügelchen aus Kosmetikprodukten und Industrie, Reifenabrieb oder auch die Zugabe von polymeren Flockungshilfsmitteln während der Klärung sind die Hauptquellen von Plastik im Klärschlamm. Zwischen 80 und 90% des Mikroplastiks im Abwasser der Kläranlage wird im Klärschlamm zurückgehalten (Talvitie et al., 2017). Somit gelangt das MP untergeordnet in Gewässer, wird jedoch bei einer Ausbringung von Klärschlamm in der Landwirtschaft in den Boden eingetragen. Eine Untersuchung deutscher Kläranlagen hat ergeben, dass 90% der Kunststoffpartikel in allen Kläranlagen zurückgehalten werden, jedoch gelangen von diesen ca. 50% durch Kompostierung und Deponierung in die Umwelt (Breitbart und Urban, 2018).

Auch organische Düngemittel wie Kompost oder Gärrückstände können je nach Vorbehandlung einen relevanten Eintragungspfad von Kunststoffen darstellen (Weithmann et al., 2018). Für Deutschland wurde eine rechtlich legitimierte Ausbringungsmöglichkeit von 20.000 t Kunststoffe pro Jahr durch Sekundärrohstoffdüngemittel (Klärschlamm, Kompost, Gärrückstände) berechnet (Bannick, 2018). Dabei zu bedenken ist, dass sich Kunststoffe durch eine regelmäßige Ausbringung mit organischen Düngern im Boden akkumulieren. Durch mehrere Siebschritte können zwar die Mengen an Plastik in organischen Düngern verringert werden, bei kleinen Partikeln ist eine vollständige Entfernung jedoch schwer möglich (Weithmann et al., 2018).

Bei Komposten trägt auch der immer häufigere Einsatz von Biokunststoffen (biologisch abbaubare Kunststoffe) zur Plastikkontamination bei. Die unterschiedlichen Definitionen und teilweise unklaren Kennzeichnungen von Biokunststoffen führen oftmals zu einer falschen Entsorgung. Sind Biokunststoffe nicht durch ein anerkanntes Zertifikat gekennzeichnet (beispielsweise zertifiziert durch die EN 13432) ist ein vollständiger biologischer Abbau nicht gewährleistet. Oxo-abbaubare Kunststoffe etwa sind auf Erdölbasis produzierte Kunststoffe mit chemischen Additiven, die den Abbau des Kunststoffes beschleunigen sollen und für Kunststofftaschen oder Mulchfolien eingesetzt werden. Jedoch gibt es keine Belege, dass diese Kunststoffe innerhalb eines vertretbaren Zeitraums biologisch abgebaut werden. Vielmehr zerfallen sie lediglich und verwandeln sich in Mikroplastik (DB, 2015; EU Kommission, 2018a). Genauso wie bei Biokunststoffen können die irreführenden Behauptungen gegenüber den Verbrauchern deren Wegwerfverhalten beeinflussen bzw. zu verkehrten Anreizen führen und somit zu verstärktem Littering bzw. unsachgemäßer Entsorgung. Bei Mulchfolien für die Landwirtschaft werden diese Produkte mit der Absicht verkauft, sie nach Gebrauch nicht wieder einzusammeln, sondern sie an Ort und Stelle zu belassen, wodurch es zu einem Eintrag von Plastik in den Boden kommt (EU Kommission, 2018). Generell trägt die Kompostierung von Kunststoffen weder zur Struktur- noch Nährstoffverbesserung des Kompostes bei, da keine pflanzenverfügbaren Nährstoffe

freigesetzt werden oder Bodensubstrat gebildet wird und entspricht daher eher einer Entsorgungsmaßnahme (DB, 2015).

Bezüglich der Partikelgröße der freigesetzten Kunststoffpartikel hat eine Studie des Fraunhofer-Instituts ergeben, dass Kunststoffemissionen in Deutschland zu 26% aus Makroplastik und zu 74% aus Mikroplastik bestehen (und hier vor allem Mikroplastik welches in der Nutzungsphase freigesetzt wird). Den sichtbaren Kunststoffen steht also eine ca. dreifach größere Menge an ‚unsichtbaren‘ bzw. teilweise nur unter dem Mikroskop sichtbaren Plastikpartikeln gegenüber (Bertling et al., 2018).

2.4 Verhalten von Kunststoffen im Boden

Einmal in den Boden eingetragen, werden Kunststoffe dort fragmentiert, transportiert und angereichert. An der Bodenoberfläche kann es durch direkte UV-Strahlung, erhöhte Sauerstoffverfügbarkeit und hohe Temperaturen zur Desintegration und Fragmentierung von Kunststoffen kommen. Je nach Größe können die Plastikpartikel mittels verschiedener Prozesse in die Bodenmatrix gelangen. Durch Bioporen (Regenwurm- oder Wurzelgänge) Bodenbearbeitung (Pflügen, Ernten), Rissformationen, und Bioturbation (z.B. Transport durch Regenwürmer), werden die Plastikpartikel vertikal und horizontal im Boden verteilt. Rillig et al. (2017) konnten etwa zeigen, dass Regenwürmer Mikroplastik in tiefere Bodenschichten transportieren. Die Mobilität hängt hierbei von der Größe, Dichte, Hydrophobie, Form der Plastikpartikel und der Textur des Bodens ab.

Der Abbau von Plastik im Boden selbst erfolgt aufgrund fehlender UV-Strahlung und physikalischen Reibungsprozessen sehr langsam. Einmal eingebracht, akkumulieren sich Kunststoffe daher, werden Teil einer komplexen Mischung aus organischem und mineralischem Material und verbleiben durch ihre Langlebigkeit über Jahrzehnte im Boden (Bläsing und Amelung, 2018). Ein Transfer von Mikroplastik über den Boden in das Grundwasser ist unwahrscheinlich, jedoch in Regionen mit hohem Grundwasserspiegel und grobkörnigen Böden mit einem hohen Anteil an Makroporen möglich. Auch die direkte Aufnahme von MP durch Pflanzen ist eher unwahrscheinlich, allerdings könnten MP Partikel an der Oberfläche von Salat bzw. Wurzelgemüse anhaften oder von Nutztieren aufgenommen werden und so auch in den menschlichen Organismus gelangen (Scheurer und Bigalke, 2018).

2.5 Mögliche Auswirkungen und Gefahren von Kunststoffen im Boden

Aufgrund der nicht-natürlichen Proportionen und der Beständigkeit von Plastik, kann die Verunreinigung von Böden unterschiedliche Auswirkungen auf Bodenorganismen haben bzw. Veränderungen in der Bodenstruktur bewirken. Eine Studie zur Untersuchung der Auswirkungen von Mikroplastik auf die biophysikalische Umwelt im Boden zeigte, dass MP Einfluss auf die Lagerungsdichte, Wasserhaltekapazität und die funktionale Beziehung zwischen mikrobieller Aktivität und wasserstabilen Aggregaten hatte. MP kann deshalb einen relevante Langzeitstressor und Treiber von globalen Veränderungen in terrestrischen Ökosystemen darstellen (de Souza Machado et al., 2018).

Die Auswirkungen auf tierische Organismen und Menschen sind noch unzureichend erforscht. Potentielle Gefahren für Mensch und Umwelt können durch die Vielfalt an verwendeten Kunststoffen sowie unterschiedlichen Größen und Formen aber nicht

ausgeschlossen werden. Bisherige Studien zeigten mögliche negative Auswirkungen von MP auf Bodenorganismen sowie die Akkumulation von MP in diesen. So wurde zum Beispiel eine erhöhte Mortalität und geringere Fitness bei Regenwürmern festgestellt (Lwanga et al., 2016; Cao et al., 2017). Zusätzlich können sich Additive aus MP in Bodenorganismen anreichern. Es konnte außerdem gezeigt werden, dass Reaktionen von Bodenorganismen auf MP Veränderungen von Bodeneigenschaften zur Folge haben können.

Kunststoffe können zudem als Quelle von Chemikalien fungieren. Neben dem reinen Polymer enthalten Kunststoffe chemische Substanzen, die während der Herstellung eines Kunststoffproduktes hinzugefügt werden. Um die Produkteigenschaften zu verbessern werden Additive wie Weichmacher, Flammschutzmittel, Farbstoffe, etc. zugesetzt, von denen viele toxisch oder hormonell wirksam sein können. Viele der zugesetzten Additive sind nur sehr schwach oder gar nicht an die Polymermoleküle gebunden und werden somit im Laufe der Zeit aus dem Plastik ausgewaschen (Horton et al., 2017). Beispiele solcher Substanzen sind polybromierte Diphenylether (PBDEs) und andere bromierte Flammschutzmittel sowie Nonylphenol, Bisphenol A (BPA) und Phthalate (de Souza Machado et al., 2017). Unterschiedliche Studien zeigten das Vorkommen von Phthalatestern in landwirtschaftlichen Böden durch den Einsatz von Mulchfolien, Kunststofffolien bei Treibhäusern (Folientunnel) und Klärschlamm (Li et al., 2016; Wang et al., 2013). Auch EU Risikoeinschätzungen für mehrere Phthalate haben gezeigt, dass Kunststoffe eine der Hauptquellen für Phthalatfreisetzungen in der Umwelt sind (Lassen et al., 2015).

Kunststoffe können jedoch auch als Senke für Chemikalien dienen indem sie persistente organische Schadstoffe (POPs), wie z.B. PCBs, PAHs, Organochlorpestizide und Metalle aus der Umwelt anlagern und anreichern. Diese können unter anderem krankheitserregend, giftig, kanzerogen oder hormonell aktiv sein und im Falle einer Aufnahme potentiell an den Organismus abgegeben werden (Peng et al., 2017).

Die tatsächliche Gefährdung durch Mikroplastik ist aktuell aufgrund der geringen Datenlage noch schwer einzuschätzen. Im Sinne des Vorsorgeprinzips müssen jedoch Maßnahmen getroffen werden um den Eintrag von Kunststoffen in den Boden zu vermeiden.

2.6 Situation in Vorarlberg

In Vorarlberg wurde das Thema Kunststoffe im Boden relevant als großflächig Kunststoffabfälle aus der Skiproduktion über Wirtschaftsdünger auf landwirtschaftliche Flächen gelangten. Zu den typischen Eintragungspfaden von Kunststoffen auf Böden zählen auch in Vorarlberg vor allem organische Düngemittel (Komposte, Klärschlammkompost, Gärrückstände, Wirtschaftsdünger) und landwirtschaftliche Betriebsmittel (Silofolien, Mulchfolien). Aber auch Littering stellt eine nicht zu vernachlässigende Quelle von Kunststoffeinträgen in den Boden dar.

Klärschlamm darf in Vorarlberg nur in Form von Klärschlammkompost aufgebracht werden. Die Qualität und der Anteil an Kunststoffen sind hierbei direkt von den Inputmaterialien abhängig, in diesem Fall von entwässertem Klärschlamm und Strukturmaterial. Bei diesem Strukturmaterial handelt es sich oft um Grünschnitt aus öffentlichen Sammelstellen bzw. von Straßenbegleitflächen, welches stark mit Kunststoffen verunreinigt sein kann. (Humer, 2017). Littering stellt vor allem ein Problem bei landwirtschaftlichen Flächen dar, die an stark befahrene Straßen grenzen. Auch Straßenbegleitflächen deren Grünschnitt kompostiert

wird, sind oftmals stark mit Kunststoffen durch Littering verunreinigt und tragen daher zur Kunststoffbelastung von Komposten und in späterer Folge von Böden bei.

Bislang gab es in Österreich bzw. Vorarlberg nur eine rechtliche Regelung die den Eintrag von Kunststoffen in den Boden betrifft. In der österreichischen Kompostverordnung wurden explizit Grenzwerte für Kunststoffe >2 mm festgelegt. Die Grenzwerte liegen hierbei für Kunststoffe >2mm bei 0,2% TM bei landwirtschaftlicher Ausbringung bzw. bei 0,4% TM im Bereich Landschaftsbau, und für Kunststoffe >20mm bei 0,02% TM bzw. 0,04% TM. Diese Grenzwerte gelten jedoch nur für Komposte die gemäß Kompostverordnung in Verkehr gebracht werden. Die Ausbringung von eigenem Kompost wird dadurch nicht geregelt. Auch für alle anderen Materialien sind die Kunststoffanteile nicht geregelt. Interne Untersuchungen haben jedoch gezeigt, dass unterschiedliche in der Landwirtschaft eingesetzte Materialien und Betriebsmittel mit Kunststoffen verunreinigt sein können.

In der seit 1.1. 2019 in Vorarlberg gültigen Bodenqualitätsverordnung wurden nun erstmals Kunststoffgrenzwerte und Vorsorgewerte für den Boden sowie Grenzwerte für Materialien festgelegt. Somit werden Kunststoffe nicht wie bisher nur emissionsseitig geregelt, sondern auch auf der Immissionsseite.

Tabelle 1: Grenzwerte und Vorsorgewerte für Kunststoffe der Vorarlberger Bodenqualitätsverordnung

Bodengrenzwerte	
Summe der Fremdstoffe aus Kunststoff und Gummi, sowie Verbundstoffen mit Anteilen davon (> 1mm)	200 mg/kg TM
Flächensumme der Fremdstoffe aus Kunststoff und Gummi, sowie Verbundstoffen mit Anteilen davon	10 cm ² /m ²
Bodenvorsorgewerte	
Flächensumme der Fremdstoffe aus Kunststoff und Gummi, sowie Verbundstoffen mit Anteilen davon (> 1 mm)	100 mg/kg TM
Flächensumme der Fremdstoffe aus Kunststoff und Gummi, sowie Verbundstoffen mit Anteilen davon	5 cm ² /m ²
Grenzwerte in Materialien	
Summe der Fremdstoffe aus Kunststoff und Gummi, sowie Verbundstoffen mit Anteilen davon, Partikel > 2 mm	0,1 Gew.-% TM
Flächensumme der Fremdstoffe aus Kunststoff und Gummi, sowie Verbundstoffen mit Anteilen davon, Partikel > 2 mm	15 cm ² /L

Zusätzlich zu den Grenzwerten dürfen Materialien welche auf den Boden ausgebracht werden keine Kunststoffe >2,5 cm enthalten. Werden die Vorsorgewerte für Kunststoffgehalte im Boden überschritten, ist die Ausbringung von Materialien auf diese Böden nur noch eingeschränkt möglich.

Um erste Informationen über die Kunststoffbelastung von landwirtschaftlichen Böden in Vorarlberg zu bekommen wurden vom Umweltinstitut mehrere Flächen beprobt und auf deren Kunststoffgehalt analysiert. Der Schwerpunkt lag hierbei auf Kunststoffen, die mit freiem Auge erkennbar sind. Analysiert wurden daher Kunststoffe >1 mm (großes Mikroplastik und Mesoplastik). Makroplastik (>2,5 cm) wurde ebenfalls auf den Flächen gefunden, jedoch nur teilweise mit den beschriebenen Methoden erfasst.

3 Ausarbeitung einer Bestimmungsmethode zu Kunststoffverunreinigungen in Böden

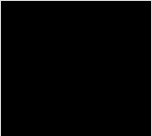





Um die Kunststoffgehalte in Böden bestimmen zu können war es nötig eine geeignete Probenahmemethode zu finden. Hierbei sollte einerseits der Kunststoffgehalt im Boden untersucht werden und andererseits die oberflächliche Verunreinigung einer Fläche mit Kunststoffen. Der Schwerpunkt wurde dabei auf Meso- und Makrokunststoffe gelegt. Da es bisher keine rechtlichen Regelungen gab, was den Kunststoffgehalt in Böden betrifft, wurden auch keine standardisierten Methoden zur Probenahme entwickelt. Auch in den wenig vorhandenen wissenschaftlichen Studien zum Thema Plastik im Boden wurde auf die Probenahme wenig eingegangen, obwohl diese einen essentiellen Teil der Kunststoffanalyse darstellt.

3.1 Kunststoffgehalt im Boden

Für die Wahl einer geeigneten Methode zur Bodenprobenahme waren mehrere Faktoren zu beachten: Tiefenstufe, Größe/Durchmesser des Probenahmegerätes, sowie Anzahl und Verteilung der Einstiche auf der Untersuchungsfläche. Bereits bei den ersten Beprobungen wurde klar, dass die unterschiedlichen Größen der Kunststoffe und die inhomogene Verteilung dieser auf der Fläche die Hauptprobleme für eine repräsentative Probenahme darstellen.

Um die Eignung verschiedener Methoden zur Beprobung des Bodens zu vergleichen, wurden zu Beginn zwei Flächen mit jeweils drei verschiedenen Probenahmegeräten beprobt (Tabelle 2).

Tabelle 2: Getestete Probenahmegeräte

Methode	Eigenschaften	Probenahme muster	Vorteile	Nachteile
Stechrahmen 	30x30 cm PN-Tiefe: 0-5 cm 5-10 cm		Beprobung einer größeren Oberfläche/Volumen, viel Probematerial; getrennte Entnahme von unterschiedlichen Schichten; Erfassung größerer Kunststoffe möglich	sehr arbeits-/zeitintensiv
Split Tube 	Ø4,7 cm PN-Tiefe: 0-10 cm		einfachere, schnelle Beprobung möglich im Vergleich zu Stechrahmen	begrenzter Durchmesser, Erfassung großer Kunststoffe nur begrenzt möglich
Grassodenstecher 	Ø2,3 cm PN-Tiefe: 0-10 cm		einfache, schnelle Beprobung möglich; Möglichkeit Proben über gesamtes Feld verteilt zu entnehmen (höhere Beprobungsdichte)	sehr kleines Volumen/Masse; viele Einstiche nötig; Erfassung von größeren Kunststoffstücken nicht möglich; Nur bei homogener Verteilung mit kleinen Kunststoffen geeignet

Vorgehen bei den Bodenprobenahmen

Um die Untersuchungsfläche adäquat zu repräsentieren wurde als Probenahmemuster die Einzelprobenahme entlang zweier Diagonalen gewählt. Bei der Beprobung mit dem Stechrahmen wurden jeweils 16 Teilproben (8/Diagonale) für zwei Tiefenstufen (0-5 und 5-10 cm) entnommen. Bei der Beprobung mittels Split Tube wurden etwa 40 Einstiche (20/Diagonale) durchgeführt. Bei der Beprobung mittels Grassodenstecher wurden diagonal bzw. W-förmig alle 15 Schritte Teilproben entnommen (~ 100 Einstiche).

Die Überlegung zur Wahl des Stechrahmens als geeignetes Probenahmegerät war die Möglichkeit ein größeres Volumen zu Beprobieren. Außerdem war es möglich zwei unterschiedliche Tiefenstufen separat zu beprobieren. Schnell wurde jedoch klar, dass diese Methode sehr zeitintensiv und aufwendig ist und daher für einen Einsatz in der Praxis ungeeignet. Außerdem führte diese Methode nicht zu stabileren Ergebnissen, verglichen mit den anderen Probenahmemethoden. Auch bei den Tiefenstufen konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Am effizientesten konnte die Probenahme mittels Grassodenstecher durchgeführt werden, da dieser eine schnelle Beprobung ermöglichte und somit auch eine höhere Beprobungsdichte erreicht werden konnte. Der relativ kleine Durchmesser verhindert jedoch die Erfassung von größeren Kunststoffstücken. Deshalb entschieden wir uns für den Split Tube als Probenahmegerät. Dieser hat einen doppelt so großen Durchmesser wie der Grassodenstecher und ermöglicht somit auch die Erfassung größerer Kunststoffstücke. Auch die Beprobung kann relativ einfach und zeiteffizient durchgeführt werden.

Für die Analyse der Bodenproben wurde jeweils ein Kilogramm Frischmasse eingewogen, aufgeschlämmt und über ein 2 mm und 1 mm Sieb gesiebt. Aus den Siebrückständen wurden unter einem Vergrößerungsglas die Kunststofffragmente aussortiert. Größere Organik sollte schon vor dem Aufschlämmen entfernt werden, da sie die Erkennbarkeit von Kunststoffen in den Siebrückständen einschränkt. Bunte und weiße Kunststofffragmente sind relativ leicht erkennbar, schwarze und durchsichtige Kunststoffe sind jedoch schwerer von organischen und mineralischen Siebrückständen zu unterscheiden. Die Sichtbarkeit kann etwas verbessert werden, indem die Siebe unter Wasser gesetzt werden und manche Kunststoffe so an der Oberfläche aufschwimmen.

Eine eindeutige Bestimmung ist jedoch oftmals schwer möglich. Bei Unsicherheiten ob es sich um Plastik handelte, wurden die fraglichen Plastikfragmente daher noch mittels Mikroskop unter Beachtung der Identifizierungskriterien nach Hidalgo-Ruz et al., 2012) analysiert:

- Keine sichtbaren zellulären oder organischen Strukturen eines Partikels bzw. einer Faser (Vorsicht bei anhaftendem organischem Material)
- Einheitliche Dicke von Fasern über deren gesamte Länge
- Klare und homogene Farben des gesamten Partikels

Eine weitere Möglichkeit zur Bestimmung von Plastikpartikeln bzw. Fasern ist der sogenannte *hot point test*. Dabei wird eine heiße Nadel in Kontakt mit den Plastikpartikeln gebracht. Haftet das Partikel an der Nadel bzw. hinterlässt es eine Markierung, handelt es sich um Plastik. Dieser Test ist jedoch nicht immer und für alle Kunststofffragmente anwendbar, kann aber als Hinweis dienen (Rodriguez-Seijo und Pereira, 2016).

Die optische Analyse ist naturgemäß mit Fehlerquellen behaftet und wird durch die Größe der Plastikpartikel limitiert. Die Qualität einer optischen Sortierung hängt im Wesentlichen von Farbe, Form und Größe der Kunststoffe, der identifizierenden Person, der Qualität des Vergrößerungsglases/Mikroskops sowie der Probenmatrix (Organik, mineralische Partikel, etc.) ab (Löder und Gerdts, 2015; Rodriguez-Seijo und Pereira, 2016). Partikel unter einer gewissen Größe können nicht bzw. nur schwer von anderem Material unterschieden werden. Dies kann einerseits zu einer Unterrepräsentation der Ergebnisse führen da vor allem kleine Kunststoffpartikel übersehen werden können, andererseits ist es auch möglich Kunststoffe mit Organik oder mineralischen Partikeln zu verwechseln. Die Fehlerquelle bei optischer Sortierung liegt lt. Literaturdaten bei 20 – 70% und steigt mit fallender Partikelgröße (Löder und Gerdts, 2015). Dies stellt vor allem ein Problem bei der Messung der Partikelanzahl dar. Da sich unsere Methode jedoch auf größere Fremdstoffe bezieht und der Massegehalt bestimmt wird, haben kleine Partikel weniger Einfluss auf das Messergebnis. Hidalgo-Ruz et al. (2012) schlagen eine Größengrenze von 1 mm für eine optische Sortierung vor.

Probenahme und Analyse zur Ermittlung des Kunststoffgehaltes in Böden

Probenahme

Die Beprobung des Bodens ist mit einem geeigneten Probenahmegerät mit einem Mindestdurchmesser von 4,7 cm für eine Tiefe von 0-10 cm durchzuführen. Um eine repräsentative Entnahme der Einzelproben (Einstiche) zu gewährleisten wird das zu beprobende Feld in zwei Diagonalen begangen. Die Einstiche sind entlang der Beganglinien gleichmäßig zu verteilen. Mit dieser Probenahmetechnik können vorrangig Kunststoffe < 2,5 cm erfasst werden.

Die Durchschnittsprobe muss aus mindestens 40 Einzelproben bestehen (20 Einstiche/Diagonale). Diese Mindestanzahl gilt bis zu einer Fläche von 1 ha. Je zusätzlich angefangenem ½ ha sind der Beprobung 10 Einstiche hinzuzufügen (+5 Einstiche/Diagonale). Die Mindestanzahl der Einstiche darf nicht unterschritten werden. Die Einzelproben werden in einem Behälter zu einer Mischprobe gesammelt und gründlich durchmischt. Für die nachfolgende Analyse sind mindestens 5 kg Probematerial der Mischprobe mitzuführen.

Die durch eine Mischprobe zu erfassende Fläche (Untersuchungsfläche), muss sich auf eine homogene Fläche beziehen. Eine homogene Fläche muss einerseits durch eine einheitliche Bewirtschaftungsform gekennzeichnet sein, andererseits muss eine Verunreinigung mit Kunststoffen auf der gesamten Fläche erkennbar sein. Ist auf einer einheitlich bewirtschafteten Fläche die Verteilung der Kunststoffe augenscheinlich inhomogen, so muss die Fläche in mehrere homogene Teilflächen eingeteilt werden. Diese Teilflächen sind jeweils einzeln zu beproben.

Analyse und Auswertung

Aus der Mischprobe werden so weit wie möglich Steine und organische Teile von Hand entfernt. Je nach Körnigkeit erfolgt eine Siebung durch ein 10mm Sieb.

Für die Analyse wird jeweils 1kg Boden (Frischmasse) aus der homogenisierten Mischprobe verwogen. Die Probe wird mit Wasser aufgeschlämmt und durch ein 2mm und 1mm Sieb gesiebt. Die Auslese der Fremdstoffe erfolgt getrennt, einmal aus der Siebfraction >2mm und einmal aus der Fraction >1mm, mittels Pinzette. Die Auslese der Fremdstoffe hat sorgfältig zu erfolgen, wobei für die Auslese aus der Siebfraction >1mm ein Vergrößerungsglas nötig sein kann. Um die Sichtbarkeit von Kunststoffteilen zu erleichtern, können die Siebe in ein Wasserbad gesetzt werden.

Vor der Gewichtsermittlung werden die Fremdstoffe durch händisches Reiben von Anhaftungen (mineralische oder organische Partikel) trocken gereinigt. Bei stark verschmutzten Kunststofffragmenten erfolgt eine vorsichtige Reinigung der Kunststoffe mit Wasser ohne die Fragmente dabei zu beschädigen und eine anschließende Trocknung im Trockenofen bei max. 50°C. Ist keine eindeutige Zuordnung der aussortierten Fremdstoffe zu Kunststoffen möglich, kann eine Identifizierung durch Mikroskopie erfolgen.

Es sind insgesamt drei Wiederholungen durchzuführen.

Die gravimetrische Bestimmung erfolgt durch Auswiegen der aussortierten Kunststoffe auf zwei Kommastellen genau. Der Kunststoffgehalt ist jeweils auf die Gesamtmasse der trockenen Untersuchungsprobe zu beziehen und in mg/kg TM auf zwei Kommastellen genau anzugeben. Als entscheidender Wert zur Beurteilung des Kunststoffgehaltes im Boden wird der Mittelwert der analysierten Teilproben herangezogen.

3.2 Optischer Verunreinigungsgrad

Da Kunststoffverunreinigungen, bedingt durch die vorher beschriebenen Eintragspfade an der Bodenoberfläche beginnen, ist es sinnvoll diese separat durch eine optische Methode zu bestimmen. Im Gegensatz zu unsichtbaren Schadstoffen wie Schwermetallen, macht man sich hier die optische Wirkung von Meso- und Makroplastik zu Nutzen.

Zusätzlich zur Beprobung des Bodens soll deshalb eine zweite Probenahmemethode eine Aussage zur oberflächlichen Verunreinigung einer Fläche ermöglichen. Hierbei werden mehrere, über die Fläche verteilte, jeweils 1m² große Teilflächen abgegrenzt, dort die oberflächlich aufliegenden, mit freiem Auge sichtbaren Kunststoffe eingesammelt und daraus eine Flächensumme berechnet. Während der Kunststoffgehalt die Masse an Kunststoffen im Boden beschreibt, zielt der Verunreinigungsgrad hierbei auf die optische Auffälligkeit der Kunststoffe ab.

Um eine etwaige Einflussnahme des Probenehmers zu vermeiden und eine planmäßige Durchführung der Probenahme zu gewährleisten, müssen die Probenahmestandorte im Voraus in einem Probenahmeplan eingetragen werden. Damit kann einer willkürlichen Wahl und damit verbundenen Fehlern vorgebeugt werden.

Die Anwendbarkeit dieser Methode wird jedoch durch die Bodenbedeckung eingeschränkt. Bei Grünlandflächen wird ein oberflächliches Absammeln etwa durch die Grasnarbe erschwert. Auch durch Düngung aufgebraachte Organik sowie Verschlammung durch vorhergehenden Regen können die Sichtbarkeit und somit eine Beprobung erschweren. Voraussetzung für eine oberflächliche Probenahme sind daher bei Ackerflächen kein bzw. geringer Bewuchs und im Falle von Grünland niedriger Aufwuchs (z.B. kurz nach erfolgtem Schnitt).

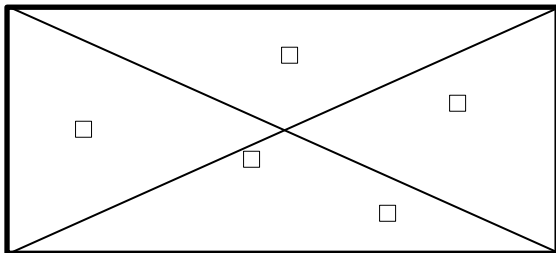


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Probenahme bei der Bestimmung des Kunststoffgehalts im Boden und des optischen Verunreinigungsgrades

Probenahme und Analyse zur Ermittlung des optischen Verunreinigungsgrades in Böden

Probenahme

Zur Feststellung des oberflächlichen Verunreinigungsgrades mittels Flächensumme wird sämtlich oberflächlich sichtbarer Kunststoff der sich innerhalb eines Quadratmeters befindet abgesammelt. Die gesammelten Kunststoffstücke pro Quadratmeter sind jeweils separat in einem geeigneten Behältnis aufzubewahren.

Bis zu einer Untersuchungsfläche von 1 ha sind mindestens 5 m² abzusammeln. Pro weiterem ½ ha ist zusätzlich ein weiterer Quadratmeter zu beproben.

Die Probenahmestellen sind im Vorhinein zu bestimmen und im Probenahmeplan einzuzeichnen um Objektivität zu gewährleisten. Um eine repräsentative Verteilung zu erhalten sind die Probenahmestellen über die gesamte Probenahmefläche anzuordnen.

Analyse und Auswertung

Vor der weiteren Analyse werden die abgesammelten Kunststoffe durch händisches Reiben von Anhaftungen (mineralische oder organische Partikel) trocken gereinigt. Bei größeren Verschmutzungen kann eine vorsichtige Reinigung mit Wasser und eine anschließende Trocknung im Trockenofen bei max. 50°C notwendig sein. Hierbei ist jedoch darauf zu achten die Kunststoffteile nicht zu beschädigen.

Die gesäuberten Kunststoffe werden mittels Pinzette innerhalb einer definierten Fläche (z.B. 30 x 30 cm) mit weißem bzw. einheitlichem Hintergrund aufgelegt, ohne sich zu berühren oder zu überlappen. Der Hintergrund sollte einen Kontrast zu den aufgelegten Kunststofffragmenten bilden. Partikel, die keine Kunststoffe sind (z.B. Staubpartikel, Erde) werden entfernt. Die Kunststoffe werden in ihrer ursprünglichen körperlichen Ausformung aufgelegt. Eine gezielte Entfaltung von z.B. zusammengeknüllten Folien erfolgt nicht.

Die Kunststoffe werden mit einer geeigneten Kamera und optimaler Belichtung (Vermeidung von Schattenbildung) fotografiert und anschließend mit einem geeigneten Bildbearbeitungsprogramm bearbeitet. Hierbei wird die Pixelanzahl der Kunststoffe sowie die Gesamtpixelanzahl des Bildes ermittelt und miteinander in Relation gesetzt. Um auch Kunststoffpartikel mit geringer Farbintensität adäquat zu erfassen, ist es von Vorteil den Kontrast bzw. die Farbintensität des Bildes zu erhöhen.

Nach Bestimmung des Verhältnisses Pixel Kunststoff zu Pixel Gesamtbild ist der Verunreinigungsgrad in [cm²/m²] zu berechnen. Die Ergebnisse sind als ganze Zahlen anzugeben. Um den Einfluss von Ausreißern, welche aufgrund der hohen Inhomogenität der Kunststoffverunreinigung nicht unwahrscheinlich sind, zu mindern, wird der höchste Wert gestrichen und der Mittelwert der restlichen Proben als entscheidender Wert herangezogen.

$$FS_{\text{Kunststoffe}} = \frac{P_{\text{Kst}}}{P_{\text{ges}}} * A_{\text{Bild}}$$

$FS_{\text{Kunststoffe}}$ = Flächensumme der Kunststoffe eines beprobten Quadratmeters in [cm²/m²] (optischer Verunreinigungsgrad)

P_{Kst} = Pixelanzahl Kunststoffe

P_{ges} = Pixelanzahl Gesamtbild

A_{Bild} = Fläche Gesamtbild in [cm²]

3.3 Einflussfaktoren und Grenzen der Anwendbarkeit

Die beschriebenen Methoden stellen eine Möglichkeit dar, Informationen über mögliche Kunststoffverunreinigungen einer Fläche/eines Bodens zu erhalten. Wie beschrieben wird die Anwendbarkeit der Methodik durch verschiedene Einflussfaktoren jedoch teilweise eingeschränkt bzw. kann damit nur eine bestimmte Größenfraktion untersucht werden (~1 mm – 2,5 cm). Größere Kunststoffe können mit dieser Methodik schwer erfasst werden bzw. lässt sich auch keine Aussage über Mikroplastik <1 mm treffen. Das größte Problem stellen die ungleichmäßige Verteilung sowie die sehr unterschiedlichen Größen und Eigenschaften der Kunststoffe dar.

Im Zuge der durchgeführten Beprobungen wurde erkennbar, dass manche Fläche mit relativ großen Makrokunststoffen (> 2,5 cm) verunreinigt waren, welche jedoch durch die Probenahmemethoden meist nicht erfasst werden konnten. Das kann zu einer Verzerrung der Ergebnisse führen, da die Flächen oftmals sichtbar verunreinigt waren, was sich aber in der Analyse der Kunststoffgehalte im Boden bzw. der Flächensumme nicht ausgewirkt hat. Um auch diese Kunststoffe zu berücksichtigen führten wir großflächigere Absammlungen von Makrokunststoffen an der Bodenoberfläche durch (siehe Abb. 9), eine quantitative Bewertung der so gesammelten Kunststoffe war jedoch nicht möglich. Eine qualitative Bewertung zusätzlich zur beschriebenen quantitativen Methodik wäre bei solchen Flächen sinnvoll, ist jedoch schwer umsetzbar.

Tabelle 3: Einflussfaktoren bei der Probenahme und Analyse von Kunststoffen im Boden

Probenahme	Analyse
Inhomogene Verteilung der Kunststoffe auf Fläche	Sichtbarkeit der Kunststofffragmente im Siebrückstand
sehr variable Größen der Kunststofffragmente	Einfluss der analysierenden Person
Erfassbarkeit von großen Kunststoffen	unterschiedliche Kunststoffarten (Hartplastik vs. Folien)
Einfluss durch Probenehmer	eindeutige Identifizierung der Fragmente als Plastik
Bodenbedeckung/Probenahme von Grünland für optischen Verunreinigungsgrad	



Abbildung 2: links: 2 mm und 1 mm Siebrückstand einer aufgeschlammten Bodenprobe; rechts: Bildaufnahme der gesammelten Kunststofffragmente eines Quadratmeters auf definierter Fläche zur Ermittlung der Flächensumme



Abbildung 3: Makro-, Meso- und Mikroplastik auf landwirtschaftlichen Böden: Kunststofffragmente auf Bodenoberfläche (A, B, C); Mesoplastikpartikel in Bodenaggregat (D), Kunststoffolie überdeckt mit Organik aus Wirtschaftsdünger (E), Plastikeintrag durch Littering (F), mit Plastikfolien verunreinigtes Grünland (G), in Kunststoffschnur verschlungene Pflanzenwurzel (H). Silofolie (I)

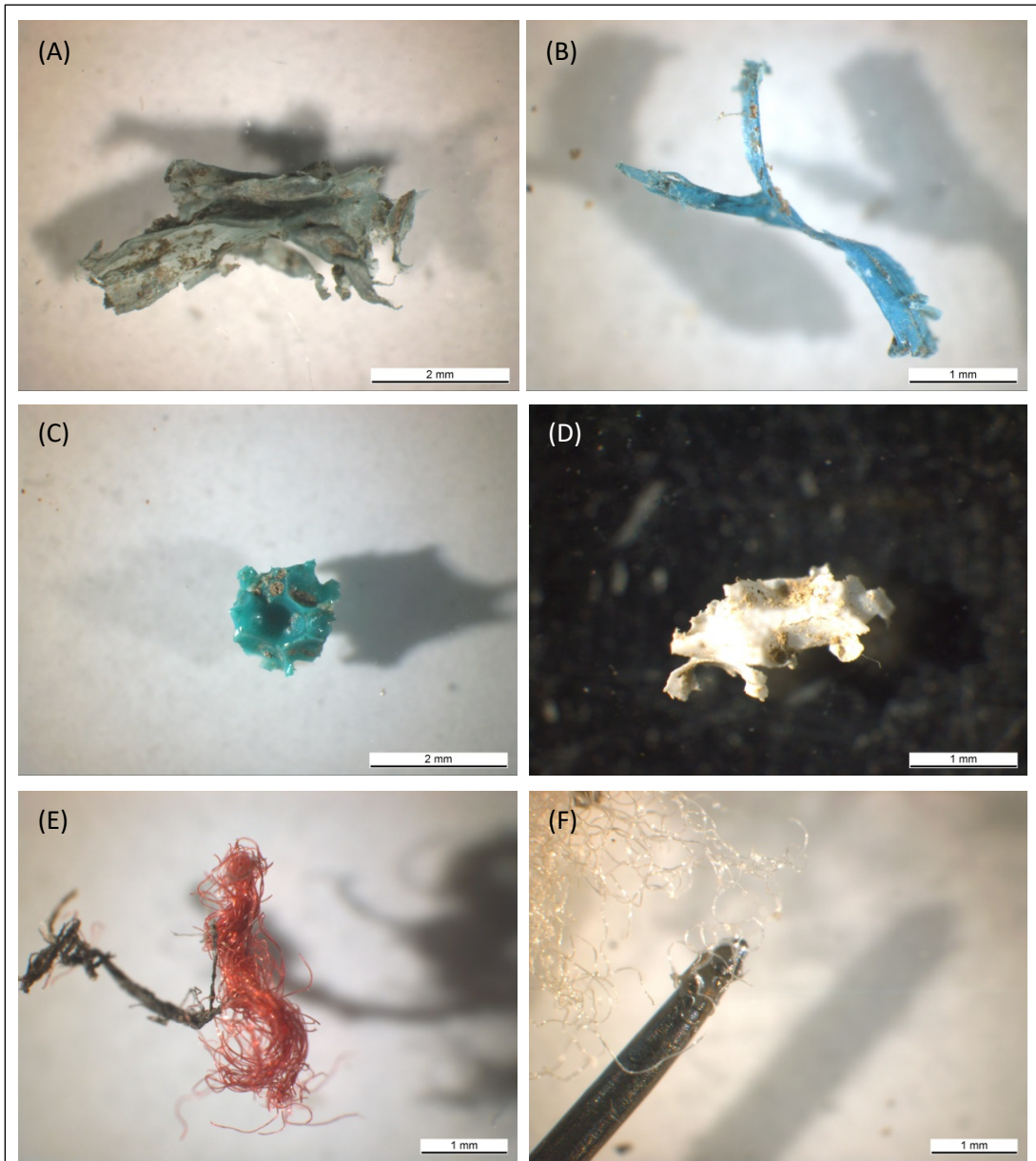


Abbildung 4: Mikroplastik aus Bodenproben (vergrößert unter Auflichtmikroskop). Kunststofffragmente (A-D), Kunststofffaser (E), hot point test an Kunststofffaser (F)

3.4 Ergebnisse

In den Abbildungen 5 - 8 sind die Ergebnisse der Kunststoffanalysen von landwirtschaftlich genutzten Böden in Vorarlberg dargestellt. Insgesamt wurden 13 Flächen beprobt. Bei der Wahl der Untersuchungsflächen wurden Flächen ausgewählt auf denen bereits oberflächlich Kunststoffe mit freiem Auge erkennbar waren. Zusätzlich wurden vier biologisch bewirtschaftete Flächen als Referenzflächen gewählt (F10 – F13), da diese nur mit hofeigenem Wirtschaftsdünger gedüngt wurden und wir organische Düngemittel wie Klärschlammkompost oder Gärrückstände als wesentliche Eintragspfade vermuteten. Die Lage der Untersuchungsflächen beschränkten sich auf landwirtschaftliche Nutzflächen im Rheintal sowie eine Fläche im Walgau. Die eingezeichneten Linien in den Diagrammen markieren die jeweiligen Grenzwerte (rot) bzw. Vorsorgewerte (orange) der Vorarlberger Bodenqualitätsverordnung (BQV).

Kunststoffgehalte in landwirtschaftlich genutzten Böden in Vorarlberg

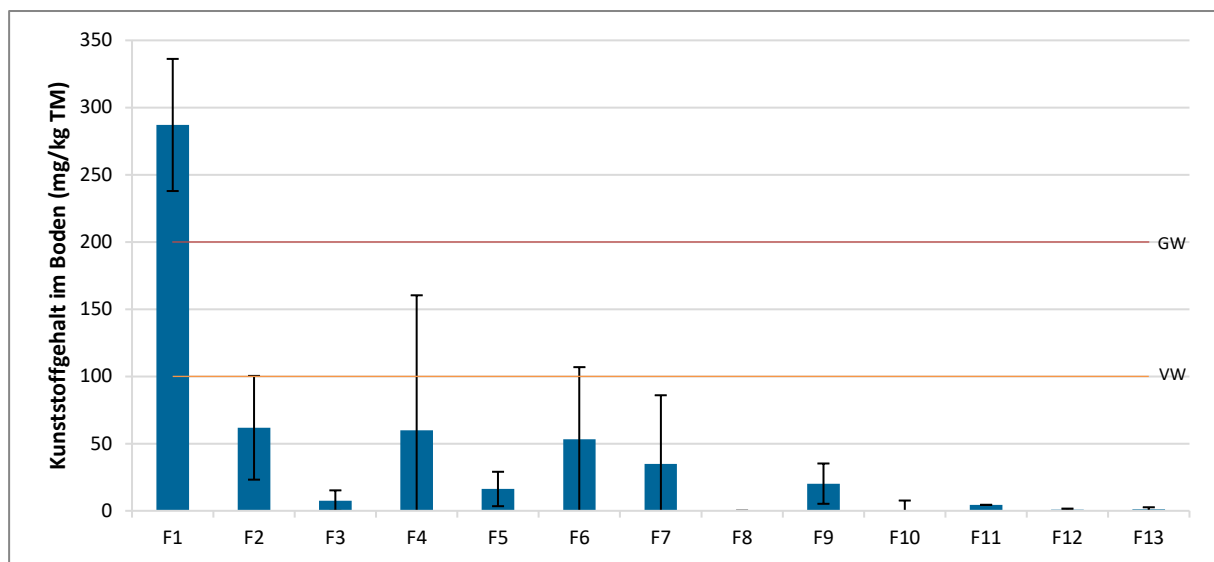


Abbildung 5: Kunststoffgehalte im Boden (mg/kg TM) der untersuchten Flächen. Mittelwerte mit Standardabweichung (F1, F2: n=4; F3 - F13: n=3) GW: Grenzwert der BQV (200 mg/kg TM); VW: Vorsorgewert der BQV (100 mg/kg TM)

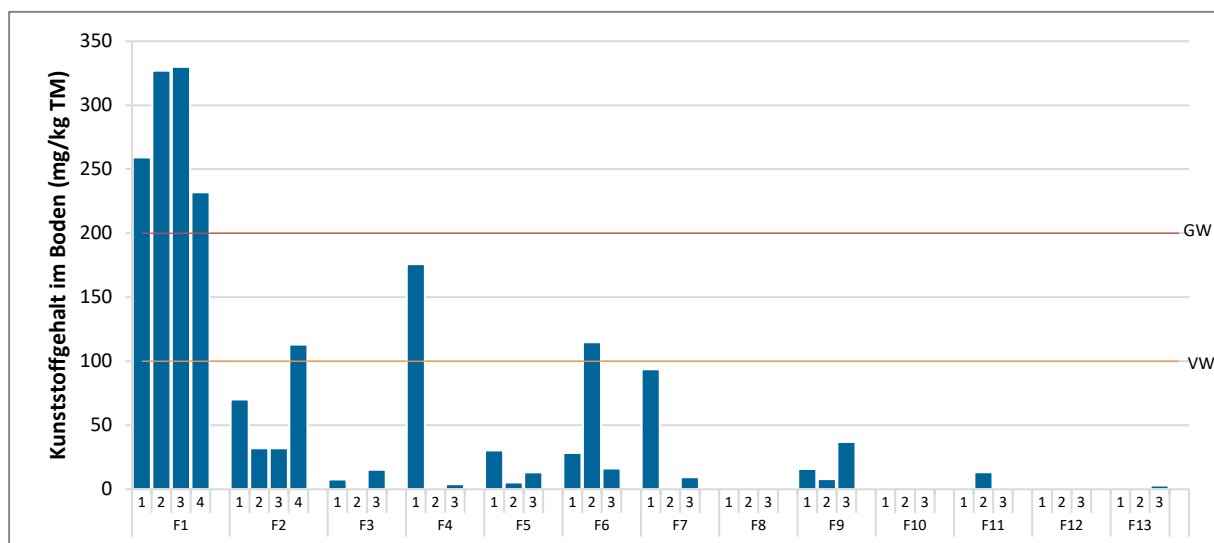


Abbildung 6: Kunststoffgehalte im Boden (mg/kg TM) der gesamten analysierten Teilproben jeder Fläche (F1, F2: n=4; F3 - F13: n=3). GW: Grenzwert der BQV (200 mg/kg TM); VW: Vorsorgewert der BQV (100 mg/kg TM)

Optischer Verunreinigungsgrad auf Bodenoberfläche (Flächensumme)

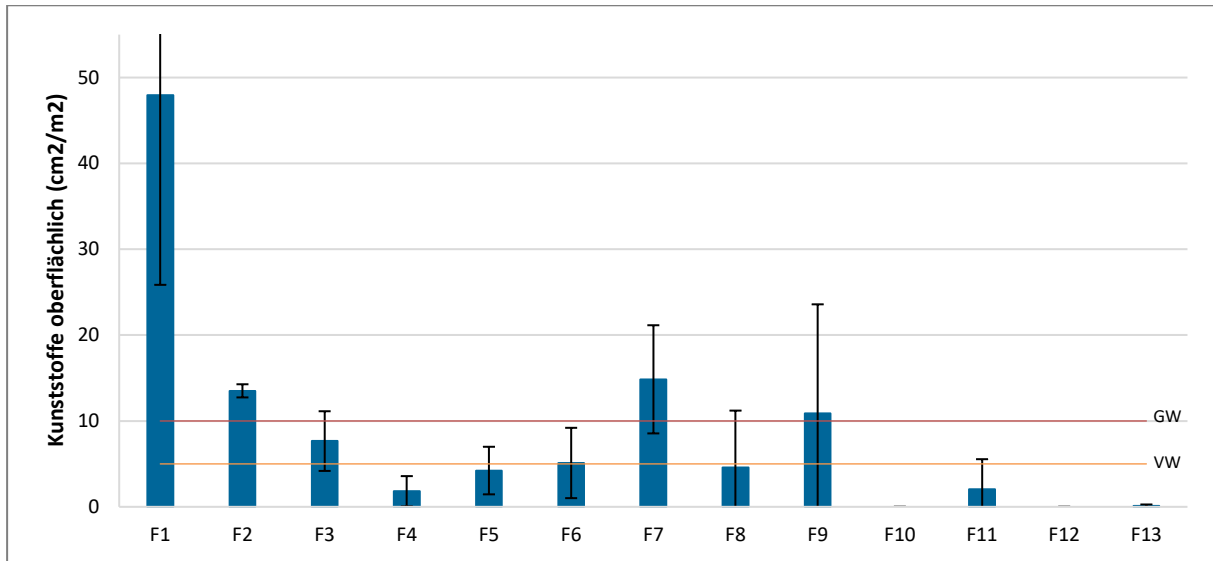


Abbildung 7: Optischer Verunreinigungsgrad (cm²/m²) der beprobten Flächen (F1 – F13). Mittelwerte nach Ausreißerbereinigung mit Standardabweichung (F1, F2: n=3; F3: n=5; F4 – F13: n=4). GW: Grenzwert der BQV (10 cm²/m²); VW: Vorsorgewert der BQV (5 cm²/m²)

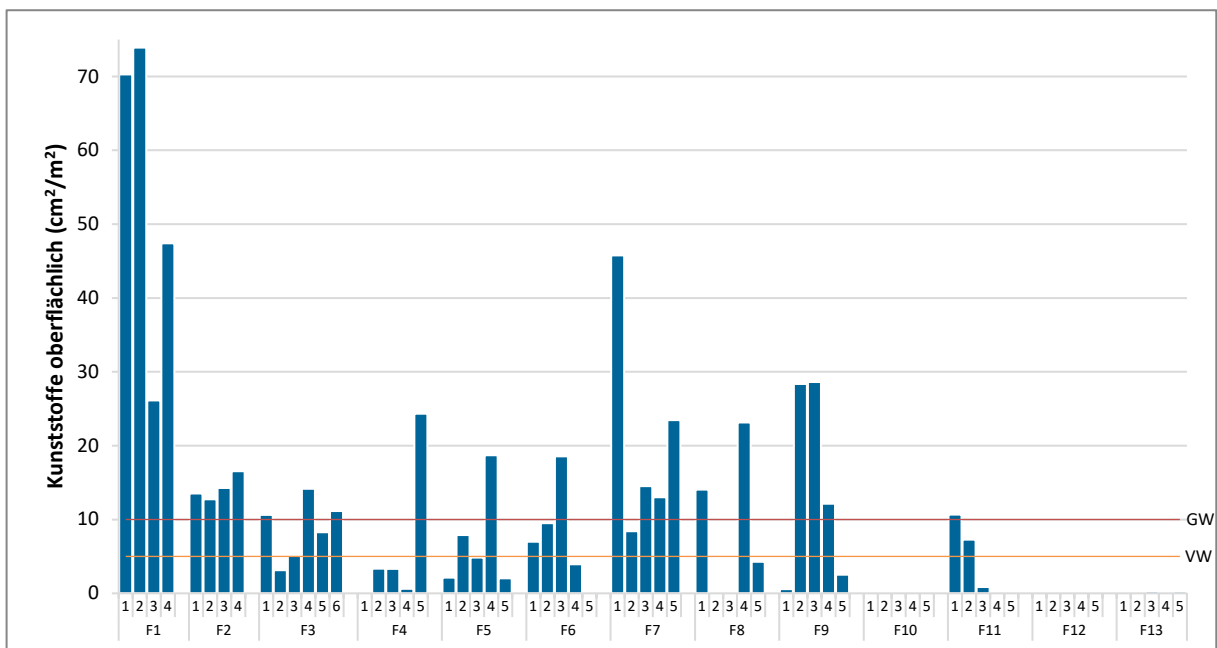


Abbildung 8: Optischer Verunreinigungsgrad (cm²/m²) der gesamten analysierten Teilproben (F1, F2: n=4; F3: n=6; F4 – F13: n=5) jeder Fläche (F1 – F13). GW: Grenzwert der BQV (10 cm²/m²); VW: Vorsorgewert der BQV (5 cm²/m²)

Bei den Flächen F1 und F2 handelte es sich um Ackerflächen auf denen Wirtschaftsdünger, welcher mit Kunststoffen aus Abfällen der Skiproduktion verunreinigt war, aufgebracht wurde. Wie die Ergebnisse zeigen war Fläche F1 mit 287 mg/kg TM bzw. 48 cm²/m² sehr stark mit Kunststoffen kontaminiert. Die Verteilung und Größe der Kunststofffragmente war relativ homogen was, im Gegensatz zu den restlichen Flächen, an den vergleichsweise stabilen Ergebnissen der Wiederholungen zu sehen ist. Fläche F2 weist eine geringere Belastung auf, verglichen mit den restlichen Flächen war diese Fläche ebenfalls relativ stark verunreinigt (62 mg/kg TM bzw. 14 cm²/m²).

Bei Fläche F3 handelte es sich um eine Ackerfläche welche regelmäßig mit Klärschlammkompost gedüngt wurde. Obwohl diese Fläche oberflächlich augenscheinlich sehr stark verunreinigt war (Abb. 9), ergaben die Ergebnisse der Bodenuntersuchung nur geringe Werte (8 mg/kg TM). Der oberflächliche Verunreinigungsgrad betrug 8 cm²/m². Die Ergebnisse dieser Fläche zeigen deutlich eines der Hauptprobleme bei der Probenahme und Analyse von Kunststoffen im Boden. Die sehr heterogene Verteilung der Kunststoffe auf der Fläche sowie die unterschiedliche Größe der Kunststoffe erschweren eine repräsentative Probenahme und können so zu Verzerrungen führen. Über den Eintrag dieser Makrokunststoffe gibt es keine Informationen – alleine auf den Klärschlammkompost können diese großen Plastikfragmente nicht zurückgeführt werden.

Die Flächen F4 und F5 waren ebenfalls mit Klärschlammkompost gedüngte Ackerflächen. Beide Flächen waren mit Kunststoffen verunreinigt. In Fläche F4 wurden 60 mg/kg TM Kunststoffe im Boden gefunden während der optische Verunreinigungsgrad mit 2 cm²/m² eher gering war. Fläche F5 wies einen Kunststoffgehalt von 16 mg/kg TM auf bzw. eine Flächensumme von 4 cm²/m².

Der gefundene Kunststoffanteil von Fläche F6 betrug 53 mg/kg TM bzw. 5 cm²/m². Auf dieser Fläche wurden teilweise relativ große Kunststofffragmente gefunden (Abb. 9). Da die Fläche mit Gärrückständen gedüngt wurde, stellt dies einen wahrscheinlichen Eintragspfad dar.

Bei Fläche F7 handelte es sich um Grünland, welches oberflächlich stark mit fragmentierten Folien verunreinigt war. Dies hat sich auch in den Ergebnissen der Flächensumme wiedergespiegelt (15 cm²/m²). Im Boden selber wurden ebenfalls Kunststofffragmente gefunden, jedoch wesentlich weniger als an der Bodenoberfläche. Auf dieser Fläche wurde laut Bewirtschafter nur hofeigener Wirtschaftsdünger ausgebracht. Es stellt sich hier die Frage wie der relativ hohe Anteil an Folien auf den Boden gelangen konnte.

Bei Fläche F8 konnten im Boden keine Kunststoffe nachgewiesen werden. Oberflächlich wurden Kunststoffe gefunden, jedoch gab es große Unterschiede zwischen den Teilproben. Einen möglichen Eintragspfad stellt hier die regelmäßige Ausbringung von Gärrückständen dar.

Für die Fläche F9 wurden geringe Mengen an Kunststoffen im Boden gefunden, jedoch ergab sich ein hoher Wert für die oberflächliche Verunreinigung (11 cm²/m²). Diese Fläche wurde nur mit Kunstdünger und Wirtschaftsdünger beaufschlagt, jedoch wurde die aufgebrachte Gülle vorher in einer Biogasanlage vergärt, was den Eintrag an Kunststoffen erklären könnte.

Die Flächen F10 bis F13 wurden als Referenzflächen gewählt um zu sehen ob sich unterschiedliche Bewirtschaftungsformen und damit einhergehende unterschiedliche

Betriebsmitteleinsätze auf den Eintrag von Kunststoffen auswirken. Alle vier Referenzflächen werden biologisch bewirtschaftet und laut den Bewirtschaftern nur hofeigene Wirtschaftsdünger ausgebracht. Ein Einsatz von hoffremden organischen Düngemitteln wie KS-Kompost, andere Komposte oder Gärrückstände wurde ausgeschlossen. An den Ergebnissen kann auch ein eindeutiger Unterschied zu den anderen Flächen festgestellt werden. Obwohl auch in und auf diesen Flächen teilweise Kunststoffe gefunden wurden, liegen die Werte deutlich unter jenen der restlichen Flächen. Somit kann eindeutig ein Einfluss von Düngemitteln wie Klärschlammkompost und Gärresten auf den Gehalt von Kunststoffen im Boden festgestellt werden.

Tabelle 4: Ergebnisse der Kunststoffuntersuchungen (Mittelwerte) sowie jeweilige Bewirtschaftungsform der Flächen und mögliche Eintragsquellen

Fläche	Bewirtschaftung	mögliche Eintragsquellen	Kunststoffgehalt Boden (mg/kg TM)	Optischer Verunreinigungsgrad (cm ² /m ²)
F1	Ackerfläche	Wirtschaftsdünger (Einstreu aus Abfällen der Skiproduktion)	287	48
F2	Ackerfläche	Wirtschaftsdünger (Einstreu aus Abfällen der Skiproduktion)	62	14
F3	Ackerfläche	Klärschlammkompost, Littering	8	8
F4	Ackerfläche	Klärschlammkompost	60	2
F5	Ackerfläche	Klärschlammkompost	16	4
F6	Ackerfläche	Gärrückstände	53	5
F7	Grünland	Wirtschaftsdünger (Mist, Gülle)	35	15
F8	Ackerfläche	Gärrückstände	0	5
F9	Ackerfläche	Gülle aus Biogasanlage	20	11
F10*	Ackerfläche		0	0
F11*	Grünland	landwirtschaftliches Material	4	2
F12*	Ackerfläche		1	0
F13*	Ackerfläche	Mulchfolie	1	0

*biologisch bewirtschaftete Flächen ohne Einsatz von hoffremden Düngemitteln

Insgesamt betrachtet (ohne F1 und F2, welche durch die Beaufschlagung von verunreinigtem Wirtschaftsdünger außergewöhnlich stark belastet waren), wurden Kunststoffgehalte von bis zu 178 mg/kg TM gefunden. In allen beprobten Flächen wurden Kunststofffragmente gefunden. Bezogen auf die gesamten analysierten Bodenproben (n=39) konnten in 34 Proben (87%) Kunststoffpartikel nachgewiesen werden.

Bewertet man die gefundenen Kunststoffgehalte nach den Grenz- und Vorsorgewerten der neuen Bodenqualitätsverordnung, wäre der Grenzwert beim Kunststoffgehalt im Boden nur bei Fläche F1 überschritten. Der Grenzwert für den optischen Verunreinigungsgrad wäre fünfmal überschritten (F1, F2, F7, F9) und der Vorsorgewert zweimal (F3, F6).

Wie an den Ergebnissen ersichtlich ist, gibt es teilweise große Unterschiede zwischen den analysierten Teilproben einer Mischprobe. Dies ist auf die sehr heterogene Verteilung der Kunststoffe auf und im Boden zurückzuführen sowie auf Unterschiede in Größe und Art der Kunststoffe. Wie schon im Methodenteil festgehalten, stellen dies die Hauptprobleme bei

der Probenahme und Analyse von Kunststoffverunreinigungen in Böden dar. Dadurch kommt es oft zu sehr hohen bzw. niedrigen Werten, was die Wiederholbarkeit der Analysen einschränkt. Bei der gravimetrischen Bestimmung des Kunststoffanteils spielt auch die Kunststoffart eine große Rolle. Ein kleines Stück Hartplastik hat beispielsweise viel mehr Masse als mehrere oder größere Folienfragmente.

Vergleiche der Ergebnisse mit anderen Untersuchungen zur Kunststoffbelastung in Böden sind schwierig, da es davon bis jetzt nur sehr wenige gibt, bzw. die Vergleichbarkeit durch unterschiedliche Größen der untersuchten Kunststoffe sowie die unterschiedlichen Einheiten nur unzureichend gegeben ist. Eine Schweizer Studie welche Mikroplastik- und Mesoplastikkonzentrationen in Auböden untersuchte fand MP Konzentrationen bis zu 55,5 mg/kg und MEP Konzentrationen von bis zu ~59 mg/kg. Die durchschnittlichen MP Werte lagen jedoch bei 5 mg/kg. Dabei muss bedacht werden, dass die untersuchten Flächen dieser Studie alle ausgewiesenen Naturschutzgebiete waren und somit nicht direkt mit Abfallmaterialien, Klärschlamm etc. in Kontakt gekommen sind. Größere Kunststoffe wie Mesoplastikpartikel waren über die Flächen verstreut, was, wie auch in unserem Fall eine hohe Standardabweichung zur Folge hatte (Scheurer und Bigalke, 2018).

Grundsätzlich fanden die bisherigen Studien zu Kunststoffen im Boden einen höheren Anteil an Mikroplastik als Mesoplastik und hier vor allem mehr kleines Mikroplastik. Daten von Liu et al. (2018) zeigten, dass 93,3% des gefundenen Plastiks Mikroplastik (0,03-5 mm) darstellte und 6,7% Mesoplastik (5,1-16 mm). Bei Scheurer und Bigalke (2018) konnten 85% der gefundenen MP Konzentrationen kleinem Mikroplastik (125-500 µm) zugeordnet werden. Liu et al. (2018) zeigten außerdem, dass sich Makro- und Mesoplastik vor allem in oberflächlichen Bodenschichten befand, während Mikroplastik in tieferen Bodenschichten gefunden wurde. Das lässt darauf schließen, dass größere Kunststoffe durch UV-Strahlung an der Bodenoberfläche fragmentiert werden und sich in Form von Mikroplastik in tieferen Bodenschichten anreichern. Auch eine kürzlich erschienene deutsche Studie konnte durch gleiche Polymertypen von Mikro- und Makroplastikpartikeln darauf schließen, dass Mikroplastik vor allem durch die Fragmentierung von Makroplastik auf dem Feld entstand (Piehl et al., 2018).



Abbildung 9: oberflächlich abgesammelte Makrokunststoffe und andere Fremdstoffe

3.5 Exkurs: Mikroplastikanalyse

Um zusätzlich zu den Gehalten von großem Mikroplastik, Mesoplastik und Makroplastik Informationen über den Anteil von kleinem Mikroplastik zu erhalten wurden Proben von fünf Flächen einer Mikroplastikanalyse unterzogen (durchgeführt vom Umweltbundesamt Wien). Dabei wurden Mikroplastikpartikeln im Größenbereich 0,05 - 0,5 mm mittels FTIR-Mikrospektroskopie identifiziert. Folgende Kunststoffsorten wurden untersucht: PE, PP, PVC, PS, PET, PA, PU, PC, PMMA und POM.

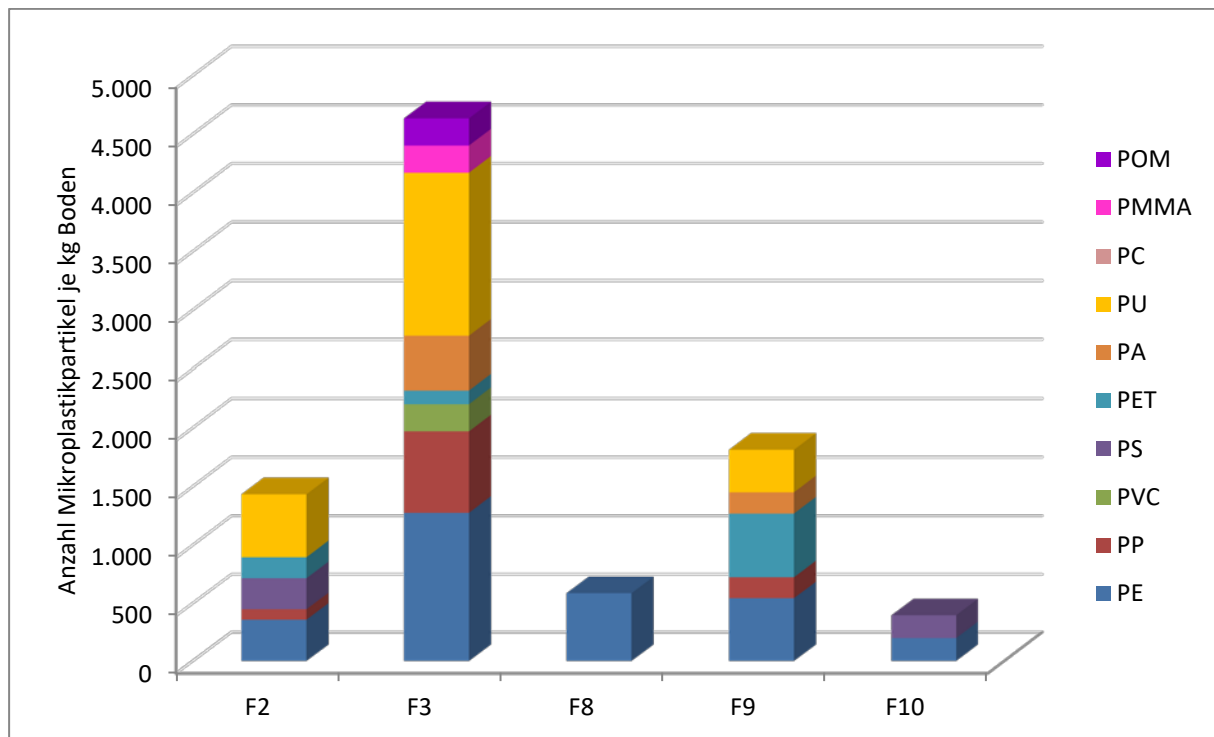


Abbildung 5: Anzahl an Mikroplastikpartikel (0,05 - 0,5 mm) pro kg Boden der Flächen F2, F3, F8, F9 und F10
PE...Polyethylen, PP...Polypropylen, PVC...Polyvinylchlorid, PS...Polystyrol, PET...Polyethyleneterephthalat, PA...Polyamid, PU...Polyurethan, PC...Polycarbonat, PMMA...Polymethylmethacrylat, POM...Polyoxymethylen

Wie die Ergebnisse zeigen wurde in Fläche F3 mit 4635 Stk/kg die höchste Anzahl an Mikroplastikpartikeln gefunden. Dieses Ergebnis korreliert mit der großen Menge an Makroplastik welches vor allem oberflächlich auf dieser Fläche gefunden wurde, was auf eine Fragmentierung des Plastiks hindeuten würde. Fraglich ist, ob es bereits zu einer starken Fragmentierung der größeren Kunststoffpartikel kommen konnte. Da die Fläche jedoch regelmäßig mit Klärschlammkompost gedüngt wird (~94 t in den letzten 17 Jahren) stellt dies die wahrscheinlichere Erklärung für die hohe Konzentration an Mikroplastik dar. Auch der Anteil an vielen unterschiedlichen Polymertypen legt diese Vermutung nahe. In den Flächen F9 und F2 wurden ebenfalls relativ hohe Mengen an MP gefunden. Vor allem bei Fläche F2 korrelieren diese Ergebnisse mit unseren Ergebnissen der Mesoplastikkonzentrationen. Mit einiger Sicherheit kann vermutet werden, dass ein Großteil der MP Verunreinigung aus der Fragmentierung der Meso-/Makrokunststoffe (welche durch Wirtschaftsdünger, der mit Kunststoffen aus Abfällen der Skiproduktion verunreinigt war, auf den Boden gelangten) stammt. Dies wird unterstützt durch die Tatsache, dass es sich bei

der am häufigsten gefundenen Kunststoffart um Polyurethan (PU) handelt, welches häufig in der Skiproduktion verwendet wird.

Geringere Werte wurden für Fläche F8 gefunden, was sich ebenfalls mit unseren Ergebnissen deckt. Auch in der gewählten Referenzfläche (F9) wurde Mikroplastik gefunden, jedoch war es mit 396 Stk/kg der geringste Wert.

Tabelle 5: Mikroplastikpartikel der jeweiligen Polymerart pro kg Boden

Kunststoffart	F2	F3	F8	F9	F10
PE	358	1275	587	544	198
PP	90	695	-	181	-
PVC	-	232	-	-	-
PS	269	-	-	-	198
PET	179	116	-	544	-
PA	-	463	-	181	-
PU	537	1390	-	363	-
PC	-	-	-	-	-
PMMA	-	232	-	-	-
POM	-	232	-	-	-
Summe	1433	4635	587	1813	396

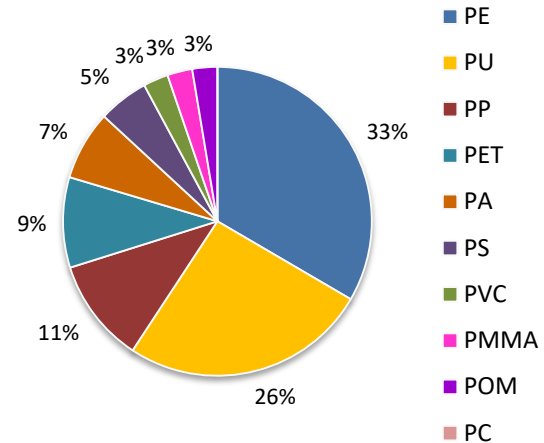


Abbildung 6: Anteil der jeweiligen Kunststoffarten an den gesamten identifizierten Mikroplastikpartikeln

Die mit Abstand am häufigsten gefundenen Kunststoffarten waren Polyethylen (PE) und Polyurethan (PU), gefolgt von Polypropylen (PP), Polyethyleneterephthalat (PET) und Polyamid (PA). Weiters gefunden wurde Polystyrol (PS) und geringe Mengen Polyvinylchlorid (PVC), Polymethylmethacrylat (PMMA) und Polyoxymethylen (POM). Auffällig ist der hohe Anteil an Polyurethan. Mögliche Quellen sind Reifenabrieb, Schaumstoffe, Lacke, Beschichtungen, etc. Bisherige Studien identifizierten bei Mikroplastik im Boden vor allem PE und PP als die häufigsten Polymertypen (Scheurer & Bigalke, 2018; Piehl et al., 2018; Liu et al., 2018).

4 Handlungsmöglichkeiten und Regelungen

Die Präsenz von Makro- und Mikroplastik in der Umwelt wurde mittlerweile als globales Problem erkannt. Dennoch gibt es bis jetzt nur wenig verbindliche Regelungen bzw. Strategien auf politischer Ebene um den Eintrag von Kunststoffen in die Umwelt zu minimieren.

In Vorarlberg werden durch das neue Bodenschutzgesetz inklusive Bodenqualitätsverordnung, Kunststoffeinträge sowohl emissionsseitig (Grenzwerte in Materialien) als auch immissionsseitig durch Grenz- und Vorsorgewerte im Boden adressiert.

Auf EU Ebene wurde 2018 eine Strategie für Kunststoffe in der Kreislaufwirtschaft vorgelegt um die Verschmutzung der Umwelt mit Kunststoffen zu verringern. Die Kunststoffstrategie der EU sieht vor, dass bis 2030 alle Kunststoffverpackungen so gestaltet sind, dass sie recyclingfähig oder wiederverwendbar sind. Derzeit werden 70% der Kunststoffabfälle in der EU auf Deponien gelagert oder verbrannt. Weiters soll die Verwendung von Produkten mit absichtlich zugefügtem Mikroplastik beschränkt werden. Bezüglich biologisch abbaubaren Kunststoffen sollen harmonisierte Regeln für die Definition und Kennzeichnung vorgeschlagen werden um Verbrauchern einen besseren Überblick über Kompostierbarkeit und Abbaubarkeit zu geben und eine angemessene Abfallsammlung- und Behandlung zu gewährleisten. Die Verwendung von oxo-abbaubarem Plastik soll beschränkt werden (EU Kommission, 2018b).

Ausgangsmaterialien (Biomüll, Grünschnitt von Straßenbegleitflächen) für Sekundärrohstoffdünger sollten möglichst wenig mit Kunststoffen verunreinigt werden. Hierbei sind sowohl Produzenten gefordert auf die Qualität der Düngemittel zu achten aber auch die Politik (Öffentlichkeitsarbeit, Grenzwerte, Kontrollen) und die Zivilbevölkerung (Trennverhalten, Littering). Der Vermeidung kommt hier besondere Bedeutung zu. Sind Fremdstoffe in den Ausgangsmaterialien erst einmal enthalten, ist eine vollständige Abtrennung auch mit kostenintensiven Maßnahmen nicht mehr möglich. Kunststoffe die im Prozess zerkleinert werden können nicht mehr mit der gleichen Effizienz abgetrennt werden, wie dies im unzerkleinerten Zustand möglich ist (BGK 2016).

Im Entwurf der neuen EU-Düngemittelverordnung wird bei drei Komponentenmaterialkategorien (CMC 3 – Kompost, CMC 5 – andere Gärrückstände als Gärrückstände von ‚frischen‘ Pflanzen, CMC 10 – sonstige Polymere mit Ausnahme von Nährstoff-Polymeren) das Thema Kunststoff adressiert. Für CMC 3 und 5 soll hierbei ein Grenzwert von 5 g/kg TM Kunststoffverunreinigungen >2 mm gelten. Für CMC 10 wird die Abbaubarkeit und deren Prüfung geregelt (EU Kommission, 2016).

Außer Frage steht, dass das Thema Kunststoffe im Boden nicht mit ‚end of pipe‘ Maßnahmen gelöst werden kann. Es bedarf Regelungen welche vor allem die Verminderung von Kunststoffeinträgen in die Umwelt forcieren. Die Thematik ist deshalb brisant, da Kunststoffe und hier vor allem Mikroplastik, wenn sie einmal in den Boden eingetragen wurden, nicht mehr entfernt werden können.

5 Zusammenfassung

Trotz der Vorteile die Plastik als Werkstoff bietet, stellt die Menge an Plastikmüll welcher in die Umwelt gelangt ein großes Problem dar. Neben der Verschmutzung von Gewässern wird seit kurzem auch die Kontamination von terrestrischen Ökosystemen mit Kunststoffen als globales Problem erkannt. Die Quellen sind vielfältig und übersteigen mit einiger Wahrscheinlichkeit die Einträge in marine bzw. Frischwasserökosysteme. Aufgrund von mangelnder Wahrnehmung und fehlenden standardisierten Methoden zur Plastikquantifizierung im Boden sind bis jetzt jedoch kaum Daten vorhanden. Die wenigen existierenden quantitativen Studien zum Thema Kunststoffe im Boden erschweren durch unterschiedliche Methoden und Analyseeinheiten den Vergleich und eine Interpretation der Daten.

Um Informationen zu Kunststoffbelastungen von landwirtschaftlichen Böden in Vorarlberg zu erhalten, wurde eine Bestimmungsmethode für Kunststoffe > 1 mm entwickelt und mehrere Flächen beprobt. Was die Untersuchungen bestätigten ist, dass Düngemittel aus Sekundärrohstoffen, insbesondere Biomüllkompost, Klärschlammkompost oder Gärrückstände zu einem signifikanten Eintrag an Kunststoffen in den Boden führen. Generell wurden Kunststofffragmente in allen Größen gefunden. Die meisten gefundenen Plastikfragmente liegen im Größenbereich von Mesoplastik, jedoch wurden auf einigen Flächen auch größere Makrokunststoffe gefunden.

Die Ergebnisse der Bodenuntersuchungen können als erste Hinweise dienen, sind jedoch mit Vorsicht zu betrachten, da es unterschiedliche Einflussfaktoren gibt und noch mehr Daten benötigt werden. Vor allem die Probenahme aber auch die nachfolgende Auswertung werden durch die inhomogene Verteilung und die unterschiedlichen Eigenschaften der Kunststofffragmente erschwert.

Die erarbeitete Bestimmungsmethode zielt hauptsächlich auf die Erfassung von großem Mikroplastik bis Mesoplastik ab. Sie ist somit einfacher und kostengünstiger durchzuführen als eine Mikroplastikanalyse. Zudem können Rückschlüsse auf mögliche Eintragsquellen gezogen werden.

Direkte Aussagen zur Verunreinigung mit kleinem Mikroplastik können nicht getroffen werden. Da Mikroplastik jedoch zu einem großen Anteil aus der Fragmentierung von Makroplastik entsteht, können die Ergebnisse möglicherweise als Indikatoren für eventuelle Mikroplastikverunreinigungen herangezogen werden. Wie der Vergleich mit den Mikroplastikuntersuchungen zeigte, gab es durchaus Korrelationen zwischen Meso-/Makro- und Mikroplastikverunreinigung. Bei einer hohen Makroplastikbelastung kann also davon ausgegangen werden, dass sich auch höhere Mengen an Mikroplastikpartikel im Boden befinden, welche durch ihre geringere Größe ein höheres Risikopotential aufweisen.

Durch die ubiquitäre Verwendung von Kunststoffen und auch den steigenden Einsatz in der Landwirtschaft (Mulchfolien etc.) wird auch in Zukunft das Potential an Kunststoffeinträgen in den Boden steigen. Aufgrund dieser Tatsache darf die Verunreinigung von Böden mit Kunststoffen nicht länger vernachlässigt werden. Sind Kunststoffe einmal in den Boden gelangt, ist es je nach Größe nur schwer bzw. nicht mehr möglich diese wieder zu entfernen. Sie können sich dort akkumulieren bzw. zu immer kleineren Partikeln fragmentiert werden. Welche Auswirkungen hierbei zu erwarten sind ist derzeit noch zu wenig erforscht. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass vor allem Mikroplastik Effekte auf die

Bodenstruktur, Bodenorganismen und eventuell den menschlichen Organismus haben kann. Da es noch keine Studien zum Ausmaß dieser Effekte gibt, muss gemäß dem Vorsorgeprinzip gehandelt werden und jeglicher Eintrag von Kunststoffen in den Boden so gut wie möglich vermieden werden.

Um effiziente Strategien und Regelungen zur Vermeidung bzw. zum Umgang mit Kunststoffkontaminationen von Böden zu erarbeiten, bedarf es einer erhöhten Aufmerksamkeit dieser Thematik in politischen Strategien und Regelungen, in denen die Verwendung von Kunststoffen in der Landwirtschaft, Kunststoffgrenzwerte im Boden sowie die Düngemittelqualität adressiert und geregelt werden. Vor allem sollte aber auch bei der unzureichenden Sammlung und Behandlung von Kunststoffen angesetzt werden damit es in erster Linie nicht zu Verunreinigungen von Materialien die auf den Boden aufgebracht werden kommt.

Unsere Erfahrungen haben gezeigt, dass vor allem die Probenahme eine große Herausforderung darstellt. Um haltbare und nachvollziehbare Aussagen über die Verunreinigung von Böden mit Kunststoffen treffen zu können ist daher eine weitere Optimierung der Methodik notwendig. Zusätzlich bedarf es weiterer Forschung zum Ausmaß von Bodenkontaminationen mit Plastik, den unterschiedlichen Eintragspfaden, sowie Auswirkungen auf Bodenorganismen und Bodenstruktur und potentielle Risiken für den Menschen. Das Fragmentierungs- und Abbauverhalten von Kunststoffen in den verschiedenen Umweltmedien muss beschreibbar werden um Prognosen zu langfristigen Gefährdungen erstellen zu können. Die Bewertung und Regulierung von Kunststoffen in der Umwelt sollte sich vor allem an der hohen Beständigkeit und den damit verbundenen Schadwirkungen über sehr lange Zeiträume orientieren.

6 Literatur

Amt der Vorarlberger Landesregierung (2017): Vorarlberger Landesabfallwirtschaftsplan 2017. 3. Fortschreibung.

Bannick, C. G. (2018): Mikroplastik in der Umwelt – Minimierung des Eintrags von Kunststoffen – Handlungsoptionen. Statuskolloquium Mikroplastik in der Umwelt. Augsburg. 5. Juli 2018.

Bertling, J.; Bertling, R. und Hamann, L. (2018): Kunststoffe in der Umwelt: Mikro- und Makroplastik. Ursachen, Mengen, Umweltschicksale, Wirkungen, Lösungsansätze, Empfehlungen. Kurzfassung der Konsortialstudie, Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT (Hrsg.), Oberhausen, Juni 2018

BGK Bundesgütergemeinschaft Kompost e.V. (2016): Sortenreinheit von Bioabfällen gewährleisten.
https://www.kompost.de/fileadmin/user_upload/Dateien/Themen_Positionen/5.4.6_Position_Sortenreinheit_von_Bioabfaellen_gewaehrleisten.pdf

Bläsing, M. und Amelung, W. (2018): Plastics in soil: Analytical methods and possible sources. *Science of the Total Environment* 612 (2018) 422 – 435.

Breitbarth, M. und Urban, A. I. (2018): Kunststoffe in kommunalen Kläranlagen. Eintrag und Verteilung in ausgewählten Kläranlagen. *Korrespondenz Abwasser, Abfall*. 2018 (65). Nr. 9.

De Souza Machado, A. A.; Kloas, W.; Zarfl, C.; Hempel, S. und Rillig, M. C. (2017): Microplastics as an emerging threat to terrestrial ecosystems. *Glob Change Biol*. 2018; 24:1405 – 1416.

De Souza Machado, A. A.; Lau, C. W.; Till, J.; Kloas, W.; Lehmann, A.; Becker, R. und Rillig, M. C. (2018): Impacts of Microplastic on the Soil Biophysical Environment. *Environmental Science and Technology*. 2018, 52, 9656 – 9665.

DB Deutscher Bundestag – Wissenschaftliche Dienste (2015): Biologisch abbaubare Kunststoffe. Ausarbeitung. Wissenschaftliche Dienste. WD 8-028-15.

EU Kommission (2016): Paket zur Kreislaufwirtschaft. Vorschlag für eine Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates mit Vorschriften für die Bereitstellung von Düngeprodukten mit CE-Kennzeichnung auf dem Markt und zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 1069/2009 und (EG) Nr. 1107/2009. COM(2016) 157 final.
https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:d117e80d-ec28-11e5-8a81-01aa75ed71a1.0023.02/DOC_1&format=PDF

EU Kommission (2018a): Bericht der Kommission an das europäische Parlament und den Rat über die Auswirkungen der Verwendung von oxo-abbaubarem Kunststoff, einschließlich oxo-

abbaubarer Kunststofftragetaschen, auf die Umwelt. Brüssel. COM/2018/035 final.
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1516986702401&uri=CELEX:52018DC0035>

EU Kommission (2018b): Communication from the commission to the European parliament, the council, the European economic and social committee and the committee of the regions. A European Strategy for Plastics in a Circular Economy.
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2018%3A28%3AFIN>

GESAMP (2016): Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: part two of a global assessment (Kershaw, P.J., and Rochman, C.M., eds). (IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/ UNEP/UNDP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection). Rep. Stud. GESAMP No. 93, 220 p.

Geyer, R; Jambeck, J. R. und Law, K. L. (2017): Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances* 2017;3: e1700782.

Horton, A. A.; Walton, A.; Spurgeon, D. J.; Lahive, E. & Svendsen, C. (2017): Microplastics in freshwater and terrestrial environments: Evaluating the current understandings to identify the knowledge gaps and future research priorities. *Science of the Total Environment*. 586. 127-141. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.190>

IEEP, Institute for European Environmental Policy (2018): Plastic Pollution in Soil.
https://ieep.eu/uploads/articles/attachments/2c23c38c-1b4d-49f3-a37b-785495a0ba0d/Plastic%20pollution%20in%20soil_FINAL.pdf?v=63698434362

Lassen, C.; Hansen, S. F.; Magnusson, K.; Hartmann, N. B.; Rehne Jensen, P.; Nielsen, T. G. und Brinch, A. (2015): Microplastics - occurrence, effects and sources of releases to the environment in Denmark. Danish Environmental Protection Agency.

Li, C.; Chen, J.; Wang, J.; Han, P.; Luan, Y.; Ma, X. und Lu, A. (2016): Phthalate esters in soil, plastic film, and vegetable from greenhouse vegetable production bases in Beijing, China: Concentrations, sources, and risk assessment. *Science of the Total Environment*, 2016, 568, 1037 – 1043.

Löder, M. G. J. und Gerdts, G. (2015): Methodology Used for the Detection and Identification of Microplastics – A critical Appraisal. In: Bergmann M., Gutow L., Klages M. (eds) *Marine Anthropogenic Litter*. pp 201-227. Springer, Cham.

Nizzetto, L.; Langaas, S.; & Futter, M. (2016): Do microplastics spill on to farm soils? *Nature* 2016, 537 (7621), 488–488.

Piehl, S.; Leibner, A.; Löder, M. G. J.; Dris, R.; Bogner, C. und Laforsch, C. (2018): Identification and quantification of macro- and microplastics on an agricultural farmland. *Scientific Reports* (2018) 8:17950.

Primpke, S.; Imhof, H.; Piehl, S.; Lorenz, C.; Löder, M.; Laforsch, C. und Gerdt, G. (2017): Mikroplastik in der Umwelt. Chem. Unserer Zeit, 2017, 51, 402 – 412.

Rillig, M. C.; Ingraffia, R. und de Souza Machado, A. A. (2017): Microplastic Incorporation into Soil in Agroecosystems. Front. Plant Sci. 8:1805.

Rodriguez-Seijo, A. und Pereira, R. (2017): Morphological and Physical Characterization of Microplastics. In: Characterization and Analysis of Microplastics. Comprehensive Analytical Chemistry Series, Edition: T.A.P. Rocha-Santos, A.C. Duarte, Chapter: Chapter 3. Publisher: Elsevier B.V., pp.49-66. DOI: 10.1016/bs.coac.2016.10.007

Scheurer, M. und Bigalke, M. (2018): Microplastic in Swiss Floodplain Soils. Environ. Sci. Technol. 2018, 52, 3591 – 3598.

Schwabl, P.; Liebmann, B.; Köppel, S.; Königshofer, P.; Bucsecs, T.; Trauner, M. und Reiberger T. (2018): Assessment of microplastic concentrations in human stool – Preliminary results of a prospective study –, präsentiert im Rahmen der UEG Week 2018 in Wien am 24. Oktober 2018.

http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/presse/news_2018/UEG_Week_2018_-_Philipp_Schwabl_Microplastics_Web.pdf

UBA (2015): Mikroplastik in der Umwelt. Vorkommen, Nachweis und Handlungsbedarf. Umweltbundesamt GmbH.
<http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/REP0550.pdf>

Wang, J.; Luo, Y.; Teng, Y.; Ma, W.; Christie, P. und Li, Z. (2013): Soil contamination by phthalate esters in Chinese intensive vegetable production systems with different modes of use of plastic film. Environmental Pollution, 2013, 180, 265 – 273.

Weithmann, N.; Möller, J. N.; Löder, G. J.; Piel, S.; Laforsch, C. und Freitag, R. (2018): Organic fertilizer as a vehicle for the entry of microplastic into the environment. Science Advances. 2018/4.

Institut für Umwelt und Lebensmittelsicherheit des Landes Vorarlberg
Montfortstraße 4, 6901 Bregenz
T +43 5574 511 42099
umweltinstitut@vorarlberg.at
www.vorarlberg.at/umweltinstitut