

Wie toxisch sind unsere T-Shirts? – Optische Aufheller in Kleidung und Waschmitteln

Teilnehmerin/Teilnehmer: Meret Urban (17), Niklas Heß (18), Louise Altenstein (18)

Schule: Carl-Zeiss-Gymnasium Jena

Projektbetreuung: Dr. Christina Walther

Thema des Projekts:	Optische Aufheller
Fachgebiet:	Chemie
Wettbewerbssparte:	Jugend forscht
Bundesland:	Thüringen
Wettbewerbsjahr	2024



SCHÜLER
FORSCHUNGS
ZENTRUM
JENA

1 Projektüberblick

Optische Aufheller (umgangssprachlich „Weißmacher“) sind nachgewiesenermaßen gesundheitsgefährdend und stark umweltbelastend. In diesem Projekt wurden Waschmaschinen-Abwasser und Oberflächenwasser mit einem Fluoreszenzspektrometer untersucht. Auf diese Weise wurden Aussagen über die Konzentration an optischen Aufhellern in den Proben ermöglicht. So konnte erstens bestimmt werden, ob optische Aufheller tatsächlich in die Oberflächengewässer gelangen, da sie von den Kläranlagen nicht gefiltert werden können. Und zweitens wurde ermittelt, von welchen Faktoren die Konzentration optischer Aufheller im Waschmaschinen-Abwasser abhängt. Dabei wurden die Unterschiede zwischen T-Shirts und Waschmitteln verschiedener Herstellungsfirmen untersucht. Ebenso wurden Proben verschiedener Waschgänge und T-Shirts unterschiedlichen Alters verglichen.

Die Gruppe hatte das Thema Fluoreszenz gewählt, da es ein interdisziplinäres Arbeiten ermöglicht. Die Studienlage zu optischen Aufhellern ist sehr begrenzt, obwohl die großen Risiken, die mit diesen Stoffen verbunden sind, durchaus bekannt sind. Deshalb hatte sich die Gruppe entschieden, ihre Arbeit der Untersuchung der Konzentration optischer Aufheller in Proben von Waschmaschinen-Abwasser und Oberflächenwasser zu widmen.

2 Inhaltsverzeichnis

Inhalt

1	Projektüberblick.....	2
2	Inhaltsverzeichnis.....	2
3	Fachliche Kurzfassung.....	3
4	Motivation und Fragestellung.....	3
5	Hintergrund und theoretische Grundlagen.....	4
6	Vorgehensweise, Materialien und Methoden	5
7	Ergebnisse	8
7.1	Schwach fluoreszierende Proben	8
7.2	Stark fluoreszierende Proben	10
7.3	Zusammengefasste Ergebnisse	11
8	Ergebnisdiskussion	12
9	Fazit und Ausblick.....	14
10	Quellen- und Literaturverzeichnis	14
11	Unterstützungsleistungen	15

3 Fachliche Kurzfassung

In dieser Arbeit wurden verschiedenste Wasser-Proben mit einem Fluoreszenzspektrometer untersucht. Die zentrale Erkenntnis ist, dass fast alle Proben optische Aufheller enthielten – nicht nur alle Waschmaschinen-Abwasser-Proben, sondern auch jegliche Proben, die der Saale entnommen wurden und auch eine Regenwasser-Probe. Es handelt sich dabei v. a. um Disodium Distyrylbiphenyl Disulfonate. Die einzige Probe, in der keine optischen Aufheller nachgewiesen werden konnten, war Trinkwasser. Sowohl neugekaufte T-Shirts enthalten demnach optische Aufheller als auch Vollwaschmittel. Die Konzentration an optischen Aufhellern in Produkten die mit Nachhaltigkeit beworben werden, sind deutlich gering, als die Konzentrationen in Vergleichsprodukten. Dies gilt für Waschmittel (Vergleich der Marken Frosch und Perwoll) und für Kleidung (Vergleich der Marken ARMEDANGELS und TOM TAILOR). Bei dem Waschwasser des T-Shirts (LERROS), das schon ca. 15 Jahre alt ist und entsprechend oft gewaschen wurde, wurden unabhängig vom Waschmittel höhere Konzentrationen an optischen Aufhellern gemessen als bei den neu gekauften T-Shirts (ARMEDANGELS und TOM TAILOR). Im Hauptwaschgang gelangen mit Abstand die höchsten Konzentrationen an optischen Aufhellern ins Abwasser, im 1. Spülgang noch etwas höhere Konzentrationen als im zweiten. Schließlich enthält auch das Abwasser einen Waschmaschinenladung Buntwasser optische Aufheller, aber in sehr geringen Anteilen.

Tatsächlich scheint die Jenaer Kläranlage optische Aufheller nicht vollständig aus dem Wasser herauszufiltern. Die Konzentration an diesen Stoffen war im Saalewasser direkt an der Kläranlage am höchsten und nahm dann flussabwärts ab, sank aber nicht auf 0. Auch im Regenwasser konnten geringe Mengen an optischen Aufhellern nachgewiesen werden. In all diesen Proben waren die Konzentrationen aber deutlich geringer als in den Proben des Waschmaschinen-Abwassers.

4 Motivation und Fragestellung

Die Gruppe hatte das Thema Fluoreszenz gewählt, da es ein interdisziplinäres Arbeiten ermöglicht. Durch Internetrecherche wurde sie auf das Problem der optischen Aufheller aufmerksam. Die Studienlage zu diesen Stoffen ist sehr begrenzt, obwohl die großen Risiken, die mit diesen Stoffen verbunden sind, durchaus bekannt sind. Sie sind schon ab geringen Konzentrationen stark umweltbelastend und gesundheitsgefährdend. Diese Arbeit widmet sich deshalb u. a. der Fragestellung, welche Parameter man verändern kann, um die Konzentration an optischen Aufhellern im Abwasser zu minimieren.

Es wurde eine Reihe von Experimenten durchgeführt, bei denen unterschiedliche T-Shirts mit je unterschiedlichen Waschmitteln gewaschen wurden. Folgende Fragestellungen wurden untersucht:

- Bei welchem Waschgang gelangt die höchste Konzentration an optischen Aufhellern ins Waschmaschinen-Abwasser? Die Vermutung ist, dass dies im Hauptwaschgang der Fall ist.
- Wie wirken sich die Kleidungsmarke und die Waschmittelmarke auf die Konzentration optischer Aufheller aus? Zur Klärung dieses Sachverhalts wurde jeweils ein als ökologisch ausgewiesenes Produkt mit einem konventionellen, das heißt, nicht ausdrücklich als umweltfreundlich gekennzeichnetem Produkt, verglichen. Die Hypothese ist, dass Produkte von Marken, die mit Nachhaltigkeit werben, tatsächlich weniger optische Aufheller enthalten.
- Nimmt die Konzentration an optischen Aufhellern im Waschmaschinen-Abwasser mit der Anzahl der Waschgänge ab, die ein Kleidungsstück durchläuft? Dazu wurden sowohl ladenneue als auch mehrere Jahre alte, getragene und vielfach gewaschene Kleidungsstücke getestet. Da bei jedem Waschgang optische Aufheller ins Abwasser gelangen, wurde vermutet, dass im Abwasser älterer Kleidungsstücke geringere Konzentrationen an optischen Aufhellern gemessen werden können.
- Wie gut können Kläranlagen die optischen Aufheller aus dem Abwasser filtern? Dazu wurden mehrere Proben Saalewasser ausgewertet. Nach den Studien, die dieser Arbeit zugrunde liegen zu urteilen, sollten sich in diesen Proben optische Aufheller nachweisen lassen.

5 Hintergrund und theoretische Grundlagen

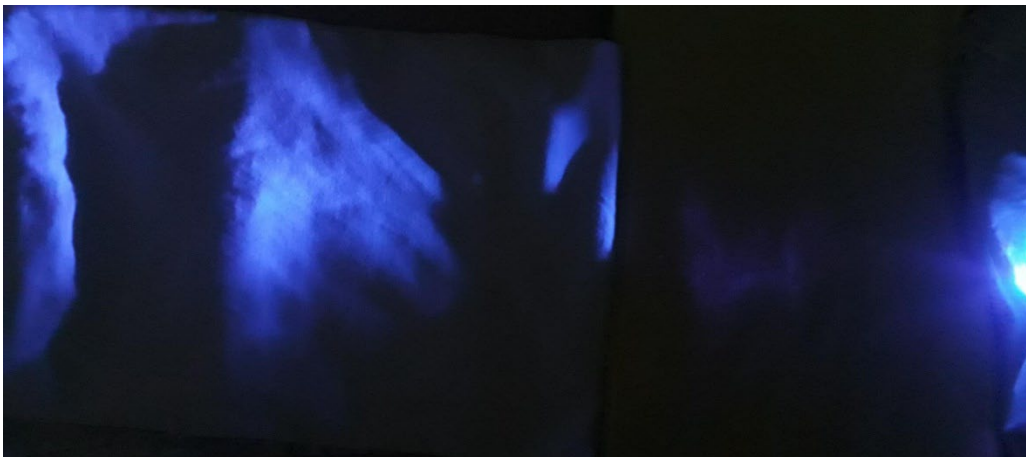


Abbildung 1 Optische Aufheller in T-Shirts: links ein weißes, rechts ein gelbes T-Shirt

Optische Aufheller (umgangssprachlich als „Weißmacher“ bekannt) sind Stoffe, die beispielsweise Papier und Kleidung zugesetzt werden, um die Helligkeit zu verstärken und die Produkte nicht vergilbt aussehen zu lassen. Dies geschieht mithilfe von Fluoreszenz: Unter UV-Strahlung emittieren optische Aufheller blaues Licht.¹

¹ <https://www.spektrum.de/lexikon/chemie/optische-aufheller/6548> (09.08.2023)

In den letzten 60 Jahren hat der Einsatz optischer Aufheller in Waschmittel- Produkten stark zugenommen. Die Konzentration dieser Stoffe in den Waschmitteln hat sich etwa verdoppelt. Dennoch gibt es kaum Studien, die sich mit den Auswirkungen optischer Aufheller auf die Umwelt und den Menschen befassen. Insbesondere Studien, die jünger sind als 20 Jahre, finden sich kaum.

Die optischen Aufheller in Waschmitteln sollen während des Waschvorgangs an die Kleidungsfasern gebunden werden. Nicht alle Moleküle werden allerdings gebunden, manche bleiben im Wasser, andere werden aus der Kleidung herausgelöst. Diese Moleküle gelangen dann über das Abwasser ins Klärwerk. Dort setzen sie sich zum Teil im Klärschlamm ab. Zum Teil werden sie aber auch über den Klärwerkabfluss direkt in die Oberflächengewässer geleitet.

Der Klärschlamm wird entweder verbrannt oder in der Landwirtschaft genutzt. Wird Klärschlamm auf die Felder ausgebracht, gelangen die optischen Aufheller wieder in die Umwelt und in die Oberflächengewässer. Problematisch ist, dass sie kaum zerfallen oder auf natürliche Weise abgebaut werden. Der äußerst langsame Zersetzungsprozess hat zur Folge, dass optische Aufheller (ähnlich wie Mikroplastik) sehr lange in Gewässern und im Boden überdauern und über verschiedene Zwischenschritte auch in die Nahrungskette gelangen und somit schließlich zu uns Menschen zurückkehren. So gibt es Studien aus China und der Schweiz, in denen optische Aufheller in Schlamm und Gewässern nachgewiesen wurden, mit Konzentrationen von bis zu 1,52 mg g⁻¹ in China-weit gesammeltem Schlamm und bis zu 0,57 µg L⁻¹ im Wasser Schweizer Flüsse.² Dabei gelten diese Zusatzstoffe schon ab geringen Konzentrationen als stark umweltbelastend und gesundheitsgefährdend. Betrachtet man die Inhaltsstoffe von Waschmitteln, so sind die für den Menschen schädlichsten Zusatzstoffe jene Mittel, die die Faltenbildung verhindern (sogenannte "anti-creasing agents"), gefolgt von Wasserstoffperoxid und optischen Aufhellern. In Bezug auf die Umweltschädlichkeit liegen die optischen Aufheller auf den ersten Rängen, je nach Betrachtung sogar an der Spitze. Wie sich optische Aufheller im Einzelnen auf den Menschen und die Umwelt auswirken, ist bis dato noch weitgehend ungeklärt.

6 Vorgehensweise, Materialien und Methoden

Für die Experimente wurden weiße Baumwoll-T-Shirts verwendet, da weiße T-Shirts (anders als z. B. Hemden) weit verbreitet und regelmäßig im Waschgang mit weißer Wäsche zu finden sind. Es wurden drei verschiedene T-Shirts getestet:

- Ein neu gekauftes, als ökologisch-produziert ausgewiesenes T-Shirt der Marke ARMEDANGELS
- Drei neue T-Shirts der Marke TOM TAILOR, einer Marke ohne besonderen Nachhaltigkeits-Anspruch

² Environmental Science & Technology Artikel

- Ein vielfach gewaschenes T-Shirt der Marke LERROS, schon aufgrund seines Alters ohne heutige Nachhaltigkeits-Merkmale

Das ARMEDANGELS T-Shirt ist von der Control Union zertifiziert. Auf der Website der Marke steht: „ARMEDANGELS is a brand deeply rooted in environmental and social justice“ und „Our mission is to innovate more sustainable products. Ethical. Eco. Carbon positive. Circular.“ Die Marke legt in ihrem öffentlichen Auftritt demnach großen Wert auf Nachhaltigkeit.

Auch auf der Webseite von TOM TAILOR findet sich eine Nachhaltigkeits-Mission. Jedoch ist diese Mission bei Weitem nicht so vordergründig wie die von ARMEDANGELS. Der betreffende Text benennt als Maßnahme nur die Verwendung von Bio-Baumwolle, gibt aber keine Informationen zu möglichen Zusatzstoffen. Insofern ist anzunehmen, dass eine Reihe von Chemikalien, so auch optische Aufheller, zur chemischen Ausrüstung der Textilien eingesetzt werden.

Auch LERROS stellt mit Blick auf den ökologischen Anspruch keine Ausnahme dar: Auf der Webseite wird ohne konkrete Angaben erklärt, dass immer mehr Produkte nachhaltiger hergestellt würden. Da das verwendete T-Shirt schon über zehn Jahre alt ist und LERROS anders als ARMEDANGELS nicht auf eine lange, mit ökologischen Visionen verbundene Geschichte zurückblickt, kann angenommen werden, dass das verwendete T-Shirt bezüglich Nachhaltigkeitsstandards günstigstenfalls dem TOM TAILOR T-Shirt entspricht.

Da alle T-Shirts zu 100 % aus Baumwolle bestehen, ist eine Vergleichbarkeit gegeben. Als ökologisches Voll-Waschmittel wurde „Voll-Waschpulver Citrus“ von Frosch verwendet, als konventionelles Voll-Waschmittel wurde „Perwoll renew weiss“ eingesetzt. Beide enthalten 5 – 10 % optische Aufheller, und zwar Disodium Distyrylbiphenyl Disulfonate, auch bekannt als Tinopal CBS.

Folgende Proben wurden genommen:

- Perwoll-Waschmittel in Wasser gelöst (1mL: 120mL, das entspricht ungefähr der Konzentration des Waschmittels in der Lauge der Hauptwäsche; bezogen auf die Gesamtbelastung im Abwasser eines Waschmaschinen-Durchlaufs entspricht dieses Verhältnis ungefähr der dreifachen Waschmittel-Konzentration im Abwasser)
- Frosch-Waschmittel in Wasser gelöst (3 mL: 500 mL, das entspricht ebenfalls ungefähr der Konzentration des Waschmittels in der Hauptwäsche; unter Einbeziehung der Spülgänge entspricht es ebenfalls ungefähr der dreifachen Konzentration des Waschmittels im Waschmaschinen-Abwasser)
- Gereinigtes Wasser des Jenaer Klärwerks direkt am Klärwerkausfluss in die Saale (aufgefangen am 12.08.2023)
- Saalewasser ca. 20 m flussabwärts des Klärwerk-Zuflusses (aufgefangen am 12.08.2023)
- Saalewasser ca. 5 km flussaufwärts des Klärwerk-Zuflusses (aufgefangen am 12.08.2023)
- Regenwasser aufgefangen am 12.08.2023)

Für die Waschwasser-Proben wurden der Abwasserschlauch der Waschmaschine vom Siphon abgeschraubt und das Wasser aufgefangen. Als Waschprogramm wurde Hemden, Eco, 1h 14min, 60°C, 800 Umdrehungen pro Minute, mit mittlerem Wasser- (3/5) und hohem Stromverbrauch (4/5) gewählt. Auf diese Weise wurden einige Proben genommen. Das Volumen an Waschmittel wurde auf die Menge der Kleidung abgestimmt. Für ein T-Shirt wurden jeweils 24 mL Perwoll oder 17 mL (15 g) Frosch genutzt. Für die komplette Weißwäsche 100 mL Perwoll.

Tabelle 1: Verwendete Waschmittel-Kleidung-Kombinationen

Wäsche/ Waschmittel	neues TOM TAILOR-T- Shirt	neues ARMEDANGELS- T-Shirt	altes LERROS- T-Shirt	komplette Weißwäsche
ohne	Hauptwäsche	Hauptwäsche	-	-
Perwoll	Hauptwäsche	-	Hauptwäsche, 1. Spülgang, 2. Spülgang	Hauptwäsche
Frosch	Hauptwäsche	-	Hauptwäsche	-

Ebenso wurde eine Buntwäsche mit dem gleichen Programm gewaschen.

Jede Probe wurde nur einmal aufgefangen, da mehrmalige Waschkäufe zusätzliche T-Shirts erfordert hätten und die zusätzlichen Tests die zeitlichen, finanziellen und ökologischen Ressourcen überfordert hätten. Aus eben diesem Grund wurden auch nur je ein T-Shirt und nur je ein Waschmittel von jedem Typ eingesetzt. Dieses Vorgehen wird in der Fehlerbetrachtung ausführlicher diskutiert.

Jede Probe wurde in eine Küvette gefüllt und mit dem Fluoreszenzspektrometer gemessen. Als Referenz wurde Leitungswasser verwendet (mit Ausnahme der Trinkwasserprobe, hier war destilliertes Wasser die Referenz). Zu einzelnen Proben wurden Absorptions- und Anregungsspektren aufgenommen, um alle Proben mit UV-Licht der Wellenlänge bestrahlen zu können, bei der die höchste Fluoreszenzintensität auftrat. Um die Fluoreszenz zu messen, wurden Emissionsspektren aufgenommen. Verwendet wurde ein FP-8300 der Firma Jasco verwendet. Das Fluoreszenzspektrometer steht an der Ernst-Abbe-Hochschule Jena. Es kann Spektren in einem Wellenlängenbereich von 200 nm bis 900 nm mit einer Auflösung von 1 nm messen.³

³ <https://jascoinc.com/wp-content/uploads/2019/07/FP8000-Spectrofluorometer-Brochure-7.1.19.pdf> (10.01.2024)

7 Ergebnisse

Es fluoreszierten alle getesteten Proben. Alle Emissionsspektren, mit Ausnahme des der Trinkwasser-Probe, zeigten ähnliche Verläufe, auch wenn sich die Intensitäten stark unterschieden. Das deutet darauf hin, dass es sich bei allen Proben um den gleichen fluoreszierenden Stoff handelt, sehr wahrscheinlich das Disodium Distyrylbiphenyl Disulfonate. Alle Proben haben bei einer Anregungswellenlänge von etwa 350 nm ein Emissions-Peak bei 430 nm. Die höchste Fluoreszenzintensität wird bei einer Anregungswellenlänge von 355 nm erreicht.

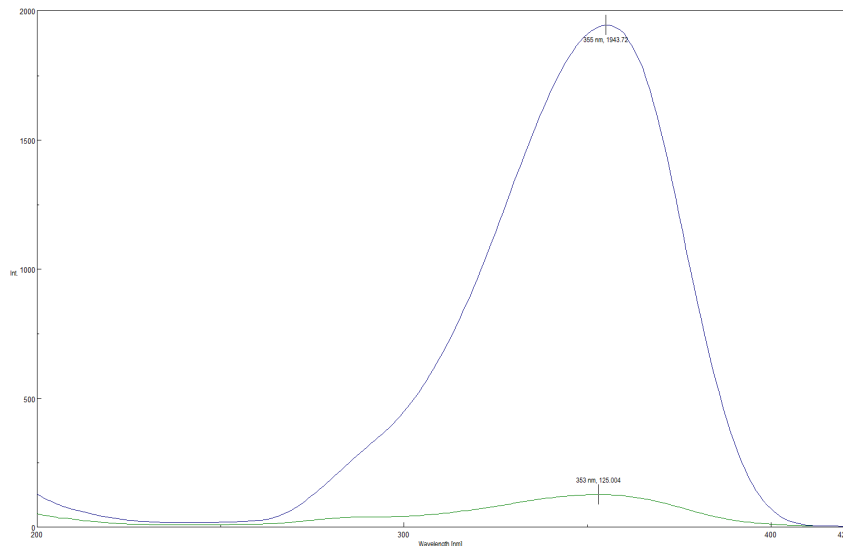


Abbildung 2 Beispiel für ein Anregungsspektrum mit den Proben der Waschgänge mit Perwoll: in blau das TOM TAILOR-T-Shirts, in grün ARMEDANGELS

Die Intensitäten des gemessenen Fluoreszenzlichts liegen im Bereich zwischen 20,14 (Regenwasser) und 4656,16 (reine Perwoll-Lösung). Es ist also durchaus sinnvoll eine Unterteilung der Messwerte vorzunehmen. Alle Spektren wurden bei einer Anregungswellenlänge von 355 nm aufgenommen.

Das Diagramm „Proben mit einer Intensität von unter 400“ stellt alle Kurvenverläufe dar, deren maximale Intensität bei einer Sensitivität von low unter 400 lag. In Diagramm „Proben mit einer Intensität von über 400 werden alle anderen Kurvenverläufe dargestellt, deren Maximum über 400 lag.

7.1 Schwach fluoreszierende Proben

Die Probe mit der kleinsten Intensität war Regenwasser mit einer Intensität von 20,14. Alle Proben nach der Intensität aufsteigend sortiert, sind in der folgenden Aufzählung gelistet:

Tabelle 2: Proben mit Fluoreszenzintensitäten unter 400

Probe	Intensität
Regenwasser	20,14

Buntwäsche	23,39
neues ARMEDANGELS-T-Shirt ohne Waschmittel	48,88
neues TOM TAILOR-T-Shirt mit Frosch	122,01
neues TOM TAILOR-T-Shirt mit Perwoll, 2. Spülgang	161,07
neues TOM TAILOR-T-Shirt mit Fit	226,14
neues TOM TAILOR-T-Shirt mit Perwoll, 1. Spülgang	275,64
altes T-Shirt (LERROS) mit Frosch	283,20
neues TOM TAILOR-T-Shirt ohne Waschmittel	327,79

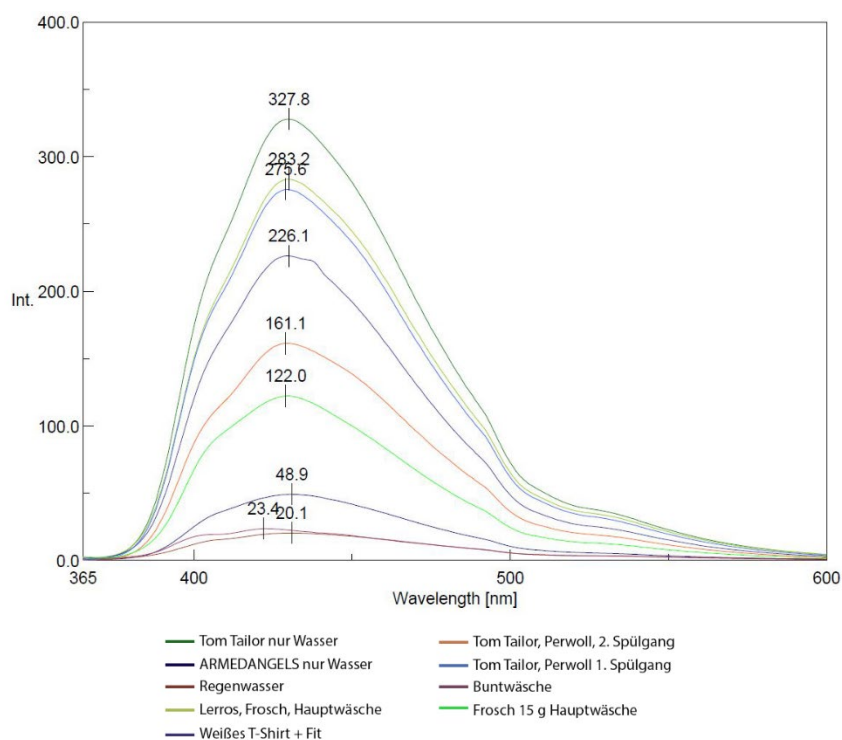


Abbildung 3 Proben mit einer Intensität unter 400

Einige der gemessenen Proben fluoreszierten so schwach, dass sie mit der Sensitivität low fast nicht gemessen werden konnten. Diese Proben wurden deshalb mit der Sensitivität medium gemessen. Diese Werte sind dadurch nur bedingt vergleichbar mit allen anderen Messwerten. Deshalb sind sie gesondert im Diagramm „Sensitivität medium“ dargestellt und lassen sich nur untereinander vergleichen.

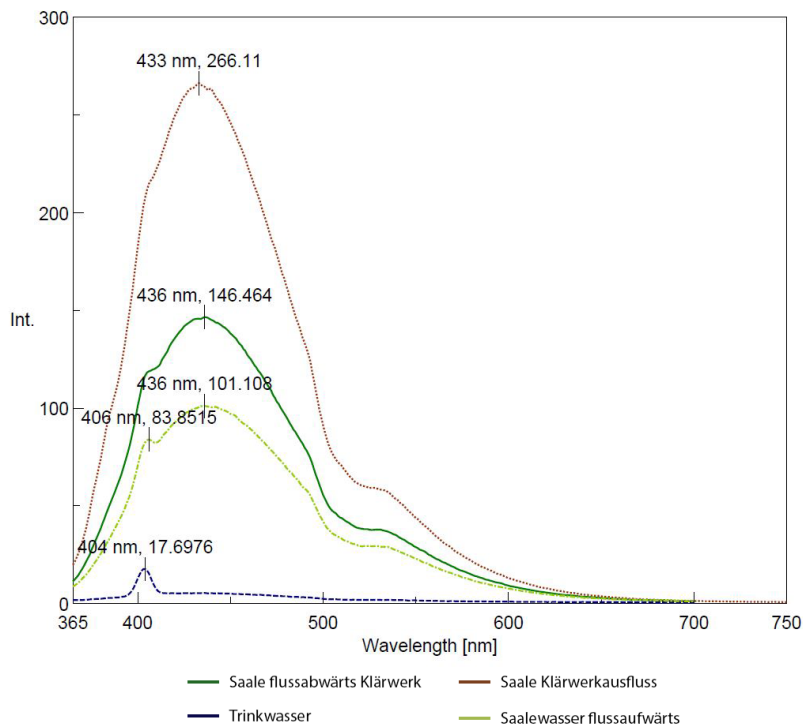


Abbildung 4 Proben mit der Sensitivität medium

Dabei fällt auf, dass offensichtlich vom Klärwerk fluoreszierende Stoffe in das Saalewasser eingetragen werden. Denn bei der Probe, welche direkt vom Ausfluss des Klärwerks stammt, war die Intensität deutlich höher bei der flussaufwärts entnommenen Probe. Ebenso lag die Fluoreszenzintensität der flussabwärts aufgenommenen Probe noch über der flussaufwärts aufgenommenen Probe. Die Konzentration an optischen Aufhellern im Klärwerk-Wasser ist also so hoch, dass sie nicht direkt durch das Saalewasser auf einen Grundpegel verdünnt wird. Es ist allerdings auch zu sehen, dass die Intensitäten aller Oberflächenwasser-Proben unter den Intensitäten der Waschwasser-Proben lagen, da der größte mit medium gemessenen Wert: Saale Klärwerkausfluss, zusätzlich mit low gemessen wurde. Der low-Wert lag nur knapp über dem von Regenwasser. Die restlichen medium Werte waren also noch niedriger. Es ist zudem zu sehen, dass Buntwäsche fast nicht fluoresziert, die Annahme, die Fluoreszenz stamme von Weißmachern bei Weißwäsche ist somit bekräftigt.

7.2 Stark fluoreszierende Proben

Die Probe mit der kleinsten Intensität über 400 ist Weißwäsche mit Perwoll (Hauptwäsche) mit 881,93. Somit existierte ein großer Sprung zwischen den schwach fluoreszierenden Proben und den stark fluoreszierenden Proben. Der Intensität aufsteigend sortiert folgen danach:

Tabelle 3: Proben mit Fluoreszenzintensitäten über 400

Probe	Intensität
Weißwäsche mit Perwoll	881,93

Frosch in Wasser, verdünnt	1666,82
neues TOM TAILOR-T-Shirt mit Perwoll, Hauptwäsche	1902,11
altes T-Shirt (LERROS) mit Perwoll	2080,24
Frosch in Wasser	2333,9
Perwoll in Wasser, verdünnt	2865,0
Perwoll in Wasser	4656,16

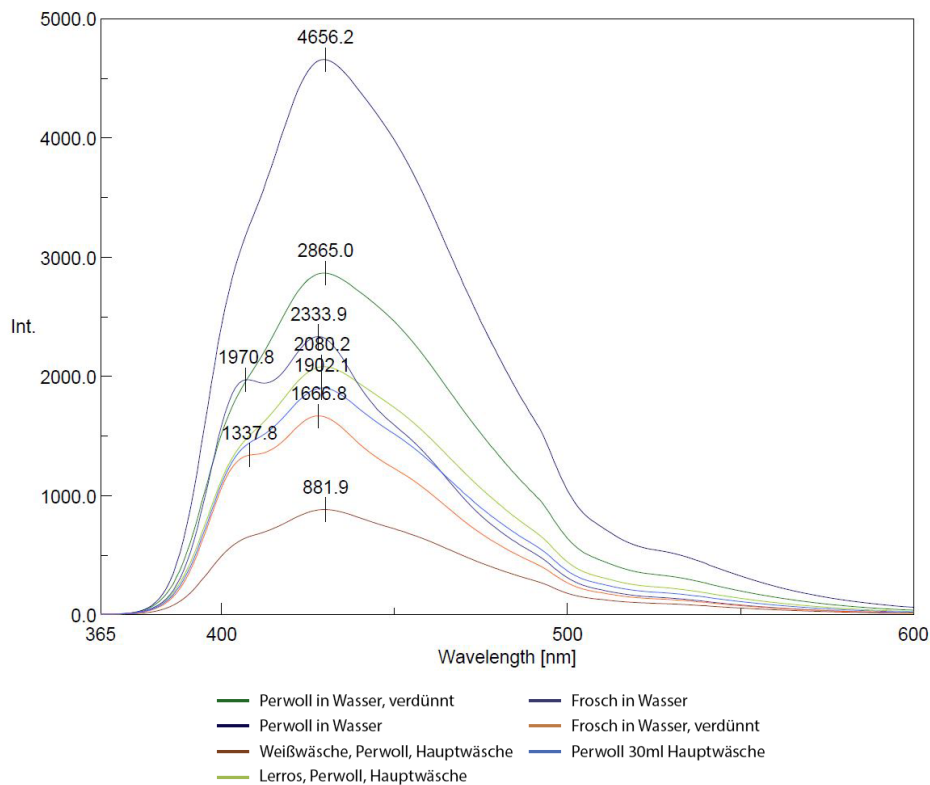


Abbildung 5 Proben mit Fluoreszenzintensitäten über 400

Hierbei fällt v.a. auf, dass Perwoll sehr stark fluoreszierte. Die pure Perwoll-Lösung fluoreszierte deutlich stärker als die pure Frosch-Lösung, obwohl diese eine höhere Konzentration besaß. Zudem fällt auf, dass die Hauptwäsche mit nur dem TOM TAILOR-T-Shirt stärker fluoreszierte als die komplette Weißwäsche. Es ist zu vermuten, dass ein Teil der optischen Aufheller in der Kleidung hängen bleibt und somit nicht ins Abwasser gelangt.

7.3 Zusammengefasste Ergebnisse

Es wurden folgende Erkenntnisse aus den Versuchen gewonnen:

- Sowohl T-Shirts als auch Waschmittel enthalten optische Aufheller, wobei die Konzentration in den Waschmitteln sehr viel höher ist als im Waschwasser der T-Shirts.

- Die getesteten Produkte der als besonders ökologisch ausgewiesenen Marken enthalten tatsächlich weniger optische Aufheller als die Vergleichsprodukte. Dies gilt für die Waschmittel wie auch für die Kleidungsstücke. Dies bestätigt die Hypothese.
- Beim Waschen bereits länger getragener T-Shirts gelangen mehr optische Aufheller ins Abwasser als bei neuen T-Shirts. Vielleicht können ältere T-Shirts die optischen Aufheller aus den Waschmitteln nicht mehr so gut aufnehmen. In diesem Fall wurde die Anfangshypothese widerlegt. Die Differenz könnte aber auch durch die verschiedenen Marken begründet werden. Der Unterschied zwischen den Waschmitteln ist allerdings größer als der zwischen alten und neuen T-Shirts.
- Der größte Teil der optischen Aufheller gelangt im Hauptwaschgang ins Abwasser. Auch dies entspricht der Vermutung.
- Wäscht man eine Ladung Weißwäsche mit Vollwaschmittel, so gelangt ein sehr großer Teil der optischen Aufheller ins Abwasser. Das sieht man daran, dass die Probe der Weißwäsche mit Perwoll sehr stark fluoreszierte. Stärker waren nur die Waschmittel-Lösungen und die Waschgänge einzelner T-Shirts mit Perwoll. Das bedeutet, ein nicht unbedeutender Teil der optischen Aufheller bleibt tatsächlich an der Kleidung haften, der große Rest allerdings wird umsonst hinzugegeben, da er von der Kleidung gar nicht aufgenommen werden kann. Darüber, ob dies in anderen Waschprogrammen anders wäre, kann keine Aussage getroffen werden.
- Auch das Saale- und sogar das Regenwasser enthalten fluoreszierende Stoffe. Direkt am Abfluss der Kläranlage war die gemessene Konzentration am höchsten, flussabwärts nahm sie ab, sank aber nicht auf 0. Auch im Regenwasser konnten geringe Mengen an fluoreszierenden Stoffen nachgewiesen werden. Es handelte sich hierbei um die gleichen Stoffe, die auch in den Waschmaschinen-Abwassern vorlagen. Dies ist an dem Emissionspeak bei 430 nm zu erkennen. Sehr wahrscheinlich ist dies das Disodium Distyrylbiphenyl Disulfonate. Die Hypothese, dass die Filterung optischer Aufheller in der Kläranlage ungenügend ist, wurde bestätigt. Auch Oberflächenwasser und sogar Regenwasser enthalten optische Aufheller.
- Trinkwasser enthält nicht die optischen Aufheller, die in den anderen Proben enthalten sind. Sein Emissionspeak liegt bei 404 nm. Dennoch kann nicht ausgeschlossen werden, dass es keine anderen optischen Aufheller enthält, dies ist jedoch unwahrscheinlich.

8 Ergebnisdiskussion

Auch wenn das Fluoreszenzspektrometer einen Gerätefehler hat, ist dieser so gering, dass man den Ergebnissen der Arbeit grundsätzlich vertrauen kann. Die Resultate entsprechen größtenteils den Hypothesen und die Messungen der Fluoreszenz des Oberflächenwassers decken sich mit den Ergebnissen anderer Studien: Die Saale und das Regenwasser enthalten optische Aufheller. Was anhand der Messungen nicht festgestellt werden konnte, sind absolute Konzentrationen. Dazu bräuchte man Proben mit einem bekannten Gehalt an optischen Aufhellern, insbesondere

Disodium Distyrylbiphenyl Disulfonate. Dieser Stoff ist in Reinform allerdings sehr teuer, weshalb im Rahmen dieses Projekts keine Messungen in dieser Richtung unternommen wurden.

Auch sind deutlich mehr Versuche nötig, die ähnlich denen aus diesem Projekt aufgebaut sind. Allein die Ergebnisse aus dieser Arbeit sind nicht repräsentativ. Das Waschprogramm Hemden, Eco, 1 h 14 min, 60°C, 800 Umdrehungen pro Minute, Wasserverbrauch 3/5, Stromverbrauch 4/5 ist kein typisches Weißwäsche-Programm. Es wurde aus pragmatischen Gründen gewählt, weil es einerseits kurz und verhältnismäßig ökologisch ist und andererseits trotzdem eine Temperatur von 60 °C erreicht. In anderen Waschprogrammen könnten die Konzentrationen ganz anders ausfallen.

Es wurden bis auf die Weißwäsche ausschließlich T-Shirts getestet, keine Hemden, Pullover, Hosen, gemusterten Kleidungsstücke etc. Wahrscheinlich sind die Baumwoll-T-Shirts bezüglich ihrer Marken repräsentativ. Dennoch ist es möglich, dass z.B. der Vergleich einer alten mit einer neuen Hose anders ausgefallen wäre.

Für jede Kategorie wurde nur ein Waschmittel bzw. ein T-Shirt als Repräsentant gewählt. Weitere Produktvergleiche – weder im Hinblick auf die T-Shirts noch auf die Waschmittel – waren nicht intendiert. Dazu wären weitreichendere Messungen notwendig gewesen. Die Ergebnisse sind insofern aussagekräftig, aber nur exemplarisch. Außerdem wurde jede Kombination nur einmal gewaschen: Um den Fehler zu minimieren, sollten mehrere Waschgänge vermessen werden. (Da aber jeweils nur die 1. Wäsche der neuen T-Shirts getestet wurde, wären entsprechend unabhängig von ökologischen und zeitlichen Gesichtspunkten viele weitere T-Shirts jeweils derselben Charge erforderlich gewesen, um aus wiederholten Wäschen vergleichbare Ergebnisse zu erzielen.) In einem nächsten Schritt zur Erweiterung dieser Arbeit könnte die Zahl der untersuchten T-Shirt- und Waschmittel-Marken erhöht werden.

Vom Saalewasser wurden nur drei Proben genommen. Wichtig wäre, auch Oberflächenwasser anderer Gewässer und an den Abflüssen anderer Kläranlagen zu untersuchen. Ebenso wäre eine Messung des Abwassers vor Eingang in die Kläranlage erkenntnisbringend. Unsere diesbezügliche Anfrage an das Jenaer Klärwerk wurde aber nicht beantwortet. Besonders die Zusammensetzung von Regenwasser ist stark von Ort und Zeit des Auffangens abhängig. Auch hier sind also weitere Messungen erforderlich.

Was in diesem Projekt überhaupt nicht untersucht wurde, ist, wie sich optische Aufheller genau auf Mensch und Umwelt auswirken. Dies ist eine zentrale Fragestellung, die jedoch allein mit einem Fluoreszenzspektrometer nicht gelöst werden kann. Die Arbeit zeigt jedoch, dass vorerst kein Verzicht auf optische Aufheller möglich ist, da sie in jeglichen Produkten, die in Zusammenhang mit weißer Kleidung stehen enthalten sind. Auch ist es längst zu spät, Lebewesen davor zu schützen, mit optischen Aufhellern in Kontakt zu kommen, da sie in unseren Oberflächengewässern und selbst im Regenwasser enthalten sind. Ohne eine geeignete Studienlage wird sich wahrscheinlich nichts an dem hohen Einsatz optischen Aufheller in verschiedensten Produkten ändern. Stattdessen ist anzunehmen, dass der Gehalt an optischen

Aufhellern in z. B. Waschmitteln dem Trend der letzten Jahrzehnte folgen und weiter zunehmen wird.

9 Fazit und Ausblick

Abschließend lässt sich festhalten, dass optische Aufheller in zum Teil sehr hohen Konzentrationen in allen getesteten Produkten vorkommen und selbst in der Saale und im Regenwasser zu finden sind. Produkte von Marken, die mit ihrer Nachhaltigkeit werben (sowohl in Bezug auf die Waschmittel als auch in Bezug auf die Kleidung) haben allerdings einen geringeren Gehalt an optischen Aufhellern. Die Frage, wodurch die Konzentration optischer Aufheller im Waschmaschinen-Abwasser beeinflusst wird, konnte im Großen und Ganzen geklärt werden. Tatsächlich scheint die Wahl als ökologisch beworbener Produkte sinnvoll, ebenso sollten größere Mengen an Wäsche auf einmal gewaschen werden. Allein dies reicht aber nicht aus, um unsere Umwelt und uns selbst, den Menschen ausreichend vor diesen Stoffen zu schützen. Denn auch wurde die zweite Frage dieses Projekts, wie gut Kläranlagen optische Aufheller aus dem Abwasser filtern können, wurde in Bezug auf das Jenaer Klärwerk beantwortet. Tatsächlich gelangen optische Aufheller über die Kläranlage in die Saale. Die Ziele dieser Arbeit wurden also erreicht. Die Ergebnisse zeigen jedoch, dass in diesem Feld auf jeden Fall weitere Untersuchungen nötig sind, da die Ergebnisse dieser Arbeit nur einen kleinen Einblick geben können.

10 Quellen- und Literaturverzeichnis

Spektrum Verlag (1998). [URL:https://www.spektrum.de/lexikon/chemie/optische-aufheller/6548](https://www.spektrum.de/lexikon/chemie/optische-aufheller/6548).
Abgerufen am 09.08.2023

Friedrich-Schiller-Universität Jena. Optische Aufheller. URL: <http://www.chemie.uni-jena.de/institute/oc/weiss/aufheller.htm>. Abgerufen am 09.08.2023

Consumer Product Information Database. Disodium Distyrylbiphenyl Disulfonate. URL: <https://www.whatsinproducts.com/chemicals/view/1/4359>. Abgerufen am 15.08.2023

Umweltbundesamt (2015). Inhaltsstoffe. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/chemikalien/wasch-reinigungsmittel/inhaltsstoffe#o-bis-p>. Abgerufen am 15.08.2023

Groß, Rita and Leisewitz, André and Moch, Katja (2012). Untersuchung der Einsatzmengen von schwer abbaubaren organischen Inhaltsstoffen in Wasch- und Reinigungsmitteln im Vergleich zum Einsatz dieser Stoffe in anderen Branchen im Hinblick auf den Nutzen einer Substitution.

Zeng, Lixi and Han, Xu and Pang, Siqin and Ge, Jiali and Feng, Zhiqing and Li, Jiehua and Du, Bibai (2023). Nationwide Occurrence and Unexpected Severe Pollution of Fluorescent Brighteners in the Sludge of China: An emerging Anthropogenic Marker. In Environmental Science & Technology 57, Seiten 3156-3165

URL:https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Forschungsdatenbank/fkz_3709_65_430_wasch_und_reinigungsmittel_bf.pdf. Abgerufen am 28.08.2023

ARMEDANGELS (2023). URL: <https://www.armedangels.com/de-en/about-us/join-our-mission>. Abgerufen am 15.08.2023

TOM TAILOR (2022). Be part of more sustainable fashion. URL: <https://company.tom-tailor.com/nachhaltigkeit>. Abgerufen am 15.08.2023

LERROS. Lerros cares about tomorrow. URL: <https://iloverros.com/de/nachhaltigkeit/index.html>. Abgerufen am 15.08.2023

Jasco. UR: <https://jascoinc.com/wp-content/uploads/2019/07/FP8000-Spectrofluorometer-Brochure-7.1.19.pdf> Abgerufen am 10.01.2024

11 Unterstützungsleistungen

Wir möchten uns an dieser Stelle ganz herzlich für die Betreuung unserer Seminarfacharbeit bedanken. Ohne viele unterstützende Hände wäre dieses Projekt nicht möglich gewesen. Ein besonderer Dank gilt Frau Dr. Christina Walther für Ihre Unterstützung als Außenbetreuerin. Für unsere zahlreichen Nachfragen stand sie jederzeit zur Verfügung. Wenn wieder alles zu scheitern drohte, unterstützte sie uns mit rettenden Ideen. Außerdem vermittelte sie uns an einige Wissenschaftler, die mit Ideen, Messgeräten und nachmittagelanger Unterstützung das Projekt vorangebracht haben. Für die Vergleichsmessungen und die weiterführenden Messungen mit den optischen Aufhellern durften wir kurzfristig auf ein Fluoreszenzspektrometer der Ernst-Abbe-Hochschule zurückgreifen. Unser großer Dank gilt dabei Prof. Dr. Antje Burse und Dr. Roman Wittman, die alle Messungen mit uns durchführten und ebenso auf die Ergebnisse gespannt waren wie wir. Nicht zuletzt gilt unser Dank Herrn Tom Fleischhauer und Herrn Bernd Schade, die als Betreuer eine ganz besondere Position haben. Mit vielen Ideen und Verbesserungsvorschlägen halfen sie weiter und trugen maßgeblichen Anteil am Gelingen dieser Arbeit.