



Untersuchung des Mikroplastikgehaltes im Rhein

Nachweis von Mikroplastik an ausgesuchten Stellen am Schweizer Rhein

Jessica Horni

Maturaarbeit 2021/2022

Gymnasium Münchenstein M4g

Raphael Emmenegger

Abstract

Hintergrund: Die Verschmutzung der Gewässer durch Mikroplastik ist ein aktuelles und ernstzunehmendes Thema. Die 100nm - 5mm grossen Plastikteilchen schaden der Flora und Fauna. Auch für den Menschen ist Mikroplastik ein Thema, welches nicht ignoriert werden kann, denn Mikroplastik lässt sich mittlerweile auch im inneren System des Menschen finden. Mit dem Verzehr kontaminierter Fische und in Plastik verpackter Lebensmitteln nehmen wir kontinuierlich Plastik auf. Dennoch ist die Herkunft und Verbreitung von Mikroplastik ein kaum erforschtes Gebiet. Nur wenige Forschungen wurden an Flüssen in Europa gemacht. Das Ziel dieser Arbeit war nachzuweisen, dass sich Mikroplastik an ausgewählten Stellen am Rhein befindet und dafür eine eigene Messmethodik zu entwickeln.

Methode: Mehrere Filtrationsmethoden wurden getestet. Am Ende wurden Cell Strainer und die Apparatur «BabyLegs» für die Filtration gewählt. Danach wurden drei (mit der Quelle vier) Standorte am Schweizer Rhein nach spezifischen Faktoren wie Schmelzwasser, Bevölkerungsdichte und Industriestandorten bestimmt. Am Rheinfluss, Zizers, der Rheinquelle und Basel wurden schlussendlich die Proben entnommen. Ausgewertet wurden alle Proben im Nano Imaging Lab des Swiss Nano Science Institute (SNI) in Basel. Die Untersuchungen erfolgten mit einem Licht- und Rasterelektronenmikroskop. Danach wurden alle Bilder aufgelistet, analysiert und die Anzahl an gefundenem Mikroplastik zusammengezählt.

Ergebnisse: An allen Standorten konnte Mikroplastik nachgewiesen werden. Bei allem gefundenen Mikroplastik handelte es sich um Plastikfasern, kein kugelförmiges Plastik. Die Ergebnisse wurden in einer Grafik visualisiert und verglichen. Am meisten Mikroplastik wurde in Basel nachgewiesen, am wenigsten am Rheinfluss. Überraschend war besonders, dass auch an der Quelle Mikroplastik gefunden wurde.

Diskussion: Mit der hier entwickelten Messmethode kann Mikroplastik nachgewiesen und ausgewertet werden. Es gibt aber mehrere Aspekte bei der Auswertung, die auf Vorsicht beim Verwenden der Messresultate weisen. Alle gefundenen Plastikpartikel wurden nach definierten Faktoren untersucht. Diese Faktoren wurden mit Informationen anderer Forschungen und Fachliteratur eigens festgelegt und überprüft. Da jedoch alle Proben mit einem Rasterelektronenmikroskop von Auge ausgewertet wurden, entstand ein Raum für Fehlinterpretationen. Dies wurde neben anderen Problemen kritisch begutachtet. Nach Vergleich mit dem bisherigen Forschungsstand wurde das Fehlen einer einheitlichen Messmethode für Mikroplastik deutlich sichtbar. Es wurden einige Vermutungen für die Zukunft von Mikroplastik aufgestellt. Ausserdem werden mehrere Vorschläge zur anstandsvollen Verwendung von Plastik an die Politik und direkt an den Leser gerichtet.

Inhaltsverzeichnis

ABSTRACT.....	1
1 VORWORT	3
2 EINLEITUNG.....	4
3 THEORETISCHER HINTERGRUND	5
3.1 DAS PROBLEM DES MIKROPLASTIKS	5
3.1.1 <i>Woher kommt Mikroplastik?</i>	5
3.1.2 <i>Gefahren für Mensch und Umwelt</i>	7
3.2 MIKROPLASTIK IN GEWÄSSERN.....	8
3.3 ZUSAMMENFASSUNG DES BISHERIGEN FORSCHUNGSSTANDES	9
3.4 MIKROPLASTIK IM SCHWEIZER RHEIN.....	10
3.4.1 <i>Aufbau des Schweizer Rheins</i>	10
3.4.2 <i>Mögliche Eintragsquellen für Mikroplastik</i>	11
4 METHODE	13
4.1 ENTWICKLUNG EINER MESSMETHODE/AUSWERTUNGSMETHODE	13
4.1.1 <i>Erste Versuche</i>	13
4.1.2 <i>«BabyLegs»</i>	14
4.1.3 <i>Der Cell Strainer</i>	16
4.1.4 <i>Erster Besuch im Nano Imaging Lab</i>	18
4.2 FESTLEGUNG DER UNTERSUCHUNGSSTÄNDORTE.....	22
4.3 PROBENENTNAHME	23
4.4 AUSWERTUNG IM NANO IMAGING LAB.....	26
4.5 MATERIAL.....	28
5 RESULTATE.....	29
5.1 RHEINFALL	29
5.2 ZIZERS	30
5.3 QUELLE	30
5.4 BASEL.....	31
5.5 ALLGEMEINE VERSCHMUTZUNG.....	32
6 DISKUSSION	33
6.1 VERGLEICH DER ERGEBNISSE MIT DEM BISHERIGEN FORSCHUNGSSTAND.....	33
6.2 METHODENKRITIK.....	34
6.3 SCHLUSSFOLGERUNG	36
6.4 AUSBLICK	37
7 QUELLENVERZEICHNIS.....	38
7.1 ABBILDUNGSVERZEICHNIS	38
7.2 LITERATURVERZEICHNIS	38
8 ANHANG	41
8.1 MESSWERTE UND BERECHNUNGEN	41
8.1.1 <i>Rheinfall</i>	42
8.1.2 <i>Zizers</i>	48
8.1.3 <i>Quelle</i>	54
8.1.4 <i>Basel</i>	61

1 Vorwort

Das Wasser hat mich schon immer fasziniert. Als Taucherin liegt mir das Meer mit seinen Bewohnern sehr am Herzen. Als ich auf einer Reise in Bali durch ein kleines Garbage Patch getaucht bin wurde mir bewusst, wie fortgeschritten die Verschmutzung durch Plastik ist. Nachdem ich mich näher mit der Problematik auseinandergesetzt habe, wurde ich auf Mikroplastik aufmerksam. Für meine Maturaarbeit wollte ich die Plastikpartikel näher untersuchen und einen Beitrag zur aktuellen Forschung leisten.

Da die Schweiz als Binnenland keinen Zugang zum Meer hat, musste ich einen Weg finden, mein Projekt trotz allem zu verwirklichen. In einem Artikel wurde ich auf die Herkunft von Mikroplastik aufmerksam. Der Gedanke, dass die immer als sauber bezeichneten Schweizer Flüsse ebenfalls schon kontaminiert sein könnten, regte mein Interesse nur noch mehr an. Ich entschloss mich dazu, den Mikroplastikgehalt am Schweizer Rhein zu untersuchen. Da es leider noch keine standardisierte Messmethode für Mikroplastik gibt, wollte ich selbstständig eine Methode entwickeln, mit der ich meine Proben auswerten konnte.

Ich möchte an dieser Stelle allen Personen danken, die mich auf meinem Arbeitsprozess begleitet und unterstützt haben:

- **Evi Bieler**, vom Nano Imaging Lab, welche mich mit der Welt des Rasterelektronenmikroskop bekanntgemacht und mich bei meinen Untersuchungen unterstützt hat.
- **Raphael Emmenegger**, der mich während meiner Arbeit als Betreuungsperson begleitet hat.
- **Meinem Vater**, welcher den «BabyLegs» mit mir gebaut hat, mich mit seinen mathematischen Kenntnissen unterstützte, sich zusammen mit **meiner Mutter** die Zeit genommen hat an einem Wochenende die Proben zu nehmen und bereit war, mit mir zur Quelle zu wandern.
- **Irina Ilona**, die mich in stressigen Zeiten beruhigt und motiviert hat.
- **Joachim Köser**, welcher mich an der FHNW empfangen hat und mir die Idee des Cell Strainers gab.
- **Kira Vivarelli**, welche mir stets den Rücken gestärkt und mich ermutigt hat.
- **Meiner Familie**, die mich während meiner Arbeit stets unterstützt und bestärkt hat.

Ich bestätige, dass ich diese Arbeit selbstständig durchgeführt habe. Fremdbeiträge sind als solche klar bezeichnet. Verwendete Hilfsmittel und Quellen sind nach den Regeln des wissenschaftlichen Arbeitens in den angefügten Verzeichnissen aufgelistet.

Münchenstein, 22.10.2021

Jessica Horni

2 Einleitung

Gewässer dienen seit jeher als Entsorgungsstelle für Abfälle aller Art. Seit der Erfindung und kommerziellen Verwendung von Kunststoff, endet auch Plastik nach Gebrauch im Ozean, wenn es nicht richtig recycelt wird. Das Plastik zersetzt sich nicht auf natürliche Weise, sondern wird durch Reibung langsam in Stücke zerteilt.

Nun sammeln sich die mikroskopisch kleinen Teilchen zusammen mit grösseren Plastikabfällen in der Umwelt, besonders am Meeresgrund und an der Meeresoberfläche. Wie gravierend die Situation am Meeresboden ist, kann nicht genau gesagt werden, da es sehr schwierig ist dies zu untersuchen. Wenn jedoch die Garbage Patches an der Oberfläche betrachtet werden, kann nur erahnt werden, wie schlimm die Lage einige Kilometer darunter aussieht. Die Plastikpartikel haben zusätzlich einen grossen Einfluss auf die Flora und Fauna, ob im Meer oder an Land. Besonders für Tiere ist Mikroplastik eine Gefahr, da sie es mit der Nahrung aufnehmen. Mikroplastik kann Schadstoffe enthalten, die sich toxisch auf Organismen auswirken können.

Die Thematik erhält zusätzliche Aufmerksamkeit, seit Mikroplastik in Fischfängen des Fischhandels nachgewiesen wurde. Das Mikroplastik, welches seit dem Anfang seiner Reise weite Strecken zurückgelegt hat, ist mittlerweile im Menschen angekommen. Bis jetzt wurden keine Nebenwirkungen festgestellt, jedoch ist der Gedanke, dass sich kleinste Kunststoffpartikel im menschlichen Körper befinden, nicht wirklich appetitlich.

In aktuellen Medien wird besonders den Garbage Patches und Bildern von an Plastikverpackungen sterbenden Tieren Beachtung geschenkt. Woher das Mikroplastik jedoch kommt und welche Rolle fliessende Gewässer bei der Verteilung der Verschmutzung haben, wird seltener diskutiert.

3 Theoretischer Hintergrund

3.1 Das Problem des Mikroplastiks

Als Mikroplastik werden Plastikteilchen von 100nm - 5mm bezeichnet (Fath, 2019).

Hauptbestandteil davon sind die Standardkunststoffe Polyethylen (PE) und Polypropylen (PP), aus welchen die meisten Plastikprodukte hergestellt werden (Liebmann et al., 2015).

Mikroplastik stellt eine grosse Gefahr für das aquatische Leben dar. Tiere verletzen sich besonders beim Verzehr von grösseren Plastikabfällen, wie Tüten oder PET-Flaschen. Oft ersticken sie jedoch auch an Dosenverpackungen und Netzen, in welchen sie hängen bleiben. Ausserdem trägt Mikroplastik massgeblich zum Absterben der Riffe bei.

3.1.1 Woher kommt Mikroplastik?

Mikroplastik kann in zwei Kategorien eingeteilt werden: Primäres und sekundäres Mikroplastik. Die beiden Typen von Mikroplastik unterscheiden sich in ihrer Herkunft, nicht nach dem Aussehen oder ihrer Grösse.

Als **primäres Mikroplastik** werden Kunststoffgranulate bezeichnet, welche direkt als Produkt oder als Produktzusatzstoff verwendet werden, wie es bei Zahnpasta und Kosmetikprodukten der Fall ist. Primäres Mikroplastik wird durch Abreibung nicht zerkleinert, da es bereits als Mikroplastik hergestellt wird. Das deutsche Umweltbundesamt schätzt, dass ca. 500 Tonnen primäres Mikroplastik für Kosmetikprodukte hergestellt wird (Essel et al., 2015).

Sekundäres Mikroplastik hingegen entsteht durch Abreibung, Zerfall und Fragmentierung von grösseren Plastikabfällen. Es erfüllt im Gegensatz zum primären Mikroplastik keinen Zweck und ist lediglich ein Zerfallsprodukt (Liebmann et al., 2015). In Europa werden schätzungsweise 3'400'000-5'700'000 Tonnen Kunststoffabfälle zu Mikroplastik fragmentiert (Essel et al., 2015).

Das Diagramm auf der nächsten Seite soll die Grössenverhältnisse der Verschmutzungsquellen visualisieren.

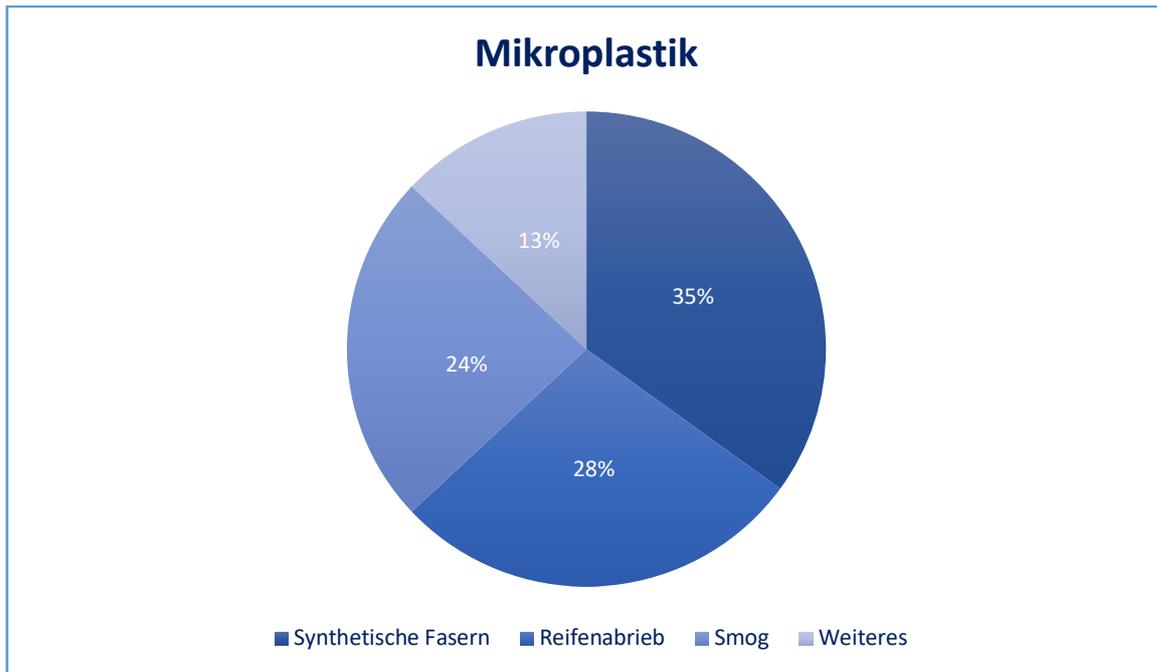


Abb. 1. Die Herkunft von Mikroplastik als Diagramm dargestellt

Rund 35% der weltweiten Meeresverschmutzung machen synthetische Fasern aus. Während dem Waschen lösen sie sich aus der Kleidung heraus und gelangen mit dem Abfluss in die Flüsse und von da aus in die Ozeane (Fath, 2019). Für 28% der primären Mikroplastikabfälle ist der Reifenabrieb verantwortlich. Die Autoreifen reiben sich während dem Fahren kontinuierlich ab. Wenn es regnet, fließt der Abrieb zusammen mit dem überschüssigen Wasser auf den Strassen in die Kanalisation oder in nahegelegene Flüsse und Seen. Weitere 24% kommen von der Luftverschmutzung über den Städten, dem so genannten Smog. 13% kommen von anderen Verschmutzungsquellen z.B. verlorengegangenen Schifffrachten mit Mikroplastikpellets, Wasch- und Reinigungsmittel, Lackierungen von Schiffen und Kosmetikprodukten (Boucher et al., 2017).

Die sekundären Mikroplastikabfälle kommen von den 4,8-12,7 Mio. Tonnen Plastikabfall, der jährlich in das Meer gelangt, zusätzlich zum Abfall aus vergangenen Jahren (Fath, 2019). Allein das «Great Pacific Garbage Patch» umfasst eine Masse von 80'000 Tonnen Plastikmüll und es gibt mehrere von diesen Sammelstellen in den Ozeanen (The Ocean Cleanup). Ein grosser Teil von dem entstandenen sekundären Mikroplastik sinkt zum Meeresboden oder sammelt sich im arktischen Eis. Beide Stellen sind schwer zu untersuchen und genaue Mengenangaben praktisch unmöglich (Fath, 2019).

3.1.2 Gefahren für Mensch und Umwelt

Wie gefährlich ist Mikroplastik wirklich? Bisher gibt es nur wenige Untersuchungen zum Einfluss von Mikroplastik auf die Umwelt.

Der Mensch kann Mikroplastik entweder über die Atmung oder die Nahrung einnehmen. Durch die Haut können keine Teilchen aufgenommen werden. Die WHO vermutet, dass die Plastikteilchen, die wir über die Luft, den Verzehr von kontaminiertem Fisch oder aus Mehrweg-PET-Flaschen aufnehmen, durch die Verdauung wieder ausgeschieden werden. Genaue Untersuchungen dazu gibt es jedoch keine. Die Konzentration im Leitungswasser ist geringer als in Wasser aus PET-Flaschen (Sträter et al., 2019). Eine grössere Gefahr als die Teilchen selbst stellen die Inhaltsstoffe des Plastiks dar, da sie oft toxische und karzinogene Stoffe enthalten (Fath, 2019).

Das Grundwasser ist von Mikroplastik nur wenig betroffen, da die Bodenschichten das Plastik aus dem Wasser filtern. Das Plastik bleibt also in den oberen Bodenschichten hängen. Ein grösseres Problem als Plastik stellen Chemikalien, besonders Hormone im Leitungswasser dar. Da das Leitungswasser in der Schweiz von hoher Qualität ist, kann es ohne Risiko genossen werden, vorzugsweise dem Wasser aus PET-Flaschen (Roszinsky, 2021).

Eine grosse Gefahr stellt das Mikroplastik für die Meeres- und Flussbewohner und Korallen dar. Fische nehmen kleinste Plastikpartikel über ihre Nahrung auf. Das Mikroplastik bleibt dabei im Verdauungstrakt hängen (Schöttner und Bayona, 2016). Schildkröten verfangen sich oft in grösseren Plastikverpackungen. Da sie von Zeit zu Zeit zum Luft holen nach oben kommen müssen, stellen die leichten Verpackungen, die an der Oberfläche treiben, eine grosse Gefahr für sie dar.

Auch grössere Meeresbewohner wie Haie und Wale bleiben vom Plastik nicht verschont, besonders im Meer treibende alte Fischernetze sind für sie ein Risiko (Albat, 2019). Da Haie andere Fische fressen, welche kontaminiert sein könnten, nehmen auch sie Mikroplastik auf. Für Wale sind besonders an der Oberfläche treibende Abfälle eine Gefahr, da sie beim Fressen nicht nur Krill, sondern auch Plastik aufnehmen.

Die wohl grösste Gefahr stellt das Mikroplastik jedoch für die Korallen dar. Kleinste Plastikteilchen reiben mit Strömungen und Wellen an den Korallen. Oft fressen Korallen die kleinen Teilchen, da sie sie nicht von Plankton unterscheiden können. Somit nehmen sie keine Nährstoffe auf und verhungern, während der Plastik ihre Verdauungsorgane verstopft oder scharfe Kanten die Korallen von innen schädigen. Ausserdem verändern Chemikalien im Plastik den natürlichen pH-Wert der Umgebung und zerstören die mit den Korallen in Symbiose lebenden Algen und Mikroorganismen (Bednarz et al., 2021).

3.2 Mikroplastik in Gewässern

Mikroplastik ist mittlerweile praktisch überall zu finden. Im arktischen Eis und Gletschern, in Wüsten oder auf Bergspitzen. Wind, Wasser und Regen verteilen das Plastik auf allen sieben Kontinenten und darüber hinaus. Besonders betroffen sind die Gewässer. Kleinste Plastikteilchen, welche in Flüsse oder Seen gelangen, finden ihren Weg in die Ozeane.

Das Meer ist die grösste Müllkippe der Welt. Aller Abfall, der nicht recycelt wird, landet hier irgendwann. Jedoch ist es wichtig zu verstehen, dass das Plastik nicht nur in den Ozeanen zu finden ist. Die lange Reise des Mikroplastiks beginnt direkt vor unserer Haustüre; in unseren Bächen und Flüssen.

Mikroplastik im Ozean

Der Ozean ist die grösste Sammelstelle für Mikroplastik. Der grösste Teil des Mikroplastiks, welches sich im Ozean befindet, findet seinen Weg nicht mehr hinaus. Natürliche Strömungen, wie der Golfstrom, treiben das Plastik in Müllstrudeln zusammen und verteilen es in den Meeren. Es bilden sich riesige schwimmende Abfallinseln, sogenannte Garbage Patches. Das wohl bekannteste Beispiel dafür ist das Great Pacific Garbage Patch.

Es gab schon viele Versuche, das Meer effizient zu säubern, aber bis jetzt gibt es noch keine vielversprechende Lösung.

An der Oberfläche treibende Plastikabfälle zu sammeln ist durchaus möglich. Ein weitaus grösseres Problem hingegen ist das Plastik, welches bis an den Meeresboden heruntersinkt. Um den Meeresboden zu säubern, wäre ein gigantischer Aufwand und neue Technologien nötig. Forscher und Umweltschützer arbeiten seit Jahren unermüdlich daran, eine Lösung für das Problem zu finden.

Mikroplastik in fliessenden Gewässern

Fast alle Flüsse münden - wenn auch oft über Umwege - ins Meer. Sie transportieren Wasser, Gestein, Sand und Abfall. Oft sind Flüsse die Hauptlieferanten von Plastikabfällen. Dies besonders in Ländern mit schlechten Abfallwirtschaftssystemen, denn dort wird Abfall oft direkt in den Flüssen entsorgt, da es keine, oder nur schlecht betriebene Mülldeponien gibt (Schmidt, 2021).

Lange wurde davon ausgegangen, dass es Mikroplastik nur in den Ozeanen gibt. Es wurde also zuerst versucht, das gefundene Plastik zu entsorgen. Erst nach geraumer Zeit wurde begonnen nach der Herkunft des Plastiks zu suchen und das Interesse an den Flüssen stieg deutlich an. Heute weiss man, dass Flüsse zu den Haupttransporteuren von Plastikabfällen aller Art gehören. Studien an grossen, in die Meere mündenden Flüssen, zeigen, dass das Problem durchaus gravierender ist, als bisher vermutet wurde.

3.3 Zusammenfassung des bisherigen Forschungsstandes

In den vergangenen Jahren hat sich die Umweltwissenschaft intensiv dem Plastik und dessen Auswirkungen auf die Umwelt zugewendet. Neben den Fragen der Herkunft und Auswirkung der Verschmutzung werden auch die chemischen Komponenten des Plastiks untersucht.

Die Forscher untersuchen, welche Arten von Plastik am häufigsten vorkommen, welche Plastikarten am giftigsten sind, welche Teilchen aufschwimmen und welche zum Meeresgrund sinken.

Eine der gefährlichsten Plastikarten für die Umwelt ist PVC ([Made Safe, 2016](#)). PVC wird aus Vinylchlorid gewonnen. Vinylchlorid wird vom Bundesamt für Umwelt als karzinogen, toxisch und mit einer narkotisierenden Wirkung eingestuft ([Bundesamt für Umwelt, 2016](#)).

Wissenschaftler gehen das Problem auf unterschiedliche Arten an. Diverse Forscher entwickeln Methoden zur Säuberung der Meere, andere wollen den Plastikverbrauch der Menschen senken und wiederum andere versuchen biobasierten biologisch abbaubaren Plastik zu entwickeln.

Die Idee mit dem biologisch abbaubaren Plastik wird in den nächsten Jahren vermutlich mehr Interesse finden, da der weltweite Plastikkonsum kaum eingeschränkt werden kann.

Doch selbst wenn es gelingen würde abbaubaren Plastik herzustellen, verschwindet das Problem der bereits vorhandenen Verschmutzung nicht.

Die Problematik muss also von beiden Seiten angegangen werden. Somit sind die grössten Ziele der Wissenschaft, die Verschmutzung zu stoppen und die vorhandene Kontamination zu beheben.

Der Niederländer Boyan Slat entwickelte für Ozeane, sowie Flüsse, verheissungsvolle Projekte. Mit einer U-förmigen Barriere will er den Plastik an den Garbage Patches in Meer konzentrieren und auffangen. So kann innert kurzer Zeit viel Plastik gesammelt und entfernt werden.

In den Flüssen setzt er hingegen auf den Interceptor™. Mit einem an Land befestigten Netz wird Plastik direkt in die grossen Abfallmulden des Interceptors™ transportiert. Diese können ausgetauscht werden, sobald sie voll sind ([The Ocean Cleanup, unbekannt](#)).

3.4 Mikroplastik im Schweizer Rhein

Wie alle anderen Flüsse transportiert der Rhein grosse Mengen an Mikroplastik ins Meer. Als einer der grössten Flüsse Europas trägt er eine beachtliche Menge zur Verschmutzung bei. In seinem grossen Einzugsgebiet leben viele Menschen, welche zur Verschmutzung beitragen. Die vielen Zuflüsse vergrössern die Menge von Abfällen zusätzlich.

Ein weiterer Verschmutzungsfaktor ist die Schifffahrt, welche auf mehr als drei Vierteln des Flusses möglich ist.

3.4.1 Aufbau des Schweizer Rheins

Der Schweizer Rhein beginnt bei der Quelle am Tomasee und endet beim Dreiländereck in Basel. Er kann in sechs Abschnitte gegliedert werden: Vorder- und Hinterrhein, Alpenrhein, Bodensee, Hochrhein, Oberrhein. Der Bodensee kann indes in weitere Abschnitte unterteilt werden (Wikipedia, 2021) ¹.

Die **Rheinquelle** kann nicht genau bestimmt werden. Da mehrere kleine Bäche in den Tomasee münden, ist es schwierig zu messen, welcher davon die Quelle ist. Allgemein gilt deshalb der Tomasee als Quelle.

Vom Tomasee aus beginnt der **Vorderrhein**. Der **Hinterrhein** entspringt beim Rheinwaldhorn und fliesst über Thusis Richtung Reichenau, wo die beiden Flüsse zusammenfliessen. Erst ab dieser Stelle wird der Fluss Rhein genannt und fliesst als Alpenrhein zum Bodensee. Zuvor werden Vorder- und Hinterrhein als getrennte Begriffe verwendet (Wikipedia, 2021) ².

Das Wasser des **Alpenrheins** ist milchig von Schmelzwasser und Schwebfracht. Bei der Mündung in den Bodensee setzt sich viel vom Fluss transportiertes Material im See ab, welches deshalb permanent mit Baggern abgebaut werden muss.

Beim Rheinbrech vermischt sich das milchige Rheinwasser mit dem klaren Wasser des Bodensees. Der **Bodensee** wird in die Abschnitte Obersee, Seerhein und Untersee geteilt. Auf den Bodensee wird an dieser Stelle nicht detailliert eingegangen.

Bei Stein am Rhein fliesst der **Hochrhein** aus dem Bodensee heraus. Am Hochrhein befindet sich der Rheinfall, welcher einer der grössten Wasserfälle Europas ist. Die Aare mündet bei Koblenz AG, als grösster Zufluss des Rheins, in den Hochrhein.

Bei der Mittleren Brücke in Basel beginnt der **Oberrhein**, welcher sich über die Grenze hinaus bis nach Bingen in Deutschland erstreckt (Wikipedia, 2021) ¹.

3.4.2 Mögliche Eintragsquellen für Mikroplastik

Schmelzwasser: Mit dem Schmelzwasser kommt viel Mikroplastik aus Skigebieten in die Flüsse. Das Plastik stammt oftmals vom Kunststoff-Skibelag, welcher sich beim Bremsen abreibt (DAV, 2021).

Wasserkreislauf: Ein anderer Weg wie Mikroplastik in die abgelegenen Alpen gelangen kann ist der Regen. Mit dem durch Verdunstung entstandenen Wasserdampf steigen die Plastikteilchen vom Meer aus in die Atmosphäre auf und gelangen über den Wasserkreislauf wieder zurück in die Gebirge (Vgl. Abb. 2).

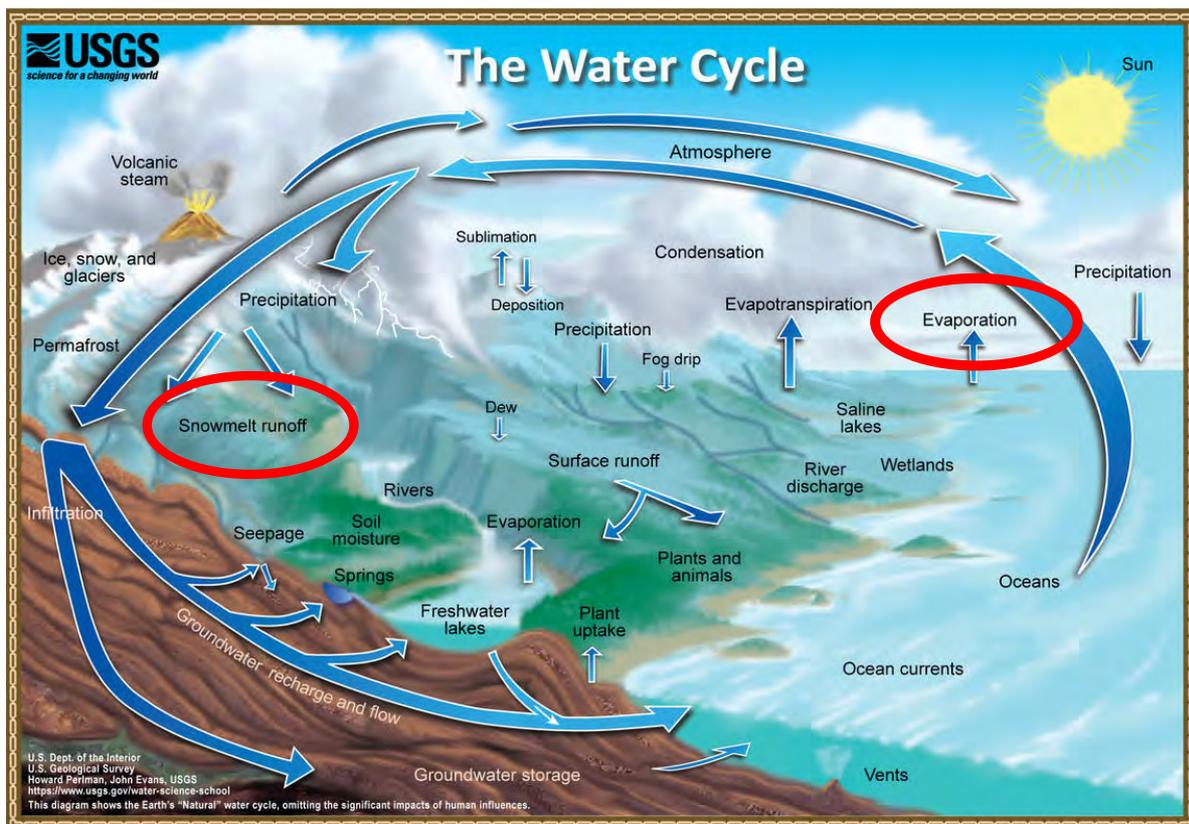


Abb. 2. Wasserkreislauf (Perlman, Evans, 2019)

Wind: Die kleinen leichten Plastikpartikel können auch vom Wind aufgefangen und über weite Strecken transportiert werden.

Bevölkerungsdichte: Die Bevölkerungsdichte spielt eine grosse Rolle. Je mehr Personen an einem Ort leben, desto grösser ist die Menge an Plastikabfällen, die sie produzieren. Ausserdem wächst dadurch die Wahrscheinlichkeit, dass mehr Abfälle in den Flüssen landen, da es mehr Verkehr an den Ufern gibt.

Strassen: Ein grosser Anteil von Mikroplastik kommt vom Reifenabrieb der Autoreifen. Ähnlich wie beim Skiabrieb nutzen sich die Reifen auf den rauen Strassen ab. Bei Regen gelangen die

Teilchen dann über Abflusskanäle direkt in nahe gelegene Flüsse. Vielbefahrene Strassen in Flussnähe tragen so eine grosse Menge an Mikroplastik bei (Vgl. Kap. 3.1.1).

Zuflüsse: Zuflüsse bringen Plastikabfälle, welche mit den bereits genannten Faktoren in die Flüsse gelangt sind, in den Hauptfluss.

Rheinbäder: Bäder können ebenfalls eine Eintragsquelle für Abfälle sein. Jedoch weniger für Mikroplastik, sondern eher für direkte Plastikabfälle, da Abfall dort von Besuchern direkt im Wasser entsorgt wird.

Industrieanlagen: Grosse Industriegebiete bringen ebenfalls viele Plastikabfälle hervor. Durch regelmässigen LKW-Verkehr gibt es viel Reifenabrieb. Es besteht ausserdem eine grosse Gefahr, dass Chemieabfälle und Chemikalien ins Wasser gelangen.

Schiffsverkehr und Häfen: Bei Schiffsverkehr besteht immer die Möglichkeit, dass Abfälle von den Schiffen in die Flüsse fallen. Hier besteht ausserdem die Gefahr von Ölschäden. In Häfen stauen sich Schmutzwasser, Öl und Plastikabfälle. Die Wasserverschmutzung wird in Abb. 3. verdeutlicht.

Wasserkraftwerke: In Wasserkraftwerken wird das Wasser erneut aufgewirbelt. Es ist gut möglich, dass sich Mikroplastik vor Wasserkraftwerken sammelt und nach dem Aufwirbeln vermehrt im Wasser gemessen werden kann.

Kläranlagen: Von Kläranlagen könnten grössere Mengen an Mikroplastik in den Rhein eingetragen werden, welche direkt aus den Haushalten kommen. Es handelt sich also um primäres Mikroplastik, grösstenteils aus Kosmetikprodukten (Fath, 2019).

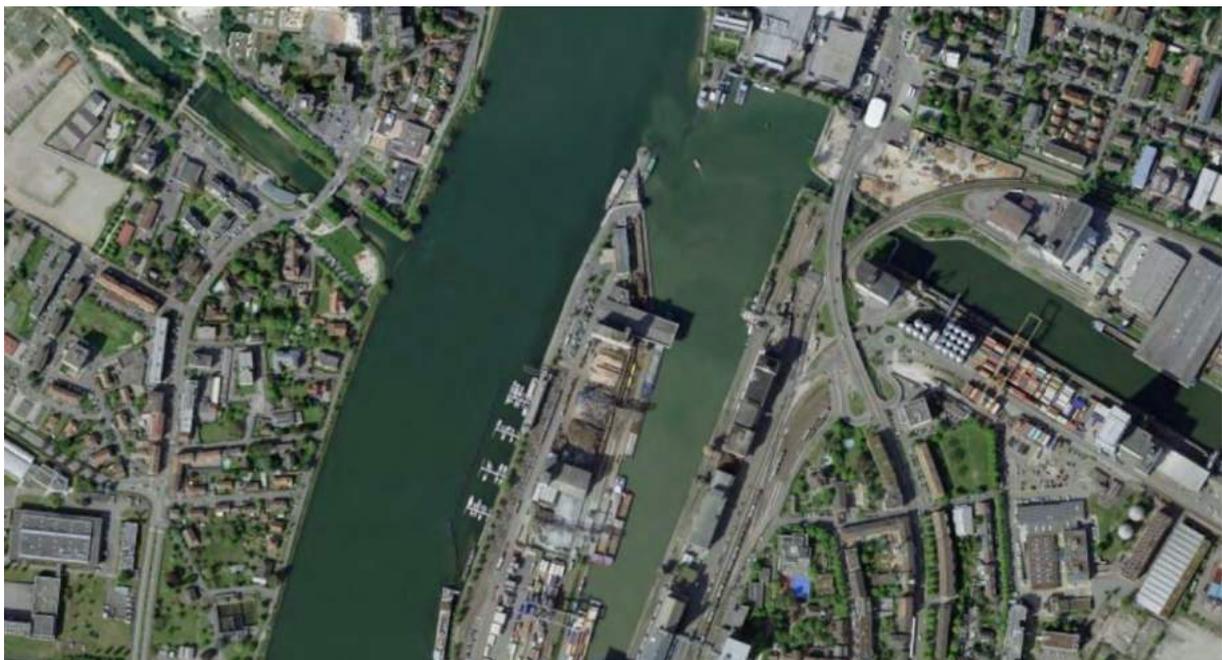


Abb. 3. Unterschied Hafenbecken Basel neben fliessendem Rhein (Bing)

4 Methode

4.1 Entwicklung einer Messmethode/Auswertungsmethode

Im folgenden Kapitel wird die Entwicklung der verwendeten Mess- und Auswertungsmethode genau beschrieben und erklärt. Die benötigte Zeitspanne vom ersten Treffen mit der Betreuungsperson bis zur ersten erfolgreich ausgewerteten Probe betrug insgesamt 2.5 Monate. Die Messmethode wurde während dieser Zeit mehrmals erneuert, angepasst und getestet. Die entnommenen Proben wurden im Nano Imaging Lab der Universität Basel untersucht und ausgewertet.

4.1.1 Erste Versuche

Es wurde nach Methoden gesucht, um Mikroplastik zu filtrieren und zu untersuchen.

Die erste vielversprechende Methode war das Manta Trawl Net. Diese Apparatur wird mit Seilen ins fließende Wasser gegeben. Das Netz filtert anschliessend im Wasser treibende Plastikteilchen heraus. Diese Netze sind jedoch sehr teuer und mussten somit als Versuchsmethode ausgeschlossen werden.

Da es noch kein festes Verfahren zur Filterung von Mikroplastik gibt, gestaltete sich die Suche nach einer geeigneten Methode eher schwierig. Es konnten auch keine Kenntnisse aus der Forschung der Universität Basel (2015) gezogen werden, da dort ebenfalls ein Manta Trawl Net benutzt wurde. Es wurden also kostengünstigere Filter in Erwägung gezogen.

In einem Artikel von Greenpeace wurde auf Kaffeefilter aufmerksam gemacht ([kids.Greenpeace, unbekannt](#)). Jedoch wollte eine professionellere und wissenschaftlich korrektere Messmethode gefunden werden, als ein Kaffeefilter, da dieser für eine Maturaarbeit etwas dürftig wirkte. Nalgene® Flaschen von Faust standen privat bereits zur Verfügung. Für diese Flaschen können separate Filter bestellt werden, welche direkt an die Flaschen angeschraubt werden. Mit einer pneumatischen Druckpumpe, die ebenfalls privat zur Verfügung stand, kann das Probenwasser dann durch die Filter gepumpt werden. Anschliessend wird das Filterplättchen entfernt und zur Auswertung getrocknet.

Es standen nun zwei potentielle Methoden zum Testen zur Verfügung.

Es bestand jedoch eine Unsicherheit bezüglich des Trennens von organischem Material und Mikroplastik. Mehrere bekannte Methoden (Dichtentrennung, Chemikalien etc.) wurden in Erwägung gezogen, konnten jedoch nicht ausgeführt werden, da das Material, die Geräte, die Räumlichkeiten und das nötige Wissen nicht zur Verfügung standen (Vgl. Kap. 4.1.3).

4.1.2 «BabyLegs»

Die Idee des «BabyLegs» kam von der Betreuungsperson. Beim «BabyLegs» handelt es sich um eine kostengünstigere Version des Manta Trawl Nets, welche aber selber gebaut werden kann. Die Idee klang vielversprechend, da «BabyLegs» dem Manta Trawl Net sehr ähnlich ist (Liboiron, 2015). Von der Betreuungsperson wurde eine Anleitung und Formeln zur Berechnung des Volumenstroms V zur Verfügung gestellt. Der Volumenstrom V muss bestimmt werden, um die Anzahl der potentiell gefilterten Plastikteilchen zu berechnen.

Rechnungsweg Anzahl potentielle Plastikteilchen:

Als Ausgangswert für die Menge an Plastikteilchen wurden die Werte der Universität Basel genommen die bei **4.94 Teilchen pro 1000l liegen** (Mani, 2015).

Die verwendete Formel lautet wie folgt:

Die durchschnittliche Fließgeschwindigkeit des Rhein liegt bei 6-12km/h. Der Mittelwert liegt bei 9km/h \rightarrow 2.5m/s (Rickmann, unbekannt).

Rohrdurchmesser «BabyLegs»: 12cm. Die Fläche der Rohröffnung entsprechend der Formel πr^2 misst $0.0113m^2$.

Formel Volumenstrom: $A \times$ Fließgeschwindigkeit

Beispiel mit Durchschnittswert 2.5m/s:

$$V = 0.0113m^2 \times \frac{2.5m}{s} = \frac{0.01963m^3}{s} = \frac{19.63l}{s}$$

Nun galt es eine Zeitspanne zu bestimmen in welcher möglichst viele Teilchen gefiltert werden sollten. Beispiel mit 20min: $20 \text{ min} = 1200s$

$$1200 \times 19.63 = 23556 \Rightarrow \frac{23556}{1000} = 23.556 \Rightarrow 23.556 \times 4.94 = \mathbf{116.4 \text{ Teilchen}}$$

Bei diesen 116.4 Teilchen handelt es sich jedoch nur um einen theoretischen Wert, da kleinere Teilchen durch den Strumpf hindurchfließen und nicht garantiert ist, dass genau 19.63l/s durch den Strumpf gehen, da dieser einen Widerstand gegen das fließende Wasser auswirkt.

Das Ziel war es an allen Stellen 25000l zu filtern. Dafür wurde die folgende Formel benutzt:

$$\frac{25m^3}{(0.0113m^2 \times \frac{(x) m}{s})} = (x) s \rightarrow \frac{(x)}{60} = (x)min$$

Zuhause wurde der «BabyLegs» mit der Anleitung nachgebaut. Anstelle einer PET-Flasche wurde ein PVC Rohr verwendet. Die Kraft eines strömenden Flusses ist sehr gross und wirkt besonders auf eine kleine Stelle wie die Öffnung des «BabyLegs» sehr stark und es wurde befürchtet, dass eine PET-Flasche einreissen könnte.

Das Bauen war einfach und dauerte nur eine halbe Stunde. Da das Rohr jedoch beim Bohren oft verrutscht war und festgehalten werden musste, wurde Hilfe benötigt. Alle notwendigen Materialien standen zur Verfügung, nur die Babystrümpfe mussten gekauft werden.



Abb. 4. Selbst gebauter «BabyLegs»

Nun standen alle Messmethoden bereit für eine erste Testprobe. Diese wurde von der Fähre «Ueli» in Basel genommen. Da die Brücken in Basel sehr hoch sind und eine Probe möglichst in der Mitte des Flusses genommen werden wollte, wurde entschieden, die Probe direkt von der Fähre zu nehmen, da keine langen Seile zur Verfügung standen. Dies stellte sich auch als gute Idee heraus, da der «BabyLegs» in der starken Strömung nicht einfach handzuhaben war.

Da bei den anderen Probestellen jedoch keine Fähre zur Verfügung stand, wurde der «BabyLegs» auch noch von einer niedrigen Brücke aus in der Birs getestet, was funktioniert hat und später auch so angewendet wurde.

Die erste Testprobe im Rhein lief wie folgt ab:

Zuerst wurde die Fliessgeschwindigkeit gemessen. Dafür wurde am Flussufer eine Strecke von 30m abgemessen. Eine Person warf am Anfang der 30m ein Stück Brot in den Fluss. Eine andere Person stoppte die Zeit, die das Brot brauchte, um die 30m zum Ende der 30m zu treiben. Dieser Vorgang wurde 3x wiederholt. Für die Berechnungen wurde jeweils der Durchschnittswert verwendet. Für die erste Probenahme wurde der «BabyLegs» 24 Minuten im Wasser gelassen. Es hatte zuvor stark geregnet und die Strömung war entsprechend stark. Ausserdem wurde so viel mehr Wasser und Schlamm aufgewirbelt als sonst. Deshalb befand sich im Strumpf sehr viel

organisches Material wie Algen, Ästchen und besonders viele Insekten. Ausserdem wurden 4l Rheinwasser mit den Nalgene® Flaschen aus dem Fluss entnommen. Zuhause wurde der Strumpf vorsichtig mit einer Pinzette auf sichtbare Plastikteilchen untersucht, gefunden wurde nur ein dünner roter Faden, dessen Material nicht eindeutig zu bestimmen war.



Abb. 5. Organisches Material im Strumpf des «BabyLegs»

Danach wurde der Strumpf vorsichtig in einem Eimer ausgewaschen, sodass sich das gesamte Material im Wasser befand. Dieses Wasser wurde danach zuerst durch ein dünnes Backsieb gegossen, um das grosse organische Material abzutrennen. Danach wurde das Wasser durch ein Siebdrucknetz gegossen. Anschliessend wurde das Wasser durch einen Kaffeefilter gelassen. Der Kaffeefilter sowie der Strumpf wurden getrocknet, um sie besser untersuchen zu können.

4.1.3 Der Cell Strainer

Wie bereits erwähnt, sollte eine professionellere und sicherere Methode als der «BabyLegs» gefunden werden, um die Proben zu filtern (Vgl. Kapitel 4.1.1). Mit der erwähnten pneumatischen Druckpumpe wurde eine der Wasserproben durch den über Faust bestellten Bottle-Top-Filter von Nalgene™ gepumpt. Diese Filter haben eine spezielle SFCA-Membran. Filter mit SFCA-Membranen (Surfactant-free Cellulose Acetate) haben keine Oberflächenbehandlungsmittel und sollten so keinen Einfluss auf die Proben haben. Die Membran wurde nach dem Filtern herausgeschnitten und getrocknet.

Es ergab sich die Möglichkeit Herr Dr. Joachim Köser im **Institut für Chemie und Bioanalytik** an der Hochschule für Life Sciences FHNW zu besuchen. Herr Köser bot an, die Einrichtungen des Labors für die Testproben zu benutzen. In einer Email wurde erwähnt, dass es im Labor einige Filter gäbe, die zur Verfügung stehen. Leider konnten diese, abgesehen von einem

Filterpapier, wegen einer falschen Porengrößenangabe nicht verwendet werden. Das Filtern mit dem Papier dauerte sehr lange, weswegen mit Druck gearbeitet wurde.

Währenddessen kam die Idee auf, einen **Cell Strainer** (auf Deutsch: Zellsieb) zu verwenden. Normalerweise werden damit, wie der Name schon sagt, Zellen abgeseiht. Die Cell Strainer werden somit primär in der Zellforschung verwendet. Da es sich jedoch ebenfalls um einen sehr feinporigen Filter handelt, wurde diese Idee getestet. Es wurde eine Wassermenge von ca. 200ml durch einen Cell Strainer gelassen.

Unter einem Lichtmikroskop, welches vorbereitet wurde, konnte der Cell Strainer mithilfe der EPview App untersucht werden. Zuerst wurde nach den aus den Medien bekannten Plastik Kügelchen gesucht. Es wurden keine gefunden.

Herr Köser erwähnte, dass Plastik unter dem Lichtmikroskop oft durchsichtig und glatt erscheint. Mit den neuen Informationen wurde ein Objekt mit denselben Eigenschaften gefunden. Es handelte sich um eine Plastikfaser. Bisher wurde zu sehr auf Plastik Kügelchen geachtet und die Plastikfasern komplett ausser Augen gelassen. Dieser Fund bewies jedoch, dass sich der Cell Strainer für die Methode eignete. Ausserdem war die Oberfläche des Zellsiebes viel einfacher zu untersuchen als ein anderer Filter, da der Filter klar von anderem Material unterschieden werden kann.

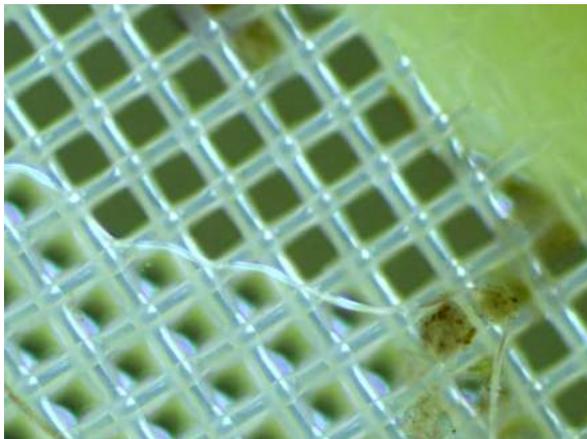


Abb. 6. Plastikfaser unter Lichtmikroskop

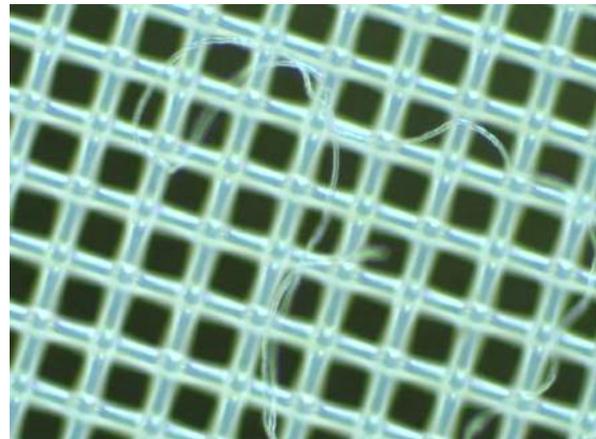


Abb. 7. Unterschied Cell Strainer und Faser

Es gibt mehrere Arten von Zellsieben mit verschiedenen Maschenweiten. Bei Herr Köser wurde eine Grösse von 40µm und 100µm getestet. Gewählt wurde der Cell Strainer mit der Maschenweite 100µm, da er sehr viel feiner ist als die anderen. So wurde erwartet, dass dieser Cell Strainer mehr Plastikfasern filtert als die anderen. Dieses Vorgehen musste jedoch zuerst noch etwas genauer untersucht werden.

Mit dem Cell Strainer konnte zusätzlich ein älteres Problem teilweise umgangen werden. Dadurch, dass die Wasserprobe eher klein war wurde vermutet, dass der Anteil an organischem Material ebenfalls klein sein wird. In keiner der Testproben wurden grosse Mengen an sichtbarem organischem Material gefunden. Aufgrund dessen, wurden alle Proben direkt ohne erste Filtration durch den Cell Strainer gegossen.

4.1.4 Erster Besuch im Nano Imaging Lab

Nach dem Besuch bei Herrn Köser konnte zusätzlich das **Nano Imaging Lab** des Swiss Nano Science Institute (SNI) besucht werden. Dort wurde das Labor von Frau Evi Bieler vorgestellt. Mit dem Rasterelektronenmikroskop (kurz **REM**) sollte die Oberfläche der gefundenen Fasern genauer untersucht werden, um festzustellen, ob es sich um Plastik handelt.

Frau Bieler erklärte den Vorgang der Probenpräparation für das REM.

Proben, die mit dem REM untersucht werden sollen, müssen vakuumstabil sein. Dafür mussten alle entnommenen Proben absolut wasserfrei sein, weshalb die Filter zuvor bei 50° im Ofen über mehrere Stunden hinweg getrocknet wurden. Zusätzlich dürfen sich die Proben unter Elektronenbeschuss nicht verändern oder ausgasen.

Zuerst wurden mit einem Skalpell kleine Stücke von den verschiedenen Filtern ausgeschnitten, und auf mit Kohlenstoff beschichtete Plättchen geklebt. Diese wurden danach wiederum auf einen Probenhalter geklebt. Bevor die Filter endgültig für das REM aufbereitet wurden, wurden sie zusätzlich unter dem Lichtmikroskop untersucht. Besonders der Strumpf des «BabyLegs» war von Interesse, da dieser zuvor noch nicht mikroskopisch untersucht wurde.

Da die Filter teilweise organische Materialien enthielten und nicht leitfähig waren, konnten sie nicht direkt in das REM gelegt werden. Mit einem Verfahren welches Sputtern genannt wird, wurden die Filter mit einer dünnen Goldschicht versehen, um sie unter dem REM erkennbar zu machen. Da Gold elektrisch sehr leitfähig ist, konnten bei der Abbildung im REM Aufladungserscheinungen verhindert werden. Zusätzlich verbessert das elektronenreiche Gold die Signalausbeute und gibt der Probenoberfläche Stabilität unter dem Elektronenstrahl.



Abb. 8. Mit Goldschicht überzogene Proben



Abb. 9. Sputteranlage

Die mit 20nm Gold gesputterten Proben konnten danach in das REM gelegt werden. Evi Bieler gab eine Einführung in die Bedienung des Rasterelektronenmikroskops. Die Vergrößerung ergibt sich aus der Grösse der abgerasterten Fläche auf der Probe.

Durch einen motorbetriebenen Probenstisch kann der zu untersuchende Bildausschnitt gezielt angesteuert werden. Weitere technische Details werden an dieser Stelle nicht erläutert.



Abb. 10. Fernsteuerung des REM

Nach der Einführung wurde zuerst der Cell Strainer untersucht. Kurze Zeit später wurde die Plastikfaser, welche am Vortag bei Herr Köser schon entdeckt wurde, erneut gefunden. Frau Bieler stellte einige Bilder ähnlich Abb. 11 aus einer älteren Forschung zur Verfügung. So wurde klar, wie Plastik von organischem Material unterschieden werden kann. Plastik erscheint sehr glatt unter dem REM. Organisches Material (z.B. Haare oder Pflanzenfasern) hingegen ist uneben, schuppig und einzelne Zellen können oft gut erkannt werden. Auch bei den Untersuchungen im REM wurden keine kugelförmigen Plastikteilchen gefunden.

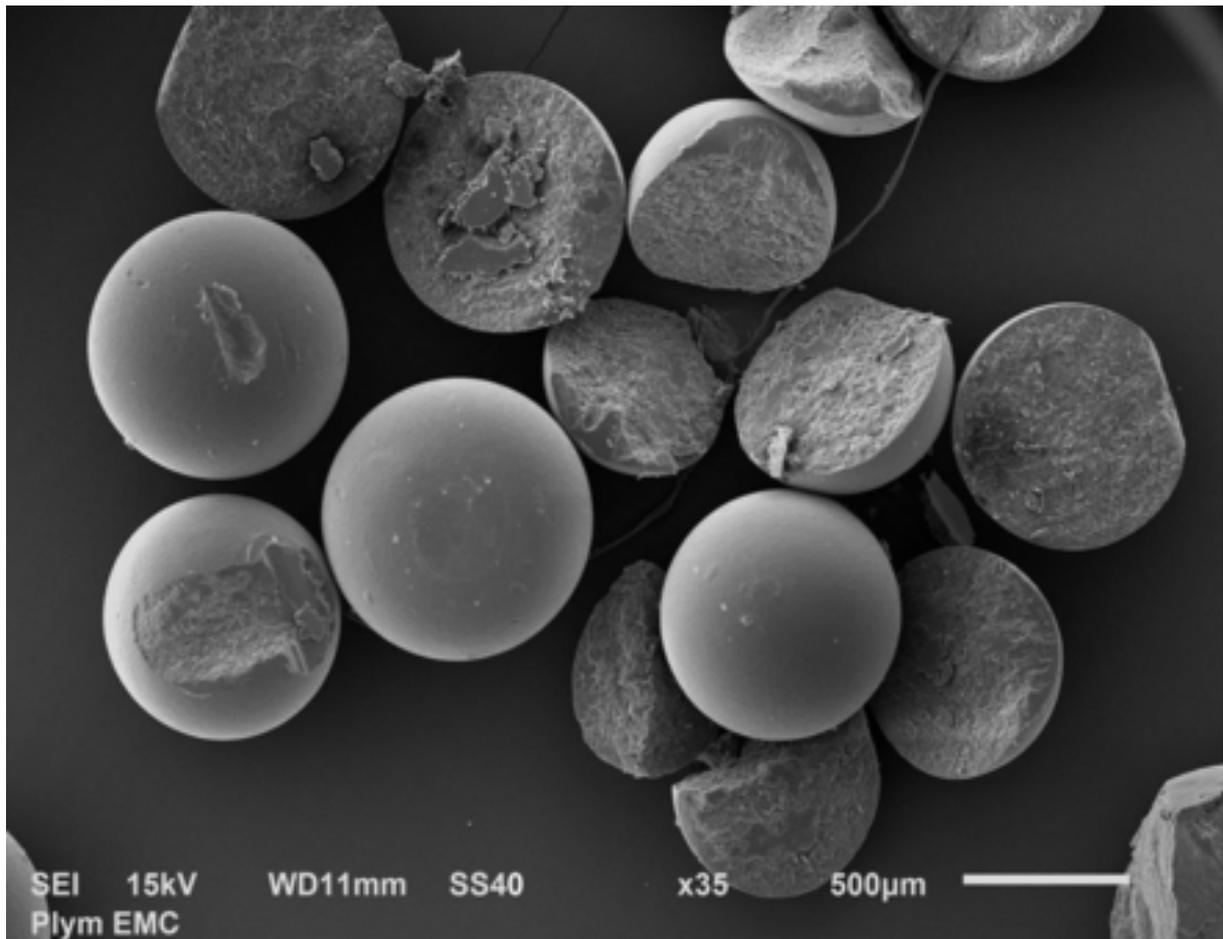


Abb. 11. Beispiel Kugelförmige Plastikteilchen (Katnelson, 2015)

Da nur drei Stunden zur Verfügung standen, konnten nicht alle Proben untersucht werden. Es wurde entschieden nur die wichtigsten Filter zu untersuchen: den Cell Strainer, den Strumpf, den Filter von Faust und den Kaffeefilter, um herauszufinden welche Filtrationsart am erfolgversprechendsten ist.

Der Cell Strainer wurde schnell zum klaren Favoriten. Unter dem Lichtmikroskop konnte er farblich gut von organischem Material unterschieden werden. Die maschinell hergestellten Maschen konnten klar von anderem Material abgegrenzt werden.

Ausserdem wurde er schnell zum Vergleichsmaterial für andere Plastikfasern. Die glatte und einheitliche Oberflächenstruktur aus Polypropylen konnte gut mit der Oberfläche der Fasern abgeglichen werden. Obwohl sie beide aus Plastik bestanden, konnten sie gut voneinander unterschieden werden.

Der Strumpf musste als zuverlässige Filtrationsmethode ausgeschlossen werden. Bereits unter dem Lichtmikroskop konnte nur schwer etwas erkannt werden. Der Strumpf filterte das gesamte organische Material, welches in ihn hineinströmte. Da die Probenmenge mehrere tausend Liter betrug, war auch der entsprechende Anteil von zusätzlichem Material grösser, als bei einer 4l Wasserprobe. Einen einzelnen Strumpf komplett unter dem REM zu untersuchen hätte mehrere

Tage gedauert. Die unebene Oberfläche konnte nur schwer von Algen und Plastikfasern unterschieden werden. Die Bilder waren unübersichtlich und brachten keine klaren Ergebnisse. Es wurde beschlossen, den «BabyLegs» trotzdem zu verwenden, um zu sehen ob es sichtbare Plastikabfälle im Wasser hat, denn bei der Probenmenge ist dies durchaus möglich, wenn man die berechnete Teilchenmenge in Betracht zieht (Vgl. Kap. 4.1.2).

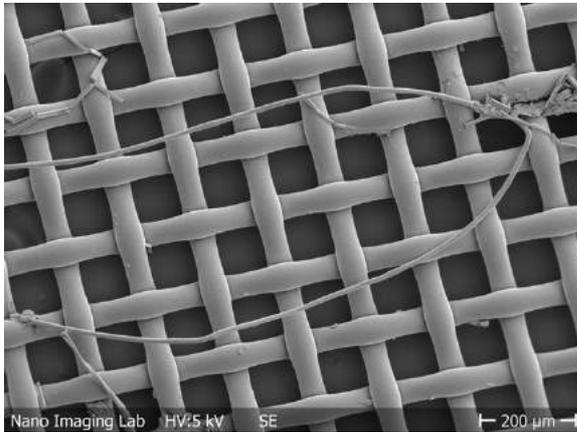


Abb. 12. Cell Strainer



Abb. 13. Babylegs Strumpf

Der Filter von Faust war nicht sehr aussagekräftig. Mit seiner kleinen Porengrösse war er sehr dicht. Im Gegensatz zum Cell Strainer, liess er grössere Teilchen und Material nicht hindurch und war somit sehr bepackt. Er konnte jedoch rein optisch gut von anderem Material unterschieden werden. Nach dem Cell Strainer wäre er die zweite Wahl gewesen. Wenn man jedoch das Ergebnis und die Kosten in Betracht zieht, war der Cell Strainer die bessere Lösung, denn die REM-Aufnahmen vom Faust Filter waren nicht ganz so klar zu deuten wie die des Cell Strainers.

Der Kaffeefilter Melitta® wurde nach der Untersuchung ebenfalls ausgeschlossen. Da er aus Papier, also organischem Material, besteht, konnte er nur schwer vom restlichen Material unterschieden werden. Ausserdem war die Oberfläche sehr grob und Material blieb zwischen und unter den Papierfasern stecken.

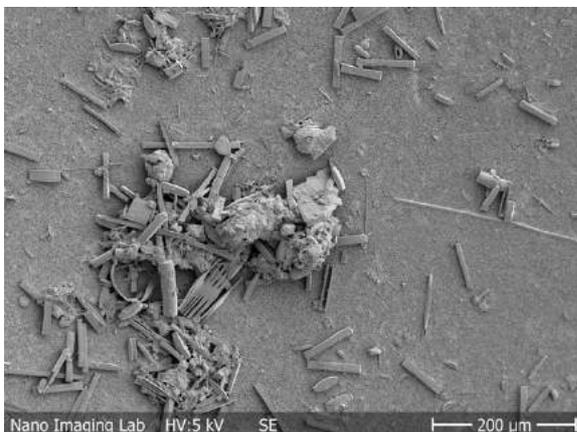


Abb. 14. Faust Filter

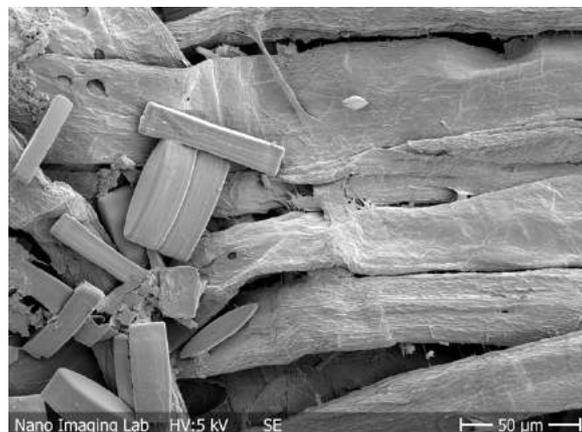


Abb. 15. Melitta Kaffeefilter

Nach dem erfolgreichen Vorversuch wurde entschieden, dass die weiteren Proben in Zusammenarbeit mit dem Nano Imaging Lab untersucht werden sollen. Nachdem der Zeitaufwand für die Probenauswertung erfassbar wurde, war klar, dass die Auswertung in der vom Gymnasium zur Verfügung gestellten Sonderwoche stattfinden muss. Nach Absprache mit Frau Bieler wurden die Tage vom 9.7-11.7.2021 reserviert.

4.2 Festlegung der Untersuchungsstandorte

Mit der Betreuungsperson wurde entschieden, vier Proben zu nehmen. Drei entlang dem Rhein und eine Probe von der Quelle als Nullprobe. Basel war der erste Probenort der bestimmt wurde, die grösste Stadt am Schweizer Rhein. Basel ist die letzte Station des Rheines innerhalb der Schweiz. Der Rhein fliesst mit Basel insgesamt 376km durch die Schweiz. Es wurde daher vermutet, dass sich in Basel der grösste messbare Plastikanteil finden lässt (Wikipedia, 2021)¹. Es wurde entschieden, die Probe im unteren Teil von Basel zu nehmen, da der Rhein an dieser Stelle schon durch die gesamte Stadt geflossen ist. Die Probe musste aber oberhalb des Hafens genommen werden, um Verschmutzungen durch Chemikalien, besonders Öl, zu vermeiden, da diese abgesehen vom organischen Material sehr schwierig zu entfernen sind.

Wie in Kapitel 4.1.2 erwähnt, wurde entschieden den «BabyLegs» von einer Brücke aus ins Wasser zu lassen. Das Wasser in der Mitte eines Flusses fliesst am schnellsten und transportiert so auch die grösste Menge an Material. In Basel sind die Brücken jedoch sehr hoch und eignen sich somit wenig für eine Probenentnahme. Da die Testprobe von der Ueli Fähre genommen wurde, wurde entschlossen diesen Prozess zu wiederholen, da die Stelle den Anforderungen entspricht. Die Wasserprobe von 4l konnte bequem vom Bootssteg aus entnommen werden, wie auf Abb. 16 gezeigt wird.



Abb. 16. Probenentnahme mit einer Nalgene® Flasche vom Landesteg der »Ueli« Fähre

Als zweite Stelle wurde der Rheinfall gewählt. Zuvor fliesst der Rhein in den Bodensee, wo sich vermutlich viele Partikel absetzen, da es sich um ein Stilles Gewässer handelt. Um dies zu prüfen, sollte eine Probe kurz nach dem Rheinfall genommen werden, da der Wasserfall das gesamte Wasser aufwirbelt und somit auch Teilchen vom Flussgrund zur Oberfläche kommen. Ungefähr 1km nach dem Rheinfall wurde eine geeignete Brücke für den «BabyLegs» gefunden. Zusätzlich gab es Spazierwege am Flussufer, von wo aus bequem die Wasserprobe genommen werden konnte.

Als dritte Stelle wurde eine Brücke bei Zizers GR festgelegt. Die unterhalb Chur liegende Stadt eignet sich gut, da Chur die zweitgrösste Stadt am Schweizer Rhein ist. Ausserdem gibt es den speziell zu beachtenden Faktor Schmelzwasser. Da die Proben im Juni genommen wurden, spielt das Schmelzwasser durchaus eine Rolle, da die Wassermenge sowie die Fliessgeschwindigkeit zu dieser Zeit grösser sind. Ausserdem hat es in diesem Abschnitt des Rheines oft grössere Steine im Wasser, die mit den Zuflüssen aus den Bergen kommen und das Wasser aufwirbeln.

Als letzte Probe wurde die Quelle gewählt. Es wurde davon ausgegangen, dass sich in einer Probe der Quelle keine Plastikteilchen finden lassen werden, da das Wasser frisch und neu ist. Als Probenort wurde der Tomasee gewählt (Vgl. Kap. 3.4.1). Da es sich ausserdem um ein ruhendes Gewässer handelt, wurde davon ausgegangen, dass die Plastikmenge Null sein wird. Die einzige Verschmutzung, die vermutet wurde, waren Abfälle von Wanderern, die wären jedoch sehr gross und noch nicht zerkleinert, da sie direkt im See entsorgt worden sind. Sie können demnach nicht als Mikroplastik klassifiziert werden.

4.3 Probenentnahme

Die Proben Rheinfall, Zizers und Quelle wurden im Zeitraum vom 4.6 - 6.6.2021 genommen. Zuvor wurden alle Nalgene® Flaschen mit heissem Wasser gefüllt 5 Minuten stehen gelassen und danach mit kaltem Wasser ausgewaschen, um sie zu sterilisieren. Alle Flaschen wurden mit dem jeweiligen Entnahmeort beschriftet. Für jede «BabyLegs» Probe wurde ein neuer Strumpf verwendet. Die Strümpfe wurden in Plastiksäcken nach Hause transportiert.

Rheinfall: Am Rheinfall wurde der «BabyLegs» zum ersten Mal von einer etwas höheren Brücke in Wasser mit hoher Fliessgeschwindigkeit getestet. Nach wenigen Minuten mussten die PET-Flaschen des «BabyLegs» entfernt werden, da sie den «BabyLegs» gegen die starke Strömung aufgerichtet haben und er so nicht mehr komplett im Wasser war. Die Flaschen wurden nicht mehr zurück montiert, da die Strömung wegen starken Regenfällen überall stark war.



Abb. 17. «BabyLegs» beim Rheinflall

Nachdem der «BabyLegs» aus dem Wasser genommen wurde, konnten Löcher im Strumpf erkannt werden, dort wo der Strumpf an der Halterung angemacht war. Die Strömung hatte sehr stark am Strumpf gezogen. Zuvor wurde von der Betreuungsperson vorgeschlagen, den Strumpf von Zeit zu Zeit aus dem Wasser zu nehmen und zu testen, wie durchlässig er noch ist. Dies konnte jedoch nicht ausgeführt werden, da der Strumpf bei mehrfachem Herausnehmen vermutlich ganz zerrissen wäre. Die Wasserprobe konnte ohne Probleme entnommen werden.

Zizers: Bei Zizers gab es einige Probleme. Da die Strömung sehr stark und der Wasserstand sehr hoch war, gab es Schwierigkeiten beim Messen der Fließgeschwindigkeit. Es mussten mehrere Versuche gemacht werden (Vgl. Kap. 8.1).

Wie auf Abb. 18. ersichtlich ist, war das Wasser sehr unruhig und stark aufgewirbelt, was an der grauen milchigen Farbe erkennbar ist. Die Farbe verdankt der Rhein jedoch auch dem Schmelzwasser aus seinen Zuflüssen. Der Strumpf des «BabyLegs» war nach den 19 Minuten voll mit kleinen mineralischen Partikeln (Vgl. Abb. 19). Auch hier konnte die Wasserprobe ohne Probleme entnommen werden.



Abb. 18. Unruhiges Wasser bei Zizers



Abb. 19. Voller «BabyLegs» Strumpf

Quelle: Die grössten Probleme traten bei den Proben der Rheinquelle auf. Es konnten keine Proben aus dem Tomasee genommen werden, da der Wanderweg zum See wegen starkem Schneefall gesperrt war. Es konnten jedoch Proben aus einem Wasserfall etwas unterhalb des Sees genommen werden, der unterhalb der Schneegrenze lag. Da nur wenige hundert Höhenmeter zwischen dem See und dem Entnahmeort liegen, wurde davon ausgegangen, dass eine Probe etwas unterhalb des Sees keine signifikanten Unterschiede aufweisen würde.

Da der «BabyLegs» in einem Wasserfall befestigt wurde, mussten die Zeitberechnungen angepasst werden. Zuerst wurde die Fliessgeschwindigkeit berechnet, danach mal vier gerechnet, da das Rohr nie vollständig mit Wasser gefüllt war (Vgl. Kap. 8.1). Die Wasserprobe war erneut kein Problem.



Abb. 20. Entnahmeort der Quellenprobe (Google Maps)

Basel: Die Proben in Basel wurde am 10.6.2021 von der «Ueli» Fähre entnommen. Es gab keine erwähnenswerten Probleme. Die Handhabung des «BabyLegs» wurde nach drei Probennahmen einfacher.

Alle Strümpfe wurden zuhause untersucht und danach im Ofen bei 50° für mehrere Stunden getrocknet (Vgl. Kap. 4.1.2).

Die Wasserproben wurden durch einen Cell Strainer (Je eine 2l Flasche pro Cell Strainer, also zwei Cell Strainer pro Probe) gegossen. Die Cell Strainer wurden luftgetrocknet.

4.4 Auswertung im Nano Imaging Lab

Im Labor wurden die Proben im letzten Schritt für das REM aufbereitet. Danach wurden eine Liste mit allen Entnahme-Orten sowie die jeweiligen Probenhalter nummeriert, um die Proben nicht versehentlich zu vertauschen.

Alle Proben wurden zuerst unter dem Lichtmikroskop untersucht. Am Computer wurden alle erstellten Fotos mit der Nummer des jeweiligen Entnahmeortes versehen und in einen Ordner abgelegt. Um genauere Informationen zu erhalten, wurde jede Bilddatei zusätzlich mit der am Mikroskop angezeigten Vergrößerung versehen z. B.: Probe2 - 5.0.

In der Sputteranlage wurden die Proben mit einer 20nm dicken Goldschicht überzogen (Vgl. Kap. 4.1.4). Danach wurden alle Proben einzeln unter dem REM untersucht. Hier wurden die Proben nur mit der Nummer des Entnahmeort versehen, da alle Informationen zur Vergrößerung direkt in den Bilddateien angezeigt werden (Vgl. Abb.17).

Die Arbeit am REM konnte alleine gemacht werden, nur zum Austauschen der Proben im REM wurde Hilfe benötigt. Bei Fragen stand jederzeit ein Experte zur Verfügung. Neben Bildern von Plastikfasern wurden auch Bilder von organischen Materialien erstellt, um bei der Auswertung auf die Unterschiede der Oberflächenbegebenheit zu verweisen und die Unterschiede bildlich darzustellen.

Neben Plastikfasern und verschiedenstem organischen Material wurden auch Kieselalgen (Diatomeen), Insekten und mineralische Partikel gefunden und fotografiert.

Alle «BabyLegs» Strümpfe wurden aufgeschnitten und unter dem Lichtmikroskop einzeln untersucht. Aufgrund der grossen Materialmenge, konnten jedoch keine genauen Untersuchungen gemacht werden (Vgl. Abb. 18).

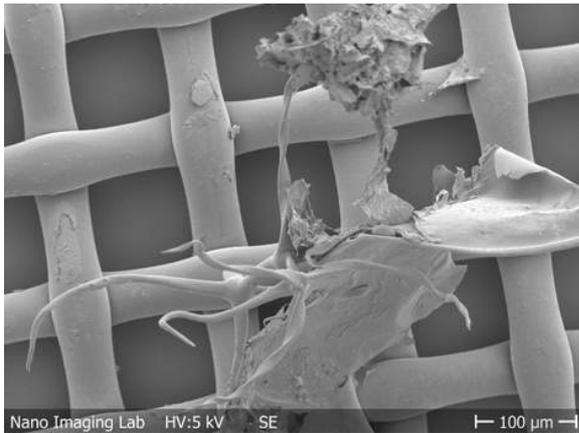


Abb. 21. Wichtige Daten erscheinen direkt auf den REM Bildern



Abb. 22. Ansicht eines Strumpfes

Der Zeitaufwand am REM pro Probe betrug ca. eine Stunde. Mit Untersuchung unter dem Lichtmikroskop und Zeit in der Sputteranlage ungefähr eineinhalb Stunden. Alle erstellten Fotos wurden auf einen privat zugänglichen Account auf dem «Nano Imaging Tool» in einem Ordner hochgeladen. Von dort aus konnten alle Fotos direkt auf ein anderes Gerät übertragen werden. Ausserdem liefert das Tool genauere Angaben zu den einzelnen Fotos sowie Metadaten. Die Fotos waren von sehr hoher Qualität und konnten später bei der Auswertung genau untersucht werden. Auf dem Tool war es ausserdem möglich in ein Bild zu zeichnen, so konnten genauere Angaben zu der Grösse der Fasern erhalten werden (Vgl. Abb. 19).

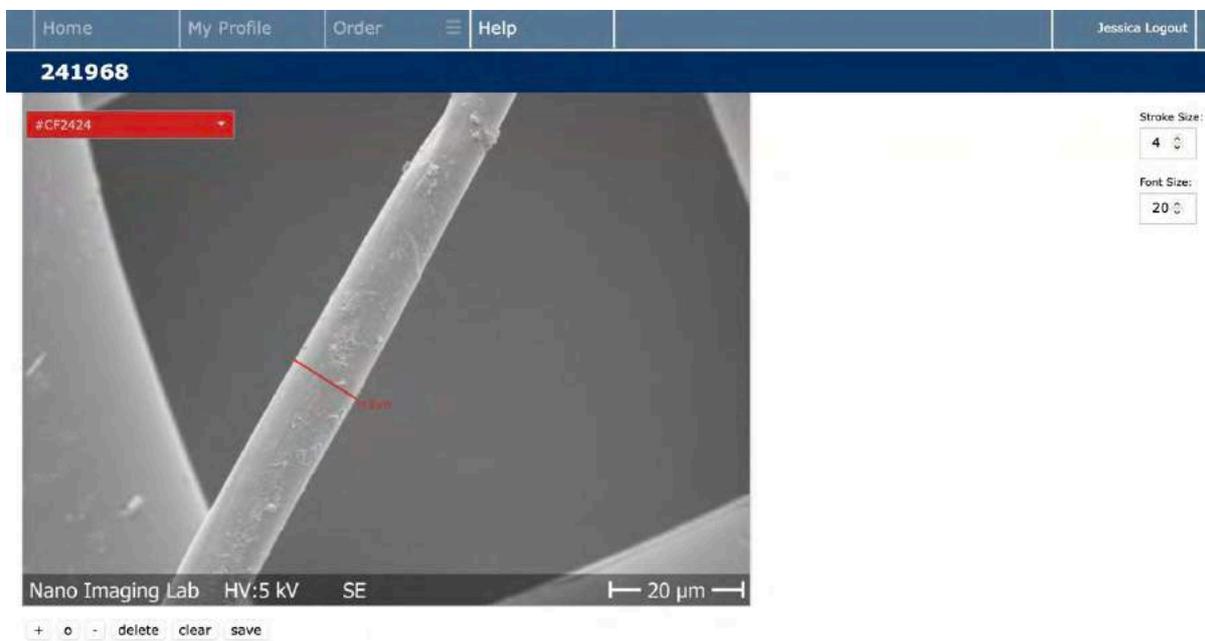


Abb. 23. Nano Imaging Tool mit Zeichenfunktion (Nanoimaging Admin Tool)

Die zur Verfügung gestellten drei Vormittage wurden minutiös ausgenutzt und die Proben, daneben noch einige Extraproben, sorgfältig untersucht.

4.5 Material

Auflistung der Materialien, die für den Bau des «BabyLegs» benötigt wurden:

- 1x PVC Rohr
- 4x Babystrümpfe
- 1x Rohrschelle
- 2x PET-Flaschen
- Stabile Seile
- Bohrer
- Schraubenzieher
- Schere
- Plastiksäcke für Strümpfe

Anderes benötigtes Material:

- 50x Cell Strainer
- 2x Bottle-Top-Filter von Nalgene™ mit SFCA-Membran

Material, welches bereits zur Verfügung stand:

- 16x Nalgene® Flaschen

5 Resultate

Im folgenden Kapitel werden die Resultate der Untersuchungen im Nano Imaging Lab vorgestellt. Die Entnahmeorte werden einzeln diskutiert. Die vollständigen Auswertungsraster und Berechnungen werden im Kapitel 8.1 aufgeführt. Im Kapitel 5.5 wird die allgemeine Verschmutzung mit einem Diagramm visualisiert.

5.1 Rheinflall

Beim Rheinflall wurde der «Babylegs» 34 Minuten im Wasser gelassen (Vgl. Kap. 8.1.1).

Bei den Untersuchungen wurden 7 Plastikfasern gefunden. Die Probe vom Rheinflall hatte insgesamt die wenigsten Plastikfasern. Im Kapitel 4.2 wurde die Vermutung aufgestellt, dass die Probe wenig Mikroplastik enthalten wird, da der Rhein zuvor durch den Bodensee fließt. Diese Annahme wurde hier bestätigt.

Das Flusswasser wird im Rheinflall, welcher zu den grössten Wasserfällen Europas gehört, mehr aufgewirbelt als an jeder anderen Stelle im Rhein. Sollte sich also viel Mikroplastik im Wasser befinden, dann könnte es an genau dieser Stelle am deutlichsten untersucht werden. Da es jedoch nur wenige Fasern gab, kann davon ausgegangen werden, dass sich das Mikroplastik tatsächlich im Bodensee absetzt und nur wenige an der Oberfläche treibende Teilchen ihre Reise im Rhein fortsetzen.

Eine andere Möglichkeit wäre, dass das Mikroplastik zum Uferrand treibt und sich dort im schlammigen Wasser ansammelt. Dadurch wären besonders Enten, andere Wasservögel und kleine Fische, welche im seichten Wasser leben, bedroht.

Am Bodensee bei Arbon wurde eine zusätzliche Probe aus dem seichten Seewasser am Ufer genommen. Die Anzahl von Plastikfasern ist deutlich höher als beim Rheinflall. Die Probe wurde nicht näher analysiert, sondern lediglich unter dem Licht- und Rasterelektronenmikroskop untersucht. Es ist also wahrscheinlich, dass das Mikroplastik an den Uferrand geschwemmt wird und sich dort absetzt. Um diese Annahme zu prüfen, müssten jedoch Sedimentproben untersucht werden, was hier nicht der Fall war.

Es wurden insgesamt sechs zusätzliche Proben genommen, da 50 Cell Strainer und insgesamt 16 Nalgene® Flaschen zur Verfügung standen. Ausserdem bestand so die Möglichkeit, wie in diesem Fall, eine Zusatzprobe hinzuzuziehen um Hypothesen zu unterstützen.

Mikroplastik könnte jedoch auch, ähnlich wie bei den Garbage Patches, durch Strömungen zur Mitte des Sees transportiert werden und sich dort unter der Oberfläche ansammeln. Da es aber keine bekannte Ansammlung von Plastik im Bodensee gibt, kann diese Annahme nicht bestätigt werden. Da in den Proben von Zizers und der Quelle keine erheblich grösseren Mengen an Mikroplastik gefunden wurden, kann auch davon ausgegangen werden, dass die Verschmutzung bis hin zum Bodensee allgemein eher gering ist.

Im Strumpf des «BabyLegs» wurden keine sichtbaren Plastikteilchen gefunden. Die lichtmikroskopische Untersuchung des Strumpfes zeigte vorwiegend Algen und einige Insekten. Es wurden mehrere Plastikfasern entdeckt, jedoch konnten sie vom Nylonstrumpf nicht unterschieden und keine genauen Angaben gemacht werden (Vgl. Kap. 4.1.4).

5.2 Zizers

Bei Zizers wurde der «Babylegs» 19 Minuten im Wasser gelassen (Vgl. Kap. 8.1.2).

Bei den Untersuchungen wurden insgesamt 14 Plastikfasern gefunden. Wie erwartet, war die Anzahl von Plastikfasern etwas höher als bei der Quelle oder dem Rheinfall. Da Chur nur wenige Kilometer oberhalb liegt, ist nicht auszuschliessen, dass eine erhöhte Menge an Reifenabrieb und synthetischer Fasern in den Rhein gelangt. Zusätzlich bringt das Schmelzwasser in den Zuflüssen Skiabrieb aus den Skigebieten in den Rhein. Das Wasser wurde durch grosse Felsen im Wasser aufgewirbelt, was bedeutet, dass es keine differenzierbaren Wasserschichten an dieser Stelle gibt. Die gesamte Menge an Plastikpartikeln wird so in der Probe erfasst (Fath, 2019).

Eine weitere Probe bei Haldenstein kurz nach Chur zeigt eine erhöhte Anzahl an Plastikfasern. Theoretisch sollten also ähnlich viele Fasern in der Probe von Zizers gefunden werden. Zwischen Haldenstein und Zizers gibt es jedoch mehrere grosse Kiesbänke welche den Rhein an manchen Stellen sehr verschmälern. Es ist gut möglich, dass sich das Mikroplastik an den Rändern der Kiesbänke abgesetzt hat. Ansonsten lassen sich hier nicht viele Erklärungen finden, weshalb die Probe bei Zizers weniger Fasern vorwies als die Probe bei Haldenstein. Im Kapitel 6.2 werden ähnliche Probleme näher diskutiert.

5.3 Quelle

Bei der Quelle wurde der «Babylegs» 42 Minuten im Wasser gelassen (Vgl. Kap. 8.1.3).

Es wurde davon ausgegangen, dass sich in der Probe der Quelle kein Mikroplastik finden lassen wird. Überraschenderweise wurden 10 Fasern (nicht bestimmbar wurden nicht mitgezählt) gefunden. Da die Nalgene® Flaschen zuvor sterilisiert wurden und auf Kleidung aus Baumwolle geachtet wurde ist es unwahrscheinlich, dass die Probe verunreinigt wurde. Der Entnahmeort war ungefähr 630m entfernt vom Tomasee (die Distanz wurde mit map.geo.admin.ch vermessen). Da sich zwischen dem Entnahmeort und dem See nur Gestein und etwas Gras befinden und es keine Wanderwege dazwischen gibt, ist es auch unwahrscheinlich, dass es zusätzliche Faktoren gibt, welche den Mikroplastikgehalt beeinflussen könnten.

Die einzig sinnvollen Annahmen hier sind, dass die Fasern mit dem Wasserkreislauf oder mit dem Wind zurück in die Berge gekommen sind (Vgl. Kap. 3.4.2 und Kap. 6.2). Da der Wanderweg über mehrere Wochen gesperrt und der See zu dieser Zeit zugefroren war, ist die Wahrscheinlichkeit, dass sich Fasern aus der Kleidung von Wanderern gelöst haben und in den See gefallen sind, sehr klein. (Die Anzahl Fasern hätte sehr gross sein müssen. Da 10 Fasern gefunden wurden bedeutet dies, dass es im Wasser allgemein eine erhöhte Anzahl an Fasern hatte, und selbst gelegentliche Wanderer tragen mit ihren Fleece-Jacken nur wenig dazu bei). Da es in der Nähe auch kein Skigebiet gibt, kann das Plastik auch nicht vom Skiabrieb stammen (Vgl. Kap. 6.1).

5.4 Basel

Bei Basel wurde der «Babylegs» 27 Minuten im Wasser gelassen (Vgl. Kap. 8.1.4).

Wie erwartet wurden die meisten Fasern in Basel gefunden. Davon konnten jedoch nur 70 eindeutig identifiziert werden. Da es mehrere Faserknäuel in der Probe hatte, kann die Anzahl auf über 150 Fasern geschätzt werden, die Fasern konnten jedoch nicht einzeln ausgezählt werden.

Da wie in allen anderen Proben nur Plastikfasern gefunden wurden, ist davon auszugehen, dass die hohe Bevölkerungsdichte hier einen grossen Einfluss hat. Die Fasern stammen mit grosser Wahrscheinlichkeit von synthetischer Kleidung und sind mit dem Abwasser in den Rhein gelangt.

Da in der Basler Innenstadt und direkt am Rheinufer mehrheitlich Fussgängerzonen eingerichtet sind und nur zwei Brücken eine Autobahn führen, kann der Anteil an Reifenabrieb nicht sehr gross sein. Die Schifffahrt könnte hier auch eine Rolle spielen. Jedoch mehr bei der Verschmutzung durch Chemikalien und Schiffslackierungen, welche aber nicht faserförmig abbröckeln. Die Probe wurde oberhalb des Rheinhafens genommen, es ist gut möglich, dass sich unterhalb vermehrt Plastikpellets anstelle von Fasern finden lassen, welche von Schiffsrümpfen in den Rhein gefallen sind. Überprüft wurde dies hier nicht.

5.5 Allgemeine Verschmutzung

In der unten abgebildeten Grafik sind die Verhältnisse der Fasern an den jeweiligen Entnahmeorten dargestellt. Die Grafik stellt die Probenorte in der Reihenfolge, in der die Proben genommen wurden dar, nicht nach ihren geographischen Lagen.

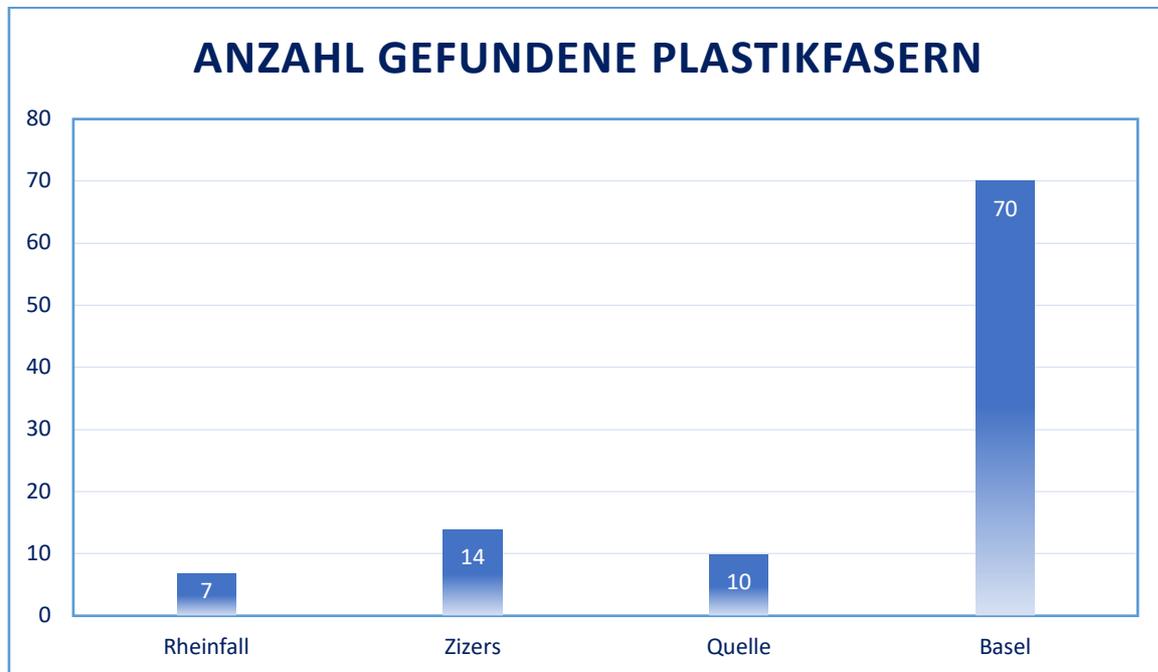


Abb. 24. Diagramm der Anzahl gefundener Plastikfasern

Allgemein kann gesagt werden, dass sich im Rhein definitiv Mikroplastik finden lässt und sich die Konzentration je nach beeinflussenden Faktoren ändert. In allen Proben, sowie in sechs Extraproben, konnte Mikroplastik in Form von synthetischen Fasern nachgewiesen werden. Wie in der Grafik ersichtlich, ist der Anteil an Mikroplastik nach den zwei grossen Städten Basel und Chur am grössten. Am deutlichsten ist die Säule von Basel zu erkennen. Die Anzahl der gefundenen Fasern ist mehr als sechsmal so gross wie an den anderen Entnahmeorten. Es kann also durchaus gesagt werden, dass die Wasserverschmutzung in Basel durch Mikroplastik nicht zu ignorieren ist. Da hinter Basel noch einige weitere grosse Städte am Rhein liegen, kann nur vermutet werden, wie gross die Verschmutzung am Ende des Rheins ist.

Dass die Probe vom Rheinfall wenig Plastik aufweist konnte im Vorhinein vermutet werden (Vgl. Kap. 5.1). Überraschend und zugleich problematisch war, dass an der Quelle ebenfalls Mikroplastik gefunden wurde (Vgl. Kap. 6.3).

Alle Proben wurden im Zeitraum vom 4.6 - 10.6.2021 entnommen. Es ist gut möglich, dass sich die Anzahl der gefundenen Plastikfasern je nach Jahreszeit und Wetterlage verändern kann. Die Bedingungen bei den entnommenen Proben waren aber alle gleich und es gab keine signifikanten Unterschiede. Ausserdem wurden bei allen Proben die gleichen Hygienemassnahmen ergriffen (Vgl. Kap. 5.3).

6 Diskussion

Im Kapitel Diskussion werden die Ergebnisse dieser Arbeit mit dem aktuellen Forschungsstand verglichen. Ausserdem wird die Arbeit kritisch betrachtet, Ideen für Verbesserungen werden angebracht und Probleme erläutert. In einem kurzen Ausblick werden einige Hypothesen und Empfehlungen vorgestellt.

6.1 Vergleich der Ergebnisse mit dem bisherigen Forschungsstand

Die Universität Basel hat 2015 Wasserproben aus dem Rhein analysiert und ausgewertet. Dabei wurde die Verschmutzung des Rheins durch Mikroplastik konkret vermessen. Wie hier wurde ebenfalls eine beträchtliche Menge an Mikroplastik gefunden.

Ähnlich wie bei der Forschung von 2015 wurde bei dieser Arbeit ebenfalls eine Art Manta Trawl, der «BabyLegs», verwendet. Die Proben des «BabyLegs» konnten jedoch wegen der grossen Menge an organischem Material und den unübersichtlichen Bildern unter den Mikroskopen nicht genauer untersucht werden. Eine Methode zur Abtrennung von organischem Material fehlte hier klar. Die Methode der Universität Basel konnte jedoch nicht angewendet werden, da die Materialien dafür nicht zur Verfügung standen. Im Gegensatz zu dieser Arbeit, wurden mehr Plastikpellets als Fasern gefunden (Mani et al., 2015).

Dies kann daran liegen, dass bei der Forschung einer Universität bessere Geräte und Methoden zur Verfügung stehen, als bei einer Maturaarbeit. Pellets könnten aber auch erst nach dem vermessenen Abschnitt in den Rhein gelangen, was durchaus möglich ist, da die Schifffahrt erst ab Basel wirklich beginnt und sich grosse Häfen am Rhein sammeln.

Der bisherige Forschungsstand vermutet die Herkunft des Mikroplastiks in den Flüssen. Mit dieser Arbeit kann belegt werden, dass sich schon am Anfang des Rheins Mikroplastik im Wasser befindet, welches später in die Nordsee fliesst. Die Annahme der Forscher kann bestätigt werden, dies bedeutet jedoch nicht, dass dies der einzige Herkunftsweg von Mikroplastik in die Ozeane ist, da hier nur ein Flussabschnitt untersucht wurde.

Den Ergebnissen dieser Arbeit nach, würde eine Vorrichtung wie der Interceptor™ im Schweizer Rhein nicht viel bewirken. Solche Maschinen dienen mehr dazu, grössere Plastikabfälle abzufangen, um zu verhindern, dass sie sich zu Mikroplastik zersetzen. Synthetische Fasern wie diejenigen welche bei diesen Proben gefunden wurden, können nur schwer aus dem Wasser gefiltert werden (The Ocean Cleanup, unbekannt).

Dr. Andreas Fath untersuchte den Tomasee für sein Buch «Mikroplastik: Verbreitung, Vermeidung, Verwendung». Er stellte ebenfalls eine grössere Menge von Kunststoffpartikeln im See fest, es ist also anzunehmen, dass die Probe dieser Arbeit korrekt ausgewertet wurde und nicht verunreinigt war. Dr. Fath stellte eine Verunreinigung von 270 Kunststoffpartikeln pro Kubikmeter im Tomasee fest. Er ist ebenfalls der Ansicht, dass das Mikroplastik vermutlich mit dem Wasserkreislauf zurück in die Berge gekommen ist und mit dem Niederschlag in den See

fließt. Auch im Bodensee fand er, im Gegensatz zu den 5326 Teilchen bei Chur, nur 99 Plastikpartikel. Die Ergebnisse von Dr. Fath sind mit den Ergebnissen dieser Arbeit vergleichbar, auch wenn der Unterschied der Probenmenge und Auswertungsmethode beachtet werden muss (Fath, 2019).

6.2 Methodenkritik

Die Leitfragen der Arbeit, ob Mikroplastik an bestimmten Stellen im Rhein nachgewiesen werden kann und ob eine Messmethode für Mikroplastik entwickelt werden kann, können bestätigt werden. An allen Probenorten konnte mit der eigens entwickelten Messmethode Mikroplastik nachgewiesen werden.

Auch wenn in allen Proben Mikroplastik nachgewiesen werden konnte, gibt es aber mehrere Faktoren, die an der verwendeten Methode kritisiert werden können.

Das wohl grösste Problem bei allen Proben war, dass das organische Material nicht von den Plastikpartikeln getrennt werden konnte. Bei den REM Untersuchungen haben die geringen Anteile von organischem Material glücklicherweise nicht gestört, wäre jedoch mehr organisches Material in den Proben gewesen, wäre die Auswertung sehr mühsam geworden.

Da alle Proben mit dem REM untersucht wurden, mussten alle Fasern von Auge ausgezählt werden, was sehr zeitaufwendig war. Da es nur wenige Fasern in den Proben hatte, war dies nicht wirklich schlimm und die gefundenen Fasern konnten gut identifiziert werden.

Eine Auswertung mit z.B. FTIR-Spektroskopie hätte jedoch mehr Auskunft über die genaue Anzahl der Fasern, besonders den gefundenen Faserknäueln und deren Beschaffenheit geben können. Auch wenn die Fasern nach festgelegten Kriterien untersucht wurden, gibt es keine hundertprozentige Garantie, dass es sich bei allen gefundenen Fasern um Plastik handelt.

Da es jedoch noch keine festgelegte Methode für die Messung von Mikroplastik gibt, musste eine eigene Methode, welche mit den vorhandenen Mitteln realisierbar war, entwickelt und getestet werden. Die verwendete Methode kann indes als Erfolg bezeichnet werden, da Mikroplastik nachgewiesen werden konnte. Es empfiehlt sich jedoch diese Messmethode nicht in Wasser mit grossem organischem Anteil oder in Gebieten grosser Verschmutzung zu verwenden, da die Auswertung so sehr zeitaufwändig wird und eine hohe Gefahr der Fehlinterpretation besteht (Braun, 2018).

Die Verwendung des «BabyLegs» empfiehlt sich nur, wenn eine Methode zur Abtrennung von organischem Material angewendet werden kann. Der «BabyLegs» als Filter funktioniert gut, ist einfach und günstig zu bauen und relativ einfach handzuhaben. Für Schulprojekte kann er definitiv empfohlen werden. Für professionelle Forschungen empfiehlt es sich hingegen, ein Manta Trawl zu verwenden.

Ein weiterer Punkt, welcher kritisiert werden kann ist, dass bei den Proben dieser Arbeit nur synthetische Fasern gefunden wurden. An keiner Stelle wurden Pellets oder Reifenabrieb nachgewiesen. Wenn dieses Resultat mit anderen Forschungen verglichen wird, fällt auf, dass dies eher unwahrscheinlich ist. In allen hier hinzugezogenen Forschungen wurde kugelförmiges Plastik entdeckt. Es ist gut möglich, dass die Ergebnisse so ausgefallen sind, da nur Oberflächenwasser untersucht wurde. Aber selbst in Oberflächennähe sollte sich das eine oder andere Plastikpellet finden lassen. Dass der Cell Strainer die Pellets gefiltert hat ist auch eher unwahrscheinlich, da die gefundenen Fasern viel kleiner als die Plastik Kügelchen sind und die Pellets so auch auf dem Cell Strainer hätten gefunden werden müssen.

Die Annahme, dass sich im Schweizer Rhein nur synthetische Fasern, keine Pellets und kugelförmiges Plastik befinden, ist jedoch absurd. Alleine der Konsum von Kosmetikprodukten trägt eine beachtliche Menge an primärem Mikroplastik bei. Kosmetikprodukte werden dort verwendet, wo Menschen leben. Da der Rhein dicht besiedelt ist und ein grosses Einzugsgebiet hat, kann davon ausgegangen werden, dass sich an den untersuchten Stellen ebenfalls kugelförmiger Mikroplastik finden sollte, auch wenn in den Proben nichts derartiges gefunden werden konnte.

Diese Arbeit hat sich auf das Nachweisen von Mikroplastik und das Entwickeln einer Messmethode beschränkt. Aus Zeit- und Aufwandsgründen wurde der Einfluss des Mikroplastiks auf die lokale Umwelt nicht untersucht. Ausserdem wurde nicht genauer untersucht, woher das Plastik stammt, sondern lediglich Hypothesen dafür aufgestellt welche nicht näher überprüft wurden. Zusätzlich wurde hier nur der Schweizer Rhein untersucht, es kann nicht gesagt werden, ob sich diese Messmethode auch an anderen Orten oder in Meereswasser bewährt hätte.

Die Annahmen bezüglich des Mikroplastikanteils für die jeweiligen Probenorte konnten jedoch bestätigt werden. In Basel wurde die grösste Menge an Mikroplastik vermutet, was auch so nachgewiesen werden konnte. Die Probe vom Rheinfall wies die niedrigste Menge an Mikroplastik auf, was wegen des Einflusses des Bodensees auch so erwartet wurde.

Die grösste Überraschung dieser Arbeit war, dass bei der Rheinquelle auf über 2000m Höhe ebenfalls Mikroplastik nachgewiesen wurde. Die Probe der Rheinquelle sollte eigentlich als Nullprobe, nur zum Vergleich der anderen Proben, dienen. Nach Auswertung der Probe war dies jedoch nicht mehr möglich, da die Probe nicht wirklich als Nullprobe bezeichnet werden konnte, da sie ebenfalls schon verschmutzt war. Es kann jedoch auch argumentiert werden, dass es in diesem Falle nicht möglich ist eine Nullprobe vom Rhein zu nehmen, da die Quelle als eigentlicher Startpunkt des Flusses auch schon verschmutzt ist.

Andererseits wäre eine Nullprobe nicht wirklich wichtig gewesen, da sie, wie der Name schon sagt, keine Plastikpartikel enthalten hätte. Sie wäre lediglich hinzugezogen worden, um zu zeigen, dass die Verschmutzung von der Quelle bis nach Basel zunimmt. Wenn man die Ergebnisse von Dr. Fath betrachtet, ist es sogar gut, dass Mikroplastik an der Quelle gefunden wurde, da dies die Zuverlässigkeit der Messmethode bestärkt (Fath, 2019). Dieser Fund ist sehr wichtig, denn er zeigt, wie fortgeschritten die Verschmutzung durch Mikroplastik schon ist und, dass sie kontinuierlich zunehmen wird. Die aktuelle Sachlage verlangt einen sofortigen Handlungsbedarf.

Jedoch mussten nun mehrere mögliche Szenarien erstellt werden, um die Herkunft des Mikroplastiks zu ermitteln. Da bei der Probenentnahme auf grosse Hygiene geachtet wurde, war es unwahrscheinlich, dass die Probe verunreinigt war. Es musste in anderen Forschungen nachgeforscht werden und Hypothesen erstellt werden, um zu erklären, wie das Plastik so weit in die Berge hinauf kommt. Die Vermutung welche am meisten Sinn macht, ist diejenige, auf die sich auch Dr. Fath bezogen hat und welche auch in anderen Forschungen erwähnt wurde, nämlich, dass der Wasserkreislauf das Mikroplastik vom Meer aus mit Niederschlägen zurück in die Berge bringt (Vgl. Kap. 6.1). Der Wasserkreislauf ist sehr weitreichend und versorgt einen Grossteil der Erde mit Niederschlägen. Seit mehreren Jahren beherbergt er nun zusätzlich einen Mikroplastikzyklus, welcher Plastikpartikel allmählich auf der ganzen Welt, selbst an den abgelegensten Stellen auf dem Globus verteilt. Somit wird die Verschmutzung von Quellgewässern begünstigt. Auch der Wind kann die mikroskopisch kleinen Plastikpartikel transportieren. So kommt die Flora und Fauna von abgelegenen Orten mit dem ihr fremden Plastik in Berührung.

Trotz allen kritisierten Punkten konnte Mikroplastik an den untersuchten Stellen nachgewiesen werden, was bedeutet, dass die entwickelte Messmethode unter den gegebenen Umständen als wissenschaftlich korrekt und auswertbar angesehen werden kann. Diese Annahme basiert auf den Ergebnissen dieser und anderer Forschungen am Rhein, welche mit den Resultaten verglichen wurden, sowie unterstützender Literatur.

6.3 Schlussfolgerung

Zusammenfassend kann die Arbeit als Erfolg bezeichnet werden, da beide Leitfragen beantwortet und erfüllt werden konnten.

Trotzdem muss bedenkt werden, dass mit dieser Methode zwar Mikroplastik nachgewiesen werden kann, die Ergebnisse jedoch keine signifikante Genauigkeit haben, auch wenn sie mit anderen Forschungen verglichen wurden. Um die Methode zu verfeinern, müsste ganz klar eine Methode zur Abtrennung von organischem Material gefunden werden und die Ergebnisse gegebenenfalls mit Spektroskopie ausgewertet werden.

Diese Arbeit trägt einen Teil zum aktuellen Forschungsstand bei und weist auf das Ausmass der weltweiten Verschmutzung durch Mikroplastik und deren Ursprung in den Flüssen hin. Die Bemühungen für diese Arbeit waren an dieser Stelle wertvoll und haben sich gelohnt.

6.4 Ausblick

An dieser Stelle möchte der Autor den Leser darauf aufmerksam machen, dass sich das Problem des Mikroplastiks in den nächsten Jahren nicht von selbst lösen wird. Die Verschmutzung der Ozeane wird in den nächsten Jahrzehnten grösser werden, da zunehmend Mikroplastik von den Flüssen ins Meer transportiert wird.

Es gibt mehrere Schritte, die eingeleitet werden können, um die Begünstigung von Mikroplastik aus privat Haushalten zu vermindern. Der erste und wohl wichtigste Schritt ist, den Verbrauch von Kunststoffen zu verringern und den verwendeten Kunststoff richtig zu recyceln.

Ausserdem kann auf Kleidung aus natürlichen Stoffen geachtet werden. Kleidung aus synthetischen Fasern kann jedoch auch in speziellen Waschbeuteln wie z.B. Guppyfriend® gewaschen werden. Diese Waschbeutel halten herausgefallene Fasern zurück. Die Fasern können danach gerecht entsorgt werden (Guppyfriend, unbekannt). So kann die Anzahl von synthetischen Fasern in den Flüssen verringert werden. Ausserdem wäre es sicher hilfreich, die Menge an Plastikverpackungen herunterzusetzen. Es gibt einige Produkte, die aus hygienischen Gründen abgepackt werden. Wie oben erwähnt kann der Kunststoff einfach über lokale Recyclingstationen entsorgt werden. Produkte wie Früchte oder Gemüse können jedoch auch mit Ecobags transportiert werden, welche schon in vielen Supermärkten angeboten werden.

Auf politischer Ebene müsste die Verwendung von Mikroplastik in Kosmetikprodukten verboten werden, um die Menge an primärem Mikroplastik zu dezimieren. Es gibt heute genügend andere Zusatzstoffe aus abbaubarem Material, welche verwendet werden können und der Umwelt nicht schaden. Natürlich müssten noch viele andere Massnahmen eingeleitet werden, dieser Vorschlag ist jedoch derjenige, der am realistischsten umgesetzt werden kann.

In der Forschung fehlt eine einheitliche Messmethode für Mikroplastik. Bewertungskriterien müssen standardisiert und das Wissen über Mikroplastik und dessen Zersetzung angereichert werden. Dies macht es sehr schwierig verschiedene Forschungen zu vergleichen, da unterschiedliche Messmethoden verwendet wurden. Ausserdem haben die Umweltbegebenheiten einen grossen Einfluss auf Messgeräte.

Die Frage, wieviel Mikroplastik sich nun tatsächlich in den Ozeanen befindet ist nicht wichtig. Sie kann aktuell auch nicht beantwortet werden. Die grösste Priorität der aktuellen Wissenschaft sollte die Frage sein, wie die Verschmutzung vorerst verlangsamt und dann später gestoppt werden kann, nicht wie viele Plastikteilchen sich tatsächlich im Meer befinden. Es sind ohnehin viel zu viele, egal ob sich die Schätzungen um mehrere Millionen unterscheiden.

7 Quellenverzeichnis

7.1 Abbildungsverzeichnis

- Abb. 3. **Bildschirmaufnahme von Bing Maps.**
<https://www.bing.com/maps> (28.9.2021).
- Abb. 20. **Bildschirmaufnahme von Google Maps.**
<https://www.google.ch/maps> (28.9.2021).
- Abb. 23. **Bildschirmaufnahme von Nanoimaging Admin Tool.**
<https://nanoimaging1.unibas.ch> (6.10.2021).
- Abb. 11. **News Feature: Microplastics present pollution puzzle.** Katnelson, Alla (2015).
<https://www.pnas.org/content/pnas/112/18/5547.full.pdf> (14.9.2021).
- Abb. 2. **The Natural Water Cycle.** Perlman, Howard und Evans, John (2019).
<https://www.usgs.gov/media/images/natural-water-cycle-jpg> (30.9.2021).

7.2 Literaturverzeichnis

- Albat, Daniela (2019). **Plastikmüll wird auch Haien zum Verhängnis.**
<https://www.scinexx.de/news/biowissen/plastikmuell-wird-auch-haien-zum-verhaengnis/>
(5.8.2021).
- Bednarz et al. (2021). **The Invisible Threat: How Microplastics Endanger Corals.**
<https://kids.frontiersin.org/articles/10.3389/frym.2021.574637> (5.8.2021).
- Boucher et al. (2017). **Primary microplastics in the oceans: a Global Evolution of Sources.**
<https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2017-002-En.pdf> (14.9.2021).
- Dr. Braun, Ulrike et al. (2018). **Mikroplastik-Analytik: Probennahme, Probenaufbereitung und Detektionsverfahren.**
https://de.wessling-group.com/fileadmin/user_upload/global/services/micro-nano-analysis/RAU/Diskussionspapier_Mikroplastik_Analytik_BMBF.pdf (7.10.2021).
- Bundesamt für Umwelt (2016). **Vinylchlorid (C₂H₃Cl).**
<https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/chemikalien/schadstoffglossar/vinylchlorid.html> (24.9.2021).

DAV (2021). **Zipflbob und Mikroplastik.**

https://www.alpenverein.de/natur/zipflbob-und-mikroplastik_aid_36102.html (27.9.2021).

Essel, Roland et al. (2015). **Quellen für Mikroplastik mit Relevanz für den Meeresschutz in Deutschland.**

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_63_2015_quellen_fuer_mikroplastik_mit_relevanz_fuer_den_meeresschutz_1.pdf (29.9.2021).

Fath, Andreas. 2019. **Mikroplastik: Verbreitung, Vermeidung, Verwendung.**
Springer Spektrum. Heidelberg.

Guppyfriend (Datum unbekannt). **Guppyfriend Waschbeutel.**

<https://guppyfriend.com/> (8.10.2021).

Kids.Greenpeace (Datum unbekannt). **Mikroplastik aus Waschgel & Co. filtern.**

<https://kids.greenpeace.de/taxonomy/term/331?page=3> (23.9.2021).

Liboiron, Max (2015). **BabyLegs.**

<https://aquaticbiotechnology.com/en/plankton-nets/manta-net> (23.9.2021).

Liebmann, Bettina et al. (2015). **Mikroplastik in der Umwelt: Vorkommen, Nachweis und Handlungsbedarf.**

<https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/rep0550.pdf> (2.8.2021).

Made Safe (2016). **How to Avoid Toxic Chemicals in Plastics.**

<https://www.madesafe.org/avoid-toxic-chemicals-plastics/> (24.9.2021).

Mani, Thomas et al. (2015). **Microplastics profile along the Rhine River.**

<https://www.nature.com/articles/srep17988> (26.10.2021).

Rickmann, Andreas (Datum unbekannt). **7 Fakten zum Rhein in Köln, die häufig gar nicht bekannt sind.**

<https://verliebtinkoeln.com/7-fakten-zum-rhein-in-koeln-die-kaum-jemand-kennt/> (23.9.2021).

Roszinsky, Mareike (2021). **Keine Gefahr durch Mikroplastik im Leitungswasser.**

<https://www.gelsenwasserblog.de/keine-gefahr-durch-mikroplastik-im-leitungswasser/>
(3.8.2021).

Schmidt, Anke (2021). **Wieviel Plastik schwimmt eigentlich in unseren Flüssen?**

<https://www.badenova.de/blog/mikroplastik-in-fluessen/> (14.8.2021).

Dr. Schröttner, Sandra und Bayona, Michelle (2016). **Plastik in Fisch und Meeresfrüchten.**
https://www.greenpeace.de/sites/www.greenpeace.de/files/i03861_greenpeace_flyer_flyer_plastik_in_fisch_20161114.pdf (5.8.2021).

Sträter, Andreas et al. (2019). **Wie gefährlich ist Mikroplastik?**
<https://www.quarks.de/umwelt/muell/fakten-zu-mikroplastik/> (3.8.2021).

The Ocean Cleanup (Datum unbekannt). **Cleaning up the Garbage Patches.**
<https://theoceancleanup.com/oceans/> (8.10.2021).

The Ocean Cleanup (Datum unbekannt). **The Great Pacific Garbage Patch.**
<https://theoceancleanup.com/great-pacific-garbage-patch/> (3.8.2021).

The Ocean Cleanup (Datum unbekannt). **The Interceptor™.**
<https://theoceancleanup.com/rivers/> (8.10.2021).

Wikipedia-Autoren ² (2021). **Hinterrhein.**
<https://de.wikipedia.org/wiki/Hinterrhein> (6.10.2021).

Wikipedia-Autoren ¹ (2021). **Rhein.**
<https://de.wikipedia.org/wiki/Rhein> (14.9.2021).

8 Anhang

8.1 Messwerte und Berechnungen

Im Anhang werden alle Auswertungstabellen und Berechnungen aufgeführt, die für die jeweiligen Proben vorgenommen wurden. Im Bild unten werden die Zoomfaktoren angegeben.

Vergößerungen Stereolupe bei Bildauflösung 2592 x 1944

Zoomfaktor		Bildausschnitt (HFW)	Vergößerung *
0.71	→	8.3 mm	15 x
1	→	6 mm	20 x
1.25	→	5 mm	
1.6	→	4 mm	
2	→	3 mm	40 x
2.5	→	2.5 mm	50 x
3.2	→	2 mm	
4	→	1.5 mm	
5	→	1.25 mm	100 x
6.3	→	1 mm	
8	→	0.75 mm	
10	→	0.6 mm	200 x
11.5	→	0.55 mm	

Abb. 25. Angaben Lichtmikroskop

8.1.1 Rheinflall

Berechnungen Volumenstrom:

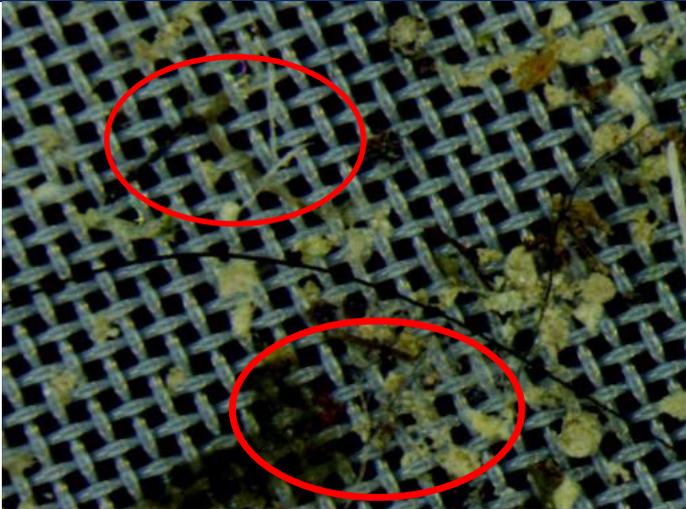
Gemessene Durchschnittsgeschwindigkeit: 1,09m/s

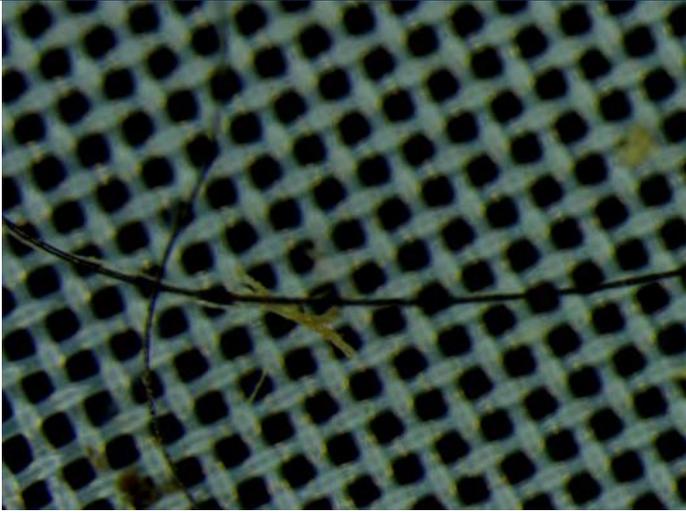
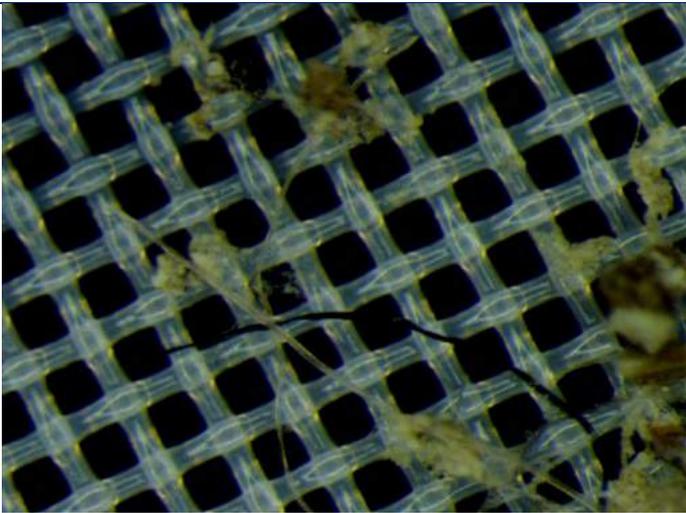
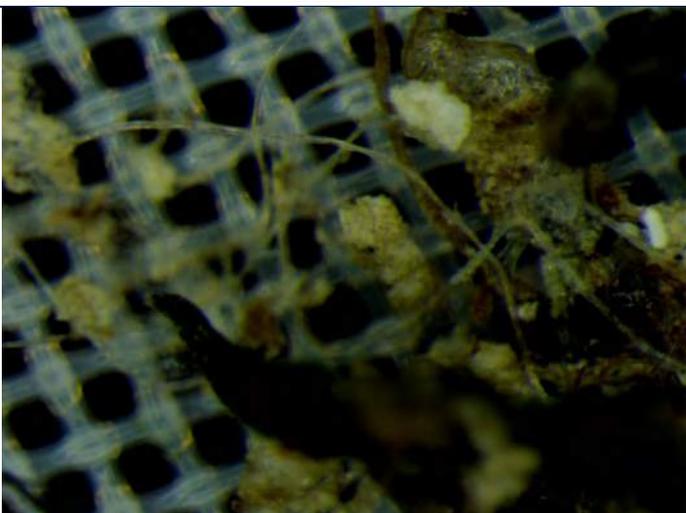
$$V = 0.0113m^2 \times \frac{1.09m}{s} = \frac{0.009m^3}{s} = \frac{9l}{s}$$

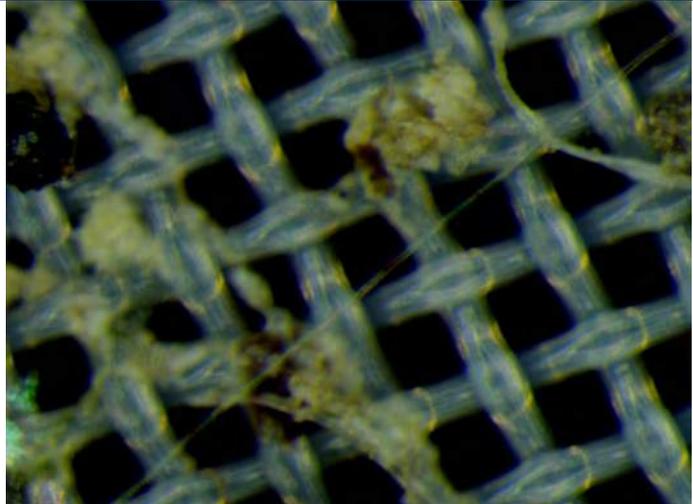
$$\frac{25m^3}{(0.0113m^2 \times \frac{1.09 m}{s})} = 2030s \rightarrow \frac{2030}{60} = \mathbf{34min}$$

Der «BabyLegs» muss 34 Minuten im Wasser bleiben.

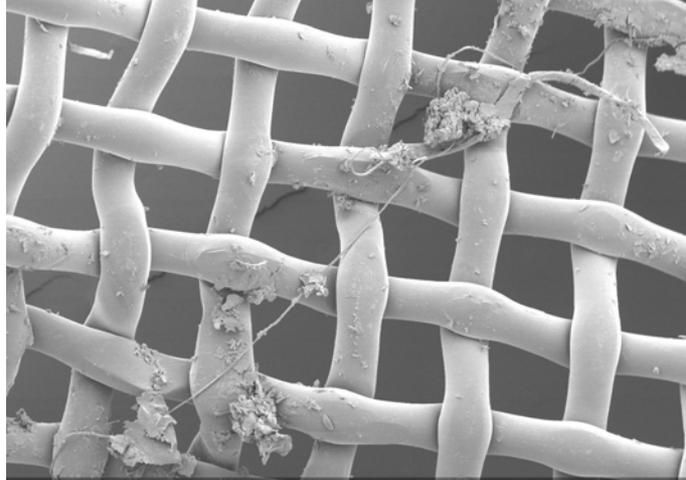
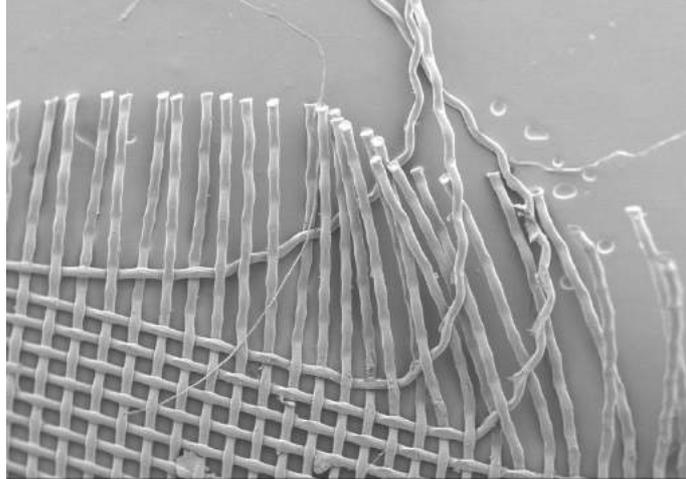
Untersuchungen: Lichtmikroskop

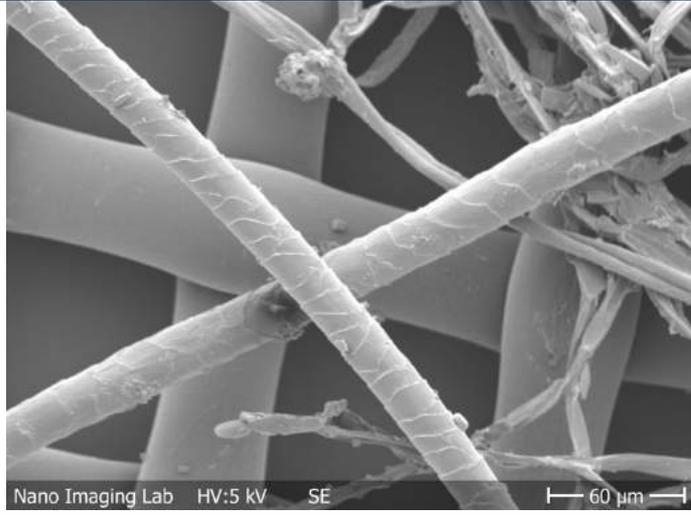
Zoom	Bild	Material
0.71		Aus dieser Perspektive, kann nicht eindeutig erkannt werden, ob es sich um Plastik handelt oder nur um eine Stofffaser.
2.0		Hier können einige durchsichtige Plastikfasern erkannt werden.

3.2		<p>Vom Glanz her ist dies eindeutig eine Plastikfaser. Sie ist jedoch im Gegensatz zu den anderen Fasern schwarz gefärbt.</p>
5.0		<p>Auch hier können neben der schwarzen Plastikfaser noch einige durchsichtige Fasern erkannt werden.</p>
5.0		<p>An ihrer glatten Oberfläche und ihrem durchsichtigen Material können die Plastikfasern sehr gut erkannt werden.</p>

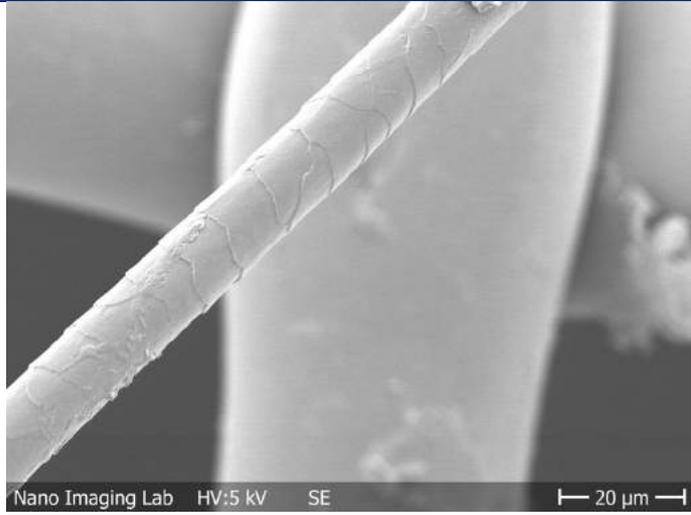
8.0		<p>Erneut einige Plastikfasern, die wegen der starken Vergrößerung jedoch schlecht erkennbar sind.</p>
-----	--	--

Untersuchungen: REM

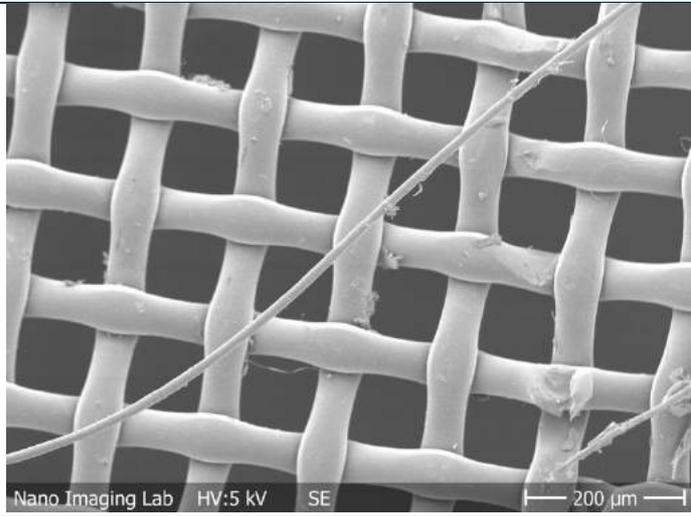
Bild	Material
 <p>Nano Imaging Lab HV:5 kV SE 200 µm</p>	<p>Hier kann die Plastikfaser gut erkannt werden.</p>
 <p>Nano Imaging Lab HV:5 kV SE 700 µm</p>	<p>Erneut eine gut erkennbare Plastikfaser.</p>



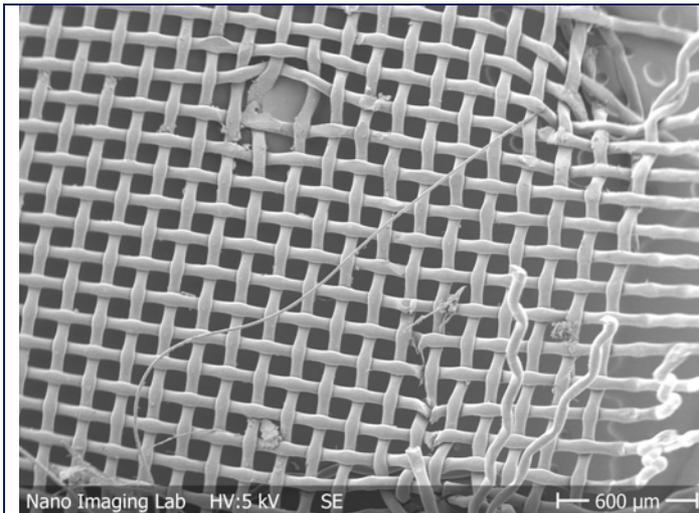
Hier handelt es sich um ein Haar. Die Oberfläche von Plastik ist um einiges glatter und hat keine, wie hier, schuppenartige Oberfläche.



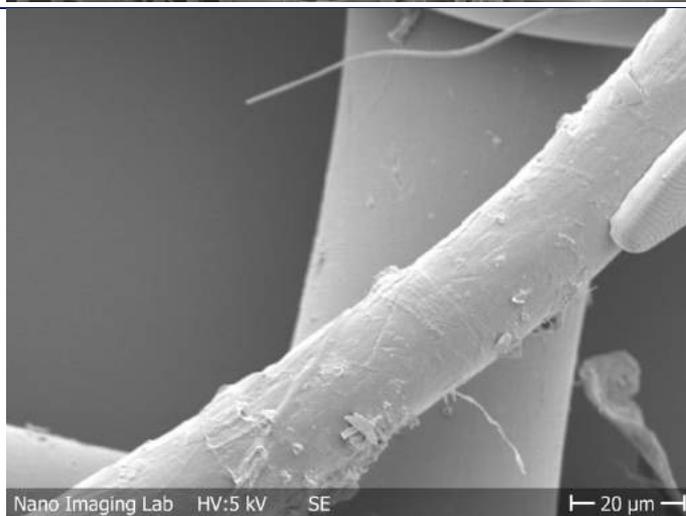
Vergrößerte Aufnahme des Haares. Die einzelnen Schuppen sind gut erkennbar.



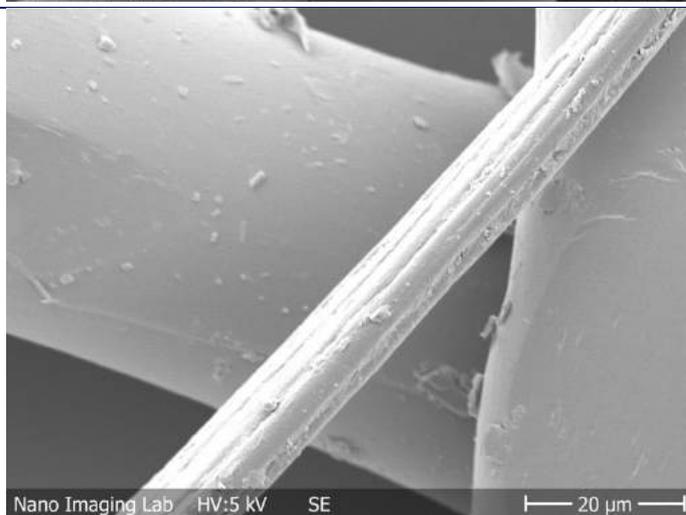
An ihrer Glattheit, kann die Plastikfaser gut erkannt werden.



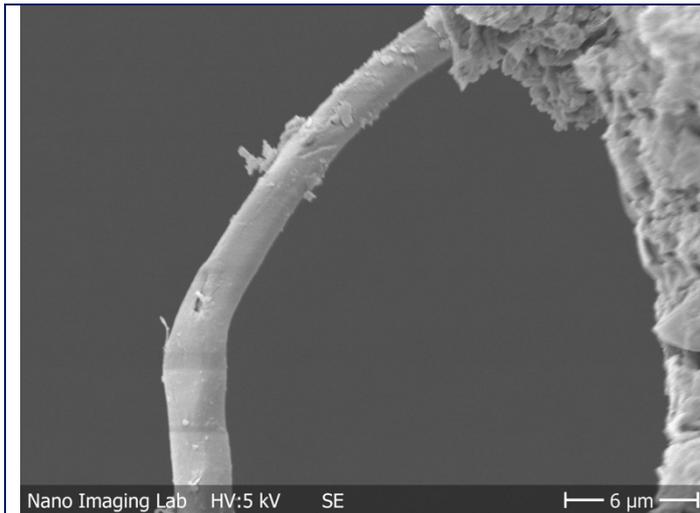
Die Plastikfasern sind oft leicht gebogen und an den Enden gerade. Sie sind nicht gedreht oder zackig und werden somit vor anderem Material hervorgehoben.



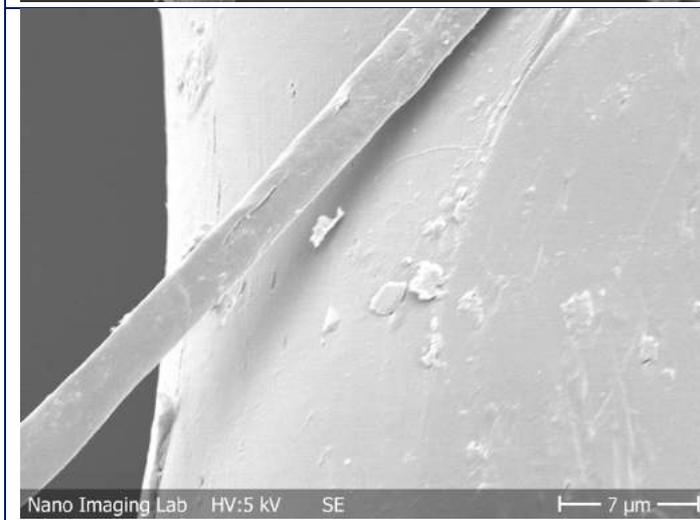
Plastikfaser. Im Hintergrund kann der Filter erkannt werden. Er ist glatt und zeigt wie Plastik unter dem REM auszusehen hat. Einige Unreinheiten können erkannt werden und die Oberfläche ist nie vollständig eben, aber im Gegensatz zu organischem Material ist der Unterschied deutlich sichtbar.



Organisches Material. Die Oberfläche ist glatt, hat jedoch Rillen. Bei unklaren Fasern werden am besten die Faserenden untersucht. Sind diese fransig oder brüchig handelt es sich um organisches Material.



Erneut eine Plastikfaser.



Plastikfaser. Hier kann gut beobachtet werden, dass die Plastikfaser die gleiche Oberflächenbeschaffenheit wie der Filter hat.

Plastikfasern insgesamt: 7

8.1.2 Zizers

Berechnungen Volumenstrom:

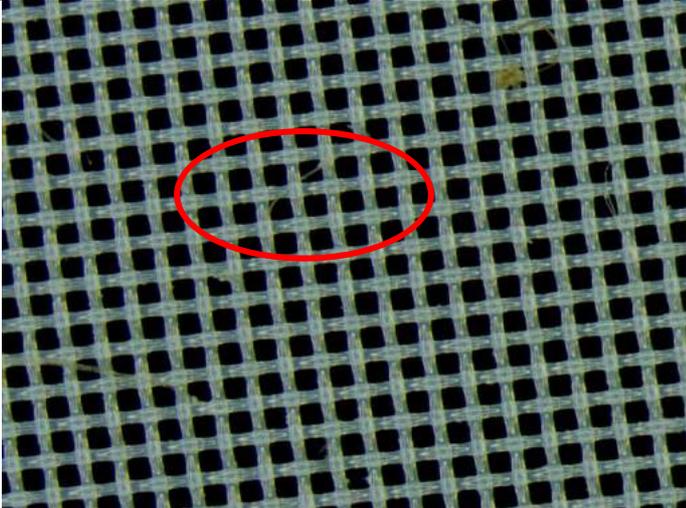
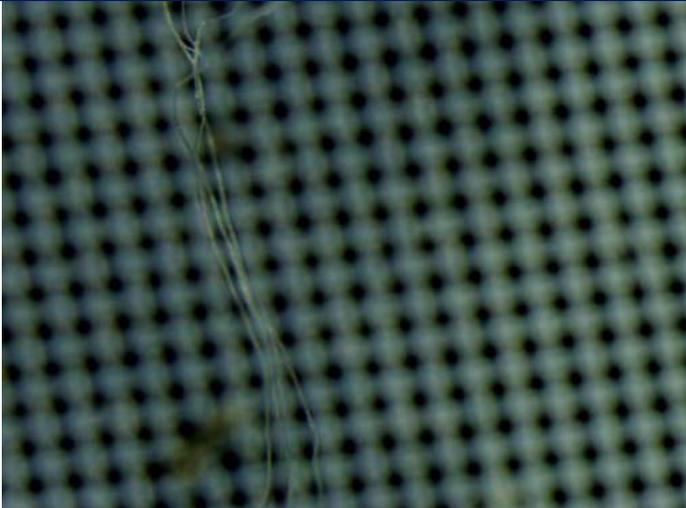
Gemessene Durchschnittsgeschwindigkeit: 1,96m/s

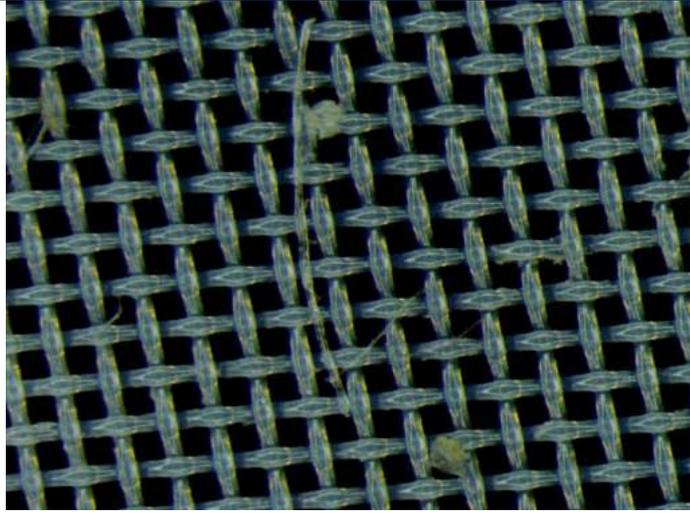
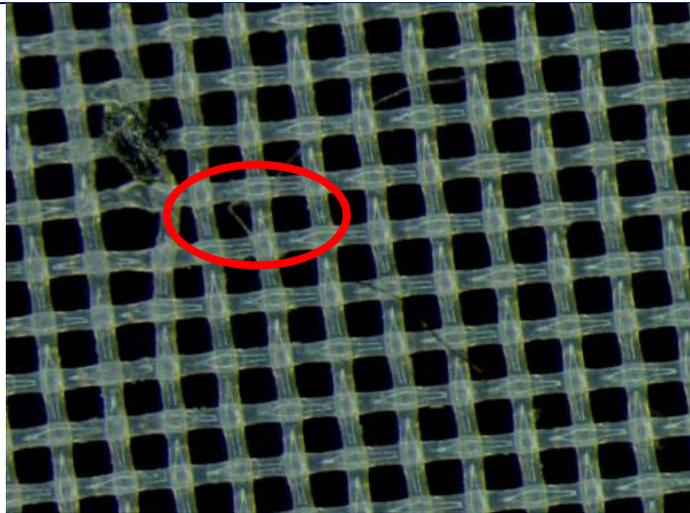
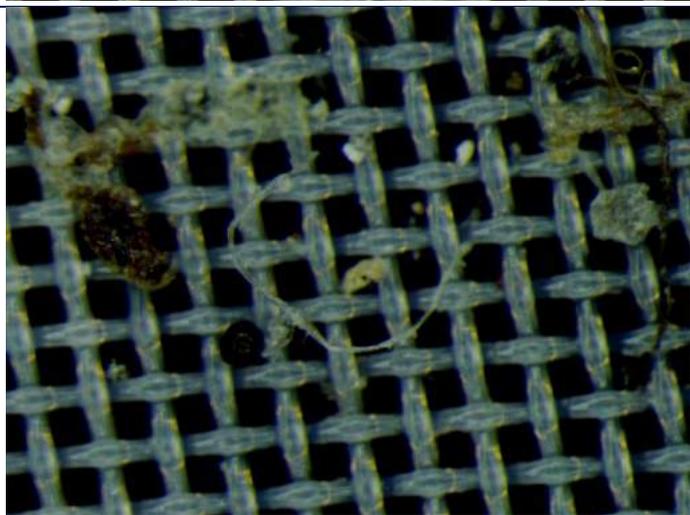
$$V = 0.0113m^2 \times \frac{1.96m}{s} = \frac{0.022m^3}{s} = \frac{22l}{s}$$

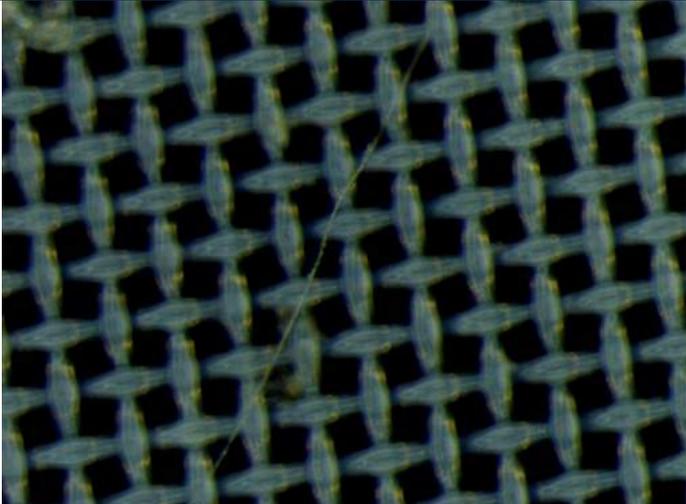
$$\frac{25m^3}{(0.0113m^2 \times \frac{1.96 m}{s})} = 1129s \rightarrow \frac{1129}{60} = \mathbf{19min}$$

Der «BabyLegs» muss 19 Minuten im Wasser bleiben.

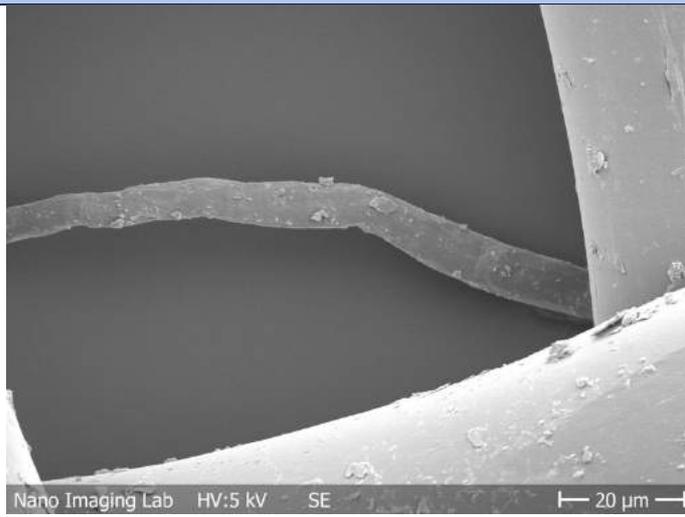
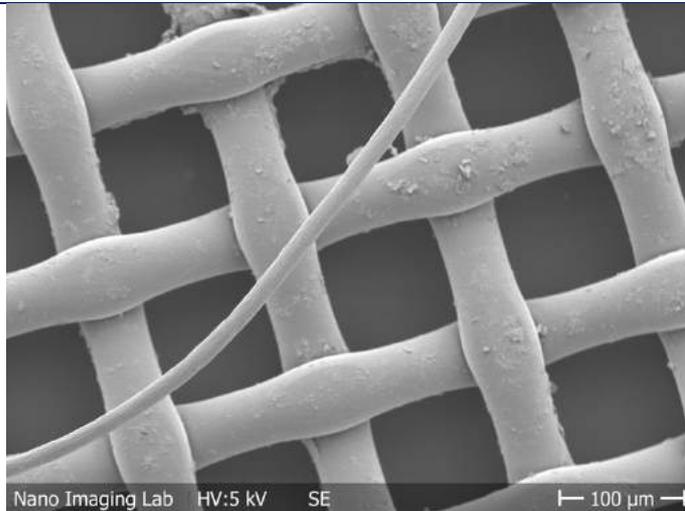
Untersuchungen: Lichtmikroskop

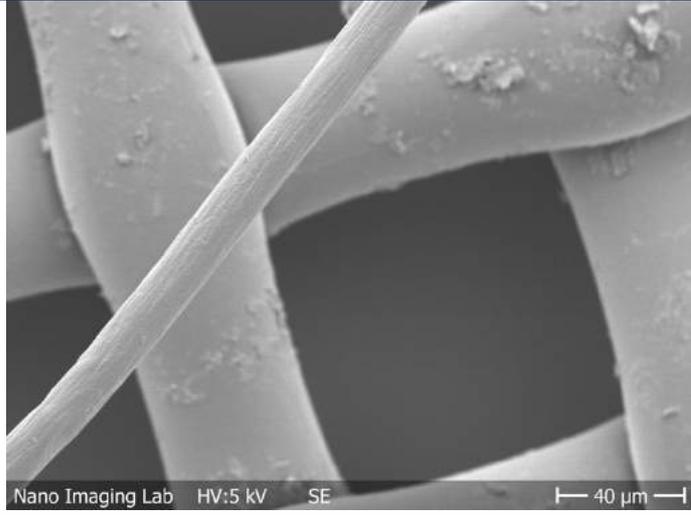
Zoom	Bild	Material
2.5		Auf den ersten Blick sehen diese kleinen Fäden aus wie Plastik. Jedoch sind es oft Algenfäden, die erst bei genauerer Untersuchung identifiziert werden können.
2.5		Eindeutig einige Plastikfasern. Der Glanz ist oft ein Zeichen für künstliches Material, da organisches Material wie Algen nicht glänzt, besonders wenn es trocken ist.

3.2		<p>Erscheint wie eine Plastikfaser, jedoch können bei genauerer Beobachtung einige Unreinheiten, vermutlich Pflanzenzellen, erkannt werden.</p>
4.0		<p>Organisches Material kann nur brechen oder in abgerundeter Form vorkommen. Diese Art von Knick kann nur bei Plastik entstehen.</p>
4.0		<p>Erneut nicht ganz eindeutig identifizierbar. Von der Form her könnte es sich hier gut um Plastik handeln.</p>

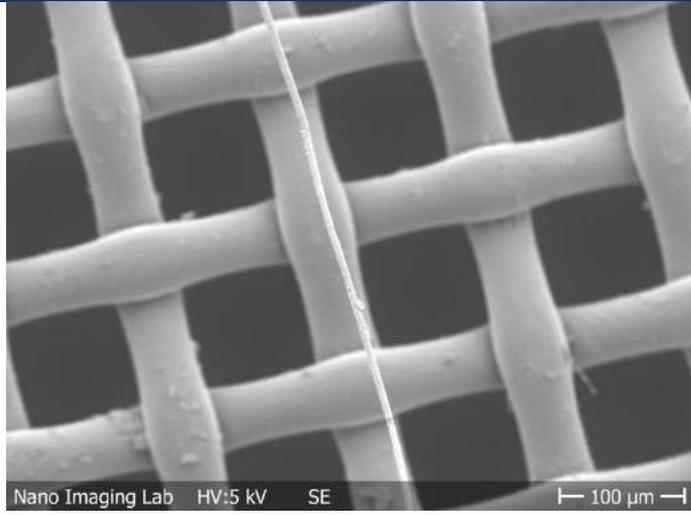
4.0		<p>Nicht eindeutig erkennbar. Organisches Material ist jedoch oft viel kürzer, oder verbricht in mehrere Stücke. Vom Glanz her scheint dies auch eher eine Plastikfaser zu sein, hundertprozentig lässt es sich aber nicht sagen.</p>
-----	--	---

Untersuchungen: REM

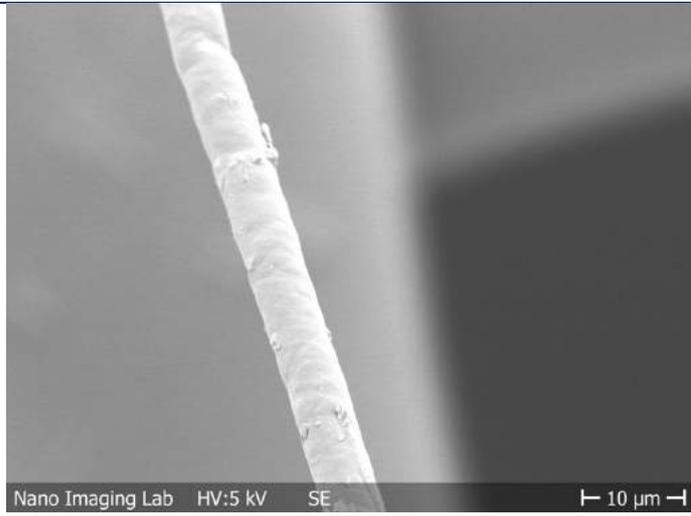
Bild	Material
	<p>Von der Oberflächenbeschaffenheit erneut eine Plastikfaser. Ihre unebene Dicke ist jedoch merkwürdig.</p>
	<p>Von der Glätte und Form her eine Plastikfaser.</p>



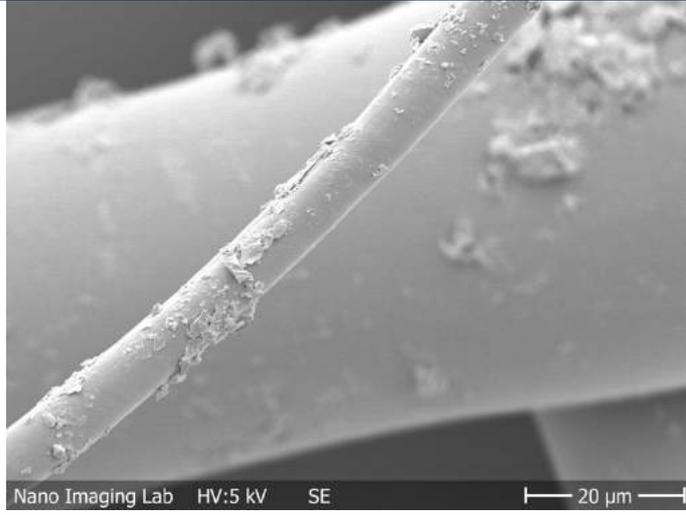
Nahaufnahme der Faser. Die gleichmässige Oberfläche zeichnet den Plastik aus.



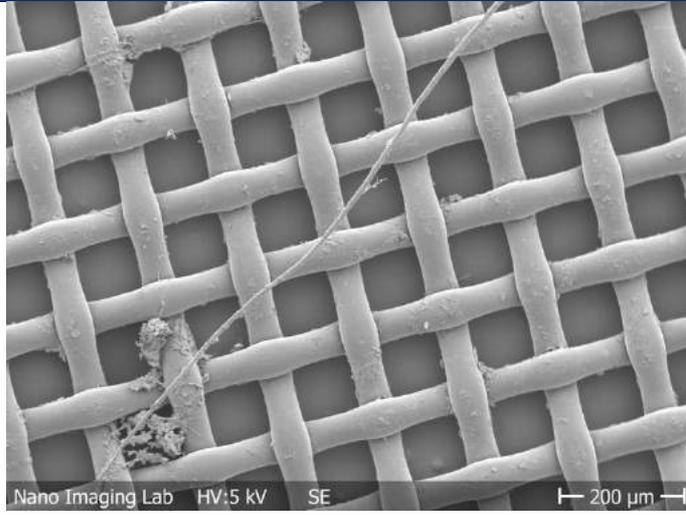
Erneut eine glatte Plastikfaser.



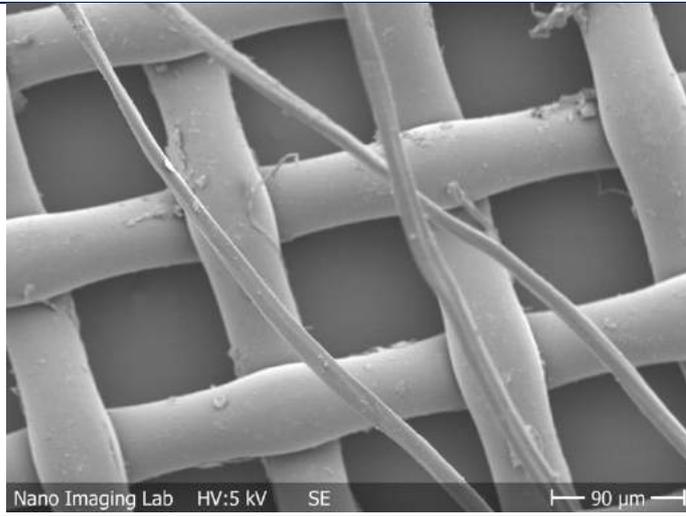
Nahaufnahme der Faser.



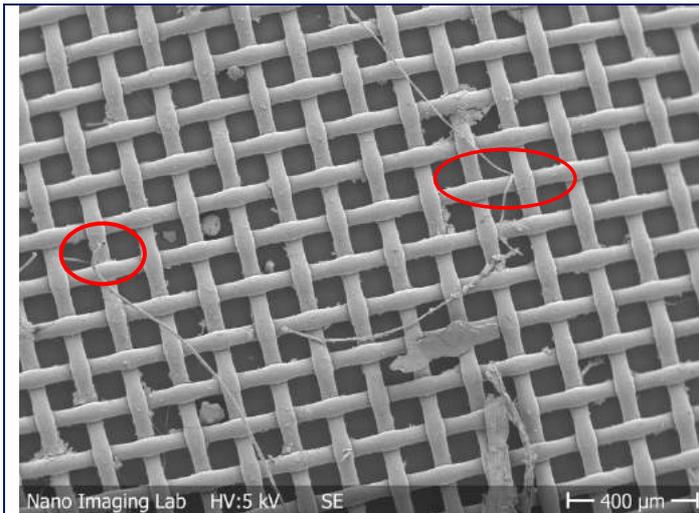
Eine andere Plastikfaser mit leicht verschmutzter Oberfläche. Oft bleibt organisches Material an den Fasern hängen. In diesem Fall muss die Oberfläche der Faser selbst untersucht werden um festzustellen ob es sich um Plastik handelt.



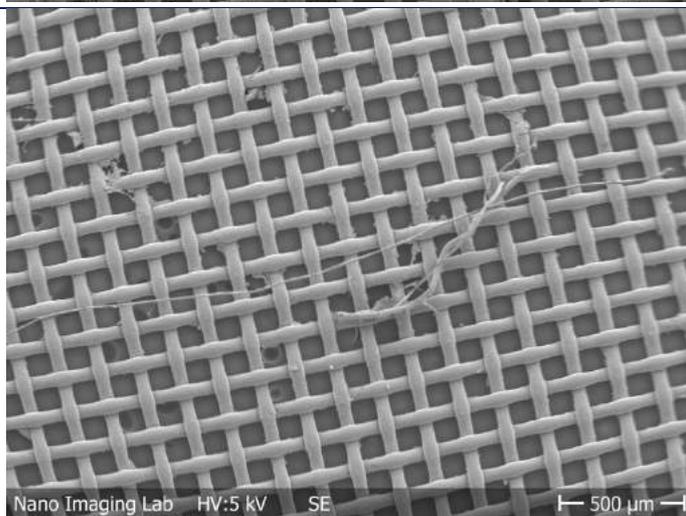
Eine lange Plastikfaser. Organisches Material wäre bei dieser Länge vermutlich zerbrochen. Bei den Untersuchungen wurden keine längeren organischen Materialien gefunden. Die abgerundete Form deutet erneut auf Plastik hin, da organisches Material oft eckig oder flach ist.



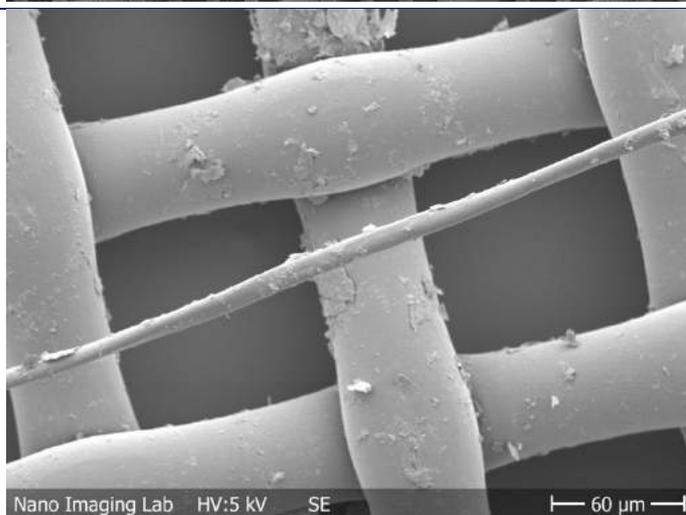
Drei identische Plastikfasern. Wenn die Bilder verschiedener Proben verglichen werden, lässt sich die Ähnlichkeit der Fasern gut erkennen.



Am Knick lässt sich die eine Faser sehr gut als Plastikfaser identifizieren. Das Ende der anderen Faser ist typisch für Plastikfasern. Ohne die für organische Material typische Ausfransung lässt sich die Plastikfaser hier sehr gut erkennen.



Die Länge zeichnet diese Faser als Plastikfaser aus.



Vergrößerung der Plastikfaser. Die Oberfläche bestätigt, dass es sich um eine Plastikfaser handelt.

Plastikfasern insgesamt: 14

8.1.3 Quelle

Berechnungen Volumenstrom:

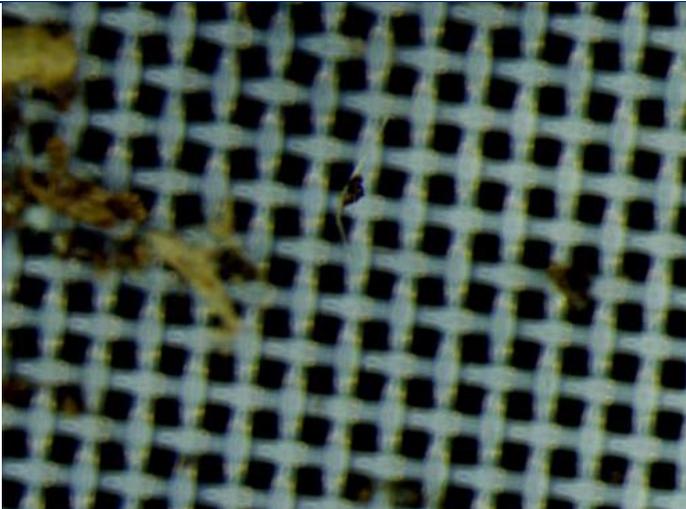
Gemessene Durchschnittsgeschwindigkeit: 3,5m/s

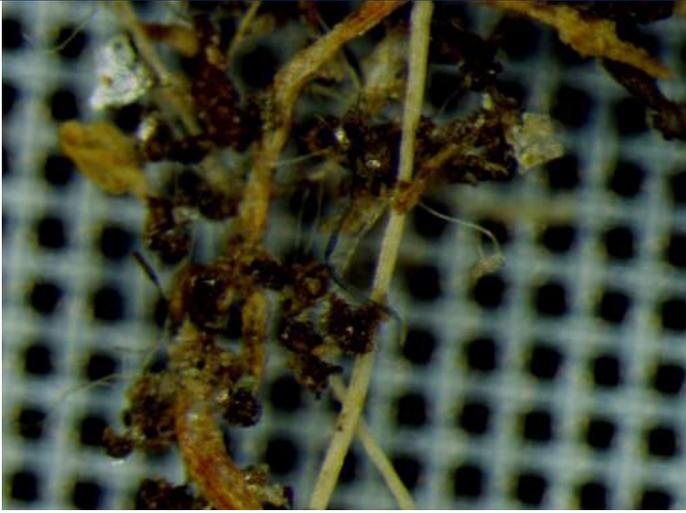
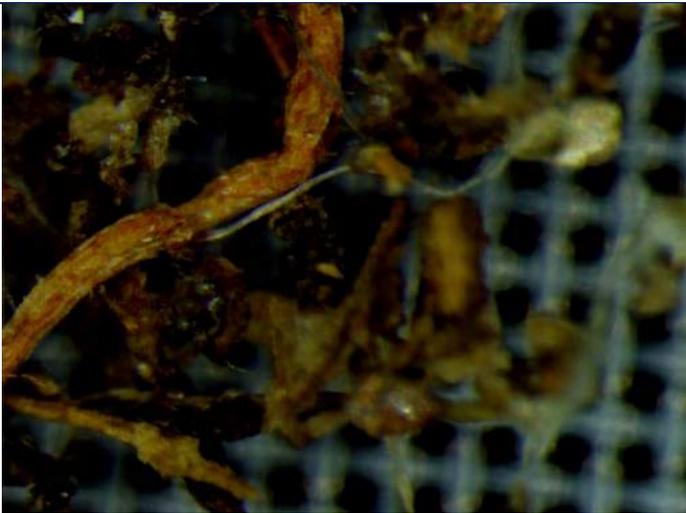
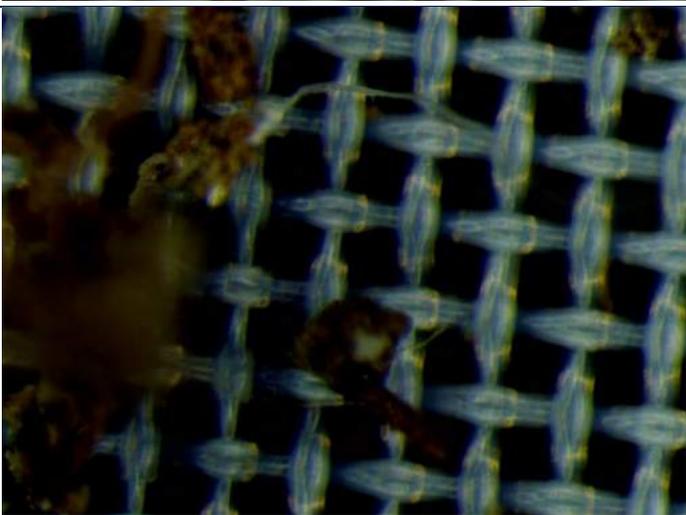
$$V = 0.0113m^2 \times \frac{3.5m}{s} = \frac{0.039m^3}{s} = \frac{39l}{s}$$

$$\frac{25m^3}{(0.0113m^2 \times \frac{3.5m}{s})} = 632s \rightarrow \frac{632}{60} = 10.53 \times 4 \text{ (Vgl. Kap. 4.3)} = \mathbf{42min}$$

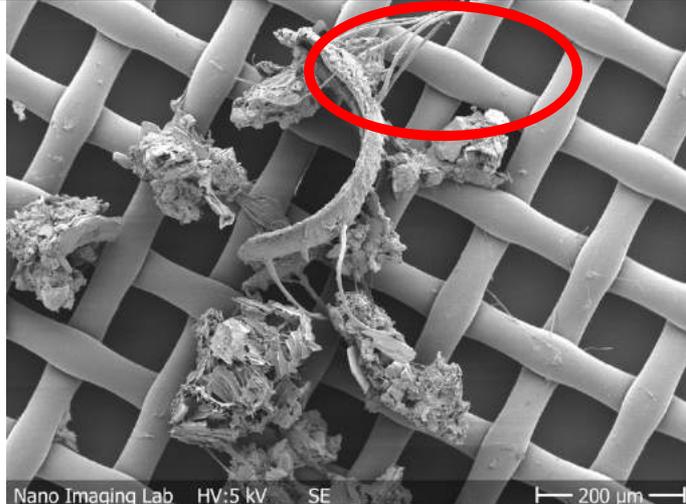
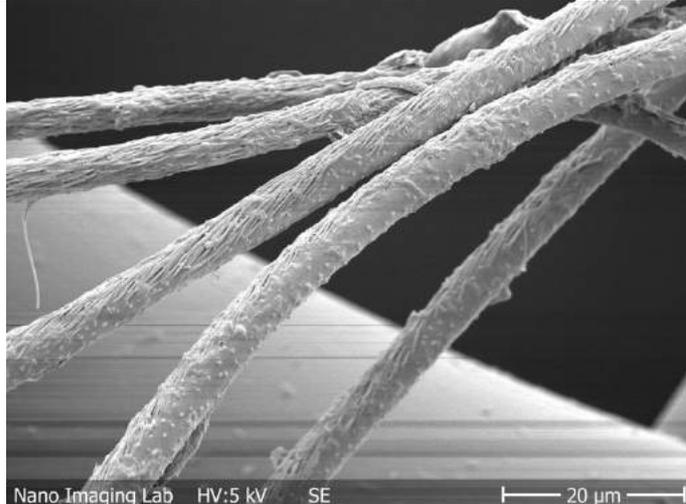
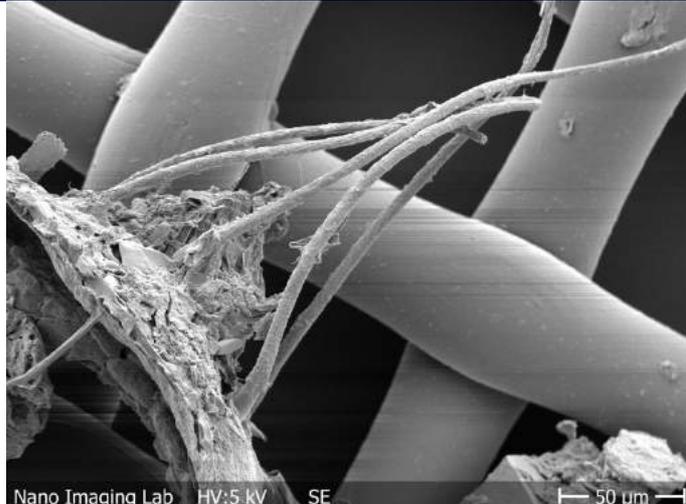
Der «BabyLegs» muss 42 Minuten im Wasser bleiben.

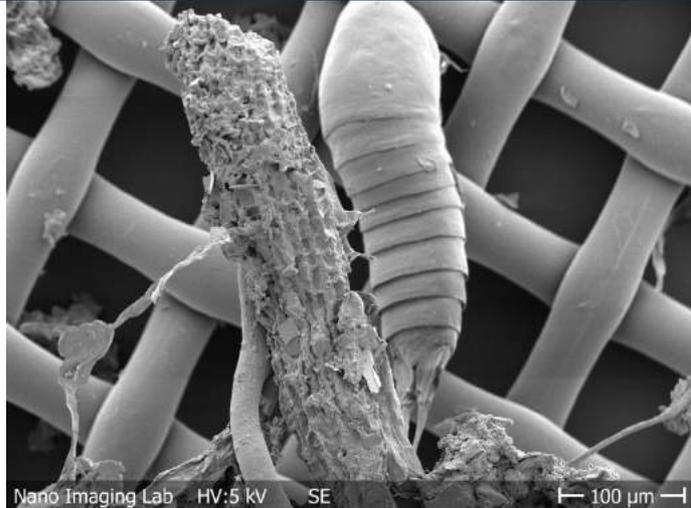
Untersuchungen: Lichtmikroskop

Zoom	Bild	Material
0.71		Beispiel von organischem Material. Hier wird deutlich, dass Plastik komplett anders wie organisches Material unter dem Mikroskop erscheint.
3.2		Eine kleine durchsichtige Plastikfaser.

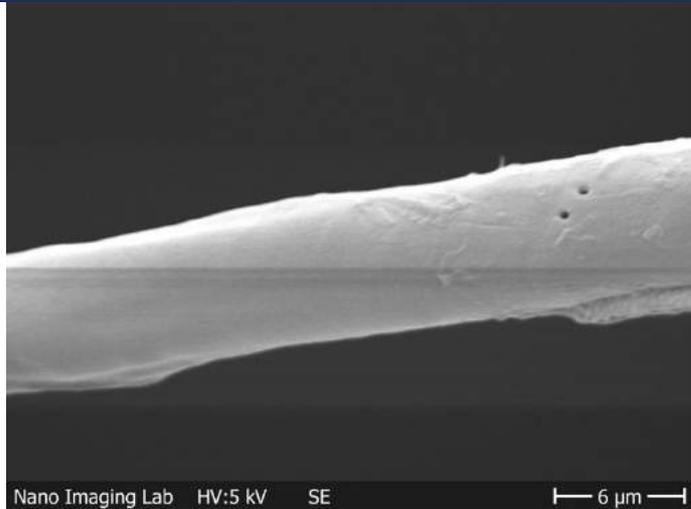
4.0		<p>Einige kleine Plastikfasern, die sich mit organischem Material vermischt haben. Dies ist einer der Gründe weshalb im Wasser lebende Tiere so viel Plastik aufnehmen, ohne dass sie es bemerken.</p>
5.0		<p>Nahaufnahme der Plastikfasern. Die glatte, synthetische Oberfläche sticht neben dem braunen, unebenen Material gut hervor.</p>
5.0		<p>Erneut eine Plastikfaser.</p>

Untersuchungen: REM

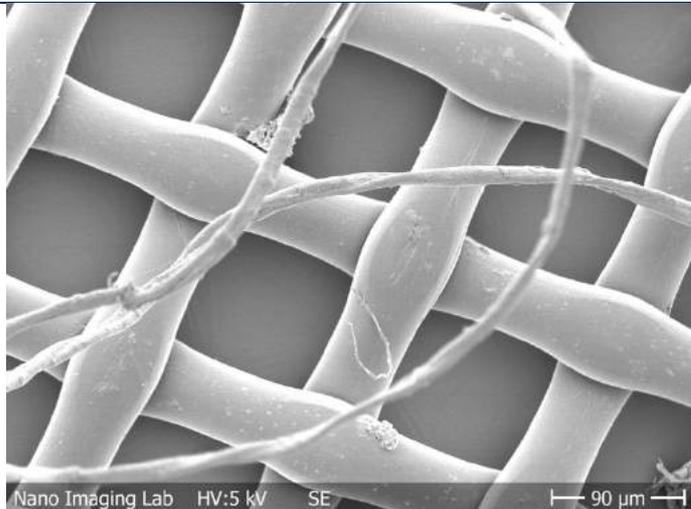
Bild	Material
 <p>Nano Imaging Lab HV:5 kV SE 200 µm</p>	<p>Von dieser Perspektive aus scheinen die erkennbaren Fasern aus Plastik zu sein.</p>
 <p>Nano Imaging Lab HV:5 kV SE 20 µm</p>	<p>Bei der Vergrößerung wird dieses Bild gezeigt. Rein optisch würde diese Oberfläche nicht auf Plastik hinweisen. Die Faser sieht mehr wie eine Stofffaser aus. Da jedoch alle rauen und faserigen Oberflächen zurück in die Faser übergehen, könnte es sich dennoch um Plastik handeln. Die Faser an sich ist ausserdem sehr glatt und einheitlich in der Form und Abrundung.</p>
 <p>Nano Imaging Lab HV:5 kV SE 50 µm</p>	<p>Von weiter weg erkennt man die einheitliche Form der fünf Fasern. Es handelt sich hier wahrscheinlich schon um Plastikfasern, genau können sie jedoch nicht bestimmt werden, da mehrere der Erkennungsfaktoren die bisher benutzt wurden von der Norm abweichen.</p>



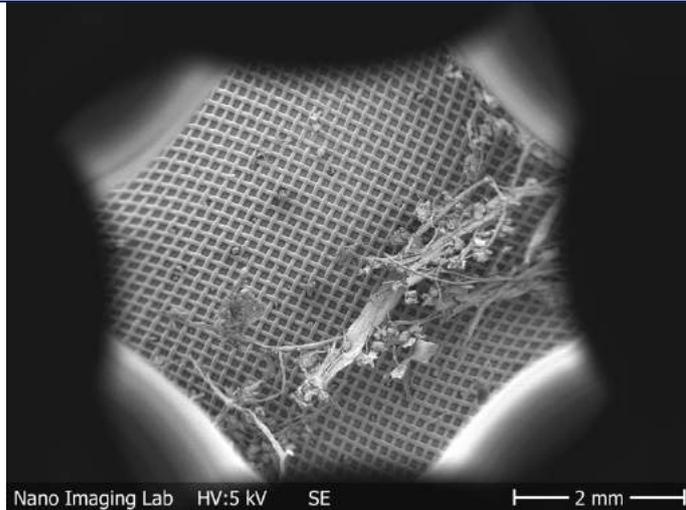
Körper eines Insektes unter dem REM.



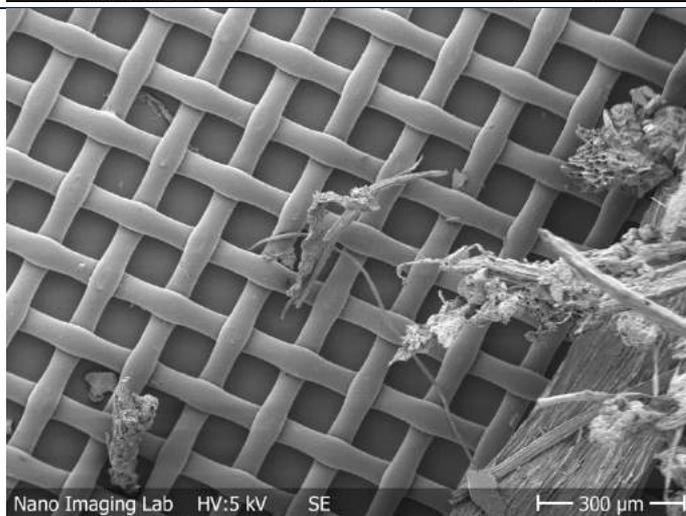
Eindeutig eine Plastikfaser. Die Oberfläche ist glatt und die kleinen Löcher weisen auf Luftbläschen während der Produktion hin.



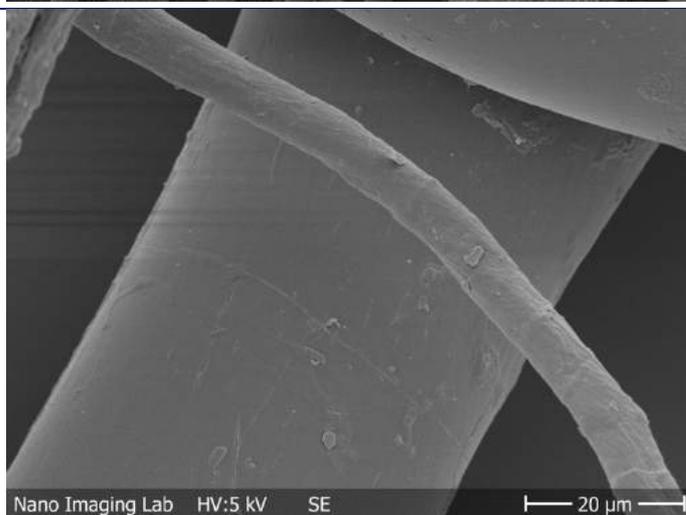
Ansicht von drei Plastikfasern. Obwohl sie verdreht sind und nicht vollständig abgerundet, lässt die glatte Oberfläche auf Plastik schließen.



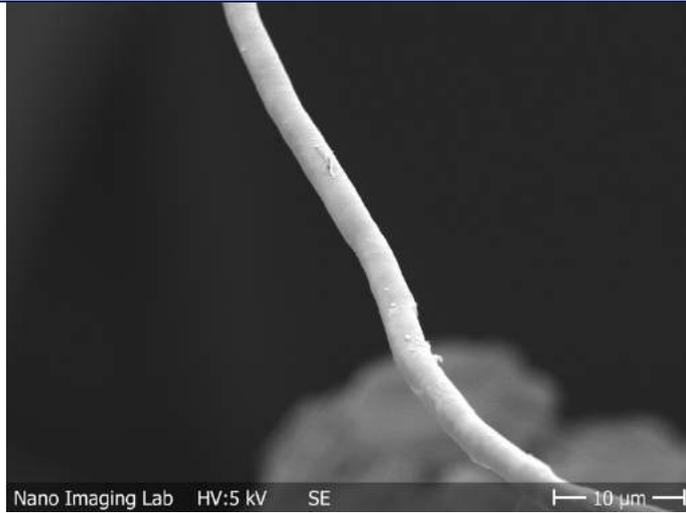
Ansicht von oben auf eine Ansammlung von Plastikfasern und organischem Material.



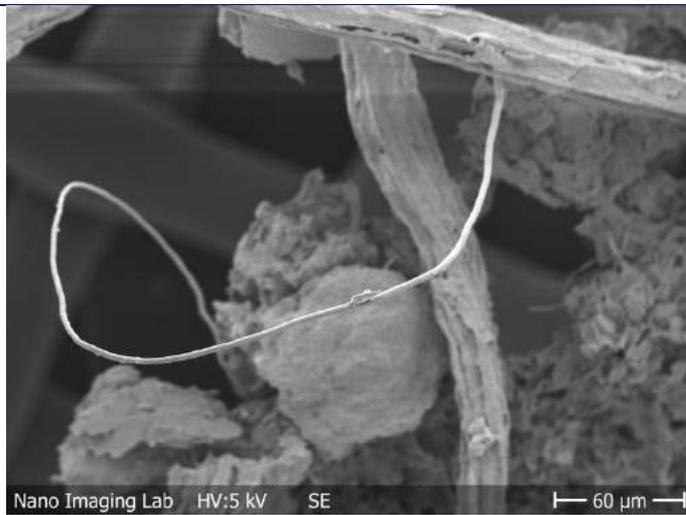
Die Faser kann hier gut vom organischen Material unterschieden werden.



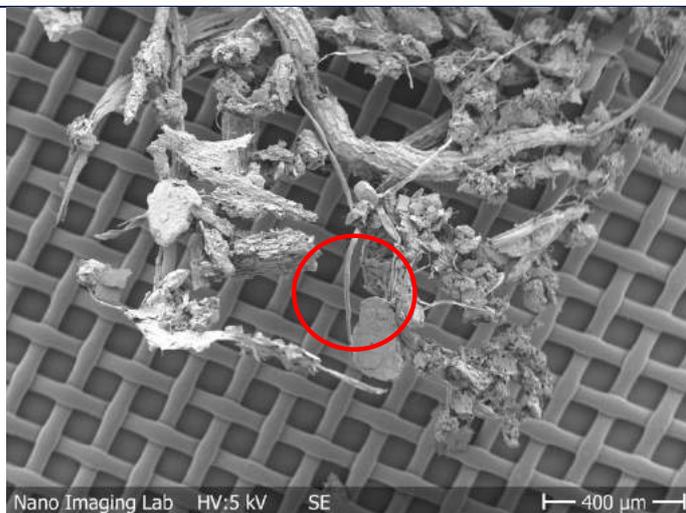
Vergrößerung der Faser. Die Oberfläche zeigt, dass es sich um Plastik handelt.



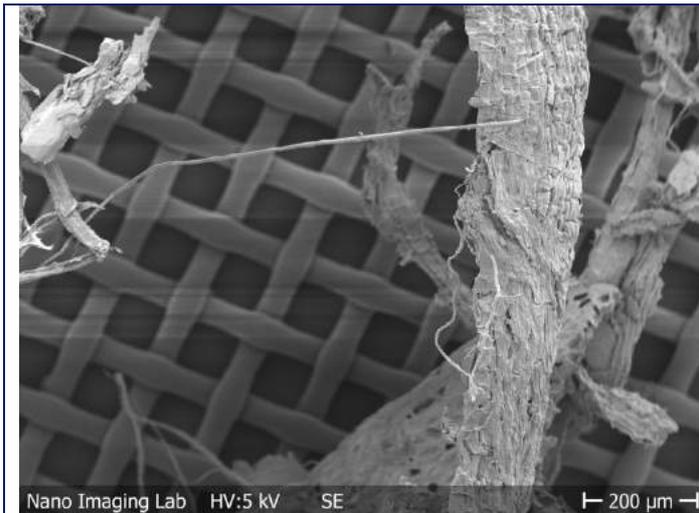
Plastikfaser.



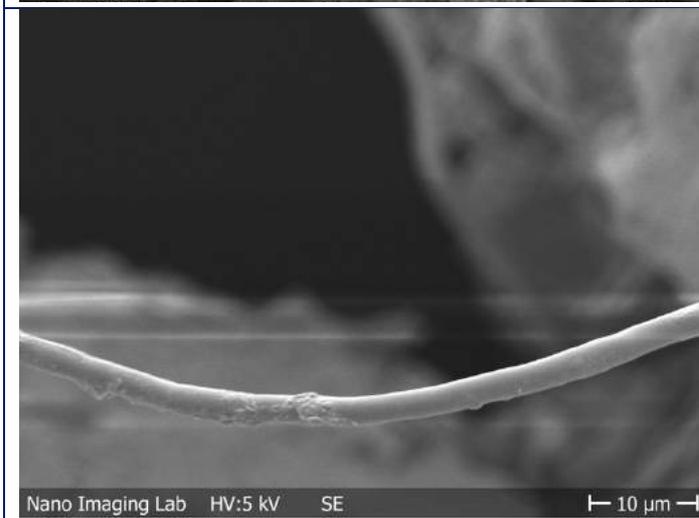
Erneut eine lange und ebenmässige Plastikfaser.



Da diese Fasern sehr dünn und flach erscheinen, handelt es sich hier eher nicht um Plastik. Nur eine Faser sticht hervor, die von der Form her auf Plastik schliessen lässt.



Ansicht einer Plastikfaser. Die Starre der Faser lässt auf Plastik schliessen. Organisches Material ist meist nicht fest genug um, wie hier abgebildet, abzustehen.



Die Vergrößerung der Faser zeigt, dass es sich um Plastik handelt.

Plastikfasern insgesamt: 10 (die nicht identifizierbaren Fasern wurden nicht mitgezählt).

8.1.4 Basel

Berechnungen Volumenstrom:

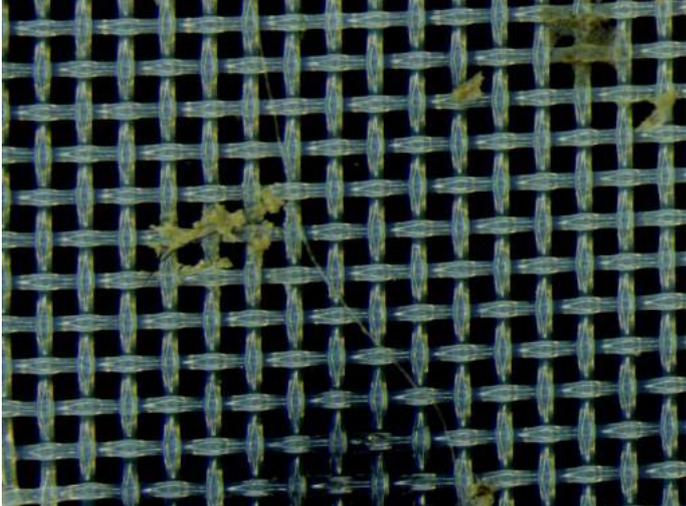
Gemessene Durchschnittsgeschwindigkeit: 1,38m/s

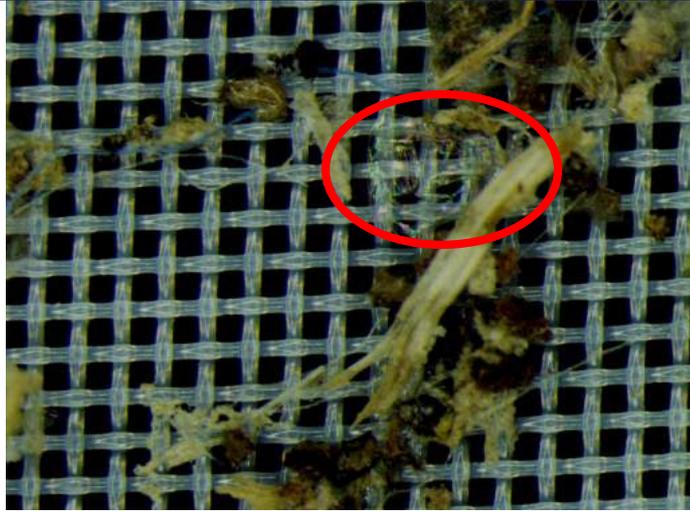
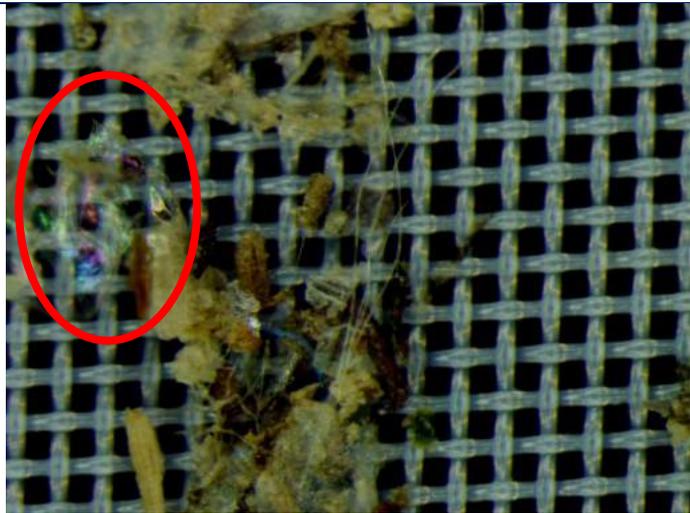
$$V = 0.0113m^2 \times \frac{1.38m}{s} = \frac{0.016m^3}{s} = \frac{16l}{s}$$

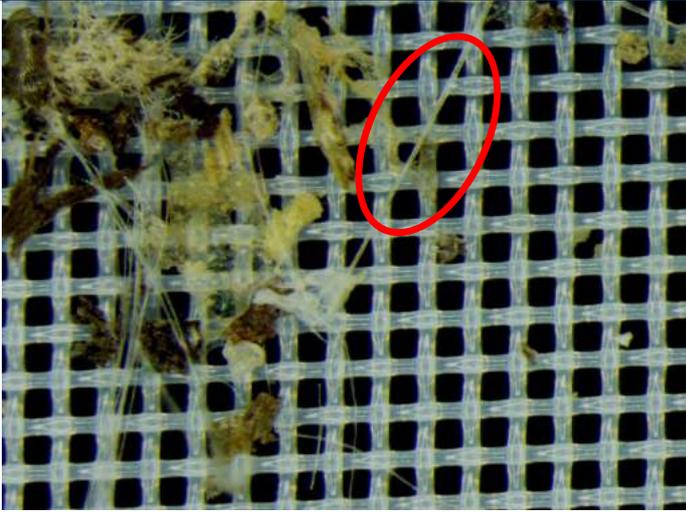
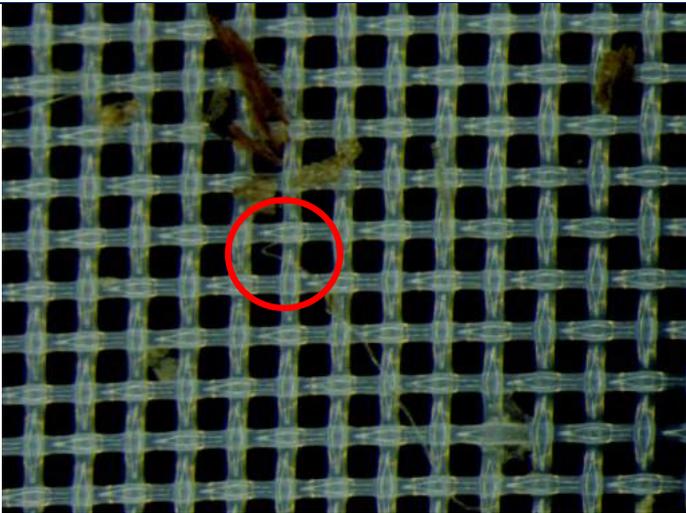
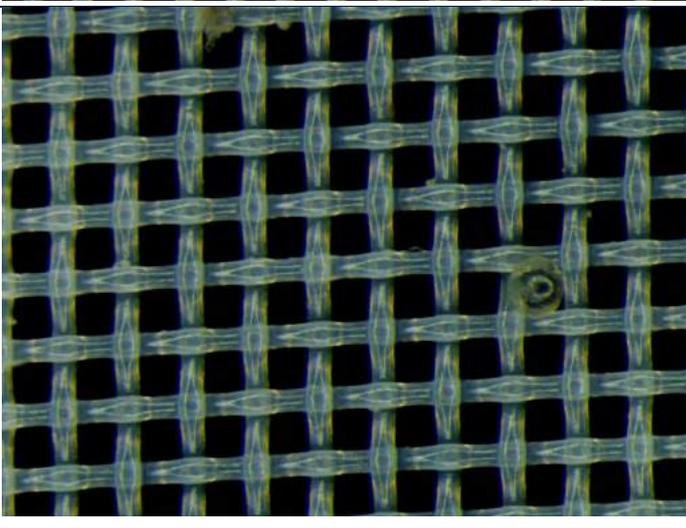
$$\frac{25m^3}{(0.0113m^2 \times \frac{1.38 m}{s})} = 1603s \rightarrow \frac{1603}{60} = \mathbf{27min}$$

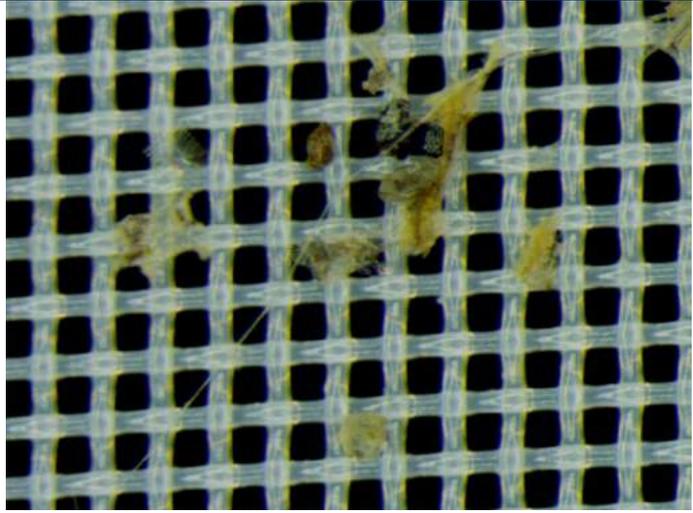
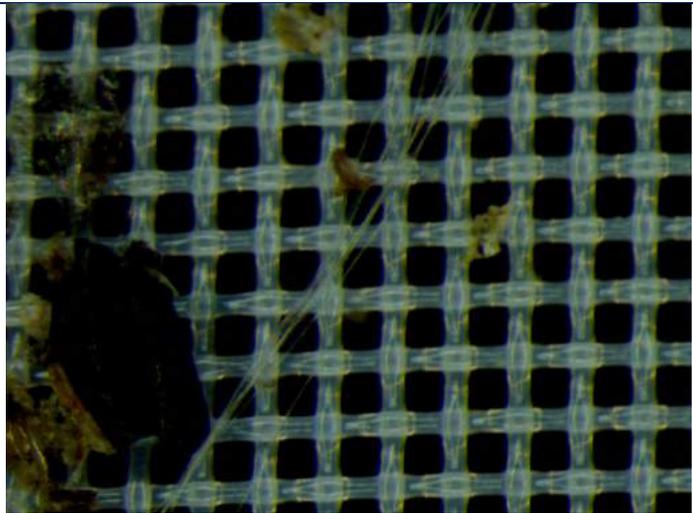
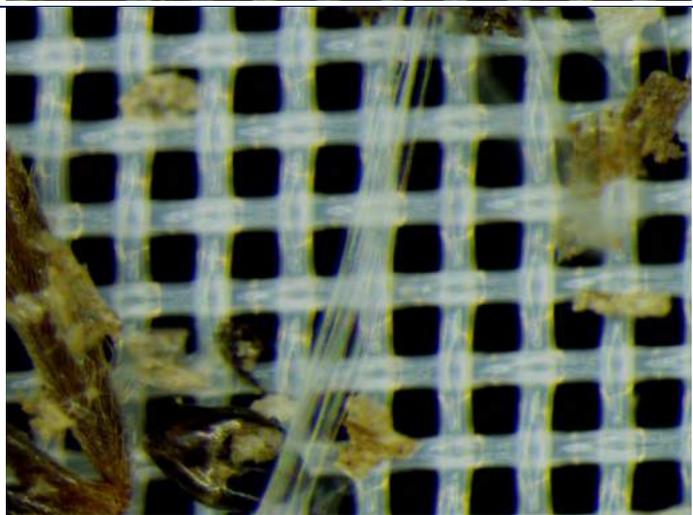
Der «BabyLegs» muss 27 Minuten im Wasser bleiben.

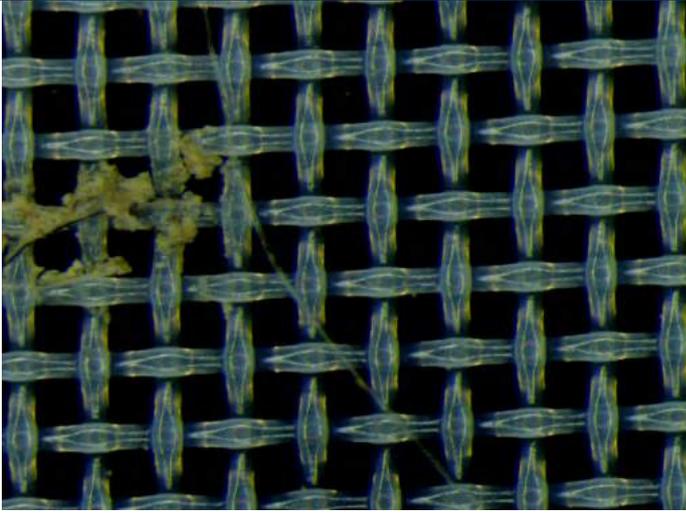
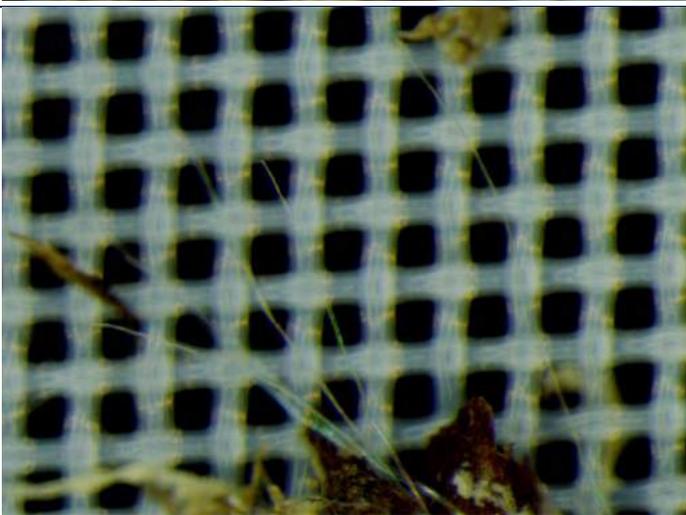
Untersuchungen: Lichtmikroskop

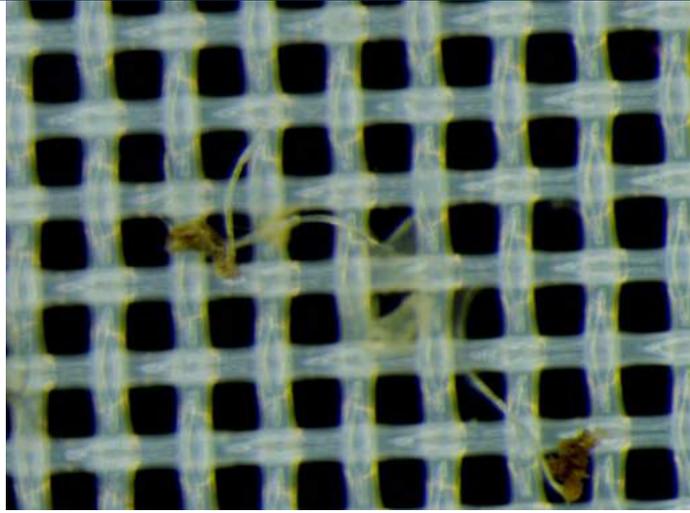
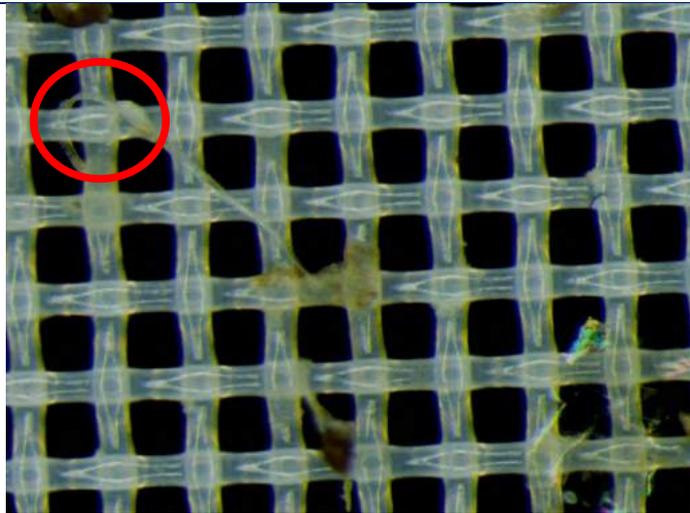
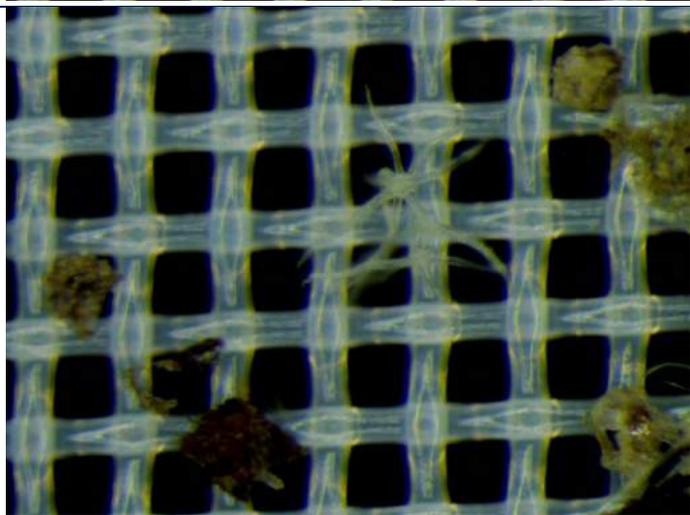
Zoom	Bild	Material
1.25		Mehrere Fasern sind deutlich erkennbar.
2.5		Die Beschaffenheit dieser Faser gleicht dem Cell Strainer sehr. Der Glanz lässt zusätzlich auf Plastik schliessen.

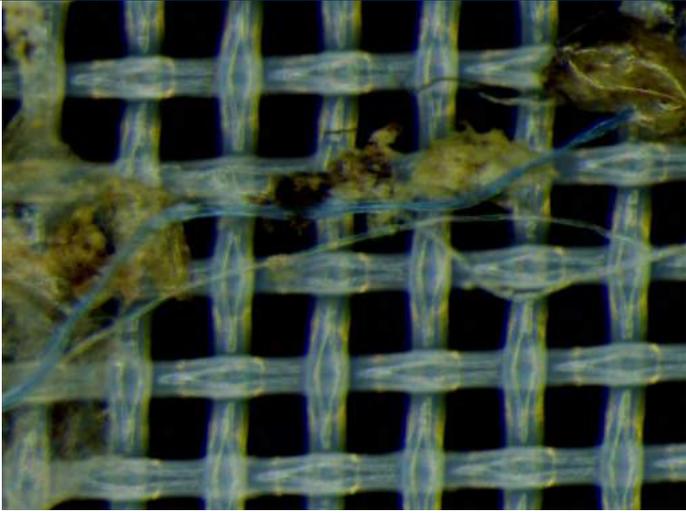
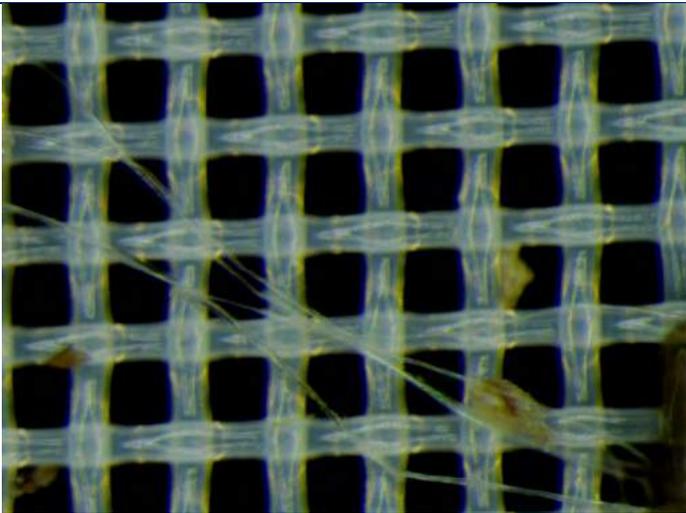
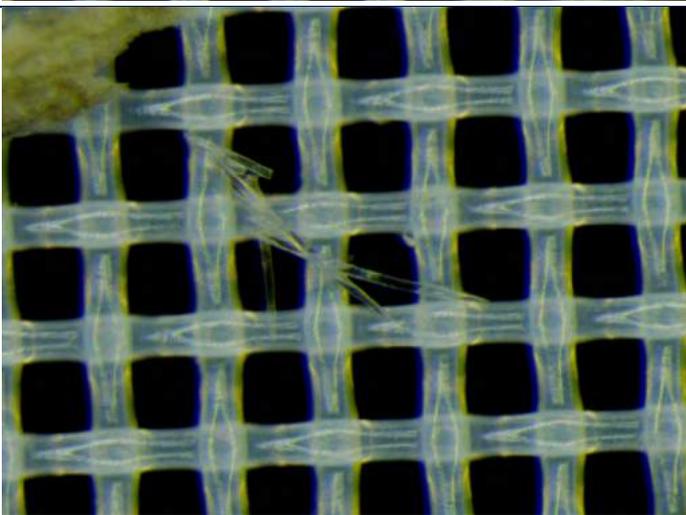
2.5		<p>Dies ist keine Plastikfolie. Wie erwähnt glänzt organisches Material nur sehr selten, aber es gibt einige Ausnahmen. Plastik reflektiert kein farbiges Licht (hier Prisma ähnlich), sondern spiegelt das Licht nur wieder. Hier handelt es sich vermutlich um Pflanzenhaut.</p>
3.2		<p>Vergrosserung der Fasern und dem Folien ähnlichen Material. Hier kann klar erkannt werden, dass dieses Material das Licht in Farben reflektiert, was bei Plastik dieser Grösse unwahrscheinlich ist, da eine mögliche irisierende Lackierung vermutlich abgerieben worden wäre.</p>
2.5		<p>Erneute Ansicht von Plastikfasern, ihre Ähnlichkeit lässt darauf schliessen.</p>

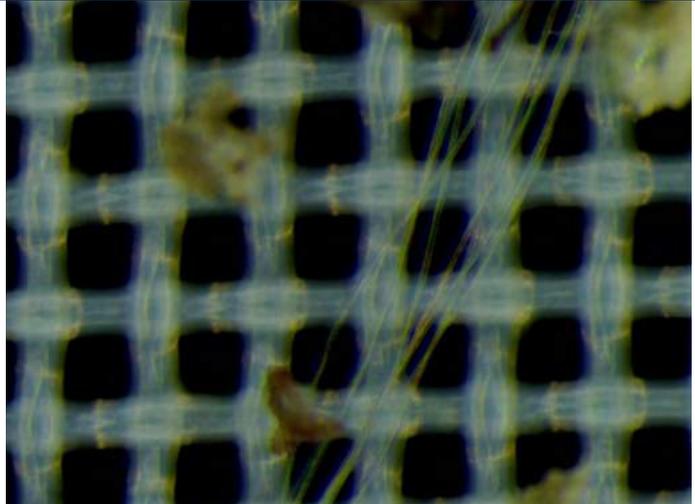
3.2		<p>Die kleinen Fasern sind ihrer Ähnlichkeit wegen vermutlich aus Plastik.</p> <p>Die grosse dicke Faser hingegen besteht vermutlich aus organischem Material. Bei näherer Betrachtung können einzelne Zellen und eine leicht grünliche Färbung erkannt werden.</p>
3.2		<p>Der enge Zacken lässt auf Plastik schliessen.</p>
4.0		<p>Mikroplastikkugeln sind selten so durchsichtig, die grünliche Färbung weist auf organisches Material hin. Die Oberfläche ist aber glatt und rund was auf Plastik schliessen lässt. Es kann nicht eindeutig gesagt werden, ob es sich um kugelförmigen Plastik, oder organisches Material handelt.</p>

4.0		Ansicht einer langen Plastikfaser.
4.0		Mehrere identische Plastikfasern.
5.0		Vergrößerte Ansicht der Fasern.

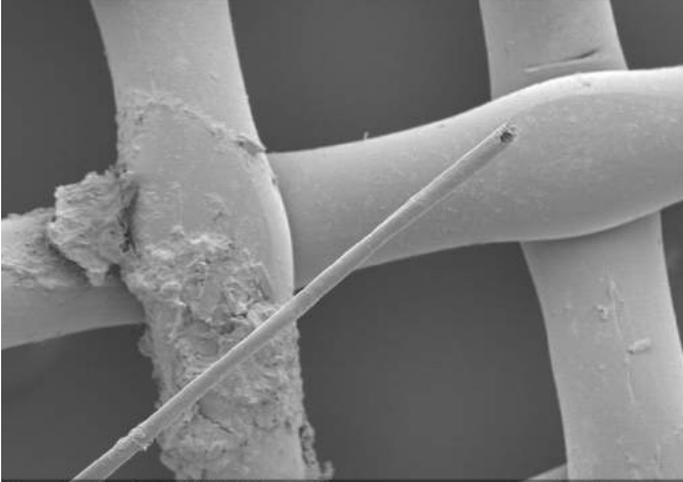
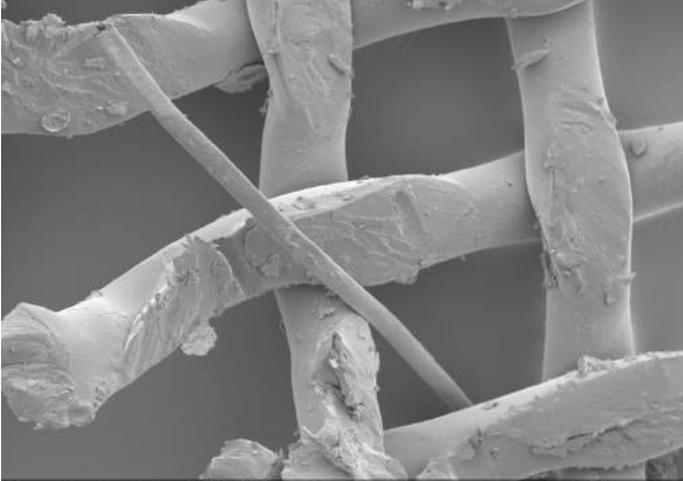
5.0		Plastikfaser.
5.0		Die Enden einiger Fasern. Sie sind nicht ausgefranst, was auf Plastik deutet.
6.3		Erneute Ansicht einiger Faserenden.

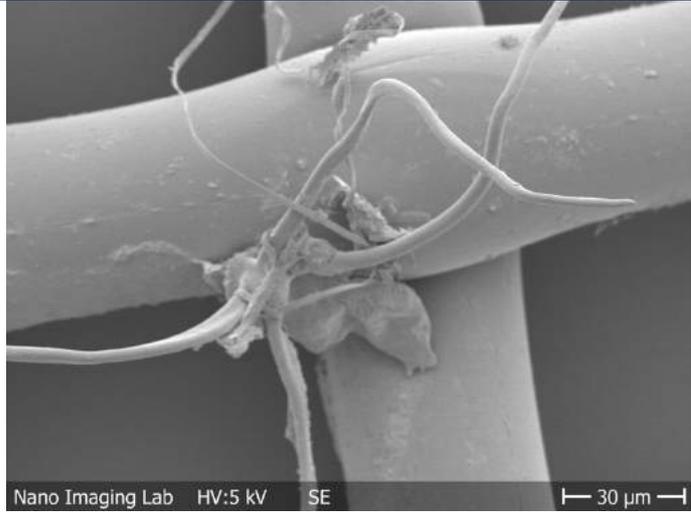
5.0		Die schraubenartige Form dieser Faser weist auf Plastik hin.
5.0		Erneut weist die spezielle Form auf Plastik hin.
6.3		Ein Knoten aus Plastikfasern.

6.3		<p>Bei der blauen Faser handelt es sich vermutlich um eine Stofffaser. Die zwei durchsichtigen Fasern hingegen sind Plastikfasern.</p>
6.3		<p>In dieser Probe lassen sich Gruppen von Fasern finden, wie hier ersichtlich wird.</p>
8.0		<p>Hier kann das durchsichtige Plastik gut erkannt werden.</p>

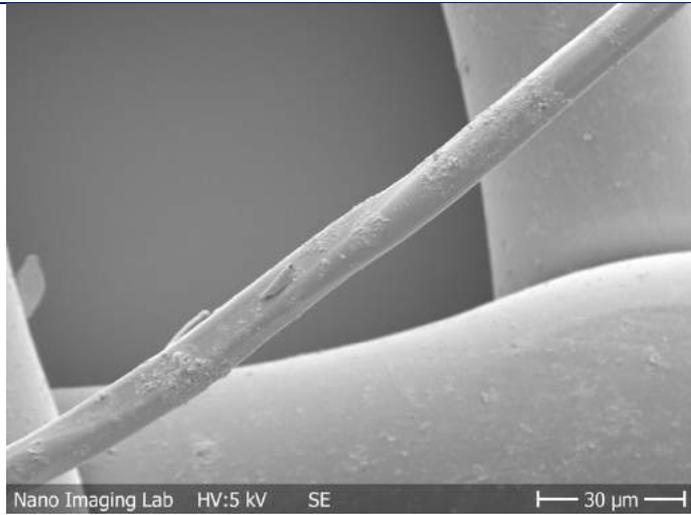
8.0		<p>Sechs gut erkennbare Plastikfasern. Die einheitliche Form der Plastikfasern wird hier sehr deutlich dargestellt.</p>
-----	--	---

Untersuchungen: REM

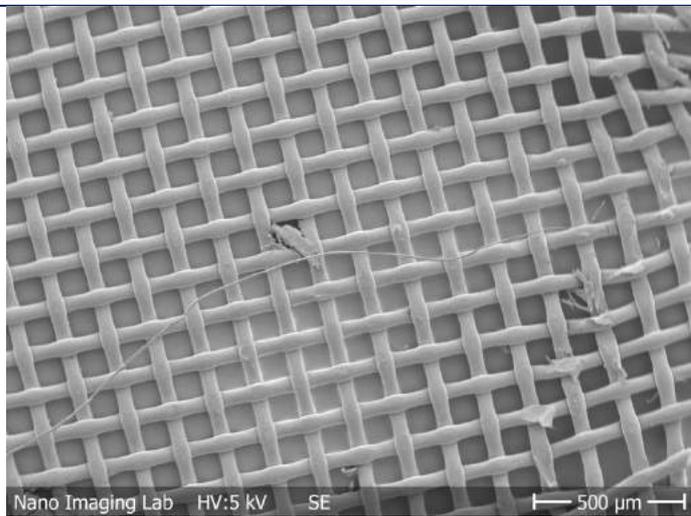
Bild	Material
 <p>Nano Imaging Lab HV:5 kV SE 50 µm</p>	<p>Ende einer Faser unter dem REM. Hier kann deutlich erkannt werden, dass die Faser abgebrochen und nicht ausgefranst ist.</p>
 <p>Nano Imaging Lab HV:5 kV SE 80 µm</p>	<p>Diese Plastikfaser ist oben flach und unten abgerundet. Vermutlich wurde sie von etwas Schwerem flach gepresst.</p>



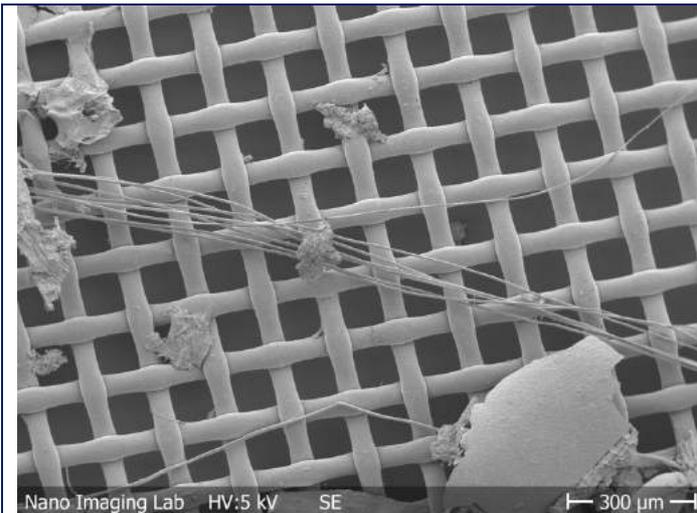
Ansicht eines Plastikknäuels unter dem REM. Die zwei Fasern werden durch organisches Material aneinander geheftet.



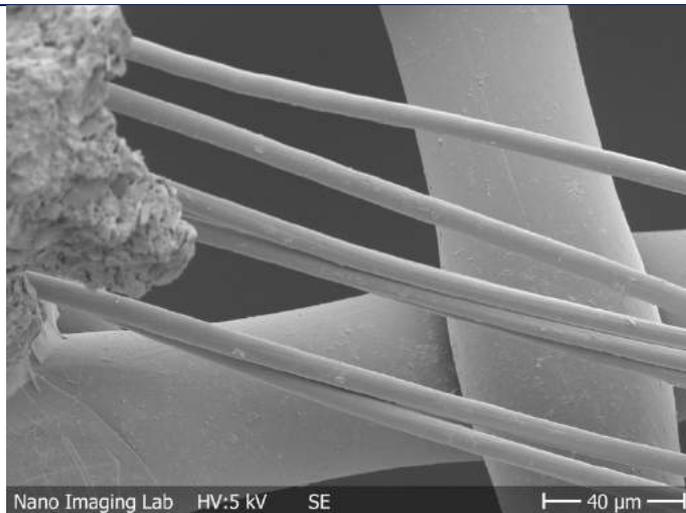
Vergrößerte Ansicht einer Plastikfaser.



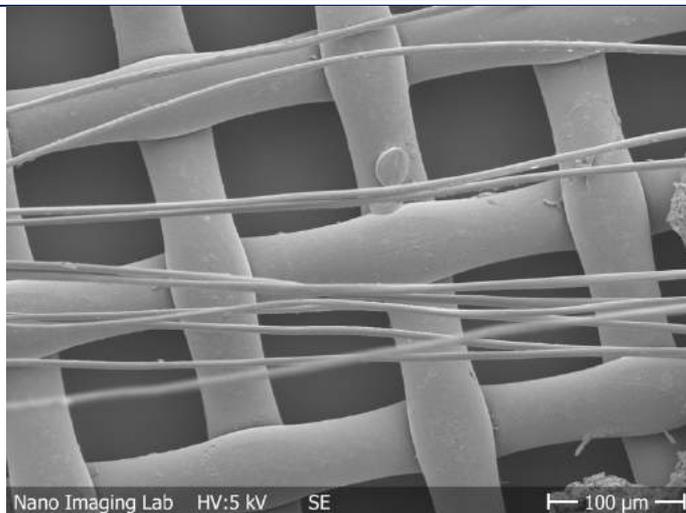
Hier ist eine lange Plastikfaser ersichtlich.



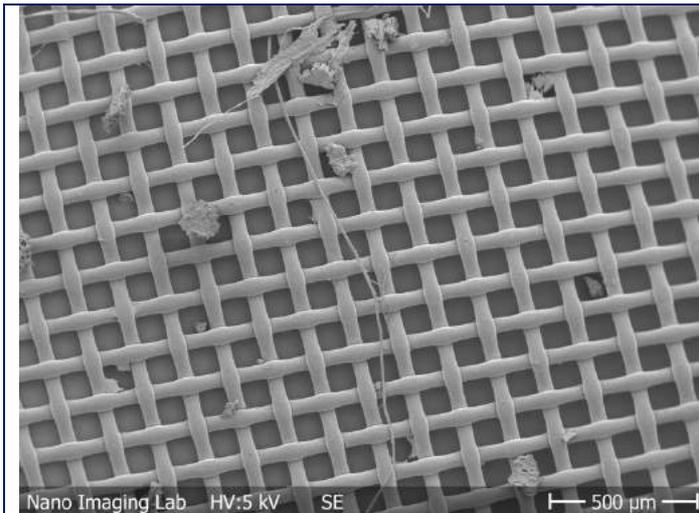
Erneut acht identische Plastikfasern.



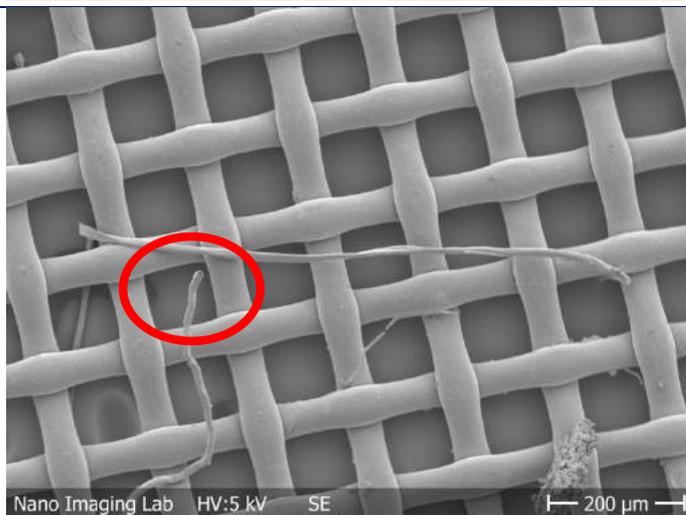
Vergrößerte Ansicht einer Ansammlung von sieben Fasern. Sie sehen identisch aus.



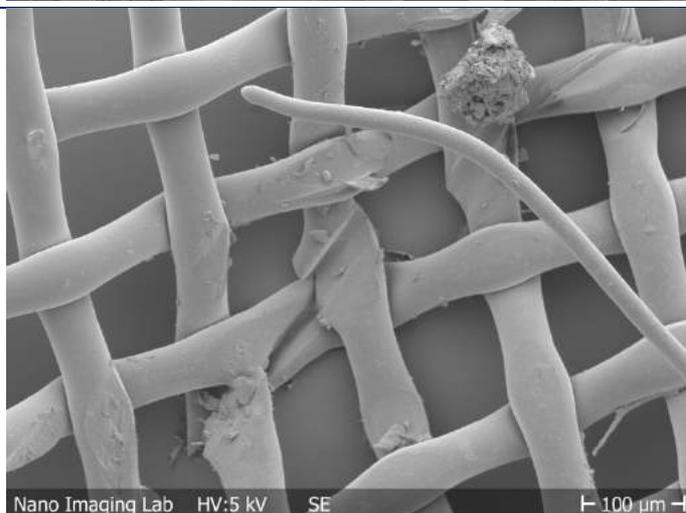
Hier sind elf Fasern erkennbar.



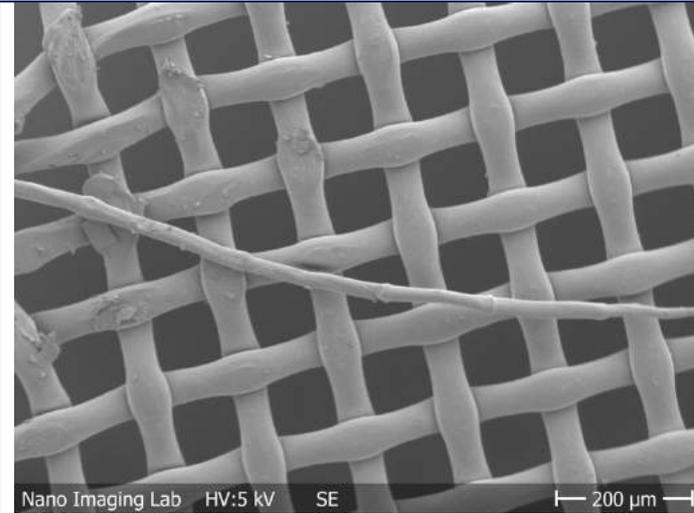
Ansicht einer langen Plastikfaser.



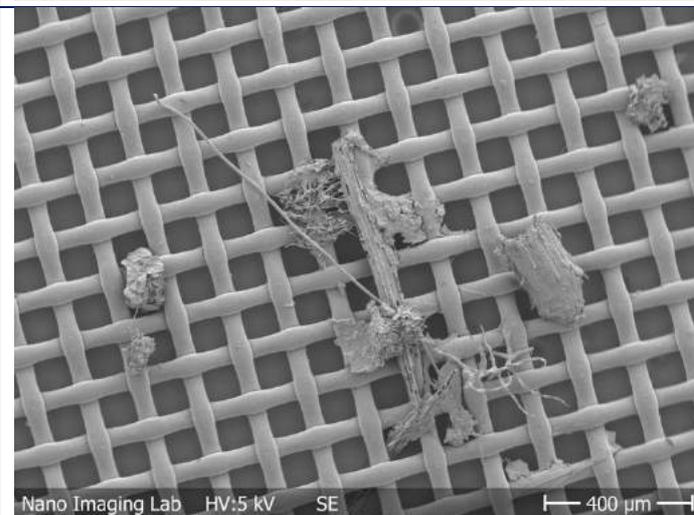
Hier kann das Faserende gut erkannt werden.



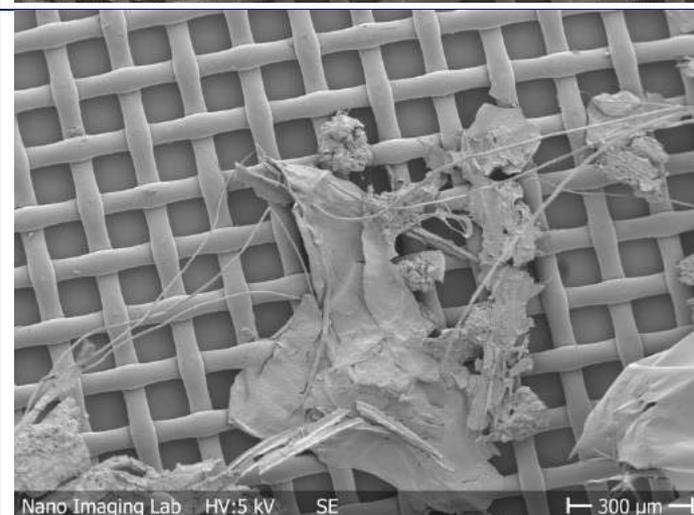
Dieses Faserende ist nicht abgebrochen. Hier wird erkennbar, dass Plastikfasern, wenn sie nicht abgebrochen sind, ein glattes rundes Ende haben.



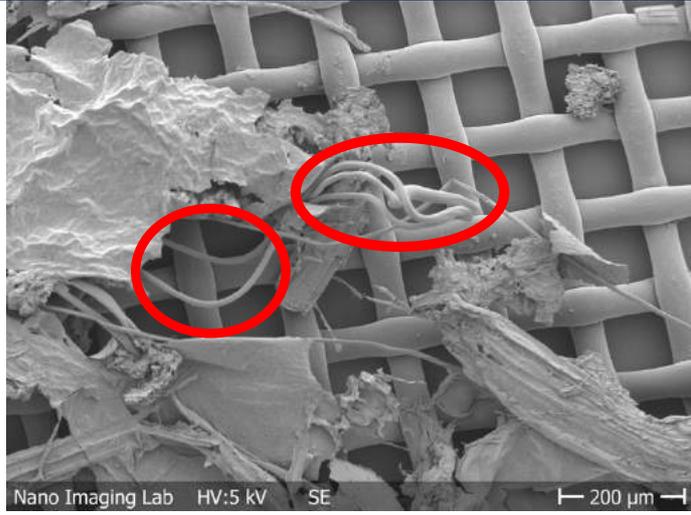
Ansicht einer Plastikfaser.



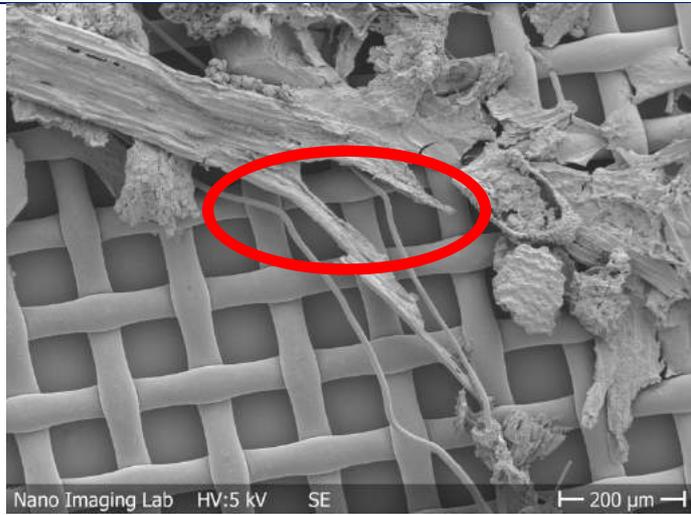
Ansicht einer Plastikfaser und einem Plastiknoten.



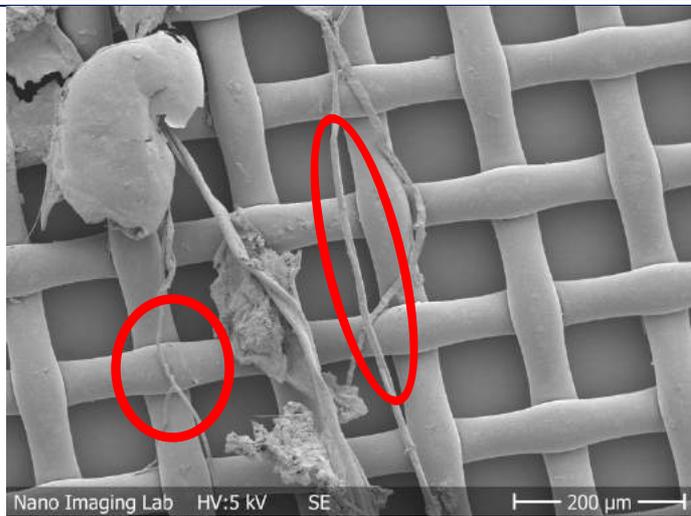
Hier können erneut bis zu sechs Fasern erkannt werden.



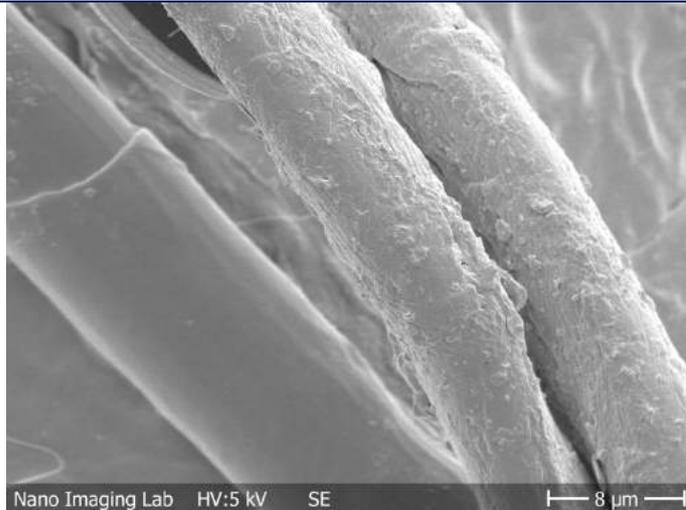
Hier sind drei Plastikfasern mit identischen Rundungen zu sehen.



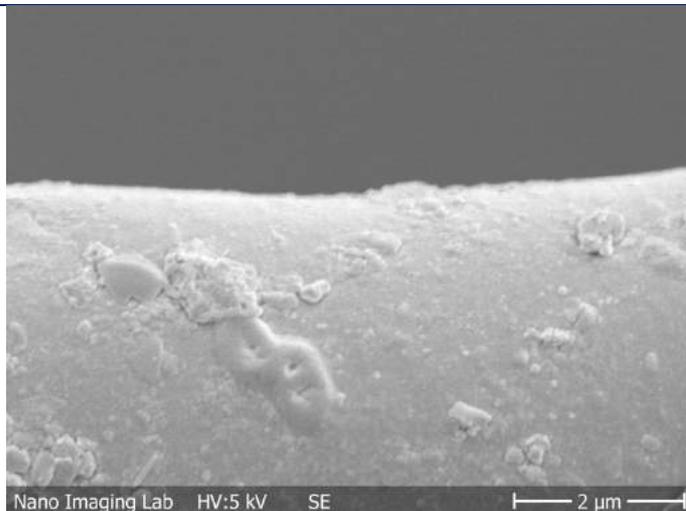
Erneut zwei Fasern mit identischem Knick. Organisches Material kann nicht so identisch vorkommen.



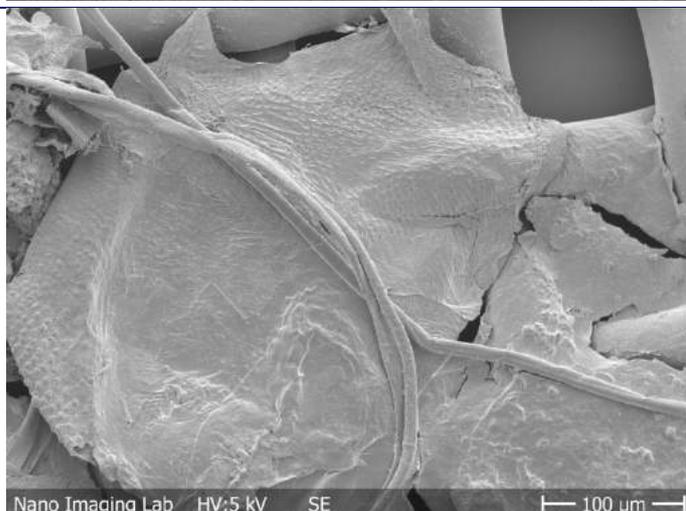
Zwischen dem organischen Material sind die Fasern nur schwer erkennbar.



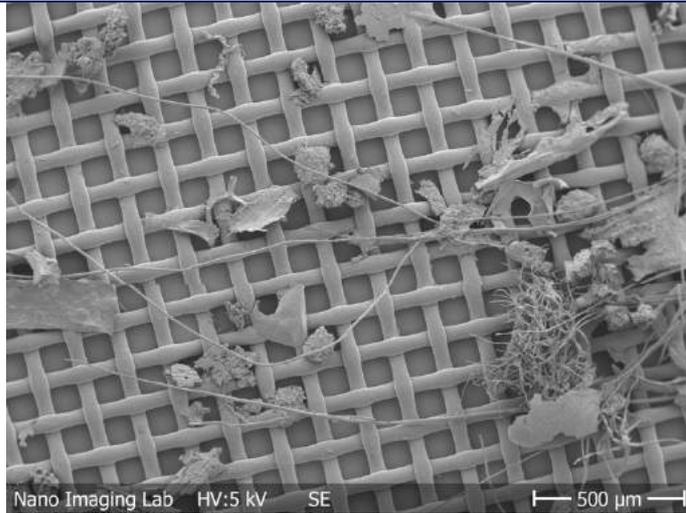
Vergrösserte Ansicht von zwei Plastikfasern. Die Oberfläche zeigt, dass es sich nicht um organisches Material handeln kann. Es scheint als habe der Zersetzungsprozess bei diesen Fasern bereits begonnen und sie beginnen zu bröckeln.



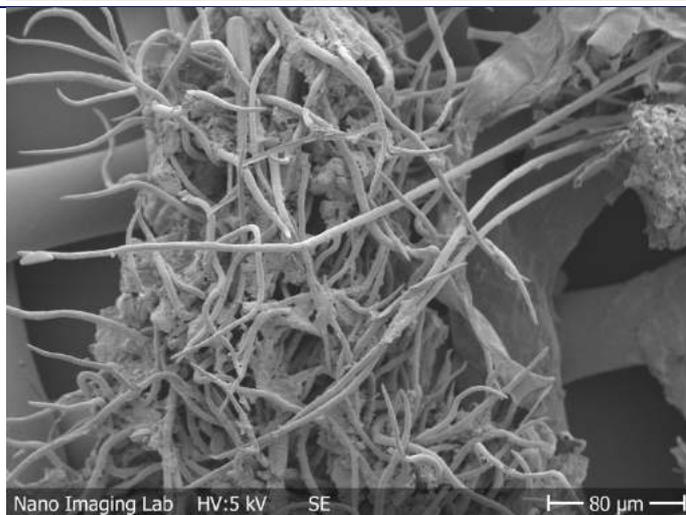
Vergrösserte Ansicht einer bröckelnden Plastikfaser.



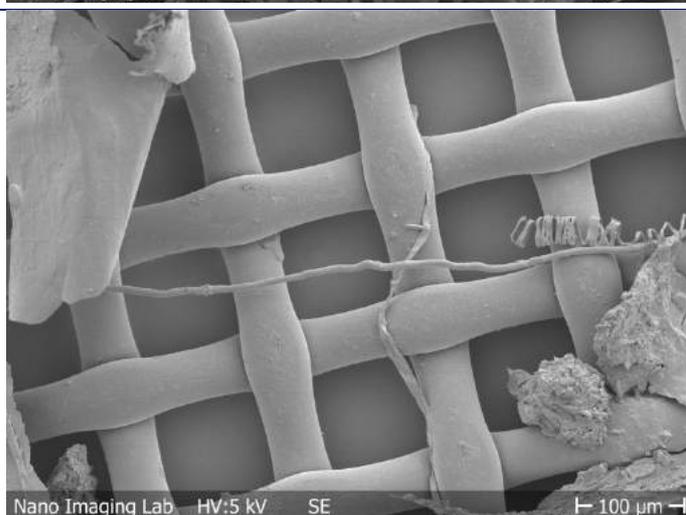
Drei Plastikfasern.



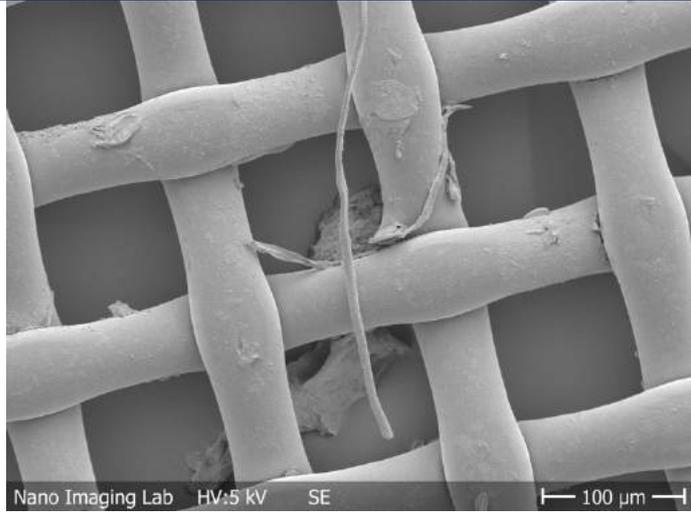
Mehrere lange Plastikfasern und ein Plastikknäuel.



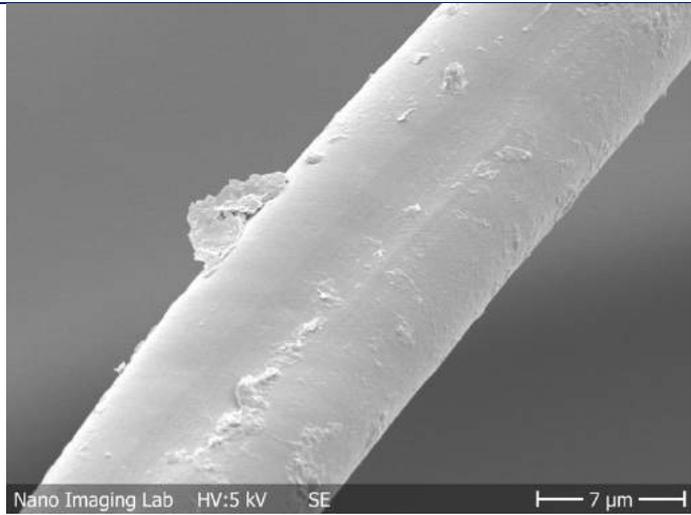
Bei vergrößerter Ansicht wird erkennbar, dass es sich beim Knäuel tatsächlich um einzelne Plastikfasern handelt. Viele abgerundete Enden sind erkennbar.



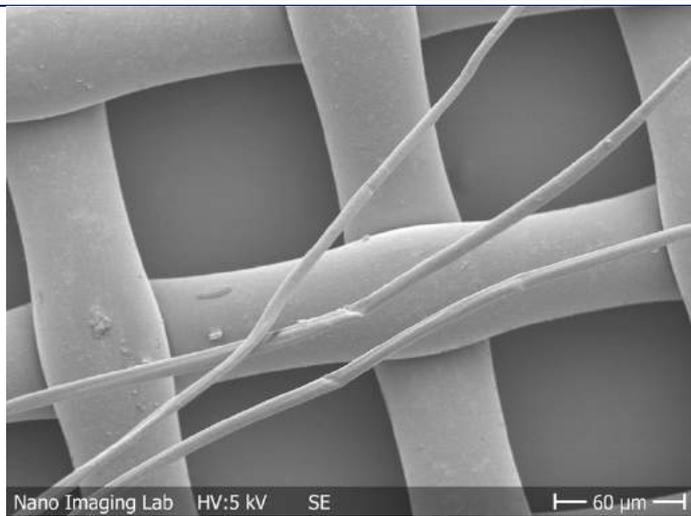
Ansicht einer Plastikfaser. Bei dem schraubenartige Material handelt es sich um Kieselalgen.



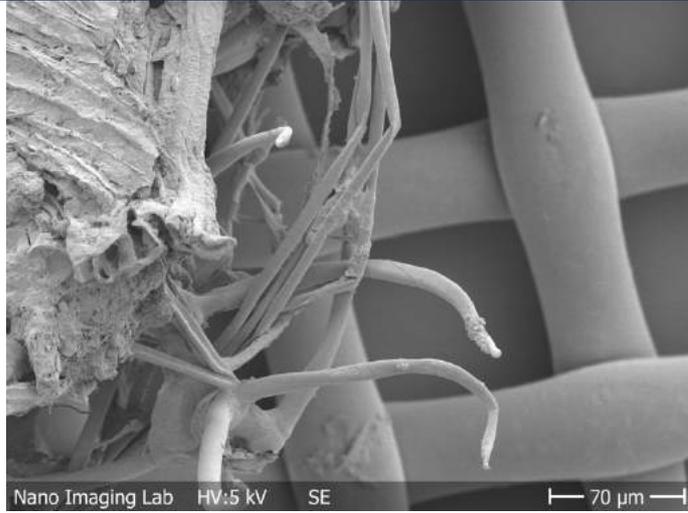
Ansicht einer Plastikfaser.



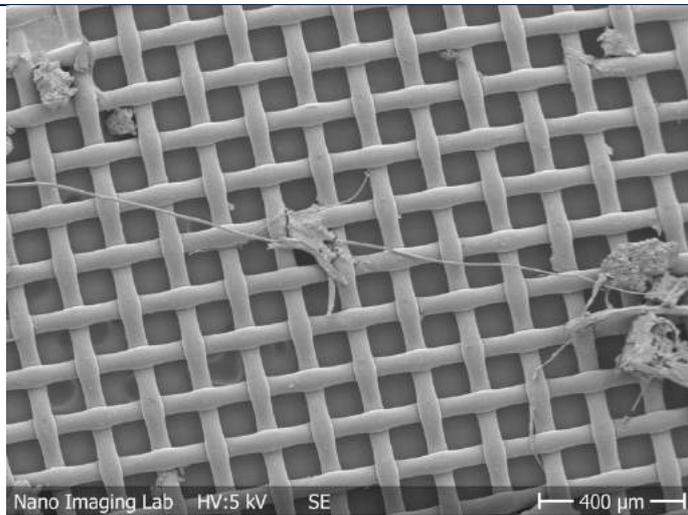
Vergrößerte Ansicht einer Plastikfaser.



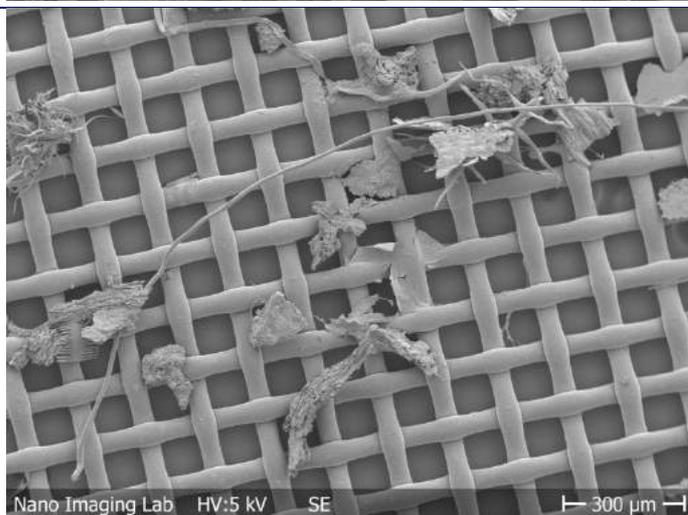
Drei erneut identische Plastikfasern.



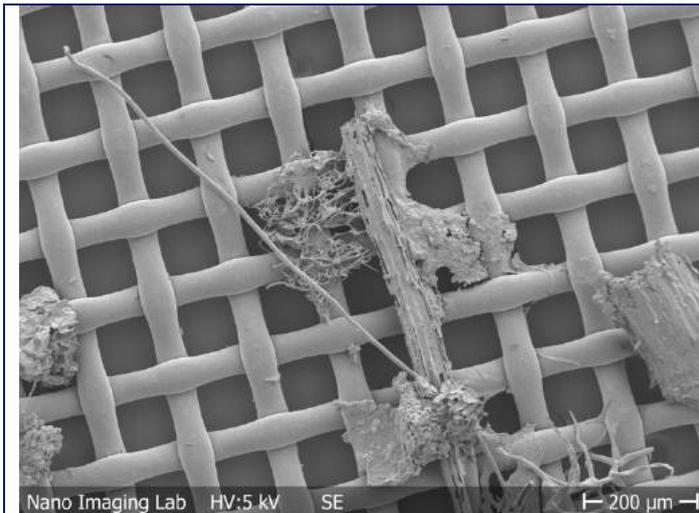
Ansammlung von Plastikfasern.



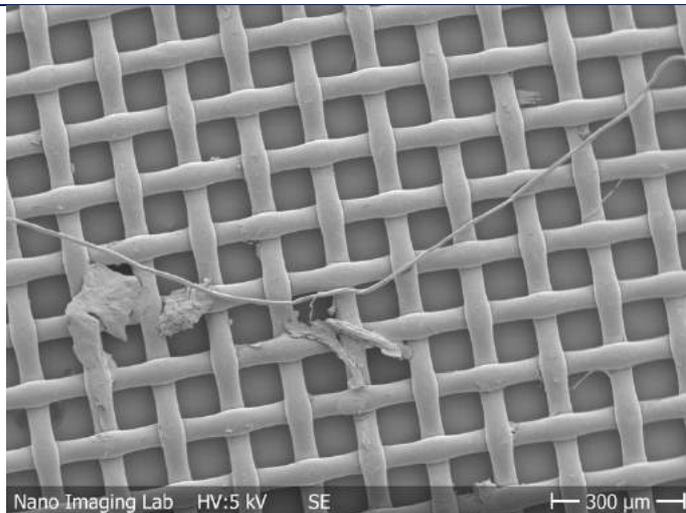
Lange Plastikfaser.



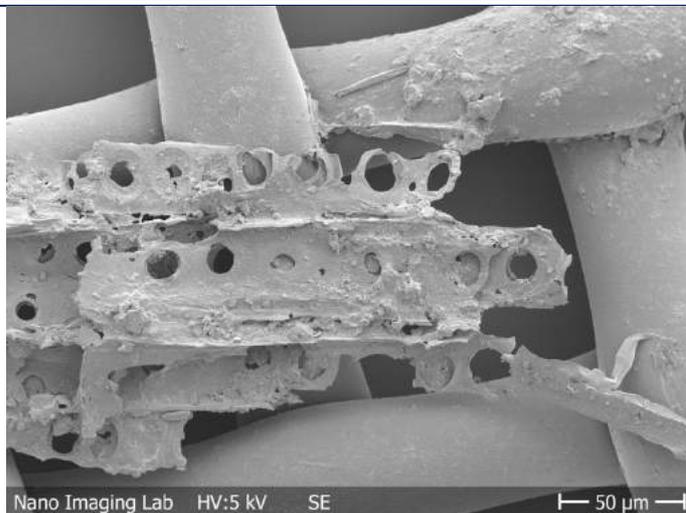
Eine andere ebenfalls sehr lange Plastikfaser und ein Knäuel.



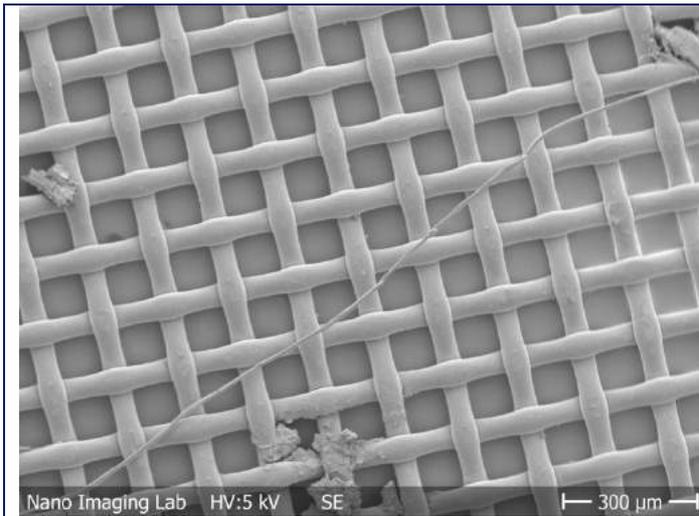
Ende der oben gezeigten Faser. Das abgerundete Ende bestätigt, dass es sich um Plastik handelt.



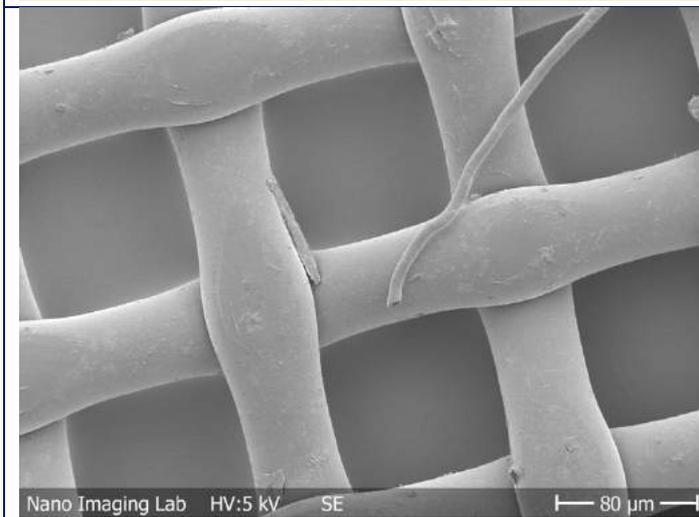
Plastikfaser.



Ansicht eines unbekanntes Materials. Es hat eine einheitliche Oberfläche welche jedoch am bröckeln ist. Es scheint sich um Plastik zu handeln, genau kann es jedoch nicht bestimmt werden.



Plastikfaser.



Abgeschnittenes Ende einer Plastikfaser.

Plastikfasern insgesamt: 70+ (Die Knäuel konnten nicht einzeln ausgezählt werden, schätzungsweise befanden sich 150-200 Fasern in dieser Probe).