

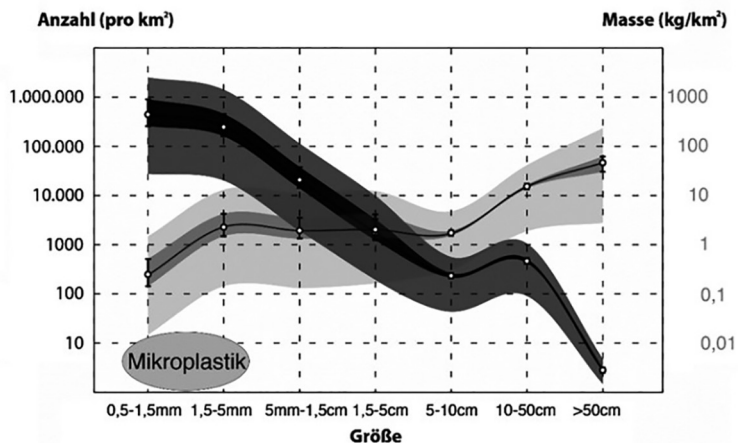


TRACKVERZEICHNIS

Kapitel	Track
Vorwort	1
1 Verstumter Frühling	2
2 Immer mehr Müll im Meer	6
3 Mikro bis Nano: immer kleiner	17
4 Wie Plastik in unseren Körper gerät	25
5 Aufholjagd in der medizinischen Forschung	39
6 Plastik bringt unseren Darm aus dem Gleichgewicht	42
7 Im Gehirn: Entzündung, Zellstress und Demenz	48
8 Plastik ist nicht gleich Plastik	60
9 Additive – Was so alles in Plastik steckt	67
10 Plastik kann auf verschiedene Weise toxisch sein	82
11 Kreislaufwirtschaft mit Biomaterialien und Bioplastik	93
12 Was tun?	101
13 3 Tipps zu Mikroplastik	108
Nachwort	111

ZUSATZMATERIAL

Abb. 2.2: Gemessene Anzahl (dunkelgrau) und Masse (hellgrau) von Plastikmüll unterschiedlicher Größe im Meer (nach Lebreton et al. 2018, S. e10, Figure 4b) je Quadratkilometer Meeresoberfläche. Die Punkte stellen die Mittelwerte der Konzentrationen dar, die helleren Schattierungen zeigen den Bereich vom 5. bis 95. Perzentil der gemessenen Konzentrationen, die dunkleren das Vertrauensintervall der Messungen. Sowohl die Anzahl als auch die Masse sind logarithmisch skaliert. Je kleiner der Müll, desto mehr (Anzahl) gibt es davon.



Bildnachweis: Lebreton, L., Slat, B., Ferrari, F. et al. Evidence that the Great Pacific Garbage Patch is rapidly accumulating plastic. *Sci Rep* 8, 4666 (2018). <https://doi.org/10.1038/s41598-018-22939-w>
 S. 28 le-tex publishing services GmbH

Tabelle 4.1: Durch Nahrung und Atmung aufgenommene Anzahl an Mikroplastikpartikeln pro Tag und (gerundet) pro Jahr (nach Cox et al. 2019; Werte in 2020 korrigiert).

	Täglich		Jährlich		Gesamt	
	Nahrung	Atmung	Nahrung	Atmung	Täglich	Jährlich
Männliche Kinder	113	110	41000 ± 7000	40 000 ± 45 000	223	81000
Weibliche Kinder	142	170	52000 ± 8000	62 000 ± 69 000	312	114 000
Männliche Erwachsene	106	97	39000 ± 7000	35000 ± 39 000	203	74 000
Weibliche Erwachsene	126	132	46000 ± 8000	48 000 ± 54 000	258	94 000

Tabelle 4.2: Anzahl der Partikel von Mikroplastik in einem Kilogramm Salz und jährliche Aufnahme bei von der Weltgesundheitsorganisation (2012) empfohlenem Salzkonsum von fünf Gramm täglich in Abhängigkeit von der Herkunft und der Art des Tafelsalzes (Auswahl aus Daten in Peixoto et al. 2019, S. 165; Table 2).

Herkunftsland	Salzart	Partikel je Kilogramm	Konsumierte Partikel/Jahr*
Australien	Meersalz	0-80	0-146
Brasilien	Meersalz	200	365
China	Salzsee	28-364	51-664
	Meersalz	120-718	219-1310
	Steinsalz	0-204	0-372
Deutschland	Steinsalz	2	4
Frankreich	Meersalz	0-2	0-4
Großbritannien	Meersalz	120	219
Indien	Meersalz	3-8	5-15
Italien	Meersalz	5-59	9-108
	Steinsalz	80	146
Japan	Meersalz	0-1	0-2
Kroatien	Meersalz	800-19800	1460-36135
Mexiko	Meersalz	173	316
Neuseeland	Meersalz	0-1	0-2
Philippinen	Steinsalz	120	219
Portugal	Meersalz	0-10	0-18
Spanien	Meersalz	50-280	91-511
Türkei	Meersalz	18-84	33-153
USA	Meersalz	47-300	86-548

* Die Werte in dieser Spalte ergeben sich durch Multiplikation der dritten Spalte mit 1,825 ($365 \times 5 \div 1000$), aufgerundet.

Tabelle 4.3: Mikroplastik in menschlichen Organen, Gewebeproben und Körperflüssigkeiten. Angaben in Partikeln (p) oder in Partikeln pro Gramm Gewebe (p/g) oder in Mikrogramm pro Gramm Gewebe ($\mu\text{g/g}$).

Quelle	Organ/Gewebe	Bemerkungen
Amato-Lourenço et al. 2021	Lunge	präsent in 13 von 20 Proben PE und PP
Arslan et al. 2025	Ohrenschmalz	präsent bei 10 von 12 Probanden
Hovartits et al. 2022	Leber	Patienten ohne Cirrhose: 0–6 p Patienten mit Cirrhose: 6–14 p
Ibrahim et al. 2020	Dickdarm	In allen 11 untersuchten Kolektomie-Präparaten; im Mittel 28 ± 15 Partikel/g Gewebe; 96 % Fasern
Nihart et al. 2025	Leber	433 $\mu\text{g/g}$
Nihart et al. 2025	Niere	404 $\mu\text{g/g}$
Garcia et al. 2024	Ovarien, Plazenta, Uterus	63,4 $\mu\text{g/g}$
Hu et al. 2024	Hoden	328 $\mu\text{m/g}$, vor allem PE
Lee et al. 2024	Blut	präsent in 32 von 36 Blutproben (88,9%) 4.2 Partikel/mL
Leslie et al. 2022	Blut	1,6 $\mu\text{g/ml}$
Marfella et al. 2024	Atherome, Thromben	21,7 $\mu\text{g/g}$
Montano et al. 2023	Samenflüssigkeit	präsent in 6 von 10 Proben; PE und PP
Nihart et al. 2025	Gehirn (2016) Gehirn (2024) Gehirn bei Demenz	3345 $\mu\text{g/g}$ 4917 $\mu\text{g/g}$ 26 076 $\mu\text{g/g}$
Taş et al. 2024	Nasenschleim (lavage)	Patienten mit Sinusitis (n=50): $3,88 \pm 2,14$ gesunde Kontrollen (n=30): $2,34 \pm 1,89$ ($p < 0,001$)
Wang et al. 2025	Tränendrüsen, Talg (Meibum) Tränenflüssigkeit	präsent präsent präsent
Wu et al. 2023	Thromben	präsent in 16 von 26 Thromben
Zhong et al. 2024	Glaskörper	9,1 $\mu\text{g/g}$ bis 14,8 $\mu\text{g/g}$ (diagnoseabhängig)
Zhu et al. 2024	Dünndarm, Dickdarm	7,91 \pm 7,00 p/g; 9,45 \pm 13,13 p/g

Abb. 4.1: Fließgleichgewicht in einem einfachen Experiment: Die Höhe des Wasserspiegels im Gefäß richtet sich nach der Menge zufließenden Wassers. Fließt eine mittlere Menge Wasser aus dem Hahn, ist im Gleichgewichtszustand so viel Wasser im Gefäß, dass der Druck am Abfluss dafür sorgt, dass eine ebenfalls mittlere Menge Wasser abfließt (Mitte). Kommt weniger Wasser aus dem Hahn, sinkt der Wasserspiegel, bis der Druck am Abfluss so gering ist, dass ebenso wenig Wasser abfließt wie nachkommt. Es stellt sich also ein neues Gleichgewicht zwischen Zufluss und Abfluss ein (links). Genauso ist es im umgekehrten Fall: Kommt viel Wasser aus dem Hahn, steigt der Wasserspiegel, bis durch den höheren hydrostatischen Druck am Abfluss genügend Wasser herausschießt, sodass sich bei höherem Wasserspiegel dann wieder ein Gleichgewicht einstellt (© Autor).

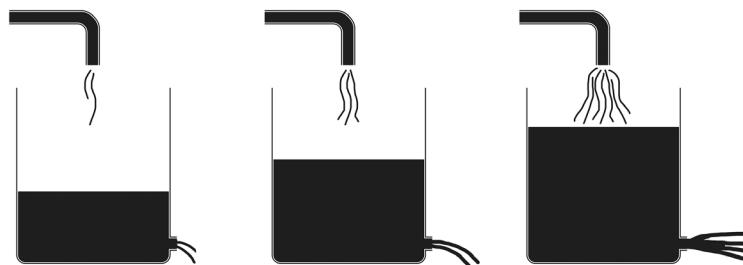


Tabelle 8.1: Übersicht zu den häufigsten Typen von Plastik, geordnet nach Thermoplasten, Duroplasten und Elastomeren. Die Angaben in den Spalten 4 und 5 entstammen für PE, PP, PS, PUR und PVC der Arbeit von Houssini und Mitarbeitern, die 2025 im Fachblatt Nature publiziert wurde; sie beziehen sich auf das Jahr 2022. Die Daten zu PET entstammen einem Report von Textile Exchange (2023) zu PET-Fasern (63 Mt) und von Ribeiro (2023) zum Anteil des PET-Granulats (26 Mt). Die Daten zu Polyamid (Nylon) betreffen das Jahr 2024, beziehen sich auf das gesamte PA (nicht ausschließlich die Faser Nylon, obgleich sie den größten Teil ausmacht) und stammen von Astute Analytica (2025). k. A.: keine Angaben; n. a.: nicht anwendbar.

Name (Kurzbezeichnung)	Seit	Typ	Jahresproduktion weltweit in Mio. Tonnen (Mt)	Anteil an Jahresproduktion
Polyethylen (PE)	Entdeckung 1898; Massenproduktion ab den 1950er-Jahren	Thermoplast	104 Mt	26 %
Polyethylen-terephthalat (PET) »Dacron«, »Trevira«	Entdeckung 1942; Massenproduktion ab 1953	Thermoplast	89 Mt (2023) 82 Mt (2024)	k. A.
Polypropylen (PP)	Entdeckung 1951; Massenproduktion ab 1960er-Jahre	Thermoplast	76 Mt	19 %
Polyvinylchlorid (PVC)	Entdeckung 1912; Massenproduktion 1928 in den USA und 1930 in Deutschland	Thermoplast	52 Mt	13 %
Polyurethan (PUR)	Im Jahr 1937 von Otto Bayer erstmals synthetisiert. Massenproduktion erst in den 1950er-Jahren	Thermoplast oder Duroplast oder Elastomer	20 Mt	5 %

Polystyrol (PS) »Styropor«	Entdeckung 1839; Massenproduktion in den 1950er-Jahren	Thermoplast	20 Mt	5 %
Polyamid (PA) »Nylon«	Entwicklung (Nylon) 1935	Thermoplast	8,7 Mt	k. A.
Polycarbonat (PC)	Entwicklung 1953, Massenproduktion seit 1958	Thermoplast	3 Mt	k. A.
Polysulfon (PSU)	Seit 1965 am Markt, besonders beständig gegenüber hohen Temperaturen, Heißwasser/ Dampf und mechanischer Belastung	Hochleistungsthermoplast	57 000 t (2013)	n. a.
GFK	Seit 1935; Massenproduktion ab den 1950er-Jahren	Duroplast	In Europa 1 Mio t (2014)	n. a.
CFK	Seit den 1950er-Jahren; bis heute kaum Massenproduktion	Duroplast	107 000 t (2022)	n. a.
Gummi Naturkautschuk	Vor 3500 Jahren in Mittelamerika	Elastomer	ca. 10 Mt (2020)	k. A.
Synthesekautschuk	Deutsches Patent 1909, während des Ersten Weltkriegs, 2500 t	Elastomer	14,4 Mio t (2020)	k. A.
Silikone	Chemisch Polyorganosiloxane, gibt es als Öl, Harz, Gel, Dichtmasse und Elastomer	Keine Einordnung möglich	> 2,6 Mt	k. A.
Silikonkautschuk	Erfunden 1940, großtechnisch in den 1950er-Jahren	Elastomer	ca. 1Mt	k. A.
Gummiarabikum	Seit 4000 Jahren gehandelt	Elastomer	60 000 t	n. a.
Löwenzahnkautschuk ¹	2016	Elastomer	kleine Mengen	n. a.

Abb. 8.1: Beispiele für Monomere und die daraus produzierten Polymere zweier Plastiksarten. Links: Das Polymer PET besteht aus Monomeren der Terephthalsäure (TPA, englisch: terephthalic acid), die mit Ethylenglykol verestert sind. Man spricht daher auch von einem Polyester. Rechts: Das Polymer PC besteht aus vielen Monomeren Bisphenol A (BPA), die über Carbonat-Brücken (–O–CO–O–) verknüpft sind.

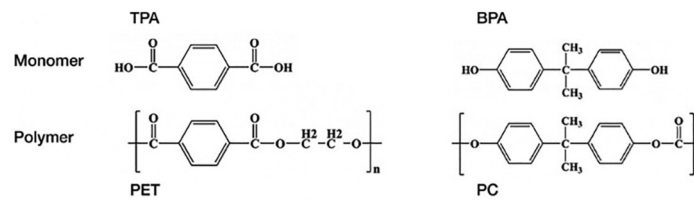


Tabelle 9.1: Beispiele für verschiedene Gruppen von Additiven, die durch sie beeinflussten Eigenschaften des Kunststoffes und Eigenschaften der Additive selbst (nach Maier & Schiller 2016 sowie den dort genannten weiteren Autoren).

Additivgruppe	Veränderung des Plastiks	Eigenschaften der Additive
Antioxidantien	Verhinderung von Alterung durch Oxidation	Wasserstoff-Donor Hydroperoxid-Zersetzer Radikalfänger
Antistatika	Verhinderung elektrostatischer Aufladung und damit der Anziehung von Staub	Verbessern die elektrische Leitfähigkeit von Plastik
Aufheller, optische	Brillanz, Farbwirkung: weiß statt gelblich	Wandeln UV-Licht in sichtbares blaues Licht um
Farben	Ästhetik; durchgehende Färbung	Wirken auch als Lichtschutzmittel
Flammschutzmittel	Beeinflussen das Brandverhalten, indem sie die (ansonsten gute) Brennbarkeit von Kunststoffen reduzieren beziehungsweise das Abbrennen verlangsamen	Chlor- und bromhaltige organische Verbindungen, die beim Verbrennen Energie verbrauchen (endotherme Reaktion von Halogenwasserstoff mit Sauerstoff)
Füllstoffe	Müssen vor allem billig sein, denn sie sollen den Kunststoff kostengünstiger machen; können manche Eigenschaften auch günstig beeinflussen	Calciumcarbonat (Kalk/Kreide), Gips (Kalziumsulfat) und Magnesia (Magnesiumoxid)
Gleitmittel	Hauptsächlich zur besseren Verarbeitbarkeit von Kunststoffen	Fette, Wachse oder Seifen

(Fortsetzung nächste Seite)

Hitzestabilisatoren	Schützen vor Hitze, Verfärbung, Versprödung, Rissbildung und chemischem Abbau	Radikalfänger, Phosphite oder Phosphonite
Lichtschutzmittel	Verminderung der Alterung durch UV-Absorption	Lichtabsorption, Radikalfänger
Säurefänger	Fangen saure Abbauprodukte ab	Kalzium- oder Zinkstearat, Epoxide
Thermostabilisatoren	siehe Hitzestabilisatoren	
Treibmittel	Machen Plastik leichter, verbessern Schall-, Stoß- und Wärmedämmung	Gase (N ₂ , CO ₂) oder Gasbildner
Vernetzungsmittel	Bewirken die dreidimensionale Vernetzung von (zweidimensionalen) Polymerketten	Je nach Plastikart: bei Duroplasten »Härter«, bei Elastomeren Schwefel zur Vulkanisation
Verstärkungsmittel	Fasern (Glas, Karbon, Aramid, Naturfasern) oder Partikel (Kreide, Glas)	Sorgen in der Polymermatrix für mehr Festigkeit, Steifigkeit, Schlagzähigkeit und Formstabilität
Weichmacher	Bewirken Flexibilität, Elastizität und vermindern Versprödung	Phthalate u. a.