

Mikroplastik

Vorkommen in unserem Trinkwasser

Maturaarbeit



vorgelegt von
Paula Stoll, 4mb

Betreuer
Rainer Steiger

Kantonsschule Schaffhausen
Dezember 2018

Abstract

Kunststoff ist in der heutigen Zeit einer der wichtigsten Rohstoffe. Doch erst seit kurzer Zeit ist bekannt, dass kleinste Plastikpartikel, sogenannter Mikroplastik, auf verschiedenen Wegen in die Umwelt gelangen und dort ein potenzielles Risiko für Organismen, die diese Partikel mit der Nahrung aufnehmen könnten, darstellt. Eine der wichtigsten Quellen von Mikroplastik sind Kosmetikprodukte. Industriell gefertigte Plastikpartikel werden den Artikeln zugefügt, um die gewünschte Wirkung oder Konsistenz des Produktes zu erreichen. In dieser Arbeit wird genauer auf mögliche Alternativen als Zusatzstoffe in der Kosmetik eingegangen, sowie weitere Herkunftsmöglichkeiten von Mikroplastik diskutiert.

Viele Studien berichten bereits von Mikroplastikfunden in Flüssen, Seen und im Meer. Da stellt sich die Frage, ob diese Partikel auch bis ins Trinkwasser vordringen. Um dies zu beantworten, wurden zwei konkrete Hypothesen formuliert. Die erste besagt, dass sowohl im Grundwasser als auch im Leitungswasser Plastikpartikel zu finden sind. Als zweites wird vermutet, dass im Trinkwasser, welches in PET-Flaschen gelagert wurde, mehr Partikel vorhanden sind als im Leitungswasser. Die beiden Hypothesen wurden mit einer Analyse von Wasserproben überprüft. Die gewählte Methode wurde vom Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL) in Zürich übernommen. Dabei werden die Proben über einen Membranfilter filtriert und mit Schwefelsäure behandelt, um darin enthaltenes organisches Material aufzulösen. Die Partikel sammeln sich auf dem Filter und werden unter dem Mikroskop von Hand ausgezählt. Im Grundwasser, sowie im Trinkwasser aus der PET-Flasche konnten keine Partikel nachgewiesen werden. Im Leitungswasser waren einige Partikel vorhanden. Die genaue Herkunft dieser Teilchen konnte allerdings nicht bestimmt werden. Als Referenzwert sollte demineralisiertes Wasser analysiert werden. Entgegen den Erwartungen wurde in diesem ein erhöhter Wert an Plastikpartikeln nachgewiesen. Die Gründe dafür wurden in der Wasserenthärtung durch den Ionenaustauscher gefunden. Aus den Untersuchungen kann insgesamt gesagt werden, dass die Verschmutzung von Trinkwasser aus Grundwasservorkommen durch Mikroplastik bis jetzt keine ernsthafte Problematik darstellt.

Vorwort

In dieser Arbeit befasste ich mich vertieft mit Mikroplastik, dessen Entstehung und dessen Vorkommen in der Umwelt. Die Frage, für welches Thema ich mich entscheiden würde, war jedoch nicht von Anfang an klar. Ich hatte mehrere Leitideen, von denen mich im Verlaufe des Entscheidungsprozesses aber nur eine wirklich überzeugte. Der definitive Entscheid ist auf verschiedene Gründe zurückzuführen, die mich schliesslich dazu bewegten, mich tiefer mit der Thematik des Plastiks zu beschäftigen.

Schon als kleines Kind war ich von naturwissenschaftlichen Phänomenen fasziniert und wollte wissen was dahintersteckt. Stundenlang konnte ich mit dem Chemiebaukasten experimentieren, ohne dabei das Interesse daran zu verlieren. Als es dazu kam, ein Thema für die Maturaarbeit zu finden, fiel mir auf, dass in den Medien immer wieder über die Problematik der Umweltverschmutzung durch winzige Plastikpartikel, berichtet wurde. Fast wöchentlich erschien ein neuer Artikel, eine neue Sendung oder Dokumentation. Ich habe mich sehr dafür interessiert und beschloss, mich vertiefter mit der Thematik auseinanderzusetzen. Viele Studien berichten von Seen und Flüssen, in welchen bereits besorgniserregend hohe Mengen an Mikroplastikpartikel nachgewiesen werden konnten [1], [2]. Ich wurde neugierig und wollte herausfinden woher diese Partikel stammen und ob es möglich ist, dass diese auch in unser Trinkwasser gelangen und wir sie somit in unseren Körper aufnehmen.

Mit der Wahl, über dieses Thema meine Maturaarbeit zu schreiben, ist es mir möglich, selbständig eine Analyse durchzuführen und auszuwerten. Da ich bisher noch nicht viel Erfahrung mit naturwissenschaftlichen Untersuchungen hatte, erhoffte ich mir durch die Auseinandersetzung mit dieser Thematik wertvolle Erfahrungen zu sammeln. Obwohl die Problematik der Verschmutzung der Gewässer durch Plastik nun schon länger bekannt ist, bleibt es ein sehr aktuelles Thema und bis heute ist Vieles noch ungeklärt.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
2	Was ist Plastik.....	3
2.1	Definition Mikroplastik.....	3
3	Entstehung von Mikroplastik	5
3.1	Mikroplastik in Kosmetikartikel.....	6
3.1.1	Mögliche Ersatzstoffe.....	7
4	Mikroplastik in Gewässern.....	9
4.1	Chemische Verschmutzung durch Mikroplastik.....	10
4.2	Trinkwasseraufbereitung	10
5	Mikroplastikanalyse	12
5.1	Verschiedene Wasserquellen im Vergleich.....	12
5.2	Material und Methode	13
5.2.1	Optische Untersuchung.....	14
5.2.2	Berechnung der Resultate.....	15
5.3	Kontaminationsgefahr.....	16
5.3.1	Getroffene Massnahmen	17
5.4	Resultate.....	17
5.5	Demineralisiertes Wasser.....	19
6	Diskussion.....	20
6.1	Lösungsansätze.....	22
7	Danksagung.....	23
8	Anhang	24
9	Redlichkeitserklärung.....	28
	Abbildungsverzeichnis.....	29
	Literaturverzeichnis.....	30

1 Einleitung

Die Entwicklung von Kunststoff als nutzbaren Rohstoff für die Herstellung von unterschiedlichsten Gegenständen revolutionierte die Welt und beeinflusste die Lebensweise jedes einzelnen. Heute ist Plastik in unserem Alltag nicht mehr wegzudenken. Die vielfältigen Eigenschaften ermöglichen eine breitgefächerte Anwendung, von Haushaltsgeräten über Verpackungen bis hin zu Wasserleitungen. Die Beständigkeit des Materials hat aber auch Nachteile, auf die man bereits vor mehreren Jahren aufmerksam wurde. Plastikteile akkumulieren in der Umwelt ohne sich dabei abzubauen, was zu bedeutenden Problemen für das ökologische System führt. Bis heute wird nach geeigneten Lösungen gesucht, um dieser Verschmutzung entgegenzuwirken.

Aber erst seit kurzem wurden auch Mikroplastikpartikel als ernst zu nehmende Gefahrenquelle anerkannt. Der Anteil am gesamten Plastik in der Umwelt ist grösser als man bisher dachte. Besonders in Gewässern wurden bereits besorgniserregend hohe Mengen an kleinsten Plastikpartikeln gefunden [1], [2]. Die Aufgabe besteht nun darin, mögliche Quellen dieser Partikel zu identifizieren und basierend auf diesem Wissen den Ausstoss in die Umwelt effizient zu reduzieren. Im Gegensatz zu Flüssen und Seen wurde trinkbares Wasser noch nicht oft untersucht. Das Wissen um darin möglicherweise enthaltene Mikroplastikpartikel ist aber genauso wichtig, da wir Menschen dieses Wasser tagtäglich zu uns nehmen.

Diese Arbeit widmet sich deshalb der genaueren Untersuchung von Trinkwasser. Mit einer praktischen Analyse von Wasserproben werden potenzielle Partikel identifiziert. Basierend auf theoretischem Wissen werden dann Bezüge zu möglichen Quellen dieser Partikel hergestellt.

Konkret wird die Thematik des Trinkwassers mit folgenden Fragestellungen bearbeitet:

1. Sind Mikroplastikpartikel im Trinkwasser und Grundwasser der Umgebung Hallau nachweisbar?
2. Gibt es Unterschiede zu Trinkwasser aus einer Plastikflasche und Leitungswasser?
3. Woher kommen Mikroplastikpartikel?
4. Gibt es mögliche Ersatzstoffe, die anstelle von Mikroplastik Kosmetikartikeln zugefügt werden könnten?

Zu den Punkten 1 und 2 wurden konkrete Hypothesen formuliert:

Hypothese 1:

Mikroplastikpartikel sind im Grundwasser, sowie auch im Trinkwasser vorzufinden. Im Trinkwasser wird eine geringere Konzentration im Vergleich zum Grundwasser erwartet.

Da Mikroplastik in Sedimente und Böden gelangt, wird vermutet, dass dieser sich auch im Grundwasser ansammeln. Es wird angenommen, dass potenzielle Partikel durch die Trinkwasseraufbereitung nur teilweise entfernt werden.

Hypothese 2:

Im Trinkwasser aus der Plastikflasche befinden sich mehr Partikel als im Leitungswasser.

Es wird vermutet, dass durch Abrieb einige Partikel von der Plastikflasche ins Wasser gelangen können.

2 Was ist Plastik

Plastik ist einer der bekanntesten Werkstoffe weltweit und kommt in unzähligen Bereichen des Alltags zum Einsatz. Allerdings beschreibt der Begriff nicht einen einzelnen spezifischen Stoff, sondern vielmehr eine Vielzahl an Materialien mit unterschiedlichen Eigenschaften. Diese Materialien werden im allgemeinen Sprachgebrauch Kunststoffe genannt. Sie werden aus endlichen Rohstoffen wie Erdöl, Kohle oder Erdgas hergestellt.

Trotz ihrer unterschiedlichen Merkmale, haben alle Kunststoffe einen ähnlichen Aufbau. Sie bestehen aus Polymeren, die durch die Polymerisation von einzelnen Monomeren hergestellt werden. Der Aufbau eines Polymers zeichnet sich durch die Verbindung von gleichen Moleküleinheiten, sogenannten Monomeren, zu einer langen Kette aus. Ein Polymer kann aus 10'000 bis zu 100'000'000 Monomeren aufgebaut sein.

Ein konkretes Beispiel ist in Abbildung 1 zu sehen. Das Monomer Ethylen bildet eine Polymerkette, die beliebig lang weitergeführt werden kann.

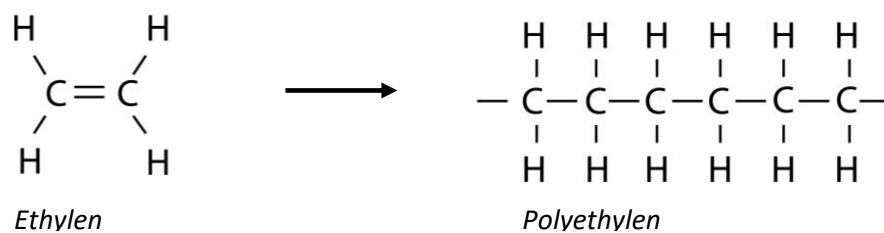


Abb. 1: Vom Monomer zum Polymer am Beispiel des Ethylens [26]

Ausserdem werden den Polymeren bei der Herstellung eine Auswahl an chemischen Zusätzen beigefügt. Diese sollen die Eigenschaften des jeweiligen Stoffes so verändern, dass sie den gewünschten Zweck erfüllen. Mit diesen verschiedenen Kombinationsmöglichkeiten, kann der Aufbau eines Kunststoffes sehr stark variieren und somit auch deren Eigenschaften und Anwendungen im Alltag.

(verwendete Quellen: [4], [5], [27])

2.1 Definition Mikroplastik

Der Begriff Mikroplastik beschreibt Kunststoffteilchen, welche kleiner als 5 Millimeter sind. Wenn die Teilchen eine geringere Grösse als ein Mikrometer aufweisen, wird in der wissenschaftlichen Literatur von Nanoplastik gesprochen. Tabelle 1 zeigt diese Kategorisierung aufgrund der Grösse.

In den folgenden Kapiteln wird nicht genauer auf Nanoplastik eingegangen, da Partikel dieser Grösse sehr viel schwerer nachzuweisen sind.

Je nach Entstehung der Partikel wird zwischen primärem und sekundärem Mikroplastik unterschieden. Primärer Mikroplastik sind Plastikpartikel, welche zu verschiedenen Zwecken bewusst industriell hergestellt werden. Sie werden Kosmetik und Hygieneartikeln hinzugefügt, bei Sandstrahlern genutzt oder als Rohstoffe verwendet.

Sekundärer Mikroplastik entsteht durch den unbeabsichtigten Zerfall von grösseren Plastikteilen, wie Plastiksäcken, PET-Flaschen oder Plastikseilen. Gelangen Plastikteile in die Umwelt, sind sie verschiedenen Umweltfaktoren ausgesetzt, welche mit der Zeit den Zerfall in immer kleinere Partikel verursachen.

Mikroplastikpartikel kommen in den unterschiedlichsten Formen und Farben vor. Da primärer Mikroplastik industriell hergestellt wird, haben diese Partikel oftmals eine glatte Oberfläche und sind von der Form her symmetrisch aufgebaut. Sekundärer Mikroplastik hingegen kann jede zufällige Form annehmen, da durch den Zerfall das charakteristische Aussehen verändert wird.

(verwendete Quellen: [4], [18])

Tab. 1: Kategorisierung von Plastik nach dessen Grösse [4]

Kategorie	Grösse
<i>Makroplastik</i>	$\geq 25\text{mm}$
<i>Mesoplastik</i>	5mm-25mm
<i>Mikroplastik</i>	1mm-5mm
<i>Mini-Mikroplastik</i>	1 μm -1mm
<i>Nanoplastik</i>	<1 μm

3 Entstehung von Mikroplastik

Die ersten Kunststoffe wurden bereits 1870 entwickelt [6]. Aufgrund ihrer zum Teil extrem langen Beständigkeit kam bald die Frage nach umweltgerechter Entsorgung auf. Recycling von Kunststoffen wie zum Beispiel PET wurde mit der Zeit immer wichtiger und grosse Plastikteile, welche in die Gewässer gelangten, versuchte man wieder heraus zu bekommen. Als 1972 im Atlantik grosse Mengen an besonders kleinen Partikeln an der Wasseroberfläche gefunden wurden, wurde man auch auf Plastikpartikel im Mikrobereich aufmerksam [4]. Seither verschwand diese durchaus problematische Thematik nie mehr ganz von der Bildfläche. Durch immer wieder neue Berichte in den Medien und spezifischere Forschungsergebnisse bleibt die Diskussion, was unsere Gesellschaft gegen die fortschreitende Verschmutzung der Umwelt tun soll, erhalten. Aber woher genau kommen diese Mikroplastikpartikel nun eigentlich?

Als zwei der wichtigsten Quellen gelten Kunststofffasern aus Kleidung und synthetisch hergestellte Partikel in Kosmetikprodukten. Kunststofffasern zählen zu primärem Mikroplastik. Sie sind eine der am häufigsten gefundenen Mikroplastikarten in unserer Umwelt. Beim Waschen der Kleidung lösen sich kleinste Fasern und gelangen so ins Abwassersystem. Dabei können sich von einem einzelnen Kleidungsstück während eines Waschganges mehr als 1900 Fasern lösen [4]. Kosmetikprodukten werden häufig Plastikpartikel beigefügt. Diese geben dem Produkt zum Beispiel die richtige Konsistenz oder die gewünschte Farbe. Nach dem Gebrauch wird das Haarwaschmittel oder das Duschgel allerdings wieder abgewaschen und fortgespült, sodass es schliesslich in den Abwasserleitungen ankommt [9]. Synthetisch hergestellte Mikroplastikpartikel werden auch als Rohstoffe für die Herstellung weiterer Plastikprodukte erzeugt. In Form von Kunststoffgranulat werden die Teilchen für den Spritzguss von grösseren Plastikteilen verwendet. Missgeschicke in der Handhabung wie zum Beispiel das Überlaufen eines Tankes, indem die Rohstoffe gelagert werden, tragen dazu bei, dass Partikel in die Umwelt transportiert werden können [4].

In den letzten Jahren wurden auch Elastomere als Quelle von Mikroplastik immer wichtiger. Der Kunststoff Elastomer ist ein wichtiger Bestandteil von Autoreifen [7]. Durch dessen Abrieb sammeln sich die Partikel zuerst auf der Strasse. Niederschlag kann nun diese wegschwemmen, sodass die Partikel in die Gewässer gelangen [8].

Schlussendlich entstehen Mikroplastikpartikel auch, wenn makroskopische Plastikteile zum Beispiel durch Littering direkt in die Umwelt gelangen und dort verschiedenen Kräften ausgesetzt sind. Aufgrund meist zu hoher Belastungen zerfallen die Teile in immer kleinere Plastikpartikel. Diese sogenannte Degradation kann auf zwei unterschiedlichen Wegen geschehen: Abiotisch und biotisch [4]. Abiotische Degradation beschreibt die Verwitterung durch mechanische, physikalische und chemische Kräfte. Mechanische Kräfte wirken vor allem an Küsten und auf Wasseroberflächen. Dazu gehören

Strömungen, Wellen und Zerkleinerung durch Kollisionen mit Felsen. Physikalische Verwitterung bezieht sich auf den Zerfall von Partikeln unter Einfluss von Umweltfaktoren ohne eine stoffliche Veränderung hervorzurufen. UV-Strahlung, Temperatur und Druck gehören zu den wichtigsten Faktoren. Beim chemischen Zerfall werden Polymere in einzelne Monomere gespalten. Ob eine Reaktion stattfindet, hängt unter anderem vom Salzgehalt und pH-Wert der äusseren Umgebung ab [15], [29]. Im Gegensatz dazu bezieht sich die biotische Degradation auf den Abbau von Plastikmaterial durch Organismen. Diese nutzen den vorhandenen Kohlenstoff als Energiequelle und bauen die Moleküle vollständig ab. Kunststoffpartikel müssen allerdings durch den Prozess der abiotischen Degradation bereits zerkleinert sein, um von den Organismen aufgenommen und umgewandelt werden zu können. Um Kunststoff als biologisch abbaubar zu bezeichnen muss der ganze Ablauf ausserdem in einer angemessenen Zeitspanne ablaufen [4].

Wie stark die Partikel tatsächlich von der Degradation betroffen sind, hängt von ihren spezifischen Eigenschaften, sowie deren Lage in der Umwelt ab.

3.1 Mikroplastik in Kosmetikartikeln

Wie bereits unter Punkt drei erwähnt, sind Kosmetikartikel eine wichtige Quelle von Mikroplastik. Aber obwohl die beigefügten Plastikpartikel auf der Verpackung deklariert werden müssen, sind sich viele Menschen über deren Existenz und potenzielle Gefahr für die Umwelt nicht bewusst.

Plastikpartikel werden verschiedenen Produkten in unterschiedlichen Konzentrationen von bis zu mehr als neunzig Prozent zugefügt [9]. Je nach Eigenschaft des Kunststoffes erfüllen sie jeweils völlig andere Funktionen. Der allgemein bekannte, abschleifende Effekt des Peelings ist nur eine der möglichen Wirkungsarten von Mikroplastik. In der folgenden Tabelle sind einige Beispiele von Kunststoffen und ihrer spezifischen Funktion dargestellt:

Tab. 2: Eine Auswahl an Kunststoffen, die in Kosmetikprodukten verwendet werden und Beispiele zu deren spezifischen Funktionen [9], [10]

Kunststoff	Funktion in Kosmetikprodukten
Polyethylen (PE)	Abrasive Eigenschaft, reguliert die Viskosität, bildet einen geschlossenen Film auf der Haut (filmbildend)
Polypropylen (PP)	Erhöht die Viskosität, Füllstoff
Nylon-6	Reguliert die Viskosität, Füllstoff
Acrylates Copolymer (AC)	Sorgt für Bindung, ist filmbildend, Haarfestiger
Styrol Acrylat Copolymer	Ist färbend
Polystyrol (PS)	Ist filmbildend
Ethylen/Acrylat Copolymer	Ist filmbildend in wasserfestem Sonnenschutzmittel, Geliermittel
Polyethylenterephthalat (PET)	Ist filmbildend auf Haut, Haar oder Nägeln
Nylon-12	Verringert die Transparenz und Lichtdurchlässigkeit, reguliert Viskosität, Füllstoff

3.1.1 Mögliche Ersatzstoffe

Plastikpartikel werden nicht nur in Peelings verwendet, sondern kommen in einer grossen Vielfalt an Pflegeprodukten vor. Aber was macht Kunststoff überhaupt so einzigartig?

Kunststoff ist im Gegensatz zu anderen Rohstoffen sehr billig herzustellen. Er ist in seinen Eigenschaften sehr vielfältig und kann von extrem elastisch bis hart alle Formen annehmen. Ausserdem ist das Risiko für Allergien und Irritationen bei Kontakt mit der Haut sehr klein und der Stoff kann nicht in den Körper diffundieren. Dies sind optimale Voraussetzungen für den Gebrauch in der Kosmetikindustrie.

Die Suche nach einem Stoff mit annähernd gleichen Eigenschaften, welcher die Kunststoffpartikel ersetzen kann, ist relativ komplex. Die Partikel sollen, neben der richtigen Härte und Form, vor allem biologisch abbaubar sein. Im Folgenden werden zwei konkrete Alternativen aufgezeigt:

Forscher des Fraunhofer-Instituts in Deutschland entwickelten ein Verfahren, mit dem sie aus Bienenwachs kleine Kügelchen herstellen können. Wachs wird einerseits zu Pulver vermahlen oder mit einem Hochdruckverfahren in Partikel im Mikrometerbereich zerkleinert. Bienenwachs ist ein nachwachsender Rohstoff und im Gegensatz zu Kunststoff abbaubar. Die entstandenen Kügelchen haben eine abrasive Wirkung und können so zum Beispiel in Peelings verwendet werden.

Ein weiterer Stoff, der als Ersatzstoff in der Kosmetikindustrie eine Zukunftsperspektive haben könnte, ist Nanocellulose. Cellulose ist der Hauptbestandteil pflanzlicher Zellwände und Strukturfasern. Es wird in der Natur ständig neu aufgebaut und ist somit als erneuerbare Quelle sehr vielsprechend.

Das Molekül besteht aus langen Aneinanderreihungen von Glucosemolekülen und bildet so ein Polymer. Die einzelnen Ketten binden aneinander und bilden stabile Zellulosefasern. Diese Polymerstruktur kommt auch bei Kunststoffen vor.

Die Erzeugung der Partikel kann auf zwei unterschiedlichen Wegen erreicht werden. Einerseits durch die Verbindung von Glucose-Monomer-Einheiten zu Polymeren, andererseits durch Aufspaltung der Cellulosefasern zur Separation der einzelnen Nanofibrillen.

Die Cellulose Partikel konnten im Labor so modifiziert werden, dass durch ihre Grösse, Form und Härte eine vergleichbare Funktion zum Mikroplastik erreicht wird. Konkret erfüllen sie die Funktion der Filmbildung, der Emulsionsstabilisierung sowie der Regulierung der Viskosität. In Tests mit Zahnpasta überzeugen die Partikel mit einer „[...] geringen Abrasionswirkung, aber dennoch guten Reinigungsleistung [...]“ [13]. Neben der biologischen Abbaubarkeit sind die Cellulose-Partikel auch kostengünstig herzustellen und deshalb eine gute Alternative zu Kunststoffen. Aber wie sieht es mit der effektiven Umsetzbarkeit dieser Möglichkeiten aus?

Heute gibt es bereits viele Kosmetikartikel, die auf Naturprodukten basieren. Auch durch Walnusschalen oder Bimsstein kann ein annähernder Peeling Effekt erzeugt werden. Der Stoff Cellulose wird bereits in verschiedenen Zahnpasten erfolgreich angewendet. Dennoch bleibt die Problematik hochaktuell und die Forschungen zu noch besseren Alternativen sind noch lange nicht abgeschlossen.

(verwendete Quellen: [10], [12], [13], [16], [17])

4 Mikroplastik in Gewässern

Bereits mehrere Studien berichten von Mikroplastikfunden in Meeren, Seen und Flüssen [1], [2]. Auf den unter Punkt drei erwähnten Wegen gelangen die winzigen Partikel ins Abwassersystem. Bei der Reinigung des Wassers in Kläranlagen können die Partikel nicht vollständig herausgefiltert werden und gelangen so schliesslich in die Gewässer [14]. Oft verbleiben sie aber nicht an ein und demselben Ort. Durch natürliche Strömungen können die Partikel weite Strecken transportiert werden. Dabei sind sie der Degradation ausgesetzt und zerfallen in immer kleinere Teilchen. Wenn Partikel an anderem Material, wie zum Beispiel Pflanzen, haften bleiben, sind sie zu schwer, um mit der Strömung weiter transportiert zu werden und sinken langsam auf den Grund. So sind auch Sedimente von der Verschmutzung betroffen. Die leichteren Teilchen können bis ins Meer getragen werden und akkumulieren dort [4].

Die Degradation führt zwar zur Zerkleinerung des Mikroplastiks, aber er wird dadurch nicht einfacher abgebaut. Die Abbaupzeit von Plastikpartikeln wird auf ungefähr zehn bis sechzig Jahre geschätzt [11]. Während dieser Zeit sind sie unverändert in der Natur vorzufinden. Dies führt zu dem Risiko, dass Organismen die Partikel mit der Nahrung aufnehmen. Plastik gelangt so in die natürliche Nahrungskette. Die Effekte von Mikroplastik auf den Organismus wurden erst in einzelnen Untersuchungen erforscht. Bei Muscheln können Partikel vom Verdauungstrakt ins Gewebe aufgenommen werden und reduzieren deren Filteraktivität. Sie können so weniger Nahrung aufnehmen, was im schlimmsten Fall zum Verhungern führt [18]. Ob Mikroplastik auch die Gesundheit von uns Menschen gefährden kann, konnte bis jetzt noch nicht wissenschaftlich nachgewiesen werden.

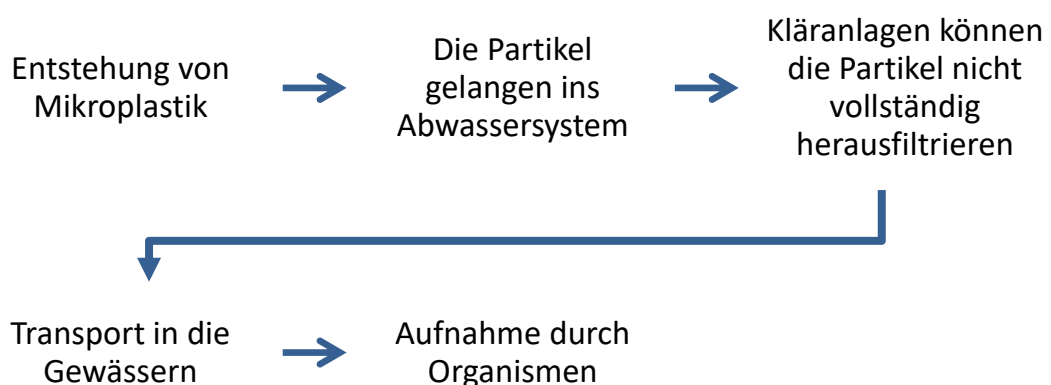


Abb. 2: Der Weg des Mikroplastiks (eigene Grafik)

Nicht nur die Gewässer sind von der Verschmutzung durch Mikroplastik betroffen. Es wird vermutet, dass Böden sogar noch stärker betroffen sind [24]. Da Grundwasser durch die Erde versickert und sich dort ansammelt, wäre es möglich, dass Plastikpartikel aus den Böden auch ins Grundwasser gelangen.

4.1 Chemische Verschmutzung durch Mikroplastik

Mikroplastikpartikel sind nicht nur aufgrund ihrer langen Beständigkeit für die Umwelt problematisch. Es ist bekannt, dass organische Schadstoffe dazu neigen, sich an die Partikel anzuheften oder von ihnen absorbiert zu werden. Es kommt zu einer Schadstoffanreicherung. Je grösser die Oberfläche des Partikels ist, desto besser können sich die Stoffe anlagern. Gewässer, welche Mikroplastikpartikel enthalten, tendieren also dazu, auch eine höhere Konzentration an schädlichen Elementen aufzuweisen. Organismen, die ungewollt Mikroplastik mit der Nahrung aufnehmen, nehmen so auch giftige Chemikalien auf. Das Risiko für permanente Schäden wird dadurch erhöht. Allerdings ist noch nicht untersucht, ob und in welchem Ausmass die Stoffe ins Gewebe aufgenommen werden. Neben organischen Schadstoffen, lagern sich auch Metalle an den Partikeln ab.

Dass dieses Thema von Aktualität ist, zeigt eine in diesem Jahr veröffentlichte Studie in der Zeitschrift *Frontiers in Environmental Science* [3]. Dabei wurden über 3000 Plastikproben am Ufer des Genfer Sees gesammelt und analysiert. In knapp 50 % der untersuchten Proben wurde Chrom nachgewiesen. Weitere gefundene Elemente waren unter anderem Blei, Brom und Antimon.

(verwendete Quellen: [3], [4], [23])

4.2 Trinkwasseraufbereitung

Trinkwasser wird unter anderem aus Grundwasser gewonnen. Bevor das Wasser aber an die Haushalte verteilt wird, durchläuft es einen mehrteiligen Reinigungsprozess.

Mit einem Grobfilter werden zu Beginn grössere, von Auge sichtbare Verschmutzungen entfernt. Dazu gehören Blätter von Pflanzen aber auch Plastikteile im Makrobereich. Diese können beim Transport an der Oberfläche ins Wasser gelangen. Darauf folgen verschiedene Feinfilter, mit denen auch die kleineren Partikel herausfiltriert werden. Schliesslich wird das Wasser desinfiziert. Durch die Desinfektion werden Bakterien und Keime abgetötet, um so die Hygiene aufrechtzuerhalten und Krankheiten zu vermeiden.

Für die Trinkwasserbehandlung von kleineren Wassermengen wird Natriumhypochlorit verwendet. Alternativ kann auch Ozon, UV-Strahlung oder Chlordioxid verwendet werden.

In der durchgeführten Mikroplastikanalyse, welche im nächsten Punkt erläutert wird, sollte untersucht werden, ob durch die Trinkwasseraufbereitung potenzielle Partikel aus dem Grundwasser entfernt wurden.

(verwendete Quellen: [19], [30])

5 Mikroplastikanalyse

Im Rahmen dieser Arbeit wurde selbständig eine Analyse von Wasserproben durchgeführt. In diesem Kapitel wird das genaue Vorgehen während der Analyse erläutert und die gewonnenen Resultate aufgezeigt. Da noch keine einheitliche Methode zur Identifizierung von Mikroplastik existiert, ist es sehr schwierig die Resultate mit anderen Studien zu vergleichen.

5.1 Verschiedene Wasserquellen im Vergleich

Wasser von unterschiedlichem Reinheitsgrad wurde auf Plastikpartikel untersucht und miteinander verglichen. Konkret wurden fünf Wasserproben untersucht.

Um zu prüfen, ob Mikroplastikpartikel in der Umwelt auch ins Grundwasser gelangen, wurde noch unbehandeltes Wasser vom Wasserwerk Wunderklingen in Hallau zur Analyse gewählt. Weiter wurde gereinigtes Leitungswasser von Hallau, sowie stilles Mineralwasser von Migros Budget untersucht. Die Untersuchung von gekauftem Mineralwasser sollte helfen, die potenzielle Kontamination durch PET-Flaschen zu beurteilen. Schliesslich wurde zusätzlich noch Wasser nach einem Waschgang der Waschmaschine aufgefangen.

Als Testlauf wurde eine Zahnpastalösung analysiert. Dabei war bekannt, dass die verwendete Zahnpasta Mikroplastik enthält und dieser nachweisbar ist [22].

Mögliche Kontaminationen während der Laborarbeit wurden mithilfe eines Referenzwertes von demineralisiertem Wasser bestimmt. Nachdem sich demineralisiertes Wasser als Referenzprobe für ungeeignet herausstellte, wurde als Kontrollwert aufbereitetes Wasser für die Herstellung von Injektionslösungen (WFI) verwendet. WFI entsteht durch den Prozess der Destillationen, bei dem die nichtflüchtigen Bestandteile wie Salze, organische Verbindungen oder Mikroorganismen extrahiert werden. So kann nahezu keimfreies Wasser hergestellt werden [32].

Um die Werte miteinander vergleichen zu können, wurde jeweils ungefähr die gleiche Probenmenge von 3.4 Litern genommen. Im Falle der Zahnpastalösung und des Abwassers der Waschmaschine wurde eine kleinere Probenmenge analysiert, da die Filtration sonst in dem zur Verfügung stehenden Zeitrahmen nicht hätte abgeschlossen werden können.

Tabelle 3 gibt eine Übersicht zu den analysierten Wasserproben.

Tab. 3: Informationen zur Menge und Herkunft der analysierten Wasserproben

Untersuchte Wasserproben	Details
Grundwasser	3.4 Liter, Wasserwerk Wunderklingen
Leitungswasser	3.4 Liter, Wasserwerk Wunderklingen
Trinkwasser aus PET-Flasche	3.4 Liter, natürliches Mineralwasser ohne Kohlensäure von Migros Budget
Abwasser der Waschmaschine	0.2 Liter, 1 Waschdurchgang mit schwarzer Wäsche mit einem Anteil an synthetischen Kunstfasern
Zahnpastalösung	0.7 Liter, 1 Spatelspitze gelöst in 1.5 Litern Leitungswasser
Demineralisiertes Wasser	3.4 Liter, Kantonsschule Schaffhausen
WFI (Referenz)	3.4 Liter, Cilag AG

5.2 Material und Methode

Die angewendete Methode wurde vom Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL) in Zürich übernommen [11]. In mehreren Schritten wurden dabei die Mikroplastikpartikel isoliert und schliesslich unter dem Mikroskop ausgezählt.

Als erstes wurde die Wasserprobe durch Abnutschen über einen Membranfilter mit einem Porendurchmesser von 8 Mikrometern filtriert. Beim Abnutschen wurde mithilfe einer Wasserstrahlpumpe ein Unterdruck erzeugt, welcher die Filtration beschleunigt. Bevor der Filter auf das Lochsieb gelegt wurde, wurde dieses mit einem Tropfen Wasser befeuchtet damit der Filter flach liegt und keine Fältchen bilden kann. Durch die Filtration bleiben ungelöste Partikel auf dem Filter hängen. Diese können sowohl anorganisch, als auch organisch sein. Nach der Filtration wurde der Filter mit einer Petrischale abgedeckt, um Kontamination durch Kunststofffasern in der Luft zu vermeiden. Die Filtrationseinheit wurde mit demineralisiertem Wasser gespült und der Filter gedreht und verkehrt auf das Lochsieb gelegt. Nun wurde mit 20 Millilitern 60 % - H_2SO_4 rückgespült und die Lösung aufgefangen. Zum Einwirken der Schwefelsäure wurde die Lösung für 30 Minuten abgedeckt stehen gelassen. Die filtrierte Partikel wurden durch die Rückspülung vom Filter abgetrennt. Die Säure reagierte daraufhin mit den vorhandenen organischen Partikeln und löste diese vollständig auf. Dazu gehörten vor allem Baumwollfasern. Nach Einwirkung der Säure wurde die Filtrationseinheit erneut mit demineralisiertem Wasser gespült und die Lösung vorsichtig über einen neuen Membranfilter mit gleichem Porendurchmesser filtriert. Um mögliche Anhaftungen an der Glasfrittenwand zu entfernen, wurde mit zwei Mal 30 Millilitern demineralisiertem Wasser nach-filtriert. Die Kunststoffpartikel haben sich auf dem Filter angesammelt und konnten unter dem Auflichtmikroskop ausgezählt werden.



*Abb. 3: Filtrationseinrichtung
(eigene Aufnahme)*

Im Gegensatz zu Gewässer- und Abwasserproben, die das AWEL untersuchte, muss bei Trinkwasserproben nach Einwirkung der Säure keine Zentrifugierung durchgeführt werden. Die Zentrifugierung bewirkt die Trennung des Mikroplastiks vom anorganischen Material mittels Dichteseperation. Zu diesem anorganischen Material gehören unter anderem Glas oder Sand. Da solche Partikel aus den Wasserproben bereits bei der Aufbereitung entfernt wurden, ist es nicht nötig die Proben zu zentrifugieren.

5.2.1 Optische Untersuchung

Die Auszählung der Partikel erfolgte mit einem Auflichtmikroskop bei 200-facher Vergrößerung. Die Gesamtvergrößerung berechnet sich aus der Masstabszahl des Objektivs (hier 20) multipliziert mit der Vergrößerung des Okulars (hier 10). Der Filter wurde in der Petrischale auf den Objektstisch gelegt und unter einer zusätzlichen Lichtquelle betrachtet. Es wurden jeweils 30 Felder pro Filter gezählt und danach die Anzahl auf die ganze Filterfläche hochgerechnet. Bei der Auszählung der Partikel wurde zwischen transparenten, schwarzen, braunen, roten, blauen und gelben Teilchen unterschieden. Die Zählungen und spezielle Beobachtungen wurden in einem separaten Dokument festgehalten, welches im Anhang angefügt wurde.



*Abb. 4: Auszählung mit
Mikroskop (eigene
Aufnahme)*

5.2.2 Berechnung der Resultate

Um die Resultate vergleichen zu können, wurde jeweils die Anzahl Partikel pro Milliliter berechnet. Dazu wurde als erstes die Grösse der betrachteten Fläche unter dem Mikroskop ermittelt. Der Durchmesser (d) der Kreisfläche ergibt sich aus der Sehfeldzahl des Okulars (S) und der Massstabszahl des Objektivs (M) [27]. Mit der Kreisformel kann dann die Fläche (A) bestimmt werden.

$$d = \frac{S}{M}$$

$$A = \pi \left(\frac{1}{2}d\right)^2$$

Die optische Untersuchung wurde in diesem Fall mit einem Mikroskop mit der Sehfeldzahl 20 und der Massstabszahl 20 durchgeführt. Dies ergibt einen Durchmesser des sichtbaren Filterbereichs von 1mm und somit eine Fläche (A_{Feld}) von 0.7854mm². Der Durchmesser der verwendeten Filter war 50mm. Die gesamte Filterfläche (A_{Filter}) hatte eine Grösse von 1963mm².

Die Anzahl Partikel pro Milliliter (P) ergibt sich aus der Summe der Partikel pro Feld, der Fläche des Filters sowie des betrachteten Feldes und dem filtrierten Volumen [25].

$$P = \frac{\frac{\text{Partikelsumme}}{A_{Feld}} * A_{Filter}}{V}$$

Schliesslich wurde das Resultat auf einen Liter hochgerechnet.

Um zusätzliche Kontamination während der Laborarbeit ausschliessen zu können, wurde jeweils der Referenzwert von den Resultaten subtrahiert. Dies ergibt den Nettowert an Teilchen pro Liter.

Im Testlauf mit der Zahnpastalösung wurden 699 Milliliter filtriert. Auf den 30 Feldern wurden bei der Auszählung im Gesamten 1523 Partikel gezählt. Im Mittel sind dies 50,77 Partikel pro Feld.

Wenn diese Zahlen in die Formel eingesetzt werden, ergibt dies 181,5 Partikel pro Milliliter und somit ca. 181500 Partikel pro Liter.

Um die ungefähre Grösse der Partikel herauszufinden, wurde der Durchmesser eines Partikels auf dem Bild gemessen und ins Verhältnis mit dem Durchmesser des abgebildeten Filters gesetzt. Die reale Grösse ergibt sich durch die Multiplikation des Verhältnisses mit dem realen Durchmesser des Filters.

Die folgende Abbildung zeigt den Filter nach der Filtration der Zahnpastalösung unter dem Mikroskop. Die aufgefangenen Partikel sind deutlich zu erkennen und haben eine ungefähre Grösse von 0,03 Millimetern.

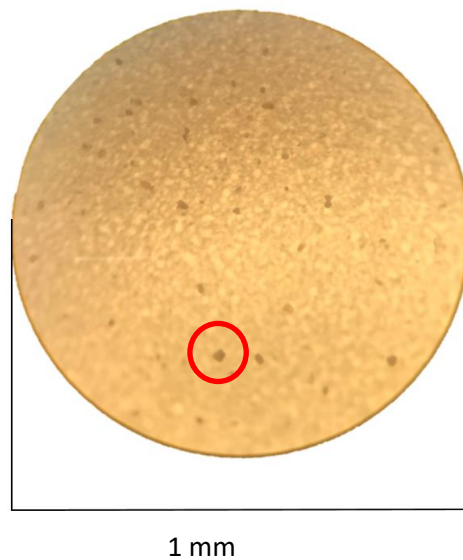


Abb. 5: Filter nach der Filtration der Zahnpastalösung unter dem Mikroskop (eigene Aufnahme)

5.3 Kontaminationsgefahr

Bei der Identifizierung von Mikroplastik ist besonders darauf zu achten, dass die Messungen nicht durch Partikel von anderweitigen Quellen verfälscht werden. Partikel aus der Luft oder von nicht vollständig gesäuberten Behältern können auf den Filter gelangen und so eine scheinbare Verschmutzung der Probe suggerieren [25]. Kunststofffaserhaltige Kleidung sowie Kunststoffgefässe sind weitere Faktoren dieser potenziellen Kontamination.

5.3.1 Getroffene Massnahmen

Um die angesprochene Kontamination der Proben zu vermeiden, wurden folgende Massnahmen getroffen:

- Während den Laborarbeiten wurde ein Labormantel getragen und so kunststofffaserhaltige Kleidung vermieden.
- Alle verwendeten Materialien wurden vor Probenkontakt gereinigt und mit demineralisiertem Wasser gespült. Ebenso wurde auf eine saubere Arbeitsfläche geachtet.
- Die untersuchten Proben und Flüssigkeiten wurden stets mit Aluminiumfolie abgedeckt, sodass Kontamination durch Partikel in der Luft auf ein Minimum reduziert werden konnte.
- Die zu gebrauchenden Materialien wurden jeweils auf einer frischen Aluminiumfolie abgelegt.
- Das Fenster war während den Untersuchungen ständig geschlossen, um keinen Luftdurchzug im Labor zu haben.

5.4 Resultate

In der folgenden Tabelle sind die Messwerte der untersuchten Wasserproben zusammengefasst. Die Fläche des Filters sowie die betrachtete Fläche unter dem Mikroskop waren jeweils konstant. Da nur eine begrenzte Anzahl der Membranfilter zur Verfügung stand, konnte bis auf eine Wasserquelle jeweils nur eine Probe analysiert werden.

Die Partikel waren hauptsächlich transparent, braun und schwarz. Einzig im Abwasser der Waschmaschine waren vereinzelte Partikel in roter, blauer und gelber Farbe zu erkennen.

In Tabelle 4 sind die Messresultate aller analysierten Proben zusammengefasst.

Tab. 4: Resultate der untersuchten Wasserproben

	Summe von 30 Feldern	Partikel pro Milliliter	Partikel pro Liter	Nettowert pro Liter
WFI (Referenz)	25	0,61	609	
Zahnpastalösung	1523	181,5	181500	180891
Grundwasser	23	0,56	564	~0
Leitungswasser	44	1,08	1077	468
Trinkwasser aus PET-Flasche	27	0,66	664	55
Abwasser der Waschmaschine	138	57,49	57490	56881
Demineralisiertes Wasser: Probe 1	182	4,29	4292	3683
Demineralisiertes Wasser: Probe 2	117	2,85	2851	2242

Abbildung 6 zeigt den Nettowert der einzelnen Proben im Diagramm.

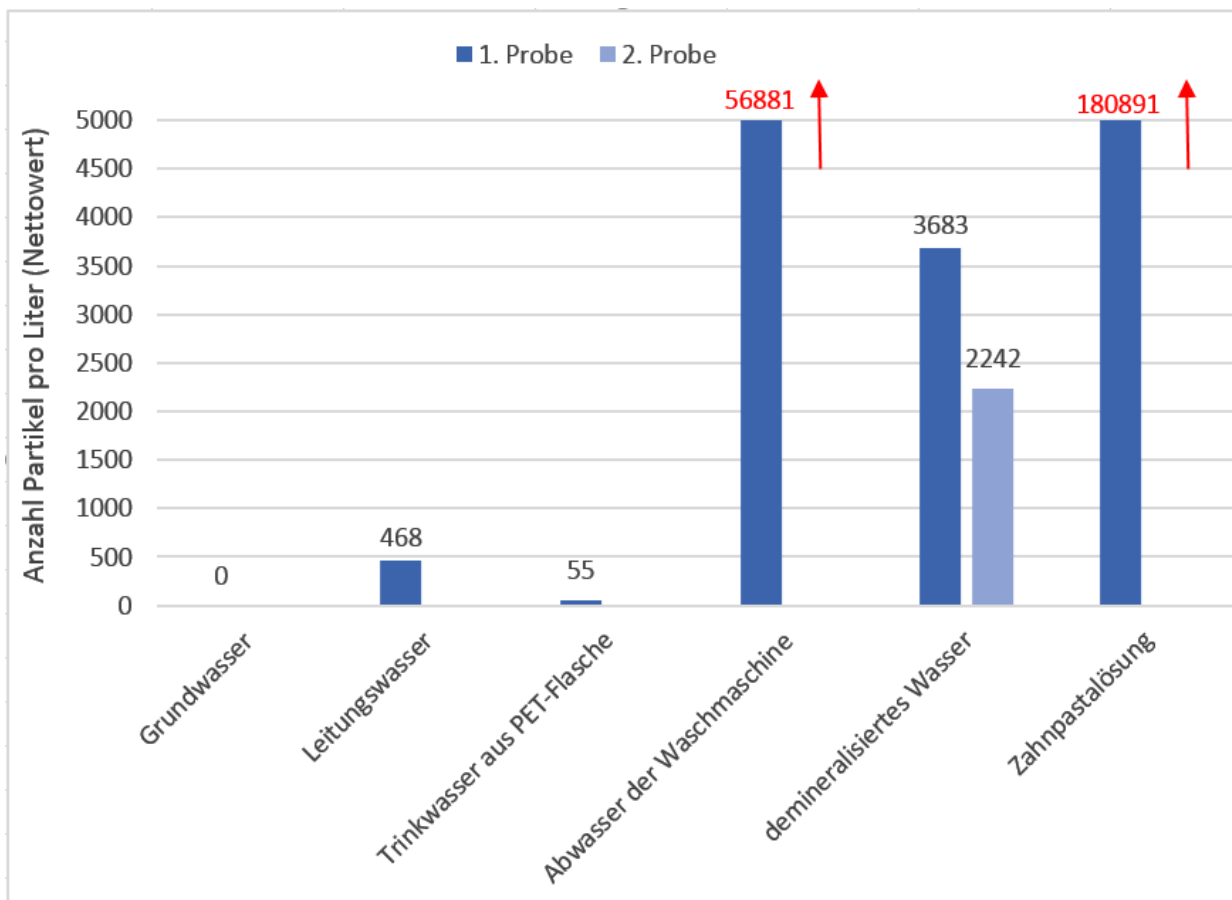


Abb. 6: Anzahl Partikel pro Liter in den verschiedenen Proben im Diagramm (eigene Darstellung)

5.5 Demineralisiertes Wasser

Der Begriff der Demineralisierung beschreibt Wasser, dem durch chemische Verfahren Ionen und Salze entzogen wurden. Durch diese Behandlung wird das Wasser enthärtet, da unter anderem die für die Wasserhärte verantwortlichen Calcium- und Magnesium-Ionen entfernt werden. Demineralisiertes Wasser ist ein ideales Reinigungsmittel und wird deshalb oft in Labors zum Spülen von Geräten verwendet. Die Wasserenthärtung geschieht über einen sogenannten Ionenaustauscher.

Im Innern der Ionenaustauschersäule durchfließt das Wasser mit gelösten Mineralien die Ionenaustauscherharze. Diese sind mit Natrium-Ionen angereichert. Die im Wasser enthaltenen Ionen lagern sich am porösen Harz an während Natrium-Ionen abgegeben werden. So werden die härteverursachenden Ionen ausgetauscht. Mit einer Natrium-Chloridlösung kann das Harz wieder regeneriert werden. Angereicherte Calcium-Ionen werden ausgewaschen und das Harz mit neuen Natrium-Ionen angereichert. Somit kann der Vorgang wieder von vorne beginnen.

Ionenaustauscherharze bestehen typischerweise aus Polymeren, wie Polystyrol, Polyacrylat oder Polymethylacrylat.

(verwendete Quellen: [20], [21])

6 Diskussion

Zwei der Arbeit zu Grunde liegenden Leitfragen lassen sich anhand der Resultate der Mikroplastik-analyse beantworten. Die erste Hypothese bezieht sich auf das Vorkommen von Mikroplastik in Grund und Trinkwasser. Im analysierten Grundwasser von Hallau konnten keine Mikroplastikpartikel nachgewiesen werden. Die Vermutung, dass potenzielle Partikel in den Böden sich auch im Grundwasser sammeln kann aufgrund dieses Resultates widerlegt werden.

Im Leitungswasser wurden einige Partikel gefunden. Den Ursprung dieser Partikel zu definieren, ist allerdings nicht eindeutig möglich. Grundwasser wird durch die Behandlung mit Natriumhypochlorit desinfiziert und von Bakterien und Keimen befreit. Das gereinigte Wasser kann dann als Trinkwasser verwendet werden. Da im Grundwasser keine Partikel gefunden wurden, muss die Kontamination nach der Trinkwasseraufbereitung stattgefunden haben. Die Wasserleitungen, welche das Trinkwasser vom Reservoir zu den Haushalten transportieren, bestehen aus Kunststoff. Eine mögliche Erklärung wäre demzufolge, dass durch einen gewissen Abrieb Kunststoffpartikel von den Leitungen ins Wasser gelangen. Diese Ursache kann aber ausgeschlossen werden, da die Probe direkt vom Wasserwerk genommen wurde und somit nie in Kontakt mit den Wasserleitungen kam. Es ist nicht klar, ob die Partikel bei der Zwischenlagerung ins Wasser gelangten. Da nur eine Probe analysiert wurde, ist ausserdem eine Ungenauigkeit nicht völlig auszuschliessen.

In der zweiten Hypothese wird vermutet, dass im Trinkwasser aus PET-Flaschen mehr Partikel vorzufinden sind als im Leitungswasser. Die Resultate deuten darauf hin, dass die Hypothese falsch liegt. Im Wasser aus der PET-Flasche wurden nur vereinzelte Partikel gefunden. Im Vergleich mit dem Leitungswasser waren es deutlich weniger Partikel. Da die angewendete Methode ein gewisses Risiko für Ungenauigkeit birgt, besteht die Möglichkeit, dass diese wenigen Partikel nur durch äussere Kontamination hinzukamen. PET-Flaschen können also als Quelle für Mikroplastikpartikel ausgeschlossen werden.

Zusätzlich wurde Abwasser aus der Waschmaschine untersucht. Die erhöhten Werte bestätigen, dass beim Waschvorgang Partikel ins Wasser gelangen. Zum Waschen wurde normales Leitungswasser verwendet. Vergleicht man die beiden Werte, sieht man, dass nach dem Waschvorgang ungefähr 120 Mal mehr Partikel im Wasser sind. Diese müssen sich während des Waschens von der Kleidung gelöst haben. Dieses Resultat verifiziert eindeutig den Theoriebezug unter Punkt drei zu den Entstehungen von Mikroplastik. Neben Partikeln im Mikrobereich konnte man ausserdem grössere Fasern im Wasser von Auge erkennen. Diese sind allerdings von den Kläranlagen einfacher herauszufiltrieren und stellen deshalb kein grosses Risiko für die Umwelt dar.

Im demineralisierten Wasser wurden entgegen den Erwartungen bis zu acht Mal mehr Teilchen als im Leitungswasser gezählt. Aufgrund dieser hohen Werte konnte diese Probe nicht als Kontrollwert für

äussere Kontamination verwendet werden. Die Wahrscheinlichkeit eines Messfehlers wurde durch eine zweite Probe mit ähnlichen Messresultaten ausgeschlossen. Die Gründe für die Verschmutzung sind in der Herstellung von demineralisiertem Wasser zu suchen. Das Wasser fliesst durch einen Ionenaustauscher und kommt dort in Kontakt mit sogenannten Ionenaustauscherharzen. Diese Harze bestehen häufig aus Polymeren, also verschiedenen Kunststoffen. Es kann daraus geschlossen werden, dass feinste Partikel durch den ständigen Wasserfluss abgerieben werden und somit ins Wasser gelangen. Das Bewusstsein für Ionenaustauscher als potenzielle Quelle für Mikroplastik sollte sicher verstärkt werden, da demineralisiertes Wasser normal ins Abwassersystem gelangt und somit auch in die Umwelt.

Aus den Untersuchungen kann insgesamt gesagt werden, dass die Verschmutzung von Trinkwasser aus Grundwasservorkommen durch Mikroplastik bis jetzt keine ernsthafte Problematik darstellt.

Der Testverlauf mit der Zahnpastalösung zeigte, dass die angewendete Methode funktioniert. Die Partikel, welche darin enthalten sind, konnten herausfiltriert werden und waren auf dem Filter gut sichtbar. In der Referenzprobe mit WFI wurden trotz genauer Arbeit einige Partikel nachgewiesen. Eine mögliche Quelle dieser Kontamination sind Partikel in der Luft, welche zum Beispiel während des Nachfüllens bei der Filtration hinzu gelangt sein könnten. Ausserdem wurde die Probe in einer Probenflasche mit Kunststoffdeckel aufbewahrt.

Fehlerquellen:

Die Reinigung der zu gebrauchenden Materialien wurde jeweils mit demineralisiertem Wasser durchgeführt. Da die Analyse von demineralisiertem Wasser einen relativ hohen Wert ergab, kann nicht ausgeschlossen werden, dass einige Partikel der anderen Proben von diesem Wasser stammen. Partikel können bei der Reinigung am Material haften bleiben und so in die zu analysierende Probe gelangen. Bei der mikroskopischen Auszählung von Auge besteht das Risiko einer Fehlbeurteilung. Besonders bei Teilchen von einer geringeren Grösse als ein Millimeter ist die visuelle Identifikation sehr schwierig. Die Fehlerrate liegt hierbei bei ungefähr 20-70 % [4]. Das AWEL Zürich schätzt den Fehlerbereich der Analysemethode eher im unteren Bereich ein [11].

Ausbaumöglichkeiten der Maturaarbeit:

Weiterführend wäre eine Analyse der Proben mit FTIR-Spektroskopie durchzuführen. FTIR-Spektroskopie ist ein Analyseverfahren, bei dem konkret bestimmt werden kann, aus was für einem Stoff, der untersuchte Partikel besteht. So könnten Fehlidentifikationen definitiv ausgeschlossen werden. Ausserdem müssten weitere Grund- und Trinkwasserproben von anderen Orten genommen werden, um die Mikroplastikverschmutzung im Trinkwasser richtig einschätzen zu können.

In der Analyse wurde nur Trinkwasser untersucht, welches durch die Aufbereitung von Grundwasser gereinigt wurde. Spannend wäre nun ein Vergleich mit Trinkwasser, dass aus Seewasser gewonnen wird.

6.1 Lösungsansätze

Die vielen Funde von Mikroplastik und Berichte über potenzielle Gefährdung der Meereslebewesen machen auf eine Problematik aufmerksam, die ernst genommen werden muss. Die Herausforderung besteht darin, die Menge an Plastik in der Umwelt drastisch zu reduzieren. Um dies zu erreichen, gibt es zwei mögliche Herangehensweisen. Einerseits kann versucht werden, die Plastikteilchen wieder aus den Gewässern zu entfernen. Dabei ist das hauptsächliche Ziel, den schon verursachten Schaden wieder rückgängig zu machen. Die zweite Möglichkeit ist, die Emission von Plastik zu verringern und schliesslich ganz zu stoppen. Da es extrem schwierig und nicht sehr effizient ist, Mikroplastikpartikel in grossen Mengen aus den Gewässern zu isolieren, wird vermehrt auf die zweite Herangehensweise fokussiert [5].

In Bezug auf die Kosmetikartikelindustrie sind bereits viele Firmen auf natürliche Stoffe in ihren Produkten umgestiegen [9]. Für Konsumenten gibt es ausserdem verschiedene Apps, mit welchen die Inhaltsstoffe eines Produktes auf das Vorkommen von Kunststoffen überprüft werden können. Durch Scannen des Barcodes werden kritische Stoffe angezeigt. Diese Entwicklung soll das Bewusstsein der Gesellschaft für diese Problematik fördern. Oftmals ist nicht bekannt, für was gewisse Abkürzungen der Inhaltsstoffe tatsächlich stehen. Mit den Apps soll dieser Ungewissheit entgegengewirkt werden. Allerdings ist Vorsicht bei der Nutzung einiger dieser Programme geboten, da die Daten noch sehr lückenhaft sein können.

Generell wird versucht Plastikabfall zu reduzieren und die Abfallentsorgung zu optimieren. Seit dem Jahr 2016 werden in den Supermärkten in der Schweiz Plastiksäcke nicht mehr gratis abgegeben. Die effektive Wirkung zeigt sich in den Zahlen der Verwendung. Bei mehreren Supermärkten werden um die 80 % weniger Plastiksäcke verwendet [31]. Dadurch wird auch der Plastikabfall stark reduziert.

7 Danksagung

Ein herzlicher Dank geht an Edith Durisch-Kaiser vom AWEL Zürich. Sie hat mir die benötigten Membranfilter zur Verfügung gestellt, ohne die die ganze Mikroplastikanalyse nicht möglich gewesen wäre. Durch ihre hilfreichen Ratschläge und ihre Unterstützung war es mir möglich, die übernommene Methode erfolgreich durchzuführen. Ausserdem hat sie mir zusätzliches Theoriematerial zur Verfügung gestellt, welches mir eine grosse Hilfe war. Weiter möchte ich mich bei meinem Betreuer Herrn Steiger bedanken. Er hat mich während des Prozesses begleitet und unterstützt und auch nach gescheiterten Experimentversuchen immer wieder aufgemuntert. Einen ganz herzlichen Dank dabei auch an Sonja Auer von der Fachschaft Chemie an der Kantonsschule Schaffhausen. Sie hat mir wertvolle Tipps im Labor gegeben und war im Notfall oder bei Fragen während den Laborarbeiten immer da. Bedanken möchte ich mich auch bei der ganzen Fachschaft Chemie dafür, dass ich das Vorbereitungszimmer an der Kantonsschule für meine Laborarbeiten nutzen durfte. Ausserdem wurden mir alle benötigten Labormaterialien zur Verfügung gestellt, um die Analyse durchzuführen.

Herzlichen Dank auch an die Cilag AG Schaffhausen, welche mir 3.4 Liter vom Wasser für die Herstellung für Injektionslösungen (WFI) zur Analyse überliessen. Schliesslich danke ich meiner Familie, welche mich tatkräftig unterstützte und mich auch mit kritischen Fragen in meiner Arbeit weiterbrachten.

8 Anhang

Berechnung der Anzahl MPP pro ml in Wasser-Proben																																		
Fläche Filter (mm ²)	1963																																	
Fläche Feld 20fach (mm ²)	0,7854																																	
Gewicht Probeflasche voll (g)	4969,7																																	
Gewicht Probeflasche leer (g)	1561,05																																	
Filteriertes Volumen (ml)	3409																																	
Durchmesser Feld 20fach	Sehfeldzahl des Okulars / Massstabszahl des Objektivs																																	
Filteriertes Volumen (ml)	Gewicht Probeflasche voll - Gewicht Probeflasche leer																																	
Anzahl Partikel/ml	Anzahl Partikel pro Feld / Fläche Feld * Fläche Filter / Volumen filtriert																																	
Wasserprobe	Beobachtungen																																	
Reinstwasser	wenige Partikel, pro Feld im Durchschnitt weniger als einen, hauptsächlich transparent																																	
MP	/Feld (Mittelwert)	/ml	/l	SUMME	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21	C22	C23	C24	C25	C26	C27	C28	C29	C30
Partikel transparent	0,70	0,51	513	21	0	0	1	2	1	1	0	0	2	0	1	1	0	0	1	2	0	0	1	2	1	0	1	0	0	0	1	3	0	0
Partikel braun	0,13	0,10	95	4	0	0	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Total	0,83	0,61	609	25	0	0	1	2	3	1	0	1	2	0	1	1	0	0	1	2	0	0	1	2	1	0	1	0	0	0	1	3	1	0

Berechnung der Anzahl MPP pro ml in Wasser-Proben																																		
Fläche Filter (mm ²)	1963																																	
Fläche Feld 20fach (mm ²)	0,7854																																	
Gewicht Probeflasche voll (g)	978,2																																	
Gewicht Probeflasche leer (g)	279,3																																	
Filteriertes Volumen (ml)	699																																	
Durchmesser Feld 20fach	Sehfeldzahl des Okulars/Massstabszahl des Objektivs																																	
Filteriertes Volumen (ml)	Gewicht Probeflasche voll - Gewicht Probeflasche leer																																	
Anzahl Partikel/ml	Anzahl Partikel pro Feld/Fläche Feld * Fläche Filter / Volumen filtriert																																	
Wasserprobe	Beobachtungen																																	
Zahnpastalösung (1 Spatelspitze in 1.5 Liter gelöst)	sehr viele Partikel, doppelt so viele braune wie schwarze, kein Feld ohne einen Partikel																																	
MP	/Feld (Mittelwert)	/ml	/l	SUMME	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21	C22	C23	C24	C25	C26	C27	C28	C29	C30
Partikel transparent	13,90	49,70	49700	417	26	24	46	42	47	28	25	35	34	31	0	0	0	0	0	0	0	36	9	0	0	0	0	0	0	0	11	0	22	1
Partikel braun	36,87	131,80	131800	1106	0	0	0	0	0	0	24	0	0	0	19	64	59	51	62	59	61	0	60	64	56	57	63	76	40	49	50	65	59	68
Total	50,77	181,50	181500	1523	26	24	46	42	47	28	49	35	34	31	19	64	59	51	62	59	61	36	69	64	56	57	63	76	40	49	61	65	81	69

Berechnung der Anzahl MPP pro ml in Wasser-Proben																																		
Fläche Filter (mm ²)	1963																																	
Fläche Feld 20fach (mm ²)	0,7854																																	
Gewicht Probeflasche voll (g)	4974,6																																	
Gewicht Probeflasche leer (g)	1561,05																																	
Filtriertes Volumen (ml)	3414																																	
Durchmesser Feld 20fach	Sehfeldzahl des Okulars/Massstabszahl des Objektivs																																	
Filtriertes Volumen (ml)	Gewicht Probeflasche voll - Gewicht Probeflasche leer																																	
Anzahl Partikel/ml	Anzahl Partikel pro Feld/Fläche Feld * Fläche Filter / Volumen filtriert																																	
Wasserprobe	Beobachtungen																																	
Grundwasser	nur vereinzelt Partikel, keine braune																																	
MP	/Feld (Mittelwert)	/ml	/l	SUMME	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21	C22	C23	C24	C25	C26	C27	C28	C29	C30
Partikel transparent	0,77	0,56	564	23	0	0	1	1	2	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	3	2	0	0	0	3	0	1	0	1	2	3	0	0	
Partikel braun	0,00	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	0,77	0,56	564	23	0	0	1	1	2	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	3	2	0	0	0	3	0	1	0	1	2	3	0	0	

Berechnung der Anzahl MPP pro ml in Wasser-Proben																																		
Fläche Filter (mm ²)	1963																																	
Fläche Feld 20fach (mm ²)	0,7854																																	
Gewicht Probeflasche voll (g)	4973,1																																	
Gewicht Probeflasche leer (g)	1561,05																																	
Filtriertes Volumen (ml)	3412																																	
Durchmesser Feld 20fach	Sehfeldzahl des Okulars/Massstabszahl des Objektivs																																	
Filtriertes Volumen (ml)	Gewicht Probeflasche voll - Gewicht Probeflasche leer																																	
Anzahl Partikel/ml	Anzahl Partikel pro Feld/Fläche Feld * Fläche Filter / Volumen filtriert																																	
Wasserprobe	Beobachtungen																																	
Leitungswasser Hallau	deutlich mehr transparente Partikel																																	
MP	/Feld (Mittelwert)	/ml	/l	SUMME	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21	C22	C23	C24	C25	C26	C27	C28	C29	C30
Partikel transparent	1,27	0,93	930	38	0	2	3	2	2	1	0	2	4	0	1	0	0	1	0	1	0	2	2	1	2	1	1	4	1	0	0	2	3	
Partikel braun	0,20	0,15	147	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0
Total	1,47	1,08	1077	44	0	2	3	2	2	1	0	2	4	0	1	0	0	1	0	4	1	0	2	2	1	2	1	1	4	1	0	2	2	3

Berechnung der Anzahl MPP pro ml in Wasser-Proben																																		
Fläche Filter (mm ²)	1963																																	
Fläche Feld 20fach (mm ²)	0,7854																																	
Gewicht Probeflasche voll (g)	3725,2																																	
Gewicht Probeflasche leer (g)	338,19																																	
Filtriertes Volumen (ml)	3387																																	
Durchmesser Feld 20fach	Sehfeldzahl des Okulars/Massstabszahl des Objektivs																																	
Filtriertes Volumen (ml)	Gewicht Probeflasche voll - Gewicht Probeflasche leer																																	
Anzahl Partikel/ml	Anzahl Partikel pro Feld/Fläche Feld * Fläche Filter / Volumen filtriert																																	
Wasserprobe	Beobachtungen																																	
Trinkwasser aus PET-Flasche	wenige Partikel, hauptsächlich transparent																																	
MP	/Feld (Mittelwert)	/ml	/l	SUMME	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21	C22	C23	C24	C25	C26	C27	C28	C29	C30
Partikel transparent	0,83	0,61	613	25	0	0	0	0	1	1	0	0	2	0	1	1	0	0	2	2	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	4	3	1
Partikel braun	0,07	0,05	52	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	0,90	0,66	664	27	0	0	0	0	1	1	0	0	2	0	1	1	1	0	2	2	1	1	1	2	1	1	1	0	0	0	0	4	3	1

Berechnung der Anzahl MPP pro ml in Wasser-Proben																																			
Fläche Filter (mm ²)	1963																																		
Fläche Feld 20fach (mm ²)	0,7854																																		
Gewicht Probeflasche voll (g)	510																																		
Gewicht Probeflasche leer (g)	310																																		
Filtriertes Volumen (ml)	200																																		
Durchmesser Feld 20fach	Sehfeldzahl des Okulars/Massstabszahl des Objektivs																																		
Filtriertes Volumen (ml)	Gewicht Probeflasche voll - Gewicht Probeflasche leer																																		
Anzahl Partikel/ml	Anzahl Partikel pro Feld/Fläche Feld * Fläche Filter / Volumen filtriert																																		
Wasserprobe	Beobachtungen																																		
Abwasser der Waschmaschine	viele Partikel, neben transparenten, schwarzen und braunen Partikeln, vereinzelt auch bunte																																		
MP	/Feld (Mittelwert)	/ml	/l	SUMME	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21	C22	C23	C24	C25	C26	C27	C28	C29	C30	
Partikel transparent	1,17	14,62	14620	35	0	0	0	1	2	0	1	0	1	1	1	1	0	1	3	2	2	1	2	0	3	1	3	2	4	1	0	0	0	2	
Partikel braun	0,60	7,50	7498	18	0	0	0	0	3	1	2	3	0	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	2	0
Partikel schwarz	2,73	34,12	34120	82	5	3	6	8	0	1	6	4	6	0	3	5	4	3	2	3	2	0	0	5	2	3	1	2	2	0	4	2	0	0	
Partikel rot	0,03	0,37	375	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Partikel blau	0,03	0,37	375	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Partikel gelb	0,03	0,37	375	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Total	4,60	57,49	57490	138	5	3	6	9	5	2	9	7	7	4	4	6	6	4	6	5	4	1	3	5	5	4	4	4	6	1	7	2	2	2	

Berechnung der Anzahl MPP pro ml in Wasser-Proben																																			
Fläche Filter (mm ²)	1963																																		
Fläche Feld 20fach (mm ²)	0,7854																																		
Gewicht Probeflasche voll (g)	4451																																		
Gewicht Probeflasche leer (g)	916																																		
Filteriertes Volumen (ml)	3535																																		
Durchmesser Feld 20fach	Sehfeldzahl des Okulars/Massstabszahl des Objektivs																																		
Filteriertes Volumen (ml)	Gewicht Probeflasche voll - Gewicht Probeflasche leer																																		
Anzahl Partikel/ml	Anzahl Partikel pro Feld/Fläche Feld * Fläche Filter / Volumen filtriert																																		
Wasserprobe	Beobachtungen																																		
entionisiertes Wasser	nur transparente Partikel, im Durchschnitt 6 Partikel pro Feld																																		
MP	/Feld (Mittelwert)	/ml	/l	SUMME	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21	C22	C23	C24	C25	C26	C27	C28	C29	C30	
Partikel transparent	6,07	4,29	4292	182	5	1	7	11	16	6	9	4	10	7	4	2	3	3	6	3	2	2	10	7	10	4	10	4	3	15	4	4	6	4	
Partikel braun	0,00	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	6,07	4,29	4292	182	5	1	7	11	16	6	9	4	10	7	4	2	3	3	6	3	2	2	10	7	10	4	10	4	3	15	4	4	6	4	

Berechnung der Anzahl MPP pro ml in Wasser-Proben																																			
Fläche Filter (mm ²)	1963																																		
Fläche Feld 20fach (mm ²)	0,7854																																		
Gewicht Probeflasche voll (g)	4979,5																																		
Gewicht Probeflasche leer (g)	1561,05																																		
Filteriertes Volumen (ml)	3419																																		
Durchmesser Feld 20fach	Sehfeldzahl des Okulars/Massstabszahl des Objektivs																																		
Filteriertes Volumen (ml)	Gewicht Probeflasche voll - Gewicht Probeflasche leer																																		
Anzahl Partikel/ml	Anzahl Partikel pro Feld/Fläche Feld * Fläche Filter / Volumen filtriert																																		
Wasserprobe	Beobachtungen																																		
entionisiertes Wasser 2. Durchlauf	etwas weniger Partikel als in der ersten Probe, hauptsächlich transparent																																		
MP	/Feld (Mittelwert)	/ml	/l	SUMME	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21	C22	C23	C24	C25	C26	C27	C28	C29	C30	
Partikel transparent	3,43	2,51	2507	103	3	2	2	3	6	1	4	3	2	3	2	5	2	6	0	3	9	2	4	7	1	4	7	8	2	4	0	2	5	1	
Partikel braun	0,07	0,05	51	2	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Partikel schwarz	0,40	0,29	292	12	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	2	
Total	3,90	2,85	2851	117	4	3	4	3	6	1	4	3	3	3	4	5	2	6	1	4	9	2	4	7	2	5	7	8	2	4	0	2	6	3	

9 Redlichkeitserklärung

«Ich bestätige hiermit, dass ich meine Maturaarbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen benutzt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäss aus Quellen entnommen wurden, habe ich als solche gekennzeichnet.»

Unterschrift _____

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Vom Monomer zum Polymer am Beispiel des Ethylens [25].....	3
Abb. 2: Der Weg des Mikroplastiks (eigene Grafik)	9
Abb. 3: Filtrationseinrichtung (eigene Aufnahme).....	14
Abb. 4: Auszählung mit Mikroskop (eigene Aufnahme).....	14
Abb. 5: Filter nach der Filtration der Zahnpastalösung unter dem Mikroskop (eigene Aufnahme).....	16
Abb. 6: Anzahl Partikel pro Liter in den verschiedenen Proben im Diagramm (eigene Darstellung) ...	18
Titelbild: Trinkwasser [32]	

Literaturverzeichnis

- [1] Dr. De Alencastro, Luiz Felipe und Faure Florian: Évaluation de la pollution par les plastiques dans les eaux de surface en Suisse. Rapport Finale, Lausanne, 2014
- [2] Primpke, Sebastian et al.: Mikroplastik in der Umwelt. In: Chemie unserer Zeit 51 (2017), S.402-412
- [3] Filella, Montserrat und Turner, Andrew : Observational Study Unveils the Extensive Presence of Hazardous Elements in Beached Plastics from Lake Geneva. In: Journal Frontiers in Environmental Science 6: Article 1 (2018)
- [4] Blair Crawford, Christopher und Quinn, Brian: Microplastic Pollutants, Elsevier, Amsterdam, 2017
- [5] Wagner, Martin et al.: Freshwater Microplastics, Springer International Publishing, Cham, 2018
- [6] Technikatlas (<http://www.technikatlas.de/~tb4/geschichte.htm>) [abgerufen 17.10.2018]
- [7] Wikipedia: Gummi (<https://de.wikipedia.org/wiki/Gummi>) [abgerufen 22.10.2018]
- [8] WDR: Das passiert mit dem Abrieb von Autoreifen (<https://www1.wdr.de/wissen/natur/reifenabrieb-100.html>) [abgerufen 17.10.2018]
- [9] Leslie, H.A.: Plastic In Cosmetics, United Nations Environment Programme (UNEP), Nairobi, 2015
- [10] Michel, Charlotte und Zehr, Angelo: Wir schmieren uns Flüssig-Plastik auf die Haut (<https://www.srf.ch/news/schweiz/wir-schmieren-uns-fluessig-plastik-auf-die-haut>) [abgerufen 02.11.2018]
- [11] Cabernard, Livia et al.: Mikroplastik in Abwasser und Gewässern. In: Aqua & Gas N°7/8 (2016)
- [12] Gea: Natur bietet grüne Alternative zu nicht erneuerbaren Materialien (<https://www.gea.com/de/technology-talks/nanocellulose.jsp>) [abgerufen 14.11.2018]
- [13] Fraunhofer IMWS: Fraunhofer IMWS testet umweltfreundliche Mikroplastikalternativen in Kosmetikartikeln (<https://www.imws.fraunhofer.de/de/presse/pressemitteilungen/imws-umweltfreundlich-mikroplastik.html>) [abgerufen 14.11.2018]
- [14] Mintenig, Svenja et al.: Mikroplastik in ausgewählten Kläranlagendes Oldenburgisch-Ostfriesischen Wasserverbandes (OOWV) in Niedersachsen. Probenanalyse mittels Mikro-FTIR Spektroskopie, Helgoland, 2014
- [15] Earth System Knowledge Platform: Wie verwittert Plastik überhaupt im Meer (<https://themenspezial.eskp.de/plastik-in-gewaessern/giftigkeit-und-verwitterung-im-meer/verwitterung/>) [abgerufen 15.10.2018]
- [16] Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT: Mikroplastik: Es geht auch ohne (<http://www.scinexx.de/wissen-aktuell-17680-2014-06-16.html>) [abgerufen 23.04.2018]

- [17] Codecheck: Cellulose Gum (<https://www.codecheck.info/inhaltsstoff/Cellulose-Gum>) [abgerufen 17.11.2018]
- [18] Oekotoxzentrum: Mikroplastik in der Umwelt-Infoblatt, Dübendorf, 2015
- [19] SVGW: Trinkwasser (<http://trinkwasser.svgw.ch/index.php?id=842&L=0>) [abgerufen 15.11.2018]
- [20] Purolite GmbH: Ionenaustauscherharze, Ratingen, 2017
- [21] BWT (Best Water Technology): BWT Bewamat Duo-Weiches Wasser jederzeit, Schriesheim, *keine Angabe zum Erscheinungsjahr*
- [22] Suloska, Mirushe: Mikroplastik, Maturaarbeit Kantonsschule Schaffhausen, 2014
- [23] Liebmann, Bettina: Mikroplastik in der Umwelt. Vorkommen, Nachweis und Handlungsbedarf, Wien, 2015
- [24] Neubauer: Auch unsere Böden sind voller Mikroplastik. In: Neue Zürcher Zeitung, 06.06.2018
- [25] Durisch-Kaiser, Edith, AWEL Zürich: Kommunikation am 27.08.2018
- [26] Bates, Andrea: HPDE, LPDE, PP, PVC und was sich dahinter verbirgt. Eine Materialkunde (<http://blog.ratioform.de/hdpe-ldpe-pp-pvc-und-was-sich-dahinter-verbirgt-eine-materialkunde/>) [abgerufen 30.11.2018]
- [27] Univie: Lichtmikroskopie. Theorie und Anwendung (www.univie.ac.at/mikroskopie) [abgerufen 29.09.2018]
- [28] Taher, Jasmin: Was ist Kunststoff (<http://industrie-produkte.ch/kunststoff-herstellung-geschichte/>) [abgerufen 26.11.2018]
- [29] Bertling, Jürgen: Zersetzung von Kunststoffen (<https://www.initiative-mikroplastik.de/index.php/themen/zersetzungskinetik>) [abgerufen 16.10.18]
- [30] Ibraimoski, Merhan, Wasserwerk Wunderklingen, Hallau: Kommunikation am 03.09.2018
- [31] Bondolfi, Sibilla: Keine Plastiktüten für Gemüse und Früchte (https://www.swissinfo.ch/ger/wirtschaft/umweltschutz_keine-plastiktueten-fuer-gemuese-und-fruechte/43807326) [abgerufen 03.12.2018]
- [32] Bergmann, Mirko et al.: Die Qualität entscheidet (<https://www.pharmazeutische-zeitung.de/ausgabe-342014/die-qualitaet-entscheidet/>) [abgerufen 19.11.2018]
- [33] Synlab Environment: Trinkwasser (<https://www.institute.synlab.de/trinkwasser>) [abgerufen 01.12.2018]