

# Wie gefährlich ist Plastikmüll oder Mikroplastik?

Dieser Text enthält Hyperlinks in blauer Schrift, die mit „Strg+Maus-Klick“ aufgerufen werden können.  
Der Sprung zurück gelingt mit „Alt+←“. Dies gilt auch für die Überschriften im Inhaltsverzeichnis.

---

## Inhalt

<b>Übersicht: Wie gefährlich ist Plastikmüll oder Mikroplastik?</b> .....	4
Einleitung und Absicht .....	4
Motivation .....	5
Vorab Grundlegendes .....	5
Zu den medialen Feststellungen.....	6
Plastikmüll ist eine Bedrohung für den Globus! .....	6
Die Strände sind mit Kunststoffteilen zugemüllt? .....	7
Riesige „Plastikmüll-Inseln“ treiben in den Ozeanen? .....	8
Sind Kunststoffteile mehrere hundert Jahre beständig und damit fast unvergänglich? ...	8
Kunststoffteile töten viele Tiere? .....	8
Kunststoffteile zerfallen zu Mikroplastik? .....	9
Gelangt Mikroplastik über die Nahrungskette und am Schluss auf unsere Teller? .....	10
Schädigen Mikroplastikteile tierische Organismen und auch menschliche Zellen?.....	10
Ist Plastikgebrauch eine Verschwendung von Rohstoffen? .....	11
Konsequenzen:.....	13
<b>Vertiefungsthemen – alphabetisch geordnet</b> .....	15
Abbauzeit von Kunststoffen .....	15
Abbaumechanismen .....	17
Wärme, Temperatur .....	18
Strahlung .....	19
Mechanische Belastung .....	19
Chemische Angriffe .....	19

Biologischer Abbau .....	21
Beim Kunststoffabbau außerdem zu berücksichtigen .....	22
Haltbarkeit von Kunststoffen .....	23
Auswirkungen des Kunststoffabbaus auf die Umwelt: .....	24
Abbausimulation von Kunststoffen .....	25
Aerosole.....	26
Ausbreitung von Plastikabfall im Meer .....	27
Horizontale Verteilung.....	27
Plastikmüll-Strudel.....	32
Maßnahmen gegen Kunststoffmüll in den Meeren .....	32
Vertikale Verteilung.....	35
Situation.....	35
Bio-Kunststoffe als Problemlösung? .....	36
Bio-basierte, biologisch nicht abbaubare Kunststoffe .....	37
Bio-basierte, biologisch abbaubare Kunststoffe .....	37
Synthetische, biologisch abbaubare Kunststoffe .....	38
Inkorporation biologisch abbaubarer Kunststoffe .....	38
Gefährlichkeit von Kunststoffen.....	39
Kunststoff, Plastik, Polymere .....	39
Energiebilanz von Kunststoff und anderen Materialien.....	41
Vorzüge von Kunststoffen .....	42
Kunststoffe in Zahlen .....	43
Die mengenmäßig wichtigsten Polymersorten (Kunststoffe) .....	43
Qualität .....	44
Lösliche Polymere (Kunststoffe).....	45
Mengenangaben .....	46
Mikroplastik.....	47
Definition/Unterscheidung:.....	47
Synthetisiertes Mikroplastik (primäres Mikroplastik Typ A) .....	49
Mikroplastik aus Abrieb und Verwitterung (Teil des sekundären Mikroplastiks).....	49
Mikroplastik aus wild deponierten Kunststoffen (sekundären Mikroplastik).....	50
Mikroplastik-Ausbreitung.....	51
Synthetisiertes Mikroplastik.....	51
Mikroplastik aus Abrieb und Verwitterung .....	51

Mikroplastik aus wild deponierten Kunststoffen .....	52
Mikroplastik in der Nahrungskette? .....	53
Nachweis von Mikroplastik .....	55
Nachweis.....	55
Probengewinnung.....	58
Plastikmüll .....	59
Plastikmüll-Entsorgung.....	62
Polyethylen (PE) .....	65
Polyethylenterephthalat (PET, PETP) .....	66
Polyvinylchlorid (PVC) .....	67
Polystyrol (PS).....	67
Toxizität von Kunststoffen.....	67
Toxizität von Mikroplastik .....	70
Kunststoffabfall-Vermeidung – aber richtig.....	71
Plastiktüten .....	71
Wattestäbchen.....	72
Doppelverpackungen .....	72
Wegwerf-Praxis.....	72
Anhang.....	74
Gegen unsachliche Debatten.....	74
Anleitung zur Manipulation – natürlich nicht ganz ernst gemeint.....	74
Literatur Grundlagen und Übersichten .....	78

---

## Übersicht:

# Wie gefährlich ist Plastikmüll oder Mikroplastik?

### Einleitung und Absicht

Die Medien zitieren Forscher und Experten mit Feststellungen zur Bedrohung von Ökosystemen durch fast unvergänglichem Plastikmüll, zur tödlichen Gefahr des Plastikmülls für Tiere oder zur Vergiftungsgefahr durch [Mikroplastik](#)<sup>1</sup>, das wir beim Essen zu uns nehmen. Doch fast nie werden die Feststellungen nachvollziehbar begründet. Die Expertenmeinung scheint auszureichen. Somit bleibt jedem, der so informiert wird, nur die Möglichkeit, solche Aussagen zu glauben. Nur Wenige sind in der Lage, die grundlegenden Fakten selbst zu recherchieren.

Dieser Beitrag – ursprünglich entstanden aus PowerPoint-Vorträgen - versucht deshalb, die erforderlichen Informationen und Zusammenhänge so zusammenzustellen, dass auch der Nichtfachmann sich ein eigenständiges Urteil bilden kann. Das Gebiet Plastikmüll und Mikroplastik ist sehr umfassend. Fakten aus vielen wissenschaftlichen Disziplinen sind zu berücksichtigen und verständlich vorzustellen.

Es ist aber nicht notwendig, zum besseren Verständnis der Materie, den gesamten Beitrag lesen zu müssen. Der Interessierte hat mehrere Möglichkeiten, an die gewünschten Informationen zu gelangen: Da der Beitrag in elektronischer Form vorliegt, kann die Suchfunktion der Anzeige-Software genutzt werden. Der klassische Weg über das Inhaltsverzeichnis wird ergänzt durch zahlreiche Querverweise im Text, die als Sprungmarken ausgelegt sind: mit diesen Sprungmarken (Hyperlinks<sup>2</sup>) gelangt man, wie man es bei vielen Internet-Informationen gewohnt ist, zu Abschnitten mit weiterführenden Erklärungen. So kann das gesamte Themengebiet individuell erschlossen werden. Auch das Inhaltsverzeichnis funktioniert wie eine Sprungmarke zu den einzelnen Kapiteln.

Dieser Beitrag besteht aus einem **Übersichtskapitel**, in der die wichtigsten Themen und kritischen Aussagen kurz vorgestellt werden, und aus dem **Hauptteil** mit alphabetisch sortierten **Vertiefungsthemen**.

---

<sup>1</sup> Es gibt erst wenig Artikel, die sich um eine sachliche Darstellung bemühen. Beispiele: Yves Bellinghausen, „Besser als sein Ruf?“, Cicero, 03.2019, S.72 oder YouTube-Beitrag von Prof. Dr. Christian Laforsch, „Biotopia Prof. Laforsch“ [https://www.youtube.com/watch?v=ZHWI5GFZ\\_wM](https://www.youtube.com/watch?v=ZHWI5GFZ_wM)

<sup>2</sup> Hyperlinks funktionieren wie folgt: Maus auf den blauen, unterstrichenen Text zeigen lassen und dann String-Taste + Maus-Klick betätigen. Die Darstellung springt dann zum gewünschten Kapitel. Zurück geht es mit der Tastenkombination [Alt + ←].

## Motivation

Warum die Mühe für einen solchen Beitrag? Erschreckende Bilder von zugemüllten Stränden und sterbenden Tieren sowie Berichte über mögliche Vergiftungen durch Plastikmüll, über totale Vermüllung der Ozeane mit praktisch unvergänglichem Plastik kann man nicht ignorieren. Was haben wir bisher übersehen? Was ist dran an den Feststellungen?

Soviel vorab: Die eingehende Beschäftigung mit diesem Thema führt nicht zu einem „Schwarz-Weiß-Bild“! Weder die apokalyptischen Szenarien sind berechtigt noch die Haltung eines „weiter so“, „alles halb so schlimm“.

Manche meinen es gut und wollen mit apokalyptischen Bildern die meist träge Masse wachrütteln. Doch ihre Übertreibungen könnten das Gegenteil ihrer Absicht bewirken! Denn falsche und überzogene Warnungen lassen abstumpfen. Abstumpfung führt zum „weiter so“. Dann unterbleibt zukunftsgerichtetes, sinnvolles Handeln. Gleichzeitig besteht die Gefahr, dass, wenn die Apokalypsen von Forschern verbreitet werden, die Wissenschaft in Verruf gerät!

Die Motive anderer, die das Apokalypse-Projektions-Spiel auch betreiben, werden hier übergangen. Diese Proponenten verfolgen Ziele außerhalb der Faktenwelt und sind dann sowieso immun gegen Argumente.

Sehr positiv zu werten ist die Zunahme von Maßnahmen gegen die Abfall-Flut. Die Medien berichten auch über viele erfolversprechende Projekte, die Privat-Initiativen, Umweltverbände und auch die Industrie initiiert haben.

So erfreulich das ist, es gibt auch die Kehrseite: die eigentlichen Verursacher fühlen sich entlastet! Doch die eigentlichen Verursacher sind wir, die Menschen, die heute den Globus bevölkern. Auch wir in Deutschland, die wir den Grünen Punkt erfunden haben, werfen noch immer, was wir nicht brauchen, aus dem Autofenster, aus der Tasche weg in die Natur. **Wir haben noch nicht gelernt, dass hauptsächlich wir den Planeten vermüllen und weniger die Industrie!** Der Mensch ist eigentlich ein zu rationalen Entscheidungen durchaus befähigtes Wesen und sollte daher in der Lage sein, verantwortlich mit seiner Umwelt umgehen zu können. Hier ist eine breit angelegte Öffentlichkeitsarbeit notwendig, beginnend in den Schulen. Allerdings gibt es auch politische Kreise, die das anders sehen, und den Menschen wie Affen in einen Käfig aus Verboten und Gesetzen einsperren möchten<sup>3</sup>.

## Vorab Grundlegendes:

**Zum Begriff Plastik:** [Plastik](#) ist die volkstümliche Bezeichnung für Kunststoff – hat aber auch eine abwertende Bedeutung. Wertneutral ist hingegen der Begriff „Kunststoff“. [Kunststoff](#) ist eine Werkstoffklasse, eine Materialart mit sehr vielen Vertretern. Allen Kunststoffen gemein ist die Zusammensetzung aus sehr langen Kettenmolekülen, die auch Makromoleküle oder Polymere genannt werden. Oft sind Kunststoffe kombiniert aus Polymeren und Zusatz-

---

<sup>3</sup> Nur eines von vielen Beispielen: <http://www.europarl.europa.eu/news/de/press-room/20190321IPR32111/wegwerfprodukte-aus-plastik-parlament-stimmt-fur-verbot-ab-2021>

stoffen. Bei Faserverbundwerkstoffen sind das beispielsweise die Kombination von Glas- oder Kohlefasern, die in Kunststoff eingebettet sind. Meist ohne Zusatzstoffe kommen die mengenmäßig überwiegenden Verpackungskunststoffe aus. Folglich ist beim Kunststoff-Abfall immer zu berücksichtigen, wie der Kunststoff zusammengesetzt ist und auch was mit ihm auf dem Weg zum Abfall alles passiert ist.

**Zu Mengenangaben:** Es klingt immer sehr präzise und fundiert, wenn angegeben wird, wieviel Kunststoffmüll in die Meere gelangt, wieviel Tiere durch Plastikmüll erstickt sind und wieviel Mikroplastik in der Natur vorkommt. Doch man bedenke: wer hat diese Zahlen erfasst? Wer zählt an allen Stränden und Flussufern der Welt den Abfallkunststoff? Wer seziiert alle Tierkadaver, um deren Todesursache zu ermitteln? Wer erfasst quantitativ komplett alle Mikroplastikteile in der Umwelt? Dazu muss man wissen, dass erst allmählich unter den Experten eine Einigung zur Größen-Definition von Mikroplastik zustande kommt! Außerdem gibt es noch keine etablierten Nachweisverfahren für Mikroplastik. Die Nachweisschwierigkeiten nehmen zu, je kleiner die Teilchen sind.

Die meisten Mengenangaben zum Müllthema basieren deshalb auf Hochrechnungen, also Schätzungen. Doch die Schätz-Parameter, die bei einer wissenschaftlichen Arbeit immer angegeben werden müssen, fehlen fast immer!

Trotz dieser Vorbehalte werden an den betreffenden Stellen in diesem Beitrag die eher fragwürdigen Mengenangaben zitiert – als Vermutung zitiert. Es ist ja nicht auszuschließen, dass einige Vermutungen in der Nähe tatsächlicher Werte liegen.

## **Zu den medialen Feststellungen**

### **Plastikmüll ist eine Bedrohung für den Globus!**

Um sachlich zu bleiben, wird in diesem Beitrag der Begriff „Kunststoff“ anstelle von „Plastik“ verwendet.

Folgende Bedrohungsszenarien machen Front gegen Kunststoffverwendung:

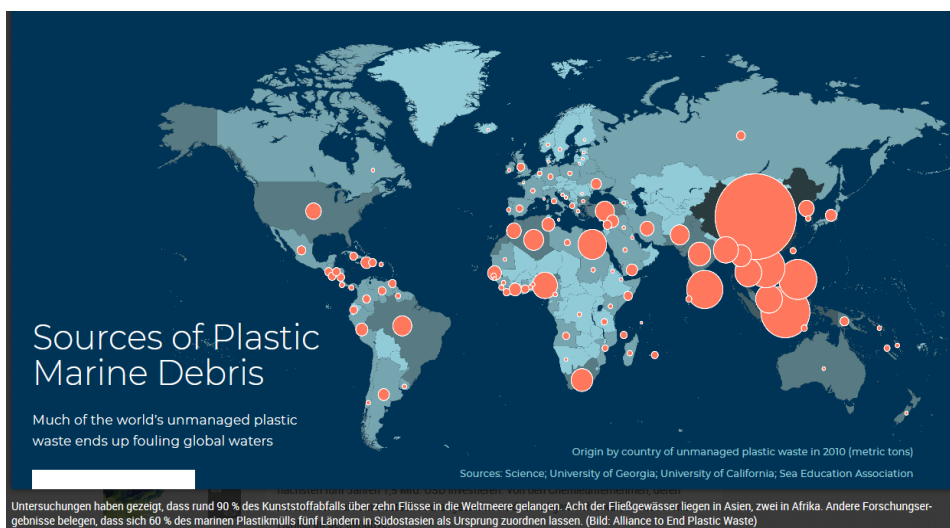
- Die Strände sind mit Kunststoffteilen zugemüllt.
- Riesige „Plastikmüll-Inseln“ treiben in den Ozeanen.
- Die Kunststoffteile sind mit mehreren hundert Jahren Beständigkeit fast unvergänglich, also häufen sich die Probleme damit auf.
- Kunststoffteile töten viele Tiere.
- Kunststoffteile zerfallen zu Mikroplastik.
- Mikroplastik gelangt in die Nahrungskette und am Schluss auf unseren Tellern.
- Mikroplastikteile schädigen nicht nur tierische Organismen, sondern auch menschliche Zellen.
- Plastikgebrauch ist keine Verschwendung von Rohstoffen.

- Plastikmüll stört Kommunikation<sup>4</sup>

Doch es gilt auch hier: Pauschalurteile sind fast immer verkehrt. Das bedeutet aber nicht, dass es keine Probleme gibt!

### Die Strände sind mit Kunststoffteilen zugemüllt?

Das Problem betrifft vorwiegend Küsten im asiatischen Raum. Aber auch in Mittelamerika und Südamerika gibt es viele verschmutzte Strände. Ursache ist eine fehlende oder unzureichende Müllbeseitigungsinfrastruktur. So gelangt dort der Müll über die Flüsse ins Meer. Aus physikalischen Gründen wird die Hauptmenge wieder an die Küste zurückgespült. Von dort könnte man es leichter als auf offener See mit gutem Willen wieder entfernen. Erfreulich,



erste Maßnahmen in dieser Hinsicht werden schon ergriffen.

Allerdings ist zu bedenken ist, dass der Kunststoffmüll gar nicht das Hauptproblem ist: es wird ja nicht nur Kunststoffmüll „wild“ entsorgt.

Auch der andere Müll, der oft Giftstoffe und Krankheitserreger enthält, wird genauso in die Umwelt entsorgt – ist aber nicht so gut sichtbar wie Kunststoffteile!

Kunststoffmüll an Nord- und Ostseestränden stammt hauptsächlich von küstennahen Havarien.

Trotz eingeübter Müllsammelungs- und Trennungspraxis gibt es auch hierzulande Schmutzfinnen, denen der Müll auf jeder Strecke zum Autofenster hinaus entgleitet oder beim Spaziergang aus den Taschen fällt!

Auch sonst sollten wir uns nicht moralisch über andere Nationen erheben. Es ist noch gar nicht so lange her, als es als ausgesprochen fortschrittlich galt, Müll und Fäkalien über Bäche und Flüsse abtransportieren zu lassen<sup>5</sup>.

<sup>4</sup> Fränkische Zeitung, 17.4.2019, S. 9; Dieser Artikel bezieht sich auf eine [Forschungsarbeit](#), in der festgestellt wurde, dass die Signalstoff Kairomone sich sowohl an Kunststoffteile (Abfall) und Glas anlagern; also ein generell durch Müll verursachtes Problem. Der Artikel blendet diesen Sachverhalt aus. Und damit erscheint Plastik wieder als besonders problematisch.

<sup>5</sup> **Johann Peter Hebel** (1760 - 1826) bezog sich in einem seiner Gedichte auf Freiburgs Bächle, die den gesamten Altstadt kern durchziehen und den Unrat entsorgen: „Z’Friburg in der Stadt, sufer isch’s un glatt“

Heute fühlen wir uns gut, wenn der Müll fast vollständig recycelt oder verbrannt wird. Dabei vergessen wir Milliarden Kubikmeter Müll, der in alten Deponien schlummert und dort kaum besser wird!

### **Riesige „[Plastikmüll-Inseln](#)“ treiben in den Ozeanen?**

Es gehört auch zu den physikalischen Phänomenen, dass sich im Meer schwimmende Teile dort anhäufen, wo die Strömung sehr schwach ist. In den Zentren aller Ozeane gibt es solche Bereiche. So gelangt alles, was auf „hoher See“ weggeworfen wird oder verloren geht, früher oder später in diesen Bereichen. Das betrifft nicht nur die Kunststoffteile!

Die Mengen, die dort an Kunststoffmüll vorkommen könnten, sind beachtlich. Ob die Größenordnungen stimmen, sei dahingestellt. Es ist in jedem Fall unverantwortlich, seinen Müll über Bord zu werfen und der Natur zu überlassen. Das mag zu Zeiten, als die Erdbevölkerung deutlich geringer war, weniger problematisch gewesen sein, aber heute müssen wir uns auch hier ein anderes Verhalten antrainieren.

Übrigens spektakuläre Bilder von den „Plastikmüll-Inseln“ oder „Plastikmüll-Strudel“ gibt es nicht – kann es (noch) nicht geben: die Mülldichte ist zu gering. Umgerechnet kommt auf eine Fläche von etwa 300 m<sup>2</sup> erst ein Kunststoffteil mit der Größe einer kleinen Getränkeflasche.

### **Sind Kunststoffteile mehrere hundert Jahre [beständig](#) und damit fast unvergänglich?**

Alle Materialien, also auch Kunststoffe, altern. Die Geschwindigkeit hängt vom Material und von den Umgebungsbedingungen ab. Im Vergleich zu biologischen Materialien sind viele Kunststoffe beständiger, da die Natur (noch) kaum Enzyme zum Abbau entwickelt hat. Die [Polymere](#), auf diese kommt es beim Kunststoff-Abbau besonders an, besitzen meistens wenig Angriffsstellen für Enzyme.

Neben dem enzymatischen Abbau gibt es etliche Mechanismen, die dem Kunststoff zusetzen, so dass der Abbau eher Jahre oder wenige Jahrzehnte aber keine Jahrhunderte dauern dürfte. Zwar unter besonderen Bedingungen sind auch Jahrtausende Haltbarkeit denkbar – sonst wäre die Gletscherleiche Ötzi auch nicht so gut erhalten geblieben.

Je länger ein Stoff haltbar ist, desto stärker kann sich sein Auftreten in der Umwelt akkumulieren. Deshalb ist es unverantwortlich, solche Stoffe einfach der Natur zu überlassen. Es war deshalb richtig, Deponien für den Hausmüll zu schließen. Allerdings wird man sich früher oder später nochmals mit diesen Altlasten beschäftigen müssen.

### **Kunststoffteile töten viele Tiere?**

Es ist unbestreitbar, dass Tiere den im Meer treibenden Müll mit Nahrung verwechseln, irrtümlich aufnehmen und daran ersticken oder dadurch verhungern. Sie können sich in Kunststoffteilen verheddern oder von ihnen sogar stranguliert werden. Für diese Unbill ist der Mensch verantwortlich.



Über die [Anzahl der betroffenen Tiere](#) gibt es stark divergierende Angaben. Verwunderlich ist, dass immer nur das Bild des toten [Albatros](#) in unzähligen Publikationen auftritt. Müsste es nicht viel mehr andere Beispielfotos geben?

Eigentlich passen sich Tiere recht schnell an die von der Zivilisation veränderte Umwelt an, lernen mit ihr umzugehen, wenn es keine fundamentalen Eingriffe gibt. Die Vermüllung der Strände erfolgt schleichend - anders als bei Tankschiff-Havarien. Also gibt es mehr Zeit für Anpassungen. Doch vielleicht ist auch gerade die Anpassung Grund für die versehentliche Aufnahme von Kunststoffteilen anstatt von Nahrungsmitteln. Denn dort, wo Kunststoffmüll vorkommt, werden auch viele Nahrungsmittelreste vorkommen, die für Tiere verlockend sind. Also ein weiterer Grund, allen Müll verantwortlich zu entsorgen.

### **Kunststoffteile zerfallen zu [Mikroplastik](#)?**

Das ist richtig. Kunststoffteile zerbröseln mit der Zeit. Unter Bewitterung verläuft dieser Vorgang noch schneller. Der Zerfall, der Abbau von Kunststoffteilen erfolgt nicht nur von der Oberfläche her, sondern wirkt auch im Inneren von Kunststoffteilen durch Versprödung und innere Spannungen.

Übrigens steht dieser Zerfall zu Mikroplastik im Kontrast zu der immer noch anzutreffenden Falsch-Aussage, dass Kunststoffe in der Natur über mehrere hundert Jahre beständig sind (siehe oben)! Je kleiner die Kunststoffteilchen sind, desto schneller schreitet ihr Abbau voran. Am Ende des Abbaus stehen bei vielen Polymeren dann Kohlenstoffdioxid und Wasser.

Mikroplastik entsteht nicht nur beim Abbau von Kunststoffabfall. In unserer Umwelt stammt die Hauptmenge vom Abrieb. Hierfür gibt es drei große Quellen: Farbanstriche, Textilien und Reifen!

Vermeidungs-Ansätze gibt es derzeit noch kaum. Der inzwischen weitestgehend umgesetzte Verzicht von Mikroplastik in Kosmetika und Reinigungsmittel ist allerdings kein nennenswerter Beitrag zur Reduzierung von Mikroplastik in der Umwelt: der Anteil an der gesamten Mikroplastikmenge war kaum von Bedeutung. Es handelt sich also hierbei wieder um Symbol-Politik.

Das Mikroplastik-Problem wird bei uns (Deutschland und andere Industriestaaten) etwas durch den technisch guten Stand unserer Klärwerkstechnik entschärft. Diese hält je nach Wetter (genau: Regenmengen) zwischen 90 und 99% der Mikroplastik zurück. Der Rest und das, was aber direkt in die Flüsse gerät oder vom Wind fortgetragen wird, gelangt am Ende auch ins Meer.

Was mit Mikroplastik im Meer passiert ist unerforscht. Es gibt Annahmen, dass es aufgrund höherer Dichte im Vergleich zum Meerwasser zum Meeresboden sinkt. Auch durch Bio-Fouling können die Plastikteilchen spezifisch schwerer werden. Es ist aber auch möglich, dass diese Plastikfracht wieder an die Küsten zurückgespült wird.

### **Gelangt Mikroplastik über die [Nahrungskette](#) und am Schluss auf unsere Teller?**

Tierische Organismen können Kunststoffteile nicht verdauen. Der Organismus behandelt diese wie Ballaststoffe und scheidet sie umgehend aus. Wenn der eingefangene Lachs solche Mikroplastikteile kurz vorher noch aufgenommen haben sollte, befinden sie sich in seinem Magen-Darm-Trakt, der vor der Zubereitung entfernt wird. Sein Mageninhalt findet sich nicht wieder auf den Tellern. Anders sieht es bei Meeresfrüchten wie Shrimps aus, die komplett verspeist werden. Dann haben wir Mikroplastik tatsächlich auf dem Teller. Doch diese Teile nimmt unser Organismus auch nicht auf und scheidet sie wie Ballaststoff aus. Für die übliche Ernährungspraxis ist das aber eher eine eher selten vorkommende Situation.

Viel häufiger anzutreffen dürfte aber das als Aerosol verteilte Mikroplastik sein. Diese gelangt mit großer Wahrscheinlichkeit auf unsere Teller. Dazu gibt es den direkten Weg über die Luft oder über Nahrungsmittel jeglicher Art. So wurde Mikroplastik in Bier und Honig gefunden. Vor dem Hintergrund der grundsätzlichen Schwierigkeiten, die die Analytik mit Mikroplastik hat, gibt es doch auch ohne Messung die Wahrscheinlichkeit, Mikroplastik überall anzutreffen.

### **Schädigen Mikroplastikteile tierische Organismen und auch menschliche Zellen?**

Es gibt inzwischen viele Untersuchungen, die das solche [Schädigungen](#) nahelegen. Doch sieht man sich diese Untersuchungen genauer an, stellt man fest, dass bei den Experimenten immer sehr hohe Mikroplastikkonzentrationen angewandt wurden. Aus Sicht der Experimentatoren ist das nachvollziehbar. Denn nur so können sie überhaupt Effekte erzeugen – sie würden allerdings sagen, um die Beobachtungszeit zu verkürzen. Aber offen bleibt die Frage, ob die Effekte auch in dem Konzentrationsbereich gelten, der in der Praxis relevant ist. Effekte, die man bei hohen Konzentrationen festgestellt hat, darf man in der Biologie und Medizin eigentlich nie auf niedrige Konzentrationen übertragen! Nur ein Beispiel: trinkt ein Mensch in sehr kurzer Zeit mehr als 8 Liter Wasser, droht er zu sterben. Ist deshalb Wasser giftig? Jeder weiß, dass kleinere Mengen unproblematisch sind.

Allerdings ist zu berücksichtigen, dass die Toxikologie meistens sehr komplex ist. Es kann vorkommen, dass Mikroplastikteilchen auch Giftstoffe anlagern und manchmal auch anreichern können (→Vektor-Funktion). Dann ist das aber eher ein Problem der unkontrollierten Giftstoff-Freisetzung und nicht der Kunststoffe. Unter Umständen könnte man dann sogar die Giftstoffe auf diesem Weg der Natur entziehen.

Mikroplastik ist nicht gleich Mikroplastik. Es gibt Kunststoffe aus unsauberer Produktion. Es gibt Kunststoffe, die für bestimmte Einsatzzwecke Stoffe enthalten, die für Organismen problematisch sein können. Deshalb muss(t)en Toxikologen solche Faktoren bei ihren Ergebnisberichten berücksichtigen. Ein pauschales Urteil über Toxizität von Mikroplastik ist nicht seriös.

## Ist Plastikgebrauch eine Verschwendung von Rohstoffen?

Die Frage müsste eigentlich auf alles, was wir Menschen anfassen, ausgeweitet werden. Nicht nur für Kunststoffe werden Ressourcen aufgewendet. Diese gehen einerseits direkt in das Produkt über und werden andererseits für die Herstellung und Transport verbraucht. Außerdem muss auch der Ressourcenverbrauch für die Entsorgung berücksichtigt werden. Speziell beim Recyceln entsteht ein Aufwand, der oft subventioniert werden muss. (Wäre Kunststoff-Recycling wirtschaftlich, erübrigten sich Abgaben, die die Verpackungsindustrie an den „Grünen Punkt“<sup>6</sup> zu zahlen hat.)

Es ist daher wichtig, immer verantwortlich zu entscheiden, ob etwas wirklich gebraucht wird. Bei Kunststoffen ist dieser Entscheidungsdruck allerdings deutlich kleiner als bei anderen Materialien: Kunststoffe sind günstiger – also weniger ressourcenverbrauchend – in der Herstellung, sind leichter zu transportieren und geben bei der Müllverbrennung sogar einen Teil der aufgewandten Ressourcen zurück<sup>7</sup>. Polyethylen hat sogar einen leicht höheren Heizwert als Heizöl!

Statt über Kunststoffalternativen nachzudenken, die fast alle ressourcenaufwändiger sind, sollte man sich besser die Frage nach der Notwendigkeit des Gebrauchs stellen. Denn auch, wenn die im Kunststoffteil enthaltene Energie wieder zurückgewonnen werden kann, so ist der Energieaufwand, der bei Herstellung und Transport anfiel, verloren!

Kunststoffanwendungen können nicht pauschaliert betrachtet werden. Es gibt das ganze Spektrum aus Anwendungsfeldern für kurzfristigen Gebrauch (z.B. Verpackungsfolien) bis zu sehr langlebigen Anwendungen (z.B. Flugzeugteile). Dabei sind Verpackungsfolien nicht unwichtiger: sie schützen Material vor Verfall oder Beschädigung und sichern so deren Werterhalt, der den der Folie mehrfach übertrifft. Ob die Folie dann stofflich oder energetisch recycelt wird, ist dann eher sekundär. Doch keinesfalls sollte die Verpackung übertrieben werden!

Im Medizin- und Lebensmittelbereich sind Hygienefortschritte ohne Einmalkunststoffe nicht aufrecht zu halten. Die alten Praktiken, die manche noch von früher kennen, sind allein aus energetischen Gründen schon bedeutend aufwändiger.

Plastikflaschen lassen sich, wenn überhaupt, nur viel begrenzter Recyceln als Glasflaschen. Berücksichtigt man die energetische Gesamtbilanz; Glasherstellung aufgeteilt auf die mittleren Recycling-Umläufe; höheres Transportgewicht und damit auch Beschränkung der auf 40

---

<sup>6</sup> Der Grüne Punkt – Duales System Deutschland GmbH, 51145 Köln-Porz-Eil, Ein Unternehmen der DSD – Duales System Holding GmbH & Co. KG

<sup>7</sup> Wenn 95% des Erdöls und des Erdgases energetisch umgesetzt werden und nur 5% zur Herstellung von u.a. Kunststoffen, ist eine energetische Kunststoffmüll-Verwertung am Ende eines Produktlebens nur logisch. Es werden daher große Mengen des vom Grünen Punkt eingesammelten Müll an die Müllverbrennungen verkauft. Die Müllverbrennungen müssen dann weniger Heizöl oder Erdgas einsetzen, um den energetisch schwachlastigen Restmüll verbrennen zu können. Allerdings war der Restmüll vor der Zeit der Mülltrennung nicht so schwachlastig!

Energetisch ist die Zugabe von Kunststoff-Abfällen in die Müllverbrennung sinnvoll. Der Verbraucher sollte aber wissen, dass er hierfür zweimal bezahlt, was eigentlich nichts kosten dürfte: für jedes verpackte Produkt wird über den Handel eine Gebühr an den Grünen Punkt abgeführt. Für diese Verpackung zahlt dann die Müllverbrennungs-Gesellschaft und damit der Verbraucher nochmal eine Gebühr an den Grünen Punkt.

t begrenzten Zuladung, die mehr Transporte erforderlich macht; Ähnliches gilt für Rücktransport; Kontrolle und sorgfältige Reinigung benötigen Energie und Reinigungsressourcen. Auch der Weg über das Altglasrecycling ist kein Königsweg. Generell gilt nämlich, dass keine Variante grundsätzlich zu bevorzugen oder abzulehnen ist. Verantwortliches Handeln prüft den Einzelfall.

In der Elektronik gibt es Anwendungen, die wie Leiterplatten oder Chips ohne Kunststoff gar nicht möglich wären. Hier stellt sich dann nur die kritische Frage zur Gebrauchsdauer und zur Reparaturfähigkeit.

Letztendlich ist es immer die eigene Verantwortung zu entscheiden, wie mit Ressourcen umgegangen wird. Generell gibt es keinen Ressourcenverbrauch, der nicht umweltschädlich wäre. Richtig ist auch, dass ein Lebewesen wie der Mensch, ohne Ressourcenverbrauch nicht überleben kann. Richtig ist wahrscheinlich, dass der spezifische Ressourcenverbrauch in den Industrieländern zu hoch ist. Allerdings gibt es hierzu keinen bekannten Grenzwert.

Manche tendieren deshalb zu Verboten. Die Praxis zeigt aber, dass Verbote fast nie das bewirken, was sie sollen. Umgehungen, Übertretungen sind nur die eine Seite begrenzter Wirksamkeit. Verbote sind praktisch immer lückenhaft. Die Haltung, was nicht verboten ist, ist erlaubt, greift um sich. Wirksamer wäre aber ein umsichtiges, verantwortliches Handeln. Das sehen aber einige als zu idealistisch und wirklichkeitsfremd.

Wahrscheinlich ist deshalb der Mittelweg einzuschlagen.

Erste Folgerungen:

### 1. Verbreitung von Mikroplastik

Es besteht kein Zweifel, dass Mikroplastik als Aerosol den gesamten Planeten überzogen hat. Wollte man dies ändern, müsste praktisch auf jeden Kunststoffgebrauch verzichtet werden. Dann würde es noch Jahrzehnte dauern, bis die Hauptmengen überall abgebaut sind.

### 2. Schädlichkeit von Mikroplastik und Plastikmüll

Die große Beliebtheit von Kunststoffartikeln gründet nicht nur auf ihre Preiswürdigkeit, sondern auf toxikologische Unbedenklichkeit dieser Materialien. Das gilt auch für das Zerkleinerungsprodukt, den Mikroplastik- und Nano-Plastikteilchen. Wie überall gibt es aber auch wenige Sonderfälle, die sich anders verhalten, auf die man auch gezielt reagieren könnte.

### 3. Unverantwortliche Entsorgung

Wirkliche Probleme mit Plastikmüll gibt es nur dort, wo unverantwortlich entsorgt wird. Dazu gehört nicht nur das Verklappen von Müll im Meer oder das Abkippen von Plastikmüll in Fließgewässer, sondern auch das staatlich unterstützte System vom Grünen Punkt! Das Verantwortungsprinzip bei Abfällen ( ) ist beim Grünen Punkt aufgehoben. Während die chemische Industrie für jedes Kilogramm Abfall rechenschaftspflichtig ist, kann der Grüne Punkt

Plastikmüll ohne Nachweis weltweit verschippert – also unverantwortlich. Dass es dabei zu Entsorgungsfehlern kommt, ist eher zwangsläufig.

#### 4. Bewusster Umgang mit Materialien

Bevor ein Kunststoffartikel Müll wird, steht die Entscheidung, ob es sinnvoll war, diesen Artikel zu beschaffen. Diese Frage muss individuell – und nicht per Gesetz – beantwortet werden. Kunststoffartikel sind preisgünstig und verleiten daher schnell zu einem übermäßigen Verbrauch.

Doch der Umgang mit Materialien und Energien wird meistens nur durch den Preis beeinflusst. Bei Verwendung von Papier denkt kaum jemand an die Bäume, die dafür gefällt werden mussten. Unser Trinkwasser nutzen wir auch für die Toilettenspülung, weil wir nichts anderes haben. Dabei ist Trinkwasser ein Lebensmittel, das dafür oft mit großem Aufwand aufbereitet werden muss.

Ein Faktor, der die Verbrauchs- und Wegwerf-Mentalität begünstigt, ist die Relation Material-Kosten zu Arbeitskosten. Löhne und Gehälter sind stärker gestiegen als die Materialkosten. Materialien also Gegenstände werden weniger „wert“-geschätzt als die Arbeit. Folglich dürfen Materialien nicht viel kosten. Der Trend in der Herstellung geht deshalb in Richtung automatisierte Massenfertigung, bei der dann der Arbeitskostenanteil sehr gering ist. Bei Kunststoffe-Artikeln ist dieser Aspekt besonders ausgeprägt.

Eine Reparatur lohnt sich dann kaum noch. So einfach sind wir in die Wegwerfgesellschaft geschlittert.

#### **Konsequenzen:**

Die Plastikmüllansammlungen an den Küsten müssen entfernt werden, aber noch wichtiger ist es, dafür zu sorgen, dass mit dem Müll richtig umgegangen wird, er also nicht in die Flüsse gekippt oder auf ungesicherten Halden abgelagert wird. Um diesen präventiven Ansatz voranzutreiben, hat die chemische Industrie jüngst ein weltweites [Großprojekt](#) gestartet.

Doch die geregelte Müll-Entsorgung mit mehr oder weniger Recycling, wie sie beispielsweise in Deutschland praktiziert wird, ist kein Freifahrtschein zum gedankenlosen Umgang mit Materialien (Kunststoffe etc.). Auch beim Recyceln wird Energie verbraucht und beim Verbrennen bekommt man nur den Energiegehalt des Produktes zurück, nicht den der Herstellung.

Ein bisher noch wenig beachtetes Phänomen ist die Erzeugung feinsten Partikel, die bei der Nutzung von Produkten durch Verwitterung und Abrieb entstehen - nicht nur beim Schleifen und Polieren! Bei Kunststoffteilen entsteht schon bei der Nutzung Mikroplastik und danach Nanoplastik. Wo bleibt der Gummi abgelaufener Schuhsohlen? Warum ist das Sieb der Waschmaschine immer wieder zu reinigen?

In der Umwelt werden die sehr feinen Partikel von Wasser und Wind unkontrolliert verbreitet. Dann zerfallen sie möglicherweise in noch viel kleinere Teilchen, die der Wind über die Atmosphäre auf dem gesamten Globus verteilt.

Weil man das damit verbundene, mögliche Gefahrenpotential derzeit nicht hundertprozentig bewerten<sup>8</sup> kann, müssen wir aus Verantwortung diese Verbreitung und im Vorfeld die Entstehung minimieren. Es müssen bei allen Stoffen, die im größeren Maßstab zum Einsatz kommen, die Entwicklungen, Abriebe zu minimieren, intensiviert werden.

Fazit: Es ist aus naturwissenschaftlichen, medizinischen oder technischen Fakten nicht zu begründen, irgendeine Kunststoffanwendung zu verbieten, wenn damit verantwortlich umgegangen wird. Das wäre nur aus politischen Gründen zu rechtfertigen – „Recht“ fertigen! Solche Verbote unterstellen aber ein Menschenbild eines unmündigen Bürgers. Die Befürworter einer solchen Politik sollten sich fragen, warum der Bürger unmündig sei. Sind es biologische Gründe oder hat man ihn nicht mündig werden lassen?

Zusammenfassend die wesentlichen Fakten und Handlungsempfehlungen:

- ➔ Von Plastikabfällen wie auch von Mikroplastik geht in der Regel keine Gefahr aus! Entsprechende Warnungen sind nicht gerechtfertigt.
- ➔ Kunststoff-Abfälle entstehen nicht alleine. Sie weisen aber darauf hin, dass auch anderer, oftmals gefährlicherer Müll auf gleiche Weise an gleicher Stelle entsorgt worden ist! Deshalb sind alle Abfälle bestmöglich zu entsorgen.
- ➔ Selbst, wenn Mikroplastik „auf den Teller“ gelangt, wird es wie Ballaststoff unverändert ausgeschieden.
- ➔ Es ist sehr wahrscheinlich, dass das Meer die größten Abfallmengen wieder ans Land zurückspült. Nur, was auf hoher See verklappt wird, landet in den berühmten Garbage Patches.
- ➔ Kunststoffe sind in der Regel keinesfalls mehrere hundert Jahre haltbar.

Aber:

- ➔ Es ist nicht hinzunehmen, dass die Natur durch Müll verschandelt wird – nicht nur durch weggeworfene Kunststoffe
- ➔ Müll auf offener See hat vermutlich eine längere Verweilzeit als Müll an Land, wenn man die Tiefsee einbezieht.

Deshalb:

- ➔ Zu begrüßen sind Aktionen wie die der chemischen Industrie, gleich an den Quellen das Übel zu bekämpfen. Sehr wichtig sind auch Säuberungsaktionen an den Stränden. Das Müll-Einsammeln auf hoher See steckt verfahrenstechnisch noch in den Anfängen. Nicht nur die relativ selten anzutreffenden Kunststoffteile stellen eine Herausforderung dar.
- ➔ Erforderlich sind international abgestimmte Aktionen, den Müll-Zuwachs (nicht nur Kunststoffe) in den Meeren einzudämmen.
- ➔ Viele für das Plastikmüll-Problem angebotenen Lösungen sind fragwürdig, oft ökologisch bedenklicher als Kunststoff.

---

<sup>8</sup> Aufgrund der Ungiftigkeit der allermeisten Kunststoffarten, dürften auch die weit- und fein-verteilten Mikro- und Nano-Plastikteilchen eher harmlos sein.

- Es gibt keine bessere Lösung als der verantwortliche Umgang mit Rohstoffen und Produkten daraus!

Dr. Dieter Kunz

---

## Vertiefungsthemen – alphabetisch geordnet

---

### Abbauzeit von Kunststoffen

Die Feststellung, [Kunststoffe](#) wären mehrere hundert Jahre haltbar, ist als allgemeine Aussage unqualifiziert. Die Haltbarkeit bzw. die Abbau-Fähigkeit hängt bei jedem Material ab von den Umgebungsbedingungen, von der chemischen Struktur und vom Aufbau sowie der Gestalt des Objekts. Natürlich kann man Kunststoffe konserviert so lagern, dass sie mehrere hundert Jahre überstehen würden.

Doch in der Praxis schreitet der Abbau oft schneller fort als gewünscht und Entwicklungsabteilungen in der chemischen Industrie bemühen sich, die Haltbarkeit zu verlängern.

Das betrifft aber fast nie die Kunststoffe für Verpackungen und Einmalartikel, die etwa die Hälfte der produzierten Kunststoffe ausmachen. Denn diese müssen wegen ihres meist kurzzeitigen Einsatzes nicht noch länger haltbar gemacht werden. Die Verpackungskunststoffe sind meistens chemisch sehr einfache, kostengünstige Materialien. Ausnahmen sind komplexere Lebensmittelverpackungen aus mehreren Barriere-Schichten wie beispielsweise Schnittkäseverpackungen.

Für den [Abbau](#) von Kunststoffen sind die Eigenschaften der jeweiligen **Polymere** in der Hauptsache verantwortlich, denn sie sind als „Bindemittel“ für den Zusammenhalt vorrangig zuständig. Deshalb wird nachfolgend der Abbau bei Polymeren behandelt. Auf einige Sonderfälle, in denen Füllstoffe Einfluss auf die Abbaugeschwindigkeit haben, wird hingewiesen.

Zur Beurteilung der Abbaufähigkeit von Polymeren bis zur molekularen Auflösung liegen nur sehr spärliche Forschungsergebnisse bislang vor. Die meisten Untersuchungen befassen sich mit den Einflüssen, die zur Unbrauchbarkeit eines Kunststoffobjektes führen (→ Ehrenstein). Die Themen sind Vergilbungsbeständigkeit, Versprödung oder Festigkeitsabbau. Es sind also Eigenschaften, die anfängliches Versagen charakterisieren. Bei diesen Untersuchungen wurden auch die grundsätzlichen Abbaumechanismen bei Kunststoffen herausgefunden. Offen

bleibt aber, was im weiteren Verlauf eines Abbaus also bis zur vollständigen Zersetzung (Mineralisation) geschieht, denn eine Extrapolation ist aus naturwissenschaftlicher Sicht nicht erlaubt. Der Weg des vollständigen Abbaus von Kunststoffen kann also derzeit nur aufgrund naturwissenschaftlicher Gesetzmäßigkeiten **abgeschätzt** werden<sup>9</sup>! Nur das Endprodukt der Zersetzung ist eindeutig: aus organischen Polymeren entsteht am Ende Kohlenstoffdioxid und Wasser.

Die meisten Polymere gehören wie Bio-Materialien zu Materialien der organischen Chemie. Trotzdem sind sie unter Umweltbedingungen meistens länger haltbar als biologische Materialien. Dies liegt u.a. daran, dass sich die zersetzenden Bakterien, Mikroben und Pilze noch nicht evolutionär an diese junge Materialklasse anpassen konnten. Die (derzeit noch) gute Umweltbeständigkeit von Kunststoffen macht man sich zunutze, um durch Anstrich andere Materialien (z.B. Metalle, Holz) länger haltbar zu machen. Ein anderer Grund für die Haltbarkeit sind die kaum vorhandenen Angriffsstellen für Bakterien beispielsweise bei Polyethylen und Polypropylen. Diese können fast nur von den Enden der riesigen Molekülketten angegriffen werden und bei Ketten mit mehreren Millionen Monomer Einheiten sind die Kettenenden statistisch sehr selten anzutreffen.

Grundsätzlich ist organisches Material, unabhängig ob biologisch entstanden oder synthetisiert, weniger haltbar als andere Materialien wie Keramik, Gläsern oder Metalle. Der Grund dafür ist der spezielle Aufbau von Kunststoffen aus sehr langen, ineinander verschlauften Molekülketten. Bei metallischen oder keramischen Werkstoffen sind die einzelnen Atome in Koordinationszellen (Kristallgitter) miteinander mehrfach verbunden. Doch ein organisches Kettenglied hat nur zwei Verbindungsnachbarn. In einer Koordinationszelle sind es dagegen zwischen 4 und 8 Nachbarn. Die Lockerung einer dieser Verbindungen wirkt sich dort dann weniger dramatisch aus als bei Kettenverbindungen.

Manchmal gibt es im Polymerverbund auch geordnete Bereiche, in den die Ketten sich stückweise aneinandergelagert haben. Man spricht dann von kristallinen Strukturen. Wo die Molekülkettensegmente untereinander verschlauft oder kristallisiert sind, ist ihre Beweglichkeit praktisch blockiert. Sie sind fest. Entstanden sind sie aus flüssigen oder gasförmigen Molekülen. Es gilt daher, je länger die Molekülketten sind und je mehr kristalline Strukturen er enthält, desto fester ist der Werkstoff. Ein fester Stoff ist meistens schlechter angreifbar als eine Flüssigkeit oder ein Gas.

---

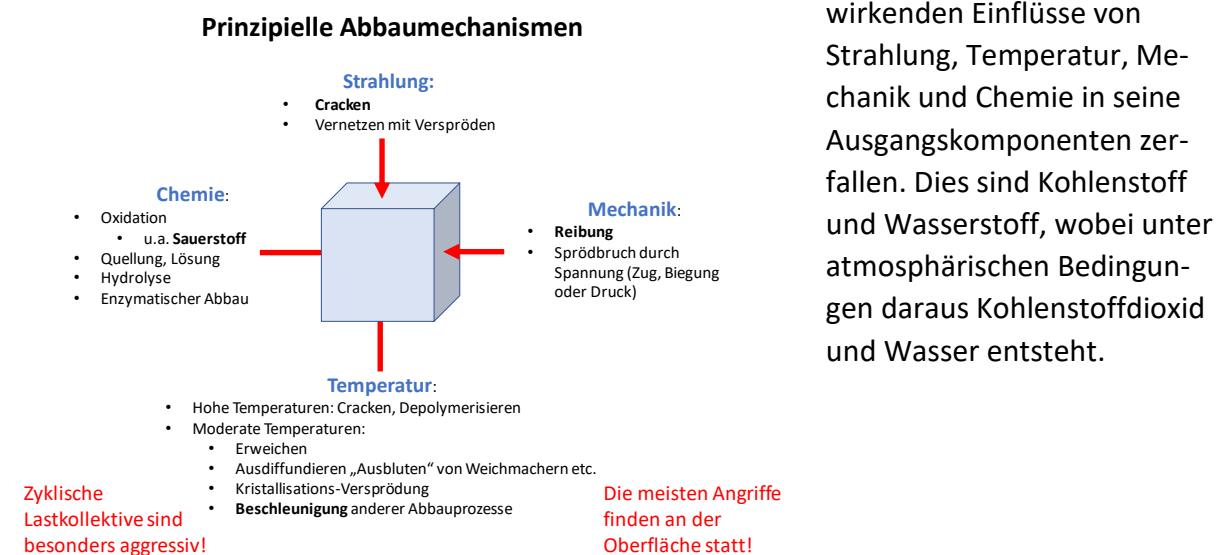
<sup>9</sup> Es gibt bislang wenig praxisrelevante Komplett-Abbau-Untersuchungen für Massenkunststoffen wie beispielsweise die Untersuchungen zum [Reifenabrieb](#). Bio-Kunststoffe werden dagegen ausführlicher untersucht, um ihren Vorteil der Abbaubarkeit nachweisen zu können. Interessant ist aber die Untersuchung von Imogen Napper und Richard Thompson von der Universität Plymouth: Sie verglichen den Abbau von PE-Kunststofftragetaschen mit Tragetaschen aus biologisch abbaubaren Materialien unter verschiedenen Bedingungen (an Luft, im Wasser, im Boden) in einem Zeitraum von drei Jahren. Dabei waren alle Luftproben nach drei Jahren abgebaut, die biologisch abbaubaren auch in Wasser. Im Boden war der Abbau auch bei den biologisch abbaubaren Materialien recht gering!



Voraussetzung für einen Abbau von Polymeren ist das Aufbrechen von Ketten-Bindungen. Dabei genügt es jedoch nicht, dass es zum Bindungsbruch kommt. Beim Bindungsbruch entstehen zwei ungepaarte Elektronen (Radikale), die hoch reaktiv sind. Werden sie nicht durch äußere Kräfte (Bewegung, Versetzen oder Dehnung) auseinandergezogen und stehen sich längere Zeit gegenüber, verbinden sie sich wieder (rekombinieren) und der Bruch ist geheilt. Für den Ketten-Abbau ist deshalb neben dem Bindungsbruch auch ein weiterer Mechanismus günstig, der die Rekombination verhindert.

## Abbaumechanismen

Ist ein Polymer Umwelteinflüssen ausgesetzt, wird es mit der Zeit durch die oft kombiniert



wirkenden Einflüsse von Strahlung, Temperatur, Mechanik und Chemie in seine Ausgangskomponenten zerfallen. Dies sind Kohlenstoff und Wasserstoff, wobei unter atmosphärischen Bedingungen daraus Kohlenstoffdioxid und Wasser entsteht.

Kunststoffe sind eigentlich Feststoffe. Die chemisch wirkenden Abbaumechanismen finden in der Regel von der Oberfläche her statt. Dort werden dann die Polymere, die den Zusammenhalt des Kunststoffobjekts bewirken, angegriffen und zerkleinert. Die Abbaugeschwindigkeit ist proportional zur Oberfläche; eigentlich zur Zugänglichkeit der Oberfläche. Sie wird erhöht, wenn das Kunststoffobjekt beim Abbau auch gespalten wird z.B. durch Strahlung, Reibung oder thermischer Spannung.

Um sich den Kunststoffabbau besser vorstellen zu können, betrachtet man am besten die molekulare Struktur. Kunststoffe (→ [Kunststoffe](#)) bestehen aus sehr, sehr großen Ketten-

Molekülen (Makro-Molekülen = Polymere), die manchmal auch untereinander wie Netzwerke verbunden sind. Diese Molekülketten sind wie mehrere Wollknäuel miteinander verschlauft.

Kunststoffe enthalten oft Zusatzstoffe (Füllstoffe, Additive), die beim Abbau freigesetzt werden. Je nach den vorherrschenden Bedingungen werden diese schneller oder langsamer abgebaut.

Für den Abbau ist es günstig, wenn die abzubauenen Komponenten in gelöster Form vorliegen. Dies trifft auf wasserlösliche Polymere besonders zu.

Die einzelnen Mechanismen:

### **Wärme, Temperatur**

Wärme schädigt im unteren Temperaturniveau (Raumtemperatur oder darunter) nicht direkt. Wärme begünstigt aber alle andere Schad-Mechanismen. So nimmt die Festigkeit bei Temperaturerhöhung ab. Erfolgt die Erwärmung nicht gleichmäßig, kommt es zu Thermospannung, die dann ohne äußere Krafteinwirkung mechanisch zerstörerisch wirkt. Die Wärme erleichtert auch die Beweglichkeit von Additiven im Kunststoff. Diese haben die Tendenz an die Oberfläche zu wandern (osmotischer Druck), weil sie dort schnell abgetragen (abgespült, abgerieben, sublimiert) werden können. Sind das Weichmacheradditive (betrifft Verpackungskunststoffe fast gar nicht), dann versprödet der Kunststoff und wird mechanisch empfindlicher. Wärme erleichtert im Wasser außerdem Quellungs- und Hydrolyse-Prozesse. Auch der Angriff von Sauerstoff wird erleichtert. Für den Angriff von Bakterien gibt es günstige Temperaturfenster. Darüber oder darunter schwindet die Wirkung.

Generell werden alle chemischen Abbaumechanismen durch Wärme (10 Grad Temperaturerhöhung bewirkt eine Verdoppelung der Reaktionsgeschwindigkeit) begünstigt.

Wärme im hohen Temperaturbereich (manchmal schon ab 190°C) führt zur Kettenspaltung. Solche Temperaturen kommen in der Umwelt nur im Bereich vulkanischer Aktivitäten (u.a. Smokers) vor. Im technischen Bereich nutzt man diese Extremwärme, um Molekülketten zu spalten. Unter Sauerstoffausschluss werden bei Temperaturen um 600°C die Moleküle gecrackt, um bei der Erdöl-Raffinerie gewünschte Öl-Fractionen zu erzeugen. In früheren Zeiten hat der Köhler auf diese Weise aus Holz Holzkohle hergestellt. Auch beim Kunststoff-Recyclen wird dieses als Pyrolyse (richtiger: Thermolyse) bezeichnete Verfahren eingesetzt, um aus den Polymerketten wieder Chemie-Rohstoffe zurückzugewinnen. Bei der Altreifenverwertung ist dieses Verfahren bereits etabliert, bei Abfall-Kunststoffen noch in der Entwicklung.

## Strahlung

**Strahlenbelastung** wird hervorgerufen durch UV-Licht, durch Radioaktivität der Boden und Baustoffen sowie durch Höhenstrahlung. Bei der Strahlenbelastung werden einzelne Bindungen durch elektromagnetische Wechselwirkung aufgespalten. Das Sonnenlicht hat im UV-Bereich genügend Energie (343 kJ/mol bei 350 nm reichen theoretisch aus, die Bindungsenergie von zwei Kohlenstoffatomen mit 335 kJ/mol zu überwinden), um organische Bindungen spalten zu können. Polymere mit Heteroatomen wie Sauerstoff und Stickstoff sind empfindlicher. Additive können aber die Empfindlichkeit steigern oder abschwächen.

Die Wirkung der Strahlung ist an der Oberfläche am höchsten. Sie lässt ins Innere nach einem Exponentialgesetz nach. Sind genügend Molekülketten durchtrennt, zerbröseln der Kunststoff.

In der Anfangsphase einer Bestrahlung kann der Kunststoff durch mögliche Quervernetzung sogar fester als im Originalzustand werden. Dies ist aber für die Anwendung meistens ungünstig, da dies eine Versprödung darstellt. Spröder Kunststoff ist noch anfälliger für den Abbau.

Sichtbares Licht kann keine Molekülbindungen spalten. Jedoch kann es, wenn es von dunkel eingefärbten Kunststoffen absorbiert wird, das Kunststoffobjekt erwärmen und damit andere Abbaumechanismen unterstützen. (siehe dazu Abschnitt über „Wärme“)

Steht er unter Spannung (mechanisch, thermisch) zerfällt er besonders schnell.

## Mechanische Belastung

Bei mechanischer Belastung (Zug, Druck, Biegung, Scherung, Abrieb, Schwingung) wird die äußere Kraft auf die Molekülketten übertragen, die im Verbund sehr stabil sind. So können mehrere Streichhölzer zusammen nicht so gut geknickt werden, wie ein Einzelnes. Ist die äußere Kraft groß genug, brechen und entschlaufen viele Molekülketten. Die mechanische Krafteinwirkung führt nicht nur zum Kettenbruch, sondern zieht auch die entstandenen Bruchstücke auseinander, so dass eine Rekombination erschwert wird. Erst jüngst wurde durch systematische Untersuchung festgestellt<sup>10</sup>, wie sich Cellulose unter Krafteinwirkung effizienter hydrolysieren lässt.

Ein Bruch muss nicht sofort am Bauteil sichtbar werden. Manchmal tritt ein makroskopischer Bruch erst später nach mehrmaligen Belastungen oder nach Vorschädigungen durch andere Mechanismen auf.

## Chemische Angriffe

Für chemische Angriffe auf Kunststoffe gibt es vielfältige Möglichkeiten.

---

<sup>10</sup> S. Amirjalayer, H. Fuchs, D. Marx: [Understanding the Mechanocatalytic Conversion of Biomass: A Low-Energy One-Step Reaction Mechanism by Applying Mechanical Force](#). Angewandte Chemie Int. Ed. (2019); DOI: 10.1002/anie.201811091

- Feuchtigkeit
- Oxidantien wie Sauerstoff, wobei Luftsauerstoff nur sehr langsam angreift, oder NOx oder SO2.
- Katalysatoren – manchmal auch als Verunreinigung mit den Rohstoffen eingeschleppt.
- Bakterien

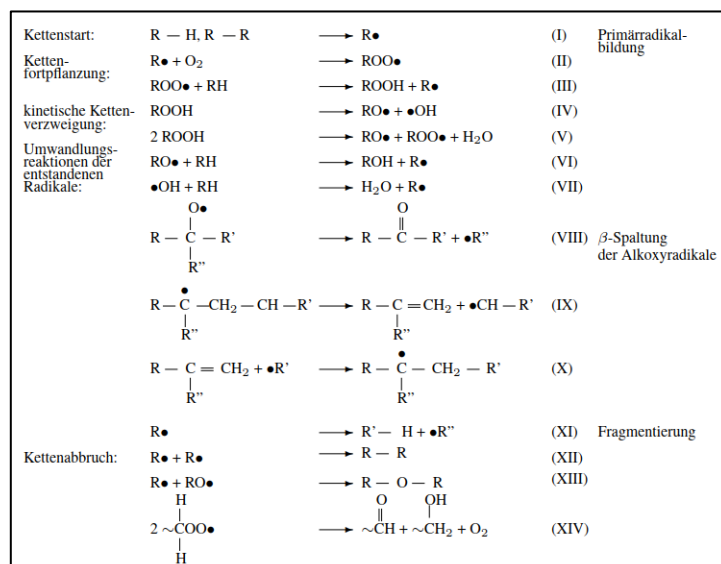
Beim chemischen Abbau sind immer die spezifischen Bedingungen zu berücksichtigen. Die nachfolgenden Faktoren geben einen groben Hinweis darauf. Konkretere Hinweise sind bei der Beschreibung der [wichtigsten Kunststoffe](#) zu finden.

**Feuchtigkeit** ist für alle Materialien, deren Zusammenhalt auf polaren Molekülstrukturen (Ester, Amide) beruhen, problematisch. Aber auch unpolare Verbindungen wie die Polyolefine können angegriffen werden, wenn mit Feuchtigkeit z.B. bei der Taubildung ein dünner Wasserfilm entsteht, der eine photo-chemische Reaktion ermöglicht (EHRENSTEIN S.73), oder Füllstoffe quellen und damit einen inneren Druck erzeugen.

Kunststoffe mit hydrophilen Polymerstrukturen werden von Wasser schneller angegriffen, wenn es warm, sauer oder alkalisch ist. Den Angriff nennt man Hydrolyse. Aber auch Kunststoffe, deren Molekülketten nicht hydrolyse-empfindlich sind, aber polare Komponenten (als Seitengruppe oder Additiv oder Zusatzstoff) enthalten, nehmen Feuchtigkeit auf und quellen dabei. Dadurch entsteht Quell-Spannung, die ähnlich wie mechanische Belastung wirkt. Reine Polyolefine, aus denen die meisten Verpackungsmittel bestehen, sind jedoch feuchte-resistent.

Der Abbaumechanismus „Hydrolyse“ ist für Polymere, die durch Polykondensation hergestellt worden sind (z.B. PET, Polyamide) die Umkehrung der Synthese! Die erforderliche Wassermenge ist gering. Feuchtigkeit der Luft kann schon ausreichen.

Das bedeutendste **Oxidationsmittel ist Sauerstoff**. Es wird oft übersehen, dass sich das Leben in einem metastabilen Zustand abspielt, denn die Luft enthält 21% Sauerstoff und der einzig stabile Zustand für die Moleküle, aus denen die belebte Natur besteht, ist CO<sub>2</sub>! Der Angriff von Sauerstoff auf organische Materie (Kunststoffe oder Natur-Materialien) erfolgt allerdings sehr, sehr langsam. Nur unter beschleunigenden (= katalytischen) Bedingungen (z.B. die durch Cytochrom-c-Oxidase eisenkatalysierte Oxidation von NADH mit Sauerstoff: Atmungskette) oder nach Energiezufuhr



zur Überwindung der Aktivierungsenergie-Barriere (Streichholz!), wird die Sauerstoff-Oxidation schnell. Mäßig schnelle Sauerstoff-Oxidationen kennt man vielleicht aus der Verfestigung von Leinöl-Firnis oder aus der Selbstentzündung von Kohlehalden. Bevor aber ein Kunststoff unter Normalbedingung allein durch Sauerstoff-Oxidation zerlegt wird, vergehen sehr viele Jahre.

Die Verbrennung ist eine besonders effektive Oxidation. Bei einer Verbrennung können dann auch zusätzlich die Oxidationsmittel NO<sub>2</sub> und SO<sub>2</sub> entstehen die ebenfalls Kunststoffe angreifen können.

In der nebenstehenden Abbildung ist nach Ehrenstein (Seite 45) der relativ komplizierte Oxidationsangriff von Sauerstoff auf organische Materie dargestellt.

### Biologischer Abbau

Es werden inzwischen immer mehr **Bakterienstämme** gefunden, die Kunststoffe angreifen können. Bakterien sind in der Regel an natürliches, organisches Material angepasst. Da aber dieses auch Komponenten enthält, die im Kunststoff vorkommen (z.B. Olefin-Struktur im Wachs, Phenolstrukturen im Lignin, Isopren in Kautschuk), ist eine Adaption der Bakterien auf das immer häufiger in der Umwelt vorkommende Material nicht verwunderlich.

Die Dörrobst-Motte *Plodia interpunctuella* und die Große Wachsmotte *Galleria mellonella* können mithilfe von Darmbakterien **Polyethylen** abbauen. Die Mottenlarve *Galleria mellonella* kann Polyethylen-Folien innerhalb von wenigen Stunden durchlöchern. Das Bakterium *Ideonella sakaiensis* kann **PET** angreifen. Das Enzym Cutinase spaltet Esterbindungen. Eine Modifikation macht das Enzym so effizient, dass PET-Recycling wirtschaftlich werden könnte. Aus der zurückgewonnenen Terephthalsäure ließ sich wieder hochwertiges PET herstellen<sup>11</sup>. Der Gießkannen-Schimmel *Aspergillus tubingensis* baut Polyester-Urethane ab. Der Mehlkäfer (*Tenebrio molitor*) kann sich von **Polystyrol** ernähren<sup>12</sup>. In der Mehlkäfer-Gattung *Zophobas atratus* wurde das Bakterium *Pseudomonas aeruginosa* gefunden, das mit dem Enzym *Serinhydrolase* **Polystyrol** sehr effizient abbaut<sup>13</sup>.

Die Kunststoffe werden beim Abbau in der Natur vor dem bakteriellen Abbau entweder durch Umwelteinflüsse zerkleinert oder durch ein zerstörerisches Mikroklima zerlegt und dann aufgenommen.

Bakterien sind mit verantwortlich für den relativ schnellen Abbau des Reifenabriebs. Der Abbau beträgt 0,68% pro Tag<sup>14</sup>. Damit dauert der Gesamtabbau etwa 2 Jahre. Der Reifengummi ist eben im Vergleich zu manchen anderen Kunststoffsorten wegen seiner überwiegenden Isopren-Struktur, die auch in der Natur (Kautschuk) vielfach vorkommt, für Mikroben

---

<sup>11</sup> V. Tournier et al. Nature 2020, 580, 216

<sup>12</sup> <https://de.wikipedia.org/wiki/Kunststoff>

<sup>13</sup> Hong Rae Kim et al.; "Biodegradation of Polystyrene by *Pseudomonas* sp. Isolated from the Gut of Superworms (Larvae of *Zophobas atratus*)"; Environ. Sci. Technol.; 2020

<sup>14</sup> Environmental Degradation of Tire-Wear Particles, S. H. Cadle and R. L. Williams, Rubber Chemistry and Technology, September 1980, Vol. 53, No. 4, pp. 903-914

leichter zugänglich. Wie fast immer wirken in der Praxis verschiedene Mechanismen zusammen: Für den schnellen Abbau ist auch von Vorteil, dass der Abrieb durch das Flachwalzen – solange er auf der Straße liegt – eine große Oberfläche erhält. Dadurch wird die oxidative und die strahlungsbedingte Spaltung von Doppelbindungen erleichtert.

### **Beim Kunststoffabbau außerdem zu berücksichtigen**

**Reaktive Komponenten** im [Kunststoff](#) wie manche Additive, Füllstoffe oder Produktionsreste können die Abbaumechanismen fördern. Metallspuren aus der Herstellung oder aus Verunreinigungen vom Füllstoff – besonders Kupfer und Eisen – beschleunigen fast immer den Abbau.

Im Zusammenhang mit der kritisierten Haltbarkeit von Kunststoffen, kam man auf die Idee, durch Additive wie Cobalt, Mangan oder Eisen den Zerfall aktiv zu beschleunigen („Oxo-Plastik“ oder „Oxo-abbaubare Kunststoffe“). Bedenkt man, dass die hierfür verwendeten Additive teilweise bioziden Charakter haben und damit nicht nur einen biologischen Abbau behindern, sondern eine Kontamination der Umwelt darstellen, versteht man Verbotsbestrebungen für diese Art der Problemlösung.

In der Regel werden aber Additive so ausgewählt, dass der Kunststoff länger haltbar wird („Stabilisatoren“).

Am **Ende des Kunststoffabbaus** steht die „Mineralisation“ (Begriff aus der Limnologie) mit den Endprodukten Wasser und Kohlenstoffdioxid. Enthält der Kunststoff Heteroatome wie Stickstoff oder Schwefel, entstehen bei der Mineralisation die entsprechenden Oxide bzw. deren Salze. Je nach Kunststoff und Füllstoff kommen dann auch noch in kleinerem Umfang andere Abbauprodukte vor, deren Auflistung so lang ist wie die vielen Möglichkeiten der Kunststoffgestaltung. Anorganische Füllstoffe wie Kreide, Ruß oder Quarz bleiben meist unverändert.

Die meisten Additive werden im Verlauf des Abbaus schon nach und nach freigesetzt und können dann schon zur Wirkung kommen. Da die ohnehin kleinen Mengen im Kunststoff dann über einen sehr langen Zeitraum abgegeben werden und anzunehmen ist, dass sie nicht am Ort verbleiben, ist ihre Wirkung sehr stark verringert. Trotzdem ist eine Abschätzung für den jeweiligen Fall geboten, denn manche Komponenten sind weniger harmlos, wie Biozide, schwermetallhaltige Stabilisatoren oder halogenhaltige Flammschutzmittel. Die organischen Verbindungen wie Weichmacher oder Farbstoffe unterliegen ebenfalls den Mechanismen des Abbaus organischer Moleküle.

---

## Haltbarkeit von Kunststoffen

Eine allgemeinverbindliche Aussage zur Haltbarkeit von Kunststoffen kann seriös nicht gegeben werden<sup>15</sup>. Die Umgebungsbedingungen und damit die Einflussfaktoren (→ [Abbaumechanismen](#)) unterscheiden sich nicht nur von Ort zu Ort, sondern sind auch an gleichen Ort Schwankungen unterworfen. Außerdem unterscheiden sich die Kunststoffe beträchtlich hinsichtlich ihrer Empfindlichkeit. Je nach Bedingung lassen sich organische Materialien in kürzester Zeit abbauen oder über sehr lange Zeiträume konservieren<sup>16</sup>. Das können – hochgerechnet – auch einige hundert oder tausend Jahre sein. Aber daraus kann man nicht schließen, dass Kunststoffe generell so lange halten. Man kann auch nicht aus dem Auffinden der Gletscherleiche Ötzi schließen, dass ein menschlicher Körper mehr als 6000 Jahre haltbar wäre.

Die immer wieder anzutreffenden Informationen über eine enorme Haltbarkeit von Kunststoffen im Bereich von 500 Jahren sind willkürliche Angaben, zu denen es allerdings keine wissenschaftlich validen Untersuchungen gibt<sup>17</sup>. (Recherchen des Autors haben dazu geführt, dass danach das Umweltbundesamt die entsprechenden Informationen von seinen Internetseiten gelöscht hat, da die Angaben nicht belegt werden konnten.) Natürlich erwartet niemand Messungen zur Haltbarkeit von Kunststoffen über 500 Jahre. Schließlich sind die ersten Kunststoffe gerade einmal gut hundert Jahre alt. Unter definierten Bedingungen kann man aber doch die Haltbarkeit durch Hochrechnung abschätzen. Jedoch werden solche Prognosen mit zunehmender Prognosezeit unsicherer, da man ja für die Praxis annehmen müsste, dass die Bedingungen konstant bleiben würden. Gleichbleibende Bedingungen für mehrere Jahrzehnte anzunehmen, ist unseriös. Aussagen über hunderte von Jahren haben dann nichts mehr mit Wissenschaft zu tun. Der Kunststoffabbau über die Zeit könnte schneller – vielleicht durch Klimaerwärmung – oder auch langsamer werden.

Unter Berücksichtigung der vielfältigen Abbaumechanismen sieht der Ablauf so aus, dass neben dem kontinuierlichen Angriff über die Oberfläche – wie auch bei anderen Stoffen üblich – noch zusätzlich ein makroskopischer Zerfall stattfindet, der auf die Zerstörung der Polymerstruktur zurückzuführen ist. Der Kunststoff zerbröseln in immer kleinere Bruchstücke. Der Kunststoff zerfällt im Prinzip auch von innen heraus!

Unter gegebenen, gleichbleibenden Bedingungen erfolgt der Abbau umso schneller (→ [Abbausimulation von Kunststoffen](#)), je kleiner die Teilchen geworden sind, denn durch den Zerfall vergrößert sich jedes Mal die Oberfläche. Aus Makro-Plastik entsteht Meso-Plastik, dann

---

<sup>15</sup> Die Untersuchungen kommen zu weit gefächerten Ergebnissen. Man findet Abbaugeschwindigkeiten von unter einem Jahr bis zu 2000 Jahren (Fraunhofer UMSICHT, S.28)

<sup>16</sup> Venedigs Bürgerhäuser stehen seit der Gründungszeit im Jahr 421 noch immer zum großen Teil auf einem Fundament, das auch durch Baumstämme (3m lange und 14cm dicke Pfähle überwiegend aus Eiche) an den Uferseiten stabilisiert ist.

<sup>17</sup> Im Internet und einigen Publikationen kursieren Tabellen und Grafiken mit besonders langer Haltbarkeit von Kunststoffen. Für PET-Flaschen wird die beispielsweise mit 450 Jahren angegeben. Die Informationen stammen vom MOT Laboratory, Sarasota, USA und wurden seinerzeit auch vom Umweltbundesamt aufgegriffen und weiterverbreitet.

[Mikro-Plastik](#), darauf Nano-Plastik und letztendlich die molekularen Ausgangsbestandteile. Allerdings sind diese Formen nur ein Durchgangsstadium auf dem Weg zur Mineralisation, zur vollständigen Auflösung – bezogen auf die Polymere.

### **Auswirkungen des Kunststoffabbaus auf die Umwelt:**

- a) Wenn der Kunststoff zerbröseln und dabei immer kleiner wird, kann er von der Stelle der Abfall-Deposition mit Wind und Wasser immer leichter ausgetragen werden. Dadurch verliert man die Kontrolle über dieses Material. Makroskopischer Kunststoff kann eingesammelt werden. Bei millimetergroßen Kunststoffteilchen ist das sehr, sehr aufwändig.  
Es gibt derzeit zu wenig Untersuchungen über mögliche Auswirkungen von Mikro- oder Nano-Plastik in der Umwelt. Nach dem Stand derzeitiger Erkenntnis ist jedoch nicht mit negativen Auswirkungen zu rechnen. Dies aber ungeprüft anzunehmen, grenzt an Fahrlässigkeit.
- b) Viele Kunststoffe enthalten Additive und Zusatzstoffe. Diese werden im Verlauf des Abbaus freigesetzt. In der Regel sind die Additiv-Konzentrationen im Kunststoff gering, weshalb die Konzentration im Umfeld nach Freisetzung in der Regel noch viel geringer ist. Allerdings kann es in speziellen Fällen auch zu Anreicherungen kommen. Gleiches gilt für Produktionsreste, die in manchen Billig-Produkten verstärkt anzutreffen sind.
- c) Der feinverteilte Kunststoffabbau kann die Boden-Mikrostruktur beeinflussen, deren Wirkung nicht verallgemeinert werden kann. Dramatisch dürften die Auswirkungen keinesfalls sein, da auch der zerbröselte Kunststoff kaum reaktiv ist. Das kann sich bei den letzten Abbauschritten leicht ändern, wenn aus den polymeren Bestandteilen dann kleine Moleküle mit Carboxyl-, Hydroxyl- oder Ketyl-Gruppen entstanden sind. Diese werden dann viel besser verstoffwechselt als die Polymerbestandteile. Die Mikroflora kann so beeinflusst werden.
- d) Die in manchen Kunststoffen enthaltenen Zusatzstoffe müssen beim Abbau separat betrachtet werden:  
Meistens bleiben sie unverändert. Da sie als Pulver in den Kunststoff eingeführt worden sind, werden sie am Ende wieder als Pulver freigesetzt und verteilen sich entsprechend ihrer sonstigen Eigenschaften.  
Organische Füllstoffe wie Holz werden langsam abgebaut.  
Füllstoffe wie Kreide werden durch Säure angegriffen und aufgelöst.  
Fasern aus Glas oder Kohlenstoff sind extrem witterungsresistent.



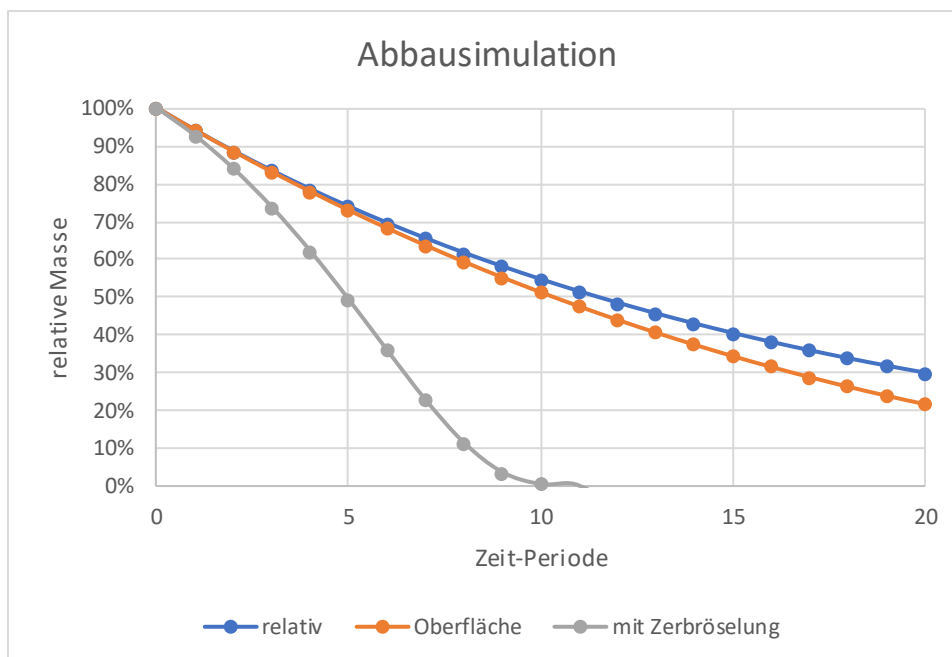
## Abbausimulation von Kunststoffen

In der folgenden Grafik wurde fiktiv angenommen, dass ein kugelförmiges Plastikteil in jeder Periode T um 5% abgebaut wird.

Die blaue Kurve zeigt den Massenabbau, wenn die Gesamtmasse immer um 5% reduziert würde. (Zinseszins-Formel)

Die orangefarbene Kurve gibt einen Massenabbau wieder, wenn von der Oberfläche in jeder Periode 5% entfernt werden. Die meisten Abbaumechanismen wirken über die Oberfläche.

Bei Kunststoffen kommt fast immer ein Zerbröseln hinzu, die den Abbau beschleunigt (graue Kurve).



Nimmt man zusätzlich zum Oberflächenabbau noch das Zerbröseln (für jede Periode nur eine Halbierung) an, erfolgt der Abbau noch schneller (graue Kurve).

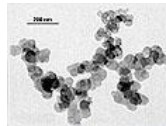
# Aerosole

Nano-Plastik-Teilchen tauchen inzwischen auch unter den Aerosolen auf. Aerosole sind in der Luft schwebende, kleinste Flüssigkeitströpfchen oder Festkörper. Sie kommen überall vor. Ein Teil der Aerosole hat natürlichen Ursprung (Wüstenstaub, Waldbrand, Meeressgisch, Vulkanismus, Bäume), ein anderer Teil wird vom Menschen gemacht (Verbrennungsvorgänge, Abrieb, Schleifen, Polieren). Auch feinste Kunststoffteilchen kommen als Aerosol vor.

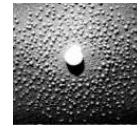
## Aerosole

Schwebende Tröpfchen oder Staubkörnchen  
(Größenbereich: nm bis  $\mu\text{m}$ ; 2000mal kleiner als das Punkt-Satzzeichen)

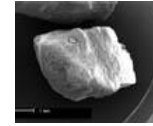
Beispiele:



Ruß



Schwefelsäure



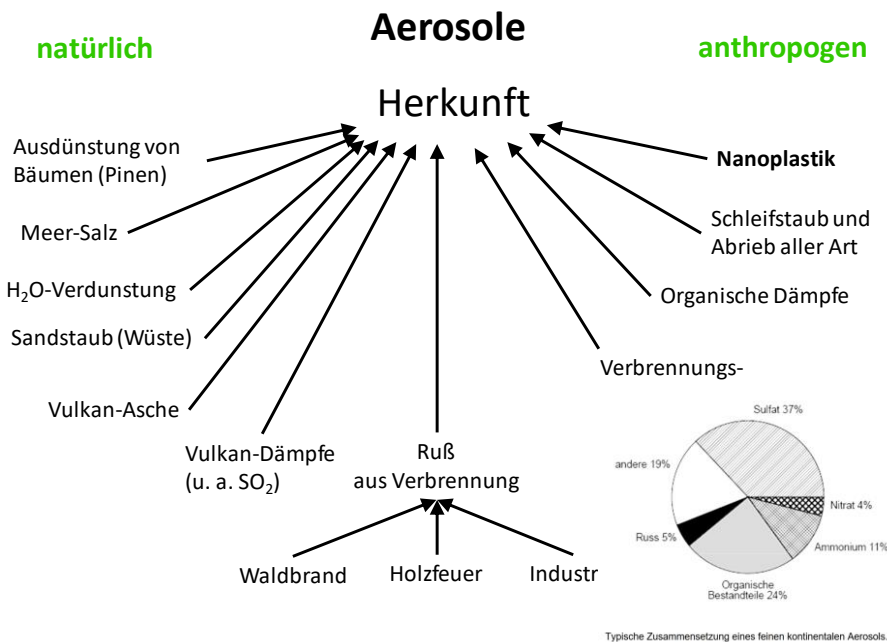
Meersalz

Durchschnittlich **10.000 Teilchen pro  $\text{cm}^3$  Luft!**  
aber nur  $\sim 20 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Stadtluft: über 100.000 – Antarktis 100  
Tendenz: zunehmend

Aerosole können mit Luftströmungen weite Wege zurücklegen. In ruhiger Luft sedimentieren sie, denn eigentlich können sie nicht schweben. Sie sedimentieren in Abhängigkeit ihres spezifischen Gewichts. Bei sehr kleinen Teilchen sind diese Zeiträume dann sehr lang.

Aerosole haben unterschiedliche Auswirkungen. So bewirken sie als Kondensationskeime Regen- und Schnee-Fall. Damit sinken sie zu Boden und nehmen auf ihrem Weg noch andere Aerosole mit. Die Auswaschung ist damit ein Regulativ für die Regententstehung.



In der Atmosphäre können Aerosole an Strahlungsprozessen (Absorption, Reflexion, Streuung) teilnehmen. Die konkreten Effekte sind noch wenig untersucht.

#### Wirkungen der Aerosole:

- Als Kondensationskeime → Wolkenbildung  
>50 bis 100 nm → Wolkenkeime
- Licht-Absorption → Wärmehaushalt
- Wärme-Absorption → Wärmehaushalt
- Lichtstreuung/-reflexion → vorw. optische Effekte
- Teilchen <2,5 µm → Lungengängigkeit  
(Schädigung geht meistens aus von der mit toxischen Substanzen besetzten Teilchenoberfläche)

Partikel im Nanometer-Maßstab halten sich über viele Kilometer in der Luft als Aerosol auf. In der Stadtluft werden um die 100.000 Aerosolpartikel pro Kubikzentimeter! gemessen. In der Landluft sind es immerhin noch 10.000 Partikel. Dort stammen etwa 90% aus natürlichen Quellen (z.B. Pollen, Meersalz, Sand, Öl-Tröpfchen von Pflanzen, Verbrennungsruß von Waldbränden). Die Forschung der Zusammensetzung steckt hier auch noch in den Anfängen. Über Plastik-Aerosole wurde bisher noch nicht in der Literatur berichtet<sup>18</sup>. Trotzdem ist es sehr wahrscheinlich, dass es sie gibt. Der analytische Identitäts-Nachweis zu sehr kleinen Partikeln mit unbekannter Herkunft in einer heterogenen Probenmatrix stellt auch die mit modernsten Geräten ausgestattete Analytik vor fast unüberwindliche Herausforderungen. (→ [Nachweisverfahren](#))

Es ist daher davon auszugehen, dass es keinen plastikfreien Raum mehr gibt! Dies erschwert natürlich jede Probenahme: egal wo man sucht, man wird immer „fündig“, wenn man nicht zuvor sehr säuberlich alle Probenahme-Geräte gereinigt hat und die Probenehmer in Reinraum-Schutzkleidung steckt!

---

## Ausbreitung von Plastikabfall im Meer

### Horizontale Verteilung

Das (Plastik)Müllaufkommen ist an vielen Stränden der Weltmeere eine inakzeptable Verschandelung der Natur, die manchmal für Tiere auch gefährlich werden kann. Manche mutmaßen beim Anblick solcher Bilder, dass bald alle Meere zugemüllt sind. Entsprechende Kameraeinstellungen scheinen, dies zu beweisen.

---

<sup>18</sup> Es gibt natürlich Hinweise, dass bei Verwitterung entstandene Mikroplastikpartikel über die Luft zu Boden fallen und dann von dort mit dem Regenwasser abgeschwemmt werden.

Interessant: googelt man nach Mikroplastik-Aerosol bekommt man nur Produkte angeboten!



Abb.: Plastikmüll aus Unterwasserperspektive (Quelle: [https://www.dw.com/image/41846503\\_401.jpg](https://www.dw.com/image/41846503_401.jpg))

Bei den meisten maritimen Plastikmüll-Aufnahmen fällt jedoch auf, dass sie fast immer aus Strandnähe stammen! Es ist jedoch nicht davon auszugehen, dass sich interessierte Fotografen nicht auf die offene See hinauswagen.

Eine Erklärung liefert die Strömungs-Physik. Doch zunächst ein Blick auf die Plastik-Müll-Quellen, die das Meer „speisen“:

- Flüsse transportieren aus dem Landesinneren Müll ins offene Meer.
- Die Schifffahrt entsorgt entweder aktiv ihren Müll „über Bord“ oder er entsteht durch Havarien oder Unglücke
- Die See-Wirtschaft (Fischerei, Öl-Bohr-Betriebe) lassen nicht mehr benötigte Gerätschaften auf offener See zurück: Netze, Angelschnüre, Behälter, Bojen etc.
- Strandnutzer entledigen sich des Mülls im Meer.

Schätzungsweise dürfte die Hauptmenge des Mülls über die Flüsse ins Meer gelangen und die geringste Menge dürfte direkt vom Strand stammen, denn das Meer nimmt kaum Abfallstoffe dauerhaft auf. Ausnahme sind die Ruhe-Zonen, die fälschlicherweise als „Müllstrudel“ bezeichnet werden.

Insgesamt sollen im Jahr 2010 8 Millionen Tonnen Plastikmüll<sup>19</sup> in die Meere gelangt sein (→ [Mengenangaben](#)). Im Jahr 2015 sollen es schon 12 Mio. Tonnen gewesen sein! Der Ornithologe und Plastikmüll-Kenner Professor Peter Ryan hat die Schätzung auf 0,25 Mio. Tonnen reduziert<sup>20</sup>. Er hatte nämlich festgestellt, dass der in den Müllstrudeln (Garbage Patches) treibende Kunststoff zum Teil schon sehr alt ist, bis zu 50 Jahren, und folglich kaum absinkt. Der „Durchsatz“ ist damit sehr viel geringer als bisher angenommen worden ist. Weiter hat

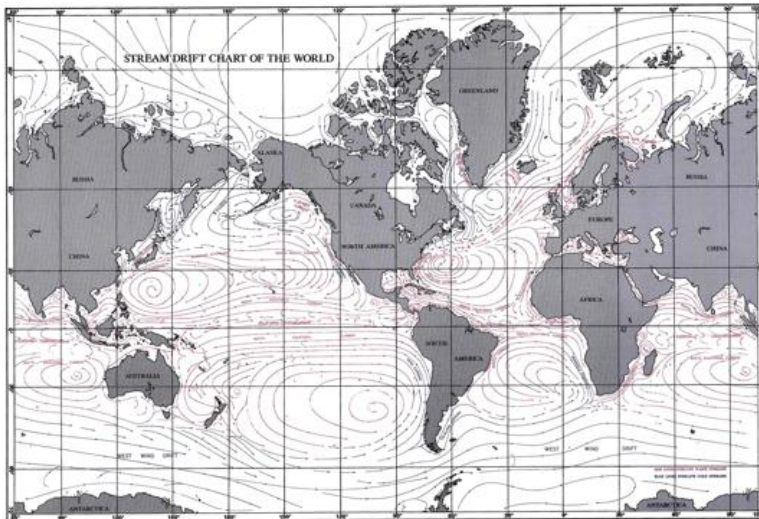
---

<sup>19</sup> <https://www.nationalgeographic.de/planet-or-plastic/2019/01/nur-ein-glas-muell-pro-jahr-mit-zero-waste>

<sup>20</sup> Peter G. Ryan et al., „Rapid increase in Asian bottles in the South Atlantic Ocean indicates major debris inputs from ships“, PNAS (2019) 116 ff – oder: <https://doi.org/10.1073/pnas.1909816116>

er herausgefunden, dass 75% des Plastikmülls – vorwiegend Einweg-Wasserflaschen –, der an den Strand der **Südatlantikinsel Inaccessible Island<sup>21</sup>** angespült wird, von der Handelsschiffahrt – speziell chinesischer Schiffe – stammt. Die Prägungen und Aufdrucke der Plastikflaschen haben das verraten. Wenn tatsächlich 12 Mio. Tonnen Plastikmüll in die Meere gekippt worden sind, dann sind sie an die Ufer gespült worden oder in Küstennähe verblieben.

Nun zur Physik: es gibt zwei Mechanismen, die dafür sorgen, dass (Müll-)Teile, die ins Meer gelangten, wieder zurück an die Küste gespült werden. Der eine Mechanismus beruht auf Ebbe und Flut. Das Flut-Wasser enthält etwas mehr Energie als das Wasser der auslaufenden Ebbe. Es transportiert die Teile nach Gewicht zum Strand. Der leichte Sand landet deshalb weiter oben, während die schwereren Steinchen schon früher im tieferen Wasser abgeladen werden (H. Bahlburg, S 131). Nur ein Sturm durchkreuzt diesen Aufbau. Kunststoffteile sind meistens leicht. Sie werden also sehr weit aufs Land gespült.



[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/16/Ocean\\_current\\_2004.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/16/Ocean_current_2004.jpg)

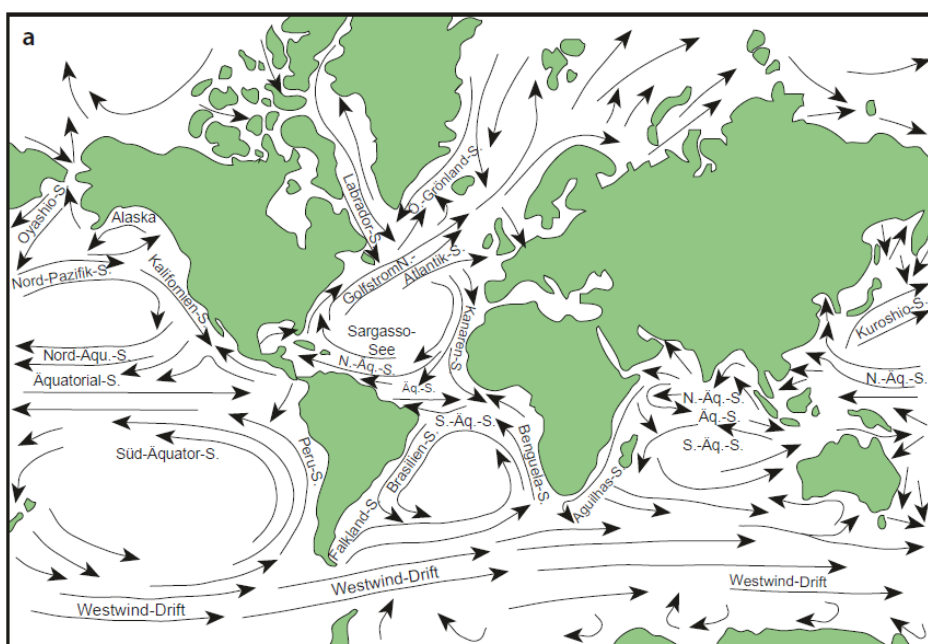
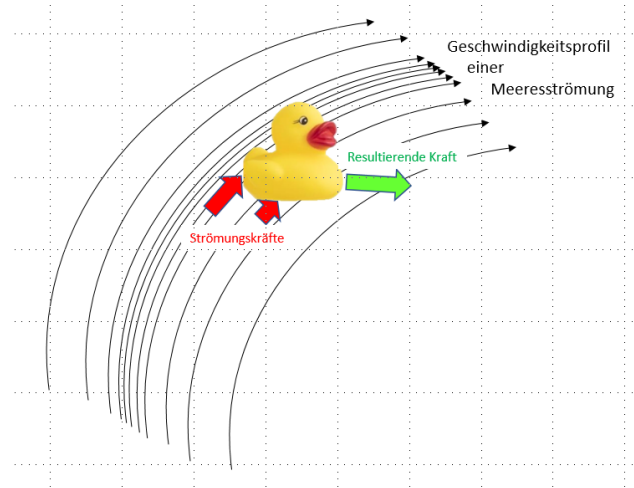


Abb.: Die bedeutendsten Oberflächenströmungen;  
H. Bahlburg, S. 113

<sup>21</sup> Liegt in der Nähe des South Atlantic Garbage Patch

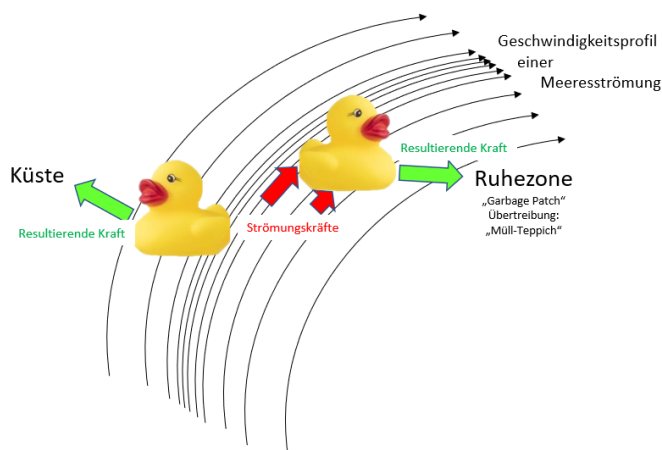
Der andere Mechanismus beruht auf den permanenten Meeresströmungen. In allen Ozeanbecken gibt es größere Kreisströmungen im Zusammenhang mit thermohalinen Strömungen (angetrieben durch Dichte- und Temperaturunterschiede), die auch wie der Golf-Strom als



ozeanischen Klimapumpen wirken (Abb. X). Sie verlaufen meist tangential zu den Küsten. In der nebenstehenden Skizze ist ein solches Strömungsprofil angedeutet.

In das Strömungsfeld platzieren wir an beliebiger Stelle ein Test-Objekt (nicht ohne Hintergedanken wurde ein Quietsche-Entchen verwendet; es hätte aber auch ein Sandkorn sein können). Das Strömungsprofil ist fast nie gleichmäßig. Also wirken auf das Test-Objekt unterschiedliche Kräfte. Diese führen dazu, dass das Test-Objekt aus der Hauptrichtung abgetrieben wird. Es gibt also eine Bewegung aus dem Bereich starker Strömung in den ruhigeren Bereich der Strömung. Dies betrifft alle Objekte, die sich nicht mit Wasser molekular mischen. Analoges gilt für Gas-Strömungen. Davon macht man u.a. beim Zyklon-Staubsauger Gebrauch<sup>22</sup>.

Betrachtet man die Strömung auch noch von der anderen Seite, sieht man, dass die Strömung die Teile nach „rechts“ und „links“ aufteilt<sup>23</sup>. Die Strömungen stellen damit Barrieren für Müll-Objekte dar! Müll aus dem Küstenbereich bleibt dort und wird allenfalls entlang der Küste verschoben. Früher oder später wird er an Land gespült und kann dort relativ einfach eingesammelt werden. Problematischer ist das, was auf der küstenabgewandten Seite ins Meer gelangt. Das treibt auch aus dem Bereich



die Teile nach „rechts“ und „links“ aufteilt<sup>23</sup>. Die Strömungen stellen damit Barrieren für Müll-Objekte dar! Müll aus dem Küstenbereich bleibt dort und wird allenfalls entlang der Küste verschoben. Früher oder später wird er an Land gespült und kann dort relativ einfach eingesammelt werden. Problematischer ist das, was auf der küstenabgewandten Seite ins Meer gelangt. Das treibt auch aus dem Bereich

<sup>22</sup> Dieses physikalische Prinzip hatte Johann Gottfried Tulla ab 1817 zur Flussbettkorrektur des Rheins ausgenutzt: er schuf mittels Bunen beruhigte Zonen, in denen sich die im Rhein transportierten Feststoffe (Sand, Geröll) absetzten und so Boden erzeugten. Auch die Halligen in der Nordsee werden durch leichte Überschwemmungen vom Untergehen bewahrt. In der Prozesstechnik bei Förderung von Materialien mit Partikelgrößenverteilung führt dieses Prinzip häufig zu Störungen durch Entmischungen: Silo-Ausläufe verstopfen; Einstelldaten von Mühlen oder Extrudern passen dann nicht mehr. Das Problem ist umso stärker, je fließfähiger das System ist!

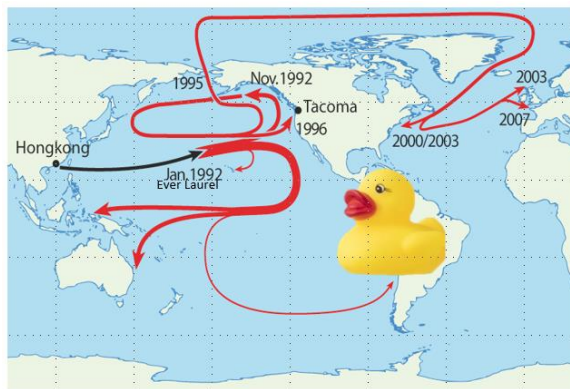
<sup>23</sup> Deshalb ist der Steinschlag auf den Autobahnen und anderen, stark befahrenen Straßen eher die Ausnahme, wenn man von der Zeit nach Aufbringung von neuem Belag absieht. Die Fahrtwinde treiben die Teilchen zur Seite.



starker Strömung in Richtung der sehr strömungsarmen Zentren der permanenten Meeresströmungen mit Fließgeschwindigkeit von Null. Diese Zentren kann man auch als „Ruhezonen“ bezeichnen. Auf die für diese Ruhezone falsche Bezeichnung „Wirbel“ wird später eingegangen.

Die Meeresströmungen stellen Barrieren dar, die aber überwunden oder durchbrochen werden können. Wind und besonders Sturm kann an der Wasseroberfläche treibende Teile je nach Richtung über diese Barrieren hinwegtransportieren. Kleinräumige Kreisströmungen im Meer können auch die Regel durchbrechen.

So kam es auch zur weltweiten Verteilung von Quetsche-Entchen, die aus drei See-Containern stammten. Diese Container waren 1992 in einem schweren Sturm von dem Containerschiff **Ever Laurel** über Bord gegangen und im Meer aufgeplatzt.



[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/1f/Friendly\\_Floatees.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/1f/Friendly_Floatees.png)

Etwa 30.000 Quetsche-Entchen gelangten so in Freiheit! In den Jahren danach fand man Exemplare an fast allen Küsten. (Die Hauptmenge wird aber auf hoher See verblieben sein – im Bereich des Pazifik-Müll-Teppichs)

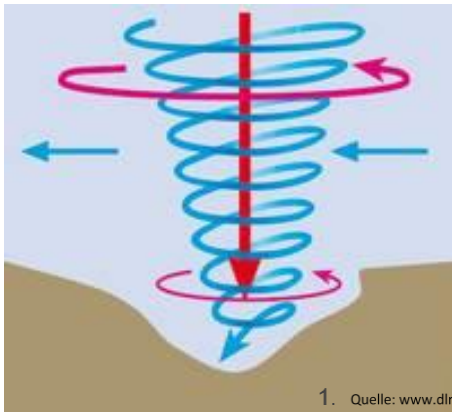


In den Weltmeeren gibt es 5 große Kreisströmungen (siehe Abb.). Teile, die dort treiben, haben keine große Chance auf Land zu treffen. Sie verbleiben dort, bis sie abgebaut sind oder durch Bewuchs (Fouling) schwerer werden und absinken. Derzeit sieht es danach aus, dass der „Zustrom“ größer als das Verschwinden ist. Die absoluten – geschätzten Mengen – sind hoch. In einem dieser Bereiche, der besonders viel Abfall enthält, der Great Pacific Garbage

Patch enthält angeblich auf einer Fläche, viermal so groß wie die Bundesrepublik (= 1,6 Mio. km<sup>2</sup>)<sup>24</sup> 80.000 t Plastikmüll-Teile.

### Plastikmüll-Strudel

Zurück zur Physik: der medienwirksame Ausdruck „Plastikmüll-Strudel“ zeugt von physikalischer Unkenntnis! Gäbe es an besagten Stellen einen Strudel – also einen Potentialwirbel –, dann würden die Plastikteile nicht angezogen, sondern nach außen getrieben werden. Der Strudel, den man auch vom Badewannenabfluss kennt, ist das genaue Gegenteil von den Kreisströmungen der Meere! Die Umfangsgeschwindigkeiten sind im Potential-Wirbel-Zentrum am höchsten.



Zur Ausbreitung von Plastikmüll im Meer kann man schon einmal festhalten, dass die Hauptmenge, die über die Flüsse ins Meer gespült wird, wieder vom Meer zurück an die Küsten gelangt. Was aber auf hoher See anfällt, gerät in „Gefangenschaft“ der Ruhe-Zonen der Meere.

### Maßnahmen gegen Kunststoffmüll in den Meeren

<sup>24</sup> Quelle: Spiegel Online vom 22.3.2018 zitiert die Ergebnisse von Laurent Lebreton von der Ocean Cleanup Foundation im niederländischen Delft. Andere Schätzungen reichen von 1 kg bis 70 kg Plastikmüll pro Quadratkilometer. Die Quellen des Plastikmülls im Meer sind sehr unterschiedlich. Nach Laurent Lebreton besteht der im Pazifik gefundenen Mülls zu 46% aus Megaplastik (z.B. Fischernetze), zu 25% aus Makroplastik (z.B. Getränkeflaschen oder Kisten), zu 13 % aus Mesoplastik (z.B. Verschlusskappen) und zu 8% aus Mikroplastik.





Zur Abreinigung dieser großen Menge wurde im Herbst 2018 im Rahmen des Projekts „The Ocean Cleanup“ eine neuartige Konstruktion aus weit gespannten Netzen, die unter Schwimm-Körpern befestigt sind, ins Zentrum des Pazifik-Müll-Strudel verbracht. Allerdings waren die Ergebnisse in den letzten Monaten enttäuschend (Stand Jan 2019).

Im Rahmen des Seabin-Project () soll mit ins Wasser eingetauchten Eimern, aus denen Wasser oben einströmt und unten abgepumpt wird, Plastikmüll vorwiegend im Hafenbereich eingesammelt werden.

Erst im Herbst 2018 wurde mit einem weiteren Projekt zum Mülleinsammeln in den Ozeanen begonnen (Pacific Garbage Screening, Marcella Hansch, Aachen<sup>25</sup>).

Mit einer kammartigen Konstruktion (siehe nebenstehende Abbildung) sollen Plastikteile ohne Netze aus dem Wasser gefischt werden.

Das Konzept ist physikalisch gut durchdacht: durch Beruhigung der Strömung in der Kamm-Konstruktion setzen sich so auch kleine Teile ab. Sinnvoll ist auch, die Konstruktion vor Flussmündungen zu setzen,

was dann allerdings mit den Garbage Patches wenig zu tun hat.



Die Ruhe-Zonen oder Garbage Patches sind so riesige Areale, dass auch größere Müllmengen noch nicht auffallen. Nimmt man als Beispiel die Verhältnisse des oben zitierten Great Pacific Garbage Patchs (größter „Müllteppich“) und rechnet die Plastik-Müllmenge einheitlich in kleine 0,5l- Plastikflaschen (z.B. PET-Mineralwasserflasche mit 17 g Gesamtgewicht) um, stellt man fest, dass im Mittel auf 250 m<sup>2</sup> erst eine Plastikflasche kommt! Das erklärt auch das Fehlen von dramatischen Bildern aus dem Garbage Patch und das schwache Ergebnis der Ozean-Reinigungs-Projekte.

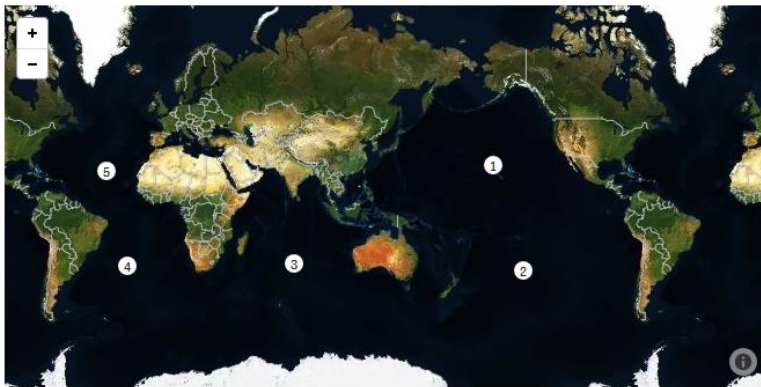
<sup>25</sup> <https://www.startnext.com/pgs>

Auch, wenn das nicht so dramatisch scheint, können verantwortlich denkende Menschen dies nicht übergehen, da auch noch die Müll-Menge von Jahr zu Jahr weiterwächst.

Erfreulich ist, dass führende Chemie-Industrie-Unternehmen sich 2019 zu einer Aktion (AEPW-Allianz<sup>26</sup>) zusammengeschlossen haben, um gezielt an den Quell-Punkten Maßnahmen zu initiieren, die die Vermüllung der Natur verhindern sollen. Die Projektmittel im Bereich von einer Milliarde Euro lassen Wirksamkeit erwarten.

Die Initiative „Plastic Bank<sup>27</sup>“ vergütet eingesammelten Kunststoffmüll. Auf Haiti wurden 2018 etwa 63 t Müll eingesammelt. Unterstützung erfährt Plastic Bank von Firma Henkel.

- 1 Nordpazifischer Müllstrudel bzw. Great Pacific Garbage Patch 2 Südpazifischer Müllstrudel 3 Müllstrudel des Indischen Ozeans 4 Südatlantischer Müllstrudel 5 Nordatlantischer Müllstrudel



ZEIT ONLINE

### Schmutzige Wirbel

Meeresströmungen, in denen sich Abfälle ansammeln

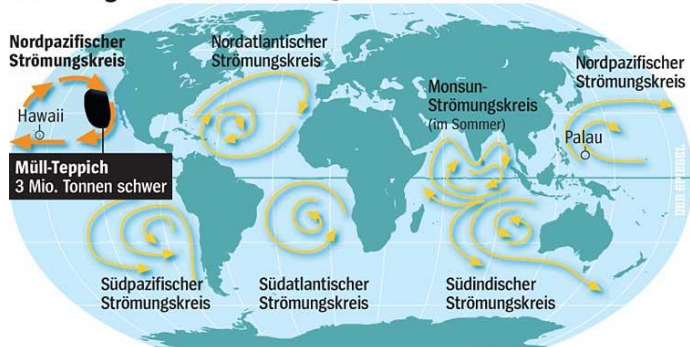


Abb. „Sammelstellen“ von Plastikabfällen in den Ozeanen (Quelle: <http://www.uni-kassel.de/fb10/institute/physik/forschungsgruppen/didaktik-der-physik/aktuelles/adventskalender/tag-7.html>)

<sup>26</sup> [Alliance to End Plastic Waste \(AEPW\)](#)

<sup>27</sup> David Katz, <https://www.plasticbank.com/de/wer-wir-sind/#.XKd-oqSbHic>

## Vertikale Verteilung

Bei der Ausbreitung von Müll im Meer muss auch eine vertikale Verteilung berücksichtigt werden. Kunststoffteile können absinken und gelangen möglicherweise in Bereiche, in denen der Abbau besonders langsam verläuft (Faulschlammereich?).

Die meisten Kunststoffe bestehen aus Polyethylen oder Polypropylen. Diese sind leichter als Wasser<sup>28</sup>. Es gibt aber auch zahlreiche Kunststoffe, die etwas schwerer als Wasser sind. Trotzdem müssen sie nicht sofort in die Tiefe absinken, da viele Kunststoffteile geschäumt<sup>29</sup> oder hohl sind. Das Absinken erfolgt dann erst nach gehöriger Zerkleinerung.

Im Süßwasser sinken die schweren Plastikteilchen bis zum Boden. Im Meer gibt es aber einen ausgeprägteren Dichtegradienten<sup>30</sup>, bedingt durch Temperatur und Druck, so dass die Teilchen nur bis in die Tiefe absinken, in der die Wasserdichte der Dichte des Kunststoffobjekts entspricht.

Aber auch leichte Kunststoffteilchen können absinken, wenn sich Algen und See-Igel an sie angelagert haben (Bewuchs, Fouling<sup>31</sup>).

Über die vertikale Verteilung von Kunststoffen in den Meeren gibt es (noch) keine verlässlichen Daten. Einige Autoren schätzen, dass 20 % des Plastikmülls in den Ozeanen sich in tieferen Schichten befindet, andere 90%. Dieser Auffassung widerspricht Peter Ryan<sup>18</sup>, da die Kunststoffteile offensichtlich viel längerlebig sind als angenommen und daher weniger schnell sedimentieren.

## Situation

Insgesamt ist festzustellen, dass das Bild vom Meer, das im Plastikmüll versinkt, eindeutig überzogen ist. Allerdings gibt es keinen Grund, die Verhältnisse zu beschönigen. Viele Strände sehen wie Müllhalden aus. Die Verantwortlichkeit der menschlichen Spezies hat hier bislang versagt! Während man Strände relativ einfach säubern kann, ist der Müll auf hoher See praktisch kaum zu entfernen. Hier hilft nur Bewusstmachung, um weitere Müllzufuhr zu stoppen. Das ist sehr schwierig, denn die „hohe See“ ist ein rechtsarmer Raum!

---

<sup>28</sup> Die Dichte von Kunststoff reicht von 0,915 g/ml bis 1,4 g/ml (Meerwasserdichte bei 25°C ungefähr 1,025 g/ml); wobei 50% des produzierten Kunststoffes aus Polyethylen oder Polypropylen besteht mit einer Dichte unter 1 g/ml. Die meisten Füllstoffe erhöhen die Dichte.

<sup>29</sup> Aber es gibt Kunststoffe, denen man die Schäumung nicht ansieht. Dies macht man zur thermischen Isolierung, zur höheren Konturtreue, zur Gewichts- oder Material-Einsparung oder zur Realisierung komplexerer Formen. Die meisten Kunststoffe sollten also – zumindest im Salzwasser – schwimmen.

<sup>30</sup> In Binnengewässern sind meistens stärkere Durchmischung und Umwälzung möglich als in den Ozeanen, so dass dort kaum Dichtegradienten vorkommen.

<sup>31</sup> Es bilden sich polymere, schleimartige Überzüge, die erst von Bakterien und dann von niederen Organismen besiedelt werden.

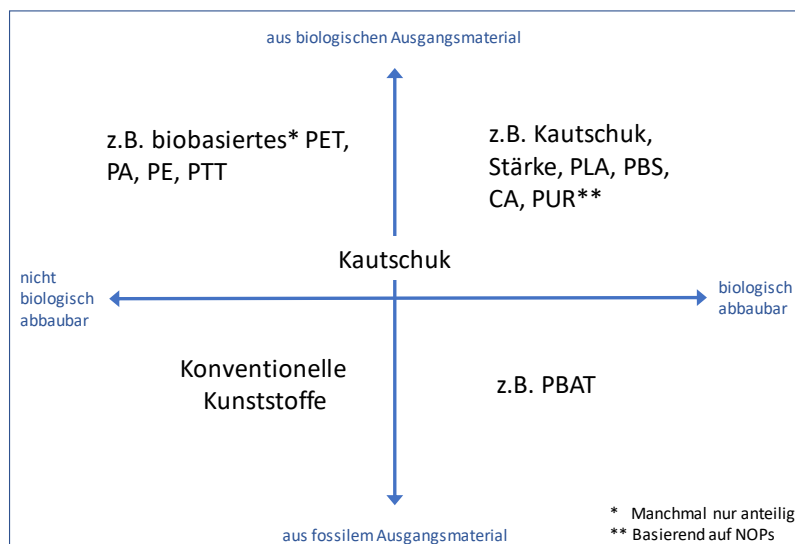
## Bio-Kunststoffe als Problemlösung?

Bio-Kunststoffe umfassen Kunststoffe, die aus biologischen Quellen stammen und biologisch abbaubar sind oder nur eines von beiden. Bio-Kunststoffe werden gerne als Problemlöser angeboten. Doch dabei wird oft dabei ausgeblendet, dass sie immer nur Teil-Lösungen darstellen.

Inzwischen ist das Angebot an Bio-Kunststoffen gestiegen. Es macht derzeit (2018) mit 7,5 Millionen Tonnen etwa 2% der Gesamt-Produktionsmenge an petrochemischen Polymeren aus<sup>32</sup>. Dabei gibt es derzeit mehr als 30 unterschiedliche, chemisch hergestellte, biologisch abbaubare Polymere. Zu unterscheiden sind verschiedene Varianten:

- Reine Bio-Polymere: sie sind vollständig aus Biomasse hergestellt („Dedicated“)
- Reine bio-basierte Polymere: aus Biomasse-Rohstoffen („Drop-Ins“)
- Modifizierte bio-basierte Polymere: aus Biomasse-Rohstoffen, die mit petrochemischen Chemikalien umgesetzt worden sind („Smart-Drop-Ins“)
- Co-Polymere aus bio- und petro-stämmigen Monomeren

### Bio-Kunststoffe



Das nebenstehende Schema (nach European Bioplastics e.V.<sup>33</sup>) deutet die unterschiedlichen Material-Bereiche von Bio-Kunststoffen an. Zwischen diesen Bereichen gibt es fließende Übergänge. Mengenmäßig bewegen sich die Bio-Kunststoffe im unteren Prozentbereich. Ohne Kautschuk- und Stärke-Produkte würden sie die 1%-Marke nur streifen.

<sup>32</sup> Pressemitteilung „Bio-based Building Blocks and Polymers – Global Capacities, Production and Trends 2018-2023“ von: **nova-Institut GmbH Chemiapark Knapsack**  
Industriestraße 300, 50354 Hürth (DE)

<sup>33</sup> European Bioplastics e.V.: [https://docs.european-bioplastics.org/2016/publications/fs/EUBP\\_fs\\_what\\_are\\_bioplastics.pdf](https://docs.european-bioplastics.org/2016/publications/fs/EUBP_fs_what_are_bioplastics.pdf)

**Bedingungen für biologische Abbaubarkeit von Polymeren**

- Möglichst zahlreiche, funktionelle Gruppen wie Ester und Amide; auch Alkohol- und Amin-Gruppen sind günstig.
- Möglichst keine aromatischen Gruppen.
- Amorphe Strukturen; diese lassen sich enzymatisch besser angreifen als kristalline.

**Bio-basierte, biologisch nicht abbaubare Kunststoffe**

Das Produktionsvolumen in Europa lag 2018 bei etwa 1,2 Millionen Tonnen (Polyethylenterephthalat: PET, ca. 45%; Polyethylen: PE, ca. 17%; Polyamid: PA, ca. 20%; Polytrimethylenterephthalat: PTT, ca. 17%). Diese Materialien verhalten sich bezüglich des Abbaus nicht anders als die petro-stämmigen Kunststoffe (also hergestellt auf Basis fossiler Rohstoffe). Da sie aber aus Naturprodukten (vorwiegend ausgehend von Stärke → Zucker → ...) gewonnen werden, kommen sie mehr oder weniger ohne fossile Rohstoffe aus. Manche Produzenten mischen bio-basierte und synthetische Monomere. Die Angaben kann man mit Hilfe der Radiokarbon-Methode ( $^{14}\text{C}$ ) überprüfen.

**Bio-basierte, biologisch abbaubare Kunststoffe**

Die Produktionskapazität in Europa betrug 2018 für Stärke-Mischungen und Polymilchsäure (PLA, ca. 35%) weniger als eine Millionen Tonnen. Für die biologische Abbaubarkeit gibt es die Europäische Norm EN 13432. Die Herstellung kommt aber auch meistens nicht ohne die Verwendung fossiler Energieträger aus. Der Anbau pflanzlicher Rohstoffquellen benötigt oftmals viel Wasser und in manchen Fällen Dünger und Herbizide.

Es gibt auch Ansätze, aus Bio-Abfällen wie Orangenschalen Bio-Kunststoffe herzustellen (Polylimonencarbonat, PLimC, ist hart, hitzebeständig und durchsichtig<sup>34</sup>).

Die biologisch entstandenen Ausgangsmaterialien werden für bestimmte Anwendungen oft noch chemisch modifiziert (Merzerisierung von Baumwolle, Vulkanisation von Kautschuk, Stärke, Cellulose, Baumwolle, Baumharz).

Biologisch abbaubare Kunststoffe stehen erwartungsgemäß keiner langen Gebrauchsdauer zur Verfügung. Bereits bei und nach der Herstellung muss darauf geachtet werden, dass die Kunststoffe nicht bereits vor der Verwendung verderben. Die Herstellung muss in jedem Fall keimfrei erfolgen. Als Verpackungsmittel bieten sich konventionelle Kunststoffe an! Bei der Anwendung biologisch abbaubarer Kunststoffe besteht ein höheres Risiko vorzeitigen Versagens, was zu höheren Kosten führen kann (z.B. Kunststoffbehälter wird undicht und transportiertes Material geht verloren oder verursacht Reinigungskosten).

Es ist nicht sicher, ob Erdreich, das biologisch abbaubare Kunststoffe enthält, in der Landwirtschaft direkt verwertet werden kann. Außerdem ist es wie immer schwierig Fremdwürfe

---

<sup>34</sup> Bayreuther Forschungsgruppe: A. Greiner et al., Nat. Commun. 2016, doi: 10.1038/ncomms11862

(konventioneller Kunststoff, Metall, Glas und andere mineralische Werkstoffe) auszuschließen.

Kunststoffe mit Polymerketten, die an einzelnen Stellen biologisch angreifbar sind, fallen nicht darunter. Denn sie zerfallen unter biologischen Angriff recht schnell, hinterlassen aber polymere Bruchstücke, die sich ähnlich verhalten wie konventionelle Polymere. Es ist ein zweifelhafter Vorteil, wenn am Strand dann Kunststoffteile aus solchem Material sehr schnell zerfallen, aber als kleinste Bruchstücke nicht mehr sichtbar sind. Nicht nur ihre Beseitigung wäre dann erheblich erschwert. Toxikologisch müsste bewertet werden, ob solche Polymer-Segmente inkorporiert werden können und welche Wirkung sie dann dort entfalten würden.

### **Synthetische, biologisch abbaubare Kunststoffe**

Auf Basis fossiler Rohstoffe können mitunter günstig biologisch abbaubare Kunststoffe, wie zum Beispiel Polybutylen-adipat-co-terephthalat (PBAT, ca. 17%) hergestellt werden. Dazu zählt auch Polyhydroxybuttersäure (P<sub>3</sub>HB-Polymere [poly(3-hydroxybutyrate)]), die inzwischen aus fossilen Rohstoffen kostengünstiger hergestellt werden kann.

Allerdings ist auch hier zu berücksichtigen, dass größere Abbaumengen das Biotop, in dem der Abbau stattfindet, verändern können. Nicht jede Veränderung muss positiv sein!

### **Inkorporation biologisch abbaubarer Kunststoffe**

Es ist außerdem zu berücksichtigen, dass Bioabbaubarkeit auch bedeutet, dass dieser Kunststoff im Gegensatz zu konventionellem Kunststoff von Organismen wesentlich einfacher verdaut werden kann. Das ist nicht unproblematisch! Die Abbauprodukte müssen in ihrer chemischen Struktur nicht den gewohnten Lebensmitteln entsprechen. Es kann daher zu Verdauungsproblemen kommen. Noch größere Probleme können entstehen, wenn der Kunststoff nur partiell abbaubare Polymer-Sequenzen (Co-Polymer mit enzymatisch zugänglichen Monomeren) enthält, also nicht vollständig **bio-affin** ist.

Im Magen-Darm-Trakt können Moleküle freigesetzt werden, die für den betreffenden Organismus eine Herausforderung darstellen, weil er sie sonst üblicherweise – in dieser Konzentration - nie mit der Nahrung zu sich nimmt. Speziell biologisch abbaubare Kunststoffe, die hydrolysierbare Positionen in der Makromolekülkette enthalten, könnten auch den nicht abbaubaren Resten Zutritt zum Organismus verschaffen, also die Magen-Darm-Barrieren überwinden.



---

## Gefährlichkeit von Kunststoffen

Eine Gefahr ist definiert als Möglichkeit, Schäden an Lebewesen, Gegenständen oder Systemen herbeiführen zu können. Dabei kommt es auf Wirksamkeit, Menge und Verfügbarkeit an. Das Schädigungspotential von Kunststoffen ist vergleichsweise gering. Es sind grundsätzlich folgende drei Aspekte zu berücksichtigen (siehe dazu auch „[Toxizität von Kunststoffen](#)“ und von [Mikroplastik](#)):

- **Gift-Wirkung:** Kunststoffe sind in der Regel ungiftig, da sie aus sehr, sehr langen Molekülketten bestehen, die im Magen—Darm-Trakt nicht abgebaut und resorbiert werden können. Sie verlassen den Organismus unverändert wie andere Ballaststoffe. Nur in wenigen Fällen ist gewisse Vorsicht angebracht. „Plastikmüll auf dem Teller“ beim Verzehr von Meerestieren kommt kaum vor, weil Innereien selten mitgegessen werden. Wenn dann doch, dann nimmt der Körper die Kunststoffteile nicht auf.
- **Giftige Komponenten** in Kunststoffen sind eher selten und, wenn doch vorhanden, nur in geringen Konzentrationen vorkommend. Verpackungskunststoffe stellen mengenmäßig die größte Kunststoffgruppe dar und enthalten praktisch keine Schadstoffe, wenn sie aus Produktionen nach Stand der Technik stammen. Bei körpernaher Verwendung (Implantate, Trinkwasserkomponenten, Kinderspielzeug) ist größere Vorsicht angeraten, da dann auch kleine Mengen über einen großen Zeitraum angereichert zur Wirkung kommen können.
- **Beschädigungs-Wirkung:** Mechanische Schädigung durch im Meer treibende Kunststoffabfälle (wie abgenutzte Fischernetze, Angelruten, Folien, scharfkantige Plastikteile<sup>35</sup>) können besonders an Tieren hervorgerufen werden. Sie können sich darin verheddern, strangulieren oder sie ersticken. Auch Verhungern ist mangels alternativer Nahrung möglich. Allerdings ist unklar, wieviel Tiere tatsächlich dadurch umkommen: NaBu: „zehntausende Tiere“; Greenpeace und UN: „mehrere Millionen Tiere jährlich“.<sup>36</sup>

---

## Kunststoff, Plastik, Polymere

Plastik ist die umgangssprachliche Bezeichnung für Kunststoff, manchmal auch Plaste genannt.

---

<sup>35</sup> Kunststoffe, die der Witterung ausgesetzt sind, verspröden und werden brüchig. Die Bruchkanten sind scharf.

<sup>36</sup> Warum taucht als Abbildung fast immer nur der tote Albatros auf? Es müssten doch tausende Fotos anderer so verendeter Tiere existieren!?

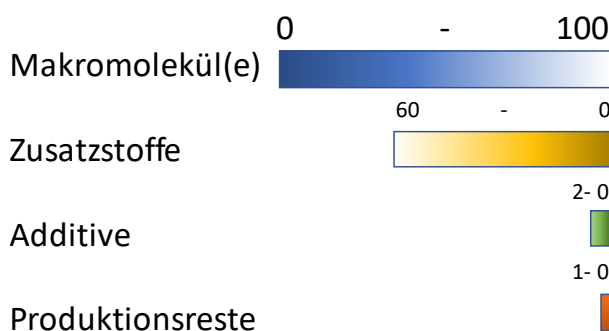
Kunststoffe sind Werkstoffe, die ganz oder teilweise aus Polymeren (auch Makromoleküle genannt) bestehen<sup>37</sup>. Erfordert es die Anwendung, dann werden Polymere mit Zusatzstoffen (Füllstoffe und Wirk-Additive) versetzt.

Zur Herstellung von Polymeren werden Monomere (kleine, reaktive Moleküle) benötigt. Diese werden tausend- bis milliardenfach zu riesigen Molekülketten oder -Netzwerken miteinander chemisch verbunden. Bei Netzwerk-Polymeren spricht man auch von Duroplasten, die im Gegensatz zu den nur aus Polymerketten bestehenden Thermoplasten nicht mehr schmelzbar oder lösbar sind.

Es gibt folgende Verfahren, Monomere miteinander zu verbinden: Polymerisation, Polykondensation und Polyaddition. Die Polykondensationsprodukte sind in der Regel leichter chemisch angreifbar als die Produkte aus Polymerisation und Polyaddition. Generell sind Polymere im Gegensatz zu ihren Ausgangsmaterialien, den Monomeren, kaum noch reaktiv, wenn man die Brennbarkeit ausnimmt.

Kunststoffe sind fest, mehr oder weniger gut formbar. Sie bestehen aus sehr großen Makromolekülen (Polymere).

### Zusammensetzung von Kunststoffen



Zusatzstoffe werden aus unterschiedlichen Gründen eingesetzt: es lassen sich damit Eigenschaften des Polymers gezielt verändern. Ruß erhöht die Leitfähigkeit. Fasern aus Kohlenstoff und Glas verstärken die Festigkeit. Titandioxid färbt den Kunststoff sehr weiß. Magnesium- oder Aluminiumoxidhydrat verhindert, dass sich der Kunststoff leicht entzündet. Eisenpulver verleiht dem Kunststoff metallischen Charakter. Kreide, Quarzmehl oder Holzmehl werden vorwiegend zur Verbilligung eingesetzt (Streckmittel).

Quarzmehl oder Holzmehl werden vorwiegend zur Verbilligung eingesetzt (Streckmittel).

Mit Additiven, die meist nur im Konzentrationsbereich bis 2 % eingesetzt werden, können dem Kunststoff sehr gezielt besondere Eigenschaften verliehen werden. Zum Beispiel: Farbbarkeit, Weichmachung, Stabilisierung gegen UV-Licht oder Temperatureinflüsse, Verminderung der Entflammbarkeit oder der statischen Aufladung. Auch Hilfsmittel für die Verarbeitung gehören dazu wie Schäummittel, Haft- und Anti-Haftvermittler.

Additive sind meistens kleinere Moleküle, die leider auch die Tendenz haben, mit der Zeit an die Kunststoffoberfläche zu migrieren. Das vermindert die Haltbarkeit der Kunststoffe. Manchmal ist das erkennbar an der Brüchigkeit oder Vergilbung. An der Oberfläche angekommen, können die Additive abgetragen oder auch abgebaut werden.

<sup>37</sup> Wegen der polymeren Unverträglichkeit gibt es nur in Sonderfällen Mischungen von unterschiedlichen Polymer-Arten.

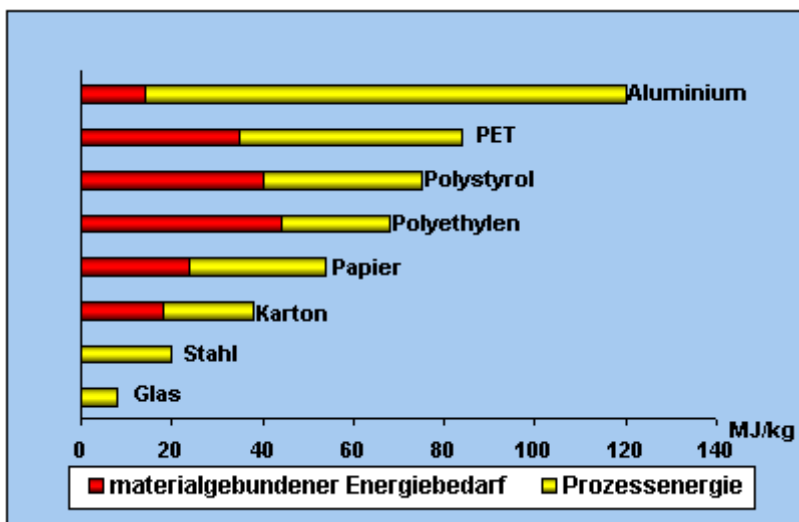


Bei kleinen Teilchen (Mikroplastik) ist dieser Effekt wegen der spezifisch größeren Oberfläche stärker ausgeprägt, so dass ältere und kleinere Mikroplastikteile dann viel weniger Additive enthalten als Neu-Ware.

**Energiebilanz von Kunststoff und anderen Materialien**

Die Herstellung von Kunststoffen erfordert deutlich weniger Energie als die von anderen Werkstoffen mit vergleichbaren Eigenschaften.

Der Energie-Vergleich mit naturstämmigen Produkten (Holz, Wolle, Baumwolle, Papier) ist kompliziert, da Umweltfaktoren (Wasserverbrauch, Dünger, Futtermittel etc.) noch zusätzlich berücksichtigt werden müssen.



Quelle: <https://www.hunold-knoop.de/kunststoffwissen/wissenswertes-zu-kunststoffen/details/wie-viel-energie-wird-fuer-die-herstellung-verbraucht>

Material	Dichte	Energiebedarf für die Herstellung			Zugfestigkeit	Heizwert
		gesamt	materialgebunden	prozessbedingt		
	kg/l	MJ/kg	MJ/kg	MJ/kg	MPa	kWh/kg
Aluminium	2,7	120	14	106	200	8,6
PET	1,4	84	35	49	200	6,3
Polystyrol	1,04	76	41	35	55	10,6

Polyethylen	0,94	68	45	23	20	11,9
Papier	0,8	54	24	30		4,2
Karton	0,7	38	18	20		4,2
Stahl	7,8	20	0	20	1400	
Glas	2,5	8	0	8	30	0

zum Vergleich:

Heizöl						11,7
--------	--	--	--	--	--	------

Tabelle PE, PA, Eisen, Aluminium, Glas

### Vorzüge von Kunststoffen

- Leichte Formbarkeit (vom PE-Beutelchen bis zum Airbus-Flügel)
- Kostengünstige Herstellung
- Gute Haltbarkeit
- Gute elektrische Isolation
- Gute thermische Isolation
- Relativ leicht
- Relativ stabil
- Vorwiegend gute Beständigkeit gegen Wasser und Säuren und Laugen

Die Kombination dieser Vorzüge ermöglicht viele Anwendungen, die

- Vorher nicht möglich waren
- Bei der Energie-Einsparung helfen
- Sicherheit erhöhen
- Bessere Medizintechnik und Hygiene ermöglichen
- Ernährungsaufgaben erleichtern
- Zur Freizeitgestaltung beitragen.

Konkret: Bauteile aus Kunststoff sind relativ leicht (niedriges spezifisches Gewicht). Somit kann Energie eingespart werden, wenn Teile, die bewegt werden müssen (Transport, Rotation) ganz oder teilweise aus Kunststoff bestehen.

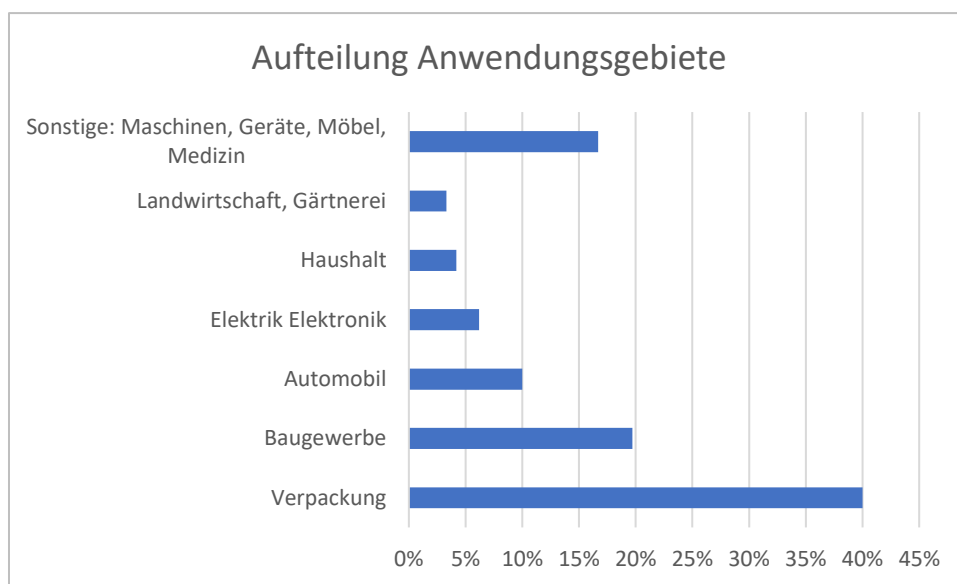
In Kunststoffverpackungen bleiben empfindliche Lebensmittel länger haltbar. Das würde Lebensmittelproduktionskosten günstig beeinflussen, wenn nicht auf der anderen Seite fast ein Drittel der Produktion wieder weggeworfen würde.

### Kunststoffe in Zahlen

Im Jahr 2015 wurden weltweit 335 Millionen Tonnen Kunststoffe produziert. Auf Europa entfielen davon 60 Millionen Tonnen. Für die Gesamtmenge wurden etwa 4% der jährlichen Erdöl- und Erdgas-Fördermengen eingesetzt. Hinzu kommen noch beträchtliche Mengen an Füllstoffen.

Deutschland (15 Millionen Tonnen) und Italien (8,4 Millionen Tonnen) sind die größten Produzenten in Europa.

Nachfolgend die Anwendungsgebiete und die Aufteilung nach den wichtigsten Kunststoffarten.



### Die mengenmäßig wichtigsten Polymersorten (Kunststoffe)

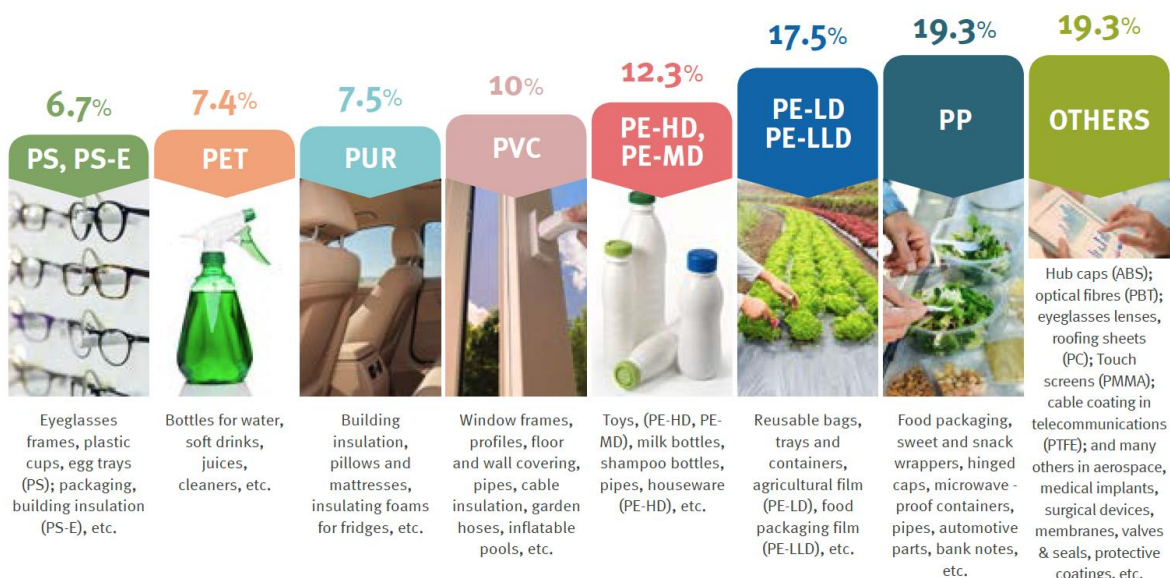


Bild: Kunststoffarten nach Anwendungen (Quelle: PlasticsEurope 2017)

Die Poly-Olefine (PP, PE-LD, PE-HD) dominieren mit 49,1%.

Den wichtigsten Polymeren sind einzelne Kapitel gewidmet:

Polyethylen

Polypropylen

PVC

Polyurethan

Polystyrol

## Qualität

Qualität ist die Einhaltung der Eigenschaft(en), die man dem Kunden versprochen hat. Häufig besteht zwischen Kunden und Lieferanten ein nicht abgestimmtes Verständnis von Qualität. Es sind die berühmten Selbstverständlichkeiten, die einerseits die Zusammenarbeit erleichtern und andererseits auch zu Streitfällen führen können. Die Ursachen beruhen manchmal auf Schummeleien, manchmal auf schleichenden Veränderungen oder auf unerkannten Störungen.

Bei Kunststoffen sind es häufig schleichende Veränderungen, die dazu führen, dass Bauteile aus dem Qualitätsfenster rutschen. Verantwortlich dafür sind Alterung, manchmal auch Überbeanspruchung im Gebrauch. Die Alterung bedeutet meistens, dass Polymerketten aufgebrochen werden oder Additive ausschwitzen. Dieses Faktum ist beim Recycling besonders zu beachten. Je älter ein recycelter Kunststoff ist, desto negativer beeinflusst er die Eigenschaft des neuen Produktes.

Die meisten Qualitätsmerkmale sind anwendungsspezifisch und können wegen ihrer Vielzahl hier nicht aufgeführt werden. Es gibt jedoch ein paar Eigenschaften, die fast immer gefragt sind:

- Lange Polymerketten: sie führen zu einer besseren Dauer-Belastbarkeit, sind aber schwieriger in der Herstellung.
- Enge Molekulargewichtsverteilung: es gibt wenig unterschiedlich lange Polymerketten; d.h. auch auf molekularer Ebene gibt es fast keine Qualitätsschwankungen. Das bedeutet auch, dass es kaum Oligomere (sehr kurze Polymerketten) geben darf. Ausnahme: man setzt gezielt unterschiedlich lange Polymerketten ein.
- Frei von flüchtigen Bestandteilen; d.h. niedermolekularen Verbindungen. Bei der Herstellung geht man in der Regel von niedermolekularen Verbindungen aus. Dazu gehören die Monomere (Polymer-Bausteine, auch Harz- und Härter-Komponenten), Kata-

lysatoren und eventuell auch Lösungsmittel für die Prozessführung. Es ist grundsätzlich nicht einfach, diese Bestandteile, die nach der Herstellung noch übrig sind, vollständig zu entfernen.

Für die Kunststoffe, die noch solche Bestandteile enthalten, gibt es folgende Nachteile:

- Geruchsausdünstung
- Toxische Probleme, besonders bei Restmonomeren
- Eigenschaftsveränderung durch Ausdünstung
- Ausgedünstete Stoffe können in der Nachbarschaft des Kunststoffes kondensieren und dort Probleme verursachen (Fogging)
- Möglicherweise Auslösung von Kontaktallergie
- Verunreinigungen: diese können an jeder Stelle der Herstellung in das Produkt gelangen. Dabei sind Verunreinigungen in Füllstoffen meisten schwer zu erkennen. Verunreinigungen (z.B. einige Metallsalze) können die Haltbarkeit von Kunststoffen beeinträchtigen.

Qualitätsfaktoren bei der Kunststoffherstellung:

- Thermische Spannung: diese führt zu Verzügen und langfristig zu Polymerbrüchen, also Zerstörung von Bauteilen.
- Hohe Prozess-Temperaturen führen zur Verkürzung von Polymerketten, besonders wenn die Einwirkzeit lang ist.

---

## Lösliche Polymere (Kunststoffe)

Eigentlich gibt es keine löslichen Kunststoffe, denn Kunststoffe sind Feststoffe. Für manche Anwendungen werden jedoch Kunststoffe gelöst, damit sie besser angewendet werden können, wie zum Beispiel für Farbanstriche. Auf Verpackungen steht dann öfter einmal „Flüssiger Kunststoff“. Es müsste eigentlich „gelöster“ Kunststoff heißen. Auch die Ausgangsmaterialien für duroplastische Kunststoffe, Harze und Härter genannt, sind meistens flüssig. Bei der Härtingsreaktion entsteht dann erst der feste Kunststoff.

Lösliche Polymere werden eingesetzt im Lebensmittelbereich, in der Kosmetik, bei Lack- und Farbanwendungen, bei Schmier- und Reinigungsmitteln oder für Viskositätseffekte (z.B. Mehrbereichs-Öle).

Lösliche Polymere sind für chemische Angriffe viel zugänglicher als feste Polymere und werden deshalb viel leichter abgebaut.

Gelangen wasserlösliche Polymere ins Abwasser, erhöhen sie dort den CSB-Wert (chemischer Sauerstoffbedarf: Messgröße zur Beurteilung der Wasserqualität). Die Reinigungsleistung von Kläranlagen sollte ausreichen, lösliche Polymere fast vollständig zu beseitigen.

Lösliche Polymere wirken in der Umwelt eher weniger belastend. Trotzdem sollte die gedankenlose Verbreitung unterbleiben.

[Polyquaternium-7 in Duschgels sind filmbildend und antistatisch → verbessern Kämmbarkeit; Problem auf Textilien → erschweren Waschvorgang; ökotoxikologische Wirkung ungeklärt?]

---

## Mengenangaben

Grundsätzlich ist bei fast allen Mengenangaben im Bereich Plastikmüll Skepsis angebracht: es gibt schließlich keine Instanz, die so registriert, dass eine übersichtliche Statistik abgeleitet werden könnte. Es gibt auch keine abgestimmte Registrier-Methode!<sup>38</sup> Die Abfallgegenstände bestehen auch sehr oft aus unterschiedlichen Materialien: Beispiel eine Papierschere mit Plastik-Griff oder ein Joghurtbecher mit Aluminiumdeckel. Bei Abfall ist nur eines sicher: jedes erzeugte Produkt wird irgendwann zum Abfall. Doch niemand in der Bevölkerung meldet, wann er etwas weggeworfen hat. Die Registrierungen vom „Grünen Punkt“ bilden nur eine Teilmenge des Gesamt-Müllaufkommens ab und die Zusammensetzung des Restmülls wird allenfalls geschätzt – meistens erst nach der Verbrennung.

Stichproben vom Plastikmüllaufkommen in einem Strandabschnitt oder von einem Ozean-Areal können niemals extrapoliert werden, da Meeresströmungen und Winde zu unterschiedlichen Anhäufungen oder Abreicherungen führen. Außerdem ist beim Müll, der im Meer treibt zu berücksichtigen, dass nicht alles an der Oberfläche schwimmt. Selbst, wenn man eine Wassersäule isoliert betrachten würde, können die Verhältnisse an anderen Stellen erheblich abweichen, denn immer unterscheiden sich Zusammensetzung und Alter der Teile.

---

<sup>38</sup> Wer mit dem Thema Produktionsstatistik befasst war oder ist, weiß welche Schwierigkeiten bereits am Anfang eines Produktlebens bestehen, es eindeutig zu fassen, obwohl über Produktion recht genau Buch geführt wird.

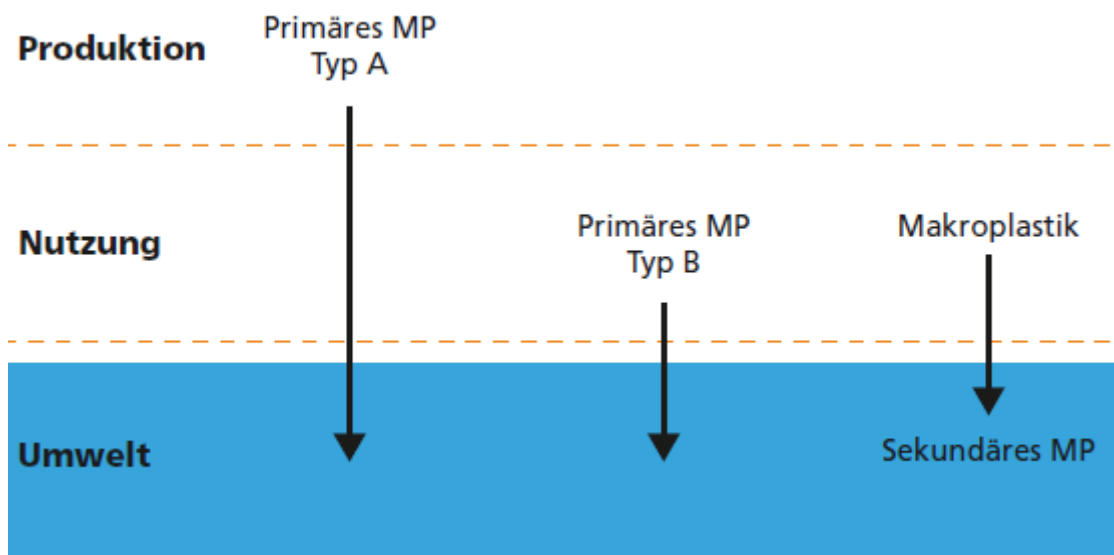
## Mikroplastik

### Definition/Unterscheidung:

Kunststoffteilchen, die kleiner als 1 mm im Durchmesser sind, werden als Mikroplastik bezeichnet. Diese Festlegung ist (noch) nicht genormt<sup>39</sup>! Bislang wurden bereits Teilchen unter 5 mm als Mikroplastik bezeichnet. Der Begriff „Mikroplastik“ wird erst seit 2008 verwendet.

Die Eigenschaften von Mikroplastik und Makroplastik unterscheiden sich kaum (siehe auch [www.plasticontrol.de](http://www.plasticontrol.de)). Der wesentliche Eigenschafts-Unterschied beruht auf der spezifischen Oberfläche. Sie nimmt mit abnehmender Teilchengröße zu. Das ist dann besonders bei Nanoplastik-Teilchen (Durchmesser kleiner 100 nm) ausgeprägt.

Mikroplastik (MP) wird auch aufgrund der Herkunft unterschieden in primäres und sekundäres Mikroplastik<sup>40</sup>. Dann wird bei primärem Mikroplastik nochmals unterschieden zwischen Typ A und Typ B. Die folgende Grafik von Fraunhofer [UMSICHT](#) veranschaulicht dies:



Primäres Mikroplastik vom Typ A wird als solches speziell produziert, um Eigenschaften anderer Stoffe zu verbessern. Dazu gehören auch Kosmetika und Reinigungsmittel. Die Typ A-Mengen, die in die Umwelt gelangen, sind im Vergleich zu anderen Mikroplastikmengen nicht sehr groß.

<sup>39</sup> N.B. Hartmann et al. haben (Januar, 2019) die sehr unterschiedlichen Definitionen zusammengestellt und neben anderen Festlegungen folgende Größen-Einteilung empfohlen: Makroplastik > 1cm; Mesoplastik > 1 mm; **Mikroplastik 1 µm bis 1000 µm**, Nanoplastik > 1 nm. Es gibt zwischenzeitlich immer mehr Autoren, die dieser Definition folgen.

<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.8b05297>

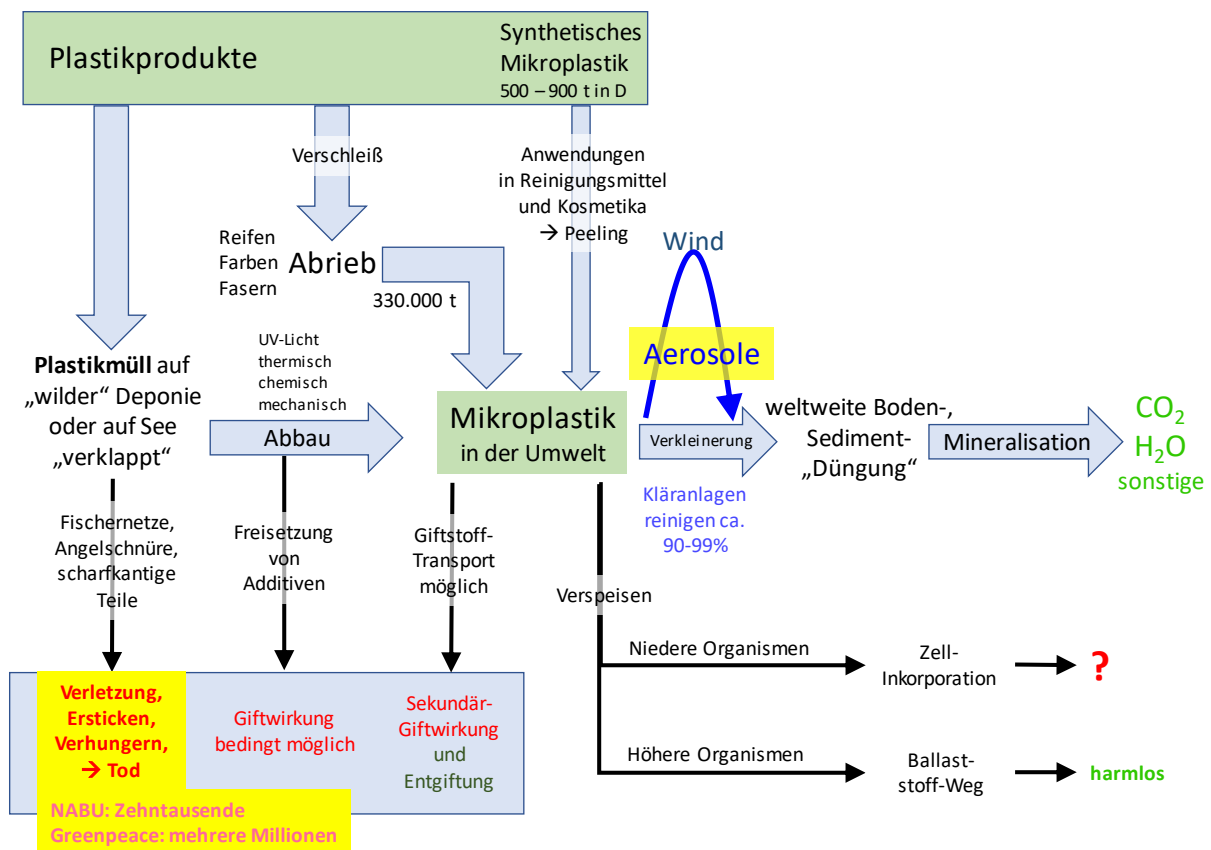
<sup>40</sup> Die Unterscheidung zwischen primärem und sekundärem Mikroplastik entspricht (noch) keiner Norm.

Primäres Mikroplastik vom Typ B entsteht bei der Nutzung und Abnutzung von Kunststoffen. Fraunhofer UMSICHT hat 51 Quellen gelistet und vermerkt, dass es noch sehr viel mehr Quellen gibt. Die angegebenen Mengen muss man allerdings als grobe Schätzungen verstehen, da es keine Messstellen hierfür gibt. Selbst die [Nachweismethoden](#) für Mikroplastik sind noch nicht standardisiert.

Makroplastik zerbröselnt mit der Zeit. So entsteht sekundäres Mikroplastik.

In Deutschland (Schätzung!) ist der Mikroplastik-Eintrag in die Umwelt 4mal so hoch wie der Eintrag von Makroplastik, das dann früher oder später auch zu Mikroplastik zerfällt. Pro Kopf sollen es 4 kg Mikroplastik pro Jahr sein. Die Zahl ist extrem unsicher. Aber der Bezug auf die Bevölkerung passt hier. Gut 10% der Mikroplastik-Emission stammt aus der Industrie. Den Hauptteil verursacht die Gesamtheit der Bürger.

Die Einzelheiten:





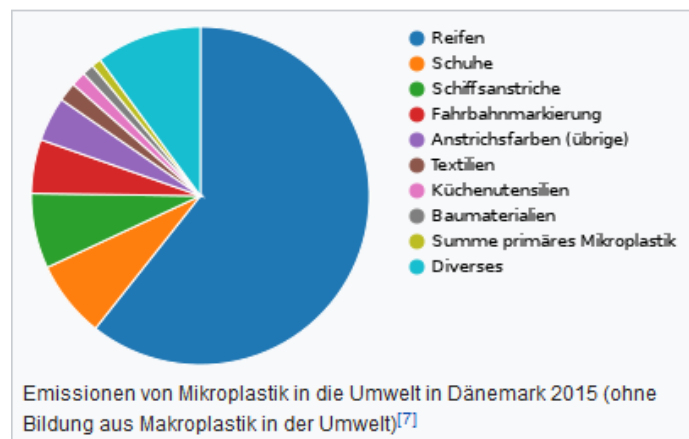
### Synthetisiertes Mikroplastik (primäres Mikroplastik Typ A)

In Form von Pellets werden Mikroplastikteilchen (kleiner als 5 µm) in Kosmetika und Waschmitteln eingesetzt, um einen Peeling-Effekt zu erzeugen. Die Produktionsmengen sind mit ca. 900 t in Deutschland vergleichsweise gering. Trotzdem wurde auf Druck vom Markt begonnen, Mikroplastik nicht mehr für diesen Zweck zu verwenden<sup>41</sup>.

### Mikroplastik aus Abrieb und Verwitterung (Teil des sekundären Mikroplastiks)

Der Abrieb ist, da in Mitteleuropa der Großteil des Mülls sorgfältig entsorgt wird, die größte Quelle für Mikroplastik in der Umwelt. Es werden hierzu viele Statistiken veröffentlicht (siehe hierzu auch das Tortendiagramm zu Mikroplastikquellen in Dänemark). Um die Verlässlichkeit solcher Statistiken zu bewerten, muss man sich nur fragen, wie man diese Daten messen konnte!

Die Abnutzung ist zwar mit Abstrichen erfahrbar. Aber, wieviel davon wirklich „freigesetzt“ und nicht richtig entsorgt (gekehrt, gesaugt, gewischt) wurde, ist nur grob zu schätzen. Aus Bodenproben sind allenfalls Hinweise zu erlangen. In Deutschland schätzt man die Gesamtmenge auf 300.000 t jährlich, davon sollen ein Drittel auf den Reifenabrieb und ein Drittel auf Textilien-Abrieb zurückzuführen sein.



Die Abnutzung ist zwar mit Abstrichen erfahrbar. Aber, wieviel davon wirklich „freigesetzt“ und nicht richtig entsorgt (gekehrt, gesaugt, gewischt) wurde, ist nur grob zu schätzen. Aus Bodenproben sind allenfalls Hinweise zu erlangen. In Deutschland schätzt man die Gesamtmenge auf 300.000 t jährlich, davon sollen ein Drittel auf den Reifenabrieb und ein Drittel auf Textilien-Abrieb zurückzuführen sein.

Ins Bewusstsein gelangt die die große Menge erst, wenn nach den Verschleiß-Quellen von Produkten gesucht wird. Nur ein paar Beispiele: Nach ein paar Jahren müssen Reifen gewechselt werden, weil das Profil abgefahren ist. Wo ist es geblieben? Der Abrieb liegt durchschnittlich bei 0,12 g/km; speziell Pkw bei 0,05 g/km (BASt 2010, Heft V 188). Der Gesamtreifenabrieb<sup>42</sup> in Deutschland beträgt ca. 110.000 t/a!

Auch wer zu Fuß geht – außer barfuß – erzeugt etwas Abrieb, worüber sich dann der Schuhmacher freut. Beim Auto gibt es eine weitere, bedeutsame Abriebquelle: das Bremssystem. Hier wird je nach Typ ein Staubgemisch aus Metall, Keramik (früher Asbest) und Kunststoff emittiert!

Auch wer zu Fuß geht – außer barfuß – erzeugt etwas Abrieb, worüber sich dann der Schuhmacher freut. Beim Auto gibt es eine weitere, bedeutsame Abriebquelle: das Bremssystem. Hier wird je nach Typ ein Staubgemisch aus Metall, Keramik (früher Asbest) und Kunststoff emittiert!

<sup>41</sup> Statt PE- oder PP-Mikroplastik wird immer mehr hochreine, amorphe Kieselsäure (u.a. von Evonik) für den Peeling-Effekt in Kosmetika und Waschmitteln eingesetzt.

<sup>42</sup> Das Hauptproblem beim Reifenabrieb wird nicht beim Kunststoffanteil gesehen. Dieser wird mit 0,68%/d relativ schnell abgebaut, wobei der chemisch-oxidative [Abbau](#) den biologischen Abbau übertrifft. Bedeutsamer sind die Feinstäube aus Ruß, Silika und Schwermetallen wie Zink und Cadmium, die sich hauptsächlich in Straßennähe ablagern und teilweise mit Niederschlagswasser auch ausgetragen werden können. Neben dem Reifenabrieb ist auch der Bremsenabrieb und der mitunter 10fach höhere Fahrbahnabrieb zu betrachten.

Auch bei der Nutzung von Textilien entsteht Abrieb. Waschmaschinen und Trockner besitzen häufig ein Flusen-Sieb. Dort kann es auffallen, dass es Abrieb der Wäsche gibt. Der Abrieb



1000 µm



1000 µm



1000 µm



1000 µm

aus Naturfasern (Wolle, Baumwolle) wird in der Natur relativ schnell abgebaut. Abrieb aus synthetischer Fasern zerfallen mit der Zeit zu Mikroplastik. Flusen entstehen aber nicht nur beim Waschvorgang. Auch bei der Nutzung Textilien entsteht Abrieb. Doch meistens werden Wäschestücke modebedingt weggeworfen noch ehe man Abnutzungsspuren erkennen kann.

Mikroskopische Abbildung von unterschiedlichen Faserabrieben nach dem Waschen von Funktionskleidung<sup>43</sup>.

Kunststoffteile, die im Freien verwittern, (Anstriche, Baustoffe, Verkleidungen, Gartenbaugerätschaften, Spielgeräte) blättern von der Oberfläche her ab und zerbröseln wie Plastikmüll mit der Zeit vollständig (→ [Abbau](#)). Die Kunststoff-Industrie entwickelt auch Produkte mit längerer Haltbarkeit – allerdings nach den Regeln des Marktes. Oft wären längere Haltbarkeiten möglich, sind dann aber zu teuer oder wegen begrenzter Einsatzzeit nicht sinnvoll.

### **Mikroplastik aus wild deponierten Kunststoffen (sekundären Mikroplastik)**

Mikroplastik entsteht auch durch den sukzessiven [Abbau](#) von unsachgemäß entsorgtem Plastikmüll. Beim Blick auf die größten Mengen dieser Art im Bereich der weniger entwickelten Ländern übersieht man leicht die Probleme vor der eigenen Tür: Abfälle (nicht nur aus Kunststoff) unterliegen besonderen Fliehkräften: diese ziehen die Teile besonders stark bei Auto- bahnausfahrten aus den Fahrzeugen. Auch auf Schulhöfen und Schulwegen scheint ein spezifisches Schwerkraft-System zu wirken!

<sup>43</sup> M. Sturm et al., „Mikroplastik gesucht“, Labor-Praxis, Vogel-Verlag, <https://www.laborpraxis.vogel.de/mikroplastik-gesucht-a-874029/>

Es gibt auch Kunststoffabfall, der eher unabsichtlich in die Natur ausgebracht wird. Plastikverpackte, in der Haltbarkeit abgelaufene Lebensmittel werden geschreddert und gelang(t)en so auf die Felder. (Eventuell auch Abfälle von Biogasanlagen?)

---

## Mikroplastik-Ausbreitung

Sehr feine Mikroplastik-Partikel verteilen sich als Aerosol-Komponenten (→ [Aerosol](#)) ähnlich gut mit dem Wind wie Pollen. Aufgrund des niedrigen, spezifischen Gewichts der Kunststoff-Aerosole bleiben diese Partikel viel länger in Schwebelage als gleichgroße Salz-, Mineral- oder Rußpartikel! Ansonsten sind die Verteilungswege nach der jeweiligen Mikroplastik-Entstehungsart zu unterscheiden:

### Synthetisiertes Mikroplastik

Schwerpunkte sind Kosmetik- und Reinigungsanwendungen. Diese finden mittel- und unmittelbar statt bei Waschvorgängen. Deshalb kann man davon ausgehen, dass die Hauptmenge dieser Mikroplastik-Partikel in das Abwasser gelangen. In den Industrie-Nationen durchlaufen diese Abwässer Kläranlagen, die zwischen 90% und 99% der Mikroplastikpartikel herausfiltern (→ [ChiuZ](#)). Der Rest gelangt wie bei den Ländern mit schlechter oder fehlender Klärtechnik in die Ozeane (→ [Müllverteilung in den Ozeanen](#)).

Wenn Klärschlamm nicht verbrannt wird, sondern in die Landwirtschaft verbracht wird, gelangen dann Plastikteile wieder in die Umwelt!

Der Anteil, der direkt auf die Böden gelangt, dürfte relativ klein sein. Es gibt aber auch Fälle, in denen Boden durch Klärschlamm mit Mikroplastik angereichert worden ist.

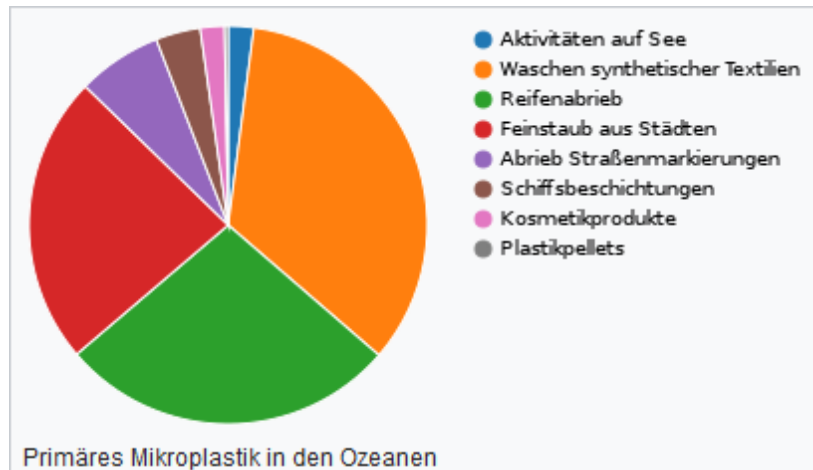
### Mikroplastik aus Abrieb und Verwitterung

Hier gelangt die Hauptmenge auf die Böden. Was dort nicht abgebaut wird, wird vom Wind weiter über das Land verteilt oder vom Regen in die Flüsse oder Vorfluter gespült. Was in die Vorfluter gelangt wird wie die synthetischen Mikroplastikpartikel in Klärwerken teilweise zurückgehalten. Mikroplastikpartikel aus Städten und Gemeinden haben deshalb eine größere Chance von dem Abtransport in die Ozeane abgehalten zu werden. Allerdings dürfte der Wind-Transport für Feinstpartikel eine Bedeutung haben, die groß genug ist, das Thema nicht ignorieren zu können.

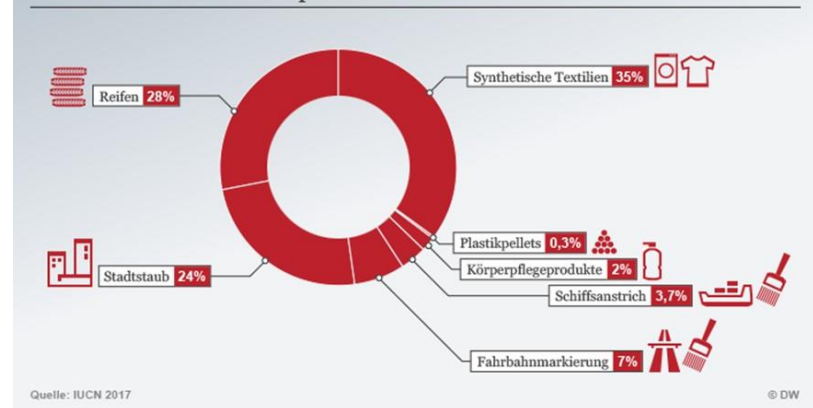
## Mikroplastik aus wild deponierten Kunststoffen

Wenn Kunststoffteile nach einiger Zeit zerbröseln sind, werden sie von Wind und Wasser abtransportiert. Dabei sind die Wasserwege teilweise nachvollziehbar: über Flüsse in die Ozeane und dort mit den entsprechenden Strömungen. Die Winde verteilen zunächst nach den Hauptwindrichtungen und dann auch in nördliche oder südliche Breiten.

Ein sehr großer Teil der Mikroplastik-Partikel gelangt mit Sicherheit in die Ozeane. Es ist allerdings reine Spekulation, eine Mengenverteilung aufstellen zu wollen. Die Grafiken zur Mikroplastik in den Ozeanen werden deshalb nur als Denk-Anregung gezeigt. Zu unterschiedlich ist der Umgang mit Kunststoff, zu unterschiedlich sind die Ausbreitungswege, zu unterschiedlich sind die Abbau-Prozesse. Klar ist, dass die Mengen nicht verschwindend sind und dass wir verantwortlich sind. Unabhängig von der Gefährlichkeit muss man sich dessen bewusst sein, dass die Menschheit den Globus mit einer derzeit noch sehr kleinen, aber gleichmäßigen Kunststoff-Staub-Spur überzogen hat. Vieles davon wird sicher auch bald abgebaut sein, aber Manches wird auch auf längere Zeit konserviert bleiben



### Woher kommt das Mikroplastik in den Weltmeeren?



## Mikroplastik bei biologischer Abfallverwertung

Der in Biotonnen eingesammelte Biomüll enthält oft noch Kunststoff-Reste. Dazu gehören auch biologisch abbaubare Plastikbeutel, die dort aussortiert werden müssen, weil sie für die spätere Verwertung viel zu langsam abbauen. Auch Kunststoff-Anhaftungen an Essensresten oder Bruchstücke können unbeabsichtigt in den Müll geraten und müssen aussortiert werden. Problematisch ist ebenfalls, dass sich in Gartenabfällen auch schon zerbröselte Reste von Pflanzschalen und ähnlichen Hilfsmitteln für den Gartenbau befinden. Nur bei guter Aufbereitungs-Qualität der Bio-Reste können die größeren Kunststoffteile fast vollständig entfernt werden. Aber die kleineren Mikroplastik-Teilchen werden bei der Siebung fast nie zurückgehalten. Bei Rückführung von aufbereiteten Bio-Abfällen in den Gartenbau oder in die



Landwirtschaft ist daher fast immer mit Mikroplastik zu rechnen. Nur, wenn Bio-Mülls aus kontrollierter Herkunft stammt, wird praktisch kaum Mikroplastik gefunden<sup>44</sup>.

Die Hauptmengen des Mikroplastiks im Biomüll besteht aus Polypropylen, Polyethylen und Polystyrol. Mancherorts wird auch Polystyrol zur Auflockerung absichtlich in den Boden gegeben. Von einer unmittelbaren Gefährdung ist nach heutigem Kenntnisstand bei diesen Mikroplastiksorten nicht auszugehen.

---

## Mikroplastik in der Nahrungskette?

Die Polymere, Grundsubstanz der Plastikartikel, sind aufgrund ihrer Molekülgröße und chemischen Beschaffenheit ungeeignet, von Lebewesen verdaut werden zu können. Die Magen-Darm-Chemie von Mensch und Tier kann keine synthetischen Makromoleküle abbauen. Die Magen-Darm-Schleimhäute lässt nur kleine Moleküle passieren.

Deshalb verhalten sich Kunststoffteile wie Ballaststoffe. Sie verdünnen den Nahrungsbrei und werden auch relativ schnell wieder ausgeschieden.

Von jeder Regel gibt es Ausnahmen. Aber über 90% der Abfallplastik gehorcht der Regel.

Man muss also die Ausnahmen suchen, um Schockbilder zu gewinnen. Dazu gehört das wahrscheinlich schon millionenfach reproduzierte Bild des toten Albatros: die Plastikteile sehen sehr „fotogen“ aus! Sicherlich gibt es tatsächlich Tiere, die aus Versehen Plastikteile aufgenommen haben und daran zugrunde gegangen sind. Das gilt es zu vermeiden.



Abb.: Toter Albatros (ein Laysan Albatross). Foto von Chris Jordan, aufgenommen auf dem Midway Atoll – Datum unbekannt. Überwiegt das Plastikmüllaufkommen das Nahrungsmittel-

---

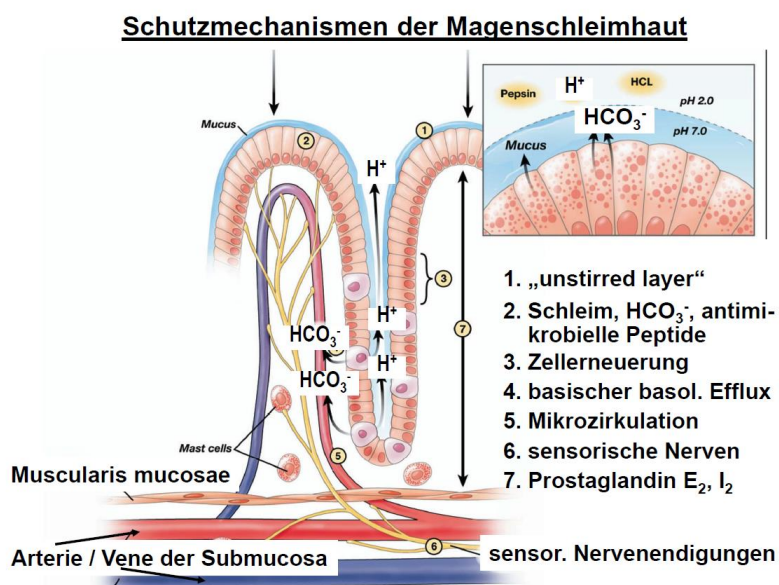
<sup>44</sup> R. Freitag, „Mikroplastik im Kompost“, GIT Labor-Fachzeitschrift, 9 (2019) 41-43

telangebot, können Tiere auch verhungern: Sie können nicht immer zwischen Müll und Nahrung unterscheiden. Offensichtlich nehmen manche Tiere auch so große Teile zu sich, die sie gar nicht wieder ausscheiden können. Der Magenraum wird für normale Nahrung immer kleiner und die Tiere verhungern. Bei genauerer Betrachtung wächst allerdings der Verdacht, dass dieses Bild „gestellt“ ist.

Die Schockbilder sollen suggerieren, dass Mageninhalt wie der des Albatros auf unsere Teller gelangen kann. Doch selbst, wenn ein solches Tier geschlachtet würde, würden wie sonst auch die Innereien ohnehin entfernt werden. Also weder größere oder kleinere Plastikteile, die sich im Magen von Schlachttieren befinden, gelangen auf den Teller. Anders ist es bei Tieren, die komplett verspeist werden wie Shrimps, Muscheln und manchmal auch Sardellen. Wenn diese Mikroplastik konsumiert haben, landet dieses Material auch bei uns im Magen. Da es dort aber weder zerlegt noch resorbiert werden kann, verlässt es den Organismus wie andere Ballaststoffe.

Mittlerweile gibt es Untersuchungsergebnisse, nach denen Mikroplastik die Kommunikation menschlicher Zellen stören soll<sup>45</sup>. Liest man nicht nur die Überschriften und Zusammenfassungen, sondern schaut nach, wie die Ergebnisse zustande gekommen sind, stellt man fest, dass es „Petrischalen“-Untersuchungen mit menschenähnlichen Zellen waren, die man sehr hohen Mikroplastikkonzentrationen ausgesetzt hatte, wie sie praktisch nicht vorkommen.

Auch die Überwindung der Magen-Darm-Schranke durch Nanoplastik ist allenfalls vorstellbar, denn wenn extrem hohe Nanoplastikmengen verabreicht werden schlüpfen wahrscheinlich immer ein paar wenige Teilchen durch lädierte Magen-Darm-Wand-Bereiche (Diese Wand ist durch eine Schleimschicht (z.B. Mukosa Barriere im Darm) in der Regel gut geschützt ist.) und gelangen in den Blutkreislauf – möglicherweise. Möglicherweise ist das, was man an Mikroplastik im Blutkreislauf gefunden haben will, auch nur verschlepptes Material beim unsauberen Umgang im Labor (→ [Probenahme](#)).



<sup>45</sup> UBA XXXXXXXXXXXX

[https://www.medizin.uni-muenster.de/fileadmin/einrichtung/physiologie1/Lehre/Vorlesungen/Gastrointestinaltrakt\\_WS13\\_14.pdf](https://www.medizin.uni-muenster.de/fileadmin/einrichtung/physiologie1/Lehre/Vorlesungen/Gastrointestinaltrakt_WS13_14.pdf)

Mitunter nutzt man absichtlich auch Kunststoffe (z.B. Styroporkügelchen) im Futter aus, um einer Verfettung der Nutz-Tiere entgegenzuwirken.

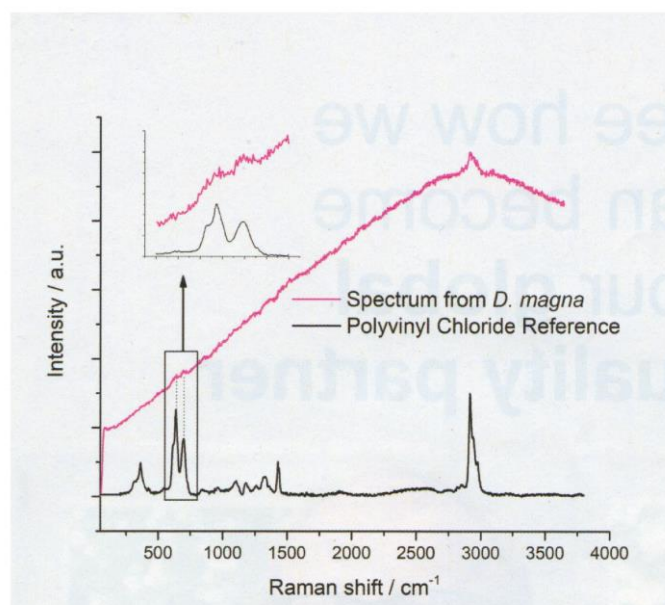
Pflanzen nehmen Nährstoffe aus der Luft und aus dem Boden zu sich. Eine Inkorporation von Mikroplastik ist dabei in der Regel ausgeschlossen

Einige Wasserorganismen wie Quallen oder Korallen haben keine feste Haut oder Schuppen. So können Partikel bei starker Anströmung in diese Tiere eindringen. Bei Korallen wurde festgestellt, dass dort die Kunststoffpartikel ähnlich wie andere Festpartikel (z.B. Sand) nekrotische Phänomene auslösen können, also Wirkungen, die nicht kunststoffspezifisch sind. Erwähnt wurde aber auch, dass zur Feststellung einer Reaktion praxisunüblich hohe Konzentrationen verwendet worden sind. Solche ehrlichen Angaben vermisst man in vielen anderen Mitteilungen über Forschungsergebnisse.

## Nachweis von Mikroplastik

### Nachweis.

Derzeit gibt es kein allgemein anerkanntes, standardisiertes Nachweisverfahren für Mikroplastik. Je kleiner die Kunststoff-Brösel werden, desto schwieriger wird ihr Nachweis, ihre Identifizierung. Ein Partikel kann man zwar mikroskopisch noch relativ gut erkennen, aber hierbei nicht unterscheiden zwischen Kunststoff und anderen Materialien (Pigmente, Flugasche, Pflanzen- oder Tier-Reste). Aber auch die chemische Identifizie-





rung mit spektroskopischen Methoden<sup>46</sup> ist keinesfalls einfach. Spezielle Mikroskope sind mit solchen Detektionsmöglichkeiten ausgestattet, so dass man auch aus der Form des Partikels noch ableiten kann, ob das spektroskopische Ergebnis passen könnte. Eine aktuelle Zusammenstellung von Analysemethoden ermöglicht die Tabelle von M. Sturm<sup>47</sup>:

Tabelle 1: Vielversprechende Neuheiten im Bereich Mikroplastikdetektion mit Vor- und Nachteilen.

Methoden / Quelle	Beschreibung	Vorteile	Nachteile
<b>TED-GC-MS</b> [14]; [15]	Weiterentwicklung von Pyr-GC-MS. Kombination aus Thermogravimetrischer Analyse (TGA) mit Festphasenextraktion gefolgt von thermischer Desorptionsgaschromatographie gekoppelt mit Massenspektrometrie (TDS-GC-MS). Probe wird in TGA zersetzt. Gase werden mit einem Festphasenadsorber aufgefangen und in TDS-GC-MS übertragen. In diesem Prozess können organische Verunreinigungen besser abgetrennt werden.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schnell</li> <li>• Wenig Probenaufarbeitung</li> <li>• Sensitiver als Pyr GC MS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Keine Aussage über Partikelanzahl</li> </ul>
<b>Vis-NIR-Spektroskopie</b> [16]; [17]	Hier wird der Bereich sichtbaren Lichtes (vis) und der Nahinfrarotstrahlung spektroskopisch untersucht. Bisher nur für Sedimente getestet. Sedimente werden ohne Probenvorbereitung (nur getrocknet) in Spektrometer gegeben und ein Vis-NIR-Reflektionsspektrum für die gesamte Probe gemessen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schnelle In-situ-Messung</li> <li>• Wenig Probenaufbereitung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hohe Nachweisgrenzen</li> <li>• Keine Aussage über Partikelanzahl</li> </ul>
<b>Hyperspektrale Bildaufnahmen</b> [18]; [19]; [20]; [21]	2D-Mapping im SWIR- oder NIR-Bereich. Teilweise kombiniert mit normaler Fotografie. Scheller als FTIR und Raman, daher leistungsfähiger. Derzeit kann das Detektionslimit von FTIR und Raman jedoch nicht erreicht werden. Je nach Paper zwischen 0,45 mm und 0,2 mm. Laut Autoren gibt es jedoch hier noch Verbesserungspotenzial.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schnelle Messung</li> <li>• Partikelgröße und -zahl kann bestimmt werden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nachweisgrenze &gt;0,2 mm</li> </ul>
<b>Durchflusszytometrie (FlowCam)</b> [22]	Hier werden nach einem standardisierten (aufwändigen) Protokoll alle organischen Substanzen zersetzt, bis nur noch Mikroplastik übrig bleibt. Danach wird mit einem Durchflusszytometer (FlowCam) eine optische Partikelzählung durchgeführt und die Größe/Form bestimmt.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Informationen über Größe/Form</li> <li>• Schnellere und leistungsfähigere Zählung als mit micro-FTIR/micro-Raman</li> <li>• Komplette Probe kann analysiert werden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Chemische Komposition wird nicht bestimmt</li> <li>• Aufwändige Probenaufbereitung</li> <li>• Annahme, dass Mikroplastik bei der Probenaufbereitung nicht zersetzt wird und nur Mikroplastik übrig bleibt</li> </ul>
<b>Nichtlineare Raman-Spektroskopie</b> [23]; [24]	Raman-Mikroskopie basierend auf stimulierter Ramanstreuung (SRS) oder kohärenter anti-Stokes-Ramanstreuung (CARS). Mit CARS konnte bereits in den Nanobereich vorgedrungen werden. SRS ist deutlich schneller als herkömmliche Raman-Messungen. Zusätzlich ist nur eine Extraktion oder Filtration nötig, keine weitere Probenaufbereitung.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Keine Probenaufbereitung nötig</li> <li>• Chemische Komposition wird bestimmt</li> <li>• Partikelzahl und -größe werden bestimmt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Noch nicht so ausgereift/praxiserprobt wie herkömmliche Raman-Mikroskopie</li> </ul>
<b>Durchflusszytometrie kombiniert mit Ramanspektroskopie</b> [25]	Ramanspektrometer auf eine Durchflusszelle gerichtet. Es kann direkt in Wasser gemessen werden, es ist keine Extraktion oder Probenaufbereitung nötig. Derzeit noch sehr langsam (11/h).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• In-situ-Messung</li> <li>• Chemische Komposition und Partikelzahl wird bestimmt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Langsame Messung</li> </ul>
<b>Nano-FTIR</b> [26]	Nano-FTIR ist eine Kombination aus Rastertunnelmikroskopie und micro-FTIR. Die Methode kann somit in den Nanobereich vordringen, ist jedoch im Monitoring nicht anwendbar, da das Scannen einer Gesamtfläche viel zu zeitaufwändig wäre.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sehr geringe Nachweisgrenze</li> <li>• Chemische Komposition und Partikelgröße werden bestimmt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sehr zeitaufwändig</li> <li>• Für Monitoring ungeeignet</li> </ul>
<b>Fluoreszenzmarker (Nilrot)</b> [27]; [28]; [29]	Häufig wird in Studien Mikroplastik mit dem Fluoreszenzmarker Nilrot angefärbt, um es einfach und schnell unter einem Fluoreszenzmikroskop zu erkennen. Teilweise wird dies auch mit automatischer Bildauswertung kombiniert. Üblicherweise wird Wasser gefiltert und Mikroplastik auf Filter in organischem Lösungsmittel angefärbt. Nilrot kann auch in Aceton vorgelöst und direkt ins Wasser gegeben werden, wo es das Mikroplastik anfärbt.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einfache Anwendung</li> <li>• Kostengünstig</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Starke Farben in Plastik können stören</li> <li>• Natürliches Material kann stören</li> <li>• Keine chemische Komposition wird bestimmt</li> </ul>
<b>OCT und DHM</b> [30]; [31]	Idee DHM und OCT für Mikroplastikdetektion anzuwenden. Es soll Mikroplastik über Größe, Form und Brechungsindex in Kombination mit Durchflusszytometrie detektieren können. Bisher nur ein Konzept.		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bisher gibt es hierzu nur ein Konzept</li> <li>• Wissenschaftliche Daten sind bisher nicht verfügbar</li> </ul>
<b>MALDI-TOF-MSI</b> [32]	MALDI (Matrixunterstützte-Laser-Desorptions-Ionisation) - TOF (Flugzeit) - MSI (Massenspektrometrische Bildaufnahme). Für allgemeines Mikroplastikmonitoring nicht geeignet, da verschiedene Polymere verschiedene Ionisationsmethoden brauchen. Jedoch können einzelne Partikel räumlich aufgelöst in ihrer Heterogenität genau untersucht werden, z.B. auf chemische Transformation, Biofilmbildung etc...	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einzelne Partikel können genau auf ihre Zusammensetzung und Eigenschaften untersucht werden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufwändig</li> <li>• Für Monitoring ungeeignet</li> </ul>

<sup>46</sup> Neben Raman-Spektroskopie wird auch Infrarot- und Massenspektroskopie angewandt.

Siehe dazu auch : D. Fischer et al., „Identifizierung von Mikroplastik in Umweltproben“. GIT Labor-Fachzeitschrift, 9 (2019) 38-40 – hier wird auch eine vorbildliche Probenpräparation vorgestellt!

<sup>47</sup> M. Sturm et al., „Mikroplastik gesucht“, Labor-Praxis, Vogel-Verlag, <https://www.laborpraxis.vogel.de/mikroplastik-gesucht-a-874029/>



Es besteht aber den automatisierten Verfahren das Grundproblem, dass das Signal-Rauschverhältnis immer ungünstiger ist, je kleiner die zu identifizierenden Teilchen sind<sup>48</sup>.

Als Beispiel dient die Abbildung eines Raman-Spektrums eines etwa 5 µm großen PVC-Teilchens (N.P. Ivleva, *analytica pro*, 2018, S.18 – PVC-Teilchen wurden zuvor an Daphnien verfüttert, in deren Körper dann die Teilchen identifiziert wurden). Die magentafarbene Kurve ist das Mess-Signal. Weil man aber weiß, dass es sich um ein PVC-teilchen handelt und weil man das PVC-Ramans-Spektrum (schwarze Kurve) gut kennt, kann man im Rauschen der Messkurve doch Signale vom PVC-Teilchen erkennen.

Weitere Schwierigkeiten für den Kunststoffnachweis in der Natur sind:

- häufig die chemische Ähnlichkeit mit natürlichen Stoffen (z.B. Polyethylen und Wachs; Phenolharz und Holz; Polyisopren und Kautschuk)
- keine Möglichkeit durch Plausibilitätsmessungen mit anderen Methoden das Analyseergebnis absichern zu können. (Eine mögliche, mikroskopische Aufnahme ist hierfür nicht ausreichend.) Die Probemengen sind dafür meistens zu gering um beispielsweise thermische Analysen, Elementanalysen, Brennproben oder Löslichkeitsproben durchführen zu können.
- die chemische „Langweiligkeit“ der Kunststoffe, die mit fehlenden oder monotonen, funktionellen Gruppen zusammenhängt (→ Kunststoffe). Dadurch gibt es zu wenig charakteristische Analyse-Signale.
- kleinste Verunreinigungen wie Anhaftungen von anderen Materialien (natürliche wie Biofilme oder ebenfalls aus Abfällen stammende) erschweren die Analytik oder verhindern ein klares Ergebnis. Wasserspuren verfälschen beispielsweise IR-Spektren.

(Biofilme/eco-corona, Anhaftungen)

Eine besondere Schwierigkeit ist auch die „Gläubigkeit“ derer, die Untersuchungen durchführen. Sie können oft nur die Geräte bedienen, haben aber kaum chemisches Grundwissen und wenig analytische Erfahrung. Sie glauben gerne dann den Interpretationsvorschlägen der Gerätesoftware, die auf umfangreiche Spektren Bibliotheken zurückgreift, aber eigentlich nur einen Bildvergleich ermöglicht. Vorschläge der Gerätesoftware werden kritiklos übernommen, auch wenn die angegebene Trefferwahrscheinlichkeit weit unter 1 liegt.

Die sehr schwierige Identifikation von Mikro- und Nanoplastik-Partikel hat Chemiker der ETH<sup>49</sup> veranlasst, 100 nm große Nanoplastikteile mit Palladium-Kern herzustellen. Damit konnten sie recht zuverlässig die Rückhaltung von Nanoplastik in Kläranlagen nachweisen. Sie kamen auf eine mittlere Abreicherung von gut 93%. Dabei finden sich mehr als 98% im

---

<sup>48</sup> Die Identifizierung von kleinsten Kunststoffpartikel gestaltet sich viel schwerer als der Nachweis einzelner Moleküle. Selbst, wenn diese in einer weitaus geringeren Konzentration vorliegen, lassen sich durch Isolierungs- und oder Anreicherungsverfahren bestimmen.

<sup>49</sup> Denise M. Mitrano et al., *Nature Nanotechnology* (2019)

Klärschlamm wieder. Nun soll mit diesen speziellen Nanoplastikteilen der weitere Weg in der Natur, speziell in den Nahrungsketten bis zu unseren "Tellern" untersucht werden.

### **Probengewinnung.**

Die Probenahme zum Nachweis von Mikroplastik aus einem Gewässer, aus dem Boden oder aus einem Gewebe ist sehr schwierig! Bedenkt man, dass sich kleinste Kunststoffteile weltweit überall als Aerosol verbreitet haben, hat man kaum Chance einer unkontaminierten Probenahme! Probenahmegeräte (häufig auch aus Kunststoff, insbesondere die Netze), Analysengeräte, Untersuchungsraum, Präparationsmaterialien und selbst der Probenehmer (Bekleidung, Haut) müssten wie im Reinraum partikelfrei sein. Das wird in den wenigsten Fällen auch bei größter [Anstrengung](#) möglich sein (siehe dazu auch die Anmerkung<sup>43</sup>).

Findet jemand im arktischen Eis Kunststoff-Partikel, ist das also aus zwei Gründen nicht erstaunlich. (1) Man kann davon ausgehen, dass inzwischen überall auf der Erde Mikroplastikpartikel vorkommen. (2) Man kann bei der Probenahme fast nie vermeiden, Partikel aus seiner Umwelt einzuschleusen. Es wäre also viel erstaunlicher, fände man nichts!

Es ist auch besonders schwierig, repräsentative Proben bezüglich Mikroplastik im Gewässer zu erhalten: Mikroplastik ist nicht gleichmäßig verteilt! Kunststoffe geringer Dichte sammeln sich an der Oberfläche im Bereich des Neustons (Schicht direkt an oder knapp unter der Wasseroberfläche). Andere Kunststoffteile sedimentieren, wenn die Strömung schwach ist. Verlässliche Mengenangaben sind kaum möglich.

## Plastikmüll

Die verheerenden Bilder von mit Plastik zugemüllten Stränden oder von im Meer treibenden Müll rufen Entsetzen hervor - mit recht. Auch Fotos aufgeschnittener Tierkadaver, die mit Plastikmüll zugestopfte freigelegte Mägen mahnen, das bisherige Handeln zu überdenken und mehr Verantwortung zu zeigen.

Allerdings stellen Maßnahmen wie ein Verbot von [Wattestäbchen](#) und ähnlichen Produkten angesichts der Mengenrelationen die Ernsthaftigkeit oder Kompetenz in Frage. Es sabotiert eigentlich professionell wirksame Maßnahmen.

Es werden jährlich weltweit etwa 335 Mio. Tonnen Kunststoffe (2015) unterschiedlichster Art produziert. Manche Kunststoffe sind nur für kurzfristigen Einsatz vorgesehen – beispielsweise Verpackung. Diese fallen dann relativ schnell als Müll an. Am langlebigsten sind Kunststoffe im Baubereich und in Maschinenbauanwendungen mit z.T. jahrzehntelanger Nutzung. Somit konzentriert sich das aktuelle Müllproblem unkontrollierter Entsorgung auf die chemisch eher einfach aufgebauten Verpackungsmaterialien (Folien, Tüten, Getränkebehälter).



Bild: Von Vberger - Eigenes Werk, Gemeinfrei, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=12262129>

Langfristig wird aber jeder Stoff – nicht nur Kunststoff - irgendwann zum Abfall! Das wird auch durch das Recycling nicht geändert. Recycling führt lediglich zu einer Verlängerung der Nutzungsdauer, was durchaus sinnvoll ist. Doch auch die Recyclierbarkeit hat ihre Grenzen. Sehr selten kann ein Material mehr als 10-mal recycelt werden („Re-Inkarnation“): Altpapier bis zu 7-mal; Kunststoffe bis zu 5-mal.

Regional sehr unterschiedlich verteilt sind Kunststoff-Produzenten und wilde Müllablagerungen:

### Top 10 sources of ocean's plastic waste



Abb.: Die 10 größten Plastikmüllverschmutzer der Weltmeere (Das Bild relativiert sich, wenn man den Plastikmüll auf die Kopffzahl bezieht.)

[https://www.nationalgeographic.de/sites/germany/files/styles/image\\_1900/public/88605.jpg](https://www.nationalgeographic.de/sites/germany/files/styles/image_1900/public/88605.jpg)

Dieses tritt regional jedoch sehr unterschiedlich auf. In Deutschland und in einigen weiteren, europäischen Ländern gibt es ein gut organisiertes Abfallmanagement. Das sieht in weiten Teilen Asiens und Afrika anders aus. Dort gelangt der Plastikmüll direkt oder über Verwehungen aus ungesicherten Müllsammelstellen über Bäche und Flüsse letztendlich in die Meere. (Zur dortigen Situationseinschätzung → [Plastikmüll im Meer](#)).

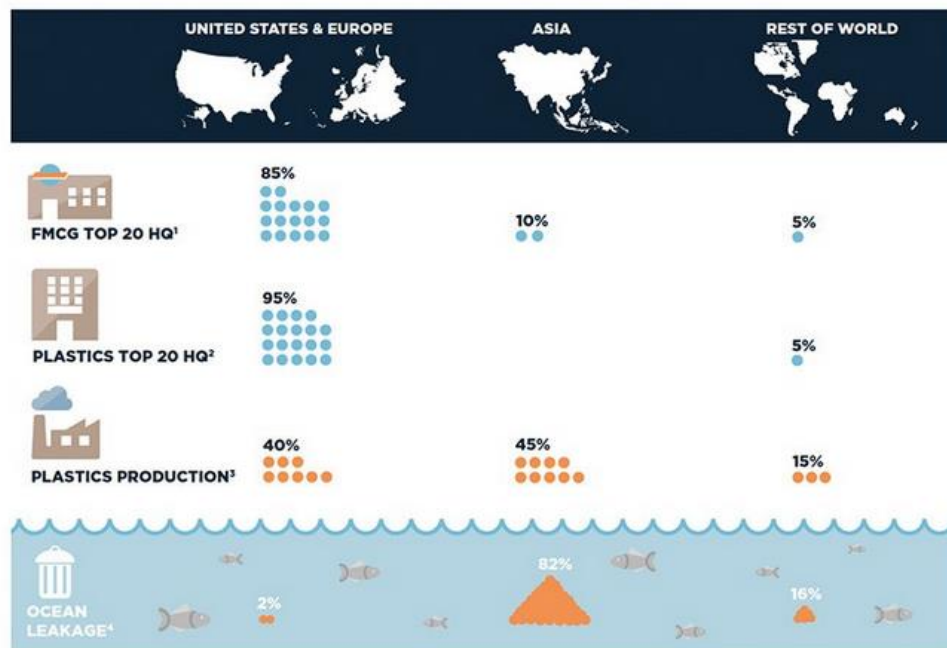


Doch auch unsere Regionen sind nicht frei von illegalen Müllentsorgungen, man muss sich nur die Randstreifen viel befahrener oder viel begangener Wegstecken ansehen.

Nebenstehend Bild von weggeworfenem Müll neben einem Supermarkt in Duisburg (dürfte aber auch in jeder anderen Stadt so zu finden sein.)



FIGURE 9: DISTRIBUTION OF PLASTICS HEADQUARTERS, PRODUCTION AND LEAKAGE



<sup>1</sup> Headquarters of the global top 20 FMCG (Fast Moving Consumer Goods) companies (measured by 2014 global net sales)

<sup>2</sup> Headquarters of the top 20 plastics and resin manufacturers (measured by 2015 global capacity)

<sup>3</sup> Production of plastics material volumes (excluding thermoplastics and polyurethanes)

<sup>4</sup> Source of plastics leaked into the oceans (proportion of the total global leakage measured in million tonnes of plastic marine debris leaked per year)

Source: PlasticsEurope, *Plastics - the Facts 2015* (2015); Statista; ICIS Supply and Demand; J. R. Jambeck et al., *Plastic waste inputs from land into the ocean* (Science, 13 February 2015).

ERGEBNIS DER STUDIE THE NEW PLASTICS ECONOMY RETHINKING THE FUTURE OF PLASTICS DER ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2016.

Als Quellen des Abfallstroms sind zu nennen:

- Abfälle während der Produktion, auch auf Baustellen
- Abfälle beim Transport zum Verbrauch: verlorene Ladungen
- Abnutzung beim Gebrauch: Abrieb, Verwitterung
- Gebrauch selbst: Reinigungs- und Kosmetikmittel; Feuerwerk
- Verluste beim Gebrauch: Verlieren, beschädigt zurücklassen
- Ausgediente Produkte: Müll, Sperrmüll, Bauschutt, Industriemüll und Recycling-Ausschuss
- Verluste beim Abfalltransport und bei der Abfallverwertung
- Reststoffe aus der Müllverbrennung

---

## Plastikmüll-Entsorgung

In Deutschland fällt jährlich etwa 6 Millionen Tonnen Plastikmüll an. Produziert werden etwa 18 Millionen Tonnen Kunststoff und verbraucht werden 13 Millionen. Das bedeutet, dass mehr als 5 Millionen Tonnen exportiert werden und dass 7 Millionen Tonnen in längerlebigen Produkten stecken müssen. 7 Millionen Tonnen wären aber nur der Netto-Zufluss. Es müssten also noch sehr viel mehr längerlebige Kunststoffprodukte in die Anwendung gehen, da es ständig auch verbrauchte Kunststoff-Materialien gibt. Angaben in der Müllstatistik sind immer kritisch zu hinterfragen.

Kunststoffrecycling wird in Europa Jahr für Jahr gesteigert. Aus den Haushalten wurden 2016 27 Millionen Tonnen Kunststoffmüll recycelt (31%), energetisch verwertet (42%) oder deponiert (27%; nicht mehr in Mittel-Europa und Skandinavien). Verpackungsmüll ist der Hauptposten: 16,7 Millionen Tonnen (41 % recycelt, 39% energetisch verwertet, 20 % deponiert). Damit liegt die Recyclingquote bei Verpackungen bei 84%.

Zieht man von der verwendeten Kunststoffmenge die rückgeführte Kunststoffmenge ab, bleiben auch in Europa 22,8 Millionen Tonnen Kunststoffe als ungeklärt übrig, denn das, was produziert wird, fällt früher oder später wieder als Müll an. Auch längerlebige Produkte werden irgendwann wieder als Müll erscheinen.

Weltweit werden 300 Millionen Tonnen Kunststoff erzeugt, der wie jedes Material irgendwann auch als Abfall wiederauftauchen muss.

In Deutschland ist die Müllentsorgung gesetzlich streng geregelt. Seit Anfang 2019 ist das neue Verpackungsgesetz (VerpackG) in Kraft. Es betrifft in erster Linie Industrie und Handel. Für Verbraucher gibt es die Organisation des „Grünen Punktes“, die Verpackungsmüll – nicht nur Kunststoffe – entsorgt. Andere Kunststoffe werden mit dem Rest-Müll entsorgt. Dieser wird der Müllverbrennung zugeführt. Unbehandelter Müll wird in Mitteleuropa und Skandinavien nicht mehr deponiert

Das vom „Grünen Punkt“ eingesammelte Material wird meist automatisch gesichtet und danach aufgetrennt, um möglichst viel recyclingfähiges Material zu gewinnen. Die Recyclingquote liegt jedoch unter 30%, was unter anderem daran liegt, dass in manchen Regionen der Anteile an Fehlwürfen in den Gelben Tonnen und Gelben Säcken bis zu 60% beträgt. Ein anderer Grund ist der oftmals zu komplizierte Aufbau der Kunststoffprodukte: Verbundstoffe und Verschachtelungen. Auch starke Verschmutzungen behindern eine Weiterverwertung. Grundsätzlich ist in der EU die Verwendung von Recyclaten für Lebensmittelverpackungen auch aus Hygiene- und Kontaminationsgründen untersagt.

Ein weiteres Problem stellt die Alterung von Kunststoff dar. Bereits wenige Wochen an der Sonne führt dazu, dass die großen Kunststoff-Molekülketten aufgespalten werden. Damit verändert sich die Eigenschaft des Kunststoffs. Er hat nicht mehr die Qualität neuer Ware. Das schlägt sich durch auf das Recycling-Produkt!

Die nachfolgende Abbildung zeigt den Schichtaufbau einer Fleischverpackung. Um alle Anforderungen der Hygiene, der Haltbarkeit und der Sichtbarkeit zu erfüllen, besteht die Deckfolie hier aus 8 Komponenten. Es gibt aber auch Verpackungen, die aus noch mehr Komponenten bestehen, wenn beispielsweise Wiederverschließbarkeit erforderlich ist.

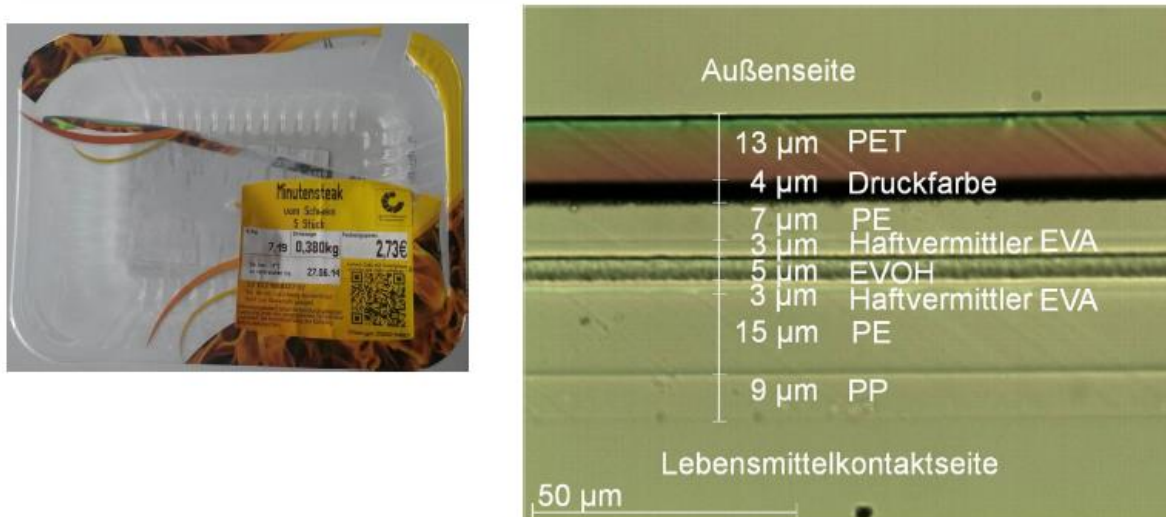


Abb. Beispiel eines Verpackungsschichtaufbaus; L. Richter, TU Dresden  
[https://www.chm.tu-dresden.de/lc2/dateien/2014\\_Richter\\_Schichtaufbau.pdf](https://www.chm.tu-dresden.de/lc2/dateien/2014_Richter_Schichtaufbau.pdf)

Was zu schwierig für das einfache Recyceln ist, wird der Müllverbrennung zugeführt. Die Plastikfraktion in diesem Müll hat den Vorteil, dass sie sehr energiereich ist. Eine Plastik-Tüte hat einen spezifischen Heizwert, der etwas höher als der von Heizöl ist<sup>50</sup>. Dadurch spart die Müllverbrennung beim Zusatz von Heizöl oder Erdgas. In der Zeit vor der Einsammlung des „Grünen Punktes“ war der Energiegehalt des Mülls so hoch, dass die Müllverbrennungsanlagen meistens ohne Zusatzenergie auskamen.

Für den Einzelverbrauch lohnt es sich, die Verhältnismäßigkeit vor Augen zu führen: Der Hebel zur Energieeinsparung/Umweltschonung ist beim Verkehrsverhalten und beim Heizen und Kühlen sehr viel größer als „Plastik-Verzicht“<sup>51</sup>. Wobei unnötige Verwendung immer abgestellt werden sollte.

<sup>50</sup> Der Heizwert von Heiz-Öl liegt bei 41 MJ/kg, der von Polyethylen (LD-PE) bei 43 MJ/kg. Ein Liter Heizöl hat demnach ein Heizwert von 48,81 MJ/l bei einer Dichte von 0,84 kg/l.

Wenn ein Dieselfahrzeug einen Durchschnittsverbrauch von 6 l Diesel/100 km hat, verbraucht es pro Kilometer 40,4 g oder 2,17 MJ (=602 Wh).

Das Kunststoffröhrchen eines Wattestäbchens wiegt 15 mg. In Heizöl oder Diesel umgerechnet wären das 15,7 g. Im Auto käme man damit auf eine „Reichweite“ von 0,39 m!

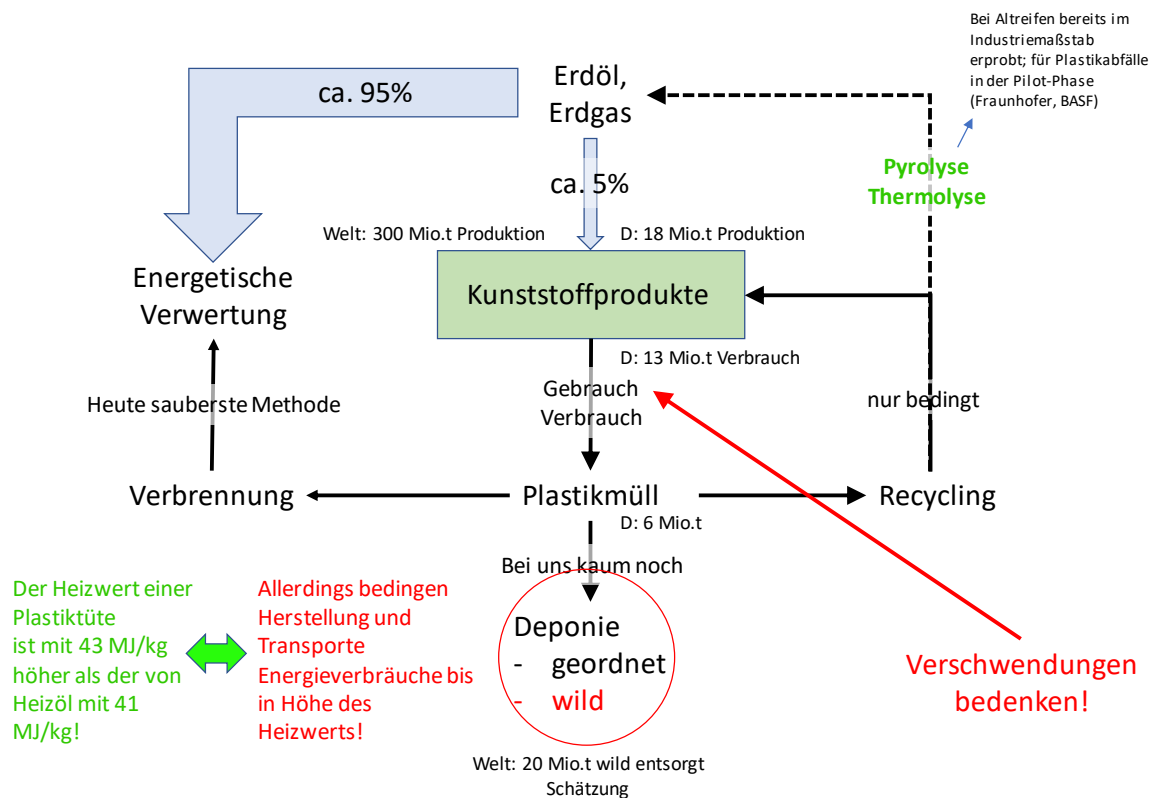
Mit einer einfachen Kunststofftragetasche (15 g) käme man 390 m weit.

Mit einer 0,5 l PET-Flasche (leer 17 g) kommt man auf einer Reichweite von 306 m (PET etwa 30 MJ/kg).

<sup>51</sup> Ein 2-Personenhaushalt hat vielleicht einen Heiz-Warmwasser-Energiebedarf von 9000 kWh pro Jahr. Umgerechnet in Kunststoffeinkaufstüten (180 Wh) sind das 50.000 Tüten. Jede Woche eine Tüte eingespart entspricht 0,1 %. Durch bewusstes Wärme-Management und Technik-Verbesserungen lassen sich hingegen bis zu 30% einsparen!



## Stoff-Ströme: Plastik und Plastikmüll



Plastikmüll könnte durch Pyrolyse (eigentlich Thermolyse) wieder weitestgehend in seine Rohstoffmoleküle (z.B. Methan, Ethan, auch Monomere<sup>52</sup>) aufgespalten und so der Synthese neu zugeführt werden. Dieses Verfahren ist großtechnisch bei Altreifen und beim Fluor-Polymer-Recycling erprobt, aber bei der Standard-Plastikmüll-Verwertung noch in der Entwicklung<sup>53</sup>.

Es gibt auch Ansätze, Kunststoffe mit unterschiedlichen Lösungsmitteln aufzutrennen. Dies wird jedoch umso schwieriger, je mehr unterschiedliche Kunststoffe aufgelöst werden müssen. Die Chance, sehr ähnliche Kunststoffe voneinander zu trennen, ist wirtschaftlich kaum möglich, aber erforderlich, will man wieder Produkte auf gleich hohem Qualitätsniveau daraus herstellen (Newcycling-Verfahren, APK AG, Merseburg).

Interessant sind auch immer mehr Aktivitäten zum Up-Cycling, bei dem aus Abfallprodukten sogar höherwertige Produkte erzeugt werden. Dabei darf man nicht verkennen, dass es sich

<sup>52</sup> Polyisopren, Hauptbestandteil im Kautschuk, neigt zur Depolymerisation und lässt sich deshalb bei der Reifenpyrolyse im Kondensat wiederfinden.

<sup>53</sup> Wirtschaftlichkeit erreicht man so gerade erst jetzt mit der Altreifenpyrolyse, weil man da den viel wertvolleren Ruß als Hauptprodukt zurückgewinnen kann, und bei fluorierten Polymeren, weil dort der Werkstoff recht hochpreisig und die Entsorgung aufwändiger als bei Standard-Kunststoffen ist. Für andere Kunststoffe, z.B. PET, ist die technische Machbarkeit des thermolytischen Recyclings gegeben. Da aber das Recycling noch immer teurer ist als der Rohstoff aus Erdöl, ist die Präferenz des Marktes eindeutig. Allerdings sind die Differenzen durch Verfahrensverbesserungen kleiner geworden. Siehe auch: <https://www.process.vogel.de/kunststoff-up-cycling-statt-deponie-a-491439/> und D. Stephan, Process (2019) <https://www.process.vogel.de/index.cfm?nomobile=1&pid=1&pk=818828&p=1>

um kleinvolumige Nischen-Verwertungen handelt. Doch auch kleine, sinnvolle Beiträge verdienen Unterstützung<sup>54</sup>.

Die Müllentsorgung ist weltweit noch nicht auf dem Stand der Industrieländer. Dort gibt es häufig noch Mülldeponien, wenn der Müll überhaupt schon eingesammelt wird. Das Problem ist erst in neuerer Zeit medienwirksam durch Plastikmüllberge an den Stränden in die Aufmerksamkeit transportiert worden. Man muss aber wissen – die meisten Journalisten verschweigen es –, dass nicht nur Plastik so weggeworfen wird. Gibt es keine organisierte Abfallwirtschaft, landet alles, was nicht mehr gebraucht wird, in der Natur. Dazu gehören auch Giftstoffe und Krankheitserreger. Der Plastikmüll ist dafür eigentlich auch ein Indikator!

Der in die Natur abgegebene Plastikmüll – auch der deponierte, wenn die Deponie ungeschützt ist – zerbröseln mit der Zeit (→ [Abbau](#)) und wird von Wind und Wasser weiter verteilt (→ [Ausbreitung von Kunststoff auf dem Meer](#)). Dies gilt auch für die bei uns nicht richtig entsorgten Gegenstände.

Zum Thema Plastikabfall ist zu empfehlen:

- Weniger wegwerfen und Materialien länger nutzen → also überlegt handeln!
- Recycling, wenn der Aufwand<sup>55</sup> nicht zu hoch und die Materialien noch definiert sind.
- Verbrennung und damit Nutzung der in Kunststoffen enthaltenen, recht hohen Energie.
- Thermolyse (Pyrolyse) einsetzen, wo heute bereits wirtschaftlich und erprobt. Künftig werden diese Up-Cycling-Verfahren an Bedeutung gewinnen.

---

## Polyethylen (PE)

Polyethylen (PE) ist das am häufigsten produzierte Polymer. Es wird hergestellt aus der Aneinanderreihung mehrerer Millionen Ethen-Moleküle (auch Ethylen genannt). Im Idealfall liegen lineare Kettenmoleküle vor. In der Realität entstehen aber bei der Aneinanderreihung (Polymerisation) so vieler Moleküle Fehler in Form von Verzweigungen. Somit sind fast alle Polyethylene leicht bis mittelstark verzweigt, wenn man nicht besondere Maßnahmen wie bei der Sorte PE-HD gegen die Verzweigung anwendet. Somit gibt es von Hersteller zu Hersteller leichte Unterschiede bei den Polyethylen-Eigenschaften, was beim Recyceln bedacht werden muss.

---

<sup>54</sup> Sehr pfiffig ist die Idee eines Bayreuther Start-Ups (<https://www.bag-to-life.com/>), das aus ausgemusterten Sicherheitswesten stylische Taschen und Rucksäcke fertigt.

<sup>55</sup> Derzeit (2019) liegen die Kosten für Recyclingware sogar 20% über den Kosten für Neu-Ware.

Unverzweigte Kettenmolekülbereiche können sich nebeneinander anlagern und dabei bereichsweise eine Art kristalline Struktur bilden, die dann etwas fester und dichter ist als der übrige Bereich.

Die Hauptanwendung des Polyethylens sind Verpackungen. Dort sind keine besonders hohen Festigkeit gefragt. Es ist nur wichtig, dass die verpackte Ware vor Feuchtigkeit, Staub und anderen Kontaminationen geschützt wird. Da Verpackungsmittel meist nur einmal verwendet werden, ist die kostengünstige Herstellung von Polyethylen ebenfalls von Vorteil. Auf verteuernde Additive kann meistens verzichtet werden.

Polyethylen hat chemische Ähnlichkeit mit den Alkylresten der Wachsfettsäuren. Da aber Polyethylen keine funktionellen Gruppen enthält, ist es chemisch und bakteriologisch schlecht angreifbar. Das hat aber auch zur Folge, dass Polyethylen keine Giftwirkung entfalten kann!

Polyethylen kann durch den UV-Anteil im Licht angegriffen werden. Dies kann durch Ruß-Zusatz vermindert werden.

Da Polyethylen nicht sehr fest ist – auch im Vergleich mit anderen Kunststoffen – wird es mechanisch leicht zerstört.

Die Dichte von Polyethylen ist kleiner als die von Wasser. Polyethylen schwimmt daher auf dem Wasser. Nur durch Bio-Fouling könnte es absinken.

Polyethylen konnte bislang nicht biologisch abgebaut werden. Inzwischen gibt es [Bakterienstämme](#), die Polyethylen angreifen können. Aber auch ohne bakterielle Einwirkung ist die Haltbarkeit unter normalen Umweltbedingungen begrenzt, da es von Sauerstoff der Luft und des Wassers angegriffen werden kann.

---

## Polyethylenterephthalat (PET, PETP)

Polyethylenterephthalat (meist als PET abgekürzt) wird aus Ethylenglykol und Terephthalsäure durch Polykondensation hergestellt. Die Hauptanwendung heute sind Getränkeflaschen. PET hat höherwertige Gebrauchseigenschaften: z.B. kristallines PET ist 10mal reißfester als PE und seine Wärmebeständigkeit (in °C) ist fast doppelt so hoch wie bei PE. Es ist allerdings in der Herstellung etwas teurer.

Für die Getränkeflaschenanwendung eignet sich amorphes PET, weil es transparent wie Glas aber unzerbrechlich ist und weil es eine geringe Durchlässigkeit für Sauerstoff und Kohlenstoffdioxid aufweist.

Neben Getränkeflaschenanwendung wird PET auch in langlebigeren Gütern der Elektronik und der Gerätetechnik eingesetzt.

PET gehört zur Kunststoff-Familie der Polyester. Diese sind im Gegensatz zu PE säure- und laugenempfindlich. Mikroben könnten PET viel besser angreifen als PE.

## Polyvinylchlorid (PVC)

Polyvinylchlorid gehört zu den festeren Thermoplasten. Es isoliert elektrisch sehr gut. PVC wird aber auch für Verpackungen verwendet. Eigentlich ist es aber eher für längerlebige Produkte (z.B. Fensterprofile, Kabelummantelung) geeignet.

Die Entsorgung ist im Vergleich zu anderen Kunststoffen nicht so einfach, da als Abbauprodukt ohne Neutralisierungsmittel auch Salzsäure entstehen kann.

Weich-PVC (Bezeichnung PVC-P) enthält oft bis zu 50% Weichmacher (häufig Phthalate), die auch schon während der Gebrauchszeit ausschwitzen können.

---

## Polystyrol (PS)

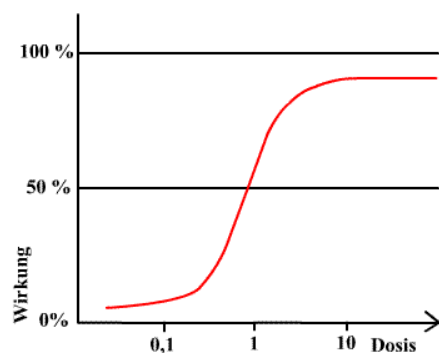
Polystyrol begegnet den meisten Verbrauchern in Form von Verpackungsmaterialien oder in Form von Schäumen (bekanntester Handelsname: Styropor). Für höherwertige Anwendungen muss Polystyrol mit anderen Polymeren oder mit Additiven modifiziert werden. Polystyrol ist wenig UV-beständig. Für den meist kurzzeitigen Einsatz von Verpackungsmaterialien stört das nicht. Im Gegenteil: sie zerfallen recht schnell. Das dann entstehende Mikroplastik dürfte dann ebenso schnell „mineralisiert“ werden.

---

## Toxizität von Kunststoffen

Damit ein Stoff toxisch wirken kann, muss er erstens **mit biologischem Material reagieren** können. Er muss zweitens **zum Wirkort gelangen** können. Drittens muss die Reaktion **schädigend** sein.

Kleine Moleküle oder aufgelöste Salze (Ionen) sind dazu besonders geeignet. Kunststoffe hingegen bestehen im Wesentlichen aus Makromolekülen (Polymere), die zwar aus reaktiven Stoffen (Monomere) hergestellt worden sind, aber dadurch ihre Reaktivität eingebüßt haben. Sie sind, wenn überhaupt, nur sehr, sehr schwach reaktiv<sup>56</sup>. Damit entfällt das erste Kriterium der Toxizität. Durch die Größe der bei der Polymerisation entstandenen Moleküle ist die Beweglichkeit so eingeschränkt, dass die Stoffe fest sind. Große Moleküle haben fast keine Chance, gesunde, biologische Membrane (Zellen, Magenschleimhaut) zu durchdringen. Auch das zweite Kriterium ist also nicht erfüllt. Um eine Schädigung beurteilen zu können, muss der Schädigungsmechanismus bekannt sein oder der Wirkzusammenhang zweifelsfrei nachgewiesen sein. Doch dazu gibt es derzeit (?) keine gesicherten Kenntnisse! Vielfach wird



in Ermangelung solcher Untersuchungen eine lineare Extrapolation vom Hoch-Konzentrationsbereich in den Nieder-Konzentrationsbereich durchgeführt, obwohl in der Regel von Schwellenwerten bei der Giftwirkung auszugehen ist (Rezeptortheorie).

Abb.: Dosis-Wirkungs-Beziehung gemäß der Rezeptortheorie nach John Newport Langley und Paul Ehrlich<sup>57</sup>.

Kunststoffe werden deshalb mit Recht als untoxisch eingestuft!

Es gibt jedoch besondere Umstände, die in Grenzfällen zu berücksichtigen sind:

Restmonomere im Kunststoff: Im Kunststoff können bei der Herstellung Monomere eingeschlossen worden sein, die nicht mehr zur Reaktion gebracht werden konnten und nach der Reaktion nicht mehr entfernt wurden. Renommiertere Kunststoffhersteller beherrschen die Technologie, so dass in deren Produkten praktisch keine Monomere mehr vorkommen. Anders sieht es aus bei Kunststoffen aus Billig-Produktion.

Generell sind aber auch dort die Konzentrationen so niedrig, dass unmittelbar, akut toxische Wirkungen nicht zu befürchten sind.

Es gibt aber immer noch Baumaterialien, Möbel und Textilien, die noch erhebliche Mengen flüchtiger, organischer Bestandteile (VOCs) enthalten. Diese führen zwar meistens nicht zur Vergiftung, aber zu länger andauernder Belästigung (evtl. auch chronische Erkrankungen) beim Aufenthalt in schlecht durchlüfteten Räumen.

Früher wurden in den meisten Farben Lösungsmittel verwendet, die dann Zeit zum Trocknen/Ausdünsten benötigten.

<sup>56</sup> Sie lassen sich – aber erst nach Energiezufuhr - verbrennen.

<sup>57</sup> Die Rezeptortheorie wurde 1909 in der Pharmazie entwickelt, ist aber grundsätzlich für alle wirkenden Stoffe anwendbar, wenn man den Rezeptor als die „empfindliche Stelle“ eines Organismus betrachtet. Hinweis auf Originalliteratur: Nature Reviews Drug Discovery 1, 637-641 (August 2002) doi:10.1038/nrd875

Bei der im Hobby-Bereich sehr beliebten Verwendung von Gießharz (UP-Harz) bleiben bei nicht fachgerechter Ausführung größere Monomer-Mengen im fertig aussehenden Produkt übrig. Dabei handelt es sich um Styrol, das bei intensivem Kontakt toxisch wirkt.

Additive wie Weichmacher oder Flammschutzmittel, die dem Kunststoff bei der Herstellung beigemischt worden sind, können unter besonderen Bedingungen wandern und über die Oberfläche austreten. Diese Wirk-Zusatzstoffe werden in der Regel nur in niedriger Konzentration (Bereich 1 bis 5 Prozent) zugesetzt. Das, was davon austreten kann, ist nochmals mindestens einige Zehnerpotenzen niedriger.

Sehr große Achtsamkeit beim Umgang mit Materialien ist erforderlich, wenn es dauerhaften Kontakt zu Organismen gibt. Eine Missachtung dieser Regel führte 2010 zum PIP-Silikonbrustskandal. Hier waren statt des vorgeschriebenen, medizinischen Silikons technisches Silikon verwendet worden, das (kleinere Mengen) Restmonomere, Oligomere (Ketten aus zwei und mehr Monomeren) und Verarbeitungsadditive<sup>58</sup> enthielt, die man bei Baustellenanwendungen benötigt. Im Lauf der Zeit wanderten diese kleinen Moleküle ins umliegende Gewebe aus und führten dort zu Wechselwirkungen mit dem Immunsystem (Reizungen) – manche vermuten auch eine Krebs-Genese.

Beim Gebrauch von Kunststoffen in toxischer Umgebung können sich Giftstoffe an den Kunststoff anlagern, wenn eine entsprechende Affinität zur Oberfläche besteht. Das kann sich sowohl entgiftend als auch vergiftend auswirken, je nachdem, ob der Kunststoff hinterher Kontakt zu Lebensformen hat.

Diese Art der Toxizität hat dann primär nichts mit dem Kunststoff zu tun. Es ist ein oberflächenabhängiges Phänomen, das auch bei anderen Materialien auftritt.

Nicht wirklich toxisch ist die versehentliche Aufnahme von Kunststoffteilen (Makro wie Mikro) durch Wasserlebewesen mit der Nahrung und auch anstatt von Nahrung (Pseudonahrung). Solange die Mengen klein sind, ist die Aufnahme in ihrer Wirkung vergleichbar mit der von anderen Ballaststoffen.

Ballaststoffe sind unverdaulich und werden in der Regel relativ schnell wieder ausgeschieden. In höheren Konzentrationen aufgenommen, haben die Ballaststoffe Sättigungswirkung, die allerdings im Extremfall auch zum Verhungern der aufnehmenden Tiere führen können.

---

<sup>58</sup> u.a. soll auch Baysilone enthalten gewesen sein. <https://www.dw.com/de/brustimplantate-was-steckt-drin/a-19229158>

---

## Toxizität von Mikroplastik

Mikroplastikteile sind Kunststoff-Partikel die kleiner als 5 mm im Durchmesser sind. Für sie gelten im Wesentlichen die gleichen Feststellungen, die zu Kunststoffen generell getroffen worden sind (→ [Toxizität von Kunststoffen](#)).

Untersuchungen an Daphnien, die einer relativ hohen Mikroplastik-Konzentration ausgesetzt waren, die dazu führte, dass die Tiere etwa 30 Mikroplastikteile inkorporiert hatten, zeigten im Untersuchungszeitraum keine toxischen Symptome (C. Laforsch<sup>59</sup>).

Die deutlich größere, spezifische Oberfläche von Mikro- und Nanoplastik hat zusätzliche Konsequenzen für die Toxizitätsbetrachtung:

- Ausbreitung
- Leichtere Inkorporation
- Vektor-Funktion für externe Gifte

### *Ausbreitung*

Wenn Kunststoff zu Mikroplastik degradiert, ist die Wahrscheinlichkeit groß, dass sich das entstandene Mikroplastik immer mehr über einen größeren Raum ausbreitet. Somit nimmt auch bei kritischeren Kunststoffen die eventuell zu betrachtende Giftwirkung wegen Konzentrationserniedrigung weiter ab.

### *Leichtere Inkorporation*

Mensch und Tier können nicht mehr erkennen, wenn sie mit der Nahrung auch Mikroplastikteile aufnehmen (→ [Mikroplastik in den Nahrungsmitteln](#)). Höhere Organismen wie der Mensch können Kunststoffe nicht verdauen. Kunststoffpartikel werden kurze Zeit nach der Aufnahme wieder wie Ballaststoffe ausgeschieden.

Solange die Kunststoffpartikel im Körper verweilen, können schädliche Komponenten (z.B. Additive, Produktionsreste), die an der Oberfläche oder direkt darunter sitzen, aufgenommen werden. Allerdings ist die Gefahr nicht besonders groß:

- Die Gesamtkonzentration an Mikroplastikpartikel, die versehentlich verschluckt wird, ist sehr gering.
- Die meisten Mikroplastikpartikel dürften im Lauf einer längeren Zeit bereits „ausgeblutet“ sein und die meisten Additive und Produktionsreste abgegeben haben.
- Die Verweilzeit im Magen-Darm-Trakt von einigen Stunden ist relativ kurz.

---

<sup>59</sup> Hannes K. Imhof, Jakub Rusek, Michaela Thiel, Justyna Wolinska, Christian Laforsch, „Do microplastic particles affect *Daphnia magna* at the morphological, life history and molecular level?“, (2017), PLoS ONE 12(11): e0187590. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187590>

### *Vektor-Funktion für externe Gifte*

Bei Mikroplastik ist auch eine indirekte Giftwirkung möglich über die sogenannte Gift-Vektor-Funktion: an die meist hydrophobe Oberfläche der Mikroplastikpartikel können sich Giftstoffe anlagern, die dann mit den Partikeln huckepack an andere Orte transportiert werden. Die Vektor-Funktion ist nicht auf Plastik-Teile beschränkt. Auch Pflanzen und Tiere können als Vektoren dienen. So hat man bei einigen Algenblättern, die als Hülle beim Sushi verwendet werden, überhöhte Schwermetallkonzentrationen gefunden.

Das kann zu einer **Vergiftung** (bei Antransport) oder zu einer **Entgiftung** (bei Abtransport) führen! Diese Gift-Vektor-Funktion scheint bisher eher hypothetisch zu sein. In der Praxis vorgekommene Effekte – nachteilig oder vorteilig – sind nach der bisher spärlichen Berichtslage eher sehr schwach.

Christian Laforsch (Universität Bayreuth) ließ die Unterbindung der Gefahr-Alarmierung durch Kunststoffabfälle (PET, HDPE) bei Daphnien (Wasserflöhen) untersuchen<sup>60</sup>. Fressfeinde der Daphnien scheiden Kairomone aus. *Daphnia longicephala* bauen daraufhin als Schutz Kopfhäuben und Stachel auf, die sie vor ihren Fressfeinden schützen sollen. Würden die Signalstoffe Kairomone an Kunststoffoberflächen adsorbiert, fällt die Alarmierung aus. Die Wirkungsabnahme durch Adsorption an Oberfläche war nicht besonders groß (maximal 10%), aber signifikant. Die Adsorption war nicht kunststoffspezifisch, denn mituntersuchte Glas-scheibchen zeigten den gleichen Effekt. Möglicherweise war der Bio-Film, der sich auf allen Testobjekten bildete, für die Adsorption verantwortlich.

---

## **Kunststoffabfall-Vermeidung – aber richtig**

### **Einige Beispiele:**

#### **Plastiktüten**

Es wird geglaubt, dass die Vermeidung von Plastiktüten der Umwelt nutzt. In Regionen, in denen die Abfallentsorgung schlecht organisiert ist, trifft das häufig zu. Doch, wenn die Abfallwirtschaft funktioniert, ist nur noch der Ressourcen-Aspekt zu berücksichtigen: Nach wie vielen Verwendungen erst verbraucht unterm Strich eine höherwertige Tragetasche im Vergleich zu einer gewöhnlichen „Plastiktüte“ weniger Energie? In den meisten Fällen dürfte die

---

<sup>60</sup> B. Trotter, A. F. R. M. Ramsperger, P. Raab, J. Haberstroh & C. Laforsch, Plastic waste interferes with chemical communication in aquatic ecosystems (2019) 9:5889 | <https://doi.org/10.1038/s41598-019-41677-1>



Tasche bereits deutlich vor dem Energie-Break-Even entsorgt werden<sup>61</sup>. Mögliche Gründe: kaputt, verschlissen, verschmutzt oder unmodern.

Papiertüten als Alternativen benötigen mehr Ressourcen bei der Herstellung und sind weniger robust, weswegen sie weniger häufig wiedergebraucht werden können. Sie werden allerdings in der Natur abgebaut. Aber, wer wirft die Papiertüte nach Gebrauch in die Natur? Die Papiertüte kann nach dem Gebrauch mit dem Abfall-Papier recycelt werden.

Die Plastiktüte wird/wurde in vielen Haushalten nach mehrmaligem Gebrauch am Schluss als Abfalltüte verwendet. Heute müssen dazu Abfalltüten extra gekauft werden.

Gelangen Papiertüte oder Plastiktüte in den Restmüll, werden sie verbrannt. Dadurch wird Energie zurückgewonnen. Der Energieertrag ist hierbei bei Plastiktüten spezifisch höher (höherer Brennwert der Plastiktüte).

Statt die Einkaufsplastiktüte abzuschaffen, wäre es sinnvoller, auf etwas stärkere Plastiktüten zu wechseln, die nicht so schnell einreißen wie die einfachen, nur 50µm starken Tüten.

Der entscheidende Punkt – nicht nur bei den Tüten - ist die Lebensdauer bzw. Anwendungshäufigkeit eines Produktes. Denn damit verteilt sich der Herstellaufwand, bei dem auch die Umwelt beeinflusst wird, auf den Nutzen und der Anwendungsnutzen ist das Kriterium für Verschwendung oder Sparsamkeit.

### **Wattestäbchen**

Ein übliches Kunststoff-Wattestäbchen hat ein Gesamtgewicht von 180 mg (150 mg Kunststoffröhrchen und 30 mg Watte). Die alternativen Wattestäbchen aus Papier wiegen 370 mg (310 mg Papier-Stäbchen und 60 mg Watte)<sup>62</sup>, sind doppelt so schwer und benötigen mindestens die doppelte Menge an Ressourcen!

### **Doppelverpackungen**

Hier sind selbstverständlich viele Einsparungen möglich. Wobei es immer auf den Einzelfall ankommt, was wirklich sinnvoll ist. So ist beispielsweise für einen sicheren Transport auf Palette oft eine weitere Verpackung (z.B. Schrumpffolie) notwendig. Doch vielleicht lassen sich hier auch wiederverwertbare Verpackungsarten finden. → persönliche Verantwortung.

### **Wegwerf-Praxis**

Die Diskussion über Kunststoff-Abfall-Vermeidung ist im Vergleich zur Weg-Werf-Praxis bei Lebensmitteln eine Kuriosität. Ein Drittel der Lebensmittel wird von Verbrauchern (geschätzt

---

<sup>61</sup> Man kann das überschlägig berechnen: Das Gewichtsverhältnis entspricht dem Tragefaktor, der angibt, wie häufig die höherwertige Tasche zu benutzen ist, um mindestens energetisch gleichwertig zu sein mit der Plastiktüte. **Beispiel**

<sup>62</sup> Eigenmarke der Drogeriekette dm

ein Sechstel) aber auch von Erzeugern und besonders vom Handel weggeworfen. Lebensmittel sind sehr viel teurer in der Herstellung und im Ressourcenverbrauch als die benutzte Kunststoffverpackung. Kunststoffverpackungen tragen zur Verlängerung der Haltbarkeit und zur Erhöhung der Hygiene bei und wirken der Wegwerf-Praxis entgegen.

Deshalb haben alle Anstrengungen, die Wegwerf-Praxis zu reduzieren, einen immens größeren Umwelt-Effekt als die krampfhaft Plastik-Vermeidung.

(Eine ganz andere Dimension: der Anteil von Fleisch- und Wurstwaren unter den weggeworfenen Lebensmitteln ist nicht gering. Es werden somit sehr viele Tiere unnötig getötet!)

---

## Anhang

### Gegen unsachliche Debatten

In den Medien prangen Schlagzeilen wie

- „Gefahr im Alltag – Mikroplastik-Alarm: Diese Produkte sollten sie nicht kaufen“; t-online.de, 5.11.2017
- „Kein Ende der Vermüllung in Sicht – Immer mehr Plastikmüll im Meer: zehntausende Tiere sterben“; dpa 30.5.2017
- „Unterschätzte Gefahr: Mikroplastik auf dem Trockenen“; www.chemie.de

Solche Überschriften und Artikel provozieren eine kritische Betrachtung in fachlicher und in ethischer Hinsicht.

Anstatt nun die Manipulationen in den Publikationen anzustreichen und zu reklamieren, werden hier die heimlichen Tricks der Beeinflussung enthüllt, denn Wissen ist mächtiger als Anklagen!

Also, viel Spaß!

### Anleitung zur Manipulation – natürlich nicht ganz ernst gemeint

Wissenschaftler sind bemüht, ihre Aussagen zu belegen, am besten aufgrund von Experimenten. Allerdings haben sie dadurch einen Nachteil: nicht immer sind Experimente möglich oder erlaubt.

Wissenschaftler können aber Theorien entwickeln, die sie mit Experimenten verknüpfen. Dabei weisen sie darauf hin, wo die Theorie durch Experimente untermauert ist und wo es nur Wahrscheinlichkeiten gibt, dass die Theorie stimmt. Insbesondere gilt dies für die Zeitachse „Zukunft“.

Nicht ohne Grund gibt es für Naturwissenschaftler das „elfte“ Gebot: Du sollst nicht extrapolieren<sup>63</sup>!

Mit einer solchen Haltung kann man aber nicht gegen die Kunststoff-Industrie zu Felde ziehen. Deshalb gibt es sehr hilfreiche, alternative Methoden:

### Auslassung

Nicht alles erwähnen! Man zeige Bilder von Plastikmüll in der Natur, der von Menschen achtlos weggeworfen wurde. Man braucht dabei aber nicht zu erwähnen, dass diese Menschen nicht nur Plastik so wegwerfen, sondern ihren gesamten Müll, der noch viel gefährlicher ist.

---

<sup>63</sup> Historisch interessant ist, dass die Wissenschaft genau mit der Extrapolationsfähigkeit ihren Aufschwung nahm: Als die Astronomie mathematische Methoden einsetzte, konnte sie Himmelsphänomene voraussagen. Das spornte dann die anderen Fakultäten an.

Auch bei Versuchsreihen, lässt man die Punkte aus, die nicht in die Theorie passen. Das fällt fast nie auf<sup>64</sup>.

### *Invertierung*

Sollte sich trotz intensivster Versuche keine Schädlichkeit feststellen lassen, dann räumt man dies auch ein, allerdings mit dem Hinweis, dass die Schädlichkeit noch nicht festgestellt ist! Es bleibt dann immer der Eindruck der Schädlichkeit zurück! Nebenbei: Man verschafft hierdurch als Forscher die Grundlage für einen weiteren oder die Verlängerung eines Förderauftrags.

### *Übertreibung*

Die (Gift)Wirkung von Stoffen ist manchmal so schwach, dass sich nichts nachweisen lässt. Man denke nur an Wasser! Dann erhöht man die Menge des Stoffes bis eine Wirkung erkennbar wird. Das gilt auch für Wasser<sup>65</sup>! Das übertriebene Ergebnis kann man gut publizieren. Die Wenigsten registrieren, dass unter praktischen Bedingungen keine Wirkung eingetreten wäre. In vielen Fällen gibt es Schädigungsmechanismen Schwellenwerte, denn die Organismen haben Selbstheilungsmechanismen entwickelt.<sup>66</sup>

### *Korrelationen*

Mit Hilfe der Statistik kann man für das unerfahrene Publikum sehr gut mit Korrelationen Beweise konstruieren, die wissenschaftlich allenfalls als notwendige Bedingung gelten. Eine hinreichende Bedingung wäre ein nachvollziehbarer Wirkmechanismus. Ohne diesen ist die Korrelation wertlos. Das wissen allerdings die Wenigsten.

### *Referenz-Kaskaden*

Je mehr man zitiert, desto weiter erhöht man den Abstand zur zu-Guttenberg-Schummelei, und wird für das Publikum glaubwürdiger. Da man heute fast zu jedem Fakt sowohl die Bestätigung als auch die Widerlegung findet, dürfte das keine Schwierigkeit sein. Die Reputation des Zitierten interessiert meistens nicht. Gut klingt immer, wenn der Zitierte einem Institut angehört, besonders dann, wenn der Institutsname sehr international klingt. Es spielt

---

<sup>64</sup> Nur sehr selten kommt es vor, dass wissenschaftliche Ergebnisse von Fach-Kollegen überprüft werden. Schließlich stehen diese auch immer unter Zeitdruck. Ausnahme dieser Regel ist in jüngster Vergangenheit die Überprüfung von Lehrbuch-Fakten in der Psychologie („Reproducibility Project“ der Open Science Collaboration (OSF) 2015). Nur 39% der Studien ließen sich reproduzieren – wobei die Wiederholbarkeit von Experimenten in der Psychologie meistens schwerer ist als in der Chemie.

<sup>65</sup> Eine Wasservergiftung – hat nichts mit Ertrinken zu tun - tritt ein, wenn in kurzer Zeit mehr als 8 Liter Wasser aufgenommen werden. Dadurch wird der Mineralhaushalt schwer geschädigt. Je nach Konstitution kann dann auch der Tod eintreten.

<sup>66</sup> Völlig unverständlich ist der Krebsverdacht bei gut gebratenen Lebensmitteln oder bei Rauch-Inhaltsstoffen. Der Mensch hat sich seit Zähmung des Feuers an diese Bedingungen adaptiert. Die Versuchsmäuse, von deren Krankheitsbildern man dann die Grenzwerte ableitet, haben diese Adaption natürlich nicht vollziehen können!

keine Rolle, wenn dieser das Faktum selbst auch nur zitiert hat. Kaum einer macht sich die Mühe, sich bis an den Ursprung der Zitaten-Kaskade durchzuarbeiten.

### *Emotionen*

Wissenschaftler haben ein natürliches Problem im Umgang mit Emotionen. Das ist schnellstens zu ändern! Die Emotion ist die stärkste Kraft, die eine Theorie stützt oder verwirft!

Die oft sachlich kühl anmutenden Themen der Technik und Wissenschaft lassen sich doch immer emotional aufladen, wenn man sie mit menschlichen Gefühlen möglichst konkret zusammenbringt: Das Thema muss positive oder negative Auswirkungen auf den Menschen haben und ein Gefühl hervorrufen. Dazu bedient man sich der „Emotionsschalter“. „Plastik“ auf dem Teller – reicht nicht. Es gibt ja schließlich auch Plastikbesteck, das allenfalls nicht sehr stabil ist. Dagegen wird mit „Plastikmüll auf dem Teller“ die Abscheu vor Müll gezielt ausgenutzt! Müll auf dem Teller ist sogar ekelig!

Hier ein paar Emotionsschalter zur freien Auswahl:

- Krankheit, Krankheitserreger
- Gift, Vergiftung, Umweltvergiftung
- Verhungern, Unterernährung
- Tödlicher Einfluss
- Unterkühlung, Kälte
- Hitze, Erderwärmung
- Unsichtbarkeit
- Endlosigkeit eines Problems
- 
- Lebenserwartung
- Energieversorgung
- Gesundheit
- Überlebensfähigkeit
- Freiheit, Selbstbestimmung
- Natur

Emotionen lassen sich mit Bildern besonders gut transportieren. Vorzugsweise bildet man Schwächere (z.B. Kinder, kleine Tiere) ab, die leiden oder zu Schaden gekommen sind. Bilder werden hinterher unbewusst verallgemeinert.

### *Trick mit der Modellrechnung*

Modellrechnungen sind ein exzellentes Beweismittel, das von Fachlichkeit gepaart mit Datenverarbeitungs-Know-how zeugt. Das ist oberster Experten-Status. Eine Überprüfung ist so gut wie nie zu befürchten! Denn Modellrechnungen können/wollen selbst die engsten Fachkollegen nicht persönlich nachvollziehen. Dazu müssten sie sich selbst in die Modellierung und eventuell auch noch in die Programmierung vertiefen. Deshalb kann man sich alles errechnen lassen, was man sich erwünscht. Man sollte dazu allerdings den Rechenvorgang so erklären, dass er plausibel **klingt**.

### *Maßstab*

Man muss immer mit Kritik oder Alternativen rechnen. Deren Einfluss kann man im Vorfeld gezielt neutralisieren. Dazu wird die Bewertungs-Hürde (Maßstab) für die Gegenseite moralisch so hochlegen, dass es ihr unmöglich wird, darüber zu springen.

### *Brücken und Brückenbauer*

Skeptischen Menschen begegnet man, indem man ihnen eine Verbindung aus ihrer Erfahrungswelt zu dem anzusprechenden Thema schafft. Das ist noch nicht manipulativ (und in der Pädagogik sogar empfohlen) solange die Verbindung wirklich stimmt.

Doch darüber macht sich nur moralisch sensible Gedanken. Worauf es also wirklich ankommt, ist, einem skeptischen Menschen den Eindruck zu vermitteln, dass seine Erfahrung mit der vorgestellten Theorie übereinstimmt. Von den Verkäufern auf Kaffee-Fahrten kann man hierzu viel lernen. Die Menschen akzeptieren das als stimmig, was sie gerne glauben möchten, was ihrer Grundhaltung entspricht.

Notfalls muss man dazu auch noch eine Respektsperson zitieren. Viele Leute akzeptieren mehr die Meinung und Aussagen von Vorbildern, weil sie sich selbst nicht so viel zutrauen. Gibt es keine anerkannten Vorbilder, reicht auch der Hinweis auf einen „Experten“. Fast niemand weiß, dass Expertentum häufig auf Eigen-Beförderung beruht, da der „Experte“ keine gesetzlich verbindliche Bezeichnung ist. Deshalb kann man jeden, dessen Aussage man verwerten möchte, notfalls auch selbst zum Experten promovieren.

### *Praktische Übung am Beispiel Plastikmüll und Mikroplastik*

Man benötigt ein paar Bilder von Müll in der Natur. Gut sind auch Aufnahmen von verendeten Tieren, denen man die Todesursache noch ansieht. Um einen Eindruck von Müllteppichen im Meer zu erzeugen, verwendet man Unterwasseraufnahmen aus einem zugemüllten Fluss-Delta, denn die auf dem Meer treibenden Plastikteile sind so weiträumig verstreut, dass sie auf dem Bild keinen Eindruck machen.

Man erwähne die Vergiftungsgefahr, die von dem Müll ausgehen könnte. Kunststoffe sind zwar in der Regel ungiftig, aber eine Gefahr – wie groß oder klein auch immer – kann keiner ausschließen.

Die Vergiftungsgefahr wird dadurch konkretisiert, dass man die Möglichkeit andeutet, dass dieser giftige Müll auf dem Teller landen könnte. Wie ekelig! Toppen kann man dies dann noch durch den Hinweis auf Unsichtbarkeit. Das schlägt dann ein, denn dies ist mit „Kontrollverlust“ verbunden.

Um die Vergiftungs-Thematik zu belegen, findet man immer ein paar „Forscher“, „Experten“ oder „Wissenschaftler“, die in Extrem-Experimenten mit praxisunüblichen, hohen Konzentrationen an irgendeinem Zellverbund eine schlimme Wirkung gefunden haben.



Dann steigert man die Dramatik durch Hinweis auf fast unendliche Haltbarkeit und damit Anhäufung der Problematik.

Der Mensch, der dies erfährt, ist dann so geschockt, dass er den Logik-Bruch von Giftigkeit und langer Haltbarkeit gar nicht mehr erkennt!

Schön gruselig – oder?

## **Literatur Grundlagen und Übersichten**

(noch weiter zu ergänzen)

Hans-Georg Elias, Makromoleküle, Wiley-VCH, 2001

Helmut Ritter, Makromoleküle I, Springer Spektrum, 2018

Saechtling Kunststoff Taschenbuch, Carl Hanser Verlag, München, 2013

Rosato's Plastics Encyclopedia and Dictionary, Hanser Gardner Publications, 1993

G.W. Ehrenstein und S. Pongratz, Beständigkeit von Kunststoffen, Band 1, Carl Hanser Verlag, München, 2007

H. Bahlburg und Ch. Breitzkreuz, Grundlagen der Geologie, Springer Verlag GmbH, Berlin, 2017

S. Primpke et al., „Mikroplastik in der Umwelt“, Chem. Unsere Zeit, 2017, 51, 402-412

J. Bertling et al., Kunststoffe in der Umwelt: Mikro- und Makroplastik, Fraunhofer-Institut UMSICHT, Oberhausen, 2018 [publica.fraunhofer.de doi: 10.24406/uMsiCht-n-497117]

## Speicher

Das Forscherteam hat dem Flohkrebs den Namen "Eurythenes plasticus" verliehen. Vier Exemplare des Flohkrebses hatten die Forscher der britischen Newcastle University,

Drei von ihnen enthielten keine Plastikteilchen, bei einem Flohkrebs wurde im Körper der Kunststoff Polyethylenterephthalat (PET) nachgewiesen

Dieser kleine Kerl lebt in 6500 Metern Tiefe im Marianengraben.



<https://www.dw.com/de/eurythenes-plasticus-ein-tiefsee-flohkrebs-voller-plastik/a-52663319>