

# JUNGE

## wissenschaft

JungforscherInnen publizieren  
online | *peer reviewed* | original



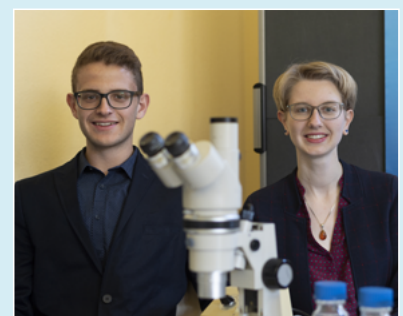
Technik

# Unerwünschte Partikel im Waschwasser

Analyse von Mikroplastikpartikeln  
im Abwasser einer Waschmaschine

*Beim Waschen von synthetischer Kleidung, z. B. Fleece-pullovern, können sich Fasern aus den Textilien lösen und als Mikroplastik ins Abwasser gelangen. Es wurden die Emissionen während der einzelnen Waschschrte untersucht und die quantitative Menge sowie die Längenveränderung der Mikroplastikpartikel in der Waschmaschine bestimmt.*

## DIE JUNGFORSCHER



**Lara Wyser (1997)**

**Cedric Meyer (1998)**

Berufsbildungsschule Winterthur

**Eingang der Arbeit:**

5.9.2018

**Arbeit angenommen:**

20.11.2018



# Unerwünschte Partikel im Waschwasser

Analyse von Mikroplastikpartikeln im Abwasser einer Waschmaschine

## 1. Einleitung

### 1.1 Mikroplastik im Wasser

Ob Fleecepullover oder Softshelljacke – Fasern aus synthetischen Stoffen sind schon längst Teil unseres Kleiderschranks. Besonders Sport- und Outdoor-Kleidung aus Chemiefasern ist durch ihre vielseitige Funktionalität, ihre Anwenderfreundlichkeit und ihren niedrigen Preis bei den Konsumenten beliebt. Doch wie alle Kleidungsstücke geben auch synthetische Stoffe beim Waschen Fasern frei. Im Fall der Kunststoffkleidung handelt es sich dabei um Mikroplastik.

Mit dem Wort Mikroplastik werden Plastikpartikel bezeichnet, die eine Größe von kleiner als 5 mm aufweisen [1]. Dabei wird zwischen primärem oder sekundärem Mikroplastik unterschieden. Als primäres Mikroplastik werden Kunststoffteilchen bezeichnet, welche direkt als Mikroplastik hergestellt werden, wie zum Beispiel solche, die in Kosmetikprodukten zum Einsatz kommen. Sekundäres Mikroplastik entsteht durch die Zerkleinerung von größeren Plastikteilen, insbesondere aus großem Makro- und Mesoplastik.

Früher wurden Textilien aus natürlichen und regionalen Rohstoffen wie Wolle oder Leinen hergestellt. Heute werden neben Baumwolle am häufigsten Chemiefasern eingesetzt. Im letzten Jahrhundert hat sich die Verwendung der Chemiefasern um ein 18-faches vergrößert [2]. Im Jahr 2016 betrug die Weltproduktion von Chemiefasern 71,2 Millionen Tonnen, davon waren 65 Millionen Tonnen synthetische Chemiefasern [3]. Dazu gehören Polyamid, Polyacryl oder Polyester, welche durch chemische Umwandlungen aus Erdöl gewonnen werden [2].

Mikroplastikpartikel, die beim Waschen von Bekleidung aus synthetischen Chemiefasern anfallen, gelangen über das Abwasser in Kläranlagen, können dort jedoch nicht vollständig zurückgehalten werden. Meistens sind die Fasern für die Siebe zu klein, um herausfiltriert zu werden und gelangen als Bestandteil des gereinigten Wassers in die Umwelt. Schwerere Mikroplastikpartikel können sich im Klärschlamm anreichern und gelangen dadurch auf die Felder. Anders als organische Stoffe weist Plastik eine hohe Abbauzzeit von bis zu 450 Jahren auf [4]. Ist das Mikroplastik einmal in der Natur, ist es kaum mehr zu entfernen und verursacht eine Vielzahl von Gefahren für Flora und Fauna sowohl auf dem Land als auch im Wasser. Nach neuen Schätzungen treiben im Meer weltweit mehr als 250 000 Tonnen Plastik, davon sind mehr als 21 000 Tonnen Mikroplastik [5]. Erhöhte Mikroplastikkonzentrationen konnten auch schon im Eis der Arktis festgestellt werden. Besonders der Meeresboden ist stark angereichert mit Plastikpartikeln, welche mit der Zeit von der Wasseroberfläche zu Boden sinken. Untersuchungen zeigen, dass Mikroplastik vor allem im aquatischen Ökosystem die am Anfang der Nahrungskette stehenden Kleinstlebewesen schädigt. Die kleinen Kunststoffteilchen werden als Nahrung angesehen und aufgenommen. Die Folgen für die Organismen sind ein andauern-

des Sättigungsgefühl und die Aufnahme der chemischen Stoffe ins Gewebe, was zum Tod führen kann. Mikroplastik kann in der Nahrungspyramide weitergegeben werden, wenn zum Beispiel wirbellose Tiere von ihren Räubern gefressen werden. Im Weiteren können aus dem Mikroplastik enthaltene chemische Zusatzstoffe, z. B. Additive, herausdiffundieren oder hydrophobe Schadstoffe am Kunststoff anlagern. Die aufgenommenen Partikel können im Körper der Lebewesen zu Entzündungen des Gewebes oder hormonellen Veränderungen führen [6].

Trotz steigender Forschung im Bereich des Mikroplastiks liegen nur wenige Daten vor, welche sich mit dem Emissionsprozess von Mikroplastik aus spezifischen synthetischen Kleidungsstücken in der Waschmaschine auseinandersetzen. Die meisten Studien über Mikroplastik beziehen sich auf die Problematik der Mikroplastikverschmutzung in den Ozeanen. So fanden deutsche Forscher in der Nordsee durchschnittlich 150 Mikroplastikpartikel pro Liter Wasser [5].

In der Studie von Pirc et al. aus dem Jahr 2016 [7] wurde die Emission von Mikroplastikpartikeln aus einem Fleecestoff-Stück (Größe  $120 \times 70 \text{ cm}^2$ , Gewicht 320 g) während zehn aufeinanderfolgender Waschzyklen analysiert. Dabei wurde ein Filter mit einer Porengröße von  $200 \mu\text{m}$  verwendet. Die Studie untersuchte zudem den Einfluss von Waschmitteln auf die Emission der Partikel, indem die Waschgänge mit und ohne Waschmittel durchgeführt wurden. Zusätzlich wurden auch die anfallenden Fasern beim Trocknen untersucht. Es konnte aufgezeigt werden, dass die Emission der Partikel im Verlauf der Waschgänge abnimmt und sich spätestens mit dem sechsten Waschgang zu stabilisieren beginnt. Pirc schätzt, dass rund 0,0012 Gewichtsprozent an Fasern von einem Textil langfristig freigesetzt werden. In der Studie konnte beobachtet werden, dass die Verwendung von

Waschmitteln und Weichspülern keinen signifikanten Einfluss auf die Anzahl anfallender Fasern hat. Die Studie zeigt ebenfalls auf, dass die Freisetzung der Fasern während des Trocknens in der Maschine 3,5-mal höher ist als beim Waschen [7].

## 1.2 Ziel und Vorgehen

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, die Emission von Mikroplastikpartikeln aus einem Fleecepullover ins Abwasser der Waschmaschine (auch als Waschflotte bezeichnet) zu untersuchen. Es wurden die Anzahl und die Länge der Mikroplastikpartikel während der Waschschriffe untersucht. Ziel des Versuches war es, eine möglichst realitätsnahe Methode zur Untersuchung der Emission von Mikroplastikpartikeln aus synthetischer Kleidung ins Abwasser einer Waschmaschine zu entwickeln.

## 2. Material und Methoden

### 2.1 Testdesign

Für den Hauptversuch wurden drei identische Fleecepullover aus 100 Prozent Polyester (Hersteller: Decathlon, Größe: M, 63 cm lang, 55 cm breit an den Schultern,  $\emptyset$  183 g) verwendet, die vorher noch nie gewaschen oder getragen worden waren. Es wurde ein schwarzer Stoff gewählt, damit die Fasern bei der Auswertung besser erkennbar sind. Um Kontaminationen zu vermeiden, wurde jeder Fleecepullover nur einmal verwendet.

Im Versuch wurde eine Waschmaschine des Herstellers VZug Typ Adorina L verwendet. Beim Waschprogramm handelt es sich um ein Sprint-Programm mit  $30^\circ\text{C}$  Wassertemperatur, 28 min Waschzeit und einer Schleuderzahl von 800 Umdrehungen pro Minute. Ein einzelner Waschgang des Sprint-Programms besteht aus vier Waschschriffen: Waschen, Spülen, Weichspülen und Schleudern. Nach jedem Wasch-

schriff wurde das verwendete Wasser aus der Trommel der Waschmaschine herausgepumpt und durch Frischwasser ersetzt. Das so gewonnene Abwasser diente als Untersuchungsmaterial im Experiment. Insgesamt wurden pro Waschgang durchschnittlich 47 Liter Wasser herausgepumpt, rund 15 Liter jeweils in den ersten drei Waschschriffen, die restlichen zwei Liter wurden beim Schleudern frei. Das anfallende Abwasser wurde nach jedem Waschschriff in einem Bottich gesammelt. Zwischen den Waschgängen wurde der Bottich mit Wasser ausgespült, gereinigt und auf mögliche Partikelrückstände kontrolliert, damit Querkontaminationen vermieden werden konnten.

Um Kontaminationen zwischen den einzelnen Waschgängen im Versuch zu verhindern, wurde die Waschmaschine vor und zwischen jedem Versuchsstart durch einen Waschgang ohne Inhalt mit dem Programm Sprint gereinigt. Um die Parameterzahl im Versuch zu minimieren, wurde auf das Verwenden von Waschmittel verzichtet.

Jeweils 0,25 Liter des aufgefangenen Abwassers aus der Waschmaschine wurden durch einen Millipore-Filter mit einer Porengröße von  $0,45 \mu\text{m}$  filtriert. Vorversuche hatten ergeben, dass 0,25 Liter eine optimale Volumenmenge darstellen, weil die einzelnen Mikroplastikpartikel nicht zu eng aneinander liegen und somit noch zählbar sind. Zudem enthalten 0,25 Liter auch bei geringeren Mikroplastikkonzentrationen noch eine genügend große Zahl an Fasern, um eine quantitative Auswertung durchzuführen.

Für die Filtration des Abwassers wurde ein gläserner Kolben mit aufgesetztem Glasfilterhalter (zusammengesetzt aus Glasfilterhalter, Verschlussklemme und Auffangtrichter) verwendet. Die Apparatur wurde zum Filtrieren des Abwassers an eine Vakuumpumpe angeschlossen. Nach dem Ende der Filtra-

tion wurde der Filter in eine Petrischale transferiert und mit Parafilm verschlossen.

Die ausgefilterten Partikel wurden unter dem Binokular quantitativ ausgezählt. Zur Bestimmung der Länge wurden die einzelnen Mikroplastikpartikel mithilfe eines Computerprogramms (Leica Suite, 60-fache Vergrößerung) vermessen.

In einer ersten kritischen Betrachtung des Versuches sollte festgehalten werden, dass der Erfolg der Ausspülung nicht durch eine quantitative Zählung direkt kontrolliert wurde. Stattdessen wurde eine Kontrollfiltration des Abwassers durchgeführt, welche als visuelle Überprüfung diente und eine deutliche Reduktion der Faserzahl in den Zwischenwaschgängen darstellte. Im Weiteren wurde durch die Wahl des Filters mit einer Porengröße von 45 µm das Herausfiltern von kleineren Partikeln begrenzt. Aufgrund der Vorversuche wurde diese Porengröße gewählt, da sie sich in der praktischen Anwendung bewährte und der Filter nicht zu schnell verstopfte. Um kleinere Mikroplastikpartikel zu untersuchen, hätte eine mehrstufige Filtration des Abwassers angewendet werden müssen.

## 2.2 Versuchsablauf

Insgesamt wurden drei neue Fleecepullover als Untersuchungsobjekte je einmal mit dem vollständigen Waschgang gewaschen. Nach jedem Wasch-

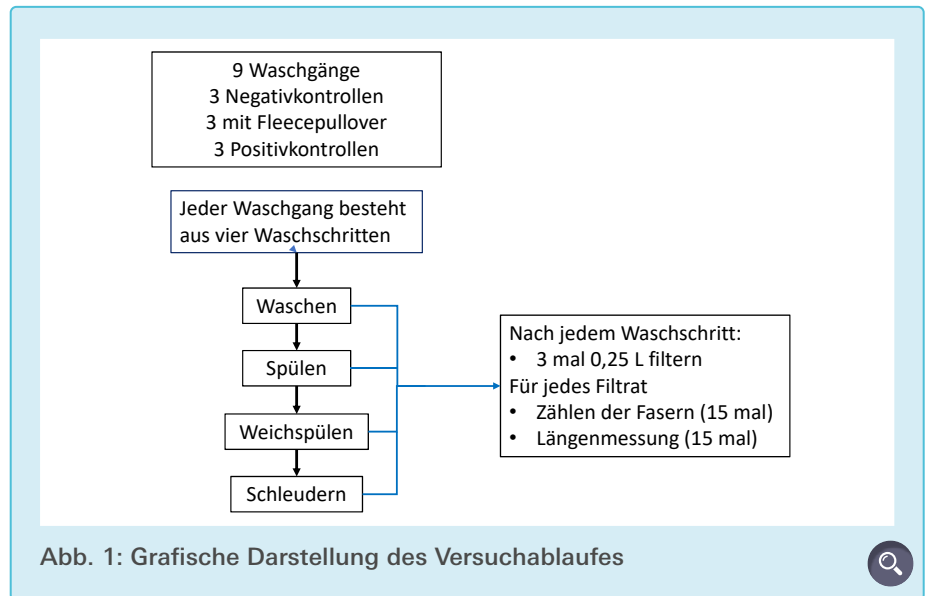


Abb. 1: Grafische Darstellung des Versuchablaufes

schrift wurden von dem aufgefangenen Abwasser drei 0,25 L Proben gefiltert.

Zusätzlich wurden jeweils drei Waschgänge mit Negativ- und Positivkontrollen durchgeführt.

Der Hauptversuch (siehe Abb. 1) wurde mit der Durchführung der Negativkontrollen gestartet, um diese nicht durch Kontaminationen der Fleecepullover-Testreihe in der Waschmaschine zu belasten. Für die Durchführung der Negativkontrollen wurde der Waschgang ohne Beigabe von Wäsche gestartet, wobei alle Versuchsbedingungen beibehalten wurden. Danach wurden die drei Fleecepullover gewaschen.

Nun folgten die Positivkontrollen. Dafür wurde zuerst eine Stammlösung mit definierter Anzahl an Mikroplastikpar-

tikel hergestellt. Mithilfe einer Stahlbürste konnten aus einem ausgeschnittenen Stoffteil (ca. 10 × 10 cm<sup>2</sup>) des zu testenden Fleecepullovers die Fasern aus dem Polyesterstoff entnommen werden. Die einzelnen Fasern wurden in einen Messbecher mit einem Liter Leitungswasser gegeben und umgerührt.

Unter dem Binokular wurde die Anzahl der Fasern in der Probe auf dem Filterpapier ausgezählt. Ziel war es, eine Mikroplastikpartikelkonzentration von 30 Fasern pro Milliliter zu erreichen. Dazu wurde die Stammlösung auf das entsprechende Volumen verdünnt.

Nun wurde ein Liter der Mikroplastikpartikellösung (30 000 Fasern/Liter) in die Waschmaschinentrommel gegeben und der Waschgang gestartet. Dies erfolgte dreimal hintereinander.

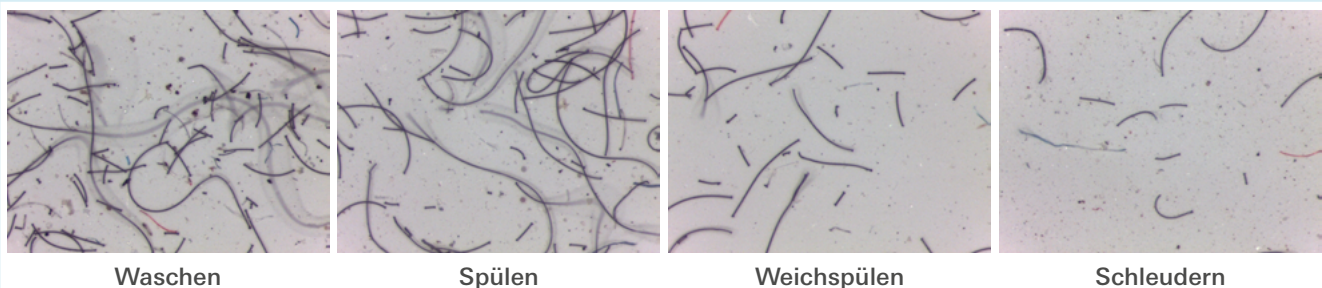


Abb. 2: Mit jedem Waschschrift wird die Menge der Mikroplastikpartikel geringer (Bilder alle mit gleicher Vergrößerung aufgenommen)

Tab. 1: Anzahl Mikroplastikpartikel im Waschabwasser nach unterschiedlichen Waschgängen



Waschgang	Waschschritt	Durchschnittliche Anzahl Mikroplastikpartikel pro Liter Abwasser	Durchschnittliche Anzahl Mikroplastikpartikel pro Liter Abwasser nach Abzug der Negativkontrolle
Waschgang mit Fleecepullover	Waschen	19924	18607
	Spülen	15533	15136
	Weichspülen	10561	10312
	Schleudern	7195	7076
Negativkontrolle	Waschen	1317	0
	Spülen	397	0
	Weichspülen	248	0
	Schleudern	117	0
Positivkontrolle	Waschen	1970	653
	Spülen	872	475
	Weichspülen	691	443
	Schleudern	544	427

### 2.3 Quantitative Auswertung

Die Auszählung der im Filter aufgefangenen Mikroplastikpartikel fand rein visuell unter dem Binokular bei 40-facher Vergrößerung statt. Um während der Auswertung keine Zählfehler zu begehen, wurde eine spezielle Zählhilfe entwickelt und verwendet. Dazu wurde auf einer weiteren Petrischale ein feines Raster mit 1 cm Linienabstand mit Stift aufgezeichnet. Dieses konnte, ohne die Mikroplastikpartikel zu berühren, oberhalb des Filters hineingelegt werden. Das Raster erleichterte die Auswertung und ermöglichte eine Orientierung im Sichtfeld des Binokulars. Diese Auswertungstechnik hat sich als sehr effektiv und effizient erwiesen.

### 2.4 Länge der Mikroplastikpartikel

Aufgrund visueller Beobachtungen während der Versuchsauswertungen zur Messung der Faserkonzentration im

Waschabwasser wurde festgestellt, dass nicht nur die Konzentration der Mikroplastikpartikel von Waschschritt zu Waschschritt abnahm, sondern auch immer kleinere Fasern in den Proben vorhanden waren. Der Versuch wurde deshalb ausgeweitet, um zusätzlich die Faserlängen der gewaschenen Fleecepullover und der Positivkontrolle zu messen. Mit dem Computerprogramm Leica Suite wurden Fotos der Mikroplastikpartikel unter dem Binokular bei einer 60-fachen Vergrößerung gemacht und die Mikroplastikpartikel danach einer Längenmessung unterzogen. Von jeder Wasserprobe aus den verschiedenen Waschschritten wurden pro Filterprobe je 15 Längenmessungen durchgeführt.

### 3. Ergebnisse

Nach dem Auszählen der Mikroplastikpartikel konnten die erhaltenen Daten aus den verschiedenen Waschgängen (Fleecepullover, Positiv- und Negativkontrollen) verglichen werden.

Während der Auswertung unter dem Binokular wurde bereits qualitativ sichtbar, dass die Menge der Mikroplastikpartikel mit jedem weiteren Waschschritt abnimmt (siehe [Abb. 2](#)).

### 3.1 Waschmaschinen-Versuch

Für die Berechnung der Anzahl Mikroplastikpartikel pro Liter Abwasser wurde aus den Rohdaten der jeweils drei Proben eines Waschschrittes der arithmetische Mittelwert berechnet und auf einen Liter hochgerechnet (siehe Tab. 1). Danach erfolgte eine Korrektur mit den Werten der Negativkontrolle. In [Abb. 3](#) ist die durchschnittliche Anzahl Mikroplastikpartikel pro Liter Abwasser nach Abzug der Negativkontrolle dargestellt. Der Balken hat die Höhe der ermittelten Durchschnittswerte. Die Fehlerbalken kennzeichnen das Intervall, in dem Messwerte gefunden wurden. [Abb. 4](#) zeigt die durchschnittliche Anzahl Mikroplastikpartikel pro Liter Abwasser für die Negativkontrolle.

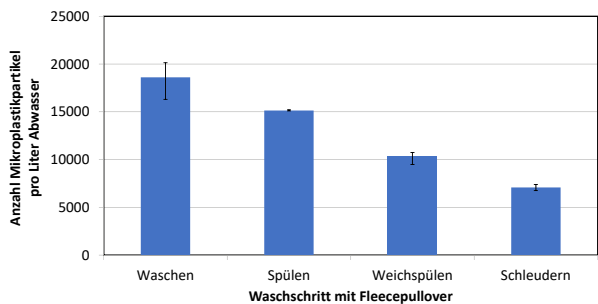


Abb. 3: Durchschnittliche Anzahl Mikroplastikpartikel in einem Liter Abwasser bei einem Waschgang mit Fleecepullover. Die Fehlerbalken kennzeichnen das Intervall, in dem Messwerte gefunden wurden.

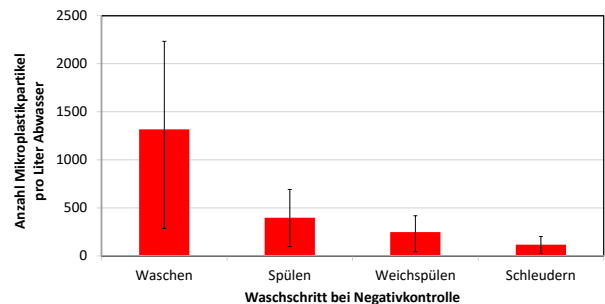


Abb. 4: Durchschnittliche Anzahl Mikroplastikpartikel in einem Liter Abwasser während der Negativkontrollen. Die Fehlerbalken kennzeichnen das Intervall, in dem Messwerte gefunden wurden.

Werden alle Werte der einzelnen Waschschritte beim Waschgang mit Fleecepullover zusammengerechnet, beträgt die Anzahl rund 51 000 Fasern pro Liter.

Um die Mikroplastikpartikelanzahl, welche gesamthaft während des ganzen Waschganges eines Fleecepullover anfällt, zu erfassen, wurden die Durchschnittswerte der einzelnen Waschschritte mit dem Wasservolumen des Waschschrittes multipliziert. Auch hier wurden die Durchschnittswerte aus allen vier hochgerechneten Waschschritten addiert. Insgesamt betrug die Mikroplastikpartikelanzahl somit 675 000 Fasern pro Waschgang.

Für die Durchführung der Positivkontrolle wurde vor dem Waschen ein Liter Suspension mit 30 000 Mikroplastikpartikeln in die Waschmaschine gegeben. Nach jedem Waschschritt wurde die Anzahl der erfassten Mikroplastikpartikel im Abwasser von der noch verbleibenden Anzahl Mikroplastikpartikel in der Waschmaschine subtrahiert. Nach dem Schleudern verbleiben rund 5 000 Fasern in der Waschmaschine, welche nicht mit dem Abwasser aus der Waschmaschine gelangen. Somit gelangten etwa 25 000 Mikroplastikpartikel ins Abwasser (siehe Abb. 5).

### 3.2 Messungen der Faserlänge

Für die Berechnung der Länge der Mikroplastikpartikel aus den einzelnen Waschschritten wurden die Daten, welche mithilfe des Bildanalyseprogramms Leica Suite erfasst wurden, verwendet. Dabei wurde jeweils der Durchschnitt berechnet aus allen Längenmessungen der Fasern der drei Fleecepullover, die nach dem jeweiligen Waschgang durchgeführt worden waren (siehe Tab. 2). In Abb. 6 hat der Balken die Höhe der ermittelten Durchschnittswerte. Die Fehlerbalken kennzeichnen das Intervall, in dem Messwerte gefunden wurden.

Um die Verteilung der Faserlängen zu verdeutlichen, wurde ein Boxplot erstellt (siehe Abb. 7). Gut erkennbar ist, dass der Median der Faserlängen bei der Positivkontrolle höher liegt als beim Fleecepullover. Im Weiteren ist die Verteilung der Datenmenge oberhalb des Medians und der Abstand des Interquartilbereichs beim Fleecepullover größer als bei der Positivkontrolle. Die Analyse des oberen Antennen-Bereiches des Boxplots zeigt, dass die Antenne der Positivkontrolle fast doppelt so groß ist wie die der Untersuchungsobjekte. Somit ist die Streuung der Daten beim Hauptversuch mit den getesteten Fleecepullovern kleiner als bei der Positivkontrolle.

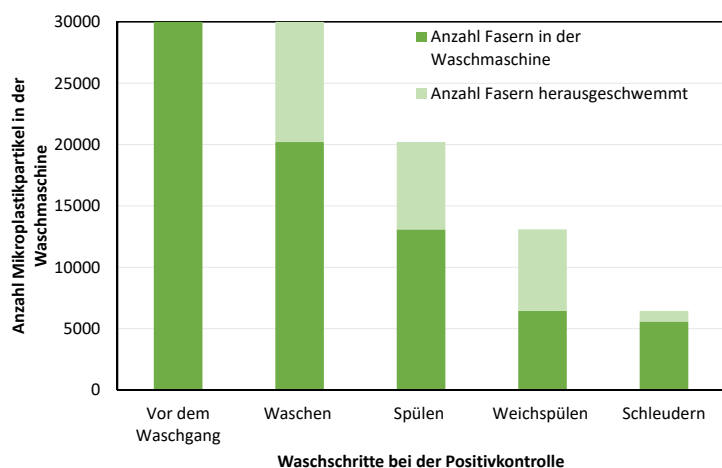


Abb. 5: Abnahme der Mikroplastikartikel in den Positivkontrollen

Tab. 2: Länge der Mikroplastikpartikel nach den verschiedenen Waschschritten

Waschschritt	Durchschnittliche Mikroplastikpartikellänge aus den Fleecepullovern in mm	Durchschnittliche Mikroplastikpartikellänge aus den Positivkontrollen in mm
Waschen	0,56	0,53
Spülen	0,38	0,53
Weichspülen	0,31	0,53
Schleudern	0,30	0,53

#### 4. Diskussion

##### 4.1 Konzentration der Mikroplastikpartikel im Abwasser

Die Versuche ergaben, dass bei allen Waschgängen, in welchen ein Fleecepullover gewaschen wurde, Mikroplastik ins Waschabwasser gelangt. Während des Waschganges nimmt die Zahl der Mikroplastikpartikel von Waschschritt zu Waschschritt ab. Die Anzahl Mikroplastikpartikel ist beim Waschen eines Fleecepullover im ersten Waschschritt mit rund 19 000 Fasern/Liter am höchsten. In den folgenden Waschschritten Spülen und Weichspülen nimmt die Konzentration der Mikroplastikpartikel pro Liter ab. Am tiefsten liegt die Anzahl Mikroplastikpartikel beim Schleudern mit 7000 Fasern/Liter. Im Durchschnitt muss beim maschinellen Waschen eines neuen Fleecepullover mit mehr als 51 000 Fasern/Liter Abwasser gerechnet werden. Dies ergibt für den gesamten Waschvorgang eines Fleecepullover rund 675 000 Mikroplastikpartikel. Umgerechnet sind dies durchschnittlich 4670 Mikroplastikpartikel pro Gramm textilen Abriebs, die von einem Fleecepullover ins Waschabwasser gelangen.

In der Negativkontrolle wurden erwartungsgemäß weit geringere Konzentrationen an Mikroplastikpartikeln festgestellt, wobei auch dort eine Abnahme

der Anzahl der Mikroplastikpartikel von Waschschritt zu Waschschritt erfolgt. Im Waschschritt Waschen wurden etwa 1300 Fasern pro Liter Abwasser gezählt, was weniger als drei Prozent der Faseranzahl aus den Waschgängen mit Fleecepullover entspricht. Im folgenden Waschschritt nahm die Anzahl Mikroplastikpartikel um rund 1000 Fasern ab und verlief danach leicht abnehmend.

Aufgrund der Tatsache, dass für die Positivkontrolle 30 000 Fasern mit einem Liter Wasser als Ausgangslage in die Waschmaschine gegeben wurden und diese durch das Waschwasser

ser 47-fach verdünnt wurden, konnte in der Auswertung festgestellt werden, dass nach Abzug der Negativkontrolle rund 6000 Mikroplastikpartikel weniger aus der Waschmaschine gelangen als hineingegeben wurden. Ein Vergleich der verschiedenen Proben zeigt auf, dass die Abnahme der Anzahl Mikroplastikpartikel nicht kontinuierlich über die einzelnen Waschschriffe erfolgt. Die Differenzen zwischen den Waschschriffen liegt im Bereich von 20 bis 1000 Fasern, wobei nicht von einem stärkeren oder schwächeren Rückgang bei einem bestimmten Waschschritt ausgegangen werden kann. Mit diesem Versuch konnte aufgezeigt wer-

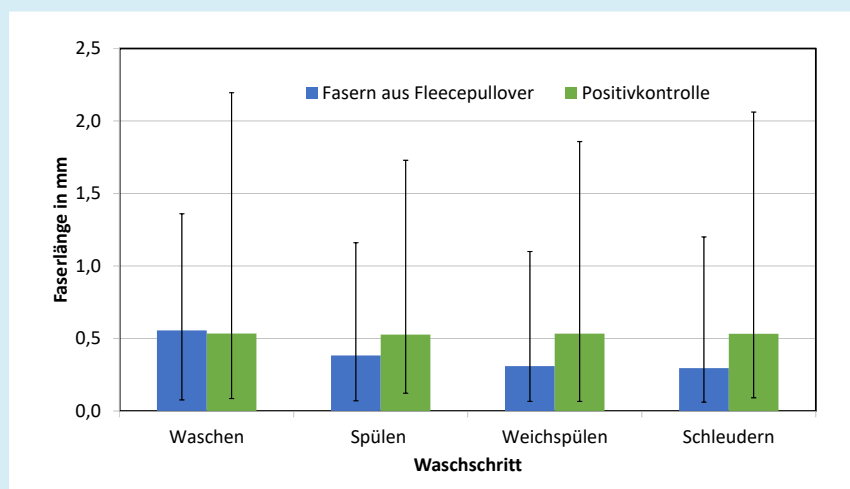


Abb. 6: Durchschnittliche Faserlänge der Mikroplastikpartikel im Waschabwasser der getesteten Fleecepullover und der Positivkontrolle. Die Fehlerbalken kennzeichnen das Intervall, in dem Messwerte gefunden wurden.

den, dass beim Waschen immer ein Teil der Mikroplastikpartikel in der Waschmaschine verbleibt.

#### 4.2 Länge der im Abwasser gefundenen Mikroplastikpartikel

Die Auswertung hat gezeigt, dass die Länge der von den Pullovern abgegebenen Mikroplastikpartikel über die Dauer des Waschganges abnimmt. Allerdings zeigt die Betrachtung der Fehlerbalken, dass die Streuungen der einzelnen Messungen innerhalb des Waschganges kaum variieren. So beträgt die durchschnittliche Länge der Mikroplastikpartikel beim ersten Waschschriff 0,56 mm. Bis zum letzten Waschschriff nahm die Länge um durchschnittlich 53 Prozent auf 0,30 mm ab. Bei der Auswertung der Faserlänge der Positivkontrolle konnte festgestellt werden, dass die durchschnittliche Länge während des gesamten Waschganges konstant bei 0,53 mm bleibt. Die Minimal- und Maximalwerte schwanken während der gesamten Waschschriffe nur leicht.

Vor dem Versuch wurde die Vermutung aufgestellt, dass die Länge der Fasern, die aus den Fleecepullovern stammen, abnimmt, da sie zerbrechen. Die konstanten Faserlängen der Positivkontrolle legen jedoch nahe, dass die Mikroplastikpartikel nicht durch die Bewegung der Waschtrommel zerkleinert werden. Der Versuch konnte somit zeigen, dass die Faserlänge während des gesamten Waschganges weitgehend konstant bleibt.

Die zu beobachtende Abnahme der gesamten durchschnittlichen Faserlänge im Waschgang mit den neu gekauften Pullovern könnte damit begründet werden, dass während des Waschens zuerst die längeren, und somit auch die schwereren Polyesterfasern sich vom Textil lösen und so ins Abwasser gelangen. Erst in den späteren Waschschriffen gelangen die kleineren und leichteren Fasern

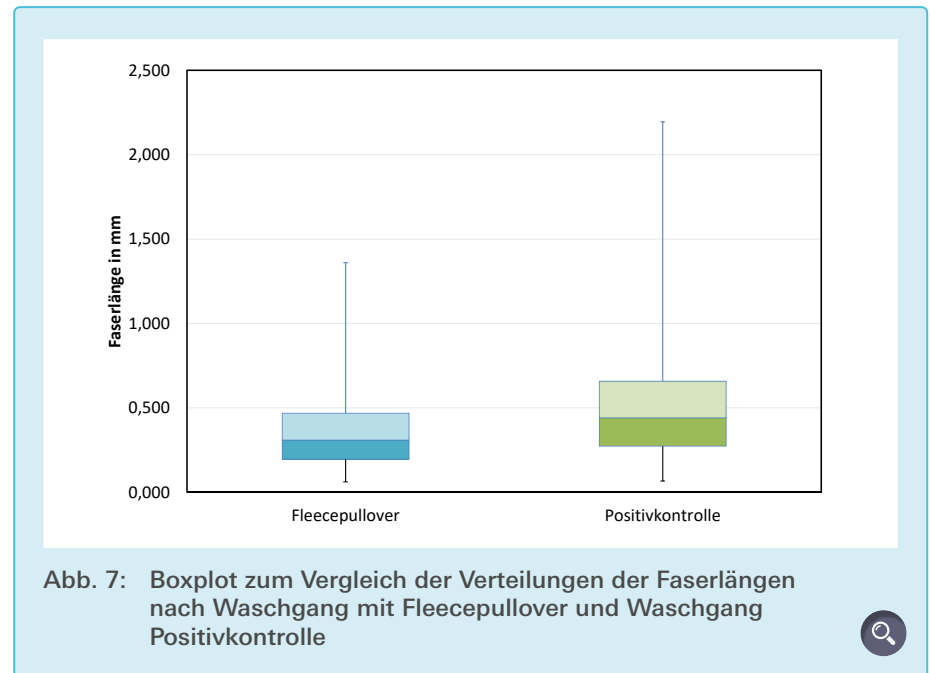


Abb. 7: Boxplot zum Vergleich der Verteilungen der Faserlängen nach Waschgang mit Fleecepullover und Waschgang Positivkontrolle

mit dem Waschabwasser aus der Maschine. Eine weitere Hypothese ist, dass alle Fasern sich ähnlich schnell vom Textil lösen und die schwereren, längeren Fasern durch hydrodynamische Prozesse früher aus der Waschmaschine gelangen. Diese Hypothesen sollten in einem weiterführenden Versuch nochmals im Detail betrachtet werden.

#### 4.3 Versuchsmethodik

##### 4.3.1 Porengröße der verwendeten Filter

In unserem Waschmaschinen-Versuch wurde für die Filtration ein Millipore-Filter von 0,45  $\mu\text{m}$  verwendet. Der Grund für diese Entscheidung lag darin, dass im Vorfeld verschiedene Methoden zur Bestimmung von Mikroplastik aus der Forschung verglichen wurden. Je nach Untersuchungsfeld betragen die Porendurchmesser zwischen 0,08 und 0,5  $\mu\text{m}$  [9], [10]. Versuch und Auswertung unserer Studie zeigten, dass der Porendurchmesser für diese Art von Mikroplastikversuch geeignet ist, da die Mikroplastikpartikel gut filtriert werden können. Es wird davon abgeraten, für weiterführende Versuche Filter mit kleineren Porendurchmessern zu verwenden, da diese sonst zu schnell

verstopfen und die Dichte der Fasern für eine visuelle Auswertung zu hoch ist.

Allerdings wäre es für die nächsten Tests hilfreich, mit einem bereits aufgedruckten Raster auf dem Filter zu arbeiten. Das Raster würde beim Auszählen die Arbeit erleichtern, weil man sich beim Zählen an den Linien der Mikroplastikpartikel orientieren kann.

##### 4.3.2 Vorhandensein von Mikroplastikpartikeln in der Negativkontrolle

Die Auswertung der Negativkontrolle zeigte auf, dass auch in dieser Probe eine substantielle Anzahl an Mikroplastikpartikeln vorhanden war. Es wurde die Hypothese aufgestellt, dass es sich bei den gefundenen Fasern um Mikroplastikpartikel von anderen Textilien aus zuvor durchgeführten Waschgängen handeln könnte. Diese Mikroplastikpartikel wurden bei den Waschgängen nicht mit dem Abwasser aus der Waschmaschine gespült und blieben im Restwasser, wie zum Beispiel im Schlauch der Waschmaschine, hängen. Es wird darum empfohlen, vor der Durchführung der Hauptversuche das Spül-Programm der Maschine und einen Durchgang des Sprint-Programms





Abb. 8: Ausmessung der Mikroplastikpartikel mit dem Messprogramm Leica Suite



ohne Wäsche durchzuführen, um damit möglichst viele Fasern aus der Maschine herauszuspülen. Ziel ist es, die Mikropartikelzahl für die folgenden Versuche auf ein vernachlässigbares Niveau zu bringen.

#### 4.3.3 Messung der Faserlänge

Für die Messung der Faserlänge wurde die Untersuchung am Binokular durchgeführt (siehe Abb. 8). Durch die maximal mögliche Vergrößerung von 60-fach konnten die entstehenden Messungenauigkeiten für dieses Vorgehen minimal gehalten werden. Jedoch können mit dem Messprogramm Leica Suite nur Geraden ausgemessen werden. Daraus ergab sich der systematische Fehler, dass gebogene Mikroplastikpartikel nicht berücksichtigt wurden. Um den Einfluss dieses systematischen Fehlers möglichst gering zu halten, wurde eine größere Anzahl an Messungen durchgeführt.

## 5. Ausblick

Kunststoff lässt sich aus unserem Leben nicht mehr wegdenken. Solange es

Kunststoff gibt, wird es auch Mikroplastik geben. Selbst wenn es zu einem Ende der Kunststoffproduktion kommen würde, wäre es kaum möglich, den Anstieg der Mikroplastikkonzentration in der Umwelt zu stoppen. Obwohl erste Studien mögliche Folgen der Mikroplastikkonzentration für Flora und Fauna aufzeigen, wird sich die eigentliche Verschmutzung durch Mikroplastik erst noch zeigen. Maßnahmen gegen diese Entwicklung liegen aber nicht nur in der Verantwortung der Industrie und Politik, sondern auch bei jedem einzelnen Konsumenten.

Aufgrund von Befragungen von verschiedenen Forschern ist davon auszugehen, dass in Zukunft mehr Daten im Bereich des Mikroplastiks zur Verfügung stehen werden und wir mehr über den Einfluss von Mikroplastik in der Umwelt erfahren [4]. Es ist allerdings noch viel Grundlagenforschung notwendig, um zu einheitlichen Messstandards zu gelangen. Eine solche Standardisierung wäre aber nötig, um die Daten international vergleichen und sich erstmals ein Bild der weltweiten Situation machen zu können [11].

Mit diesem Versuch ist es gelungen, Daten für die Grundlagenforschung zu erhalten. Es konnte die Menge und die Länge der Mikroplastikpartikel aus einem Fleecepullover während der einzelnen Waschschriffe aufgezeigt werden. Aufgrund der Stabilität der entwickelten Methode und der bisherigen Resultate wäre es sinnvoll, unsere Versuche mit neuen Fragestellungen weiterzuführen. Einerseits wäre es möglich, Versuche mit anderen Textilarten, Waschprogrammen oder Waschmaschinentypen zu verwirklichen und diese mit unserer Studie und bisherigen Ergebnissen von anderen Forschern zu vergleichen. Als Beispiel wäre eine Durchführung des Waschmaschinen-Versuches mit Sportkleidung aus Polyester spannend. Als zusätzliche Erweiterung könnte ein anschließender Versuch mit einem Wäschetrockner weitere Daten zum Ausatrag der Fasern in die Umwelt beitragen.

Zur Bestimmung des Verhaltens der Faserlänge der Mikroplastikpartikel während des Waschganges wurden die Polyesterfasern der gewaschenen Fleecepullover mit der Positivkontrolle verglichen. Für einen Folgeversuch wäre es interessant, noch die Länge der Polyesterfasern der ungewaschenen Fleecepullover zu bestimmen. Dafür könnte das gleiche Vorgehen wie bei der Positivkontrolle angewendet werden, indem eine Suspension mit gelösten Fasern aus dem Textil erstellt und danach filtriert wird. Durch die Daten der ungewaschenen Fasern wäre ein direkter Vergleich mit den gewaschenen Fasern möglich.

Im Weiteren wäre im Bereich der Kontamination eine Verbesserung anzustreben, sodass noch verlässlichere Resultate erzielt werden könnten. Beispielsweise wäre eine Kontrolle des Auffangbehälters auf allfällige Fasererschleppungen und die Qualität der Reinigungswaschgänge mit einem Erfassen der Faserzahl sinnvoll.

Dass Mikroplastikpartikel in der Waschmaschine nach dem Durchfüh-

ren eines Waschganges verbleiben, konnte durch die Positivkontrolle aufgezeigt werden. Bei einer Versuchswiederholung wäre es interessant zu untersuchen, wie viele Reinigungswaschgänge benötigt werden, um die ursprüngliche Anzahl an Mikroplastikpartikeln, die in die Waschmaschine gegeben wurde, wieder aus der Maschine auszuspülen.

Besonderes Augenmerk sollte zudem auf die einzelnen Waschschrte gelegt werden, da es gerade in diesem Punkt an Resultaten in der Grundlagenforschung mangelt.

Langfristig könnten aus den gesammelten Daten Lösungsansätze zur Verhinderung des Ausschwemmens der Fasern aus der Waschmaschine resultieren. Eine Möglichkeit wäre, dass serienmäßig Filter in Waschmaschinen eingebaut werden, damit Mikroplastikpartikel nicht mehr ins Abwasser gelangen könnten. Für diese Umsetzung braucht es jedoch den Willen der Waschmaschinenindustrie.

Zur Reduktion des Zuflusses von Mikroplastik in die Ozeane wären zudem Erneuerungen und Erweiterungen der Kläranlagen sehr wichtig. Technisch wäre in diesem Bereich weit mehr möglich als heute umgesetzt wird, denn sauberes Wasser ist ein kostbares Gut.

## Danksagung

Besonders bedanken wir uns bei unserem Lehrer Dr. Martin Mohr, der uns während der ganzen Arbeit tatkräftig bei Problemen und Fragen zur Seite stand, sowie Delphine Kaweck-Wenger, Doktorandin an der EMPA St. Gallen für ihre Arbeit als Expertin. Ein großes Dankeschön geht an die Familien Hammel und Meyer, die stets ein offenes Ohr und Anregungen hatten.

## Literaturverzeichnis

- [1] M. D. Miklos, M. N. Obermaier and P. D. M. Jekel, „Mikroplastik: Entwicklung eines Umweltbewertungskonzeptes,“ Umweltbundesamt, Dessau-Rosslau, 2015.
- [2] U. Eberle, „WWF Hintergrundinformationen Bekleidung und Umwelt,“ Pressestelle WWF Deutschland, Berlin, 2010.
- [3] Industrievereinigung Chemiefasern e.V., „Chemiefasern 2016,“ 2016. [Online]. Available: <https://www.ivc-ev.de/de/synthetische-chemiefasern>.
- [4] G. Liebezeit, Interview, Mikroplastik. [Interview]. 30 November 2016.
- [5] D. A. Schäfer, „Mikroplastik in der Umwelt-Infoblatt,“ Dübendorf, 2015.
- [6] G. Liebezeit, „Gefahr für den Menschen?,“ 2016. [Online]. Available: <http://www.labordmore.com/research/6731,426710/Prof.-Dr.-Gerd-Liebezeit/Gefahr-fuer-den-Menschen%3F.html>. [Accessed 20 Oktober 2016].
- [7] U. Pirc, „Emissions of microplastic fibers from microfiber fleece during domestic washing,“ The Author(s), This article is published with open access at Springerlink. com, 2016.
- [8] Einstein, „35 Franken pro Monat, 1500 Franken pro Jahr,“ 23. Mai 2013. [Online]. Available: <https://www.srf.ch/wissen/einstein-spezial-kleider/35-franken-pro-monat-1500-franken-pro-jahr>. [Accessed 16 Oktober 2020].
- [9] L. Cabernard, „Mikroplastik in Abwasser u. Gewässern,“ Aqua & Gas, Schweiz, 2016.
- [10] V. Hidalgo-Ruz, „Microplastics in the Marine Environment,“ Environmental Science & Technology, Coquimbo, Chile, 2012.
- [11] M. Bergmann, Interview, Mikroplastik. [Interview]. 2 Dezember 2016.

# Publiziere auch Du hier!

Forschungsarbeiten von Schüler/Inne/n und Student/Inn/en

In der Jungen Wissenschaft werden Forschungsarbeiten von SchülerInnen, die selbstständig, z.B. in einer Schule oder einem Schülerforschungszentrum, durchgeführt wurden, veröffentlicht. Die Arbeiten können auf Deutsch oder Englisch geschrieben sein.

## Wer kann einreichen?

SchülerInnen, AbiturientInnen und Studierende ohne Abschluss, die nicht älter als 23 Jahre sind.

## Was musst Du beim Einreichen beachten?

Lies die [Richtlinien für Beiträge](#). Sie enthalten Hinweise, wie Deine Arbeit aufgebaut sein soll, wie lang sie sein darf, wie die Bilder einzureichen sind und welche weiteren Informationen wir benötigen. Solltest Du Fragen haben, dann wende Dich gern schon vor dem Einreichen an die Chefredakteurin Sabine Walter.

Lade die [Erstveröffentlichungserklärung](#) herunter, drucke und fülle sie aus und unterschreibe sie.

Dann sende Deine Arbeit und die Erstveröffentlichungserklärung per Post an:

**Chefredaktion Junge Wissenschaft**  
 Dr.-Ing. Sabine Walter  
 Paul-Ducros-Straße 7  
 30952 Ronnenberg  
 Tel: 05109 / 561508  
 Mail: [sabine.walter@verlag-jungewissenschaft.de](mailto:sabine.walter@verlag-jungewissenschaft.de)

## Wie geht es nach dem Einreichen weiter?

Die Chefredakteurin sucht einen geeigneten Fachgutachter, der die inhaltliche Richtigkeit der eingereichten Arbeit überprüft und eine Empfehlung ausspricht, ob sie veröffentlicht werden kann (Peer-Review-Verfahren). Das Gutachten wird den Euch, den AutorInnen zugeschickt und Du erhältst gegebenenfalls die Möglichkeit, Hinweise des Fachgutachters einzuarbeiten.

Die Erfahrung zeigt, dass Arbeiten, die z. B. im Rahmen eines Wettbewerbs wie **Jugend forscht** die Endrunde erreicht haben, die besten Chancen haben, dieses Peer-Review-Verfahren zu bestehen.

Schließlich kommt die Arbeit in die Redaktion, wird für das Layout vorbereitet und als Open-Access-Beitrag veröffentlicht.

## Was ist Dein Benefit?

Deine Forschungsarbeit ist nun in einer Gutachterzeitschrift (Peer-Review-Journal) veröffentlicht worden, d.h. Du kannst die Veröffentlichung in Deine wissenschaftliche Literaturliste aufnehmen. Deine Arbeit erhält als Open-Access-Veröffentlichung einen DOI (Data Object Identifier) und kann von entsprechenden Suchmaschinen (z. B. BASE) gefunden werden.

Die Junge Wissenschaft wird zusätzlich in wissenschaftlichen Datenbanken gelistet, d.h. Deine Arbeit kann von Experten gefunden und sogar zitiert werden. Die Junge Wissenschaft wird Dich durch den Gesamtprozess des Erstellens einer wissenschaftlichen Arbeit begleiten – als gute Vorbereitung auf das, was Du im Studium benötigst.



# Richtlinien für Beiträge

Für die meisten Autor/Inn/en ist dies die erste wissenschaftliche Veröffentlichung. Die Einhaltung der folgenden Richtlinien hilft allen – den Autor/innen/en und dem Redaktionsteam

Die Junge Wissenschaft veröffentlicht Originalbeiträge junger AutorInnen bis zum Alter von 23 Jahren.

- Die Beiträge können auf Deutsch oder Englisch verfasst sein und sollten nicht länger als 15 Seiten mit je 35 Zeilen sein. Hierbei sind Bilder, Grafiken und Tabellen mitgezählt. Anhänge werden nicht veröffentlicht. Deckblatt und Inhaltsverzeichnis zählen nicht mit.
- Formulieren Sie eine eingängige Überschrift, um bei der Leserschaft Interesse für Ihre Arbeit zu wecken, sowie eine wissenschaftliche Überschrift.
- Formulieren Sie eine kurze, leicht verständliche Zusammenfassung (maximal 400 Zeichen).
- Die Beiträge sollen in der üblichen Form gegliedert sein, d. h. Einleitung, Erläuterungen zur Durchführung der Arbeit sowie evtl. Überwindung von Schwierigkeiten, Ergebnisse, Schlussfolgerungen, Diskussion, Liste der zitierten Literatur. In der Einleitung sollte die Idee zu der Arbeit beschrieben und die Aufgabenstellung definiert werden. Außerdem sollte sie eine kurze Darstellung schon bekannter, ähnlicher Lösungsversuche enthalten (Stand der Literatur). Am Schluss des Beitrages kann ein Dank an Förderer der Arbeit, z. B. Lehrer und Sponsoren, mit vollständigem Namen angefügt werden. Für die Leser kann ein Glossar mit den wichtigsten Fachausdrücken hilfreich sein.
- Bitte reichen Sie alle Bilder, Grafiken und Tabellen nummeriert und zusätzlich als eigene Dateien ein. Bitte geben Sie bei nicht selbst erstellten Bildern, Tabellen, Zeichnungen, Grafiken etc. die genauen und korrekten Quellenangaben an (siehe auch [Erstveröffentlichungserklärung](#)). Senden Sie Ihre Bilder als Originaldateien oder mit einer Auflösung von mindestens 300 dpi bei einer Größe von 10 · 15 cm! Bei Grafiken, die mit Excel erstellt wurden, reichen Sie bitte ebenfalls die Originaldatei mit ein.
- Vermeiden Sie aufwendige und lange Zahlentabellen.
- Formelzeichen nach DIN, ggf. IUPAC oder IUPAP verwenden. Gleichungen sind stets als Größengleichungen zu schreiben.
- Die Literaturliste steht am Ende der Arbeit. Alle Stellen erhalten eine Nummer und werden in eckigen Klammern zitiert (Beispiel: Wie in [12] dargestellt ...). Fußnoten sieht das Layout nicht vor.
- Reichen Sie Ihren Beitrag sowohl in ausgedruckter Form als auch als PDF

ein. Für die weitere Bearbeitung und die Umsetzung in das Layout der Jungen Wissenschaft ist ein Word-Dokument mit möglichst wenig Formatierung erforderlich. (Sollte dies Schwierigkeiten bereiten, setzen Sie sich bitte mit uns in Verbindung, damit wir gemeinsam eine Lösung finden können.)

- Senden Sie mit dem Beitrag die [Erstveröffentlichungserklärung](#) ein. Diese beinhaltet im Wesentlichen, dass der Beitrag von dem/der angegebenen AutorIn stammt, keine Rechte Dritter verletzt werden und noch nicht an anderer Stelle veröffentlicht wurde (außer im Zusammenhang mit **Jugend forscht** oder einem vergleichbaren Wettbewerb). Ebenfalls ist zu versichern, dass alle von Ihnen verwendeten Bilder, Tabellen, Zeichnungen, Grafiken etc. von Ihnen veröffentlicht werden dürfen, also keine Rechte Dritter durch die Verwendung und Veröffentlichung verletzt werden. Entsprechendes [Formular](#) ist von der Homepage [www.junge-wissenschaft.ptb.de](http://www.junge-wissenschaft.ptb.de) herunterzuladen, auszudrucken, auszufüllen und dem gedruckten Beitrag unterschrieben beizulegen.
- Schließlich sind die genauen Anschriften der AutorInnen mit Telefonnummer und E-Mail-Adresse sowie Geburtsdaten und Fotografien (Auflösung 300 dpi bei einer Bildgröße von mindestens 10 · 15 cm) erforderlich.
- Neulingen im Publizieren werden als Vorbilder andere Publikationen, z. B. hier in der Jungen Wissenschaft, empfohlen.

# Impressum

[ JUNGE ]  
wissenschaft



## Junge Wissenschaft

c/o Physikalisch-Technische  
Bundesanstalt (PTB)  
[www.junge-wissenschaft.ptb.de](http://www.junge-wissenschaft.ptb.de)

## Redaktion

Dr. Sabine Walter, Chefredaktion  
Junge Wissenschaft  
Paul-Ducros-Str. 7  
30952 Ronnenberg  
E-Mail: [sabine.walter@verlag-jungewissenschaft.de](mailto:sabine.walter@verlag-jungewissenschaft.de)  
Tel.: 05109 / 561 508

## Verlag

Dr. Dr. Jens Simon,  
Pressesprecher der PTB  
Bundesallee 100  
38116 Braunschweig  
E-Mail: [jens.simon@ptb.de](mailto:jens.simon@ptb.de)  
Tel.: 0531 / 592 3006  
(Sekretariat der PTB-Pressestelle)

## Design & Satz

Sabine Siems  
Agentur „provieler werbung“  
E-Mail: [info@provieler-werbung.de](mailto:info@provieler-werbung.de)  
Tel.: 05307 / 939 3350

## Titelbild:

Process of cleaning color cloth in  
washing machine  
Quelle: fotolia / photopixel



Physikalisch-Technische Bundesanstalt  
Bundesallee 100