

**Universität Stuttgart**

Institut für Biomaterialien und biomolekulare Systeme (IBBS)

Forschungseinheit Biodiversität & wissenschaftliches Tauchen

# Gefahren von Kunststoffen in der Umwelt

## Wasser, Gesundheit, Biosphäre

Prof. Dr. Franz Brümmer

Osnabrücker Sportplatztage 2023



# Persönliche Erklärung & Hinweise

- Außerplanmäßiger Professur an der Universität Stuttgart
- Leiter der Forschungseinheit Biodiversität & Wissenschaftliches Tauchen
- Eigene Forschungsarbeiten zum Thema Mikroplastik (u. a. auch Drittmittelprojekte)
- Lehre in den Studiengängen Techn. Biologie, Umweltschutz- & Medizintechnik
- Ehrenamtliche Tätigkeiten gem. LNTVO
- Ehrenamtliches Engagement u. a. beim LSV BW (Komm. Sport & Umwelt), beim DOSB (Umweltkomm., Ag Mikroplastik im Sport), DFB (Komm. Sportinfrastruktur) und Vorsitzender des Kuratoriums Sport & Natur
  
- Informationen in diesem Vortrag nach bestem Wissen zusammengestellt
- Vortrag enthält persönliche Schwerpunkte und eigene Interpretationen
- Den Standards guter wissenschaftlicher Praxis der DFG verpflichtet
- Einschränkungen hinsichtlich Aktualität und Vollständigkeit
- Keinerlei private kommerzielle Interessen



# Gefahren von Kunststoffen in der Umwelt

- Sportplatztage – Kunststoffe?
- **DOSB:**
  - 66 Spitzensportverbände
  - 153 Sportarten zugeordnet: Von Aerobic bis W
  - (fast) keine Sportart kommt ohne Kunststoffe aus!
- **Versandhandel für Sportartikel**
  - auf bis zu 650 Seiten bis zu 19.000 Artikel im Angebot
  - fast keine Seite mit Sportartikel ohne Kunststoff!
- **Im Jahr 2021:**
  - fast 15 Mio Bundesbürger treiben mehrmals wöchentlich Sport



# Gefahren von Kunststoffen in der Umwelt

- Kunststoffe – nicht nur im Sport!
- im Alltag, in allen Lebenslagen
- manchmal überlebenswichtig!
- oft sehr hilfreich, häufig sehr bequem
- **Kunststoffe sind aus unserem Alltag und Leben nicht mehr wegzudenken!**
  - Sportlichste Material!
  - Fantastischer Werkstoff!
  - Unglaublich vielseitig! Alleskönner!



Der Plastikmensch von T. Rees / © Stgt. Ztg.

# Gefahren von Kunststoffen in der Umwelt

- sorgloser Umgang mit Kunststoffe - Vermüllung
- sehr hoher Verbrauch
- kurze Nutzungsdauer, obwohl langlebig
- Einwegprodukte, Verpackungen
  
- **Dilemma!**
- **Komplexe Zusammenhänge!**



Der Plastikmensch von T. Rees / © Stgt. Ztg.

# Gefahren von Kunststoffen in der Umwelt

- Inhalt
  - Wasser, Gesundheit, Biosphäre
  - Vorkommen, Quellen, Morphologien
  - Häufigkeiten, Mengen & Massen
  - Auswirkungen, Wirkweisen
  - Handlungsoptionen
  - Verantwortung

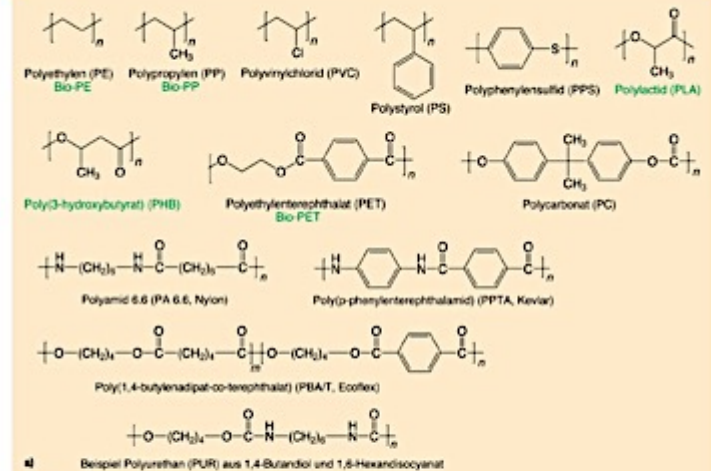


Der Plastikmensch von T. Rees / © Stgt. Ztg.

# Kunststoffe

- **Plastik:** griech. „plastike“ für „Bildhauerkunst“ und „plassein“ für „bilden, formen“; **formbar**
- **Kunststoffe**
  - künstlich hergestellt, kommen nicht in der Natur vor; aus fossilen Rohstoffen
  - enthalten Zusatzstoffen
  - variable Eigenschaften
  - häufigsten Kunststoffen: Polyethylen (PE) und Polypropylen (PP)

ABB. 1 | WICHTIGE KUNSTSTOFFE UND IHRE ANWENDUNGEN

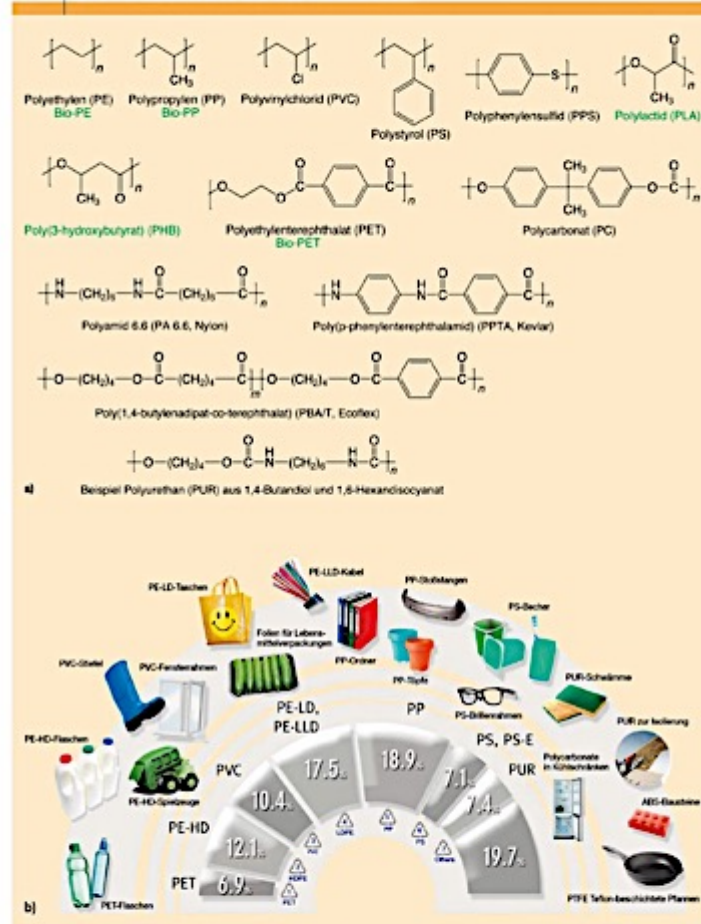


a) Strukturformeln einiger in diesem Artikel erwähnter Kunststoffe; die grüne Beschriftung weist auf biobasierte Kunststoffe hin, die vollständig oder teilweise aus nachwachsenden Rohstoffen bestehen.  
 b) Verbrauch von Menschenkunststoffen für verschiedene Anwendungen in Europa 2013; innerer Ring: s. Wikipedia → Recycling-Code (Quelle: [www.plasticseurope.org](http://www.plasticseurope.org) → Plastics the Facts 2014/2015).

# Kunststoffe

- bestehen aus sogen. **Polymeren**
  - Polymere hochmolekulare chemische Verbindungen (Makromoleküle) aus wiederholten Einheiten
  - Monomere
  - können lineare, verzweigte oder vernetzte Strukturen haben
- **Klassifikation nach physikochemischen Eigenschaften:**
  - **Thermoplaste**  
beim Erhitzen weich und nach Absenken der Temperatur wieder hart
  - **Duromere**  
bleiben hart nach Formgebung; werden nicht weich unter Temperatureinfluss
  - **Elastomere**  
können gestreckt und gestaucht werden; sind fähig, ihre ursprüngliche Form zurückzubilden ohne die Streck- bzw. Stauchkraft

ABB. 1 | WICHTIGE KUNSTSTOFFE UND IHRE ANWENDUNGEN



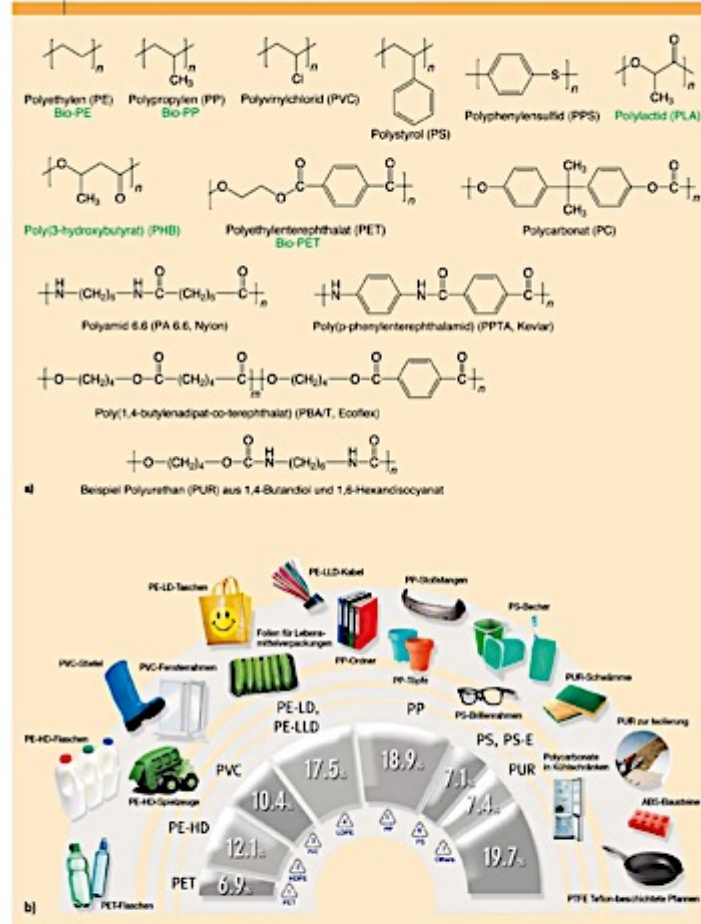
a) Strukturformeln einiger in diesem Artikel erwähnter Kunststoffe; die grüne Beschriftung weist auf biobasierte Kunststoffe hin, die vollständig oder teilweise aus nachwachsenden Rohstoffen bestehen.  
b) Verbrauch von Menschenkunststoffen für verschiedene Anwendungen in Europa 2013; innerer Ring: s. Wikipedia → Recycling-Code (Quelle: [www.plasticseurope.org](http://www.plasticseurope.org) → Plastics the Facts 2014/2015).



# Kunststoffe

- bestehen aus sogen. **Polymeren**
  - Polymere hochmolekulare chemische Verbindungen (Makromoleküle) aus wiederholten Einheiten
  - Monomere
  - können lineare, verzweigte oder vernetzte Strukturen haben
- **Klassifikation nach physikochemischen Eigenschaften:**
  - **Thermoplaste**  
beim Erhitzen weich und nach Absenken der Temperatur wieder hart
  - **Duromere**  
bleiben hart nach Formgebung; werden nicht weich unter Temperatureinfluss
  - **Elastomere**  
können gestreckt und gestaucht werden; sind fähig, ihre ursprüngliche Form zurückzubilden ohne die Streck- bzw. Stauchkraft

ABB. 1 | WICHTIGE KUNSTSTOFFE UND IHRE ANWENDUNGEN



a) Strukturformeln einiger in diesem Artikel erwähnter Kunststoffe; die grüne Beschriftung weist auf biobasierte Kunststoffe hin, die vollständig oder teilweise aus nachwachsenden Rohstoffen bestehen.  
b) Verbrauch von Menschenkunststoffen für verschiedene Anwendungen in Europa 2013; innerer Ring: s. Wikipedia → Recycling-Code (Quelle: [www.plasticseurope.org](http://www.plasticseurope.org) → Plastics the Facts 2014/2015).

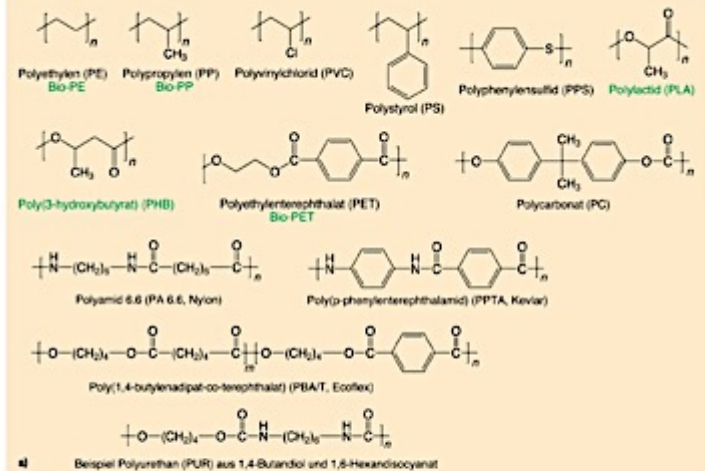
# Kunststoffe

## Polymere + Additive = Kunststoff

- Additive: mehr als 10.000 versch. Chemikalien
- **Verbesserung bestimmter Materialeigenschaften**
- **Erleichterung der Verarbeitung**
- verbessern Eigenschaften wie Härte, Biegefestigkeit oder Brandverhalten.
- Füllstoffe, Weichmacher, Pigmente und Farbstoffe, Flammenschutzmittel, Antioxidantien, Licht- und UV-Schutz-, Wärme-Stabilisatoren, Treibmittel, u. a.
- 2021: weltweite Nachfrage ca. 35 Mio To

Ceresana Marktstudie Kunststoff-Additive, Juli 2022

ABB. 1 | WICHTIGE KUNSTSTOFFE UND IHRE ANWENDUNGEN



a) Strukturformeln einiger in diesem Artikel erwähnter Kunststoffe; die grüne Beschriftung weist auf biobasierte Kunststoffe hin, die vollständig oder teilweise aus nachwachsenden Rohstoffen bestehen.  
 b) Verbrauch von Menschenkunststoffen für verschiedene Anwendungen in Europa 2013; innerer Ring: s. Wikipedia → Recycling-Code (Quelle: [www.plasticseurope.org](http://www.plasticseurope.org) → Plastics-the Facts 2014/2015).

- Kunststoffe in der Umwelt



Durchschnittsmenge 1 km Flussmüll



CLEAN RIVER PROJECT



Each year, plastic pollution kills  
more than 100,000 marine creatures

YOU SEE THE DIFFERENCE.  
A TURTLE DOES NOT.



The plastic in our seas is killing thousands of sea turtles and other marine life each year, as they often mistake it for food.

Help protect marine biodiversity by adopting habits that minimise the use of plastic. Consider using a reusable bag when shopping, avoid single-use plastic items, look for products and packaging made from renewable resources, choose products with the least plastic packaging and recycle what you can't refuse!



**MEDASSET**  
Mediterranean Association  
to Save the Sea Turtles



Scan to sign up  
for our newsletter

JOIN MEDASSET  
& help our wildlife inheritance survive

Licavitos IC, 10672 Athens, Greece  
T/F: +30 210 36 13 572  
medasset@medasset.org  
www.medasset.org



**Abbaubarkeit von Kunststoffen**  
 Verschiedene Kunststoffsorten in unterschiedlichen Habitaten  
 STARESO, Korsika, Mittelmeer



**A carrier bag labelled as biodegradable after 3 years in the marine environment**

Haltbarkeit in der Umwelt **SPIEGEL ONLINE**  
**Der Selbstbetrug mit dem Bioplastik**

Für Müll, Hundekot oder zum Einkaufen:  
 Tüten aus Bioplastik werden als umweltfreundliche Alternative beworben.  
 Zu Unrecht, wie eine aktuelle Studie

29.04.2019

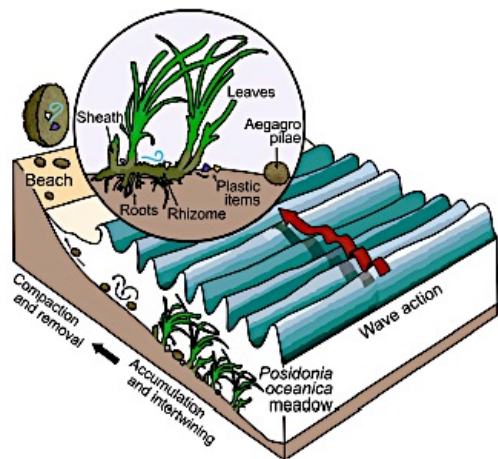


Cite This Environ. Sci. Technol. 2019, 53, 4775–4783 Article  
pubs.acs.org/est

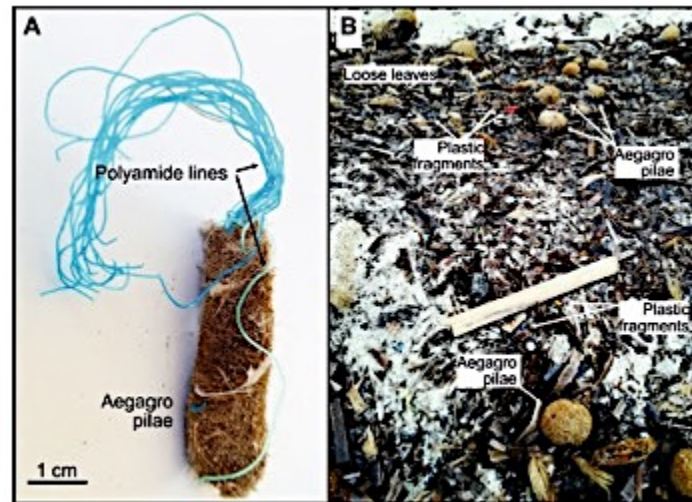
**Environmental Deterioration of Biodegradable, Oxo-biodegradable, Compostable, and Conventional Plastic Carrier Bags in the Sea, Soil, and Open-Air Over a 3-Year Period**

Imogen E. Napper<sup>✉</sup> and Richard C. Thompson

International Marine Litter Research Unit, School of Biological and Marine Sciences, University of Plymouth, Drake Circus, Plymouth, Devon PL4 8AA, UK



**Figure 2.** Trapping of plastic debris by seagrasses. Representation of the processes involved in the accumulation and intertwining of plastic items and sheath fibers to form plastic-rich aegagropilae (EG) found stranded in beaches.



**Figure 3.** Plastic debris in aegagropilae (EG) and loose leaves found in beaches. (A) Polyamide filaments trapped in aegagropilae (EG), and (B) beached EG and loose leaves along with plastic debris.

## scientific reports

### OPEN Seagrasses provide a novel ecosystem service by trapping marine plastics

Anna Sanchez-Vidal<sup>1,2</sup>, Miquel Canals<sup>3</sup>, William P. de Haan<sup>4</sup>, Javier Romero<sup>5</sup> & Marta Verry<sup>6</sup>





# Geisternetze

- 78.000 qkm

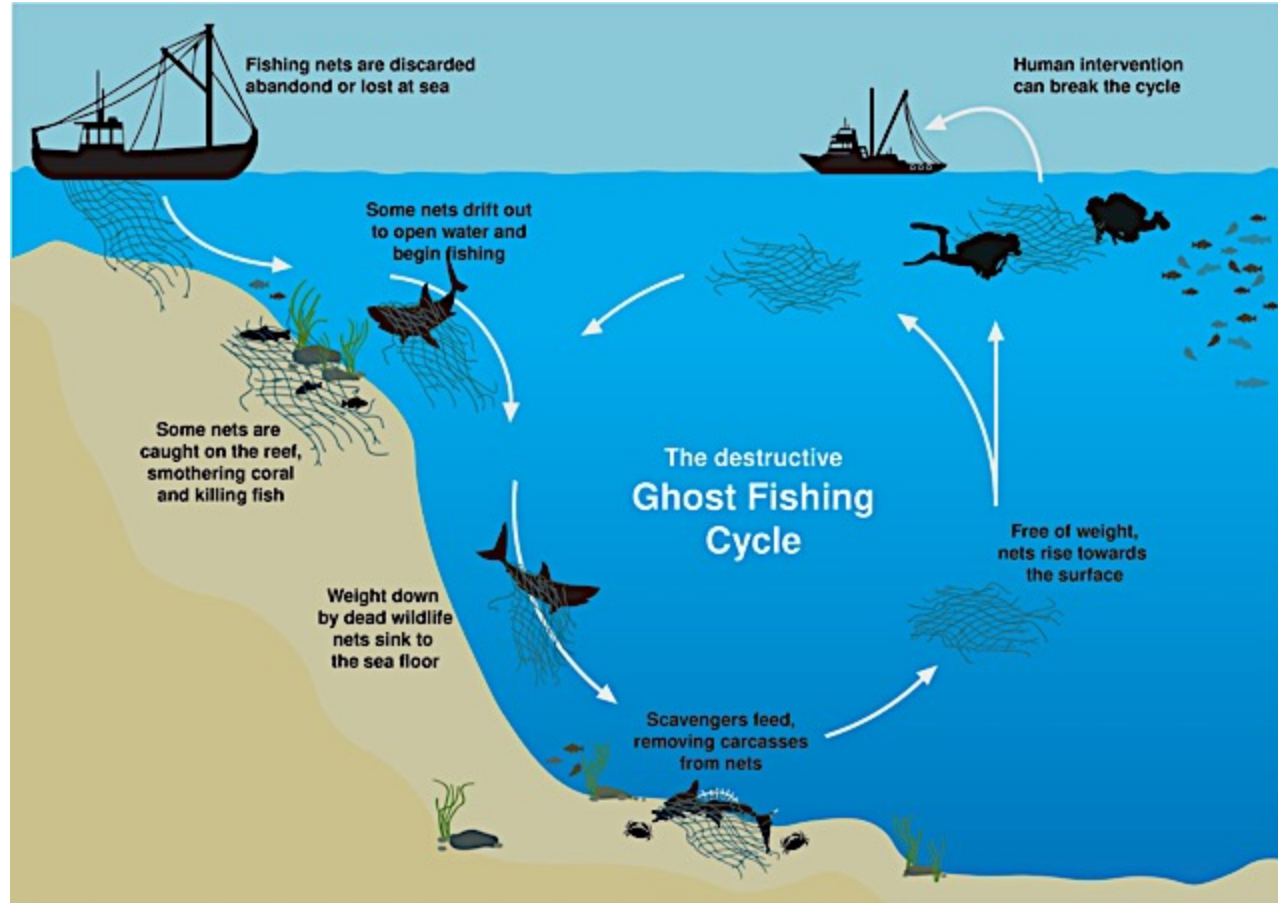
## Ringwaben-, Stellnetzen

- 15 qkm

## Grundscheppnetzen

- 740.000 km Langleinen
- 15,5 Mio km Seitenarme
- 13 Mill. Haken
- 25 Mio Fallen

Richardson et al., 2022







**Plastikgranulat am Strand**  
Rotes Meer, Ägypten (2013)



Wilhelma

11.02.2014 WILHELMA Stuttgart

**Eisbär Anton starb an Fremdkörpern**

In der Nacht auf Montag ist in der Wilhelma der Eisbär Anton gestorben. Todesursache war ein Fremdkörper. Gefunden wurden Teile einer verschluckten Jacke oder auch Tasche, die einem Besucher vermutlich aus Unachtsamkeit ins Gehege gefallen war. Anton wurde 25 Jahre alt.



## Lübeck (Sept. 2019)



<https://www.In-online.de/Lokales/Luebeck/Plastik-Granulat-f>

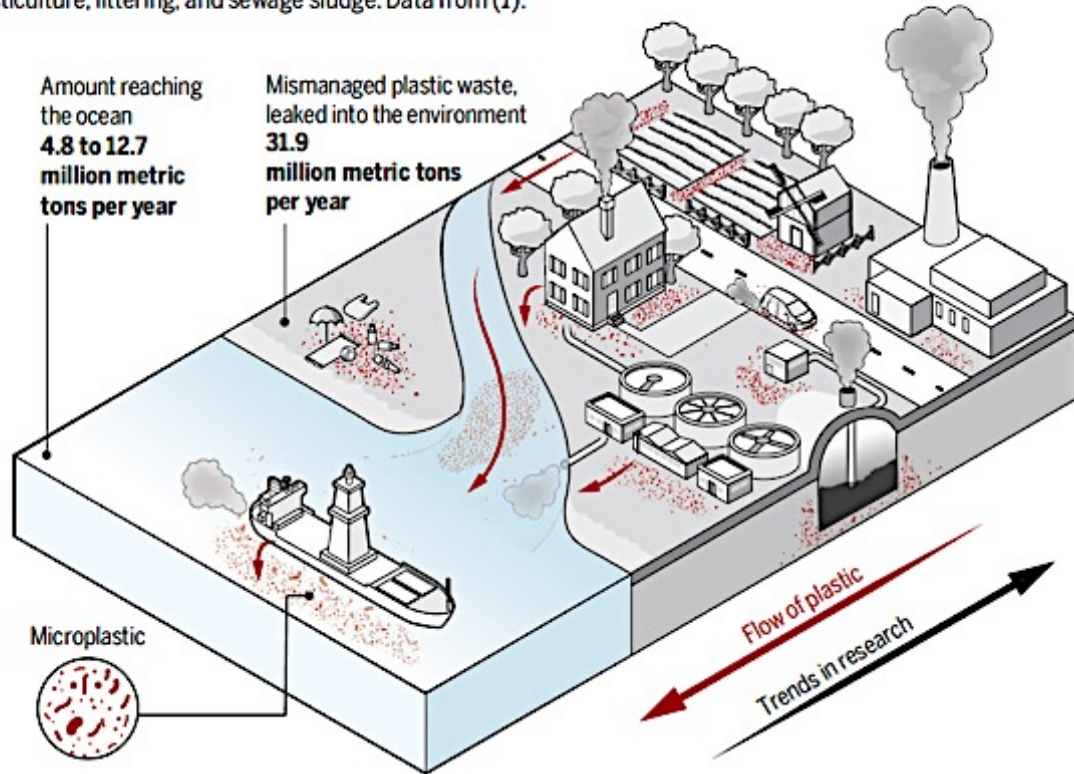
## Freiburg (Juni 2021)



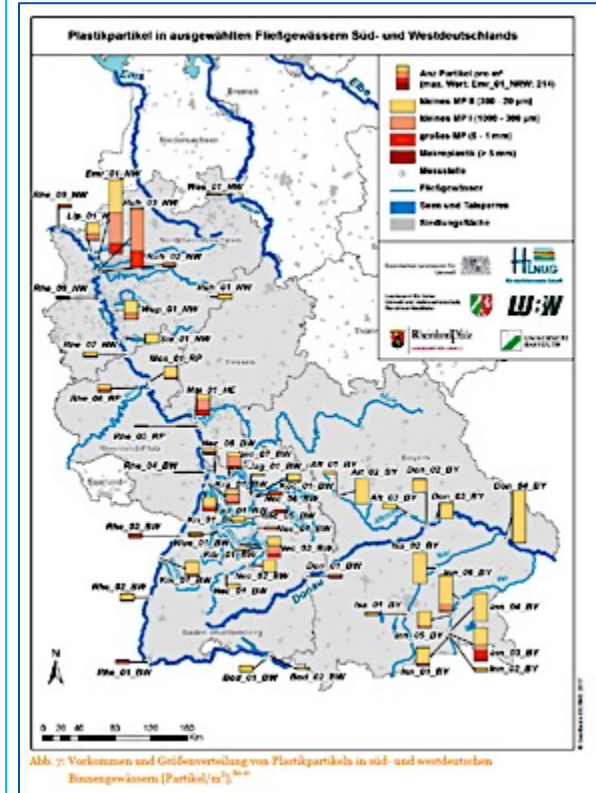
<https://oberwiehre-waldsee.de/2021/08/02/unwetter-schwemmt-kunstrasengranulat-aus-der-freiburger-fussballschule/>

## Microplastics everywhere

High amounts of microplastics have been found not just in the sea and on beaches, but also in rivers and soils around the world, demonstrating how pervasive this modern pollution is. Sources include leakage from landfills, plasticulture, littering, and sewage sludge. Data from (1).



## Mikroplastik ist überall!



Rochmann (2018), Science 360:28-29.

WWF, 2020

# Mikroplastik in der Umwelt – Flüsse & Seen

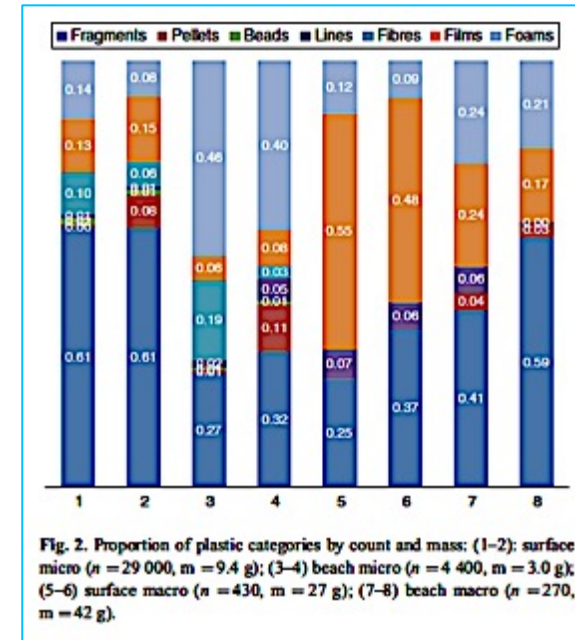
## Bestandsaufnahme in Schweizer Gewässern

- Genfer See, Bodensee, Neuenburgersee, Lago Maggiore, Zürichsee, Brienersee, Rhone
- Kunststoffpartikel zwischen 0,3 und 5 mm
- **Wasser:**
  - 27 Proben mit im Mittel **0,1 Mikroplastik-Partikel/m<sup>2</sup>**
  - 7 Proben ohne Belastung
- **Sand:**
  - 21 Proben mit im Mittel **1.000 Mikroplastik-Partikel/m<sup>2</sup>**
  - 12 Proben ohne Belastung
- Vorwiegend Polypropylen (PP), Polyethylen (PE), Schaumstoffe

Flussverschmutzung

## Mehr Plastik als Fischlarven in der Donau

In der Donau schwimmt einer Studie zufolge viel mehr Müll als bisher angenommen. Die Plastikpartikel sind eine erhebliche Gefahr für die Tiere. (Die Zeit, 2014)



Faure et al., 2015

## Elbe spült jedes Jahr 42.000kg Plastik ins Meer

Geschätzte Menge der in die Meere emittierten Kunststoffe nach Flüssen (in kg/Jahr)



Basis: Daten sind Teil einer Modellrechnung für 1.656 Flüsse weltweit, die 80 % des Gesamtzuflusses in die Weltmeere ausmachen

Quelle: The Ocean Cleanup

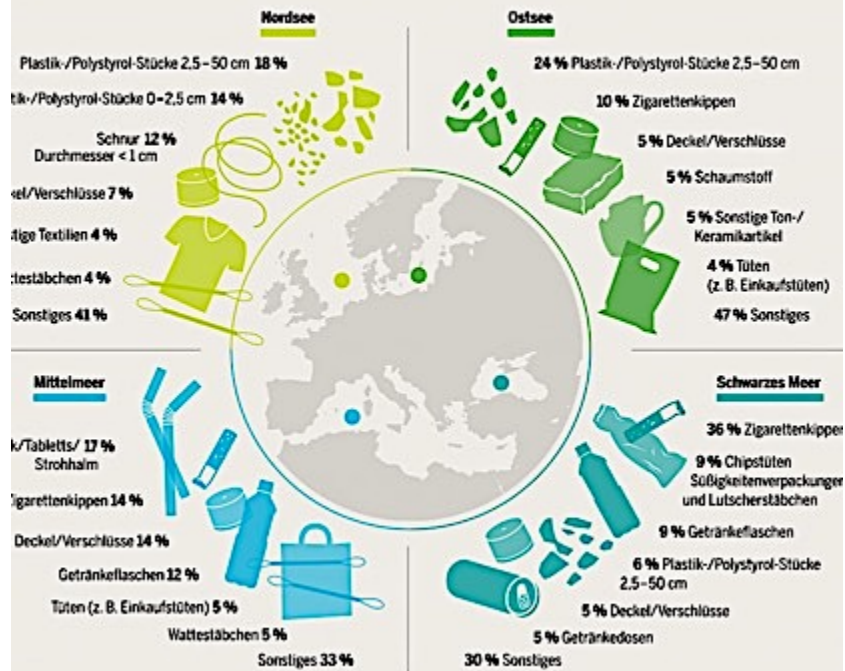


statista



## LLVERSCHMUTZUNG AN STRÄNDEN

Größten Abfälle an ausgesuchten Küstenlinien, prozentualer Anteil pro 100 Meter, basierend auf OSPAR\*-Screenings, 2013



\* OSPAR-Vertrag zum Schutz der Nordsee und des Nordostatlantik

## Die Top 10 Plastikmüll-Arten in Binnengewässern

Anteil am Makroplastik-Aufkommen in europäischen Flüssen und Seen\*



\* Werte beruhen auf fünf britischen Studien, drei länderspezifischen Studien (Frankreich, Schweiz, Polen) und einer europaweiten Studie

Quelle: EarthWatch Institute





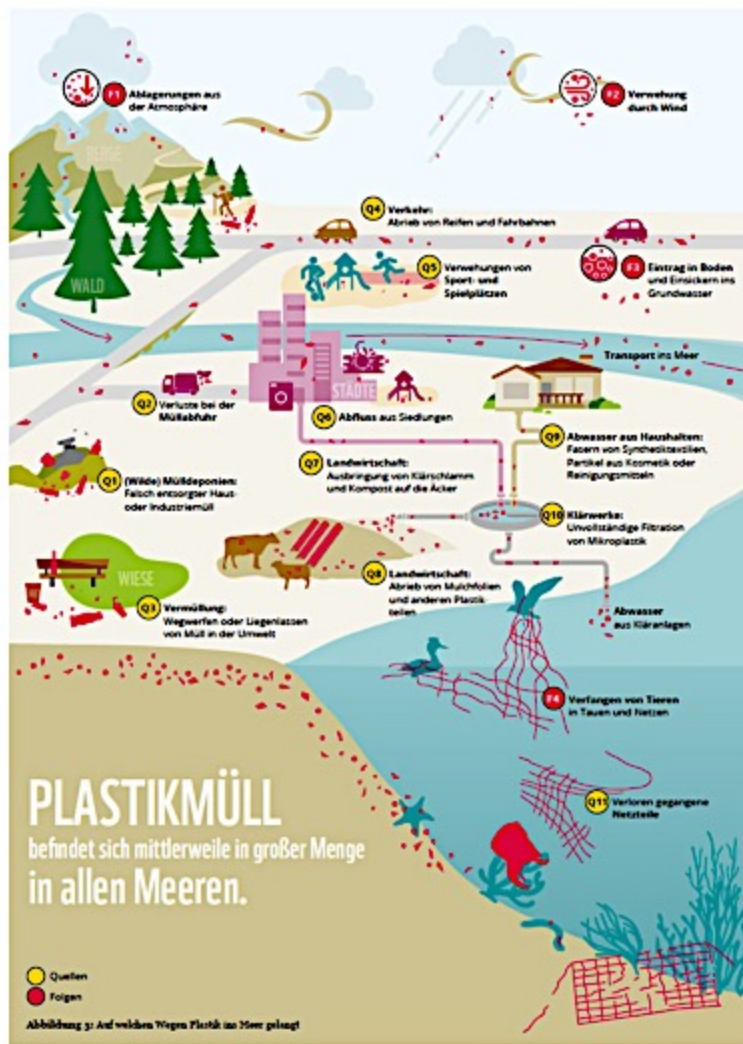
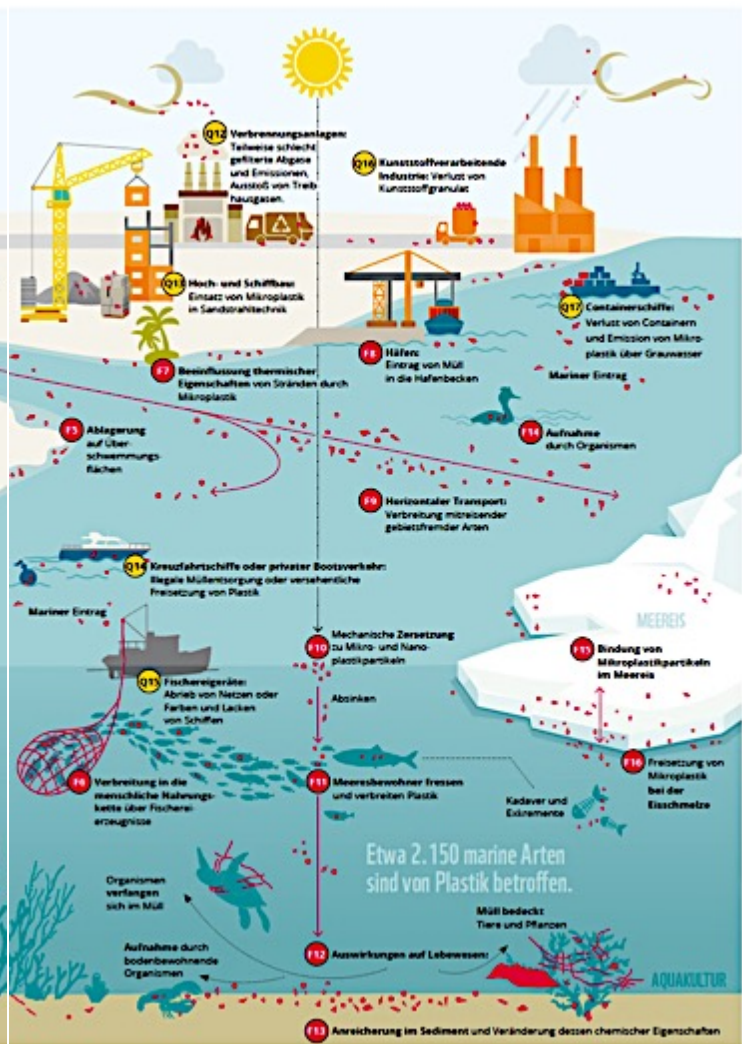


Abbildung 31 Auf welchem Wege Plastik ins Meer gelangt



© 2019 Greenpeace/Agfoc/Infocenter/Infocenter

# Microplastiks in the enviroment – „MP cycling in the ecosystems“

S. Zhang et al. / Trends in Analytical Chemistry 111 (2019) 62–72

63

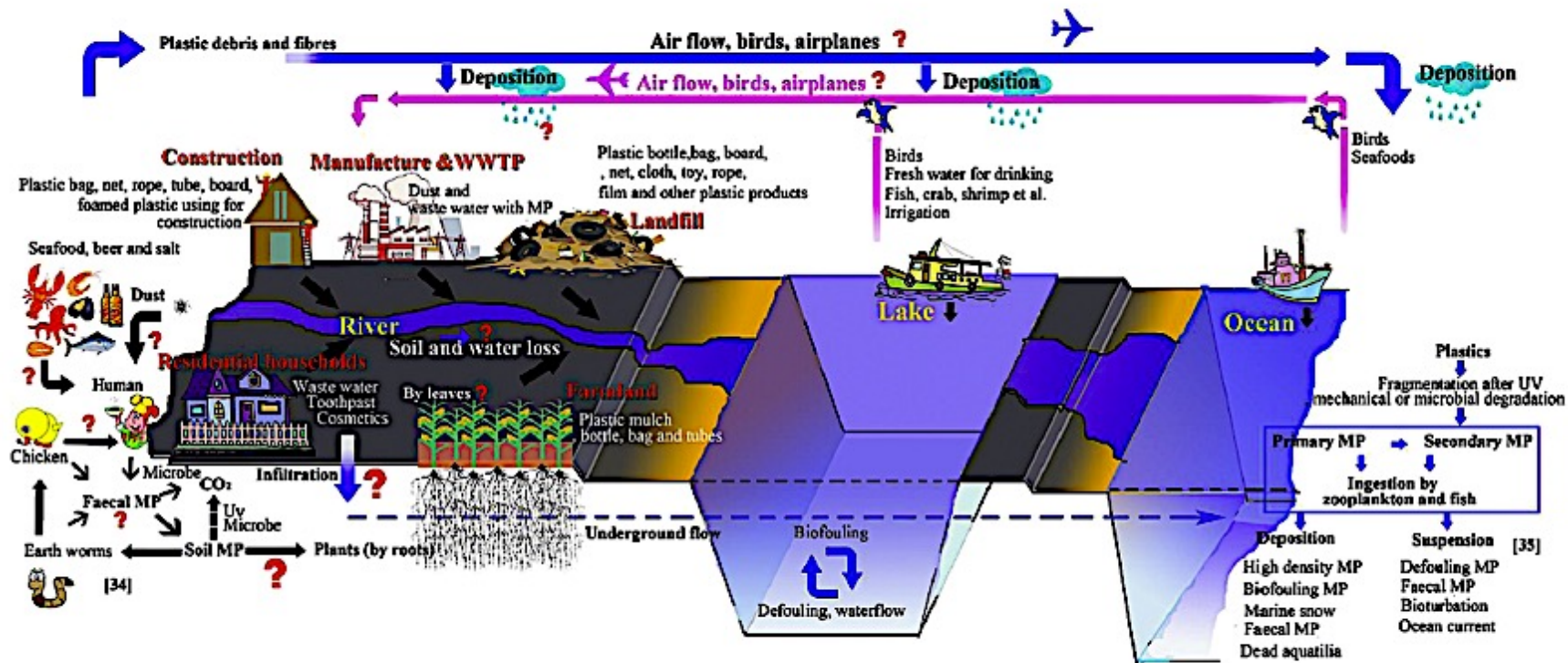
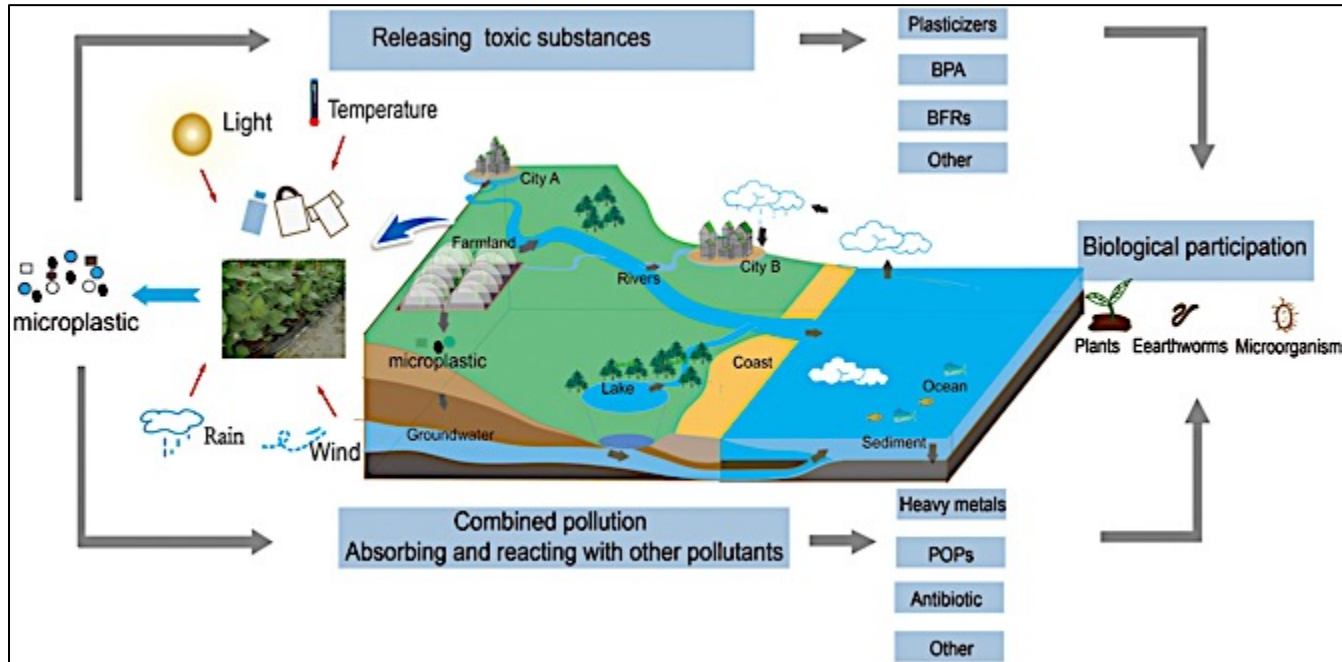


Fig. 1. MP cycling in the ecosystems (Part of terrestrial ecosystem refers to Ref. [34], and part of marine ecosystem refers [35]).

# Mikroplastik im Boden



Environmental Technology & Innovation 27 (2022) 102488

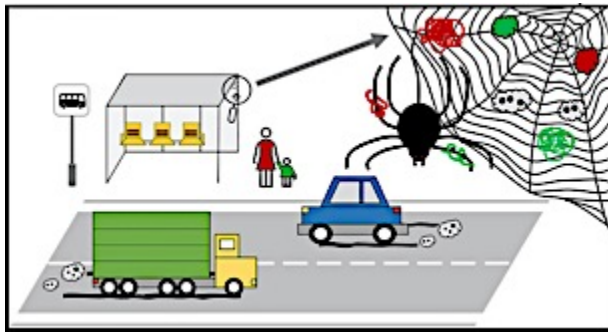
Contents lists available at ScienceDirect

**Environmental Technology & Innovation**

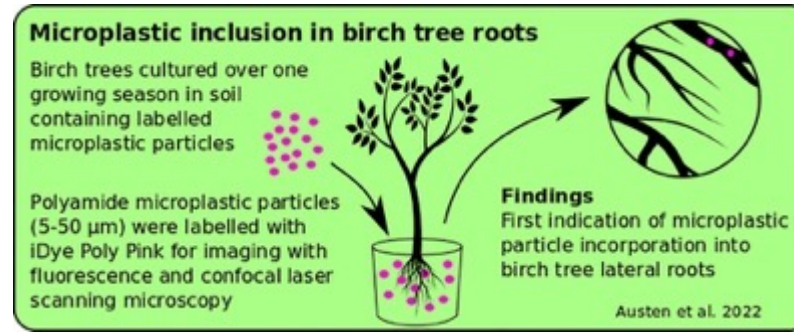
journal homepage: [www.elsevier.com/locate/eti](http://www.elsevier.com/locate/eti)

**Microplastics in the soil environment: A critical review**

Muhammad Sajjad<sup>a</sup>, Qing Huang<sup>a</sup>, Sardar Khan<sup>a</sup>,  
 Muhammad Arshad Khan<sup>b</sup>, Yin Liu<sup>a</sup>, Junfeng Wang<sup>a</sup>,  
 Fajin Lian<sup>a</sup>, Qingqing Wang<sup>a</sup>, Genmao Guo<sup>a</sup>



alle Spinnennetze enthalten Mikroplastik  
 11.4 µg/mg to 108 µg/mg pro Spinnennetz  
 vor allem PET (C-PET von Textilien)  
 Reifenabrieb (tire wear particles)



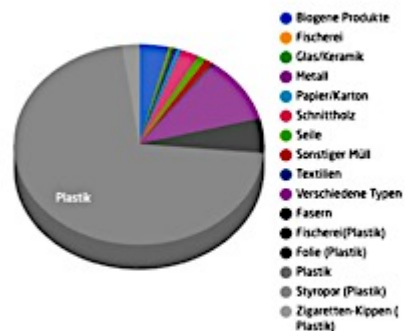
Mikroplastik-Kügelchen (5–50 µm) mit Farbstoff markiert  
 in Wuchssubstrat dazu gegeben  
 Nach 5 Monaten: MP sichtbar in den Wurzeln (in 6 von  
 64 Proben; 1 – 4 MP gefunden)



- Kunststoffe in Biosphäre

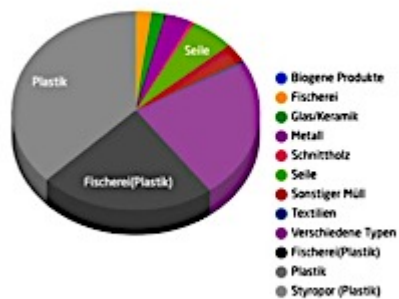


### Müll (>= 5mm) an der Meeresoberfläche



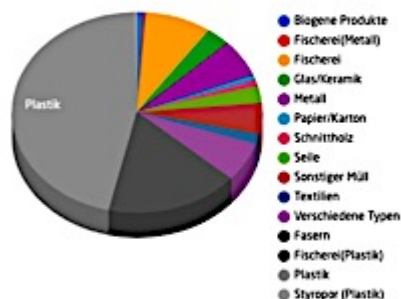
© AWI-LITTERBASE

### Müll (>= 5mm) in der Wassersäule



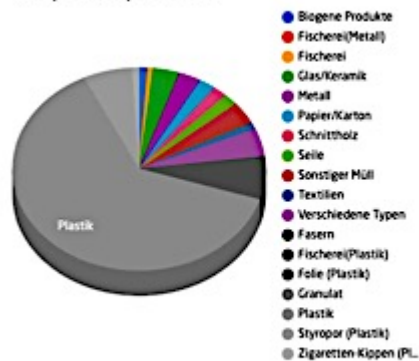
© AWI-LITTERBASE

### Müll (>= 5mm) am Meeresboden



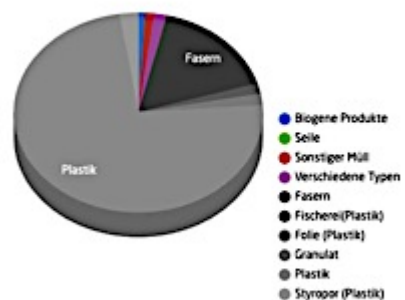
© AWI-LITTERBASE

### Müll (>= 5mm) am Strand



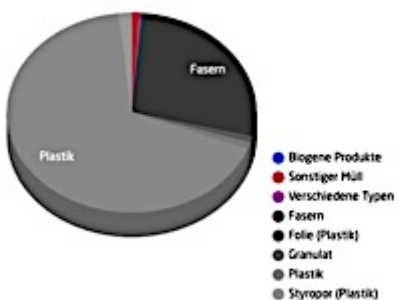
© AWI-LITTERBASE

### Müll (< 5mm) an der Meeresoberfläche



© AWI-LITTERBASE

### Müll (< 5mm) in der Wassersäule



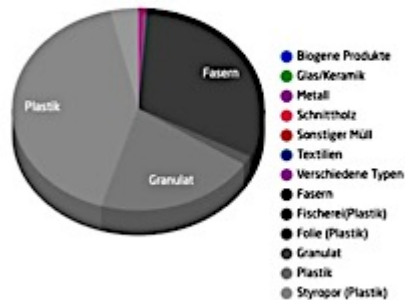
© AWI-LITTERBASE

### Müll (< 5mm) im Meeresboden

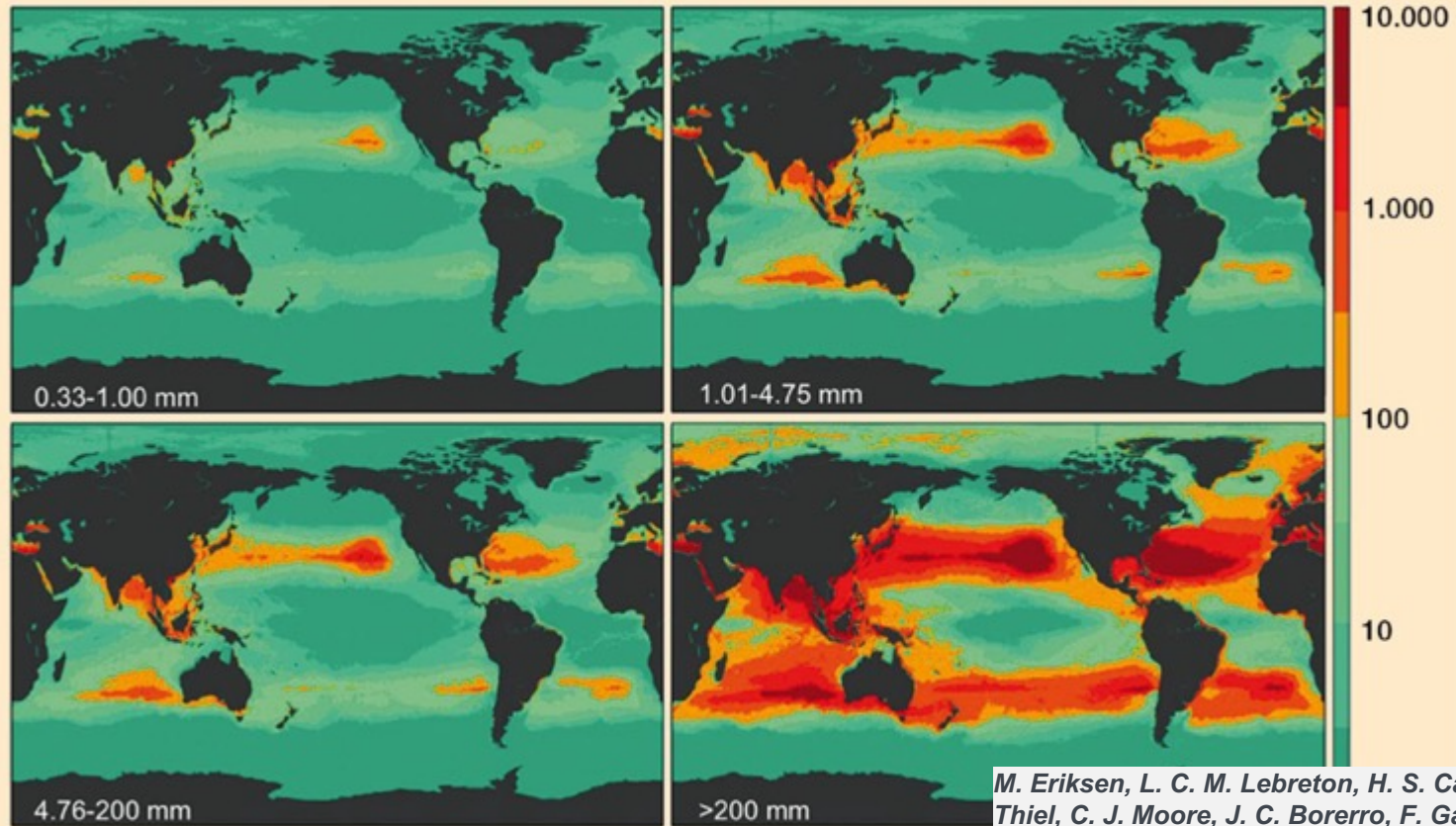


© AWI-LITTERBASE

### Müll (< 5mm) am Strand



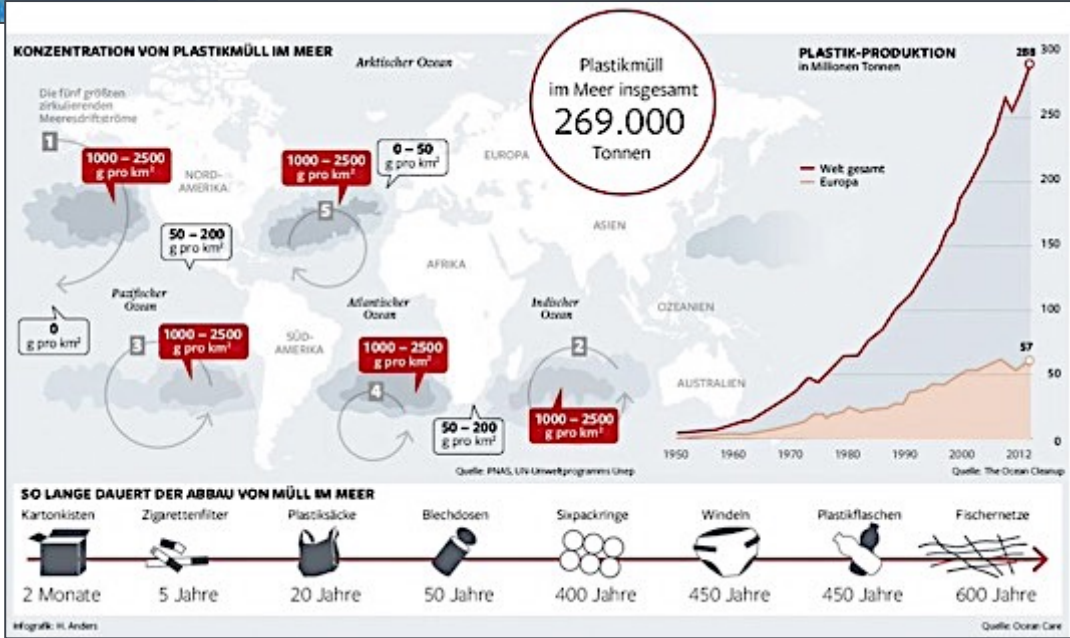
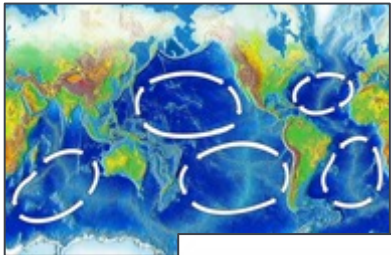
© AWI-LITTERBASE



M. Eriksen, L. C. M. Lebreton, H. S. Carson, M. Thiel, C. J. Moore, J. C. Borerro, F. Galgani, P. G. Ryan und J. Reisser, Plos One 2014, 1-15.

**Globale Gewichtsverteilung von Kunststoffen in vier Größenklassen (Angaben in mm) in den Meeren. Angaben auf der rechten Farbskala von 1 bis 10.000 Teilchen in  $g\ km^{-2}$  [26b].**

# Kunststoffe in der Umwelt – Ozeane





## Plastik ist ein „Wundermaterial“ – ein toller Werkstoff!

- sehr **flexibel**, leicht, bruchstark, hitzebeständig, wasserfest, günstig, einfach in der Herstellung, äußerst langlebig, ...
- Verpackungen, Kleidung, Spielzeug, Kosmetikartikel, Baustoffe, Sportgeräte, oder
- wertvoller Werkstoff für Medizin- und Hygieneprodukte, Windräder, Häuserisolierung,
- **40 Prozent aller Kunststoffe** werden nur kurz verwendet und landen **innerhalb eines Monats im Müll**.
- Zwischen 1950 und 2015 wurden weltweit **8,3 Milliarden Tonnen** Plastik hergestellt. Nur **neun Prozent** davon wurden jemals **recycelt**.
- **370 Millionen Tonnen pro Jahr** an Kunststoffen weltweit produziert (Stand: 2019)
- ein Drittel entfällt dabei auf Verpackungen, also Wegwerfprodukte.
- In D: Kunststoffproduktion 2019 auf 20 Millionen Tonnen. Etwa **6,3 Millionen Tonnen** fielen an Kunststoffabfällen an. Pro Kopf: 76 Kilogramm! Davon entfielen **38 Kilogramm auf Verpackungen**. Nur in Luxemburg, Irland und Estland ist Verbrauch noch höher!
- Pro Stunde in D: 320.000 Einwegbecher verbraucht.

# Auf einen Blick: Was spricht für, was gegen Kunststoff?

## Pro & Contra Plastik



- langlebig, spart somit Ressourcen
- leicht und stabil, daher vielseitig einsetzbar (z. B. Flugzeuge, Windräder)
- nichtleitend, daher nützlich bei der Isolierung, um z. B. Energie zu sparen
- hitzebeständig, z. B. hilfreich bei der Solarenergie
- hygienisch, daher in der Medizin unverzichtbar
- flexibel, d. h. nahezu jedes Produkt ist aus Kunststoff denkbar
- sicher, d. h. auch gefährliche Stoffe können in Kunststoff gelagert werden



- langlebig, hält nahezu ewig und zerfällt zu Mikroplastik, das in die Umwelt gelangen kann
- ressourcenintensiv, benötigt zur Herstellung viel Erdöl und/oder Erdgas
- klimaschädlich, da hohe Treibhausgasemissionen bei der Herstellung freigesetzt werden
- komplex, in vielen Kunststoffen befinden sich – teils schädliche – Zusatzstoffe
- geringer Recyclinganteil

## Das Plastik dieser Welt

Zwischen 1950 und 2015 wurden insgesamt 8,3 Milliarden Tonnen Plastik hergestellt.

Das ist daraus geworden:

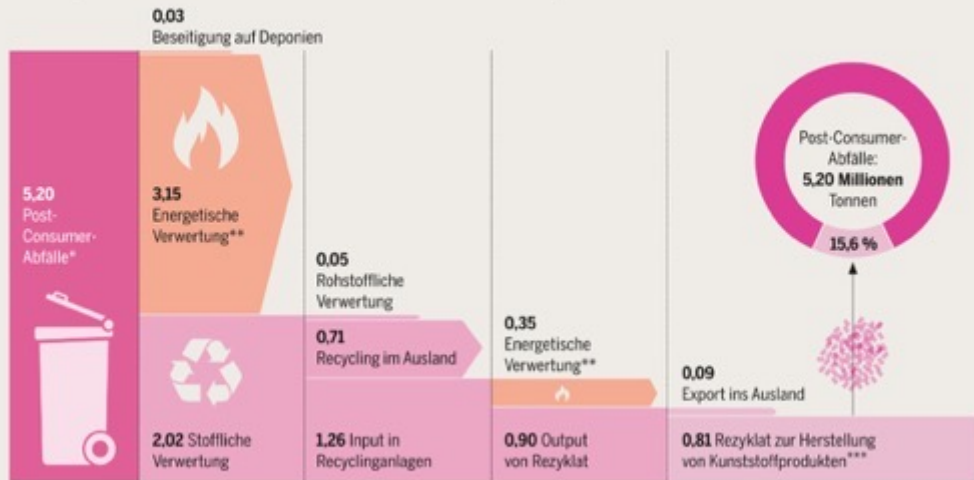


Schematischer Verlauf, rundungsbedingte Differenzen

Quelle: dpa/Science Advances „Production, use, and fate of all plastics ever made“ (Roland Geyer) · Tsp/Bartel

## DIE BESEITIGUNG DES PLASTIKMÜLLS IN DEUTSCHLAND

Aufbereitung von Kunststoffabfällen und Wieder-Einsatz in der Kunststoffverarbeitung, in Millionen Tonnen, 2017



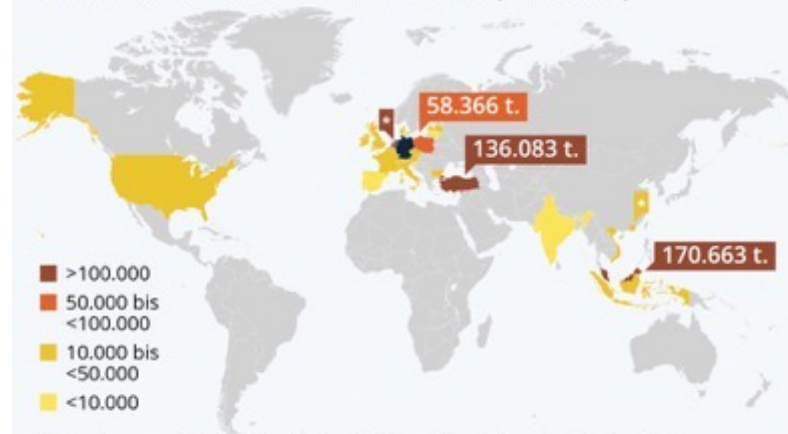
\* Endverbraucherabfälle, die nach dem Gebrauch aus gewerblichen und haushaltsnahen Bereichen anfallen

\*\* Müllverbrennung/Erstbrennstoffe, da nicht recyclebar \*\*\* inklusive ca. 0,135 Millionen Tonnen Rezyklat bei Recyclern mit eigener Produktherstellung

Werte für Darstellung gerundet

## Wohin der deutsche Plastikmüll wandert

Wichtigste Abnehmerländer für Exporte von Kunststoffabfällen aus Deutschland 2020 (in Tonnen)



\* Hongkong und die Niederlande sind Umschlagplätze für Plastikmüll

Quelle: Statistisches Bundesamt



statista

# Verbot von Einwegplastikartikel

## Mehrwegangebotspflicht

### Dünne Tüte, dickes Problem?

Anfang 2022 Verbot von Einweg-Plastiktüten  
mit einer Wandstärke von 15 bis maximal 49 Mikrometern

Das heißt aber auch, dass ganz dünne und auch dickere Plastiktüten  
weiterhin erlaubt sind.

Sechs der 13 größten Lebensmittelketten bieten noch Plastiktüten an

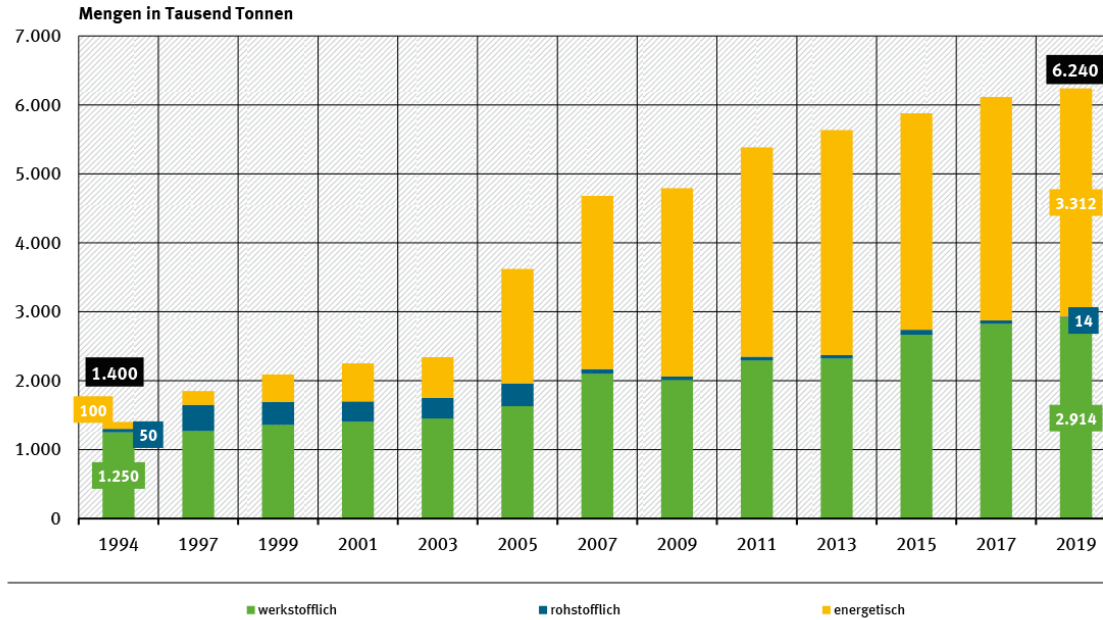
Dickere Wand- Folienstärke!

0,001 Millimeter dicker als die verbotene Wandstärke!!

# Recycling von Kunststoffen

- sehr geringer Anteil an Recycling
  - Energetisches Recycling / thermische Verwertung
  - Werkstoffliches Recycling
  - Rohstoffliches Recycling
  - Biologischer Abbau
  
- Design 4 Recycling
  
- Econyl-Fasern: aus recyceltem Polyamid

## Entwicklung der Verwertung der Kunststoffabfälle



Quelle: Umweltbundesamt 2020, eigene Zusammenstellung mit Daten der CONVERSIO Market & Strategy GmbH - Stoffstrombild Kunststoffe in Deutschland 2019 (Stand 08/2020)

# Kunststoffe in der Umwelt – PlasticAge

Faszination und Schrecken eines Materials  
in Kunst und Wissenschaft

2014



AUSSTELLUNG, VORTRÄGE, SYMPOSIEN  
12.09. – 13.12.2014

FASZINATION UND SCHRECKEN  
EINES MATERIALS  
IN KUNST UND WISSENSCHAFT

PLASTIC  
AGE

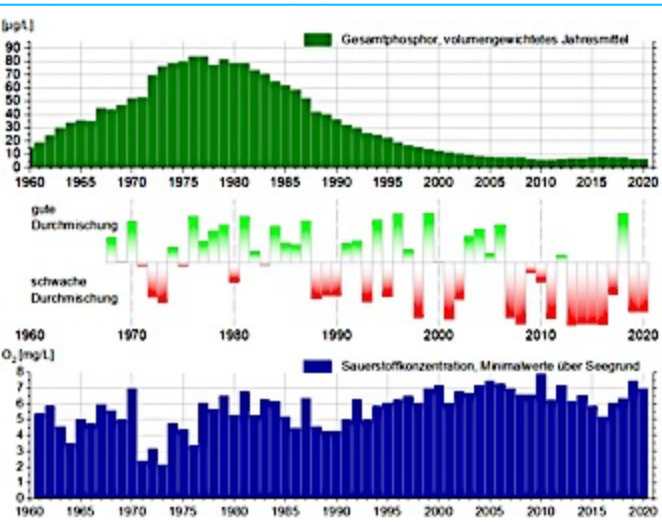
ERES  
STIFTUNG  
Römerstr. 15  
80801 München  
[www.eres-stiftung.de](http://www.eres-stiftung.de)



## Krisen

- **Klimawandel**
- **Artensterben**
- **PLASTIC AGE / Vermüllung durch Kunststoffe**
- **Pandemie**
- **...**

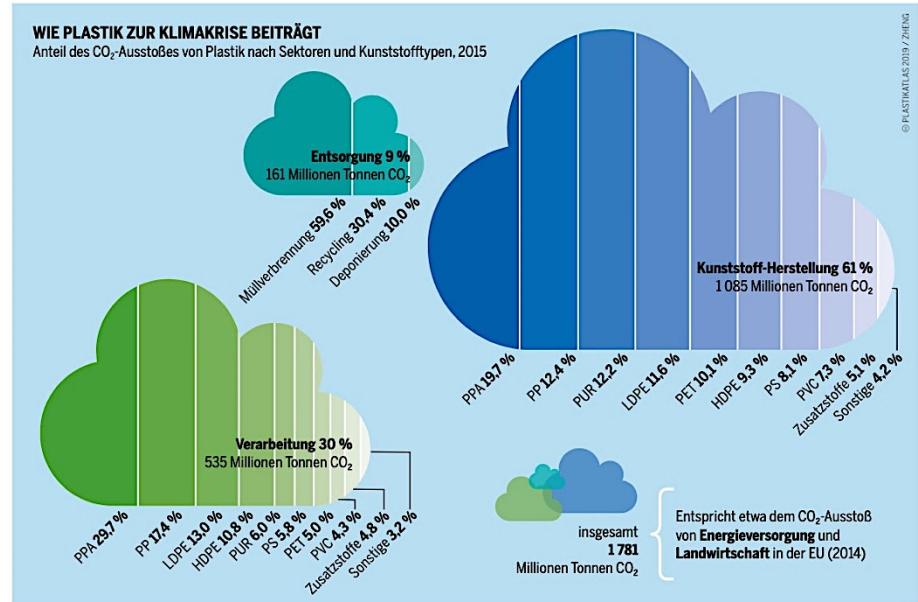




Bodenseeufer  
Langenargen, September  
2018



# Plastikindustrie war im Jahr 2015 mit 4,5 Prozent für einen beachtlichen Teil der globalen Treibhausgas-Emissionen verantwortlich.



**Auch konservative Schätzungen zeigen: Überall entlang des Lebenszyklus von Plastik entstehen Klimagase. Die Lösung lautet auch aus Klimasicht: weniger Plastik.**

Verlust an Insekten

75 %



## Ehrenamtliche Langzeitstudie des Entomologischen Vereins Krefeld



PLOS ONE

RESEARCH ARTICLE  
More than 75 percent decline over 27 years in  
total flying insect biomass in protected areas

Conrad A. Helmer<sup>1,2</sup>, Martin Sorg<sup>1</sup>, Esther Jongejans<sup>1</sup>, Frank Singer<sup>1</sup>, Nick Hurland<sup>1</sup>,  
Heide Salzwed<sup>1</sup>, Werner Steinmann<sup>1</sup>, Andreas Müller<sup>1</sup>, Hubert Surstow<sup>1</sup>, Thomas Herron<sup>1</sup>,  
Doree Goussot<sup>1</sup>, Hans de Krom<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Leibniz University, Institute for Water and Wetland Research, Animal Ecology and Physiology, &  
Experimental Plant Ecology, 310 000 0000 00, Hannover, The Netherlands, <sup>2</sup> Entomological Society  
Krefeld e.V., Entomological Collections Krefeld, Marktstrasse 118, 47196 Krefeld, Germany, <sup>3</sup> University of  
Bielefeld, School of Life Sciences, P.O. Box 1001, 33615 Bielefeld, Germany

\* [chelmer@adacem.ru](mailto:chelmer@adacem.ru)



### Abstract

Global declines in insects have sparked wide interest among scientists, politicians, and the general public. Loss of insect diversity and abundance is expected to provoke cascading effects on food webs and to jeopardize ecosystem services. Our understanding of the extent and underlying causes of this decline is based on the abundance of single species or taxonomic groups only, rather than changes in insect biomass which is more relevant for ecology

OPEN ACCESS

Helmer CA, Sorg M, Jongejans E, Singer F, Hurland N, Salzwed H, Steinmann W, Müller A, Surstow H, Herron T, Goussot D, de Krom H (2017) More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *PLOS ONE* 12(12): e0187921. doi:10.1371/journal.pone.0187921

722

Save

10

Citation

459,040

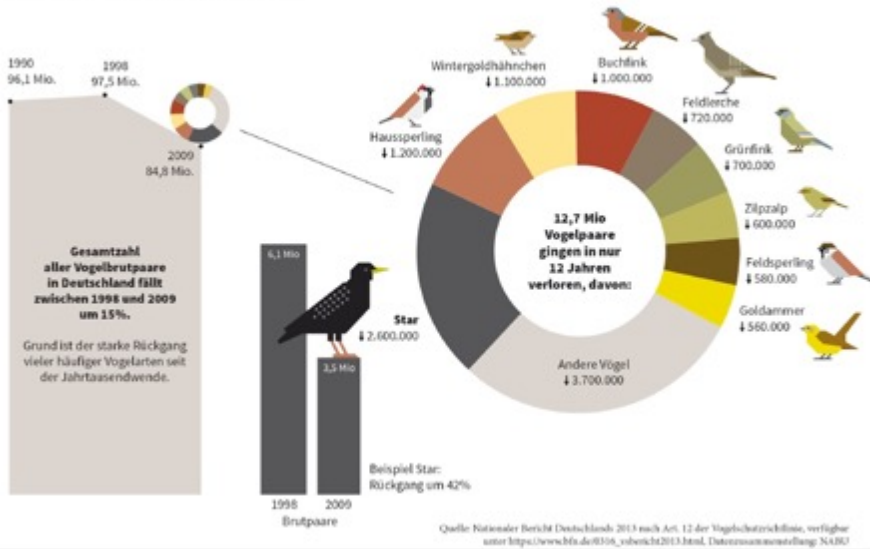
View

1,831

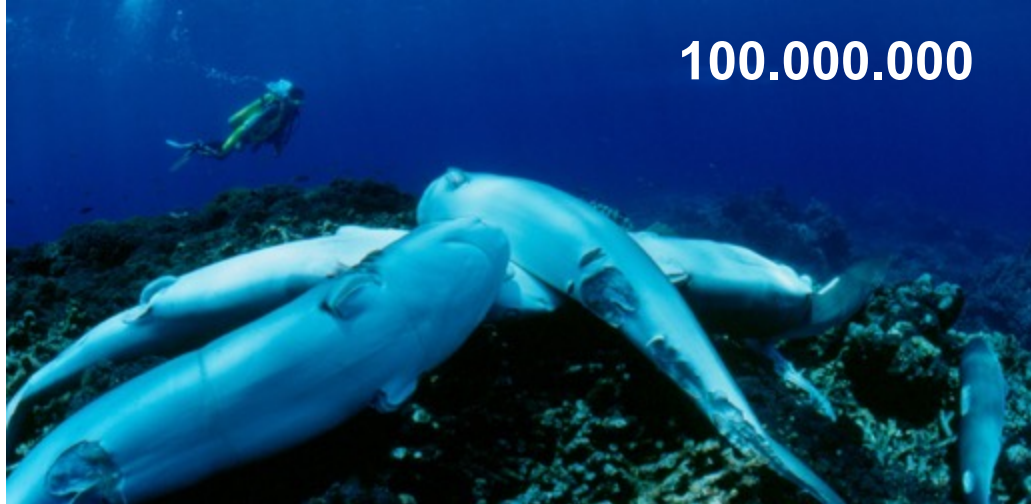
Share

# Drastischer Vogelschwund in Deutschland

Über 12 Mio. Vogelbrutpaare in nur 12 Jahren verloren



100.000.000



675.000



### Welche Organismen sind von Müll betroffen?



© AWI-LITTERBASE

### Welche Wechselwirkungen gibt es?



© AWI-LITTERBASE

### Tod durch Plastik pro Jahr:

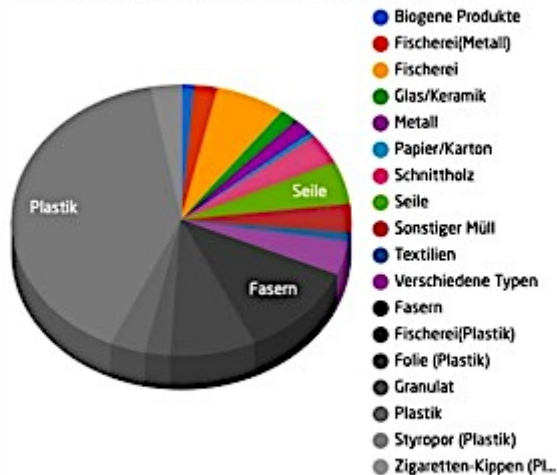
- 135.000 Meeressäuger
- eine Million Meeresvögel
- über eine Million Landtiere

### Was sind die Auswirkungen?



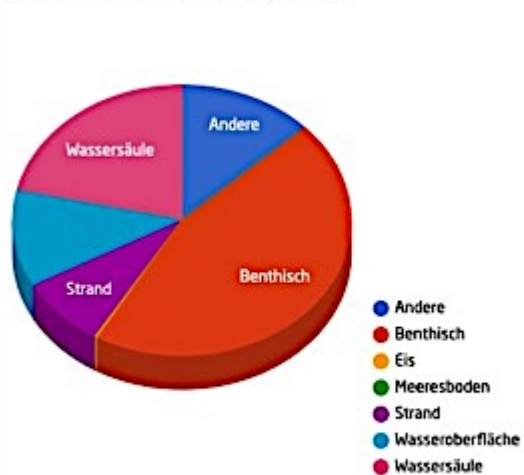
© AWI-LITTERBASE

### Welcher Müll verursacht Wechselwirkungen?



© AWI-LITTERBASE

### Lebensräume betroffener Arten



© AWI-LITTERBASE



# Mikroplastik in der Umwelt - Auswirkungen auf Arten & -vielfalt

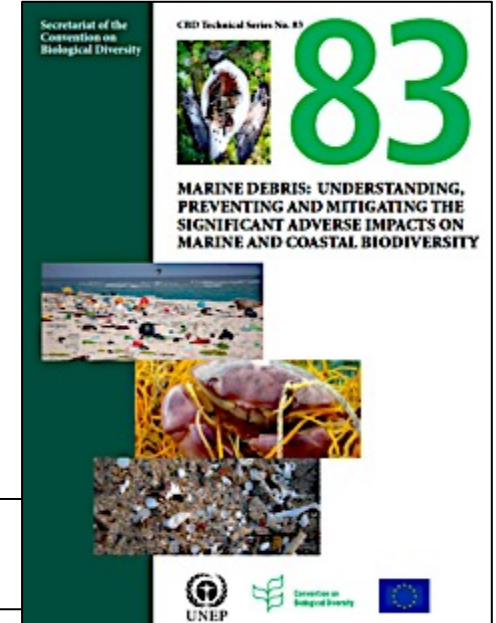
Gall & Thompson (2015): The impact of debris on marine life.  
Marine Pollution Bulletin 92:170-179.

- Müll (Gesamtmeeresmüll) betrifft **693 Arten**; davon ca. **90 %** betroffen durch Plastikmüll: 637 Arten
- 17 % (108) der betroffenen Arten sind **gefährdete Arten**
- Zusammenfassung von 340 Veröffentlichungen

**Table 1:** Number of species with records of entanglement and ingestion documented in 2012 and 2015, the number reported here and the total number of species identified globally (with percentages of the total number of known species in brackets). Sources for total number of known species: First Census of Marine Life (2010)<sup>10</sup>, Rasmussen et al. (2011)<sup>9</sup>, Ukuwela et al. (2012)<sup>11</sup>

Species Group	Total number of known species	Number of species with entanglement records			Number of species with ingestion records		
		SCBD (2012) (%)	Gall & Thompson, 2015 (%)	This report (%)	SCBD (2012) (%)	Gall & Thompson, 2015 (%)	This report (%)
Marine Mammals	115	52 (45%)	52 (45%)	53 (46%)	30 (26%)	30 (26%)	46 (40%)
Fish	16754	66 (0.39%)	66 (0.39%)	129 (0.77%)*	41 (0.24%)	50 (0.30%)	62 (0.37%)
Seabirds	312	67 (21%)	79 (25%)	80 (26%)	119 (38%)	122 (39%)	131 (44%)
Marine Reptiles	70	7 (10%)	7 (10%)	8 (11.4%)	6 (8.6%)	6 (8.6%)	6 (8.6%)
Brackish Turtles	6	n/a	n/a	1 (16.7%)	n/a	n/a	0

\*: remains as 66 species (0.39%) if ghost fishing records are excluded



817 Arten betroffen  
PLUS 154 Arten!

# Mikroplastik im Boden - Auswirkungen

M. Sajjad, Q. Huang, S. Khan et al.

Environmental Technology & Innovation 27 (2022) 102408

**Table 2**  
Effects of MPs on different organisms in the soil.

MPs	Size	Species	Effects	Reference
Polyurethane foam microparticles	3.9–33.4 $\mu\text{m}$	<i>Eisenia fetida</i>	Toxic accumulation and transformation to predators	Gaylor et al. (2013)
Low density polyethylene (LDPE) microplastics	<150 $\mu\text{m}$	<i>Lumbricus terrestris</i>	Toxic effect on organism indicated from growth and mortality	Lwanga et al. (2017)
Polyethene microplastics	250–1000 $\mu\text{m}$	<i>Eisenia andrei</i>	Damaged immune system of organism	Rodriguez-Seijo et al. (2017)
Polystyrene microplastics	1–5 $\mu\text{m}$	Nematodes	Damaged cholinergic and GABAergic neurons	Lei et al. (2018a)
PVC microplastic	80–250 $\mu\text{m}$	Collembolan	Restrained movement of Collembolan	Kim and An (2019)
Polyethylene microplastics	183–93 $\mu\text{m}$	Isopods	No obvious effect	Kokalj et al. (2018)
LDPE	<400 $\mu\text{m}$ particles	Earthworm, <i>Lumbricus terrestris</i>	Mortality	Huerta et al. (2016)
PET	1257.8 $\mu\text{m}$ fibre	Snails, <i>Achatina fulica</i>	Affected oxidative stress	Song et al. (2017)
PS	0.1–500 $\mu\text{m}$ residues	<i>Caenorhabditis elegans</i>	Oxidative damage	Lei et al. (2018a,b)
LDPE	$\leq 300$ ( $\mu\text{m}$ ) particles (PS ( $\leq 300$ $\mu\text{m}$ ) particles)	Earthworm, <i>Eisenia fetida</i>	Microplastic increased addition of PAHs in addition to PCBs in <i>E. fetida</i> .	Wang et al. (2019b)

Environmental Technology & Innovation 27 (2022) 102408

Contents lists available at ScienceDirect

Environmental Technology & Innovation

Journal homepage: [www.elsevier.com/locate/et&i](http://www.elsevier.com/locate/et&i)

Microplastics in the soil environment: A critical review

Muhammad Sajjad<sup>a</sup>, Qing Huang<sup>a,b,c</sup>, Sardar Khan<sup>a</sup>,  
 Muhammad Arjad Khan<sup>a</sup>, Yin Liu<sup>a,b,c</sup>, Jiefeng Wang<sup>a,b,c,d</sup>,  
 Faqin Lian<sup>a,b,c</sup>, Qingqing Wang<sup>a,b,c</sup>, Genmao Guo<sup>a,b,c</sup>

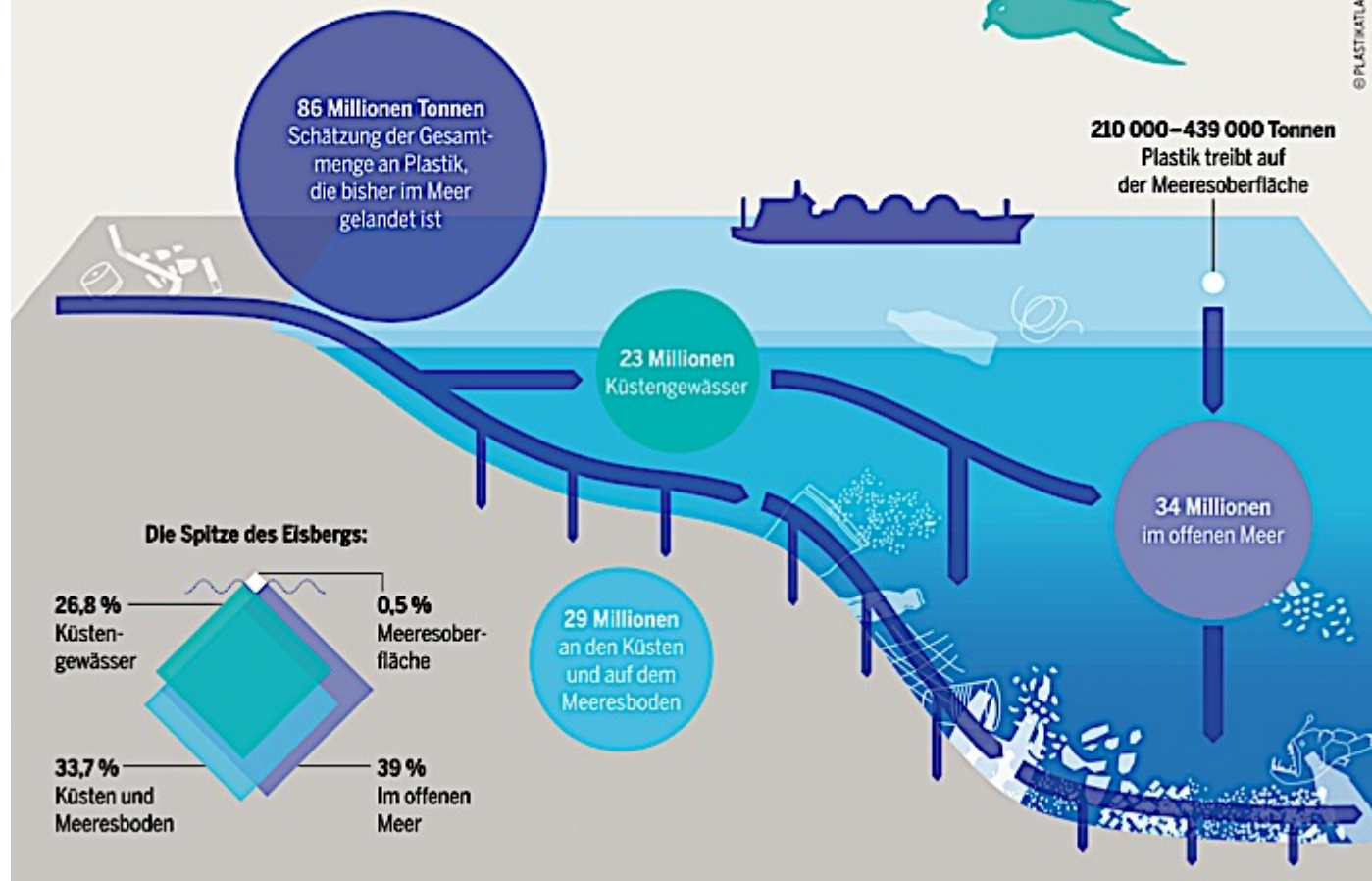




## DIE UNSICHTBARE MÜLLDEPONIE

Schätzungen der Plastikmenge in den Weltmeeren, in Tonnen, 2018

© PLASTIKATLAS 2019 / GRID



# Kunststoffe in der Umwelt...

1986: erste Zählung von Plastikpartikel im Nordatlantik (Law et al., 2010)

1966: Entdeckung des „Great Pacific Garbage Patch“ (Moore et al, 2001)

2004: Richard Thompson prägte den Begriff „microplastic“ (Mikroplastik)

## Lost at Sea: Where Is All the Plastic?

Richard C. Thompson,<sup>1\*</sup> Ylva Olsen,<sup>1</sup> Richard P. Mitchell,<sup>1</sup>  
 Anthony Davis,<sup>1</sup> Steven J. Rowland,<sup>1</sup> Anthony W. G. John,<sup>2</sup>  
 Daniel McGonigle,<sup>3</sup> Andrea E. Russell<sup>3</sup>

7 MAY 2004 VOL 304 SCIENCE

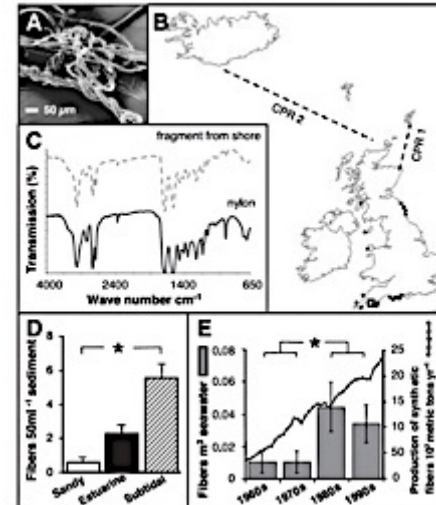


Fig. 1. (A) One of numerous fragments found among marine sediments and identified as nylon by FT-IR spectroscopy. (B) Sampling locations in the northwest Atlantic. Six sites near Plymouth (2) were used to compare the abundance of microplastic among habitats. Similar fragments (B) were found on other shores. Routes sampled by Continuous Plankton Recorder (CR 1 and 2) were used to assess changes in microplastic abundance since 1960. (C) FT-IR spectra of a microscopic fragment matched that of nylon. (D) Microplastics were most abundant in subtidal habitats than on sandy beaches ( $F_{2,12} = 15.26, P < 0.001$ ), but abundance was consistent among sites within habitat types. (E) Microplastic in CR samples revealed a significant increase in abundance when samples from the 1960s and 1970s were compared to those from the 1980s and 1990s ( $F_{2,12} = 14.62, P < 0.001$ ). Approximate global production of synthetic fibers 10<sup>6</sup> metric tons yr<sup>-1</sup>.

### Plastics on the Sargasso Sea Surface

**Abstract.** Plastic particles, in concentrations averaging 3500 pieces and 290 grams per square kilometer, are widespread in the western Sargasso Sea. Pieces are brittle, apparently due to the weathering of the plasticizers, and many are in a pellet shape about 0.25 to 0.5 centimeters in diameter. The particles are surfaces for the attachment of diatoms and hydroids. Increasing production of plastics, combined with present waste-disposal practices, will undoubtedly lead to increases in the concentration of these particles. Plastics could be a source of some of the polychlorinated biphenyls recently observed in oceanic organisms.

### Polystyrene Spherules in Coastal Waters

**Abstract.** Polystyrene spherules averaging 0.5 millimeter in diameter (range 0.1 to 2 millimeters) are abundant in the coastal waters of southern New England. Two types are present, a crystalline (clear) form and a white, opaque form with pigmentation resulting from a diene rubber. The spherules have bacteria on their surfaces and contain polychlorinated biphenyls, apparently absorbed from ambient seawater, in a concentration of 5 parts per million. White, opaque spherules are selectively consumed by 8-species of fish out of 14 species examined, and a chaetognath. Ingestion of the plastic may lead to intestinal blockage in smaller fish.

Carpenter E.J. et al. 1972 SCIENCE 175 & 178



# Abbau / Degradation von Kunststoffen

## Chemische, physikalische und biologische Prozesse in der Natur bedingen den Abbau von Plastik.

Die Dauer und die Art des Abbaus sind abhängig von dem Kunststoff-/Polymertyp, den eingesetzten Zusatzstoffen (Additiven) sowie den jeweiligen Umweltbedingungen. Diese führen u. a. zur Zerkleinerung, zum Abrieb, zur Kettenspaltung der Polymerstruktur und zur Umwandlung in Abbauprodukte.

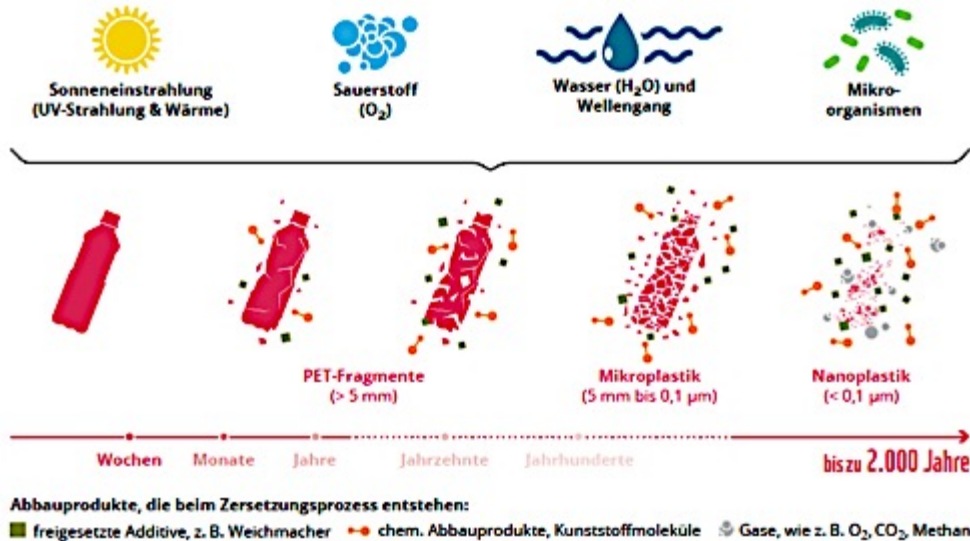
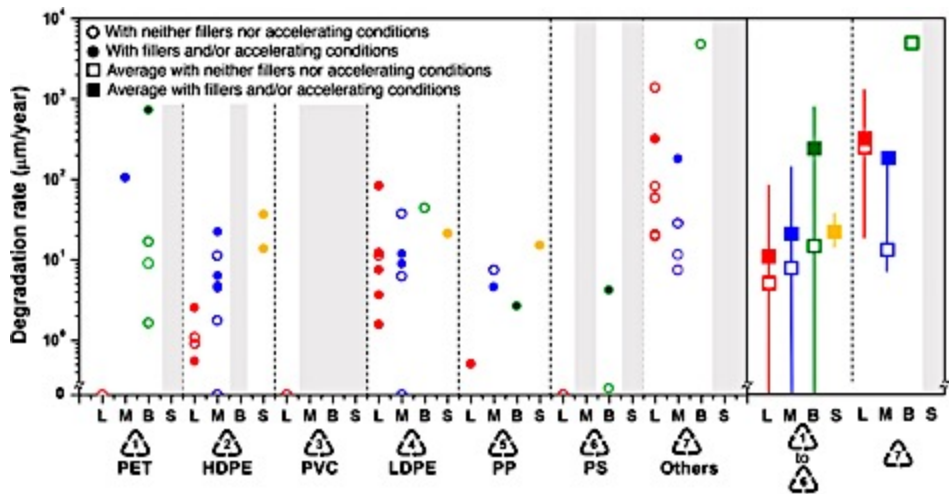


Abb. 3: Von Makro- zu Mikroplastik: Zersetzung von Plastik am Beispiel einer Plastikflasche

WWF, 2020

# Abbau / Degradation von Kunststoffen



ACS Sustainable Chemistry & Engineering

This is an open access article published under a Creative Commons Attribution (CC BY) license, which permits unrestricted use, distribution and reproduction in any medium, provided the author and source are cited.

**Degradation Rates of Plastics in the Environment**

Ali Chamas, Hyunjin Moon, Jiaji Zheng, Yang Qiu, Tarnuma Tabassum, Jun Hee Jang, Mahdi Abu-Omar, Susannah L. Scott,\* and Sangwon Suh\*

Cite This: ACS Sustainable Chem. Eng. 2020, 8, 3494–3511

Read Online



Brümmer et al. (2022)

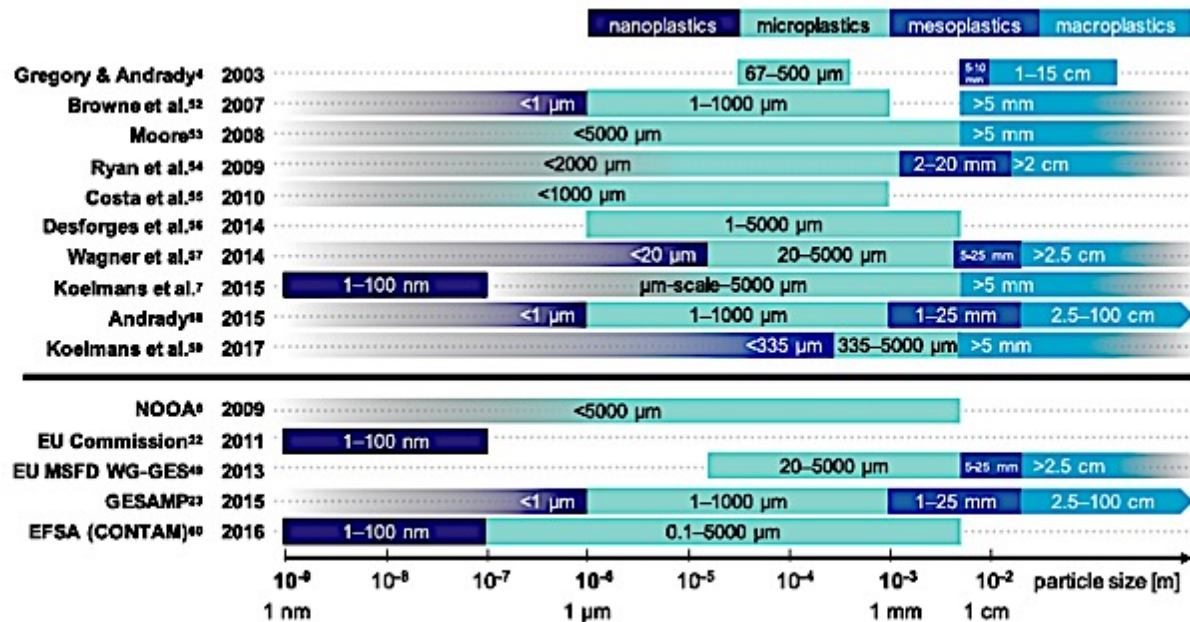


Figure 1. Examples of differences in the categorization of plastic debris according to size as applied (and/or defined) in scientific literature and in institutional reports. It should be noted that this does not represent an exhaustive overview of all used size classes.

aus: Hartmann et al. (2019)

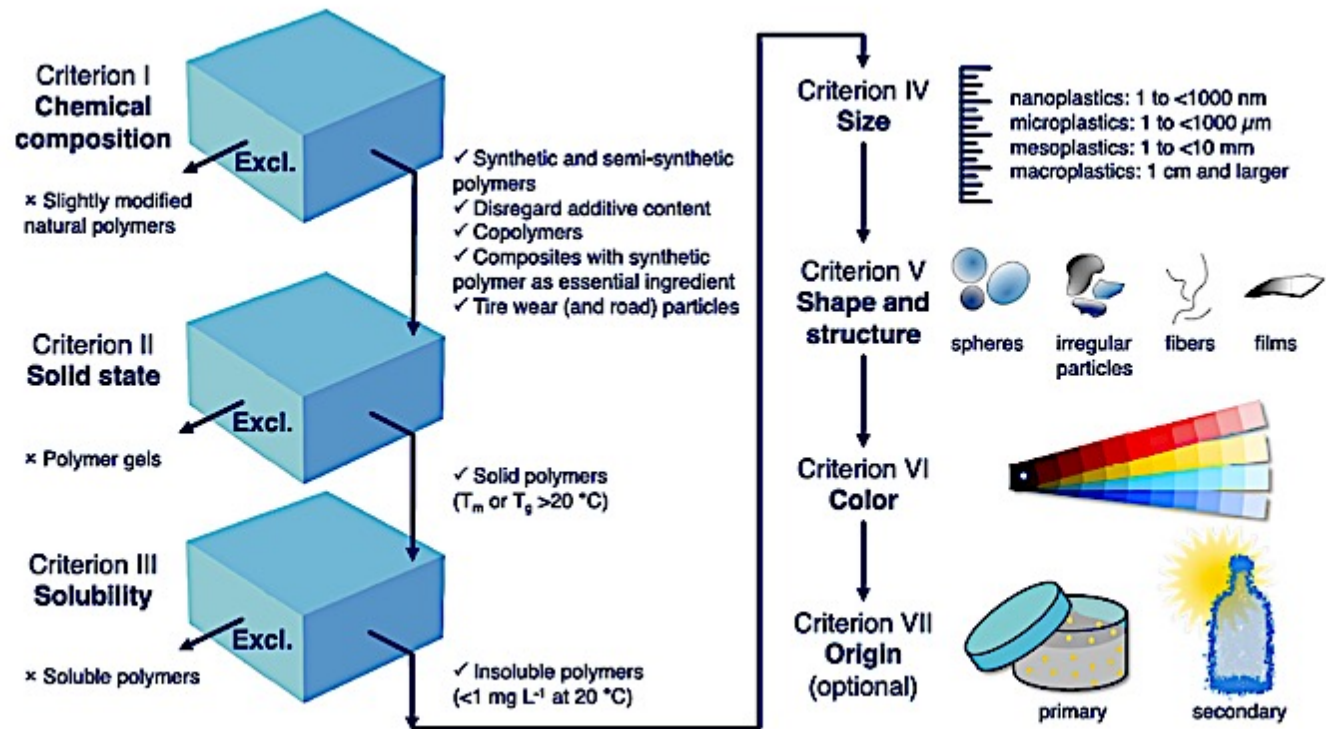


Figure 2. Proposed definition and categorization framework. Excl. = excluded; see Table 1 for details on criteria.

aus: Hartmann et al. (2019)



# Mikroplastik in der Umwelt – „Quell-Studien“

Tabelle 7: Tabellarische Darstellung der Quellen von primären und sekundären Mikropartikeln aus Kunststoff in Deutschland (Quelle: Eigene Darstellung)

Quellen von Mikropartikeln aus Kunststoff in Deutschland	Quantifizierung der Quellen in Tonnen Mikropartikel pro Jahr
<b>Primäre Mikropartikel</b>	
▪ Kosmetische Produkte	500
▪ Wasch-, Reinigungs- und Pflegemittel im Gewerbe und der Industrie	< 100
▪ Strahlmittel zum Entgraten von Oberflächen	< 100
▪ Mikronisierte Kunststoffwachse in technischen Anwendungen	100.000
<b>Sekundäre Mikropartikel</b>	
▪ Fragmentierung von Kunststoffabfällen	unbekannt
▪ Synthetische Chemiefasern aus Kleidungsstücken und sonstigen Textilien	80 bis 400
▪ Verlust von Pellets in der Herstellung und Weiterverarbeitung von Kunststoffen	21.000 bis 210.000
▪ Reifenabrieb	60.000 bis 111.000



# Mikroplastik in der Umwelt – „Quell-Studien“

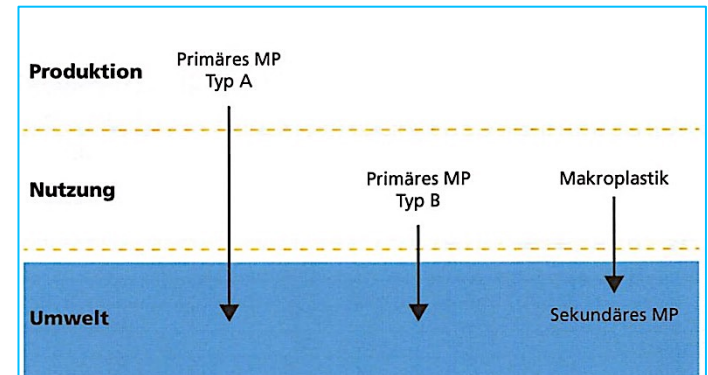
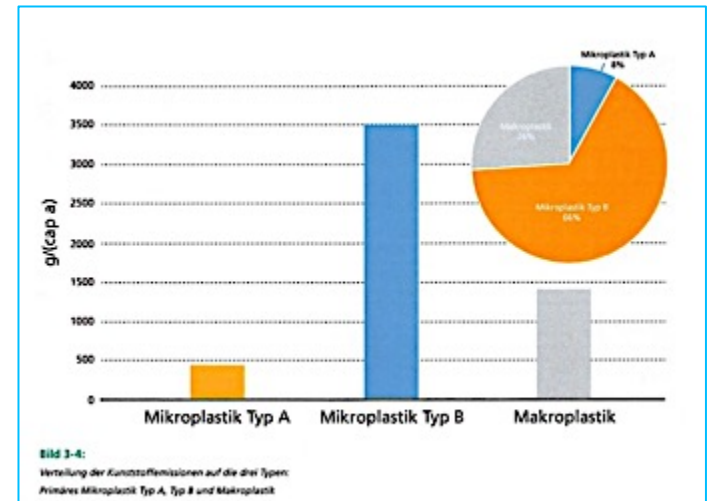
Kunststoffemissionen in D:

**Makroplastik**

116.000 t/a bzw. 1.405 g/(cap a)

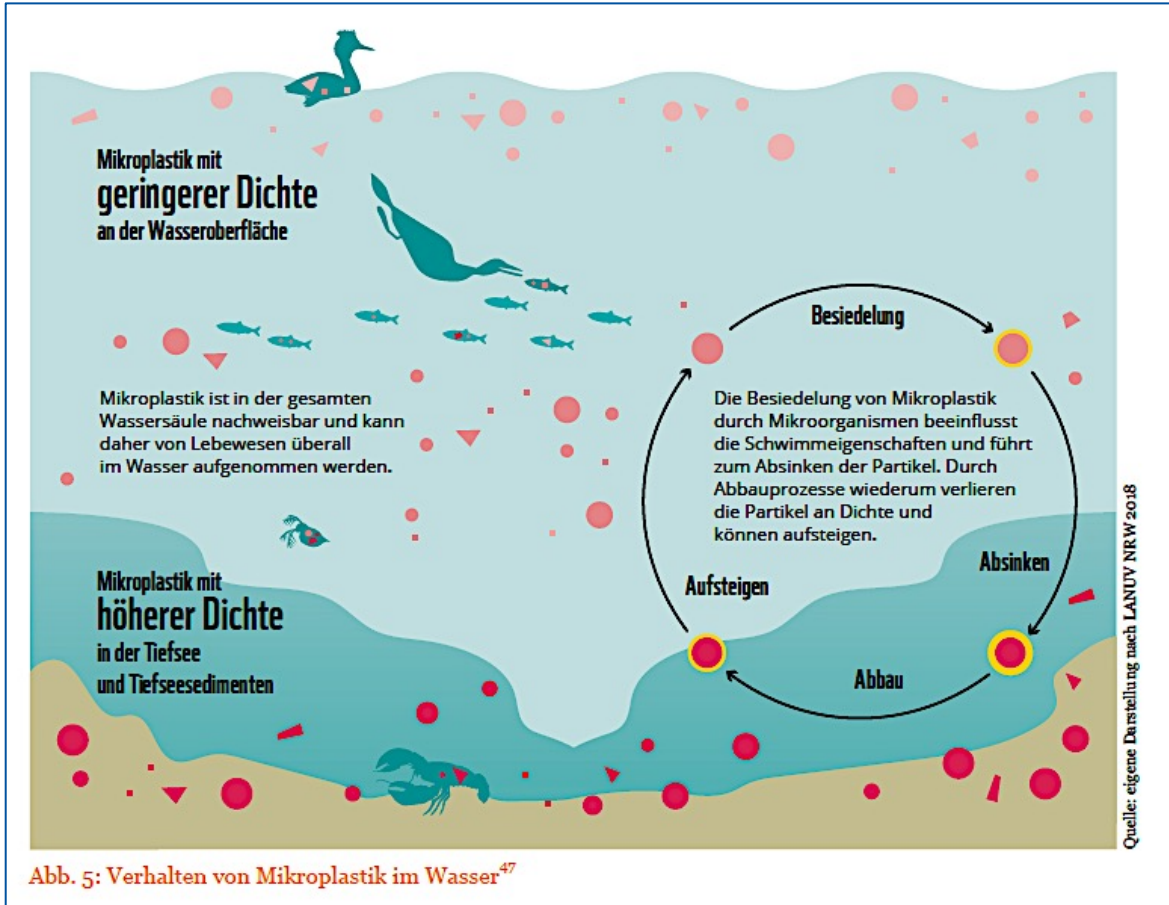
**Mikroplastik**

333.000 t/a bzw. 4.000 g/(cap a)



# MP-Verhalten

## Schwimmen, Schweben, Sinken, Aufsteigen



WWF, 2020

# MP-Verhalten / Transport und biologische Interaktionen

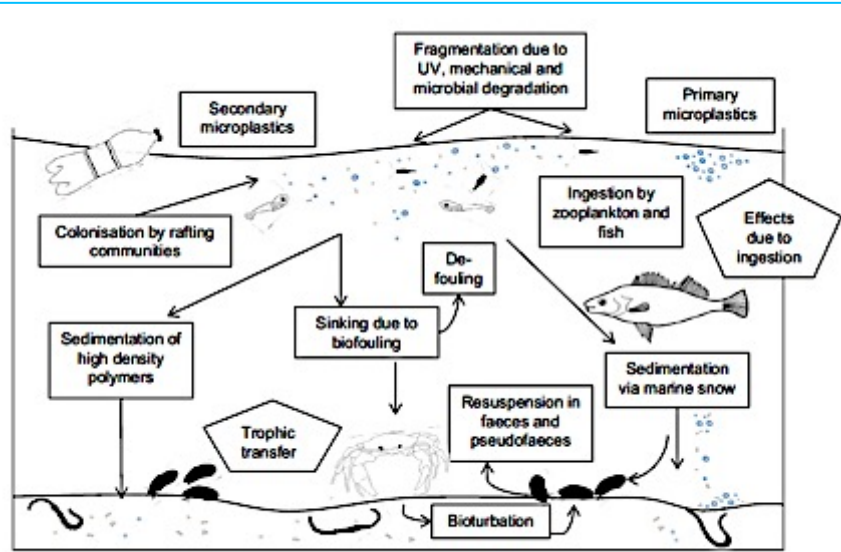
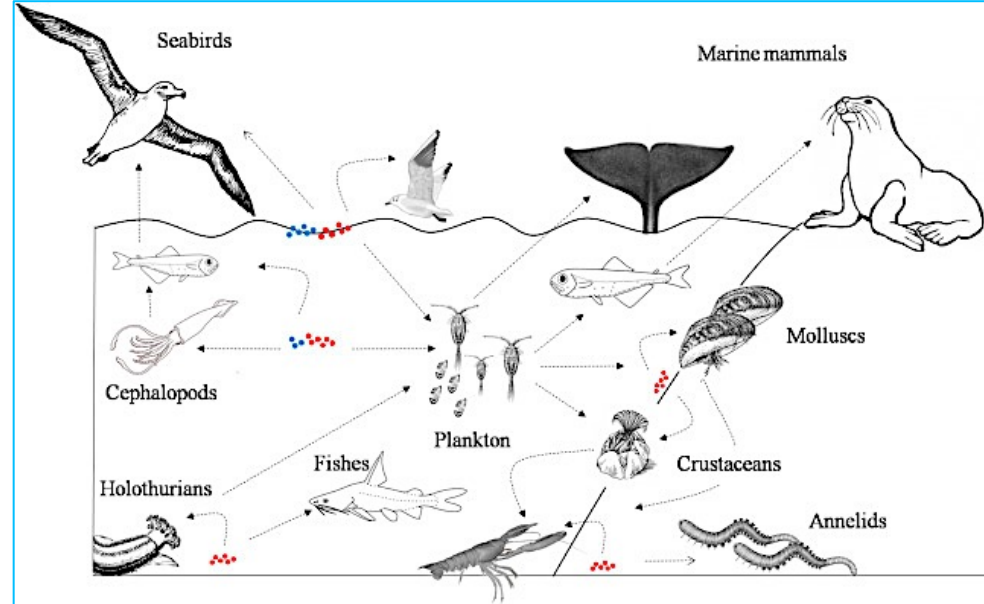


Fig. 1. Potential pathways for the transport of microplastics and its biological interactions.

Wright et al., 2013



Ivar do Sul et al., 2014

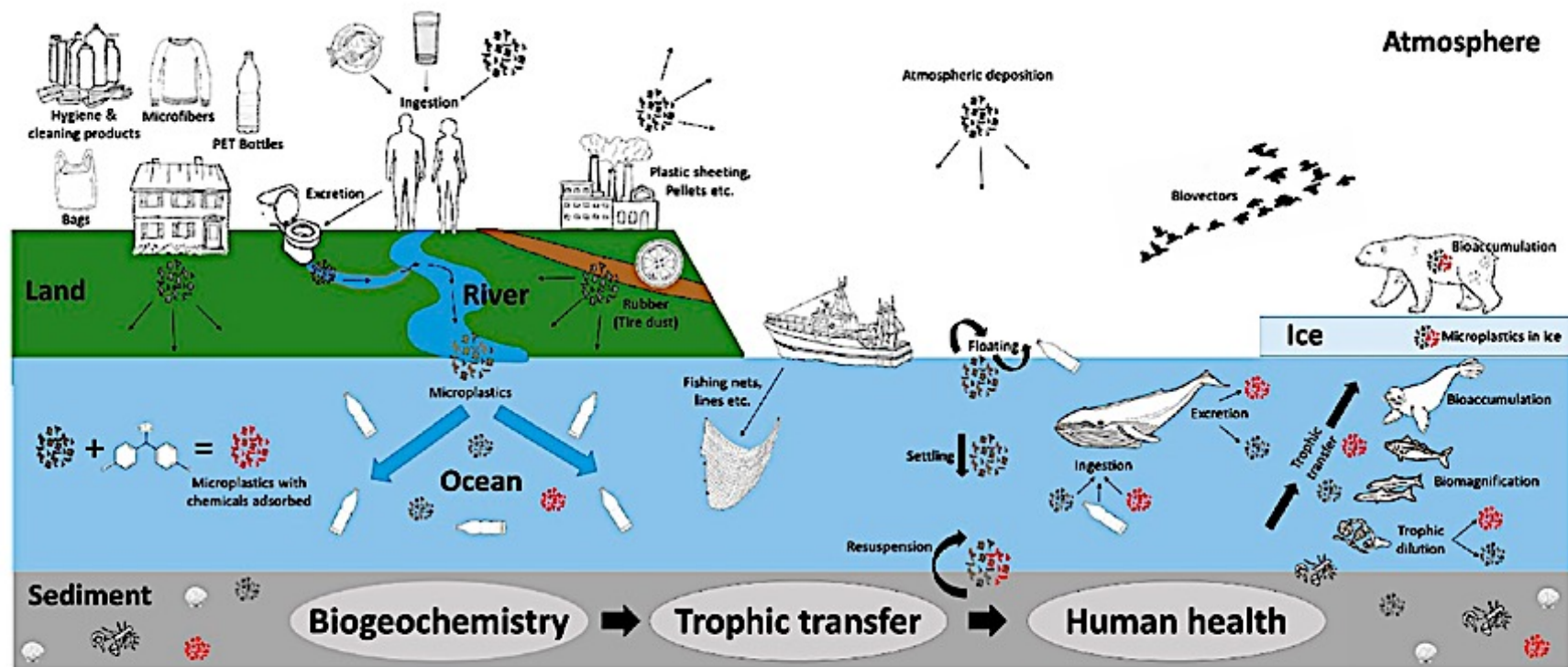
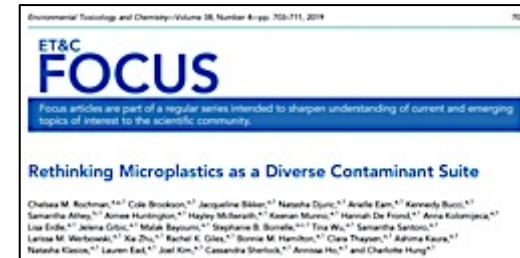
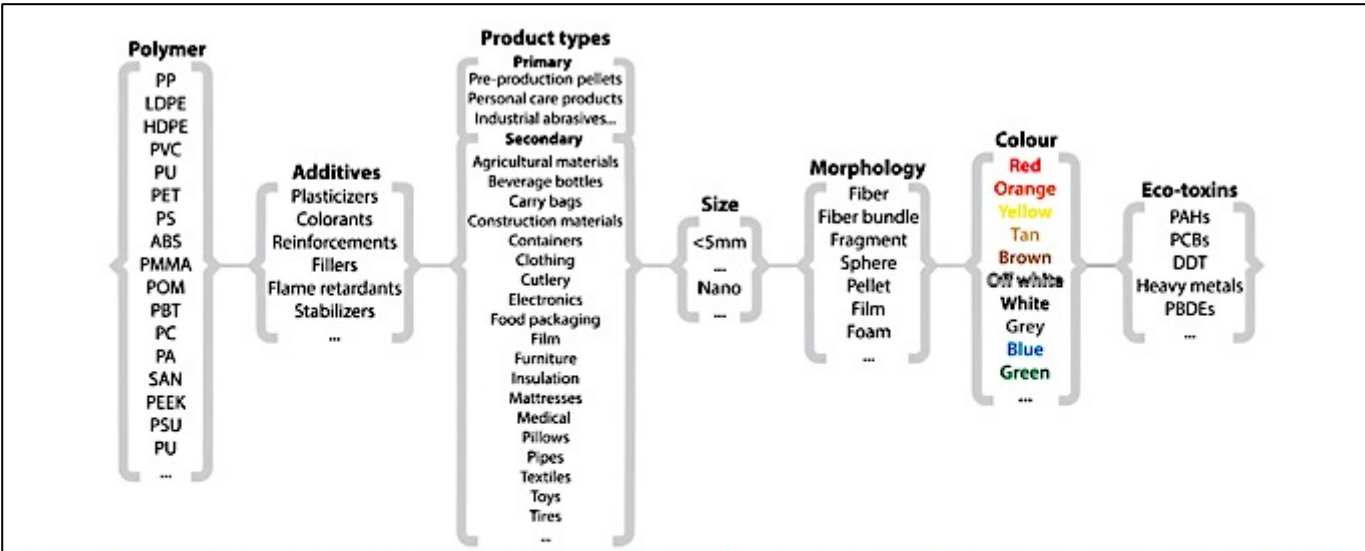


Figure 1. Conceptual model of the plastic pollution cycle and the interactions between biogeochemistry, trophic transfer, and human health and exposure. Note that arrows and artwork are not to scale and are for descriptive purposes only. Expanded, adapted, and redrawn, in part, from Rochman et al. (2019) with permission.

*„Microplastics are not microplastics are not microplastics“*



# Mikroplastik – ein vielfältiger Schadstoffkomplex



**FIGURE 1:** Microplastics are made with a variety of polymers, augmented with an array of additives that can be manufactured into a multitude of products. Sources of microplastics can be either primary or secondary, and microplastics may be any size less than 5mm. Microplastics are described with at least 7 morphologies and are found in many different colors. When in the environment, microplastics can sorb numerous chemical contaminants, including heavy metals and persistent organic pollutants. This is not an exhaustive list. PP=polypropylene; LDPE= low density polyethylene; HDPE=high-density polyethylene; PVC=polyvinyl chloride; PU=polyurethane; PET=polyethylene terephthalate; PS= polystyrene; ABS=acrylonitrile butadiene styrene; PMMA=polymethyl methacrylate; POM=polyoxymethylene; PBT=polybutylene terephthalate; PC=polycarbonate; PA=polyamides; SAN=styrene-acrylonitrile; PEEK=polyether ether ketone; PSU=polyarylsulfone; PAH=polycyclic aromatic hydrocarbon; PCB=polychlorinated biphenyl; DDT=dichlorodiphenyltrichloroethane; PBDE=polybrominated diphenyl ethers.

„Microplastics are not microplastics are not microplastics“

Microplastic particles are not simply “microplastic” but a diverse suite of contaminants that we refer to as “microplastics.”

Environmental Toxicology and Chemistry—Volume 38, Number 4 (pp. 702-711, 2019)

**ET&C FOCUS**

Focus articles are part of a regular series intended to sharpen understanding of current and emerging topics of interest to the scientific community.

**Rethinking Microplastics as a Diverse Contaminant Suite**

Chelsea M. Rochman,<sup>1,2</sup> Cole Brookson,<sup>1,2</sup> Jacqueline Biles,<sup>1,2</sup> Natasha Djoric,<sup>1,2</sup> Arielle Eam,<sup>1,2</sup> Kennedy Bortz,<sup>1,2</sup> Samantha Atkins,<sup>1,2</sup> Anne Kurling,<sup>1,2</sup> Hayley McBeath,<sup>1,2</sup> Karina Munro,<sup>1,2</sup> Hannah De Foa,<sup>1,2</sup> Anne Kalamang,<sup>1,2</sup> Lisa Erdle,<sup>1,2</sup> Jelena Grbic,<sup>1,2</sup> Mikal Beyrouti,<sup>1,2</sup> Stephanie B. Bonville,<sup>1,2</sup> Tina Wu,<sup>1,2</sup> Samantha Santoro,<sup>1,2</sup> Larso M. Workowski,<sup>1,2</sup> Xia Zhu,<sup>1,2</sup> Rachel K. Giles,<sup>1,2</sup> Bonnie M. Hamilton,<sup>1,2</sup> Clara Thayer,<sup>1,2</sup> Ailona Kraus,<sup>1,2</sup> Natasha Klavon,<sup>1,2</sup> Lauren East,<sup>1,2</sup> Joel Kim,<sup>1,2</sup> Cassandra Sherlock,<sup>1,2</sup> Annise Ho,<sup>1,2</sup> and Charlotte Hung<sup>1,2</sup>

- Gefahren Kunststoffe - Gesundheit



Ein Mensch nimmt pro Woche durchschnittlich bis zu fünf Gramm Plastik auf.

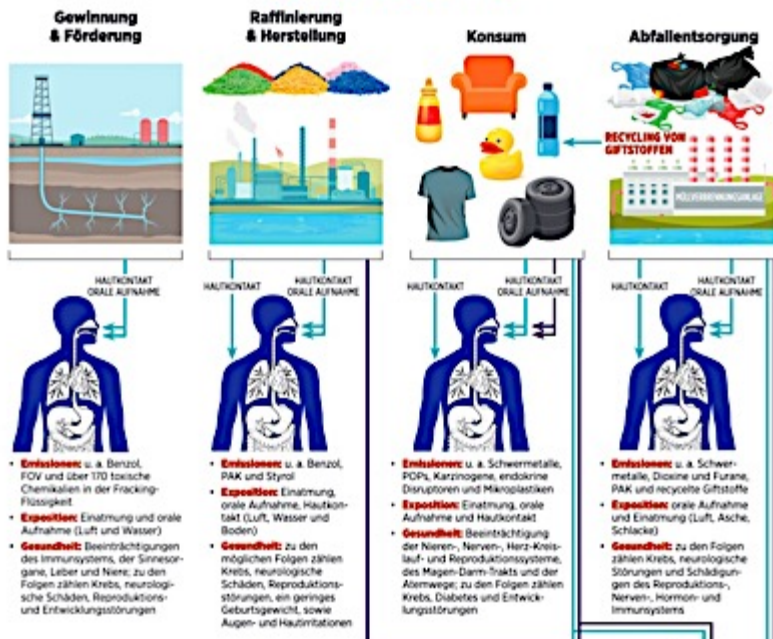
Das entspricht in etwa dem Gewicht einer Kreditkarte.



**Plastik & Gesundheit: Die versteckten Kosten eines Plastikplaneten**

Der Mensch ist über den gesamten Plastik-Lebenszyklus hinweg durch Einatmung, orale Aufnahme und direkten Hautkontakt einer Vielzahl toxischer Chemikalien und Mikroplastiken ausgesetzt.

**DIREKTE EXPOSITION**



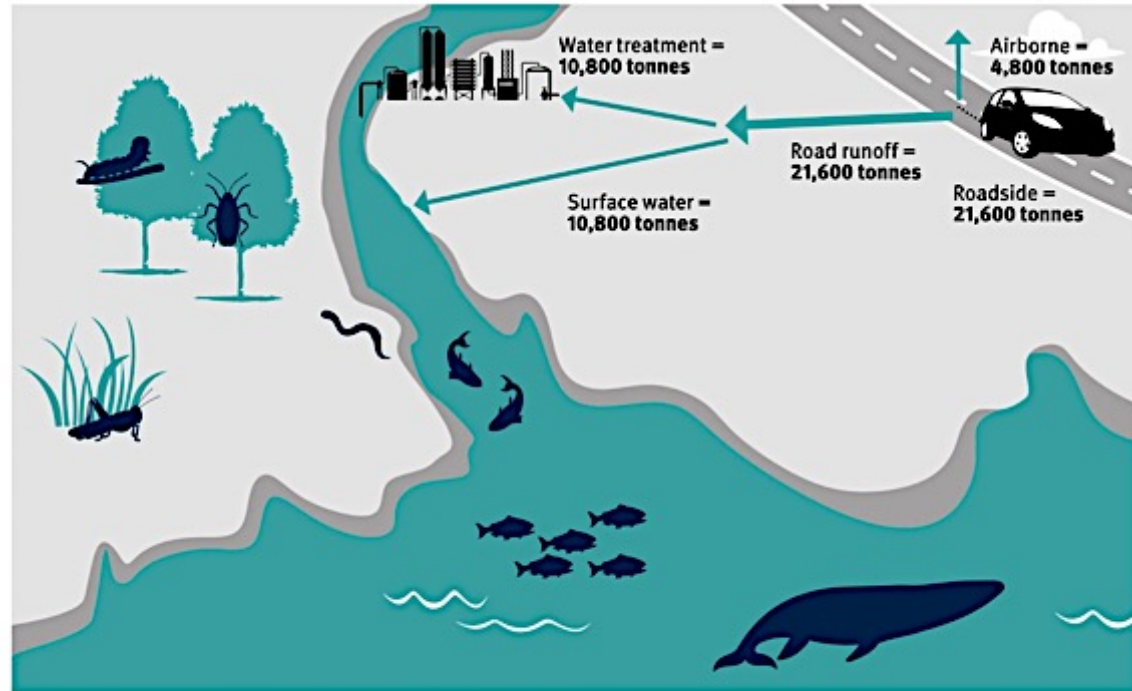
**EXPOSITION DURCH DIE UMWELT**

- Mikroplastiken** (z. B. Reifenabrieb und Textilfasern) und **toxische Additive**; darunter **POP**s, endokrine Disruptoren, Karzinogene und Schwermetalle
- Exposition:** Einatmung und orale Aufnahme (Luft, Wasser und Nahrungskette)
- Gesundheit:** Beeinträchtigungen der Nieren-, Nerven-, Herz-Kreislauf- und Reproduktionssysteme, des Magen-Darm-Trakts und der Atemwege; zu den Folgen zählen Krebs, Diabetes, neurologische Schäden sowie Reproduktions- und Entwicklungsstörungen



**QUELLE:** — Mikroplastiken — Chemikalien

Tan Z, Berry A, Charalambides M, Mijic A, Pearse W, Porter A, Ryan MP, Shorten RN, Stettler MEJ, Tetley TD, Wright S, Masen MA. Tyre wear particles are toxic for us and the environment. Imperial College London (2023). doi: <https://doi.org/10.25561/101707>



**Figure 2.** Estimated final sites for TWP in the environment illustrated with model values from Wagner et al. (Wagner et al., 2018)

Tyre Leachate Constituents	Public Health Effects and Symptoms
<b>Polyaromatic hydrocarbons (PAHs)</b>	<i>Acute health risks:</i> skin and eye irritation, vomiting. <i>Chronic health risks:</i> cataracts, kidney and liver damage, respiratory problems, decreased immune function (Patel et al., 2020)
<b>Benzothiazoles (BZTs)</b>	<i>Acute health risks:</i> Skin irritant, respiratory problems. <i>Chronic health risks:</i> endocrine disruption, carcinogenic and genotoxic (Liao et al., 2018)
<b>Isoprene</b>	<i>Chronic health risks:</i> Carcinogenic, mutagenic, reproduction cell abnormalities (Melnick, 1994)
<b>Heavy metals (zinc and lead)</b>	<i>Acute health risks:</i> abdominal pain, renal dysfunction, fatigue, sleeplessness, arthritis, hallucinations, and vertigo. <i>Chronic health risks:</i> neurological damage, birth defects, psychosis, paralysis, muscular weakness, brain damage, kidney damage, may even cause death (Jaishankar et al., 2014).

Tan Z, Berry A, Charalambides M, Mijic A, Pearse W, Porter A, Ryan MP, Shorten RN, Stettler MEJ, Tetley TD, Wright S, Masen MA. Tyre wear particles are toxic for us and the environment. Imperial College London (2023). doi: <https://doi.org/10.25561/101707>

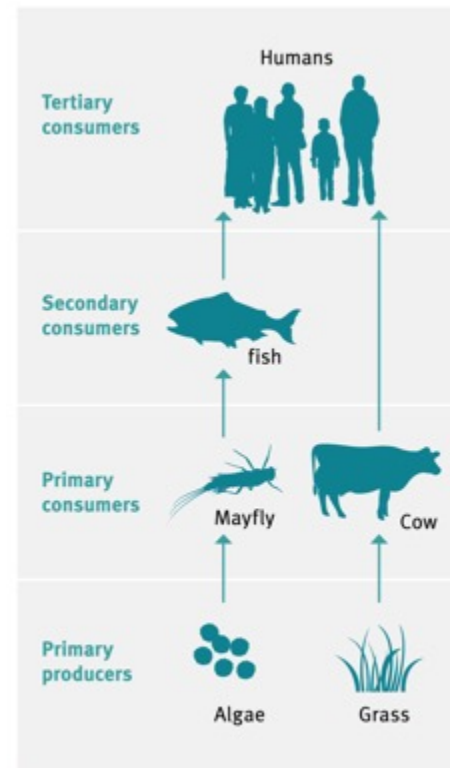


Figure 3. Accumulation of toxic tyre leachates concentrates higher up the food chain.

# Car Tire Crumb Rubber: Does Leaching Produce a Toxic Chemical Cocktail in Coastal Marine Systems?

Claudia Halsband<sup>1\*</sup>, Lisbet Sørensen<sup>2</sup>, Andy M. Booth<sup>3</sup> and Doris Herzke<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Angstein-niva, Tromsø, Norway; <sup>2</sup> Department: Environment and New Resources, SINTEF Ocean, Trondheim, Norway; <sup>3</sup> NILU, Norwegian Institute for Air Research, Tromsø, Norway

**TABLE 3 |** Concentrations of metals in CRG (mg kg<sup>-1</sup>).

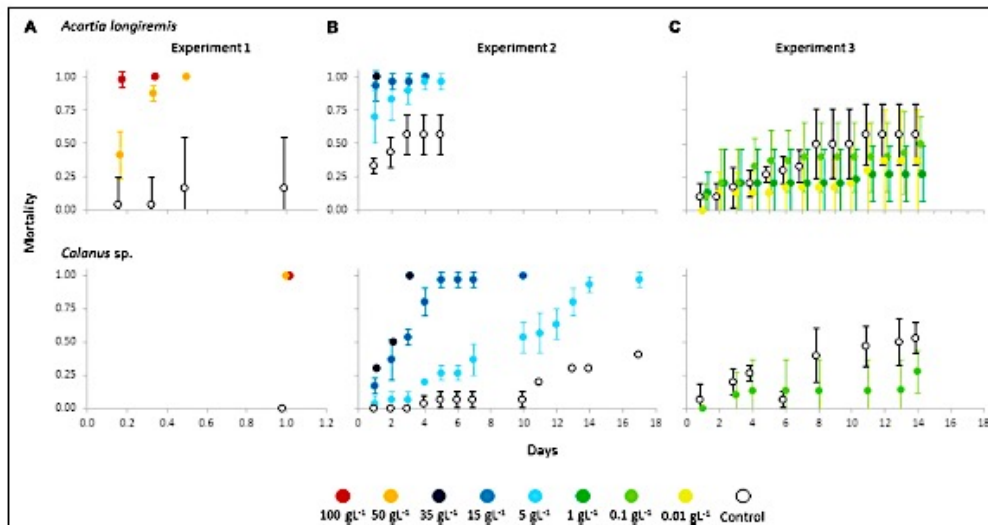
Element	TRD	TOS	RGS	RGS 1500 μm	RGS 1000 μm	RGS 250 μm
Cr	5.50 ± 0.09	1.9	2.11 ± 0.09	2.24 ± 0.09	2.93 ± 0.03	23.3 ± 0.9
Mn	15.6 ± 0.2	N/A	5.12 ± 0.05	4.4 ± 0.2	4.99 ± 0.08	11.5 ± 0.3
Fe	1214 ± 27	729	562 ± 0.9	349 ± 4	385 ± 10	1220 ± 22
Co	36.5 ± 0.5	200	84 ± 2	66 ± 2	70 ± 1	203 ± 4
Ni	4.3 ± 0.2	2.56	2.8 ± 0.1	3.4 ± 0.2	3.6 ± 0.3	11.4 ± 0.4
Cu	17.7 ± 0.2	85.1	22.6 ± 0.4	6.7 ± 0.2	10.3 ± 0.1	123.8 ± 0.8
Zn	12544 ± 150	22 601	14136 ± 89	14967 ± 200	15399 ± 226	19491 ± 295
Cd	0.83 ± 0.05	1.84	0.71 ± 0.02	0.93 ± 0.04	1.36 ± 0.06	1.1 ± 0.1
Sb	4.39 ± 0.06	0.24	6.7 ± 0.2	6.2 ± 0.2	4.88 ± 0.09	8.3 ± 0.3
Pb	17.8 ± 0.3	24.9	16.6 ± 0.3	18.1 ± 0.4	26.6 ± 0.6	25.3 ± 0.8

Data is presented for CRG collected from a football field (TRD), pre-use CRG (TOS), and 'pristine' CRG (RGS), as well as different sizes of RGS (1500, 1000, and 250 μm). Standard deviation is given where replicates were measured (n = 3). N/A = not analyzed.

**TABLE 2 |** Concentrations of organic compounds in rubber granulates (mg kg<sup>-1</sup>).

Target compound	Concentration of target compounds (mg kg <sup>-1</sup> )		
	TRD	TOS	RGS
Pyrene	24 ± 4	25 ± 8	24 ± 3
Fluoranthene	8 ± 2	8 ± 2	7 ± 1
Phenanthrene	6.5 ± 0.3	3.8 ± 0.3	5.9 ± 0.1
<b>Σ PAH</b>	<b>52 ± 6</b>	<b>47 ± 11</b>	<b>58 ± 7</b>
Benzo[thiazole]	37 ± 1	110 ± 28	105 ± 15
n-Cyclohexylformamide	2 ± 2	9 ± 2	22 ± 5
Acetophenone	0.22 ± 0.03	540 ± 37	0.37 ± 0.06
Phthalide	0.40 ± 0.04	78 ± 15	0.10 ± 0.02
<b>Σ Additives</b>	<b>39.6</b>	<b>737</b>	<b>127.5</b>
Bisphenol A	4 ± 5	1.1 ± 0.3	3 ± 1
4,4'-bisphenol S	0.0004	0.001	N/A
2,4'-bisphenol S	n.d.	n.d.	N/A
4,4'-bisphenol F	0.83	0.38	N/A
2,4'-bisphenol F	1.21	0.61	N/A
2,2'-bisphenol F	0.11	0.005	N/A
4,4'-bisphenol A	0.18	0.16	N/A
2,4'-bisphenol A	0.003	n.d.	N/A
Bisphenol B	n.d.	n.d.	N/A
Bisphenol E	n.d.	n.d.	N/A
<b>Σ Phenols</b>	<b>6.33</b>	<b>2.26</b>	-
DMP	N/A	n.d.	N/A
DEP	N/A	0.25	N/A
BBP	N/A	0.62	N/A
DIBP	N/A	2.94	N/A
BtBP	N/A	n.d.	N/A
DnBP	N/A	2.60	N/A
DCHP	N/A	n.d.	N/A
DMFP	N/A	n.d.	N/A
DtBP	N/A	n.d.	N/A
DEHP	N/A	17.7	N/A
DOP	N/A	n.d.	N/A
DINP	N/A	10.2	N/A
DNP	N/A	n.d.	N/A
DIDCP	N/A	2.04	N/A
<b>Σ Phthalates</b>	-	<b>36.3</b>	-

Data is presented for field collected CRG from a football field (TRD), pre-use CRG (TOS), and 'pristine' CRG (RGS). Standard deviation is given where replicates were measured (n = 3). n.d. = not detected. N/A = not analyzed.



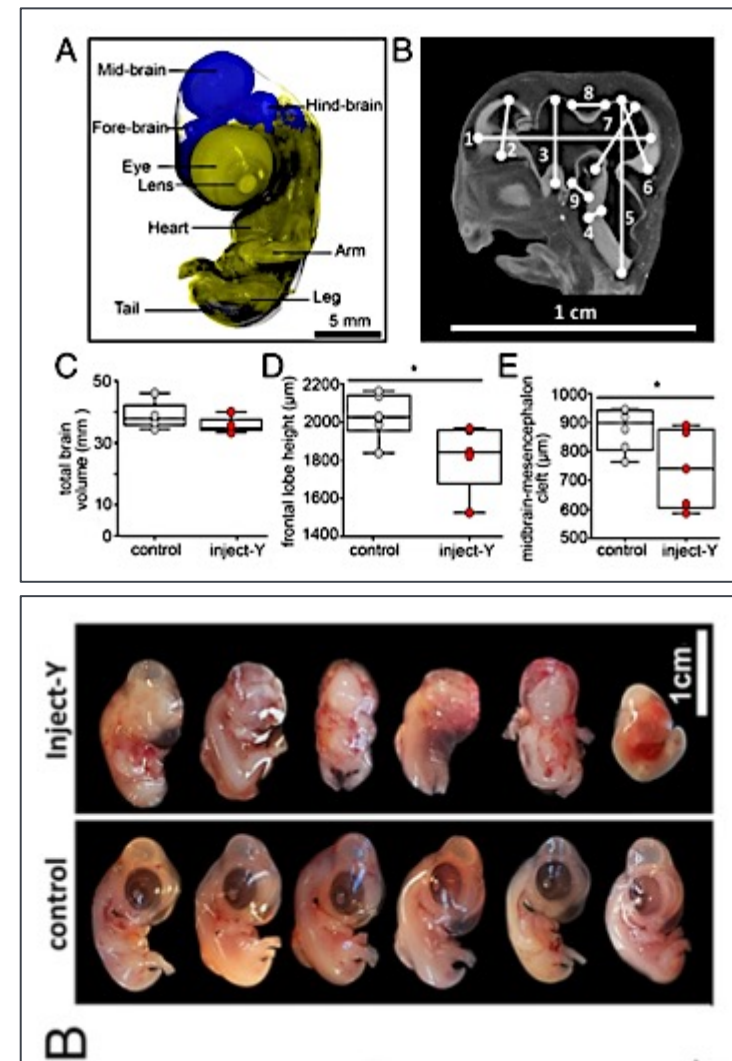
**FIGURE 4 |** Mortality of *Acartia longiremis* (upper panels) and *Calanus sp.* (lower panels) exposed to a range of TOS CRG leachate concentrations in three experiments: (A) Experiment 1 (50 and 100 g L<sup>-1</sup>), (B) Experiment 2 (35, 15 and 5 g L<sup>-1</sup>), (C) Experiment 3 (1, 0.1 and 0.01 g L<sup>-1</sup>). Experiments 1, 2, and 3 ran for 1, 17, and 14 days, respectively.

... erste Studie mit Wirbeltier

The results showed that CR leachate injected into the yolk caused mild to severe developmental malformations, reduced growth, and specifically impaired the development of the brain and cardiovascular system, which were associated with gene dysregulation in aryl hydrocarbon receptor, stress-response, and thyroid hormone pathways. The observed systematic effects were probably due to a complex mixture of toxic chemicals leaching from CR, such as metals (e.g., Zn, Cr, Pb) and amines (e.g., benzothiazole). This study points to a need to closely examine the potential regulation of the use of CR on playgrounds and artificial fields.

## Artificial turf infill associated with systematic toxicity in an amniote vertebrate

Elvis Genbo Xu<sup>a</sup>, Nicholas Lin<sup>a</sup>, Rachel S. Cheong<sup>a</sup>, Charlotte Ridsdale<sup>b</sup>, Rui Tahara<sup>b</sup>, Trina Y. Du<sup>b</sup>, Dharani Das<sup>c</sup>, Jiping Zhu<sup>c</sup>, Laura Peña Silva<sup>a,b</sup>, Agil Azimzada<sup>a,d</sup>, Hans C. E. Larsson<sup>b,1</sup>, and Nathalie Tufenkji<sup>a,1</sup>



Cite as: Z. Tian *et al.*, *Science*  
10.1126/science.abd6951 (2020).



ELSEVIER

Journal of Hazardous Materials

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/jhazmat](http://www.elsevier.com/locate/jhazmat)

Research Paper

Toxicological effects of 6PPD and 6PPD quinone in zebrafish larvae

Shubham Varshney, Adnan H. Gora, Prabhugouda Siriappagoudar, Viswanath Kiron, Pål A. Olsvik

Faculty of Biosciences and Aquaculture, Nord University, Bodø, Norway

## ARTICLE INFO

Editor: Dr. S. Nan

## Keywords:

Tyre wear particles  
Zebrafish larvae  
Behavioural and morphological endpoints  
Dissolution system

## ABSTRACT

N-(1,3-dimethylbutyl)-N'-phenyl-p-phenylenediamine (6PPD) is the most widely used antioxidant in automobile tyres and many rubber products. We investigated the impact of 6PPD and 6PPD quinone on acute toxicity, morphology, swimming behaviour, heart rate, and oxygen consumption in zebrafish larvae. Zebrafish embryos were exposed to 6PPD and 6PPD quinone at concentrations of 1, 10, and 25 µg/L during the development period of 1–96 hpf. In the present study, 6PPD quinone was found to be toxic to zebrafish larvae with a 24 h LC<sub>50</sub> of 308.67 µg/L. No significant mortality was observed at any of the tested concentrations. A dose-dependent reduction in swimming performance was observed in the exposed larvae at 116 hpf for both toxicants. Overall, our study shows that exposure of zebrafish embryos to 6PPD and 6PPD quinone at environmentally relevant concentrations (1 µg/L) does not affect its behaviour. However, exposure to higher but still sublethal concentrations of 6PPD and 6PPD quinone (10 and 25 µg/L) can affect behavioural endpoints. These findings reveal the toxicity of 6PPD and 6PPD quinone to early life stages of fish.

## A ubiquitous tire rubber-derived chemical induces acute mortality in coho salmon

Zhenyu Tian<sup>1,2</sup>, Haoqi Zhao<sup>1</sup>, Katherine T. Peter<sup>1,3</sup>, Melissa Gonzalez<sup>1,3</sup>, Jill Wetzel<sup>4</sup>, Christopher Wu<sup>1,3</sup>, Ximin Hu<sup>1</sup>, Jasmine Frat<sup>1</sup>, Emma Madrock<sup>1</sup>, Rachel Hettlinger<sup>1,3</sup>, Allan E. Cortina<sup>1,3</sup>, Rajshree Ghosh Biswas<sup>1</sup>, Flávio Vinícius Crizóstomo Kock<sup>1</sup>, Ronald Soong<sup>1</sup>, Amy Jenne<sup>1</sup>, Bowen Du<sup>1</sup>, Fan Hou<sup>1</sup>, Huan He<sup>1</sup>, Rachel Lundeen<sup>1,3</sup>, Alicia Gilbreath<sup>1</sup>, Rebecca Sutton<sup>1</sup>, Nathaniel L. Scholz<sup>1</sup>, Jay W. Davis<sup>1</sup>, Michael C. Dodd<sup>1</sup>, Andre Simpson<sup>1</sup>, Jenifer K. McIntyre<sup>1</sup>, Edward P. Kolodziej<sup>1,2,4\*</sup>

<sup>1</sup>Center for Urban Waters, Tacoma, WA 98421, USA. <sup>2</sup>Interdisciplinary Arts and Sciences, University of Washington Tacoma, Tacoma, WA 98421, USA. <sup>3</sup>Department of Civil and Environmental Engineering, University of Washington, Seattle, WA 98195, USA. <sup>4</sup>School of the Environment, Washington State University, Pullman, WA 99171, USA. <sup>5</sup>Department of Chemistry, University of Toronto, Scarborough Campus, 1265 Military Trail, Toronto, ON M1C3A4, Canada. <sup>6</sup>Southern California Coastal Water Research Project, Costa Mesa, CA 92626, USA. <sup>7</sup>San Francisco Estuary Institute, 4911 Central Avenue, Richmond, CA 94804, USA. <sup>8</sup>Environmental and Fisheries Sciences Division, Northwest Fisheries Science Center, National Marine Fisheries Service, National Oceanic and Atmospheric Administration, Seattle, WA 98112, USA. <sup>9</sup>United States Fish and Wildlife Service, Washington Fish and Wildlife Office, Lacey, WA 98503, USA.

\*Corresponding author. Email: [koloj@uw.edu](mailto:koloj@uw.edu)

In U.S. Pacific Northwest coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*), stormwater exposure annually causes unexplained acute mortality when adult salmon migrate to urban creeks to reproduce. By investigating this phenomenon, we identified a highly toxic quinone transformation product of N-(1,3-dimethylbutyl)-N'-phenyl-p-phenylenediamine (6PPD), a globally ubiquitous tire rubber antioxidant. Retrospective analysis of representative roadway runoff and stormwater-impacted creeks of the U.S. West Coast indicated widespread occurrence of 6PPD-quinone (<0.3–19 µg/L) at toxic concentrations (LC<sub>50</sub> of 0.8 ± 0.16 µg/L). These results reveal unanticipated risks of 6PPD antioxidants to an aquatic species and imply toxicological relevance for dissipated tire rubber residues.

### N-(1,3-Dimethylbutyl)-N'-phenyl-p-phenylenediamin (6PPD)

- ... als Zusatzstoff in Autoreifen, Schutz gegen Versprödung durch Ozon
- durch Oxidation mit Ozon wird 6PPD zu 6PPD-Chinon umgewandelt
- aus Reifenabrieb herausgelöst - in Oberflächengewässer oder ...

# Uptake, Metabolism, and Accumulation of Tire Wear Particle-Derived Compounds in Lettuce

Stephanie Castan,<sup>1</sup> Anya Sherman,<sup>1</sup> Ruoting Peng, Michael T. Zumstein, Wolfgang Wanek, Thorsten Hüffer, and Thilo Hofmann\*

Cite This: *Environ. Sci. Technol.* 2023, 57, 168–178

Read Online

ACCESS |

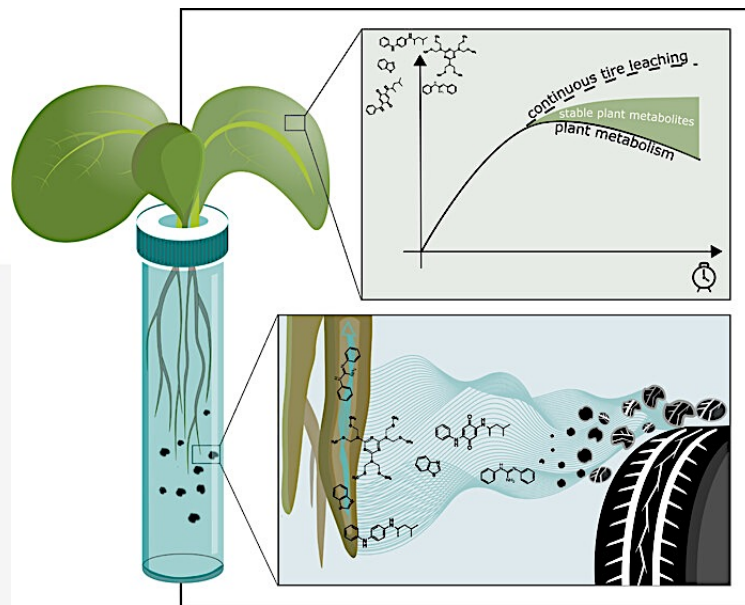
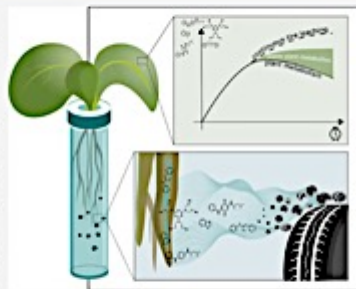
Metrics & More

Article Recommendations

Supporting Information

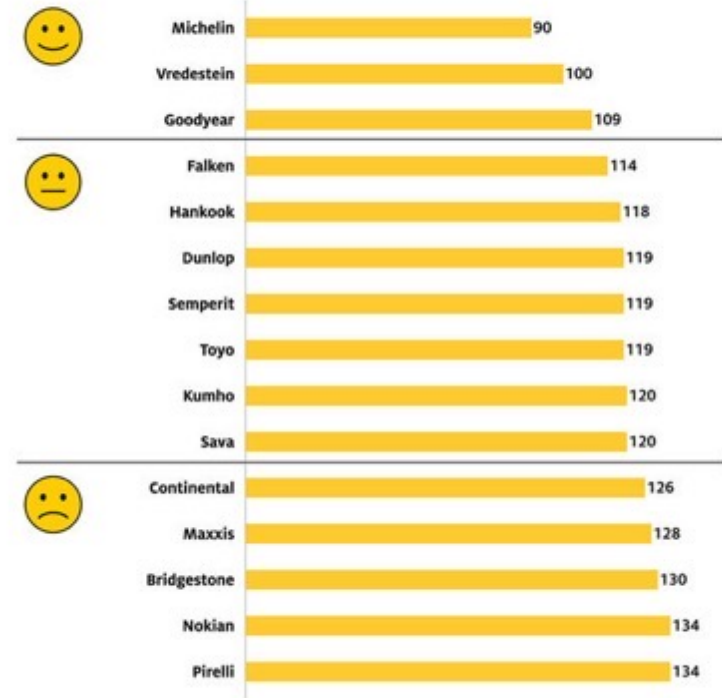
**ABSTRACT:** Tire wear particle (TWP)-derived compounds may be of high concern to consumers when released in the root zone of edible plants. We exposed lettuce plants to the TWP-derived compounds diphenylguanidine (DPG), hexamethoxymethylmelamine (HMMM), benzothiazole (BTZ), *N*-phenyl-*N'*-(1,3-dimethylbutyl)-*p*-phenylenediamine (6PPD), and its quinone transformation product (6PPD-q) at concentrations of 1 mg L<sup>-1</sup> in hydroponic solutions over 14 days to analyze if they are taken up and metabolized by the plants. Assuming that TWP may be a long-term source of TWP-derived compounds to plants, we further investigated the effect of leaching from TWP on the concentration of leachate compounds in lettuce leaves by adding constantly leaching TWP to the hydroponic solutions. Concentrations in leaves, roots, and nutrient solution were quantified by triple quadrupole mass spectrometry, and metabolites in the leaves were identified by Orbitrap high resolution mass spectrometry. This study demonstrates that TWP-derived compounds are readily taken up by lettuce with measured maximum leaf concentrations between ~0.75 (6PPD) and 20 μg g<sup>-1</sup> (HMMM). Although these compounds were metabolized in the plant, we identified several transformation products, most of which proved to be more stable in the lettuce leaves than the parent compounds. Furthermore, continuous leaching from TWP led to a resupply and replenishment of the metabolized compounds in the lettuce leaves. The stability of metabolized TWP-derived compounds with largely unknown toxicities is particularly concerning and is an important new aspect for the impact assessment of TWP in the environment.

**KEYWORDS:** tire additives, microplastics, plant uptake, 6PPD, HMMM, PMOC, HRMS, contaminant exposure






ADAC Reifentest: Durchschnittlicher Reifenabrieb pro Fahrzeug in g/1000 km



Quelle: ADAC e.V.

©ADAC e.V. 12.2021





GEBAUT, UM DEN  
ATEM ZU RAUBEN



GEBAUT, UM DEN  
ATEM ZU RAUBEN

# Gefahren durch Kunststoffe in der Umwelt

## Belastbarkeit der Erde

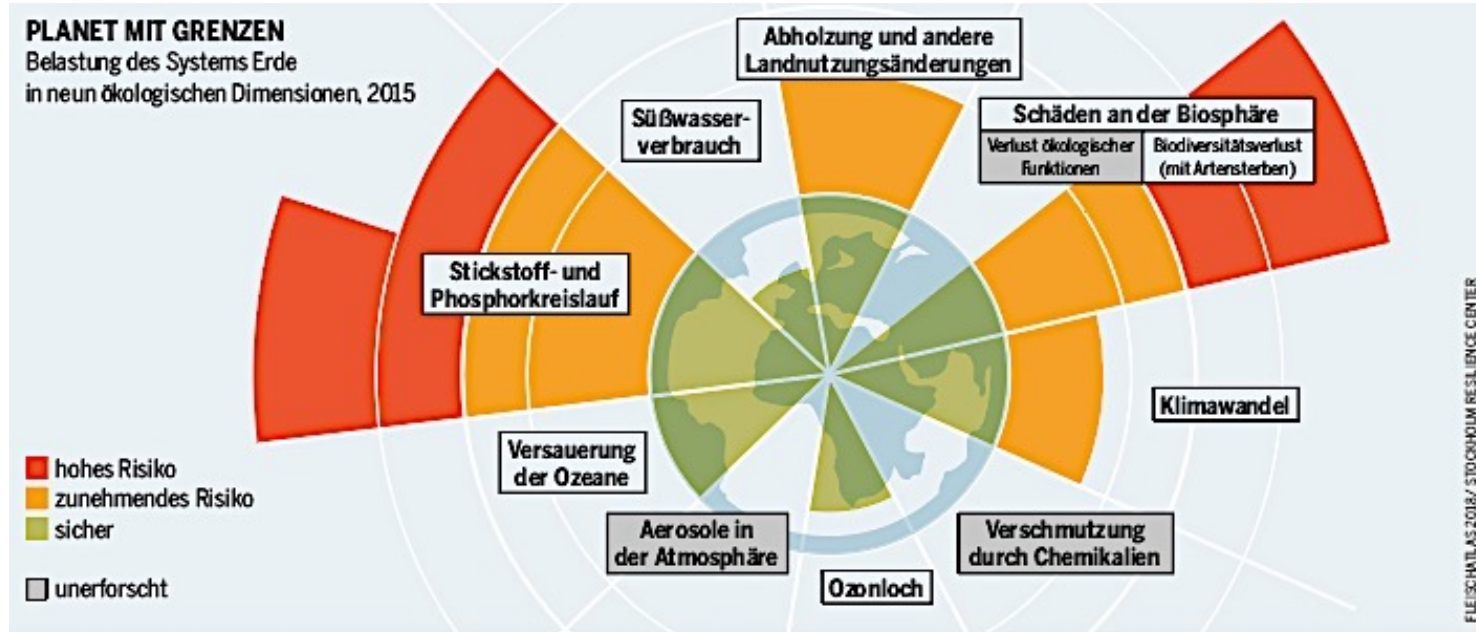


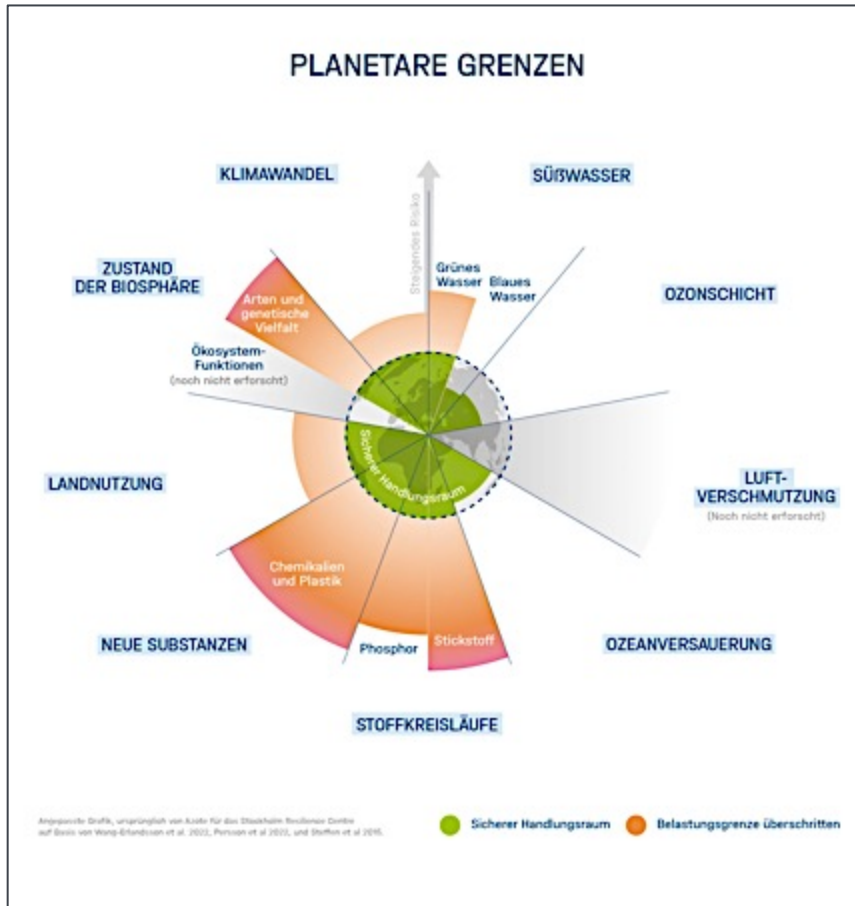
# Planetare Grenzen



Johan Rockström, Will Steffen, Kevin Noone, Åsa Persson, F. Stuart Chapin: *A safe operating space for humanity*. Nature Band 461, Nr. 7263, September 2009.

# Belastbarkeit der Erde



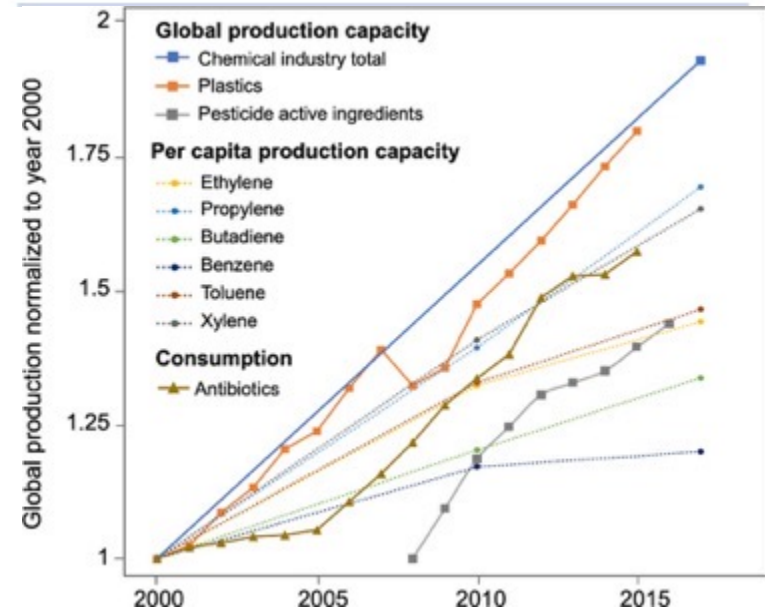


## Outside the Safe Operating Space of the Planetary Boundary for Novel Entities

Linn Persson,<sup>\*</sup> Bethanie M. Carney Almroth, Christopher D. Collins, Sarah Cornell, Cynthia A. de Wit,<sup>\*</sup> Miriam L. Diamond, Peter Fantke, Martin Hassellöv, Matthew MacLeod, Morten W. Ryberg, Peter Sogaard Jørgensen, Patricia Villarrubia-Gómez, Zhanyun Wang, and Michael Zwicky Hauschild

Cite This: Environ. Sci. Technol. 2022, 56, 1510–1521

Read Online



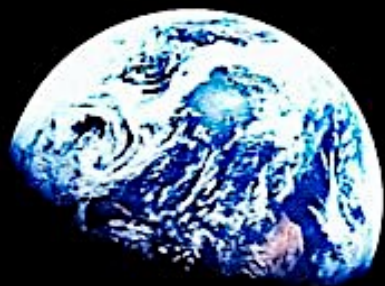
Current rising global trends of chemical industry production, expressed as the relative growth in some novel entities between 2000 and 2017

# Gefahren von Kunststoffen in der Umwelt

- Wasser, Gesundheit, Biosphäre
- Kunststoffe sind überall!!
- Inhaltstoffe und Wechselwirkungen oft nicht bekannt
- Vom Wissen zum Handeln:
  - Vermeiden, korrekt entsorgen, Recyceln, ...
  - PlastikFasten, Zero Waste, ...
- .. der lange Weg vom Kopf zur Hand!!
- Verantwortung übernehmen!



Der Plastikmensch von T. Rees / © Stgt. Ztg.



***Wir müssen uns kümmern!***





Universität Stuttgart

IBBS

Biodiversität & wissenschaftliches Tauchen

# Vielen Dank!



**Prof. Dr. Franz Brümmer**

E-Mail [franz.bruemmer@bio.uni-stuttgart.de](mailto:franz.bruemmer@bio.uni-stuttgart.de)

Telefon +49 (0) 711 685-65083

[www.uni-stuttgart.de/bio](http://www.uni-stuttgart.de/bio)

Universität Stuttgart

Pfaffenwaldring 57

70569 Stuttgart



The-sea-starts-here-dont-litter-initiative

<https://brightonenergy.org.uk>