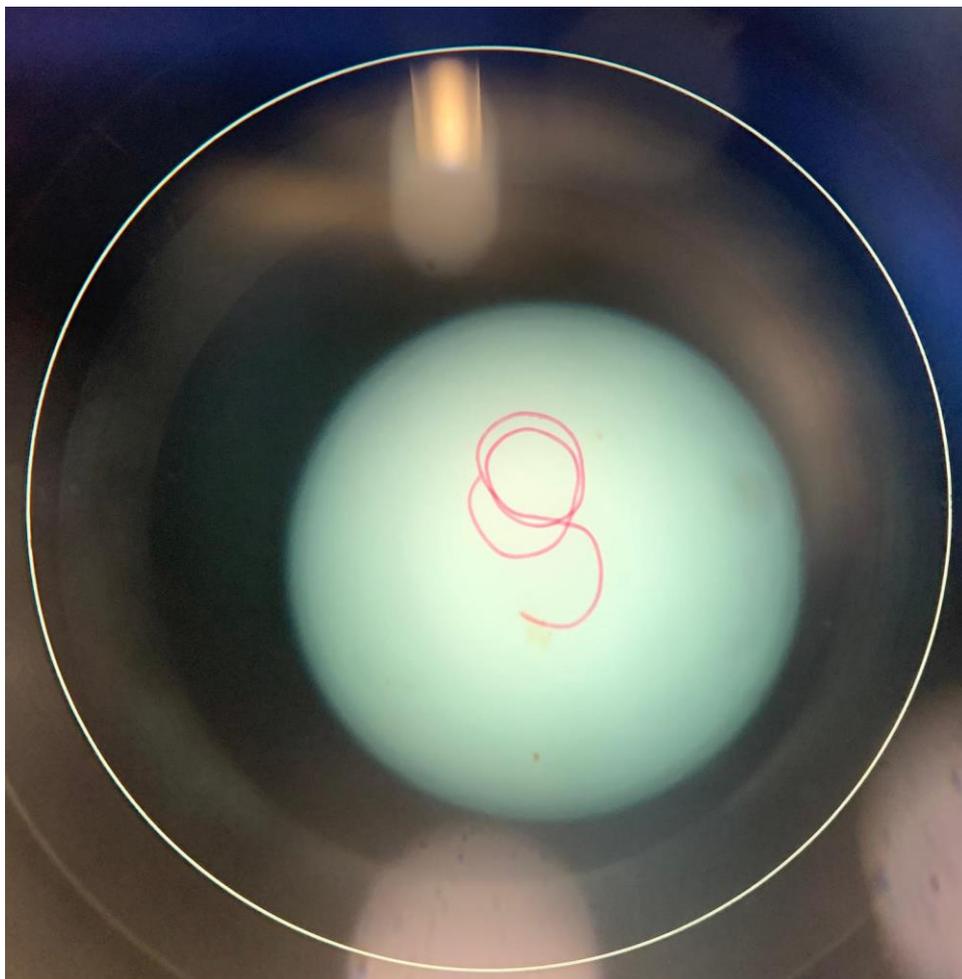


Maturaarbeit

Mikroplastik im Abwasser



Verfasserin:
Jael Gürber
Klasse G21c
Kantonsschule Musegg

Eingereicht im August 2024 bei:
Franziska Schönborn
Chemie

Vorwort

Als Erstes bedanke ich mich herzlich bei meiner Fachbetreuung Franziska Schönborn, die mich während der ganzen Arbeit tatkräftig unterstützt hat. Ebenfalls sage ich danke an Yvonne Keller und Nicolas Aebischer, die mir im Labor eine grosse Hilfe waren. Meine Wasser- und Frischschlammproben konnte ich von der ARA Rontal beziehen, deshalb bedanke ich mich auch beim Team der ARA herzlich. Ein grosses Dankeschön geht auch an meine Familie, die mich während der Arbeit und vor allem beim Gegenlesen unterstützt hat.

Auf das Thema Mikroplastik bin ich aufmerksam geworden, weil ich immer wieder Artikel und Beiträge in Zeitungen sowie auch in den sozialen Medien darüber gelesen habe. Es ist eine sehr aktuelle Thematik, die jeden Menschen betrifft. Mikroplastik lässt sich mittlerweile an nahezu jedem Ort der Erde nachweisen. Die langfristigen Auswirkungen auf Mensch und Umwelt sind kaum erforscht. Dies macht das Thema besonders relevant und dringlich. Diese Aktualität hat mich motiviert, die Thematik über einen längeren Zeitraum zu behandeln.

Abstract

Mikroplastik ist heutzutage praktisch überall anzutreffen. Es gelangt über verschiedene Wege in die Natur. Ein Weg ist das Abwasser. Deshalb ist es wichtig, dass so viel Mikroplastik wie möglich aus dem Abwasser entfernt werden kann, dass so wenig wie möglich in die Umwelt gelangt. Das Ziel dieser Arbeit ist es herauszufinden, wie viel Mikroplastik eine Abwasserreinigungsanlage wirklich entfernen kann, ob sich der Mikroplastikkugelanteil im Abwasser seit 2016 verkleinert hat und ob die entfernten Mikroplastikfasern nur entfernt oder auch abgebaut werden können. Dafür wurden Abwasser- und Frischschlammproben abfiltriert und unter einem Mikroskop ausgezählt. In allen Proben konnten Mikroplastikpartikel, -Fasern und -Kugeln nachgewiesen werden. Dabei wurde klar ersichtlich, dass Kläranlagen einen Grossteil von Mikroplastik entfernen können. Mit den Frischschlammproben konnte herausgefunden werden, dass ein Teil der Fasern im Abwasser nicht nur entfernt, sondern auch abgebaut werden. Auch konnte festgestellt werden, dass die Anzahl Mikroplastikkugeln im Abwasser seit 2016 stark abgenommen haben.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Kunststoffe	2
1.1.1	Entstehung Kunststoff	2
1.1.2	Arten von Kunststoff	3
1.1.3	Definition Mikroplastik	4
1.1.4	Primäres Mikroplastik	4
1.1.5	Sekundäres Mikroplastik	5
1.1.6	Mikroplastikformen	5
1.2	Mikroplastik im Wasser	6
1.2.1	Wie Mikroplastik ins Abwasser gelangt	6
1.2.2	Auswirkungen Mikroplastik im Wasser	6
1.3	Lösungsansätze Plastikproblem	7
1.3.1	Wiederverwendung	7
1.3.2	Plastik-Recycling	7
1.3.3	Biologisch abbaubare Kunststoffe	7
1.3.4	Mehrwegprodukte	8
1.4	Abwasserreinigungsanlage	8
1.4.1	Gründe für die Abwasserreinigung	8
1.4.2	Funktionsweise Abwasserreinigungsanlage	8
1.4.3	Mikroorganismen in der Abwasserreinigungsanlage	9
1.4.4	ARA Rontal	9
2	Material und Methoden	11
2.1	Material	11
2.2	Methode	11
2.2.1	Proben	11
2.2.2	Probeaufbereitung und Filtrierung	12
2.2.3	Auszählung und Hochrechnung	12
2.2.4	Abweichungen von der Methode	13
3	Resultate	14
4	Diskussion	18
4.1	Hypothese 1	18
4.2	Hypothese 2	18
4.3	Hypothese 3	19
4.4	Hypothese 4	19
4.5	Vergleich Resultate AWEL	19
4.6	Fehlerquellen	20
5	Fazit	22
5.1	Positives	22
5.2	Verbesserungsmöglichkeiten	22
6	Quellenverzeichnis	23
6.1	Literaturverzeichnis	23

6.2	Abbildungsverzeichnis	24
6.3	Tabellenverzeichnis	25
7	Anhang	26
7.1	Rohdaten	26

1 Einleitung

Kunststoff ist aufgrund seinen vielen positiven Eigenschaften kaum mehr aus unserem alltäglichen Leben wegzudenken. Er ist besonders widerstandsfähig, was zwar einerseits gut ist, wenn man ihn beispielsweise für Verpackungen nutzt, aber andererseits auch schwerwiegende Folgen für die Umwelt hat, denn er ist schlecht biologisch abbaubar. Ein grosser Teil des Kunststoffes, welcher in der Natur vorkommt, ist Mikroplastik. Mikroplastik gelangt durch verschiedene Wege in die Umwelt. Ein Weg ist durch das Abwasser, denn viele Kosmetikprodukte enthalten primäres Mikroplastik. Wenn nun diese Produkte benutzt werden, gelangt das Mikroplastik schnell ins Wasser und somit ins Abwasser. Auch kann es durch das Waschen von Kleidung ins Abwasser gelangen, denn heutzutage bestehen viele Kleider aus Polyester. Beim Waschen lösen sich Polyesterfasern vom Kleidungsstück und gelangen so als Mikroplastikfasern ins Wasser. Schliesslich landet das Abwasser in der Abwasserreinigungsanlage. Durch verschiedene Schritte wird das Wasser dann geklärt, um sicherzustellen, dass wenig Nähr- und Schadstoffe wie beispielsweise Mikroplastik in die Gewässer kommen. Doch wie viel Mikroplastik kann eine Abwasserreinigungsanlage wirklich entfernen?

Zum Beginn der Arbeit wurden folgende Fragestellungen und Hypothesen 1-4 aufgestellt.

Fragestellung 1:

Welche Form von Mikroplastik kommt im Abwasser am häufigsten vor?

Hypothese 1:

Im Abwasser kann man Mikroplastikfasern am häufigsten nachweisen, weil diese leicht durch den Waschprozess von Textilien ins Wasser gelangen.

Fragestellung 2:

Wie viele der im Abwasser vorkommenden Mikroplastikfasern können in einer Abwasserreinigungsanlage entfernt werden?

Hypothese 2:

Der Grossteil der Mikroplastikfasern im Abwasser wird nach der Reinigungsanlage entfernt worden sein. Diese Fasern sind grösstenteils aus Polyester. Esterbindungen, die in Polyester vorhanden sind, gelten als von Mikroorganismen hydrolisierbar, weshalb Polyester biologisch besser abbaubar ist als der «gewöhnliche Plastik» Polyethen. So können diese Mikroorganismen einen grossen Teil der Mikroplastikfasern abbauen.

Fragestellung 3:

Wie hat sich der relative Anteil von Mikroplastikkugeln im Abwasser seit 2016 verändert?

Hypothese 3:

Der relative Anteil von Mikroplastikkugeln hat sich seit 2016 verkleinert, denn Mikroplastikkugeln sind primärer Plastik und werden hauptsächlich in Kosmetikprodukten verwendet. Seit 2016 verzichtet man immer mehr auf Mikroplastik in Kosmetika, was dazu führt, dass sich weniger Mikroplastikkugeln im Abwasser befinden.

Fragestellung 4:

Wie viele der Fasern, die in der Abwasserreinigungsanlage entfernt werden können, werden wirklich abgebaut und nicht nur aus dem Abwasser entfernt?

Hypothese 4

Der Grossteil der Mikroplastikfasern kann abgebaut werden, weil Mikroplastikfasern mehrheitlich aus Polyester bestehen. Diese Esterbindungen sind für viele Mikroorganismen in der biologischen Reinigung der Abwasserreinigungsanlage hydrolysierbar, weil die dazu notwendigen Enzyme vorhanden sind.

In den restlichen Abschnitten dieses Kapitels wird die bereits bekannte Theorie rund um das Thema Mikroplastik im Abwasser veranschaulicht.

1.1 Kunststoffe

Kunststoffe genannt «Plastik» gehören zu der Klasse der Polymerwerkstoffe und sind hochmolekulare Substanzen. (Keim, 2006) Kunststoffe sind aufgrund ihren zahlreichen Eigenschaften, wie Verformbarkeit, Bruchfestigkeit, Härte und Elastizität, stark in unserem täglichen Leben verankert und kaum mehr wegzudenken. (Chemie Lexikon, 2024)

1.1.1 Entstehung Kunststoff

Kunststoffe werden synthetisch hergestellt, indem Monomere auf verschiedene Arten miteinander zu Polymeren verknüpft werden. (Schröder, 2017) Dies kann über die Polymerisation, Polykondensation und Polyaddition geschehen.

Polymerisation:

Die Polymerisation ist der Vorgang, bei dem sich Monomere mit mindestens einer Doppelbindung zu Polymeren verknüpfen. Die Polymerisation ist eine Kettenreaktion, die durch ein

Radikal ausgelöst werden kann. Das Radikal greift die Doppelbindung an. Dabei entsteht wieder ein neues Radikal. Die Reaktion stoppt erst dann, wenn alle Radikale ineinander aufgegangen sind. (Einbock, 2024) In der Abbildung 1 sieht man die Bildung von Polyethen. Die Bildung von Polyethen ist ein typisches Beispiel für die Polymerisation.

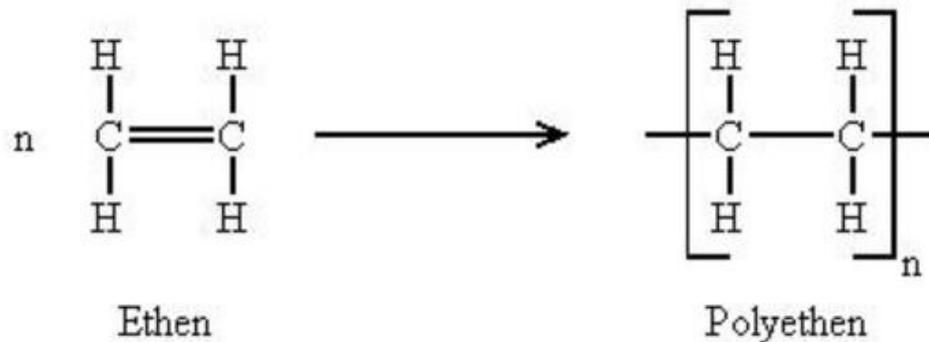


Abbildung 1, Bildung Polyethen durch Polymerisation

Polykondensation:

Die Polykondensation ist ein weiterer Weg wie Kunststoffe entstehen können. Bei der Polykondensation reagieren zwei Monomere miteinander und bilden durch die Abspaltung eines kleinen Moleküls (meistens Wasser) ein grösseres Polymer. Die Voraussetzung für die Polykondensation ist, dass die Monomere mindestens zwei funktionelle Gruppen (beispielsweise Amino-, Hydroxy- oder Carboxygruppe) aufweisen. (ebd.) In der Abbildung 2 ist die Bildung des Polyesters PET durch Polykondensation dargestellt.

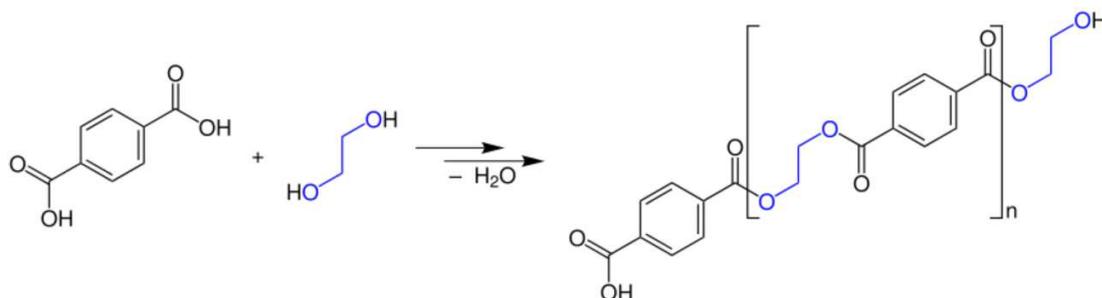


Abbildung 2, Bildung des Polyesters PET durch Polykondensation

1.1.2 Arten von Kunststoff

Thermoplaste:

Die Eigenschaft der Thermoplastizität gibt den Thermoplasten ihren Namen. Wenn Thermoplaste erhitzt werden, lassen sie sich verformen. Beim Abkühlen wird der Thermoplast wieder hart und unverformbar, er bleibt jedoch in der vorher geformten Form. (Keim, 2006)

Heute sind Thermoplaste die am weitesten verbreiteten Kunststoffe und werden vor allem für Verpackungszwecke benötigt. (Chemiede, 2024) Die Makromoleküle der Thermoplaste sind

linear und verzweigt, aber nicht vernetzt, deswegen sind sie recycelbar (Siehe Abbildung 3) (Waldschläger, 2019)

Duroplaste:

Duroplaste sind in ihrer Struktur hochvernetzt und deshalb nicht schmelzbar. (Keim, 2006) Aufgrund der engmaschigen Polymerstruktur sind Duroplaste thermisch irreversibel und somit nicht recycelbar. Ein Beispiel für ein Duroplast ist Epoxidharz. (Waldschläger, 2019)

Elastomere:

Auch Elastomere sind in ihrer Struktur vernetzt, jedoch nicht so stark wie Duroplaste (Siehe Abbildung 3). Diese chemisch flexible Vernetzung führt zur Elastizität der Elastomere. Elastomere sind ebenfalls nicht recycelbar. Ein Beispiel für ein Elastomer ist Synthetikautschuk. (ebd.)

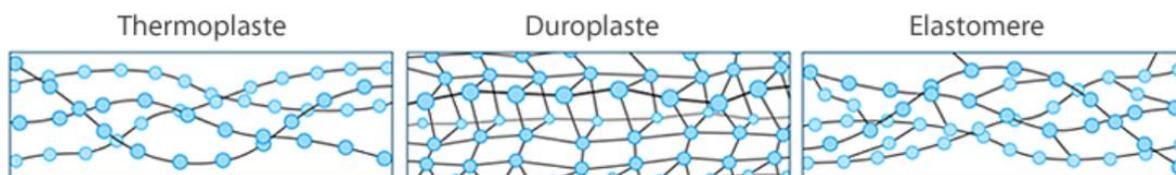


Abbildung 3, Struktur Thermoplaste, Duroplaste und Elastomere

1.1.3 Definition Mikroplastik

Plastik wird in der Regel seiner Grösse nach unterteilt. Man spricht von Mikroplastik, wenn die Plastikpartikel in ihrem Durchmesser kleiner als fünf Millimeter sind. Da Mikroplastik so klein ist, kann es einfach in die Umwelt gelangen. Auch in Schweizer Seen und Flüssen wird Mikroplastik zahlreich aufgefunden. Ungefähr 15 Tonnen Mikroplastik gelangen jedes Jahr in Schweizer Gewässer. (Ettlin, 2023) Mikroplastik wird in zwei Kategorien unterteilt. Es kann gezielt produziert werden oder durch Zerfall und Abrieb von grösseren Kunststoffstücken entstehen. (Kroll, et al., 2021)

1.1.4 Primäres Mikroplastik

Primäres Mikroplastik wird gezielt in Form von Pellets hergestellt. Primäres Mikroplastik kommt in zahlreichen Produkten wie in Sandstrahlern, Düngern, Medizinprodukten, kosmetischen Mitteln und vielen weiteren vor. (Kroll, et al., 2021)

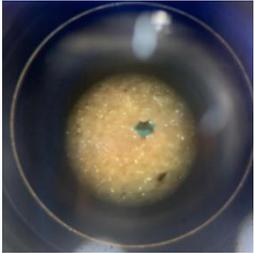
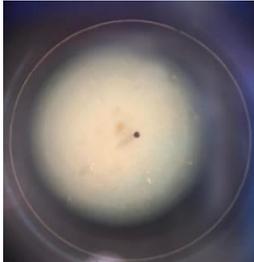
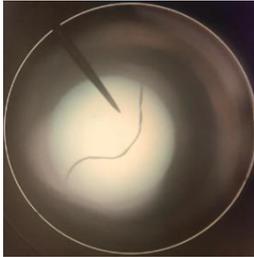
1.1.5 Sekundäres Mikroplastik

Man spricht von sekundärem Mikroplastik, wenn die Mikroplastikpartikel nicht gezielt hergestellt wurden, sondern durch Zerfall oder Zersetzung von herkömmlichem Plastik entstehen. Dies kann beispielsweise durch Reibung von grösseren Plastikpartikel in Gewässern passieren. Der grösste Teil des Mikroplastiks in der Umwelt ist sekundärer Mikroplastik. (eawag, 2024)

1.1.6 Mikroplastikformen

Grundsätzlich wird zwischen drei Mikroplastik-Formen unterschieden: Mikroplastikpartikel, Mikroplastikkugeln und Mikroplastikfasern. (Waldschläger, 2019) In der folgenden Tabelle 1 werden diese verglichen.

Tabelle 1 Mikroplastikformen im Vergleich

Form	Ursprung	Beispiel
Partikel	Durch Zerfall von ursprünglich grösseren Kunststoffstücken (sekundäres Mikroplastik)	 <p><i>Abbildung 4, Mikroplastikpartikel</i></p>
Kugel	Kosmetika, Düngern usw. (primäres Mikroplastik)	 <p><i>Abbildung 5, Mikroplastikkugel</i></p>
Faser	Textilien (sekundäres Mikroplastik)	 <p><i>Abbildung 6, Mikroplastikfaser</i></p>

1.2 Mikroplastik im Wasser

1.2.1 Wie Mikroplastik ins Abwasser gelangt

Mikroplastik kann über verschiedene Wege ins Abwasser gelangen. Die Menge an Mikroplastik, die dann in der Kläranlage landet, ist sehr unterschiedlich und von verschiedenen Faktoren wie dem Einzugsgebiet, den angeschlossenen Gebäuden, dem Kanalsystem oder dem Vorhandensein von industrieller oder gewerblicher Einleiter abhängig. (Sexlinger & Liebmann, 2021)

Im Haushalt gelangt Mikroplastik über Textilien und Kosmetika ins Abwasser.

Textilien:

Wenn Kleider aus Kunstfasern wie beispielsweise Polyester gewaschen werden, lösen sich kleine Plastikfaserteilchen vom Stoff und gelangen ins Waschwasser. Dieses Wasser gelangt dann in die Abwasserreinigungsanlage. In den Abwasserreinigungsanlagen können nicht alle Mikroplastikfasern entfernt werden. Heutzutage machen Fasern 35% des Mikroplastiks im Meer aus. (Greenpeace, 2023)

Kosmetika:

Mikroplastik ist in primärer Form in vielen kosmetischen Produkten enthalten, weil es billig und vielseitig einsetzbar ist. In Duschgels oder Peelings sorgt Mikroplastik für eine gründlichere Reinigung. In anderen Pflegeprodukten wie Cremes oder Lippenbalsam ist es für eine angenehmere Konsistenz verantwortlich. Nach der Anwendung dieser Produkte gelangt das Mikroplastik unmittelbar ins Abwasser und somit in die Abwasserreinigungsanlage. (Waldschläger, 2019)

1.2.2 Auswirkungen Mikroplastik im Wasser

Wenn Mikroplastik ins Wasser gelangt, kann es von allen möglichen Lebewesen aufgenommen werden. Die Lebewesen können nicht zwischen Nahrung und Mikroplastik unterscheiden, weshalb es mühelos im Verdauungstrakt landet. Einmal im Körper des Lebewesens angekommen, verbleibt Mikroplastik oft ein Leben lang dort. Dies kann die Lebenserwartung des betroffenen Organismus verringern. Mikroplastik wird schon von kleinen Lebewesen wie Planktonorganismen aufgenommen. Dieses Plankton wird dann wiederum von grösseren Organismen wie Fischen gefressen und diese Fische könnten dann auf den Tellern von uns Menschen landen. Also sind nicht nur Tiere vom Mikroplastik im Wasser betroffen, sondern auch wir Menschen. (Primpke, et al., 2017)

Bei der Herstellung von Plastikpartikel werden zu den Polymeren ausserdem chemische Substanzen, sogenannte Additive, hinzugemischt. Diese Additive können krankheitserregend, giftig, kanzerogen oder hormonell aktiv sein. Wenn das Mikro- oder Makroplastik ins Wasser gelangt, kann die Fauna des Ökosystems dadurch gefährdet werden. (ebd.)

Allgemein lässt es sich aber sagen, dass man aktuell noch nicht viel über die Auswirkungen von Mikroplastik im Wasser sagen kann, weil die meisten Studien sich mit der aktuellen Situation befassen und nicht mit den längerfristigen Auswirkungen. (ebd.)

1.3 Lösungsansätze Plastikproblem

Mittlerweile gibt es mehrere Lösungsansätze für das Plastikproblem, doch viele davon sind schwierig umzusetzen. Hier werden einige Lösungsmöglichkeiten aufgezeigt.

1.3.1 Wiederverwendung

Einer der einfachsten und effektivsten Ansätze wie man Plastikmüll reduzieren kann, ist die Wiederverwendung. Wenn man seine Plastiksäcke mindestens fünfmal wiederbenutzt, kann man bis zu 80% des Plastikmülls von Plastiksäcken reduzieren. (Greenpeace, 2024)

1.3.2 Plastik-Recycling

Durch das Plastik-Recycling kann unbrauchbarer Müll wieder brauchbar gemacht werden. Dabei werden beispielsweise gebrauchte PET-Flaschen zerkleinert, eingeschmolzen und dann wieder in Form gebracht. (Reichert, 2021) Doch beim Plastik-Recycling schneidet die Schweiz im Vergleich mit anderen europäischen Ländern schlecht ab. Nur ca. 10% des ganzen Plastikabfalls der Schweiz wird rezykliert. (Wagner, 2023) Das Plastik-Recycling ist also durchaus eine gute Lösung, muss jedoch in der Schweiz noch weiter ausgebaut werden, so dass es wirklich effektiv sein kann. Ausserdem muss beachtet werden, dass nicht alle Kunststoffe recycelt werden können, sondern nur Thermoplaste. (Siehe Kapitel 1.1.2)

(Waldschläger, 2019)

1.3.3 Biologisch abbaubare Kunststoffe

Unter biologisch abbaubaren Kunststoffen versteht man Kunststoffe, die von Mikroorganismen mithilfe von Wasser und Sonnenlicht abgebaut werden können. Diese biologisch abbaubaren Kunststoffe müssen chemisch hergestellt werden und dies ist sehr energieintensiv. Biologisch abbaubare Kunststoffe können aber auch auf Maisstärke oder Milchsäure basieren und bestehen so aus erneuerbaren Rohstoffen. Das Problem am Bioplastik ist, dass es immer noch verhältnismässig lange dauert, bis es zersetzt ist. Deshalb landet viel Bioplastik

im Restmüll und wird verbrannt. So ist es eher eine Energieverschwendung als eine nachhaltige Lösung für das Plastikproblem. (Hoffman, 2011)

1.3.4 Mehrwegprodukte

Bekannte Alternativen zu Plastik, wie Glas, Papiertüten, Baumwolle- oder andere Stofftaschen verbrauchen bei ihrer Produktion oftmals mehr Energie als die Produktion von Plastik. Wenn diese Produkte jedoch mehrmals benutzt werden, dann ist ihre Ökobilanz weitaus besser als diejenige von Einwegplastik. (Schröder, 2017)

1.4 Abwasserreinigungsanlage

1.4.1 Gründe für die Abwasserreinigung

Abwasser enthält einerseits viele Nährstoffe wie Phosphor und Stickstoff. Wenn dieses Wasser unbehandelt in Flüsse oder Seen gelangen würde, würde dies das Algenwachstum begünstigen. Dies würde dazu führen, dass es in den Gewässern zu viel Algen geben würde. Dieser Prozess wird Eutrophierung genannt. Andererseits kann das Abwasser auch giftige Schadstoffe aus Industriegebieten enthalten. Wenn das Abwasser also nicht gereinigt werden würde, kämen diese Nähr- und Schadstoffe ungehindert in natürliche Gewässer wie Seen und Flüsse und würden die vorkommenden Ökosysteme negativ beeinflussen. (clearfox, 2024) Wie schon erwähnt, gelangt auch Mikroplastik ins Abwasser. Mikroplastik ist ein Schadstoff, das auch aus dem Abwasser entfernt werden soll, so dass es weniger in die Umwelt gelangt.

1.4.2 Funktionsweise Abwasserreinigungsanlage

Grundsätzlich besteht jede Abwasserreinigungsanlage aus drei Reinigungsstufen. Der Rechen, der Sandfang und das Vorklärbecken bilden die mechanische Reinigungsstufe. Bei der mechanischen Reinigungsstufe werden grössere und kleinere Feststoffe aus dem Abwasser entfernt. Die zweite Reinigungsstufe ist die biologische Reinigung. Hier werden mit Hilfe von Mikroorganismen Schmutzstoffe im Abwasser abgebaut und schädliche Stickstoffverbindungen zu ungefährlichem Nitrat umgewandelt. In der chemischen Reinigungsstufe werden Chemikalien beigegeben, die Nährstoffe wie Phosphor entfernt. In der Abbildung 8 ist der typische Aufbau einer ARA mit allen drei Reinigungsstufen zu sehen. (Bau-, Umwelt- und Wirtschaftsdepartement Luzern, kein Datum)

1.4.3 Mikroorganismen in der Abwasserreinigungsanlage

Wie oben erwähnt, werden in der biologischen Reinigungsstufe Mikroorganismen eingesetzt, um Schmutzstoffe abzubauen. (ebd.) Damit diese Schmutzstoffe abgebaut werden können, müssen ihre Verbindungen von Mikroorganismen hydrolisierbar sein. Jedoch sind viele Polymere, insbesondere PET (Polyethylenterephthalat), beständig gegen mikrobiellen Abbau. Es gibt jedoch einige Mikroorganismen (eine Mischung aus Bakterien, hefeähnlichen Zellen und Protozoen), welche die Fähigkeit haben PET abzubauen. Zudem ist bekannt, dass ein Mikroorganismus das PET abbauen kann, das Unterkonsortium *I. sakaiensis* nachweisen muss. (Yoshida, et al., 2016) Damit in der Abwasserreinigungsanlage die PET-Mikroplastikfasern abgebaut werden können, müssen in der biologischen Reinigungsstufe also solche Mikroorganismen hinzugefügt werden, die dieses Unterkonsortium nachweisen.

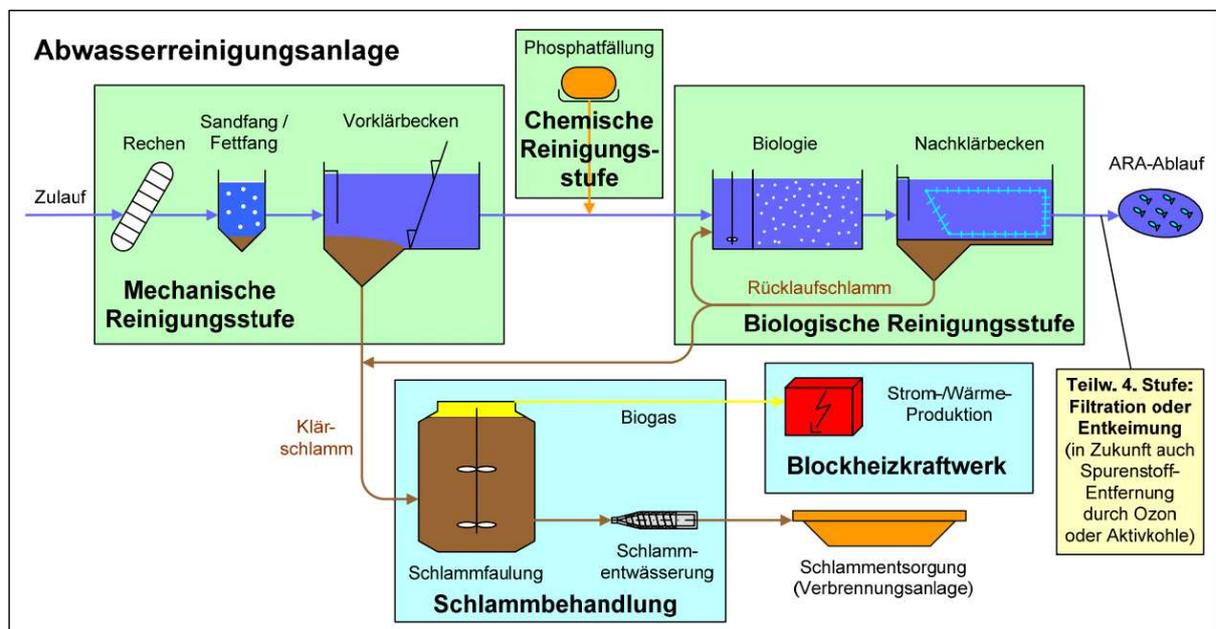


Abbildung 7, allgemeines Schema des Aufbaus einer Abwasserreinigungsanlage

1.4.4 ARA Rontal

Auch die ARA Rontal, aus der die Abwasser- und Frischschlammproben für diese Arbeit bezogen werden konnten, ist nach dem Prinzip der drei Reinigungsstufen aufgebaut. In der Abbildung 8 ist das genaue Prinzipschema der ARA abgebildet. Das Einzugsgebiet der ARA Rontal umfasst das gesamte Rontal und schließt somit die Gemeinden Buchrain, Ebikon, Root, Gisikon und Honau ein. (Real, 2024)

2 Material und Methoden

Die Methode des Experimentes konnte von der AWEL (Amt für Wasser, Energie und Luft Zürich) übernommen werden. Diese Methode wurde gewählt, weil sie im Fachartikel der AWEL «Mikroplastik in Abwasser u. Gewässern» verwendet wurde. In diesem Artikel wurde gezielt Abwasser untersucht und somit ist diese Methode gut geeignet für die Untersuchung die in dieser Arbeit durchgeführt wurden.

2.1 Material

- Ungeklärtes Abwasser (100ml)
- Gekklärtes Abwasser (2l)
- Frischschlamm (100g)
- Becherglas
- Trockenschrank (eingestellt bei 80°C)
- 60-% Schwefelsäure (3x30mL, H₂SO₄)
- Membranfilter (Porendurchmesser 8µm)
- Membranfilter (Porendurchmesser 0,45µm)
- Saugflasche
- Vakuumpumpe
- Nutsche
- Zentrifuge
- Mikroskop (100-fache Vergrößerung)
- Zusätzliche Lichtquelle
- Deionisiertes Wasser (ca. 50ml)
- Parafilm

2.2 Methode

2.2.1 Proben

Für das Experiment werden 2L geklärtes Abwasser, 100mL ungeklärtes Abwasser sowie 100g Frischschlamm benötigt. Die Proben konnten von der Abwasserreinigungsanlage Rontal bezogen werden. In der Abbildung 8 ist das Prinzipschema der ARA Rontal zu sehen. An

den rot markierten Stellen wurden die Abwasser- beziehungsweise Frischschlammproben entnommen.

2.2.2 Probeaufbereitung und Filtrierung

100ml ungeklärtes Abwasser und 100g Frischschlamm wurden im Trockenschrank bei 80°C eingedampft, bis keine Flüssigkeit mehr übrig war. Dies hat ungefähr 24 Stunden gedauert. Der Rückstand der beiden Proben wurde mit je 30ml 60%-Schwefelsäure (H₂SO₄) versetzt.

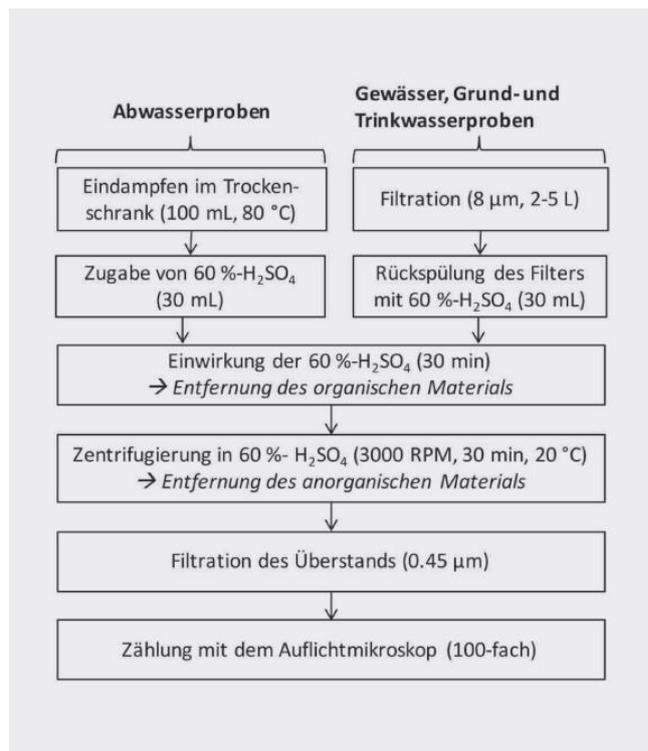


Abbildung 9, Versuchsablauf nach AWEL

Abbildung 9, Versuchsablauf nach AWEL

Vom geklärten Abwasser wurde 2l mit Hilfe einer Nutsche durch einen 8µm filtriert. Der Filter wurde mit 30ml 60%-Schwefelsäure rückgespült. Die Schwefelsäure muss bei allen drei Proben 30 Minuten einwirken, so dass das organische Material zersetzt werden kann. Anschließend wurden die Schwefelsäurelösung aller drei Proben 15 Minuten bei 6000RPM zentrifugiert, um das Mikroplastik vom anorganischen Material zu trennen, denn Mikroplastik hat eine geringere Dichte als anorganisches Material wie Sand oder Glas (>2g/cm³) und schwimmt somit nach dem Zentrifugieren oben auf. (Arthur & Baker, 2012) Anschließend wird der oberste Teil des zentri-

gierten Wassers durch einen 0,45µm abgenutscht. Dieser Filter konnte nun für die Auszählung verwendet werden. (Cabernard, et al., 2016) Der Ablauf des ganzen Versuchs ist in der

2.2.3 Auszählung und Hochrechnung

Die Filter wurden unter einem Mikroskop mit 100-facher Vergrößerung und einer zusätzlichen Lichtquelle ausgezählt. Es wurde jeweils zwischen Mikroplastikpartikel, Mikroplastikkugeln und Mikroplastikfasern unterschieden. Auf den Filtern haben sich Punkte gebildet, bei denen sich der Mikroplastik jeweils angehäuft hat. Insgesamt gab es pro Filter 61 dieser Punkte. 24 Punkte wurden unter dem Mikroskop angeschaut und ausgezählt. Anschließend wurden die Werte dieser 24 Punkte auf die 61 Punkte und somit auf den ganzen Filter

hochgerechnet. Anschliessend mussten die 100ml ungeklärtes Abwasser auf einen Liter hochgerechnet werden, indem das ausgezählte Mikroplastik auf dem ganzen Filter mal zehn gerechnet wurde. Die zwei Liter geklärtes Abwasser mussten auf einen Liter heruntergerechnet werden, indem die bei der Auszählung gewonnenen Resultate durch zwei geteilt wurden. Die gewonnenen Werte vom Frischschlamm konnten direkt übernommen werden.

2.2.4 Abweichungen von der Methode

Während den Versuchsreihen gab es einige Abweichungen von der ursprünglichen Methode. Diese wurden hauptsächlich gemacht, damit längere Wartezeiten überbrückt werden konnten.

Zeiten:

Die vorgegebenen Zeiten der AWEL konnten nicht immer eingehalten werden. Vor allem bei der ersten Versuchsreihe gab es grössere Abweichungen von den Zeiten. Beispielsweise wirkte die Schwefelsäure Lösung nicht nur 30min ein, sondern über mehrere Tage. Damit die Säure aber nicht zu stark wirkte, wurde Natronlauge zum Neutralisieren dazu gegeben.

Rückspülung Filter:

Bei der Rückspülung des Filters mit 60%-iger Schwefelsäure wurde nicht nur dieser Schritt durchgeführt, sondern anschliessend wurde der Filter auch noch für 30min in dieser Schwefelsäure eingelegt, so dass sich auch wirklich das ganze Mikroplastik vom Filter lösen konnte.

Versuch mit Frischschlamm:

Die AWEL hat im Jahr 2016 die Methode nur mit Abwasser beziehungsweise geklärtem Wasser genutzt. In dieser Arbeit wird aber nicht nur Wasser untersucht, sondern auch Frischschlamm. Für die Untersuchung des Frischschlammes wurde die Methode mit dem Eindampfen (wie beim ungeklärten Abwasser) verwendet.

Zentrifuge:

Die Zeit in der Zentrifuge wurde halbiert, dafür war die Zentrifuge doppelt so schnell eingestellt. So konnten längere Wartezeiten überbrückt werden.

3 Resultate

Die Resultate wurden aus dem oben beschriebenen Experiment gewonnen. Die Rohdaten des Experimentes sind im Anhang aufgeführt. Die Experimente wurden drei Mal durchgeführt.

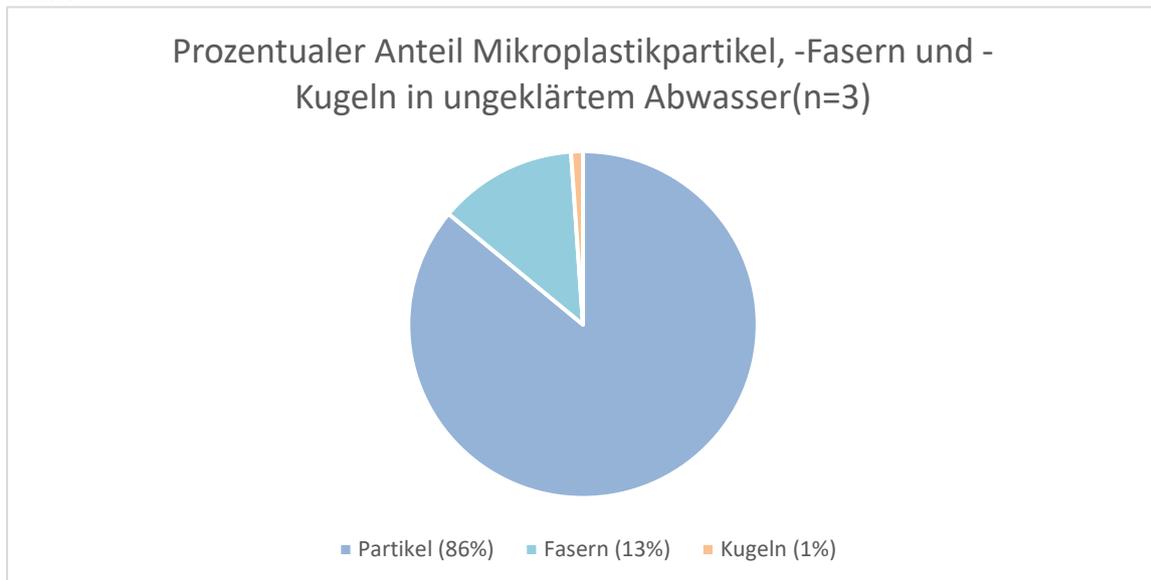


Abbildung 10, Prozentualer Anteil Mikroplastikpartikel, -Fasern und -Kugeln in ungeklärtem Abwasser

In der Abbildung 10 ist der relative Anteil von Mikroplastikpartikel, -Fasern, und -Kugeln in ungeklärtem Abwasser dargestellt. Im ungeklärten Abwasser befindet sich mit einem Anteil von 86% klar am meisten Partikel. Danach kommen die Fasern mit 13% und als letztes die Kugeln mit 1%.

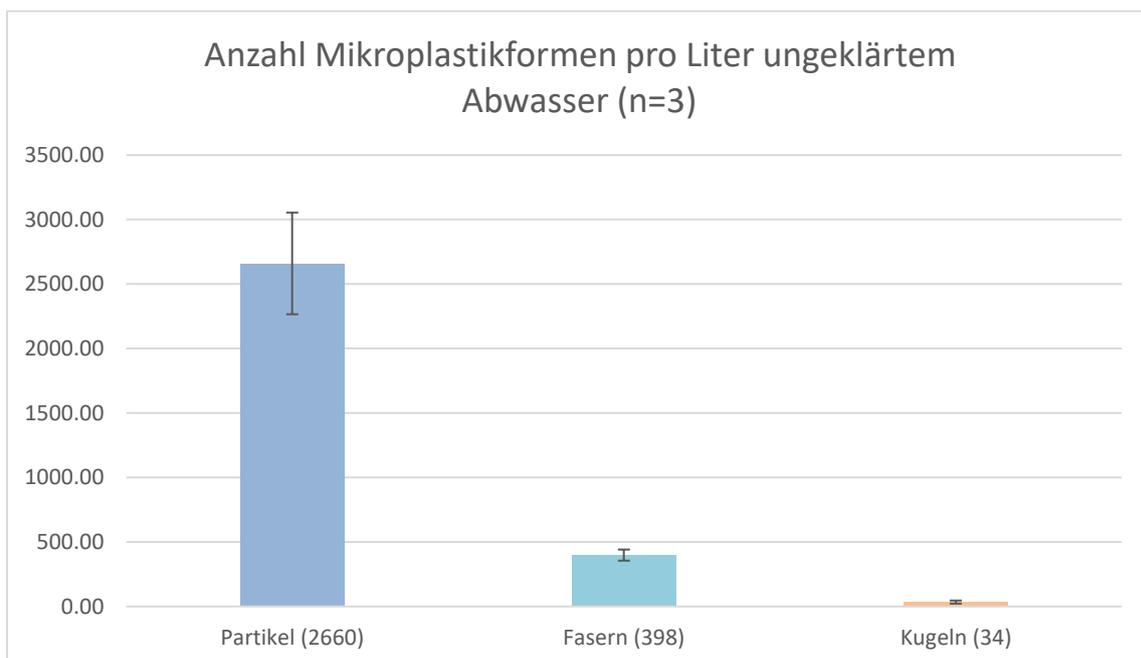


Abbildung 11, Anzahl Mikroplastikformen pro Liter ungeklärtem Abwasser

In der Abbildung 11 ist die absolute Menge an Mikroplastikpartikel, -Fasern und -Kugeln in ungeklärtem Abwasser ersichtlich. Auch hier ist es deutlich festzustellen, dass im ungeklärten Abwasser am meisten Partikel vorhanden sind.

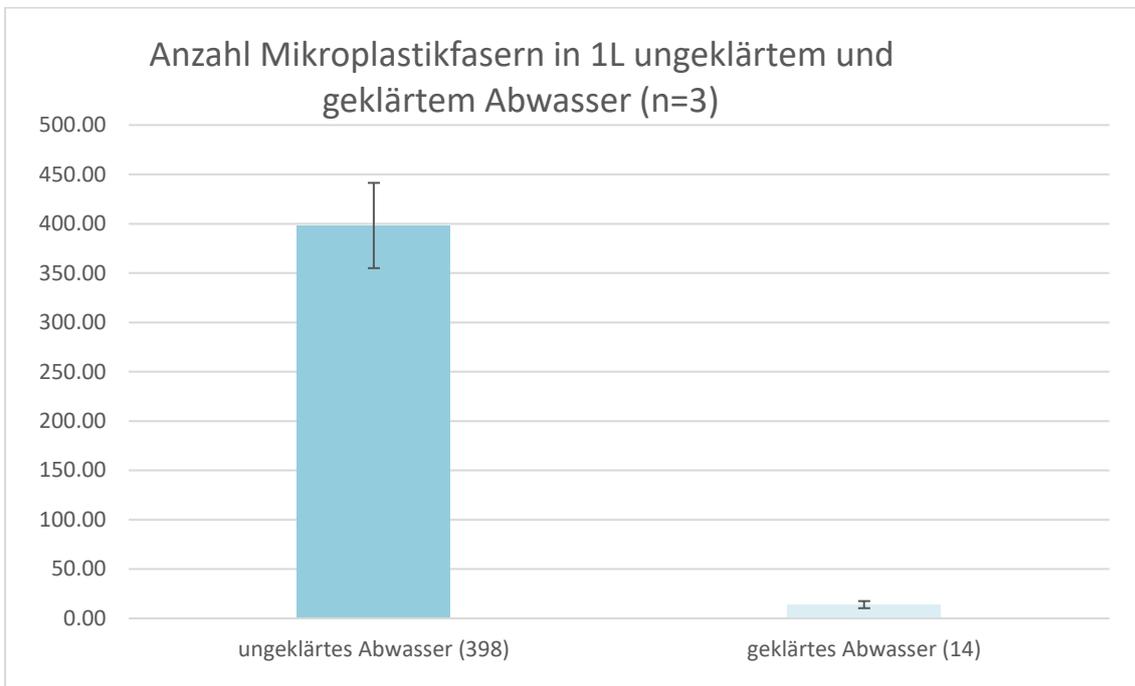


Abbildung 12, Anzahl Mikroplastikfasern in 1L ungeklärtem und geklärtem Abwasser

In der obenstehenden Abbildung 12 ist ersichtlich, dass sich in einem Liter ungeklärtem Abwasser wesentlich mehr Mikroplastikfasern befinden als in einem Liter geklärtem Abwasser.

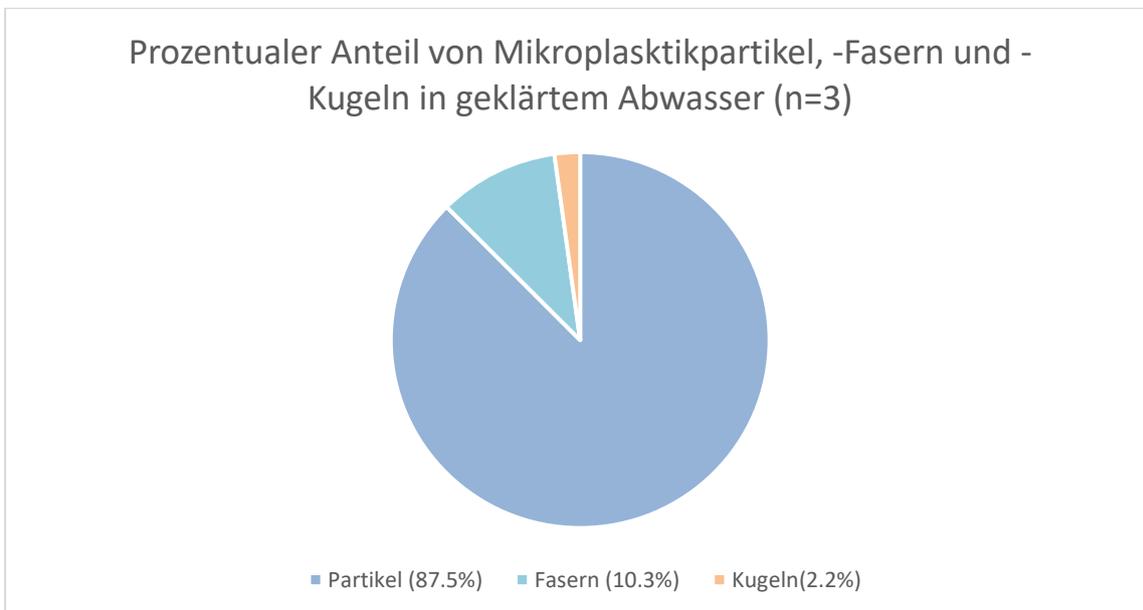


Abbildung 13, Prozentualer Anteil Mikroplastikpartikel, -Fasern und -Kugeln in geklärtem Abwasser

In der Abbildung 13 ist die prozentuale Verteilung der Mikroplastikformen in geklärtem Abwasser zu sehen. Auch hier sind Mikroplastikpartikel (87.5%) mit Abstand am meisten

vertreten. Anschliessend kommen wieder die Fasern (10,3%) und zum Schluss die Kugeln (2,2%)

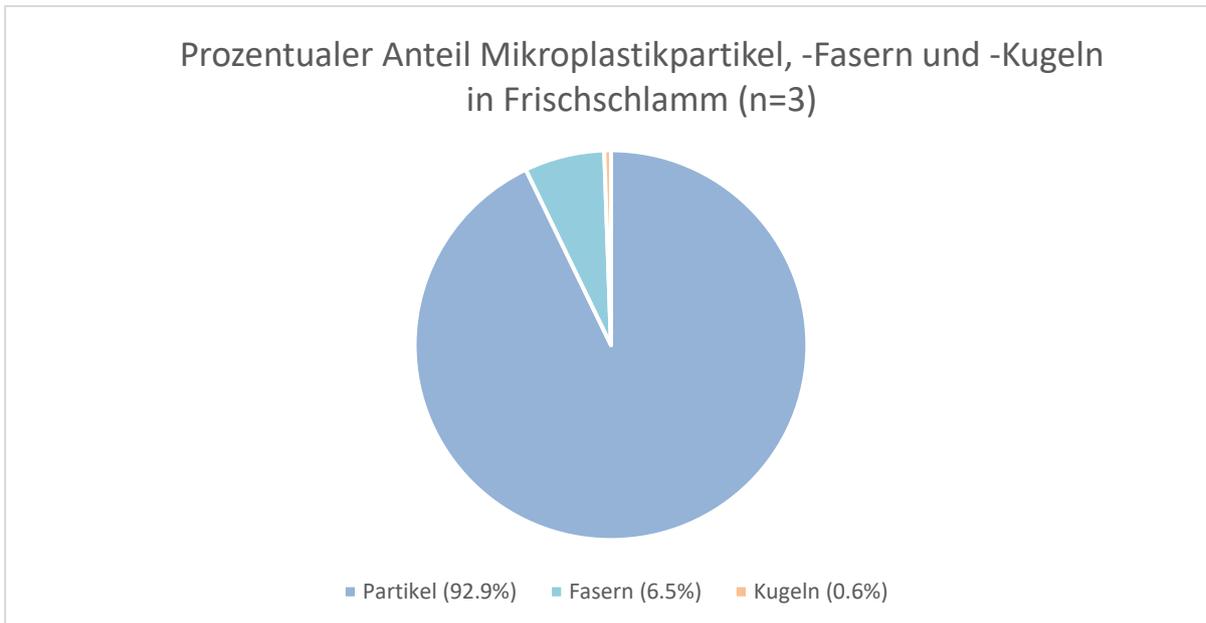


Abbildung 14, Prozentualer Anteil Mikroplastikpartikel, -Fasern und -Kugeln in Frischschlamm

In der Abbildung der Abbildung 14 ist die prozentuale Verteilung von Mikroplastikpartikel, -Fasern und -Kugeln dargestellt. Auch hier sind die Partikel mit 92,2% am meisten vertreten, danach folgen wieder die Fasern mit 6.5% und als letztes die Kugeln mit 0,6%.

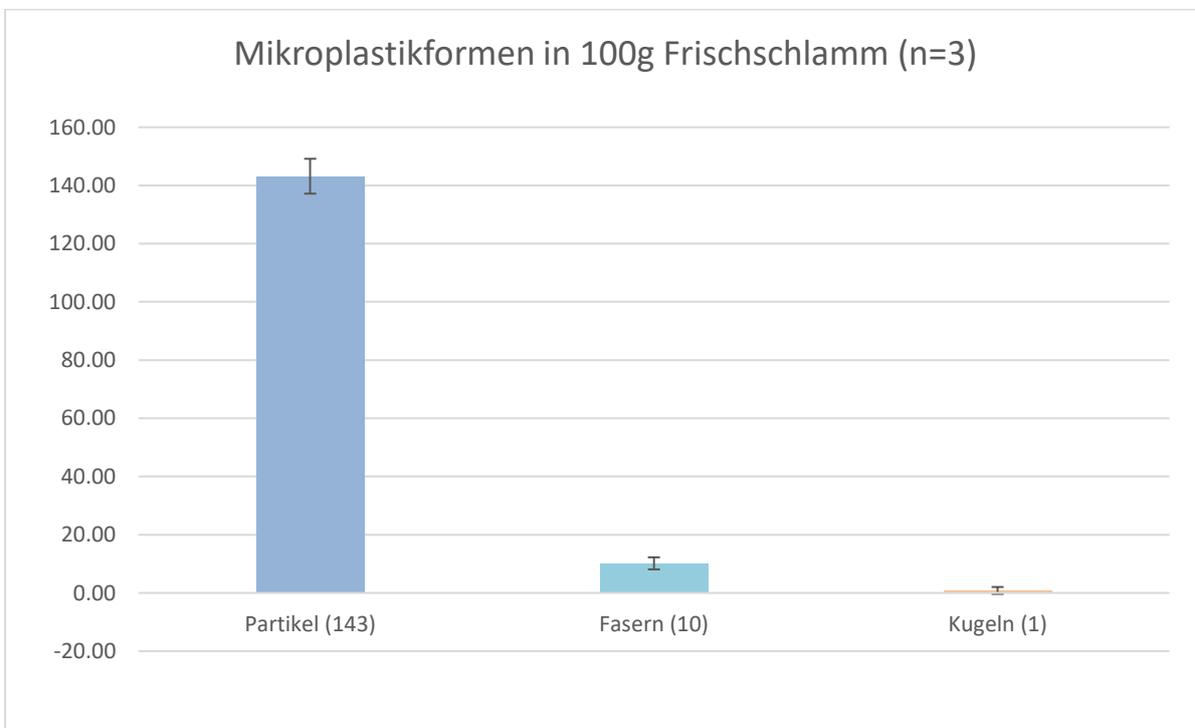


Abbildung 15, Mikroplastikformen in 100g Frischschlamm

In der Abbildung 15 ist das absolute Mikroplastikvorkommen der verschiedenen Mikroplastikformen (Partikel, Fasern und Kugeln) in 100g Frischschlamm sichtbar. In dieser Abbildung

kann erkannt werden, dass auch im Frischschlamm Partikel mit Abstand am meisten vertreten sind.

4 Diskussion

Anhand der Resultate des Experimentes können die Hypothesen, die zum Beginn der Arbeit aufgestellt wurden, überprüft werden.

4.1 Hypothese 1

Hypothese 1 lautet folgendermassen: «Im Abwasser kann man Mikroplastikfasern am häufigsten nachweisen, weil diese leicht durch den Waschprozess von Textilien ins Wasser gelangen.» Die Hypothese 1 kann nicht verifiziert werden, weil in der Abbildung 10 zu erkennen ist, dass mit 86% Mikroplastikpartikel mit Abstand am stärksten vertreten sind. Die Fasern liegen auf dem zweiten Platz mit nur 13%. Diese Verteilung könnte darauf zurückzuführen sein, dass sich nicht nur Haushaltsabwasser bei der Reinigungsanlage ansammelt, sondern auch Abwasser von der Industrie und vom Regenwasserabfluss. Bei beiden Optionen besteht eine hohe Wahrscheinlichkeit, dass Partikel ins Wasser gelangen. Das Einzugsgebiet der ARA Rontal erstreckt sich über das Rontal mit den Gemeinden Buchrain, Ebikon, Root, Gisikon und Honau. In diesen Gemeinden gibt es einige Industriegebiete, in denen es durchaus möglich ist, dass Mikroplastikpartikel ins Abwasser gelangen. Auch hat es viele Strassen, von denen Regenwasser in die ARA gelangt.

4.2 Hypothese 2

Die zweite Hypothese besagt, dass der Grossteil der Mikroplastikfasern im Abwasser nach der Reinigungsanlage entfernt worden sind. Diese Fasern sind grösstenteils aus Polyester. Esterbindungen, die in Polyestern vorhanden sind, gelten als von Mikroorganismen hydrolysierbar, weshalb Polyester biologisch besser abbaubar ist als der «gewöhnliche Plastik» Polyethen. So können diese Mikroorganismen einen grossen Teil der Mikroplastikfasern abbauen. Wenn die Abbildung 12 betrachtet wird, erkennt man, dass sich in einem Liter geklärtem Abwasser wesentlich weniger Mikroplastikfasern befinden als in einem Liter ungeklärtem Abwasser. Wenn die Abbildungen 10 und 13 verglichen werden, wird ersichtlich, dass sich der prozentuale Anteil von Fasern von 13% auf 10,2% verkleinert. Dies weist darauf hin, dass die Fasern effektiver entfernt werden können als die anderen Mikroplastikformen. Das könnte daran liegen, dass die Fasern aus Polyester bestehen und deshalb für die Mikroorganismen hydrolysierbar sind. Die zweite Hypothese kann daher verifiziert werden.

4.3 Hypothese 3

Die dritte Hypothese lautet wie folgt: «Der relative Anteil von Mikroplastikkugel in ungeklärtem Abwasser hat sich seit 2016 verkleinert, denn Mikroplastikkugeln sind primärer Plastik und werden hauptsächlich in Kosmetikprodukten verwendet. Seit 2016 verzichtet man immer mehr auf Mikroplastik in Kosmetika, was dazu führt, dass sich weniger Mikroplastikkugeln im Abwasser befinden.» In der Abbildung 10 ist der prozentuale Anteil der Kugeln in ungeklärtem Abwasser ersichtlich. Wenn dies mit dem linken Diagramm der Abbildung 16 verglichen wird, kann erkannt werden, dass sich seit 2016 der prozentuale Anteil an Mikroplastikkugeln deutlich von 13% auf 1% verkleinert hat. Dies lässt sich darauf zurückführen, dass immer mehr auf primären Mikroplastik in Form von Kugeln beispielsweise in Kosmetika oder Waschmitteln verzichtet wird. Somit kann die dritte Hypothese verifiziert werden.

4.4 Hypothese 4

Nach der vierten Hypothese kann der Grossteil der Fasern im Abwasser in Kläranlagen abgebaut werden, weil diese mehrheitlich aus Polyester bestehen. Diese Esterbindungen sind für Mikroorganismen in der biologischen Reinigung der Kläranlage bekannt und sind somit für diese hydrolysierbar. Anhand der Abbildungen 10, 12 und 13 wird deutlich, dass der Grossteil der Fasern im Abwasser in den Reinigungsanlagen entfernt werden kann. Der Abbildung 14 ist zu entnehmen, dass im Frischschlamm nur 6,5% des gesamten Mikroplastiks Fasern sind. Das heisst ein Teil, der von der Kläranlage entfernten Fasern, befindet sich im Klärschlamm und wurde nicht abgebaut. Jedoch hat der prozentuale Anteil der Fasern im Frischschlamm stark abgenommen. Dies weist daraufhin, dass ein Teil der Fasern im Abwasser nicht nur entfernt, sondern auch abgebaut werden. Diese Hypothese kann demnach teilweise verifiziert werden, weil Mikroplastikfasern im Abwasser teilweise abgebaut werden. Währenddessen wird ein kleinerer Teil der Fasern lediglich entfernt und landet im Klärschlamm.

4.5 Vergleich Resultate AWEL

Das Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL) hat im Jahr 2016 die Zu- und Abflüsse von Abwasserreinigungsanlagen und das Trink- und Grundwasser im Kanton Zürich nach Mikroplastik untersucht. Die AWEL hat dabei dieselbe Methode verwendet, wie in dieser Arbeit, daher können die Resultate gut verglichen werden.

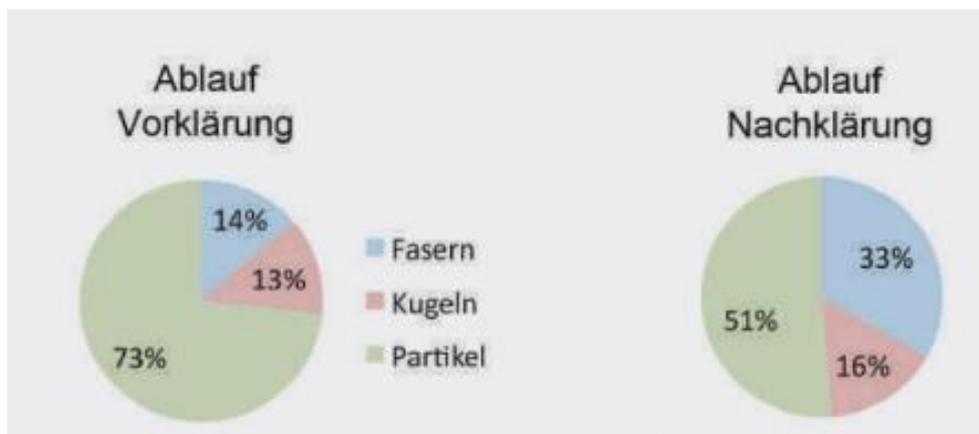


Abbildung 16, Prozentualer Anteil Mikroplastikarten in vorgeklärtem und nachgeklärtem Abwasser (AWEL, 2016)

In der Abbildung 16 ist ersichtlich, dass auch die Untersuchungen der AWEL zeigten, dass sich am meisten Mikroplastikpartikel, dann Mikroplastikfasern und am wenigsten Mikroplastikkugeln befinden. Der prozentuale Anteil der Mikroplastikfasern in ungeklärtem Abwasser ist seit 2016 ungefähr gleich gross geblieben. (siehe Abbildung 10 und 17) In den Untersuchungen der AWEL konnten jedoch mehr Kugeln und weniger Partikel nachgewiesen werden. Dies könnte darauf zurückgeführt werden, dass man seit 2016 versucht, weniger primärer Mikroplastik in Form von Kugeln in beispielsweise Kosmetikprodukten zu verwenden. Dies führt dann dazu, dass weniger Kugeln im Abwasser landen und dementsprechend weniger nachgewiesen werden können. Ausserdem wurden bei der Untersuchung der AWEL andere Abwasserreinigungsanlagen untersucht als bei dieser Arbeit. Diese anderen ARAs haben ein anderes Einzugsgebiet und so kann der prozentuale Anteil der unterschiedlichen Mikroplastikformen variieren. In der Abbildung 17 kann erkannt werden, dass sich im nachgeklärten Abwasser laut der AWEL wesentlich weniger Partikel und mehr Fasern und Kugeln befinden. Wenn dies mit der Abbildung 13 verglichen wird, wird ersichtlich, dass sich hier die Resultate dieser Arbeit und derjenigen der AWEL unterscheiden.

4.6 Fehlerquellen

Auszählung:

Die Auszählung der Filter unter dem Mikroskop könnte ungenau gewesen sein, weil es sich um eine subjektive Wahrnehmung handelt, was Mikroplastik ist und was nicht. Manchmal war es schwierig zu erkennen, ob es sich beispielsweise bei einem Mikroplastikpartikel wirklich um einen solchen handelt oder um etwas anderes. Dies musste mit einem gewissen Ermessen definiert werden. Um möglichst wenig Fehler zu machen, wurden die Filter einer Versuchsreihe am selben Tag unter dem Mikroskop ausgezählt, so dass diese subjektive Definition von Mikroplastik im Kopf blieb. So dass das Auszählen weniger anfällig auf Fehler wäre, wäre es

sinnvoll, wenn mehrere Personen die Filter auszählen würden. Dadurch könnte sichergestellt werden, dass man sich nicht verzählt und andere Personen auf die gleiche Weise zählen.

Kontamination mit (Mikro)Plastik:

Die Abwasser- und Frischschlammproben wurden in Kunststoffflaschen gelagert. Es gibt eine kleine Wahrscheinlichkeit, dass sich Mikroplastikteilchen von der Flasche gelöst haben und in die Proben gelangten. Um diese Kontamination zu vermeiden, könnten statt Kunststoffflaschen Glasflaschen verwendet werden. Ebenfalls könnte beispielsweise beim Auszählen Mikroplastik aus der Luft auf die Filter gelangen. Dies wurde aber so gut wie möglich vermieden, in dem die Filter mit Parafilm abgedeckt wurden.

Untersuchung von Frischschlamm:

Die verwendete Methode der AWEL wurde nicht für Substanzen wie Frischschlamm entwickelt, sondern für Abwasser, beziehungsweise Grund- oder Trinkwasser. In dieser Arbeit wurde aber trotzdem die Methode mit dem Eindampfen angewendet. Es funktionierte zwar gut, aber es blieb nach dem Eindampfen ein Teil des Schlammes unten am Becherglas kleben. Sehr wahrscheinlich konnte also nicht das ganze Mikroplastik aus dem Schlamm entfernt werden, was zu einer Verfälschung des Resultates führte. Zusätzlich war es schwierig die Resultate der Frischschlammproben mit den Resultaten der Wasserproben zu vergleichen, weil die Wassermenge einen Liter betrug und die Frischschlammmenge 100 Gramm. Ausserdem konnten bei der ersten Versuchsreihe die Resultate des Frischschlammes nicht ausgewertet werden, weil der Filter kaputt gegangen ist. Bei der dritten Versuchsreihe wurde dafür die Untersuchung des Frischschlammes zweifach durchgeführt, dass auch bei den Frischschlammuntersuchungen drei Resultate vorlagen.

5 Fazit

5.1 Positives

Ich bin sehr zufrieden mit der Wahl des Themas, weil es mich bis zum Schluss interessiert hat und ich es auch gut auf einen machbaren Umfang eingrenzen konnte. Ich finde gut, dass ich mit der Arbeit im Labor so früh begonnen habe, so dass ich dann genügend Zeit hatte den schriftlichen Teil der Arbeit zu schreiben. Auch finde ich es gut, dass ich die beschriebene Methode verwendet habe, weil ich so meine Resultate mit den Resultaten der AWEL vergleichen konnte. Ausserdem war es sehr hilfreich, dass ich den ganzen Arbeitsprozess im Labor in einem Arbeitsjournal festgehalten habe, so war es im Nachhinein viel einfacher den ganzen Prozess auf Papier zu bringen.

5.2 Verbesserungsmöglichkeiten

Beim nächsten Mal würde ich mir einen besseren Zeitplan erstellen und mich konsequent daranhalten. So wäre der ganze Arbeitsprozesse besser strukturiert und ich wüsste besser, wann ich was erledigen muss. Ich habe den zeitlichen Aufwand der Experimente unterschätzt und bin sehr dankbar dafür, dass ich im Labor Unterstützung bekommen habe. Für weitere Untersuchungen wäre es sehr spannend, wenn auch noch andere Abwasserreinigungsanlagen untersucht werden würden, so dass diese miteinander verglichen werden könnten. Beispielsweise wäre die ARA Gossau-Grüningen dafür gut geeignet, weil es sich hierbei um eine grössere Kläranlage handelt. Auch wäre es sicherlich gut, wenn ich noch ein bis zwei Versuchsreihen mehr durchgeführt hätte, so dass der Mittelwert stabiler und somit das Resultat aussagekräftiger geworden wäre.

6 Quellenverzeichnis

6.1 Literaturverzeichnis

- Arthur Courtney; Baker, Joel (2012) Proceedings of the Second Research Workshop on Microplastic Marine Debris
- Bau-, Umwelt-, Wirtschaftsdepartement: Kanton Luzern (kein Datum) Funktionsbeschreibung Kläranlage. https://uwe.lu.ch/-/media/UWE/Dokumente/Themen/Abwasser/Abwasser/funktionsbeschreibung_klaeranlage.pdf?rev=7a8fb3d22bf54c7595a89ad6c321ee73 (11.5.2024)
- Cabernard, Livia; Durisch-Kaiser*, Edith; Vogel, Jean-Claude; Rensch, Daniel; Niederhauser; AWEL Gewässerschutz (2016) Mikroplastik in Abwasser u. Gewässer
- Chemie.de. (2024) Kunststoffe. <https://www.chemie.de/lexikon/Kunststoff.html> (8.4.2024)
- Chemie Lexikon. (2024) Kunststoffe. <https://www.chemie.de/lexikon/Kunststoff.html> (8.4.2024)
- Clearfox. (2024) Wie funktioniert eine Abwasserreinigungsanlage?. <https://clearfox.de/wie-funktioniert-eine-abwasserreinigungsanlage/> (11.5.2024)
- Eawag Dübendorf. (2024) Mikroplastik in der Umwelt. <https://www.eawag.ch/de/forschung/wasser-fuer-die-umwelt/schadstoffe/mikroplastik/> (13. 3. 2024)
- Einbock, Sebastian (2024) Lernort mint, Kunststoffe-Synthesemöglichkeiten. <https://www.lernort-mint.de/chemie/kunststoffe/kunststoffe-synthesemoeglichkeiten/> (10.4.2024)
- Ettlín, Anna. (2023) Wie viel Mikroplastik steckt in Schweizer Gewässer?. <https://www.empa.ch/web/s604/mikroplastik-gewaesser> (13.3.2024)
- Greenpeace. (2024) Sagen wir Plastikmüll gemeinsam den Kampf an!. <https://greenpeace.at/hintergrund/loesungen-plastikmuell/> (10.4.2024)
- Greenpeace DE (2023) Zehn Tipps gegen die Plastikflut. <https://www.greenpeace.de/engagieren/nachhaltiger-leben/10-tipps-weniger-plastik> (11.4.2024)
- Hoffman, Dr. Hartmut. (2014). Biologisch abbaubare Kunststoffe. (https://www.bund.net/fileadmin/user_upload_bund/publikationen/chemie/abfall_bio-kunststoffe_stellungnahme.pdf (11.4.2024).
- Keim, Wilhelm. (2006) Kunststoffe: Synthese; Herstellungsverfahren, Apparaturen. Weinheim: Wiley-VCH Verlag

- Kroll, Alexandra; Kienle, Cornelia; Schäfer, Anke; Aicher, Lothaer. (2021). Aqua & Gas.Mikroplastik in der Umwelt. https://www.aquaetgas.ch/wasser/gew%C3%A4sser/20210928_ag10_mikroplastik-in-der-umwelt/ (13.3.2024)
- Primpke, Dr. Sebastian; Imhof, Dr. Hannes; Piehl, Sarah; Claudia, Lorenz; Löder, Dr. Martin; Laforsch, Dr. Christian; Gerds, Dr. Gunnar. (2017). Chemie in unserer Zeit. Weinheim: Wiley-VCH Verlag
- Real Luzern (2024) Kläranlage Ara Rontal. <https://www.real-luzern.ch/abwasser/ara-rontal/klaeranlage/> (14.8.2024)
- Reichert, Inka (2021) Quarks. Das solltest du über Recycling wissen. <https://www.quarks.de/umwelt/muell/das-solltest-du-ueber-recycling-wissen/#%C3%B6sung2> (10.4.2024)
- Sexlinger, Katharina; Liebmann, Bettina (2021) Umweltbundesamt Österreich. Mikroplastik in Klärschlämmen. <https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/rep0773bfz.pdf> (11.4.2024)
- Schröder, Heike (2017) Plastik im Blut – Wie wir uns und die Umwelt täglich vergiften. Kirchzarten: VAK Verlag
- Wagner, Lukas (2023) Wieso ist die Schweiz so schlecht im Kunststoff-Recycling?. <https://www.srf.ch/news/gesellschaft/plastikkrise-wieso-ist-die-schweiz-so-schlecht-im-kunststoff-recycling> (11.4.2024)
- Waldschläger, Kryss (2019) Mikroplastik in der aquatischen Umwelt. Wiesbaden: Springer-Verlag
- Yoshida, Shosuke; Hiraga, Kazumi; Takehana, Toshihiko; Ikuo, Taniguchi; Yamaji, Hironao; Maeda, Yasuhito; Toyohara, Kiyotsuna; Miyamoto, Kenji; Kimura, Yoshiharu; Oda, Kohei. (2016). A bacterium that degrades and assimilates poly(ethylene terephthalate)

6.2 Abbildungsverzeichnis

- Titelblatt: Mikroplastikfaser unter dem Mikroskop (eigene Fotografie)
- Abbildung 1: Bildung Polyethen durch Polymerisation, <https://www.lernort-mint.de/chemie/kunststoffe/kunststoffe-synthesemoeglichkeiten/> (10.4.2024)
- Abbildung 2: Bildung des Polyesters PET durch Polykondensation, <https://www.biancahoegel.de/chemie/reaktio/polykondensation.html> (5.7.2024)

- Abbildung 3: Struktur Thermoplaste, Duroplaste und Elastomere, <https://www.maschinenbau-wissen.de/skript3/werkstofftechnik/kunststoffe/2-kunststoffe-einfuehrung> (8.4.24)
- Abbildung 4: Mikroplastikpartikel unter dem Mikroskop (eigene Fotografie)
- Abbildung 5: Mikroplastikkugel unter dem Mikroskop (eigene Fotografie)
- Abbildung 6: Mikroplastikfaser unter dem Mikroskop (eigene Fotografie)
- Abbildung 7: allgemeines Schema des Aufbaus einer Abwasserreinigungsanlage https://uwe.lu.ch/-/media/UWE/Dokumente/Themen/Abwasser/Abwasser/funktionsbeschreibung_klaeranlage.pdf?rev=7a8fb3d22bf54c7595a89ad6c321ee73 (10.5.2024)
- Abbildung 8: Schema des Aufbaus der ARA Rontal (erhalten von ARA Rontal)
- Abbildung 9: Versuchsablauf nach AWEL, Mikroplastik in Abwasser u. Gewässern, Seite 2
- Abbildung 10: Prozentualer Anteil Mikroplastikpartikel, -Fasern und -Kugeln in ungeklärtem Abwasser (eigene Darstellung)
- Abbildung 11: Anzahl Mikroplastikformen pro Liter ungeklärtem Abwasser (eigene Darstellung)
- Abbildung 12: Anzahl Mikroplastikfasern in 1L ungeklärtem und geklärtem Abwasser (eigene Darstellung)
- Abbildung 13: Prozentualer Anteil Mikroplastikpartikel, -Fasern und -Kugeln in geklärtem Abwasser (eigene Darstellung)
- Abbildung 14: Prozentualer Anteil Mikroplastikpartikel, - Fasern und -Kugeln in Frischschlamm (eigene Darstellung)
- Abbildung 15: Mikroplastikformen in 100g Frischschlamm (eigene Darstellung)
- Abbildung 16: Prozentualer Anteil Mikroplastikformen in vorgeklärtem und nachgeklärtem Abwasser stand 2016, Mikroplastik in Abwasser u. Gewässern Seite 5

6.3 Tabellenverzeichnis

- Tabelle 1: Mikroplastikformen im Vergleich (eigene Darstellung)

7 Anhang

7.1 Rohdaten

1. Versuchsreihe (1.2.24)			
geklärtes Abwasser			
	24 Punkte	2 Liter	1 Liter
Partikel	107.00	271.96	135.98
Fasern	15.00	38.13	19.06
Kugeln	2.00	5.08	2.54
ungeklärtes Abwasser			
	24 Punkte	100mL	1 Liter
Partikel	104.00	264.33	2643.33
Fasern	15.00	38.13	381.25
Kugeln	1.00	2.54	25.42

2. Versuchsreihe (11.3.24)			
geklärtes Abwasser			
	24 Punkte	2 Liter	1 Liter
Partikel	82.00	208.42	104.21
Fasern	9.00	22.88	11.44
Kugeln	5.00	12.71	6.35
ungeklärtes Abwasser			
	24 Punkte	100mL	1 Liter
Partikel	86.00	218.58	2185.83
Fasern	14.00	35.58	355.83
Kugeln	2.00	5.08	50.83
Frischschlamm			
	24 Punkte	100g	
Partikel	58.00	147.42	
Fasern	5.00	12.71	
Kugeln	0.00	0.00	

3. Versuchsreihe			
	24 Punkte	2l	1l
geklärtes Abwasser			
Partikel	92.00	233.83	116.92
Fasern	9.00	22.88	11.44
Kugeln	0.00	0.00	0.00
ungeklärtes Abwasser			
	24 Punkte	100ml	1l
Partikel	124.00	315.17	3151.67
Fasern	18.00	45.75	457.50
Kugeln	1.00	2.54	25.42
Frischschlamm 1			
	24 Punkte	100g	
Partikel	53.00	134.71	
Fasern	4.00	10.17	
Kugeln	1.00	2.54	
Frischschlamm 2			
	24 Punkte	100g	
Partikel	58.00	147.42	
Fasern	3.00	7.63	
Kugeln	0.00	0.00	

Maturaarbeit: Deklaration 2024

Der/die Unterzeichnete bestätigt mit der Unterschrift, dass er/sie die Maturaarbeit wie folgt verfasst hat:

Ich erkläre hiermit

- dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Benutzung der angegebenen Quellen verfasst habe.
- dass ich auf eine eventuelle Hilfe Dritter in der Arbeit ausdrücklich hinweise.
- dass ich eine allfällige Nutzung von Künstlicher Intelligenz (z.B. ChatGPT) ausgewiesen habe,
- dass ich vorgängig die Schulleitung und die betreuende Lehrperson informiere, wenn ich diese Maturaarbeit, bzw. Teile oder Zusammenfassungen davon veröffentliche oder Kopien dieser Arbeit zur weiteren Verarbeitung an Dritte aushändige.
- dass ich vom unten stehenden §25 „Unredlichkeiten“ der Weisungen für die Maturaarbeit vom August 2018 Kenntnis genommen habe und weiss, dass Unredlichkeiten harte Sanktionen nach sich ziehen können.
- dass mir bewusst ist, dass meine Arbeit mit der Plagiatserkennungssoftware «Copy-Stop» geprüft wird.

Falls ich Künstliche Intelligenz verwendet habe, gebe ich hiermit an, in welchen Phasen des Arbeitsprozesses und zu welchem Zweck ich welche KI-Instrumente verwendet habe:

Name:

Ort:

Datum:

Unterschrift:

Auszug aus den **Weisungen zur Umsetzung von § 25 (Unredlichkeiten)** des Reglements für die Maturitätsprüfungen im Kanton Luzern:

Unredlichkeiten im Zusammenhang mit der Maturaarbeit werden gemäss § 25 Abs. 1 des Reglements für die Maturitätsprüfungen sanktioniert. Sanktionen sind je nach Schweregrad ein Ausschluss von der Maturitätsprüfung mit oder ohne Möglichkeit der Wiederholung oder die Aberkennung eines bereits erteilten Maturitätszeugnisses.