



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bern, 23. September 2022

Kunststoffe in der Umwelt

Bericht des Bundesrates
in Erfüllung der Postulate

18.3196 Thorens Goumaz vom 14.03.2018

18.3496 Munz vom 12.06.2018

19.3818 Flach vom 21.06.2019

19.4355 CVP-Fraktion vom 27.09.2019

Inhaltsverzeichnis

Übersicht.....	4
1 Auftrag	6
2 Ausgangslage	8
3 Stoffflüsse	9
3.1 System.....	9
3.2 Lebenszyklus	12
3.3 Ökologischer Fussabdruck	13
4 Wichtigste Quellen	15
4.1 Emissionen, Transport und Einträge	15
4.2 Reifenabrieb und weitere Quellen von Strassen.....	16
4.3 Littering und weitere unsachgemäss entsorgte Kunststoffabfälle	16
4.4 Kunststoffe im Grüngut	17
4.5 Herstellung und Entsorgung	18
4.6 Bauwirtschaft.....	19
4.7 Land- und Forstwirtschaft	19
4.8 Sport- und Spielplätze	19
4.9 Haushalte	20
5 Entsorgung und Verwertung	22
5.1 Stoffliche und thermische Verwertung	22
5.2 Entwässerung und Abwasserreinigung	22
5.3 Entsorgung bei Wasserkraftwerken	23
5.4 Recycling	23
5.5 Exporte von Kunststoffabfällen	25
6 Umweltbelastungen	25
6.1 Senken.....	26
6.2 Böden	26
6.3 Gewässer	27
6.4 Luft.....	27
6.5 Ozeane.....	27
6.6 Abbau	28
7 Auswirkungen	30
7.1 Auswirkungen auf die Umwelt	30
7.1.1 Tiere	30
7.1.2 Ökosysteme	31
7.1.3 Herausforderungen	32
7.2 Auswirkungen auf die Gesundheit	32
7.2.1 Gefahrenpotenzial	32
7.2.2 Exposition.....	33
7.2.3 Herausforderungen	34
8 Massnahmen	35
8.1 Bisherige und laufende Massnahmen	35
8.1.1 Abfallbewirtschaftung	35
8.1.2 Forschung, Entwicklung und Information	37
8.1.3 Engagement auf internationaler Ebene.....	39
8.1.4 Weitere Massnahmen zur Verminderung von Kunststoffeinträgen in die Umwelt	40

Kunststoffe in der Umwelt

8.2	Laufende Arbeiten auf politischer Ebene	42
8.2.1	In der Schweiz.....	42
8.2.2	In der Europäischen Union.....	42
8.3	Mögliche weitere Massnahmen.....	44
8.3.1	Verpackungen	46
8.3.2	Ökodesign und Recycling.....	47
8.3.3	Littering.....	48
8.3.4	Kunststoffe in industriellen und gewerblichen Anwendungen	49
8.3.5	Eindämmung von Mikroplastik	52
Anhang 1: Begriffe		53
Anhang 2: Referenzen.....		54

Übersicht

Der vorliegende Bericht behandelt vier Postulate, welche sich dem Themenkreis «Kunststoffe» widmen. Er beschreibt im ersten Teil den Kunststoff-Lebenszyklus von der Herstellung bis zur Entsorgung. Weiter werden die wichtigsten Quellen, Eintragswege und Senken von Kunststoffen in die Umwelt und die Auswirkungen auf Umwelt und Gesundheit dargelegt. Im zweiten Teil werden bereits umgesetzte und laufende Massnahmen sowie mögliche Verbesserungspotenziale aufgezeigt.

Kunststoff-Lebenszyklus von der Herstellung bis zur Entsorgung

Kunststoffe können vielseitig und nützlich eingesetzt werden. Gleichzeitig können sie zu einem Umweltproblem werden. Obwohl die Schweiz über ein gut funktionierendes Entsorgungssystem verfügt, entstehen durch unbeabsichtigte Emissionen oder falsche Entsorgungswege Belastungen für die Umwelt.

Produktion und Konsum von Kunststoffen sind in den vergangenen Jahren angestiegen. Kunststoffe werden entlang der gesamten Lieferkette eingesetzt. Die Anwendungsbereiche Verpackungen, Bauwesen sowie Konsum- und Haushaltsgüter wie z. B. Medizin- und Hygieneartikel oder Möbel zählen zu den Hauptverbrauchern von Kunststoffen.

Sämtliche Kunststoffe müssen am Ende ihres Lebenszyklus in der Schweiz stofflich oder thermisch verwertet werden. Eine Deponierung ist verboten. Über 80 Prozent der Kunststoffabfälle werden heute in der Schweiz thermisch verwertet, knapp 10 Prozent werden rezykliert. In den Export gelangen fast 6 Prozent der Kunststoffabfälle für das Recycling und die Wiederverwendung, und zwar fast ausschliesslich in Länder des EU-Raums. Mit den neuen Bestimmungen des Basler Übereinkommens sind gemischte Kunststoffabfälle kontrollpflichtig geworden. Dadurch müssen seit 2021 alle durch den Export betroffenen Staaten vorgängig zum geplanten grenzüberschreitenden Transport ihre Zustimmung geben.

Wie Kunststoffe in die Umwelt gelangen

Während der Herstellung, Nutzung oder Entsorgung können Kunststoffe in die Umwelt emittiert werden. Dank etablierten Rückhaltemechanismen und einer fachgerechten Entsorgung werden die Einträge in Böden, Gewässer und deren Sedimente zwar reduziert, aber nicht vollständig verhindert.

In der Schweiz gelangen jährlich rund 14'000 Tonnen Makro- und Mikroplastik in die Umwelt. Deren Emissionsquellen sind vielseitig. Mehr als die Hälfte der Kunststoffeinträge stammt vom Reifenabrieb, obwohl verschiedene Rückhaltemechanismen eingesetzt werden. Eine weitere wichtige Quelle ist das achtlose Wegwerfen oder Liegenlassen von Abfällen in der Umwelt (Littering). Obwohl fast 99 Prozent der Kunststoffe für den Unterwegskonsum korrekt entsorgt werden, beträgt deren Eintrag in die Umwelt rund 2'700 Tonnen pro Jahr. Zudem entstehen dadurch jährliche Kosten für das Gemeinwesen im Umfang von etwa 200 Millionen Franken. Neben der unsachgemässen Entsorgung im Allgemeinen finden sich auch Kunststoffe im Grüngut wieder und gelangen als ungewollte Bestandteile von Düngemitteln in die Umwelt. Herstellungs- und Entsorgungsprozesse, die Bauwirtschaft, die Land- und Forstwirtschaft, Sport- und Spielplätze sowie private Haushalte sind weitere Quellen von Kunststoffeinträgen in die Umwelt.

Aufgrund zu hoher Eintragsraten und tiefen Abbauraten reichern sich Kunststoffe an, was negative Folgen auf die Umwelt und Gesundheit haben kann. Weiter gilt es zu beachten, dass Kunststoffe entlang ihres Lebenszyklus sowohl Treibhausgasemissionen als auch Feinstaub generieren. Dies betrifft insbesondere die Herstellung von Kunststoffen (Primärproduktion), welche ausschliesslich im Ausland stattfindet. Durch ihren hohen Verbrauch entlang der gesamten Lieferkette trägt die Schweiz jedoch indirekt zu einer Verschärfung der Situation bei.

Bestehende Massnahmen und mögliche Verbesserungspotenziale

In der Schweiz sind auf allen Ebenen bis heute zahlreiche Massnahmen beschlossen und umgesetzt worden, um die Umweltbelastung durch Kunststoffe zu vermindern. Dank der Kehrichtsackgebühr werden die Kosten dem Verursacherprinzip folgend verteilt und es entsteht ein Anreiz zur Abfallvermeidung. Weiter wird das Littering mit verschiedenen Massnahmen bekämpft, insbesondere durch den Ausbau der Entsorgungsinfrastruktur, Sanktionen und Sensibilisierungskampagnen. Die Schweiz macht sich auch in der internationalen Zusammenarbeit für das Thema stark. Zudem leistet die Wirtschaft in Form von Selbstregulierungen wichtige Beiträge für die Reduktion und Sammlung von Kunststoffabfällen.

Trotz dieser bisherigen Bemühungen besteht noch Potenzial, um den Kunststoffeintrag in die Umwelt weiter zu reduzieren. Dabei könnte der Fokus primär auf die Vermeidung von Abfällen sowie auf die Entwicklung von kreislauffähigen Materialien und umweltschonenden Alternativen gelegt werden. Ansatzpunkte bestehen insbesondere bei den Verpackungen und Einwegprodukten, dem Recycling sowie der Vermeidung von Littering und Kunststoffen in Grüngutabfällen. Zudem könnten auch der gezielte und umweltgerechte Einsatz von Kunststoffen in der Bau-, Land- und Forstwirtschaft gefördert sowie Einträge von Mikroplastik in die Umwelt (z. B. Reifenabrieb) weiter eingedämmt werden. Zielführend ist dabei eine Kombination aus Informationsverbesserung, Sensibilisierungsmassnahmen, Entwicklung neuer Technologien, Verfahrensoptimierungen sowie Verboten und Geboten.

Als Teil der vernetzten, globalen Kunststoffwirtschaft engagiert sich die Schweiz auch auf internationaler Ebene. Sie wirkt bei den Verhandlungen für ein rechtlich verbindliches Abkommen zu Kunststoffen («Plastikkonvention») unter dem Dach der UNO-Umweltversammlung (UNEA) mit. Damit soll dem globalen Problem der Umweltbelastung durch Kunststoffe über den ganzen Lebenszyklus hinweg entgegengetreten werden. Und schliesslich hat die EU mit ihrer Kunststoffstrategie wichtige Meilensteine gelegt, welche auch die Schweiz eng verfolgt.

1 Auftrag

Seit 2018 wurde eine Reihe von parlamentarischen Vorstössen zu den Themen Kunststoffabfälle und deren Verwertung sowie Kunstoffeinträge in die Umwelt eingereicht. Mit diesem Bericht werden die vier folgenden überwiesenen Postulate zu diesem Themenkreis beantwortet:

- *Po 18.3196, Thorens Goumaz: Wie kann künftig ein ökologischer, effizienter und wirtschaftlich rentabler Umgang mit Kunststoffen garantiert werden?*
Der Bundesrat soll darlegen, wie er künftig einen ökologischen, effizienten und wirtschaftlich rentablen Umgang mit Kunststoffen garantieren kann.
- *Po 18.3496, Munz: Aktionsplan zur Reduzierung von Plastikeinträgen in die Umwelt*
Der Bundesrat wird beauftragt, eine Übersicht über die Quellen und Eintragswege von Plastik und Mikroplastik in die Umwelt sowie die Auswirkungen des Plastiks auf die Umwelt und die Gesundheit zu erarbeiten und zu prüfen, ob ein Aktionsplan zur Reduzierung der Einträge in die Umwelt ein zweckmässiges Instrument zur Reduzierung der Plastikbelastungen sein könnte.
- *Po 19.3818, Flach: Millionen Tonnen von Plastik einsparen, ersetzen oder recyceln statt verbrennen und exportieren*
Der Bundesrat wird beauftragt, zu prüfen und in einem Bericht aufzuzeigen, wie der Gebrauch von Kunststoffen in der Land- und Bauwirtschaft vermindert, durch ressourcenschonendere Alternativen ersetzt und der Anteil des Recyclings erhöht werden kann.
- *Po 19.4355, CVP-Fraktion: Plastikmüll. Vermeiden und Wiederverwerten statt Exportieren*
Der Bundesrat wird aufgefordert, in einem Bericht aufzuzeigen, wie die Schweiz in Bezug auf die Umweltverschmutzung durch Einwegplastik ihre Verantwortung wahrnehmen und die Abläufe im Sinne der Kreislaufwirtschaft verstärken kann. Der Bericht soll insbesondere enthalten:
 1. Eine Analyse zum Stand der Schweiz im internationalen Vergleich. Es soll dargelegt werden, wie viel Plastik in der Schweiz und in den Nachbarländern pro Kopf verbraucht, stofflich und thermisch verwertet, rein stofflich rezykliert oder ins Ausland exportiert wird. Aufgrund der Zahlen soll das effektive Potenzial der Plastik-Kreislaufwirtschaft in der Schweiz dargelegt und der Bedarf an politischen Massnahmen (z. B. Sammelquoten, Ausfuhrbestimmungen, Verordnungs- und Gesetzesrevisionen usw.) abgeleitet werden.
 2. Eine Analyse zum aus der Schweiz exportierten Plastik und eine Auslegeordnung darüber, wie der Bundesrat sicherstellt, dass kein Plastik aus der Schweiz in minderwertiger Qualität exportiert wird, das schlussendlich in den Empfängerländern im Meer landet.
 3. Eine Strategie, wie parallel zu den laufenden Verhandlungen mit asiatischen Staaten Programme oder Projekte hin zu einer Plastik-Kreislaufwirtschaft in diesen Ländern etabliert werden können. In die entsprechenden Überlegungen sind die Umweltprogramme von SECO und der Direktion für Entwicklung und Zusammenarbeit einzubeziehen, welche im Bereich Plastik einen Schwerpunkt bilden sollen.
 4. Ein Bericht darüber, wie Pilotprojekte zu Plasmaverfahren des Bundesamtes für Energie und des Bundesamtes für Umwelt unterstützt werden können, mit welchen aus Plastik speicherfähiges Gas und daraus Strom produziert werden kann.

Kunststoffe in der Umwelt

Diese vier Postulate weisen einen engen inhaltlichen Zusammenhang auf. Deshalb werden die Postulate gemeinsam beantwortet. Der vorliegende Bericht vermittelt einen konsolidierten Überblick über den Stand des Wissens zu den in den Postulaten aufgeworfenen Fragestellungen und basiert auf zahlreichen, neueren wissenschaftlichen Studien. Der Übersichtsbericht «Plastik in der Schweizer Umwelt» (Erny, O'Connor und Spörri 2020) dient als Grundlage für den vorliegenden Bericht. Die Inhalte stammen, wenn nicht anders vermerkt, aus dieser Metastudie. Der Bericht legt den Hauptfokus auf die Schweiz (Systemgrenze) und es wird darauf verwiesen, wenn sich Inhalte auf andere Länder beziehen. In einem internationalen Kontext beleuchtet werden insbesondere die Themenbereiche ökologischer Fussabdruck (vgl. *Kap. 3.3*), Exporte von Kunststoffabfällen (vgl. *Kap. 5.5*), Ozeane (vgl. *Kap. 6.5*), Engagement auf internationaler Ebene (vgl. *Kap. 8.1.3*) sowie die laufenden Arbeiten auf politischer Ebene in der EU (vgl. *Kap. 8.2.2*).

In seiner Stellungnahme vom 25. November 2020 zur Motion Suter (20.4233) «Plastiklittering durch Betreiber von Wasserkraftwerken stoppen» hat der Bundesrat in Aussicht gestellt, das Anliegen der Motion im vorliegenden Bericht zu prüfen. Die Motion verlangt eine Anpassung des Gewässerschutzgesetzes, so dass Kunststoffabfälle, die im entnommenen Treibgut enthalten sind, durch die Wasserkraftwerksbetreiber nicht mehr in die Gewässer zurückgegeben werden dürfen. Das Anliegen wird in *Kapitel 5.3* angesprochen.

Schliesslich wurde in den Antworten des Bundesrates auf Interpellationen der Nationalrätinnen Chevalley (18.3721, 18.4110, 19.3775) und Schneider Schüttel (19.3560) auf den vorliegenden Bericht verwiesen. Die Fragestellungen dieser Interpellationen werden hier ebenfalls angesprochen.

Die überwiesene Motion der Kommission für Umwelt, Raumplanung und Energie des Nationalrates (UREK-N) (18.3712) «Weniger Plastikmüll in Gewässern und Böden» fordert den Bundesrat auf, gemeinsam mit den betroffenen Branchen Massnahmen zu prüfen und zu ergreifen, um der Belastung der Umwelt durch Kunststoffe umfassend und unter Einbezug der Hauptemissionsquellen effizient entgegenzutreten. Diese Motion überschneidet sich thematisch mit dem vorliegenden Bericht, welcher sowohl die fachlichen Grundlagen darlegt, als auch Massnahmen skizziert, die im Rahmen der Umsetzung der Motion 18.3712 ausgearbeitet werden könnten. Der Bundesrat wird dem Parlament Vorschläge zur Umsetzung der Motion separat unterbreiten.

2 Ausgangslage

Die Umweltauswirkungen aufgrund der Verwendung und Entsorgung von Kunststoffen sind in Politik, Wissenschaft, Medien und Gesellschaft ein intensiv diskutiertes Thema. Kunststoffe sind aus unserem täglichen Leben nicht mehr wegzudenken. Während ihrer Gebrauchsdauer können sie einen ökologischen oder gesundheitlichen Nutzen stiften, wenn sie beispielsweise als Verpackung von Lebensmitteln deren Haltbarkeit verlängern und damit Food Waste vermindern oder wenn sie mikrobielle Kontaminationen vermeiden. Gleichzeitig können Kunststoffe über Jahre hinweg Schäden anrichten, wenn sie in die Umwelt gelangen. Zwar verfügt die Schweiz über ein gut funktionierendes Entsorgungssystem, in dem die Siedlungsabfall- und Abwasserwirtschaft einen grossen Teil der Kunststoffabfälle thermisch und stofflich verwertet und mit effizienten Reinigungs- und Rückhaltemassnahmen Verunreinigungen vermindert. Probleme verursachen aber einerseits gewisse unbeabsichtigte Emissionen während der Nutzungsphase (z. B. Reifenabrieb, Faserabrieb synthetischer Textilien) und andererseits die nicht korrekte Entsorgung (z. B. Littering, Verpackungsreste in der Grüngutsammlung). In Ländern mit ungenügender Abfallwirtschaft landen Kunststoffe zudem oftmals direkt in Flüssen und im Meer. Kunststoffpartikel sind daher überall in der Umwelt zu finden: in Böden, Gewässern und deren Sedimenten, in der Luft sowie in Lebewesen.

Eine auf Umfragen basierende Studie aus Deutschland zeigt, dass die Wertschätzung von Kunststoffen in der Bevölkerung rückläufig ist und dass die Sorge um die Umweltverschmutzung durch Kunststoffe zunimmt (Bertling, Bertling und Hamann 2018). Diese Erkenntnis dürfte, insbesondere für Einwegprodukte aus Kunststoff, auch für die Schweiz zutreffen: Bei vielen Konsumentinnen und Konsumenten ist Kunststoff als Verpackungsmaterial zunehmend verpönt und es werden umweltschonende Alternativen gewünscht. Nach wissenschaftlichen Erkenntnissen hängt die Umweltbilanz eines Einkaufs allerdings wesentlich stärker von der Menge, der Herkunft, der Herstellung und der effektiven Nutzung des Produktes ab. Zudem haben Kunststoffe im Vergleich mit anderen Verpackungen (z. B. Glas) den Vorteil des geringeren Gewichts, was beim Transport zu reduzierten Umweltbelastungen führt (Dinkel und Kägi 2014, Dinkel, Roberts und Zschokke 2021).

Trotz den genannten Vorteilen stellen Kunststoffe aus verschiedenen Gründen ein Umweltproblem dar, sowohl in der Schweiz (nicht ausgeschöpftes Optimierungspotenzial beim Umgang mit Kunststoffen) als auch weltweit (Meeresverschmutzung durch Kunststoffabfälle infolge mangelhaftem Abfallmanagement in vielen Ländern). Die Schweiz verantwortet zudem, aufgrund ihres vergleichsweise hohen Verbrauchs an Kunststoffprodukten, einen wesentlichen Beitrag an diesem global wachsenden Umweltproblem.

Die Emissionen erfolgen aus einer Vielzahl schwer zu fassender, diffuser Quellen und verbreiten sich global. Dabei wird eine enorme Anzahl von Mikroplastikteilchen freigesetzt. Der Abrieb und die Zersetzung von Kunststoffprodukten sind nur schwierig einzudämmen. Kunststoffe bauen sich zudem kaum oder nur über sehr lange Zeit ab und reichern sich dadurch in der Umwelt an. Eine technische Entfernung dieser Mikroplastikteilchen aus der Umwelt ist praktisch unmöglich. Es bestehen zwar noch erhebliche Wissenslücken zum Abbau- und Anreicherungsverhalten von Kunststoffen in der Umwelt und zu den möglichen Langzeitfolgen der Kunststoffbelastung für Menschen, Tiere und Ökosysteme. Die langfristigen Wirkungen dürften aber in hohem Masse irreversibel sein, wenn es Politik, Wirtschaft und Gesellschaft nicht gelingt, rechtzeitig mit Massnahmen sowie Produktions- und Verhaltensänderungen entlang der gesamten Lieferkette Gegensteuer zu geben.

Sowohl national als auch international wurden bereits verschiedene Vorschriften erlassen und Massnahmen umgesetzt, um den Einsatz von Kunststoffen zugunsten von umweltverträglicheren Alternativen zu vermindern. Dennoch könnten in der Schweiz zusätzliche und weitergehende Massnahmen dazu beitragen, die Auswirkungen von Kunststoffen nach den Anforderungen des Umweltschutzgesetzes (USG) und des darin statuierten Vorsorgeprinzips (Art. 1 Abs. 2 USG) zu minimieren.

3 Stoffflüsse

3.1 System

Kunststoffe gelangen während ihrer Herstellung, Nutzung und Entsorgung in verschiedene Umweltkompartimente. Soweit sie nicht mit Rückhalte- und Reinigungsmechanismen der Entsorgung zugeführt werden, können sie nachteilige Auswirkungen auf die Umwelt und auf Lebewesen haben (vgl. nachstehende *Abbildung 1*).

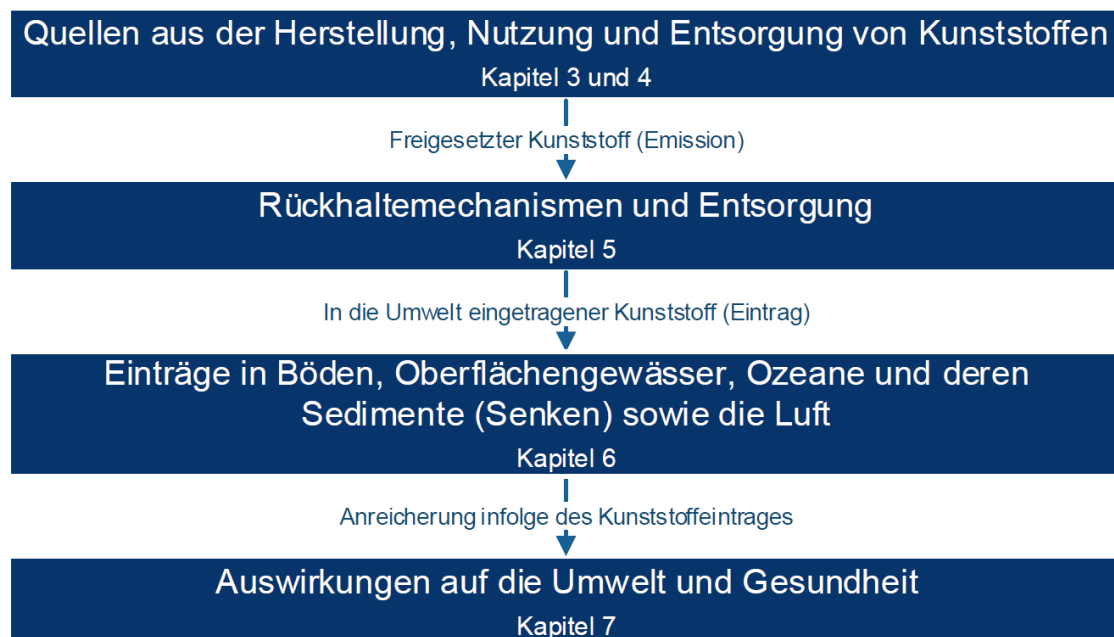


Abbildung 1: Prozess der Umweltbelastung durch Kunststoffe

Die Verläufe der Stoffflüsse von den Quellen über die Entsorgung bis zu den Einträgen in die Umwelt sind vielfältig (vgl. *Abbildung 2*):

- **Hauptemissionsquellen:**

Makroplastik (Partikel grösser als 5 mm sowie Kunststoffabfälle) gelangt vor allem durch die unsachgemässe Entsorgung von Kunststoffabfällen (z. B. Littering, Kunststoffe in der Grüngutsammlung) in die Umwelt.

Mikroplastik (Partikel kleiner als 5 mm) wird mehrheitlich durch den Abrieb und die Zersetzung von Kunststoffprodukten (z. B. Reifenabrieb) als sekundäres Mikroplastik in Böden und Gewässer freigesetzt. Daneben gelangen sowohl absichtlich verwendetes Mikroplastik (sog. primäres Mikroplastik wie z. B. Mikroplastik in Körperpflegeprodukten) als auch sekundäres Mikroplastik (z. B. Faserabrieb beim Waschen synthetischer Textilien) direkt ins Abwasser und führen trotz geringer Mengen verglichen mit der Gesamtbelastung zu Einträgen in Oberflächengewässern.

- **Rückhaltemechanismen und Entsorgung:**

Mit einer Reihe von etablierten Massnahmen (z. B. Abwasserreinigung, Abfallentsorgung, Strassenreinigung) werden die Einträge von Kunststoffen in die Umwelt deutlich reduziert. So leisten die Schweizer Siedlungsabfall- und Abwasserwirtschaft sowie Gemeindebetriebe wichtige Beiträge, dass Kunststoffe nicht in die Umwelt gelangen. Es können jedoch nicht alle Emissionen vollständig von diesen Reinigungsmassnahmen und Rückhaltemechanismen erfasst werden. So gelangen beispielsweise gelitterte Abfälle oder Reifenabrieb von Fahrzeugen durch Abschwemmung von Regenwasser oder durch Luftverfrachtung als diffuse Einträge in die Gewässer und Böden.

Kunststoffe in der Umwelt

– **Senken** (Eintrags- und Anreicherungsorte in der Umwelt):

Die in der Umwelt freigesetzten Kunststoffe verbleiben langfristig in den Senken, d. h. in Sedimenten von Gewässern und in den Böden. Nach dem aktuellen Wissensstand sind die inländischen Einträge von Kunststoffen auf und in den Böden höher als in den Oberflächengewässern. Die Belastung der Ozeane mit Kunststoffen stellt ein zusätzliches, internationales Problem dar.

Die *Abbildung 2* auf der folgenden Seite zeigt die Stoffflüsse der Hauptemissionsquellen, der wichtigsten Rückhaltemechanismen und der Entsorgung sowie der Senken von Kunststoffen in der Schweiz. Dazu sind die folgenden Bemerkungen anzubringen:

- Es handelt sich bei den im Stoffflussdiagramm genannten Zahlen um Modellberechnungen¹, die teilweise mit grossen Unsicherheiten behaftet sind.
- Das Wissen über die Emissionen und Einträge von Kunststoffen in der Umwelt der Schweiz wird im Zuge von Forschungsarbeiten stetig verbessert. Gemäss aktuellsten Erkenntnissen kommen beispielsweise zu den beschriebenen Stoffflüssen weitere 500 Tonnen Kunststoffeinträge in die Umwelt hinzu (Liu und Nowack 2022)². Die im Rahmen dieser neuen Studie betrachteten Polymere können im dargestellten Stoffflussdiagramm jedoch den einzelnen Quellen nicht eindeutig zugeordnet werden.
- Reifenabrieb: Beim Reifenabrieb handelt es sich um ein Konglomerat von drei verschiedenen Stoffgruppen (Kunststoffe, Füllstoffe und anorganische Stoffe), weshalb der reine Mikroplastik-Anteil 60 Prozent am gesamten Reifenabrieb-Partikel ausmacht.
- Haushalte beinhalten folgende Quellen: Faserabrieb beim Waschen synthetischer Textilien, Mikroplastik in Kosmetika und via Toilette falsch entsorgte Kunststoffe wie Hygieneprodukte.
- Auf die einzelnen Quellen mit den emittierten und eingetragenen Mengen wird in Kapitel 4 detailliert eingegangen.

¹ Datengrundlagen: A: Schätzung BAFU für Mikroplastik, basierend auf der Studie (Faure und de Alencastro 2014); B: (Kawecki und Nowack 2019); C: (Kalberer, Kawecki-Wenger und Bucheli 2019); D: (Kawecki, Goldberg und Nowack 2021); E: (Steiner 2020, 2022); F: (Patrick u. a. 2022).

² In der Modellberechnung von Kawecki und Nowack (2019) wurden Quellen, Eintragswege und Senken in die Umwelt der sieben am häufigsten verwendeten Kunststoffarten identifiziert und quantifiziert. Diese Arbeit wurde nun um die fünf nachfolgend am meisten verwendeten Kunststoffarten ergänzt (Liu und Nowack 2022). Damit werden nun rund 85 Prozent der europaweit verwendeten Kunststoffarten abgedeckt. Aus der Nutzung der fünf zusätzlich betrachteten Polymere gelangen rund 500 Tonnen Kunststoffe jährlich in die Umwelt.

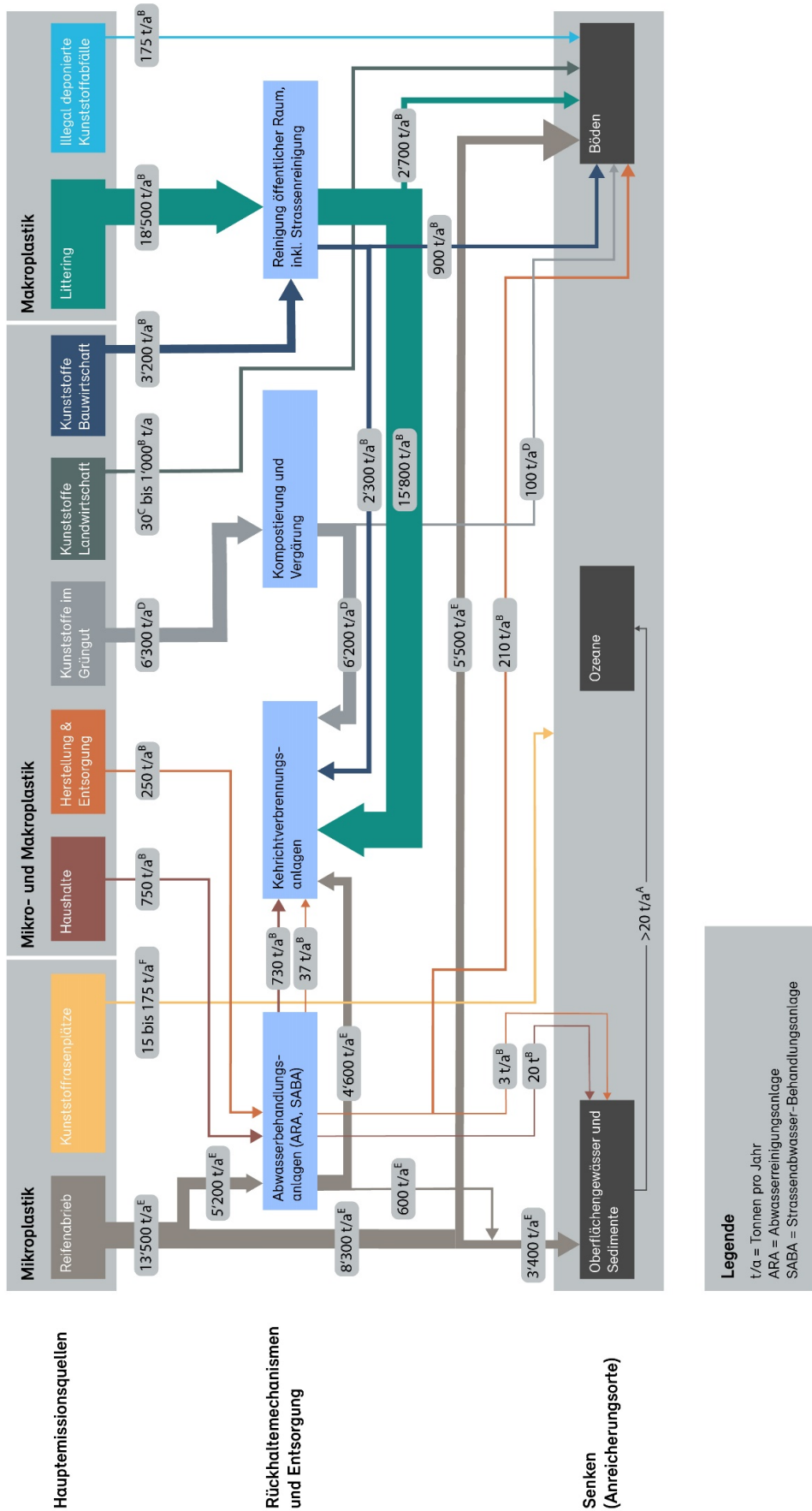


Abbildung 2: Stoffflüsse (siehe Kommentare auf der vorangehenden Seite)

3.2 Lebenszyklus

Die Phasen im Lebenszyklus von Kunststoffen umfassen die gesamte Lieferkette, d. h. die Produktion (inklusive Extraktion und Verarbeitung der überwiegend fossilen Rohstoffe), Weiterverarbeitung zu Kunststoffprodukten, Nutzung, Sammlung, Sortierung, Wiederverwendung oder Recycling, thermische Verwertung sowie Deponierung³ (vgl. *Abbildung 3*).

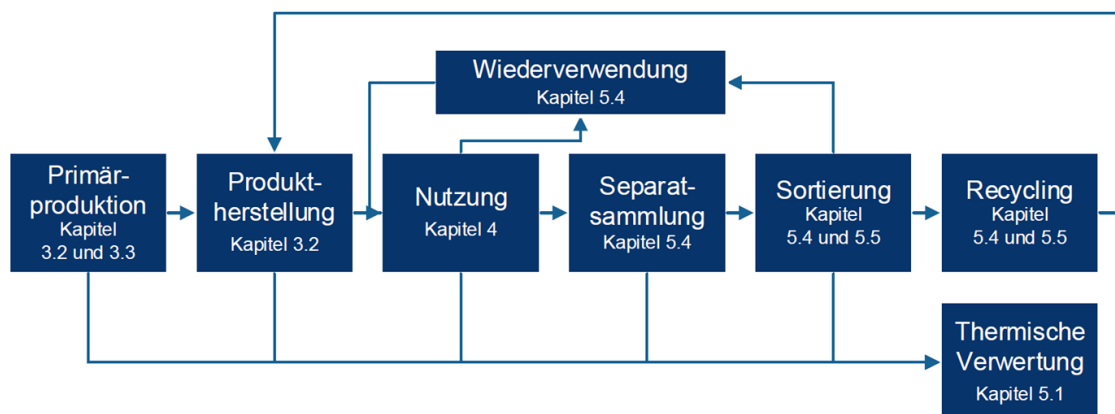


Abbildung 3: Lebenszyklus von Kunststoffen

Die *Produktion* von Kunststoffen nimmt laufend zu. Im Jahr 2020 wurden weltweit rund 367 Millionen Tonnen neue Kunststoffe produziert, davon etwa 55 Millionen Tonnen in Europa (Plastics Europe 2021). Dies sind fast zweihundertmal mehr als noch im Jahr 1950 (Geyer, Jambeck und Lavender Law 2017).

Obwohl es in der Schweiz keine primäre Kunststoffproduktion gibt, ist der *Verbrauch* beträchtlich: Gemäss einer Modellberechnung für das Jahr 2017 werden in der Schweiz etwa eine Million Tonnen (ohne Kautschuk), beziehungsweise rund 120 kg Kunststoffe pro Kopf, verbraucht. Dieser Verbrauch umfasst sowohl langlebige Produkte wie Fensterrahmen, Fahrzeugbestandteile, Textilien oder Spielsachen, als auch Einwegprodukte wie Verpackungen, Einweggeschirr oder Hygienemasken (Klotz und Haupt 2022). Als Vergleich kam eine Studie für den Kunststoffverbrauch in Österreich auf rund 1.3 Millionen Tonnen, dies entspricht im Referenzjahr 2010 einem Konsum von 156 kg pro Kopf und Jahr (Van Eygen u. a. 2017). In der Schweiz wird rund die Hälfte der Kunststoffe als Granulate importiert, die andere Hälfte als fertige Produkte oder Halbfabrikate.

Der Verbrauch von einer Million Tonnen Kunststoffe lässt sich in der Schweiz auf die folgenden *Anwendungsbereiche* aufteilen (Klotz und Haupt 2022):

- Verpackungen: 350'000 Tonnen/Jahr;
- Bauwesen: 230'000 Tonnen/Jahr;
- Konsum- und Haushaltsgüter sowie Sonstiges (z. B. Medizin- und Hygieneartikel, Haushaltsartikel, Möbel, Spielzeuge, Sportgeräte, Züge): 230'000 Tonnen/Jahr;
- Textilien: 90'000 Tonnen/Jahr;
- Automobilindustrie: 60'000 Tonnen/Jahr;
- Elektro- und Elektronikgeräte: 50'000 Tonnen/Jahr;
- Landwirtschaft: 10'000 Tonnen/Jahr.

³ Die Deponierung ist global von Bedeutung, in der Schweiz aber nicht relevant, weil seit dem Jahr 2000 die Deponierung von brennbaren Abfällen verboten ist.

Kunststoffe in der Umwelt

Nebst den Anwendungsbereichen ist auch die *Zusammensetzung* der Kunststoffe vielfältig: Über die Hälfte aller heute eingesetzten Kunststoffe sind Polyethylen (PE), Polypropylen (PP) und Polyvinylchlorid (PVC). In der Verpackungsbranche dominieren die Polymere PE, PP und PET (Polyethylenterephthalat), während PVC hauptsächlich in der Baubranche eingesetzt wird. Zudem sind diese Kunststoffe oft mit verschiedensten Additiven (z. B. Weichmacher) ausgestattet, unterschiedlich eingefärbt oder sie werden im Verbund eingesetzt (z. B. als Multi-Layer-Verpackungen).

Infolge dieses Verbrauchs ergeben sich in der Schweiz jährlich *Kunststoffabfälle* im Umfang von 790'000 Tonnen, beziehungsweise 93 Kilogramm pro Kopf. Davon war knapp die Hälfte weniger als ein Jahr im Einsatz, zum Beispiel als Verpackungen. Ein gutes Drittel der in Kehrrichtverbrennungsanlagen (KVA) entsorgten Kunststoffabfälle stammt aus privaten Haushalten; dabei handelt es sich mehrheitlich um Verpackungsabfälle. Hinzu kommen 35'000 Tonnen Produktionsabfälle aus der Produktherstellung⁴ (z. B. Verschnitte von Fensterrahmen), welche entweder thermisch verwertet oder recykliert werden (Klotz und Haupt 2022).

3.3 Ökologischer Fussabdruck

Kunststoffe generieren entlang ihres gesamten Lebenszyklus Treibhausgasemissionen (fast ausschliesslich CO₂), die den Klimawandel verstärken. Dazu kommen Feinstaubemissionen, welche die menschliche Gesundheit beeinträchtigen. Der Verbrauch von Kunststoffen hat demnach einen ökologischen Fussabdruck zur Folge, der sich in Bezug auf die Emissionen von Treibhausgasen und Feinstaub bemessen lässt (vgl. *Abbildung 4*).

Der *Treibhausgas*-Fussabdruck der Schweiz aus Kunststoffen hat in den letzten 20 Jahren um 45 Prozent zugenommen und erreichte im Jahr 2015 rund 6 Milliarden Tonnen CO₂-Äquivalente (Cabernard u. a. 2021)⁵. Dies entspricht 720 kg CO₂-Äquivalenten pro Kopf und rund 5 Prozent des gesamten Treibhausgas-Fussabdrucks der Schweiz (BAFU 2021b).

Der entsprechende *Feinstaub*-Fussabdruck hat sich in den vergangenen 20 Jahren um 62 Prozent vergrössert. Er hatte im Jahr 2015 insgesamt 6'500 beeinträchtigte Lebensjahre⁶ zur Folge, was 4,5 Prozent des gesamten Feinstaub-Fussabdrucks der Schweiz entspricht.

Die Aufteilung nach den *Lebenszyklusphasen* entlang der Lieferketten zeigt, dass 70 Prozent dieses Treibhausgas- und 85 Prozent dieses Feinstaub-Fussabdrucks auf die Phase der Primärproduktion von Kunststoffen zurückzuführen sind. Die Phase der Produktherstellung sowie das Recycling und die thermische Verwertung (beides inkl. Sammlung und Sortierung) machen einen geringeren Anteil aus. Die Emissionen der Nutzungsphase wurden nicht betrachtet, da diese wenig relevant sind. In der Primärproduktion werden zwei Drittel der Emissionen durch die Bereitstellung von Wärme und Elektrizität freigesetzt. Ein kleinerer Teil ist auf die Extraktion und Verarbeitung fossiler Ressourcen, den Transport und andere Aktivitäten in der Vorkette zurückzuführen. Die Hauptgründe für den Anstieg des Fussabdrucks liegen somit in der Zunahme des Konsums und in der Verlagerung der Kunststoffproduktion nach Asien, insbesondere nach China. Dort wird die Energie (Strom und Wärme) für die Produktion von Kunststoffen noch mehrheitlich durch Kohle bereitgestellt, was vergleichsweise hohe Treibhausgas- und Feinstaubemissionen verursacht. Im Jahr 2015 wurden als Folge davon 85 Prozent des Kunststoff-

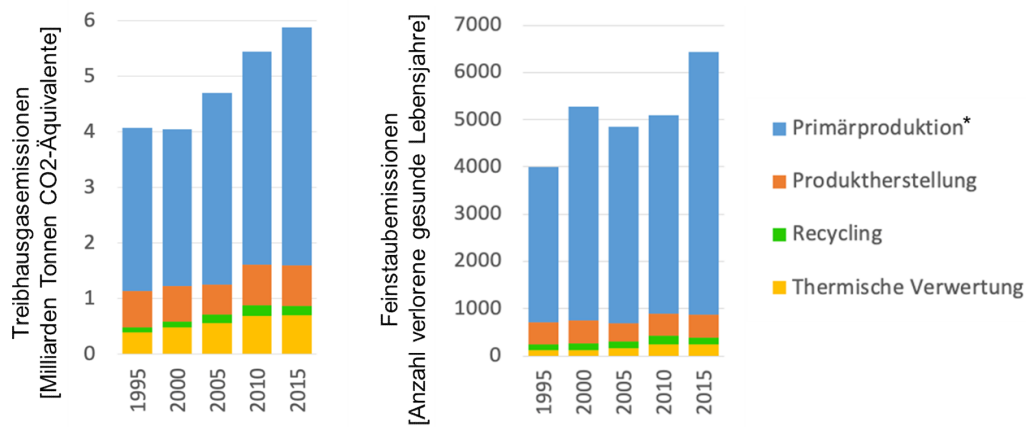
⁴ Produktionsabfälle werden auch als «pre-consumer-Abfälle» bezeichnet. Es handelt sich dabei um Abfälle, die im Herstellungsprozess, also vor dem eigentlichen Verbrauch der Produkte anfallen und so gar nie in die Hände von Konsumentinnen und Konsumenten gelangen. Dem gegenüber stehen sogenannte «post-consumer-Abfälle» als verwendete Produkte, die nach dem Gebrauch entsorgt werden.

⁵ Die in diesem Kapitel zitierten Zahlen basieren auf der Methodik von Cabernard u. a. (2021) und den Daten von Exiobase v3.4.

⁶ Es handelt sich hierbei um «disability adjusted life years (DALYs)», was man auch mit «verlorene gesunde Lebensjahre» übersetzen kann.

Kunststoffe in der Umwelt

Treibhausgas- und 95 Prozent des Kunststoff-Feinstaub-Fussabdrucks der Schweiz im Ausland verursacht, mehr als die Hälfte davon in Asien.



*Treibhausgasemissionen der Primärproduktion im Jahr 2015: 66% Wärme und Elektrizität, 8% Transport, 11% Bereitstellung fossiler Ressourcen, 15% andere Aktivitäten in der Vorkette

*Feinstaubemissionen der Primärproduktion im Jahr 2015: 67% Wärme und Elektrizität, 12% Transport, 4% Bereitstellung fossiler Ressourcen, 17% andere Aktivitäten in der Vorkette

Abbildung 4: Treibhausgas- und Feinstaub-Fussabdrücke der Schweiz aus Kunststoffen von 1995 bis 2015, aufgeteilt nach den wichtigsten Lebenszyklusphasen (Cabernard u. a. 2021)⁷.

⁷ Die Zahlen in der Abbildung basieren auf der Methodik von Cabernard u. a. (2021) und den Daten von Exiobase v3.4.

4 Wichtigste Quellen

4.1 Emissionen, Transport und Einträge

Kunststoffe können während ihres ganzen Lebenszyklus – von der Herstellung über die Nutzung bis zur Entsorgung – in die Umwelt freigesetzt werden. Die Emissionen von Makro- und Mikroplastik stammen demzufolge aus zahlreichen und unterschiedlichsten Quellen. Die Emissionen von Makroplastik werden vor allem durch die unsachgemässe Entsorgung dominiert (insbesondere Littering und Kunststoffe im Grüngut). Der Grossteil der Mikroplastik-Emissionen entsteht während der Nutzungsphase der Produkte durch Abrieb (sekundäres Mikroplastik, z. B. Reifen). Ein geringerer Teil stammt von bewusst hergestelltem Mikroplastik, der gewissen Produkten zu bestimmten Zwecken zugesetzt wird (z. B. Einstreugranulate in Kunststoffrasenplätze, Dünger, Pflanzenschutzmittel, Kosmetika, Haushalts- und Industriereiniger). Mikroplastik entsteht auch durch den langsamen Zerfall von Makroplastik.

Abhängig von der Grösse und Dichte können Kunststoffe durch Abschwemmung oder Luftverfrachtung von einem Umweltkompartiment ins nächste *transportiert* werden. Innerhalb eines Kompartiments können sie über längere Zeit an einer Stelle verweilen oder auch weite Distanzen zurücklegen. Die Transport- und Transferprozesse sind stark abhängig von lokalen und zeitlichen Faktoren (z. B. reduzierte Fliessgeschwindigkeit in einem Stauwehr oder erhöhte Fliessgeschwindigkeit während Unwettern).

Im *Wasser* werden insbesondere jene Partikel transportiert, welche eine ähnliche oder geringere Dichte im Vergleich zum Wasser haben (z. B. Polyethylen-Verpackungen oder geschäumte Kunststoffe). Feine Partikel verbleiben beispielsweise im Wasser, werden dann an Ufer angeschwemmt oder weiter transportiert und sedimentieren erst nach einer Verklumpung mit anderen Partikeln. Größere Partikel mit grösserer Dichte, wie zum Beispiel Elastomere aus Reifenabrieb, tendieren hingegen zur schnelleren Sedimentation. Es kann davon ausgegangen werden, dass ein Grossteil der Kunststoffe in Sedimenten von Seen und Flüssen abgelagert wird. Ein kleinerer Teil verbleibt im Wasser, wird an Ufern angeschwemmt oder mit Flüssen abtransportiert.

In *Böden* ist die Mobilität von Kunststoffpartikeln vergleichsweise gering. Austräge sind möglich durch Auswaschung oder Erosion. Innerhalb der Böden können Kunststoffpartikel über bevorzugte Fliesswege verlagert oder durch Bodenlebewesen (z. B. Regenwürmer) transportiert werden.

Die *Einträge*, das heisst die effektiv in die Umwelt eingetragenen Kunststoffmengen, fallen aufgrund der etablierten Rückhaltemechanismen und Entsorgung deutlich geringer aus als die emittierten Mengen (vgl. *Abbildung 1* und *Abbildung 2*) – mit Ausnahme von Direkteinträgen. Nach den verfügbaren Daten aus Studien und Hochrechnungen für die Schweiz werden jährlich rund 14'000 Tonnen Makro- und Mikroplastik in unsere Böden, Oberflächengewässer und deren Sedimente eingetragen und werden somit nicht von den Rückhaltemechanismen sowie der Entsorgung erfasst. Die wichtigsten Quellen von Kunststoffen und deren jährliche Einträge in die Schweizer Umwelt sind:

- Reifenabrieb (rund 8'900 Tonnen, davon reiner Mikroplastikanteil rund 5'300 Tonnen);
- Littering (2'700 Tonnen);
- Fragmente von Materialien aus Kunststoff, zum Beispiel bei der Herstellung, Entsorgung und Bauwirtschaft (rund 1'100 Tonnen);
- Sport- und Spielplätze, insbesondere Fussball-Kunststoffrasenplätze (15 bis 175 Tonnen);
- Kunststoffe in Kompost und Gärgut (100 Tonnen);
- Landwirtschaft (30 bis 1'000 Tonnen).

Nachfolgend werden die oben genannten sowie weitere Quellen näher betrachtet und deren Emissionen und Einträge aus aktuellen Forschungsergebnissen für die Schweiz wiedergegeben.

4.2 Reifenabrieb und weitere Quellen von Strassen

Reifenabrieb ist in der Schweiz die grösste Quelle von Kunststoffen, insbesondere von Mikroplastik, in der Umwelt. Reifenabrieb besteht zu etwa 60 Prozent aus Gummi (ebenfalls ein Kunststoff), zu 30 Prozent aus Russ als Füllstoff und zu weiteren 10 Prozent aus anorganischen Stoffen (Schwermetalle wie Zink). Für die Schweiz wurde hergeleitet, dass jährlich über 13'500 Tonnen Reifenabrieb emittiert werden (Steiner 2020, 2022). Davon werden rund 40 Prozent (ca. 5'500 Tonnen) weiträumig verweht und gelangen als diffuse Einträge auf die Böden. Die restlichen 60 Prozent (ca. 8'000 Tonnen) gelangen zur Entwässerung. Davon werden wiederum etwa 4'600 Tonnen in den unterschiedlichen Entwässerungssystemen zurückgehalten:

- in Strassenabwasser-Behandlungsanlagen (SABA);
- in Schlämmen von Absetzbecken und Strassenabläufen;
- im Klärschlamm von Kläranlagen;
- in Böden von Strassenschultern bei der Entwässerung über das Bankett.

Schliesslich gelangen rund 3'400 Tonnen Reifenabrieb in die Oberflächengewässer.

Folglich gelangen von den jährlich 13'500 Tonnen Reifenabrieb 8'900 Tonnen in die Umwelt. Da es sich beim Reifenabrieb um ein Konglomerat von drei verschiedenen Stoffgruppen handelt, betragen die Emissionen von reinem *Mikroplastik* mit einem Anteil von 60 Prozent an den gesamten Reifenabrieb-Partikeln jährlich rund 8'100 Tonnen und die Einträge in die Umwelt rund 5'300 Tonnen (Steiner 2020, 2022).

Neben dem Reifenabrieb gibt es verschiedene weitere Quellen von Mikroplastik auf den *Strassen*. Beispielsweise verursachen die Abriebe von Schuhsohlen, Fahrbahnmarkierungen sowie von Besen und Kehrmaschinen ebenfalls Emissionen und Einträge in die Umwelt. Die Einträge dieser Quellen sind im Vergleich zum Reifenabrieb geringer. Sie können mit denselben Filtermechanismen zurückgehalten werden wie der Reifenabrieb.

Nach den Gewässerschutzvorschriften muss Strassenabwasser bei vielbefahrenen Strassen behandelt werden. Mit einem Anschluss an die Mischwasserkanalisation oder an SABA kann der Abrieb grösstenteils zurückgehalten werden (vgl. Kap. 5.2). Bei den übrigen Strassen gelangt der Abrieb mit den Abwässern je nach Situation in die Gewässer oder wird in der Strassenböschung abgelagert. Vor allem bei trockener Witterung wird der Abrieb durch den Verkehr aufgewirbelt. Die Partikel lagern sich dadurch auf der Strassenböschung ab oder werden mit dem Wind über grössere Distanzen verweht.

4.3 Littering und weitere unsachgemäss entsorgte Kunststoffabfälle

Littering bezeichnet das achtlose Liegenlassen oder Wegwerfen von kleinen Mengen an Siedlungsabfällen, ohne die dafür vorgesehenen Abfalleimer oder Sammelstellen zu verwenden. Als nach wie vor weit verbreitete Form der illegalen Abfallentsorgung gehört Littering in der Schweiz zu den wichtigsten Quellen für Makroplastik in der Umwelt und verursacht beträchtliche Schäden und Kosten.

Der mit Abstand grösste Teil von unterwegs konsumierten Einwegprodukten wird nach Gebrauch korrekt mit dem Kehrrecht entsorgt oder dem Recycling zugeführt. Ein kleiner Teil gelangt jedoch durch Littering in die Umwelt und zerfällt dort langsam zu sekundärem Mikroplastik, wenn er vorgängig nicht wieder eingesammelt wird. Nach einer aktuellen Studie werden Kunststoffprodukte für den Unterwegskonsum (z. B. Plastiksäcke, Lebensmittelverpackungen, Getränkeflaschen, Einwegbesteck) zu 98,8 Prozent korrekt entsorgt, während die übrigen 1,2 Prozent in die Umwelt gelangen (Kawecki und Nowack 2019). Die Studie schätzt, dass damit jährlich etwa 18'500 Tonnen Kunststoffprodukte für

Kunststoffe in der Umwelt

den Unterwegskonsum gelittert werden und davon 2'700 Tonnen schliesslich in Schweizer Böden und Oberflächengewässer gelangen.

Eine landesweite Erhebung von Abfällen entlang von Schweizer Gewässern für die Jahre 2020 bis 2021 stellt aktuelle Messdaten zu den in der Natur tatsächlich gefundenen Abfällen zur Verfügung. Aus den Erhebungen lässt sich ableiten, dass 86 Prozent der gefundenen Abfallobjekte aus Kunststoff sind (Erismann und Erismann 2021).

Es zeigt sich, dass *Zigarettenstummel* und deren Filter nebst Snack-Verpackungen am häufigsten in die Umwelt gelittert werden. Zigarettenfilter bestehen aus Celluloseacetat, einem kaum biologisch abbaubaren Kunststoff. Ausserdem enthalten die Zigarettenstummel zahlreiche giftige Chemikalien aus dem Tabak selbst, dem Tabakanbau (Pestizide und Düngemittel), der Zigarettenherstellung sowie durch die Verbrennung der Zigarette. So gelangen rund 4'000 verschiedene Chemikalien (z. B. Arsen, Nikotin, polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe und Schwermetalle) in die Umwelt und können beispielsweise für Wasserorganismen akut giftig sein (Schäfer 2019).

Nebst dem Littering führt auch die *weitere unsachgemässe Entsorgung* von Kunststoffabfällen in der Schweiz zu Umweltschäden. So gelangen zum Beispiel jährlich 600 Tonnen via Toilette falsch entsorgte Wattestäbchen und andere Hygieneprodukte ins Abwasser, wovon 10 Tonnen effektiv in Oberflächengewässern enden. Weiter ist die *illegale Deponierung* von Kunststoffen in Hausaltkehricht mit 175 Tonnen pro Jahr eine weitere Quelle von nicht korrekt entsorgten Abfällen (Kawecki und Nowack 2019).

Aus der Abfallerhebung entlang von Schweizer Gewässern für die Jahre 2020 bis 2021 geht sodann hervor, dass häufig auch andere Abfallobjekte aus Kunststoff weiterer Branchen in der Umwelt gefunden werden, so zum Beispiel Objekte aus der Bau- und Landwirtschaft oder aus der Industrie (z. B. Styroporstücke, weitere fragmentierte Kunststoffstücke, Industriefolien, Kunststoffgranulate).

Die letzte Erhebung der Kosten für die Entsorgung gelitterter Abfälle in der Schweiz wurde 2011 durchgeführt. Die Kosten wurden damals auf rund 200 Millionen Franken pro Jahr geschätzt. Davon entfielen 150 Millionen Franken auf die Gemeinden und 50 Millionen Franken auf den öffentlichen Verkehr (Berger und Sommerhalder 2011). Die Kosten, die für Private und insbesondere Landwirtschaftsbetriebe anfallen, wurden dabei nicht erfasst.

4.4 Kunststoffe im Grüngut

Grüngut umfasst biologisch abbaubare Abfälle wie Küchen- und Gartenabfälle oder Baum- und Rasenschnitt, die durch die Gemeinden separat gesammelt werden. Das Grüngut wird anschliessend an industrielle Kompostierungs- oder Vergärungsanlagen geliefert, wo daraus die Recyclingdünger Kompost und Gärgut sowie Biogas gewonnen werden.

Infolge unsachgemässer Entsorgung gelangen mit der Grüngutsammlung aus privaten Haushalten oder dem Bioabfall aus Industrie und Gewerbe bedeutende Mengen von Kunststoffen in die Kompostierungs- und Vergärungsanlagen:

- Die Ursache für den Kunststoffeintrag aus *Haushalten* sind Fehlwürfe u. a. wegen fehlender Kenntnis der korrekten Abfallentsorgung, aus Bequemlichkeit (z. B. Entsorgen von Lebensmitteln in der Verpackung) oder zur Vermeidung von Entsorgungskosten.
- Der Hauptstrom für den Kunststoffeintrag aus *Industrie und Gewerbe* lässt sich auf verpackte Lebensmittelabfälle zurückführen. Die unverkauften Lebensmittel werden oft samt der Verpackung als Grüngutabfälle entsorgt. Hinzu kommen Aufkleber auf Obst und Gemüse (z. B. Label-Aufkleber), die ebenfalls Kunststoffe enthalten.

Kunststoffe in der Umwelt

Die Reinheit von Kompost und Gärgut schwankt stark mit deren Herkunft: Kompost aus Gartenabfällen ist generell weniger stark mit Kunststoffen verunreinigt als Gärgut aus gemischten Grüngutsammlungen, wie zum Beispiel von Garten- und Küchenabfällen sowie Speiseresten. Vor allem Nahrungsmittelverpackungen und Plastiksäcke beeinträchtigen die Qualität der Grüngutsammlung. Diese Kunststoff-Fragmente können trotz aufwändiger und kostenintensiver Aufbereitungs- und Sortierungsprozesse meistens nur unvollständig aus dem Grüngut, beziehungsweise aus den Endprodukten Kompost und Gärgut entfernt werden. Dadurch gelangen die Restmengen an Kunststoffen, die im Kompost oder in den Gärrückständen verbleiben, in die Umwelt.

Die vermehrte Anwendung *biologisch abbaubarer Kunststoffe* in Form von Säcken, Verpackungen oder Produkten ist hierbei kein Lösungsweg, um den Kunststoffeintrag zu verringern. Aufgrund der Materialeigenschaften und der Umgebungsbedingungen, die auf Kompostier- und Vergärungsanlagen vorliegen, bauen sich diese Gegenstände oder Verpackungen meist nicht oder nur unvollständig ab. Zudem können biologisch abbaubare Kunststoffe im Aufbereitungs- und Sortierungsprozess optisch nicht von konventionellen Kunststoffen unterschieden werden (vgl. Kap. 6.6).

Einer aktuellen Studie zufolge gelangen 6'300 Tonnen Kunststoffe jährlich ins Grüngut (Referenzjahr 2013), wovon 6'200 Tonnen durch den Aufbereitungs- und Sortierungsprozess wieder entfernt werden (Kawecki, Goldberg und Nowack 2021). Trotz dieser vorgelagerten Reinigungsstufen werden jährlich ungefähr 100 Tonnen Kunststoffe mit den Recyclingdüngern in die Böden eingetragen. Davon gelangen rund 70 Tonnen auf landwirtschaftliche Nutzflächen und gut 20 Tonnen werden im Garten- und Landschaftsbau sowie etwa 5 Tonnen bei Privaten eingetragen. Verschmutztes Grüngut gehört damit zu den grössten Quellen für Kunststoffe in Böden. Obwohl seit 2016 für Kunststoffe in Kompost und Gärgut ein strengerer Grenzwert gilt, lag der Fremdstoffanteil (darunter auch Kunststoffe) im Grüngut im Jahr 2018 drei- bis zehnmal höher als in den Jahren 2000 und 2001 (Hüsch u. a. 2018). Überschreiten Kompost oder Gärgut die erlaubten Kunststoffkonzentrationen, müssen sie in KVA verbrannt werden, was Zusatzkosten verursacht.

4.5 Herstellung und Entsorgung

Während der industriellen und gewerblichen Herstellungs-, Transport- und Entsorgungsprozesse von Kunststoffprodukten können Verluste entstehen (z. B. Verarbeitungsverluste, Verluste von Kunststoffgranulaten während des Transports, beim Umfüllen oder durch Abrieb bei Förderbändern). Entsprechende Emissionen treten vor allem in unmittelbarer Nähe und flussabwärts der Produktionsstätten auf. Insgesamt wurde für die Schweiz modelliert, dass jährlich ungefähr 70 Tonnen Mikroplastik direkt aus dem *Herstellungsprozess* in die Böden gelangen. Ein weitaus kleinerer Anteil (1 Tonne) gelangt via Abwasser in die Oberflächengewässer (Kawecki und Nowack 2019).

Die *Abfallentsorgung* und das *Recycling* tragen auch zur Mikroplastikbelastung bei, nämlich durch das Zerkleinern von Kunststoffabfällen für das Recycling. Des Weiteren entsteht Mikroplastik während dem Schreddern von Fahrzeugen oder von Elektro- und Elektronikgeräten. Für die Schweiz wurde modelliert, dass aus allen Recyclingprozessen jährlich rund 50 Tonnen Mikroplastik direkt in die Böden eingetragen werden. Weitere 40 Tonnen gelangen via Luft auf Böden und in Gewässer und 40 Tonnen fliessen ins Abwasser, wovon 2 Tonnen schliesslich ebenfalls in die Gewässer gelangen. Knapp 50 Tonnen Makroplastik gelangen durch Verluste infolge des Transports während der Abfallentsorgung direkt in die Böden (Kawecki und Nowack 2019).

4.6 Bauwirtschaft

Rund 3'200 Tonnen Kunststoffemissionen pro Jahr entstehen während des Baus und Abbruchs von Gebäuden sowie während des Transports von Materialien und Abfällen zu und von den Baustellen. Emissionen von Mikroplastik entstehen beispielsweise bei der Installation und beim Rückbau von Dämmstoffen an Häusern, bei der Verwitterung von Gebäudefassaden oder beim Zuschneiden von Rohren. Daneben verursacht die Baubranche Makroplastik-Emissionen, zum Beispiel durch die Fragmentierung und Verwehung von Styropor-Dämmstoffen oder in Form von Bau- und Abbruchabfällen, welche während des Rückbaus und des Transports verloren gehen. Durch die Strassenreinigung kann ein bedeutender Teil dieser Abfälle wieder eingesammelt und der geordneten Entsorgung zugeführt werden. Von den betrachteten Prozessen gelangen aus der Bauwirtschaft jährlich ca. 760 Tonnen Makro- und 150 Tonnen Mikroplastik effektiv in die Umwelt (Kawecki und Nowack 2019).

4.7 Land- und Forstwirtschaft

In der Land- und Forstwirtschaft werden verschiedene Kunststoffprodukte eingesetzt wie beispielsweise Schutzhüllen bei Jungbäumen. Einen wesentlichen Anteil an den Umwelteinträgen dieser Branche können *Folienprodukte* haben, mit unterschiedlichen Anwendungen wie Siloballen-, Mulch- und Gewächshausfolien, Vliese und Lochfolien sowie Witterungsschutz und Bändchengewebe. Weitere Kunststoffanwendungen in der Landwirtschaft finden sich beispielsweise bei Bewässerungssystemen mit Rohrleitungen sowie Strohballenschnüren.

Gemäss einer Studie werden jährlich 16'000 Tonnen Kunststoffe auf landwirtschaftliche Nutzflächen ausgebracht (Kalberer, Kawecki-Wenger und Bucheli 2019). Davon verbleiben 160 Tonnen effektiv auf und in den Böden⁸. Darin enthalten sind 80 Tonnen Littering sowie 50 Tonnen mit Kunststoffen verunreinigte Gärgut- und Kompostdünger⁹. Die restlichen 30 Tonnen umfassen unter anderem die oben genannten Folienprodukte, Kunststoffbinder und Strohballenschnüre. Mulchfolien aus Polyethylen (PE) tragen beispielsweise jährlich geschätzt bis zu 3 Tonnen zum Kunststoffeintrag in die Böden bei.

Generell belasten Folien die Umwelt, wenn sie nicht sachgemäss entsorgt werden (z. B. Liegenlassen oder Unterpflügen auf den Landwirtschaftsflächen) oder wenn sie sich während der Nutzung oder Entsorgung abnutzen. Der Einsatz von Folien in der Landwirtschaft hat jedoch auch Vorteile, da der Wasserverbrauch sinkt und weniger Herbizide eingesetzt werden müssen. Dabei muss unterschieden werden zwischen nicht abbaubaren PE-Mulchfolien, welche nach dem Gebrauch wieder möglichst vollständig entfernt werden, und biologisch abbaubaren Mulchfolien, welche für einen vollständigen Abbau nach Gebrauch in den Boden eingearbeitet werden müssen. Eine weitere Mikroplastikquelle für Böden sind mit Polymeren ummantelte Pflanzenschutzmittel und Dünger, die Wirk- und Nährstoffe dosiert abgeben.

4.8 Sport- und Spielplätze

Durch Alterung, Abnutzung und den Unterhalt von Sport- und Spielplätzen (z. B. Kunststoffrasen- oder Tartanplätze) können primäres oder sekundäres Mikroplastik via Entwässerung, Windverfrachtung und Schneeräumung in die Umwelt gelangen. In einer aktuellen Studie (Patrick u. a. 2022) wurde die Verbreitung und Verfüllung von Fussball-Kunststoffrasenplätzen in der Schweiz umfassend ermittelt, weshalb nachfolgend auf diesen Sportplatz-Typ fokussiert wird.

⁸ In der Studie von Kawecki und Nowack (2019) wurde ein jährlicher Kunststoffeintrag von rund 1'000 Tonnen modelliert, da die Eintragsraten infolge Vergraben der betrachteten landwirtschaftlichen Produkte in den Böden auf einer französischen Studie basieren. Dies entspricht jedoch nicht der gängigen Schweizer Praxis im Umgang mit solchen Produkten, weshalb diese Zahl als Extremwert zu betrachten ist.

⁹ Gemäss einer neueren Studie von Kawecki, Goldberg und Nowack (2021) werden jährlich rund 70 Tonnen Kunststoffe durch verunreinigte Gärgut- und Kompostdünger auf landwirtschaftliche Flächen ausgetragen (vgl. Kap. 4.4).

Kunststoffe in der Umwelt

Bei Kunststoffrasenplätzen für *Fussball* besteht die Spielfläche aus einem Kunststoffrasenteppich, der meistens mit lose eingebrachten, kunststoffbasierten Einstreugranulaten¹⁰ befüllt ist. Heute sind auch Plätze mit organischen Verfüllstoffen (z. B. Kork) oder unverfüllte Plätze verbreitet. Gerade die synthetischen Einstreugranulate sind mengenmässig von besonderer Bedeutung für die Umwelt, weil sie durch Witterungseinflüsse und Unterhaltsarbeiten als primäres Mikroplastik verlagert werden können. Durch Alterung und Abnutzung entsteht aber auch sekundäres Mikroplastik in Form von Abrieb vom Kunststoffrasenteppich und der Verfüllung, welches rund 10- bis 100-mal kleiner ist als die Granulate.

Die Studie von Patrick u. a. (2022) ergab, dass ungefähr 275 Plätze mit Kunststoffgranulaten und rund 100 Plätze mit organischen Granulaten verfüllt sind, während etwa 125 Plätze unverfüllt sind. Auf der Gesamtfläche der Kunststoffrasenplätze mit synthetischer Verfüllung befinden sich 8'000 bis 24'000 Tonnen kunststoffbasierte Füllgranulate und Abrieb. Aufgrund der nutzungsbedingten Verdichtung der Granulate und der Verluste in die Umgebung werden auf jedem synthetisch verfüllten Platz durchschnittlich 1.2 Tonnen (<0.2 bis 5 Tonnen) Kunststoffgranulat pro Jahr nachgefüllt. Für unverfüllte und organisch verfüllte Kunststoffrasenplätze wurden je 1 bis 4 Tonnen jährlicher Abrieb (sekundäres Mikroplastik) abgeschätzt. Welcher Anteil dieses Abriebs in die Umwelt gelangt, ist jedoch nicht bekannt.

Die jährlich emittierte Menge Mikroplastik in die Umgebung der Spielfelder entspricht 0.05 bis 2 Prozent der gesamten Füllmenge. Sie dürfte damit pro Kunststoffrasenplatz 50 bis 600 kg und insgesamt zwischen 14 und 165 Tonnen aus allen synthetisch verfüllten Fussball-Kunststoffrasenplätzen betragen (Weijer, Knol und Hofstra 2017, Internationale Vereinigung Sport- und Freizeiteinrichtungen (IAKS) 2019, Løkkegaard, Malmgren-Hansen und Nilsson 2019 (Revised), Regnell 2019, Verschoor, van Gelderen und Hofstra 2021). Die Angaben zu den Emissionen sind grobe Schätzungen und entsprechend mit grossen Unsicherheiten behaftet.

Welche Mengenanteile in Böden und Gewässer gelangen, und welche gesammelt und geordnet mit dem Kehricht entsorgt werden, sind weitgehend unklar, weil entsprechende Studien mit breiter Datenbasis fehlen. Ein Grund dafür ist, dass sehr viele Faktoren die Verfrachtung beeinflussen, beispielsweise die Nutzungsintensität und der Pflegeaufwand für den Sportplatz, die Umgebungsgestaltung und Witterung. Weil über 80 Prozent aller Plätze weiter als 30 m von Oberflächengewässern entfernt liegen, ist von einem eher geringen luftgetragenen Eintragsrisiko von Kunststoffgranulaten auszugehen.

4.9 Haushalte

In Haushalten entsteht Mikroplastik vorwiegend während des Waschens und Tragens von synthetischen Kleidern und aus der Verwendung von Kosmetika. Ferner enthalten auch Reinigungsmittel für den Haushalt und das Gewerbe Mikroplastik, das nach der Verwendung ins Abwasser gelangen kann.

Durch das Waschen von *synthetischen Textilien* werden jährlich 80 Tonnen Faserabrieb emittiert, davon gelangen 5 Tonnen in die Oberflächengewässer (Kawecki und Nowack 2019). Zudem nutzen sich durch das Tragen von synthetischen Textilien Fasern ab. Dieser Abrieb gelangt in die Luft, ein Teil davon in die Aussenluft und lagert sich von dort auf Gewässern und Böden ab. Diese Verteilung über die Luft erklärt, weshalb Textilfasern auch in entlegenen Gebieten gefunden werden.

Die Emissionen von Mikroplastik durch Reibkörper in *Kosmetika* betragen geschätzt 75 Tonnen pro Jahr. Sie gelangen ins Abwasser, wo die Rückhaltemechanismen den grössten Teil dieses primären Mikroplastiks wieder entfernen. Dennoch gelangt bei starken Regenereignissen unbehandeltes Abwasser in die Gewässer, weil Abwasserreinigungsanlagen (ARA) und Kanalisationsnetze hydraulisch überlastet sind. Ein kleiner Teil entweicht trotz Behandlung aus der ARA in die Umwelt. Die Oberflächege-

¹⁰ Diese Einstreugranulate bestehen mehrheitlich aus Synthesekautschuken sowie thermoplastischen Polymeren und Elastomeren. Einige häufig verwendete Polymere umfassen u. a. Styrol-Butadien-Kautschuk (SBR), Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk (EPDM), thermoplastische Elastomere (TPE) und Polypropylen (PP).

Kunststoffe in der Umwelt

wässer und Böden werden jährlich mit etwa 3 Tonnen Mikroplastik aus Kosmetika belastet. Dieselben Prozesse führen auch dazu, dass kunststoffhaltige Produkte, die in der Toilette entsorgt werden, über das Abwasser in die Gewässer gelangen können. Von solchen kunststoffhaltigen Hygieneprodukten gelangen jährlich 600 Tonnen ins Abwasser, davon landen 10 Tonnen in Oberflächengewässern (Kawecki und Nowack 2019, Nowack und Kawecki-Wenger 2020).

5 Entsorgung und Verwertung

5.1 Stoffliche und thermische Verwertung

Nach der Nutzungsphase fallen Kunststoffe – in der Regel in Form von Makroplastik – als Abfälle an und werden je nach Kunststofftyp *stofflich* (Recycling, vgl. Kap. 5.4) oder in KVA und Zementwerken *thermisch* verwertet. Da in der Schweiz, im Gegensatz zu vielen anderen Ländern, bereits seit dem Jahr 2000 keine brennbaren Abfälle mehr deponiert werden dürfen, müssen sämtliche Kunststoffabfälle umweltverträglich stofflich oder thermisch verwertet werden.

Die finale Verwertung der jährlich in der Schweiz anfallenden 790'000 Tonnen Kunststoffabfälle ist in der nachfolgenden *Tabelle 1* dargestellt.

Tabelle 1: Endverwertung der Kunststoffabfälle in der Schweiz (Klotz und Haupt 2022), Referenzjahr 2017.

Art der Verwertung	Menge (in Tonnen)	Anteil (in Prozent)
Thermische Verwertung in KVA (Kehrichtsammlung sowie Sortier- und Recyclingrückstände)	660'000	83
Rezyklat (Sekundärmaterial)	70'000	9
Thermische Verwertung des nicht rezyklierbaren Anteils aus Separatsammlungen in Zementwerken ¹¹	10'000	2
Export zur Wiederverwendung, Wiederverwendung in der Schweiz (v. a. Fahrzeuge, Elektro- und Elektronikgeräte sowie Textilien)	50'000	6
Total	790'000	100

Dank diesen vorgeschriebenen Verwertungsprozessen und der gut funktionierenden Abfallwirtschaft mit effizienten Rückhaltemechanismen wird die überwiegende Menge an Kunststoffabfällen in der Schweiz zurückgehalten und umweltgerecht entsorgt. Wirksame Reinigungsmassnahmen im öffentlichen Raum sorgen dafür, dass auch gelitterte Kunststoffabfälle oder Reifenabrieb zumindest teilweise einer umweltgerechten Abfallentsorgung zugeführt werden. Die Einträge von Mikro- und Makroplastik in Böden, in Oberflächengewässer und in die Luft werden durch die in der Siedlungsabfall- und Abwasserwirtschaft bereits implementierten Massnahmen deutlich reduziert.

5.2 Entwässerung und Abwasserreinigung

Makroplastik, das in das technische Abwassersystem gelangt, wird dort zum grössten Teil entfernt und der thermischen Verwertung zugeführt. Die ARA können auch den grössten Teil der Mikroplastikmengen im Abwasser entfernen: Obwohl aus Textilien, Kosmetika und anderen Anwendungen rund 220 Tonnen Mikroplastik freigesetzt werden, gelangen davon nur 15 Tonnen in die Gewässer. Der Rest wird in der Kläranlage entfernt und mit dem Klärschlamm verbrannt (Nowack und Kawecki-Wenger 2020).

¹¹ Es werden noch weitere Fraktionen in Zementwerken thermisch verwertet, die hier nicht aufgelistet werden. Den jährlich publizierten Kennzahlen von Cemsuisse, dem Verband der Schweizerischen Zementindustrie (vgl. <https://www.cemsuisse.ch/kennzahlen/>, zuletzt geprüft am 14.07.2022), kann entnommen werden, dass im Jahr 2017 rund 57'200 Tonnen Kunststoffe sowie rund 39'500 Tonnen Altreifen und Gummiabfälle in Zementwerken als alternative Brennstoffe thermisch verwertet worden sind. Es ist jedoch nicht bekannt, aus welchen Branchen diese Abfälle stammen und wie gross der Anteil der importierten Abfälle ist. Weil die Studie von Klotz und Haupt (2022) auf den Zahlen aus dem Jahr 2017 basiert, werden sie hier ebenfalls als Grundlage verwendet.

Kunststoffe in der Umwelt

Die *Abwässer* aus Haushalten, Gewerbe und Industrie werden in den ARA behandelt. Dort können 90 bis 97 Prozent des Mikroplastiks und der Nanopartikel im Abwasser entfernt werden. Modellierungen weisen darauf hin, dass der Ausfluss der ARA insgesamt nur in geringem Masse zu den Einträgen in die Oberflächengewässer beiträgt (Boucher u. a. 2019). Die zurückgehaltenen Kunststoffe aus der Abwasserreinigung gelangen in den Klärschlamm, der somit eine wichtige Senke für Kunststoffe darstellt. Das Ausbringen von Klärschlamm auf Böden ist in der Schweiz seit dem Jahr 2006 verboten. Der Klärschlamm wird thermisch verwertet und bildet somit im Gegensatz zum Ausland keinen Eintragspfad für Kunststoffe in die Umwelt.

Strassenabwasser muss ab einer gewissen Belastung (abhängig vom durchschnittlichen Tagesverkehr DTV) behandelt und darf somit nicht direkt in ein Oberflächengewässer eingeleitet oder unterirdisch versickert werden. Eine Behandlung des Strassenabwassers kann entweder über die Schulter erfolgen, wobei das Strassenabwasser über die Schulter fliesst und in der Böschung versickert, oder aber in speziellen Strassenabwasser-Behandlungsanlagen (SABA) beziehungsweise in einer Kläranlage.

5.3 Entsorgung bei Wasserkraftwerken

Makroplastik wird zusammen mit natürlichem Treibgut bei Rechen der Wasserkraftwerke angeschwemmt. Die Kraftwerkbetreiberin muss aus den Rechen entnommenes Treibgut und damit die Kunststoffabfälle sachgerecht entsorgen. Das Gewässerschutzgesetz erlaubt Ausnahmeregelungen bei Kraftwerksketten. Hier dürfen Kunststoffe zusammen mit natürlichem Treibgut unterhalb der Kraftwerksanlage wieder dem Gewässer beigegeben werden. Erst das unterste Kraftwerk ist verpflichtet, das Treibgut mit den Kunststoffabfällen sachgerecht zu entsorgen. Während die Weitergabe von natürlichem Treibgut ökologisch wertvoll ist, stellt die Rückgabe von Kunststoffen ein Umweltproblem dar. Eine mechanische Zerreißung infolge von Verwirbelungen kann nicht ausgeschlossen werden. Das so entstehende sekundäre Mikroplastik kann in die Nahrungskette von Fischen und anderen Wasserlebewesen gelangen.

Da die Entsorgungsaufsicht den Kantonen obliegt, fehlt bislang eine schweizweite Übersicht, wo und über welche Strecken diese Bewirtschaftungspraxis angewendet wird. Ebenso bestehen erst wenige Kenntnisse zum Umfang und Grad der ökologischen Beeinträchtigung dieser Praxis. Dem Bundesamt für Umwelt (BAFU) ist beispielsweise bekannt, dass diese Praxis abschnittsweise an der Aare und am Rhein über eine Fließstrecke von rund 100 km angewendet wird.

Zur Klärung des allfälligen Bedarfs einer Anpassung der bestehenden Gesetzesgrundlage zum Schutz der Ökosysteme müssten das Ausmass und der Beeinträchtigungsgrad der Belastung einerseits und die ökonomischen Auswirkungen einer Anpassung dieser Betriebspraxis andererseits bekannt sein.

5.4 Recycling

Etwa 120'000 der insgesamt 790'000 Tonnen anfallenden Kunststoffabfälle werden mittels Separatsammlungen als spezifische Kunststofffraktionen gesammelt, wovon rund 70'000 Tonnen als Rezyklat zurückgewonnen und rund 10'000 Tonnen in der Schweiz oder im Ausland wiederverwendet werden (Referenzjahr 2017). Die Wiederverwendung erfolgt vor allem bei Textilien, aber auch bei geringen Mengen an ausgebauten Autoteilen und Teilen von Elektro- und Elektronikgeräten. Die restlichen Mengen aus den Separatsammlungen werden thermisch in Zementwerken (10'000 Tonnen) sowie in den KVA (30'000 Tonnen) verwertet (Klotz und Haupt 2022).

Im Jahr 2020 wurden in der Schweiz rund 36'000 Tonnen *PET-Getränkeflaschen* verwertet, was einer stofflichen Verwertungsquote von 82 Prozent entspricht (BAFU 2021a).

Kunststoffe in der Umwelt

In einer von PET-Recycling Schweiz im Jahr 2020 durchgeführten Befragung gaben knapp die Hälfte der über 600 untersuchten Gemeinden an, bei ihren Sammelstellen nebst PET-Getränkeflaschen über eine *zusätzliche Kunststoffsammlung* (z. B. gemischte Kunststoffe und/oder Kunststoffflaschen) zu verfügen. Die gemischten Kunststoffsammlungen werden meist in Zusammenarbeit mit privaten Dienstleistern angeboten. Bei diesen Sammlungen kann aufgrund der grossen Heterogenität der Kunststoffe und den verschiedensten Zusatzstoffen oftmals nur knapp die Hälfte der Kunststoffe stofflich verwertet werden. Auch vom Detailhandel werden Kunststoffflaschen mit Deckel (z. B. Shampoo-, Waschmittel- oder Milchflaschen) im Hinblick auf eine stoffliche Verwertung separat gesammelt.

Daneben gibt es ein Sammelsystem für expandiertes Polystyrol (EPS) sowohl für Privathaushalte (z. B. Styroporblöcke aus Versandverpackungen) als auch für die Industrie (z. B. Verschnitte von Isolationsmaterialien). *Nicht-Konsumentenverpackungen* wie Tertiärverpackungsfolien oder Transportkisten aus dem Detailhandel, der Industrie und dem Gastronomiegewerbe werden teilweise über Entsorgungsunternehmen oder ebenfalls über Sacksysteme separat gesammelt. Dienstleister im Baubereich betreiben für PE-Baufolien ebenfalls Sammelsysteme (Klotz und Haupt 2022).

Neben dem Verpackungsbereich gibt es in *weiteren Produktsegmenten* separate Sammelsysteme für Kunststoffabfälle (vgl. Kap. 3.2 bezüglich sogenannter «post-consumer-Abfälle»). Im Baubereich gibt es beispielsweise separate Sammelsysteme für Bodenbeläge, Fensterrahmen und Dachbahnen aus PVC sowie PE-Kabelschutzrohre. Bei Altfahrzeugen werden in einzelnen Fällen Stossstangen zum Zweck eines Recyclings demontiert. Bei separat gesammelten Elektro- und Elektronikgeräten führen die Verwerter die geeigneten Kunststoffsorten dem Recycling zu. Aus dem Landwirtschaftsbereich werden Siloballenfolien rezykliert. Haushaltskunststoffe und Spielzeuge werden teilweise in den Sacksystemen für gemischte Kunststoffe aus Privathaushalten mitgesammelt (Klotz und Haupt 2022).

Die in *Industrie, Gewerbe und Landwirtschaft* verbrauchten Kunststoffe fallen häufig in grösseren Mengen, sortenrein sowie zum Teil unverschmutzt als Abfall an. Derartige Abfälle eignen sich in der Regel gut für das Recycling. Dieses Potenzial wird bisher nur teilweise ausgeschöpft. Beispielsweise werden erst rund 20 Prozent der PE-Folien aus Industrie, Gewerbe und Landwirtschaft rezykliert (Klotz und Haupt 2022).

Grundsätzlich ist das Recycling von Kunststoffen der energetischen Verwertung vorzuziehen, da hierbei die zur Herstellung des Kunststoffs benötigte («graue») Energie nicht verloren geht. Verschiedene Ökobilanzen haben dies gezeigt. Sortenreine Sammlungen führen zu einer höheren Recyclingrate als gemischt gesammelte Kunststoffe, die zuerst in Sortieranlagen getrennt werden müssen. Es eignet sich jeweils nur ein Teil dieser aussortierten Kunststoffe für das Recycling, der Rest wird thermisch verwertet.

An dieser Stelle könnte das *chemische Recycling* ansetzen. Dieses bietet als Ergänzung zum werkstofflichen Recycling die Möglichkeit, Schadstoffe auszuschleusen und werkstofflich schwer rezyklierbare oder stark verschmutzte Abfälle zu verwerten (z. B. Sortier- und Aufbereitungsreste, gemischte Kunststoffabfälle). Dabei werden die Kunststoffpolymere in ihre Grundbestandteile zerlegt (Monomere bzw. chemische Grundbausteine). Im Gegensatz dazu bleibt beim werkstofflichen Recycling die Polymerstruktur des Kunststoffs erhalten. Zum chemischen Recycling gehören Verfahren wie die Pyrolyse, Vergasung oder Verflüssigung (z. B. Kunststoffverölung). Die Produkte des chemischen Recyclings können nach einer Aufbereitung wieder in der chemischen Industrie oder bei der Kunststoffherstellung zum Einsatz kommen, teilweise werden sie auch zu Treibstoffen oder Heizöl verarbeitet. Der Einsatz als Energieträger oder Treibstoff bietet jedoch aus Umweltsicht kaum Vorteile gegenüber der thermischen Verwertung. Der Verschmutzungsgrad sowie die Heterogenität der eingesetzten Abfälle führt beim chemischen Recycling ähnlich wie beim werkstofflichen Recycling ebenfalls zu einem hohen Aufbereitungsaufwand und zu Materialausschüssen. Gemäss dem deutschen Umweltbundesamt sollte eine «Umleitung von Stoffströmen, die bislang im werkstofflichen Recycling verwertet werden, hin zum chemischen Recycling [...] vermieden werden, da zum jetzigen Zeitpunkt davon auszugehen ist, dass die technisch

Kunststoffe in der Umwelt

weit weniger aufwändigen werkstofflichen Verfahren ökologisch vorteilhafter sind» (Vogel, Krüger und Fabian 2020). In der Schweiz wurden in der Vergangenheit einige Projekte durchgeführt, diese konnten jedoch nicht in industriellem Massstab realisiert werden.

5.5 Exporte von Kunststoffabfällen

Das Basler Übereinkommen regelt seit 1989 den grenzüberschreitenden Verkehr mit allen Abfällen sowie die Zulässigkeit und Kontrolle von Exporten gefährlicher Abfälle. Abfälle nach dem Basler Übereinkommen dürfen aus der Schweiz nur in Staaten exportiert werden, die Mitglied der OECD bzw. der EU sind. Das BAFU bewilligt Abfallexporte neben weiteren Voraussetzungen nur dann, wenn die Entsorgungswege abschliessend bekannt sind und die Entsorgung (Verwertung) umweltverträglich ist und dem schweizerischen Stand der Technik entspricht.

Bis Ende 2020 konnten feste Kunststoffabfälle, die frei von gefährlichen Stoffen und nicht mit anderen Abfällen vermischt waren, bewilligungsfrei aus der Schweiz zur Verwertung in Mitgliedstaaten des Basler Übereinkommens exportiert werden. Bis dahin unterlagen solche Kunststoffabfälle keiner Meldepflicht nach dem Basler Übereinkommen oder nach der Verordnung über den Verkehr mit Abfällen (VeVA, SR 814.610). Gemäss Statistik der Eidgenössischen Zollverwaltung (EZV 2020) wurden Kunststoffabfälle fast ausschliesslich in die EU und dabei zum grossen Teil in unsere Nachbarländer exportiert. Dennoch konnte bis Ende 2020 nicht ausgeschlossen werden, dass exportierte Kunststoffabfälle letztlich doch in Staaten landen, die über eine ungenügende Infrastruktur zur umweltgerechten Behandlung von Kunststoffabfällen verfügen.

Seit dem 1. Januar 2021 werden gemischte Kunststoffabfälle sowie reine Kunststoffabfälle (letztere nur bei thermischer Verwertung) im Rahmen des Basler Übereinkommens als Abfälle eingestuft, die besonderer Prüfung bedürfen. Diese Abfälle wurden damit ebenfalls kontrollpflichtig. Alle betroffenen Staaten (Export-, Transit- und Importstaaten) müssen vorgängig zu geplanten grenzüberschreitenden Transporten ihre Zustimmung geben. Basierend auf provisorischen Zahlen des BAFU wurden im Jahr 2021 rund 11'800 Tonnen bewilligungspflichtige gemischte Kunststoffabfälle aus Haushalten nach Deutschland und Österreich exportiert.

In der Studie von Klotz und Haupt (2022) wurden auch die Stoffströme von exportierten Kunststoffabfällen im Jahr 2017 untersucht. Dabei wurden nur sogenannte «post-consumer-Abfälle» berücksichtigt. In der Studie wurde hergeleitet, dass ca. 10'500 Tonnen PE-Abfälle, beispielsweise in der Schweiz vorsortierte Kunststoffflaschen mit Deckel oder separat gesammelte Industrie- und Gewerbeabfälle wie Kisten und Folien, für ein Recycling exportiert wurden. Weiter wurden rund 2'500 Tonnen PVC-Abfälle aus dem Baubereich wie Bodenbeläge, Fensterprofile und Dachbahnen exportiert. Gemischte Kunststoffabfälle wurden im Jahr 2017 im Umfang von 26'000 Tonnen exportiert. Diese gemischten Abfälle umfassen beispielsweise separat gesammelte Kunststoffflaschen mit Deckel und gemischte Kunststoffabfälle aus Haushalten, welche zur Sortierung exportiert wurden oder auch Kunststoffe aus Elektro- und Elektronikgeräten, welche in der Schweiz geschreddert wurden.

6 Umweltbelastungen

Kunststoffe sind überall in der Umwelt zu finden. Gründe dafür sind der hohe Verbrauch, die unbeabsichtigte Abnutzung während des Gebrauchs und die teilweise unsachgemässe Entsorgung von Kunststoffprodukten. Eine weitere Ursache liegt in Umwelteinträgen mit Produkten, die Mikroplastik absichtlich enthalten. Die effektiv in die Umwelt eingetragenen Mengen (Einträge) können den freigesetzten Mengen (Emissionen) entsprechen oder aufgrund von Rückhalte Mechanismen und der Entsorgung kleiner ausfallen (vgl. auch *Abbildung 1*).

Kunststoffe in der Umwelt

Kunststoffe zerfallen durch natürliche Prozesse in immer kleinere Teilchen, welche sich schliesslich überall verteilen. Insbesondere *Mikroplastik* wird deshalb auf allen Kontinenten und in allen Umweltkompartimenten gefunden: in Ozeanen, im arktischen Eis, in den Bergen, in Flüssen, Seen, Sedimenten, Böden sowie in der Luft. Auch in der Schweiz wurde Mikroplastik selbst an abgelegenen Orten mit Messungen nachgewiesen. Einzig in Schweizer Grundwasservorkommen sind bisher keine Mikroplastiknachweise bekannt. In Böden, in Sedimenten von Gewässern und in Ozeanen reichern sich Kunststoffe an, da die Abbauraten viel kleiner sind als die Eintragsraten in die Umwelt.

Die *Quantifizierung* der Einträge je Umweltkompartiment ist schwierig. Verlässliche Daten dazu stehen heute erst ansatzweise und mehrheitlich als Modellierungen zur Verfügung. Aufgrund der unterschiedlichen Analysemethoden sind die in der Schweiz gemessenen Werte aus verschiedenen Studien heute noch schwierig zu vergleichen. Während Kunststoffeinträge in Gewässer bereits hohe Aufmerksamkeit erhielten, wurden Einträge in Böden bisher eher vernachlässigt.

6.1 Senken

Als Senken von Kunststoffen werden Orte oder Prozesse verstanden, wo die Kunststoffe für lange Zeit verbleiben und akkumuliert werden (sog. Anreicherungsorte). Als Senken gelten die Ozeane, Sedimente von Ozeanen und anderen Gewässern, sowie Böden. Auch der Klärschlamm gilt als Senke, weil in diesen die zurückgehaltenen Kunststoffe aus der Abwasserreinigung gelangen. Da in der Schweiz der Klärschlamm thermisch verwertet werden muss, können jedoch die darin enthaltenen Kunststoffe nicht mehr in die Umwelt gelangen. Eine weitere Senke sind die mit der Reinigung des öffentlichen Raumes eingesammelten Kunststoffe, welche ebenfalls der Verbrennung zugeführt und dadurch der Umwelt entzogen werden. Eine letzte Senke sind schliesslich die Behandlungsanlagen für Strassenabwasser (vgl. Kap. 5.2).

6.2 Böden

Auf und in die Böden gelangen Kunststoffe einerseits direkt, zum Beispiel durch Littering oder den Zerfall von Folien auf Landwirtschaftsflächen. Andererseits sind indirekte Einträge relevant, wie beispielsweise die Versickerung von mit Reifenabrieb belastetem Regenwasser von Strassen. Schliesslich können Kunststoffe mit Wind und Gewässern verlagert werden, bevor sie auf und in die Böden gelangen (vgl. Kap. 4.1). Einmal im Boden, sind Kunststoffe weitgehend immobil und zerfallen langsam zu Mikroplastik.

Zur Art- und Mengenbestimmung von Kunststoffen in Böden existiert bis heute keine standardisierte Methode. Insgesamt deuten Modellierungen darauf hin, dass viel mehr Kunststoffe in die Schweizer Böden als in die Gewässer und die Luft gelangen. Aus einer Schweizer Studie mit Einbezug der sieben am häufigsten verwendeten Kunststoffarten (ohne Reifenabrieb) resultieren 40-mal höhere Einträge in Böden als in Gewässern (Kawecki und Nowack 2019). Die Modellberechnung schätzt den jährlichen Eintrag von Makroplastik auf und in die Böden auf rund 4'400 Tonnen sowie von Mikroplastik auf rund 600 Tonnen. Zusätzlich werden jährlich etwa 5'500 Tonnen Reifenabrieb (davon 60 Prozent Mikroplastik-Anteil) weiträumig verweht und gelangen als diffuse Einträge auf die Böden (Steiner 2020, 2022).

Es ist davon auszugehen, dass Mikroplastik in fast allen Schweizer Böden zu finden ist. Bei Probenahmen von Auenböden in Naturreservaten wurde bei 90 Prozent der Proben Mikroplastik nachgewiesen (Scheurer und Bigalke 2018). Aus einer Analyse der Kunststoffströme wurde eine Konzentration von rund 200 mg/kg Kunststoffen in landwirtschaftlichen Oberböden (0 – 25 cm) abgeleitet (Kalberer, Kawecki-Wenger und Bucheli 2019).

6.3 Gewässer

Schweizer Flüsse und Seen enthalten im Durchschnitt ähnlich viele Mikroplastikpartikel wie die übrigen Gewässer in Europa. Kunststoffe finden sich als Makro- und Mikroplastik in allen untersuchten Schweizer Seen und Flüssen.

Makroplastik gelangt hauptsächlich über Littering in die Gewässer. Hauptquellen von Mikroplastik in Gewässern sind der Abrieb von Reifen, Fasern synthetischer Textilien sowie die beabsichtigte Verwendung in Kosmetika. Durch die Behandlung des Strassenabwassers und der Abwässer aus Haushalten, Industrie und Gewerbe in der ARA werden die Kunststoffeinträge in die Umwelt stark vermindert, aber nicht vollständig vermieden.

Eine Modellberechnung der sieben meistverwendeten Kunststoffarten in der Schweiz schätzt den jährlichen Eintrag von Makroplastik in die Oberflächengewässer auf rund 110 Tonnen und von Mikroplastik auf rund 15 Tonnen (Kawecki und Nowack 2019). Zusätzlich gelangen 3'400 Tonnen Reifenabrieb (davon 60 Prozent Mikroplastik-Anteil) in die Oberflächengewässer (Steiner 2020, 2022).

6.4 Luft

Mikroplastik kann durch Aufwirbelung in die Luft gelangen, dies zu einem Teil auch in Form von Feinstaub. Kunststoffpartikel machen zwar nur einen kleinen Teil der Feinstaubbelastung aus, doch können sie organische und anorganische Schadstoffe enthalten – entweder in Form von Additiven, welche in der Produktion bewusst zugefügt wurden, oder von Umweltschadstoffen, welche sich an die Kunststoffpartikel anlagern (z. B. Schwermetalle).

Die Hauptquelle von Mikroplastik in der Luft ist der *Strassenverkehr*: Reifen, Bremsbeläge und Fahrbahnmarkierungen bestehen unter anderem aus Kunststoffen, welche abgerieben werden und durch Aufwirbelung in die Luft gelangen. Der Anteil von Reifenabrieb am lungengängigen Feinstaub¹² liegt im einstelligen Prozentbereich. Die Partikel sind typischerweise zwischen 2,5 und 40 Mikrometer gross und der Nachweis solcher sehr kleiner Kunststoffpartikel ist messtechnisch anspruchsvoll.

Mikroplastik reichert sich in der Luft nicht an. Je nach Windverhältnissen werden sowohl Mikroplastik als auch gelitterte Makroplastikteile in der Luft über unterschiedlich weite Distanzen transportiert. Die Verweilzeit der Partikel in der Luft reicht von einigen Minuten bis zu mehreren Wochen.

6.5 Ozeane

Jährlich gelangen weltweit rund 12 Millionen Tonnen Kunststoffe mit den Flüssen und Abwässern sowie über die Luft und die Gezeiten in die Ozeane oder fallen auf den Ozeanen selbst an (z. B. durch direkte Entsorgung von Abfällen auf Schiffen). Kunststoffe werden im Ozean kaum abgebaut, sondern zerfallen zu Mikroplastik. Von den Meeresströmungen werden sie über teilweise sehr grosse Strecken transportiert und können Abfallteppiche bilden. Kunststoffpartikel finden sich in allen Meeren und in allen Tiefen, selbst in entlegensten Meeresgräben. Es wird geschätzt, dass 94 Prozent der Kunststoffe letztlich auf den Meeresgrund sinken und sich dort anreichern. Der restliche Teil findet sich an den Stränden (5 Prozent) oder an der Meeresoberfläche (1 Prozent) (Eunomia 2016).

¹² Als lungengängiger Feinstaub (PM10 resp. PM2.5) werden Partikel bezeichnet, deren Durchmesser weniger als 10 resp. 2.5 Tausendstel-Millimeter beträgt. Deshalb können diese Partikel tief in die feinsten Verästelungen der Lunge eindringen und von dort zum Teil in die Lymph- und Blutbahnen. Ihre zerklüftete Struktur ermöglicht eine Anlagerung von weiteren giftigen Substanzen.

Kunststoffe in der Umwelt

Rund 150 Millionen Tonnen Kunststoffe sind bis heute bereits in die Ozeane gelangt. Die Hauptursache für die Verschmutzung der Meere ist eine fehlende oder mangelhafte Abfallbewirtschaftung, hauptsächlich in Asien und Afrika. Der Grossteil der Kunststoffe (v. a. grössere Kunststoffstücke wie Flaschen oder Kunststoffverpackungen) stammt von küstennahen Gebieten im Umkreis von 50 Kilometern zum Meer (9 Millionen Tonnen pro Jahr). Vom Binnenland aus, zu welchem auch die Schweiz gehört, gelangen jährlich 0,5 Millionen Tonnen Kunststoffe in die Ozeane. Aus der Schweiz selbst gelangen schätzungsweise jährlich rund 20 Tonnen Mikroplastik über die Flüsse in die Ozeane. Auf dem Meer selbst entstehen rund 1,75 Millionen Tonnen Kunststoffabfälle durch die Fischerei und Schifffahrt. Hinzu kommen 0,95 Millionen Tonnen Mikroplastik, hauptsächlich Reifenabrieb, Kunststoffgranulate und Faserabrieb synthetischer Textilien (Eunomia 2016). Eine weitere wichtige Quelle für den Kunststoffeintrag in die Ozeane sind Farben aus verschiedenen Anwendungsbereichen wie von Gebäuden oder Fahrzeugen. Gemäss einer aktuellen Studie (Paruta, Pucino und Boucher 2021) gelangen jährlich knapp 2 Millionen Tonnen Mikroplastik aus Farben in die Ozeane. Der Beitrag von Mikroplastik aus Farben in die Ozeane wurde bisher unterschätzt und scheint grösser zu sein, als die bisher als Hauptverursacher angenommen Quellen wie Reifenabrieb und Abrieb von Textilien.

6.6 Abbau

Kunststoffe gelten als persistent und werden in der Umwelt nur sehr langsam abgebaut; sie können dort dutzende bis mehrere hundert Jahre verbleiben. Der Abbau beinhaltet im Normalfall die Fragmentierung der Kunststoffpartikel zu kleinen Teilen, welche anschliessend durch UV-Strahlung, chemisch und biologisch in kleinere Moleküle umgewandelt und schliesslich mineralisiert werden. Insbesondere der biologische Abbau ist bei den heute gängigen Kunststofftypen sehr langsam – unter Umweltbedingungen, aber auch während der Kompostierung und Vergärung.

Die *Fragmentierung* geschieht aus einem komplexen Zusammenspiel von biotischen und abiotischen Faktoren: Biologischer Abbau an der Oberfläche durch Mikroorganismen, Versprödung durch UV-Strahlung, Zerkleinerung durch Wellengang, Verbisse durch Tiere, usw. Beim biologischen Abbau werden die Bestandteile des Kunststoffs durch Mikroorganismen mineralisiert. Dabei werden kleine Partikel ganz abgebaut oder grössere Partikel an der Oberfläche zersetzt.

Der *Abbauweg* und die *Abbaurate* sind abhängig von abiotischen und biotischen Faktoren, sowie von der Zusammensetzung des Kunststoffs selbst. Am Genfersee wurden Kunststoffpartikel gefunden, die aufgrund der Inhaltstoffe über 60 Jahre alt sein müssen. Die für den Abbau benötigte Zeit kann sich zwischen schwer und leicht abbaubaren Polymeren um den Faktor 1000 unterscheiden und je nach Additiven noch zusätzlich erhöhen (Bertling, Bertling und Hamann 2018). Teilweise ist unklar, ob das Polymer sich im Untersuchungszeitraum tatsächlich zersetzt oder ob der Gewichtsverlust nur darauf beruht, dass Additive ausgewaschen wurden.

Biobasierte, biologisch abbaubare und oxo-abbaubare Kunststoffe werden oft miteinander verwechselt und im Volksmund manchmal irrtümlicherweise generell «Biokunststoffe» genannt. Diese Begriffe beschreiben jedoch Kunststoffe unterschiedlicher Herkunft mit unterschiedliche Eigenschaften:

- *Biobasierte Kunststoffe* werden aus Biomasse (z. B. Algen, Bakterien, Pflanzen) und somit aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt. Das Ausgangsmaterial sagt aber nichts darüber aus, wie gut der Kunststoff abbaubar ist.
- *Biologisch abbaubare Kunststoffe* werden hauptsächlich für Einwegartikel (z. B. Teller), Kompostierungssäcke und in der Landwirtschaft eingesetzt. Sie werden durch natürlich auftretende Mikroorganismen zu Wasser, Kohlendioxid und Biomasse zerlegt und sollten deshalb in der Umwelt bedeutend schneller abgebaut werden als konventionelle Kunststoffe. Allerdings ist dies meistens nur in industriellen Vergärungs- oder Kompostierungsanlagen möglich, da nur diese Anlagen die Bedingungen (z. B. Temperatur) für eine vollständige Zersetzung erfüllen. Überdies sind nicht alle

Kunststoffe in der Umwelt

biologisch abbaubaren Kunststoffe für eine Entsorgung und Verwertung in solchen Anlagen geeignet. Die Verwertung wird dadurch erschwert, dass es für Betreiberinnen und Betreiber von solchen Anlagen kaum erkennbar ist, ob der im Grüngut enthaltene Kunststoff für den Abbau in der Anlage geeignet ist oder nicht. Ungeeignete Kunststoffe werden in der Anlage nicht vollständig abgebaut. Gelangen biologisch abbaubare Kunststoffe in die Umwelt, verläuft der Abbau in Böden und Gewässern meistens sehr langsam und unvollständig oder es findet gar kein Abbau statt. Hinzu kommt, dass der Abbau von bioabbaubaren Kunststoffen nicht zur Humusbildung oder zu einem Nährstoffgewinn beiträgt und dadurch keinen Mehrwert erzielt. Aus diesem Grund sind die thermische Verwertung und Vergärung in industriellen Anlagen in der Regel sinnvoller als die Kompostierung, da diese zumindest eine energetische Nutzung der Ressourcen erlauben.

- Bei *oxo-abbaubaren Kunststoffen* handelt es sich um konventionelle Kunststoffe mit Additiven, die zwar die Fragmentierung des Kunststoffmaterials in kleinere Teile unter Umweltbedingungen beschleunigen, aber nicht den biologischen Abbau- bzw. Mineralisierungsprozess. Die bei der Fragmentierung entstehenden Mikroplastikpartikel werden weder in der freien Natur noch unter Kompostbedingungen innerhalb eines vertretbaren Zeitraums vollständig biologisch abgebaut. Wichtige Schweizer Handelsunternehmen verzichteten denn auch bewusst auf den Einsatz solcher Kunststoffe, die somit in der Schweiz – im Gegensatz zu Ländern aus dem Mittleren Osten oder aus Südamerika – keine breite Verwendung fanden (Wiesinger u. a. 2020; vgl. auch Motion 19.4182¹³). Seit Juli 2021 sind oxo-abbaubare Kunststoffe in der EU und seit dem 1. April 2022 auch in der Schweiz verboten.

¹³ Motion Chevalley (19.4182) «Wann werden oxo-abbaubare Kunststoffe verboten?».

7 Auswirkungen

Die Auswirkungen von Kunststoffen auf Menschen, Tiere, Organismen und ganze Ökosysteme sind vielfältig, komplex und bisher noch wenig verstanden:

- *Makroplastik*, beziehungsweise herumliegende oder -schwimmende Kunststoffstücke können Tiere verletzen, indem diese sich beispielsweise in Fischernetzen verheddern oder durch die Aufnahme von Kunststoffstücken verhungern.
- *Mikroplastik* kann ein Auslöser verschiedener physikalischer und chemischer Effekte sein, wie zum Beispiel Veränderung der Bodeneigenschaften oder Wachstumsrückgang und reduzierte Fortpflanzung bei Regenwürmern. Diese beschriebenen Auswirkungen auf Organismen wurden jedoch im Labor unter relativ hohen Kunststoffkonzentrationen nachgewiesen. Die bisher in der Umwelt nachgewiesenen Konzentrationen sind deutlich tiefer. Für die Auswirkungen von Bedeutung sind aber nicht nur die Konzentrationen, sondern auch die Art und Grösse der Partikel oder die darin enthaltenen chemischen Bestandteile (Additive) oder adsorbierten Schadstoffe, welche toxische Effekte auslösen können.

7.1 Auswirkungen auf die Umwelt

Es gelangt eine Vielzahl an verschiedenen Kunststoffarten in die Umwelt und es ist unbestritten, dass Kunststoffe wegen ihrer Beständigkeit die Umwelt belasten. Nicht Teil einer klassischen Risikoanalyse, aber dennoch ökologisch relevant, sind die Auswirkungen auf *Ökosysteme*. So können beispielsweise an Kunststoffteilen haftende Tiere oder Mikroorganismen an artenfremde Standorte verschleppt werden. Oder es können in Kunststoffen enthaltene oder angelagerte Schadstoffe über den Transport der Kunststoffteile verlagert werden. Weiter kann die Bodenfruchtbarkeit aufgrund der abnehmenden Aktivität von Regenwürmern reduziert werden.

Bisher wurde in der Wissenschaft den aquatischen Ökosystemen mehr Aufmerksamkeit geschenkt als den terrestrischen (de Souza Machado u. a. 2018). Dies ist wohl auch dadurch bedingt, dass es anspruchsvoller ist, Mikroplastik von der festen Matrix einer Bodenprobe zu trennen und nachzuweisen, als in einer Wasserprobe. Aus diesem Grund wurde die Belastung des Bodens bisher vermutlich unterschätzt.

7.1.1 Tiere

Kunststoffe können Tiere auf unterschiedliche Weise schädigen. Vor allem verschiedene Küstengewässer und Meeresgebiete sind so stark mit Kunststoffen belastet, dass es zu einer Gefährdung von Meerestieren kommt. Fische, Vögel oder Schildkröten können sich in grösseren Kunststoffteilen verheddern oder sich damit strangulieren. Kunststoffe können im Magendarmtrakt von Tieren falsche Sättigungsgefühle auslösen, was zu reduzierter Nahrungsaufnahme und damit zu Energiemangel bis zum Tod durch Verhungern führen kann. Auch in der Schweiz wurden im Verdauungstrakt von Vögeln und Fischen kleine Mengen von Mikroplastik gefunden (Faure und de Alencastro 2014). Andere Wildtiere sowie Nutztiere können auch grössere Kunststoffstücke aufnehmen.

Die Aufnahme erfolgt hauptsächlich über die Nahrung, bei Fischen zudem über die Kiemenatmung. Mikroplastik kann ebenfalls durch die Aufnahme in die Nahrungskette gelangen und sich so in grösseren aquatischen Lebewesen anreichern, wie dies beispielsweise bei muschelfressenden Krebsen gezeigt wurde (Yong, Valiyaveetil und Tang 2020). Es gibt Hinweise darauf, dass ein relevanter Anteil des von Fischen oder Invertebraten aufgenommenen Mikroplastiks wieder ausgeschieden wird, wobei der Anteil abhängig ist von der Tierart und der Form des Mikroplastiks. Die Absorption und Translokation sehr kleiner Mikroplastikpartikel ($< 5 \mu\text{m}$) durch das Darmgewebe wurde in verschiedenen Weichtieren und

Kunststoffe in der Umwelt

Fischen beobachtet. Der zugrunde liegende Mechanismus sowie die maximale Partikelgrösse sind jedoch noch unklar und müssen genauer untersucht werden (Burns und Boxall 2018). Bei Fischen, die mit durch Mikroplastik angereicherter Nahrung gefüttert worden sind, wurde eine verminderte Fortpflanzung beobachtet (Cormier u. a. 2021).

7.1.2 Ökosysteme

Für eine erste Risikoabschätzung von Mikroplastik in *Seen und Flüssen weltweit* wurden die in verschiedensten Studien real gemessenen Belastungen durch Mikroplastik mit Schwellenwerten¹⁴ für die möglichen toxischen Effekte bei verschiedenen Organismen verglichen (Adam, Yang und Nowack 2019). In den Studien zur Ökotoxizität wurden vor allem Süsswasserfische und andere Wasserorganismen untersucht. In Europa, so das Fazit der Studie, sind aquatische Organismen zurzeit (noch) nicht akut gefährdet.

Bei den bisher gemessenen Konzentrationen von Mikroplastik in *Schweizer Gewässern* gibt es ebenfalls keine Hinweise auf eine Gefährdung von Wasserorganismen (Faure und de Alencastro 2014). Die tatsächliche Belastung durch Mikroplastik wird jedoch unterschätzt, da bisherige Analysetechniken kleinere Partikel nicht erfassen konnten und auch die reale Wirkung auf Organismen noch kaum untersucht wurde. Zudem wurden ökotoxikologische Studien oft mit primärem, nicht gealtertem Mikroplastik durchgeführt, während in der Umwelt vor allem sekundäres, gealtertes und mit Chemikalien beschichtetes Mikroplastik vorkommt. Es wird überdies vermutet, dass durch die weitere Fragmentierung und Freisetzung von Additiven die maximale Toxizität der aktuell in der Umwelt vorhandenen Kunststoffe noch nicht erreicht ist (Rillig u. a. 2021). Bezüglich dieser Fragen besteht weiterer Forschungsbedarf. Weiter ist abzuklären, ob eine Übertragung der Schlussfolgerungen von Studien mit primärem Mikroplastik auf das in der Umwelt gefundene sekundäre Mikroplastik zulässig ist.

Über die Auswirkungen von Mikroplastik auf den *Boden* respektive die Bodenfruchtbarkeit (z. B. durch Beeinträchtigung der Bodenorganismen) ist noch wenig bekannt. Die bisher festgestellten Effekte auf Bodenorganismen wurden unter Labor- und nicht unter Umweltbedingungen gemessen, da es immer noch schwierig ist, Kunststoffmengen in den Böden zu bestimmen.

In einer Schweizer Studie wurde für *landwirtschaftliche Böden* eine grobe Abschätzung vorgenommen (Kalberer, Kawecki-Wenger und Bucheli 2019). Aus den in Böden eingetragenen Kunststoffmengen wurde eine Bodenkonzentration von 0.2 g/kg abgeleitet (vgl. Kap. 6.2), welche mit ökotoxikologischen Studien aus der wissenschaftlichen Literatur verglichen wurde. Dort finden sich negative Effekte auf Bodenlebewesen ab einer Konzentration von 1 g/kg. Daraus wird abgeleitet, dass zurzeit kein Risiko besteht. Diese Abschätzung ist aber mit grossen Unsicherheiten behaftet, da es bisher keine standardisierten Testmethoden gibt und Vergleiche von nicht standardisiert erhobenen Daten mit grosser Vorsicht zu interpretieren sind. Im Gegensatz dazu hat eine ausländische Studie bei Regenwürmern bereits ab einer Konzentration von 0,06 Gramm Mikroplastik pro Kilogramm Boden negative Effekte im Darm, inklusive einer Immunreaktion, beobachtet (Rodríguez-Seijo u. a. 2017). Dies zeigt, dass negative Effekte bei umweltrelevanten Konzentrationen noch genauer zu erforschen sind.

Weiter muss besser untersucht werden, ob Mikroplastik durch (*Nutz-*)*Pflanzen* aufgenommen wird, wie sich Mikroplastik auf Pflanzen auswirkt und ob Menschen Mikroplastik durch das Verspeisen von Nutzpflanzen aufnehmen. In einer Studie wurde ein Testboden sechs verschiedenen Mikroplastikarten ausgesetzt, anschliessend wurden darin Frühlingszwiebel-Setzlinge angepflanzt. Die Forschenden stellten fest, dass die Pflanzen stark auf den mit Mikroplastik belasteten Boden reagierten. Dabei wurden signifikante Veränderungen der physikalischen Bodeneigenschaften beobachtet, was nachteilige Auswirkungen

¹⁴ Die Herleitung des Grenzwertes und die anschliessende Risikobewertung, welche in der Studie von Adam, Yang und Nowack (2019) vorgestellt wurden, entsprechen nicht denjenigen, welche in der europäischen Wasserrahmenrichtlinie (Richtlinie 2000/60/EG) sowie in der Gewässerschutzverordnung (GSchV, SR 814.201) vorgesehen sind.

Kunststoffe in der Umwelt

gen auf die Pflanzenwurzel- und Blattmerkmale sowie die Pflanzenbiomasse hatte (de Souza Machado u. a. 2019).

7.1.3 Herausforderungen

Insgesamt zog die Europäische Chemikalienagentur (ECHA) 2019 die Schlussfolgerung, dass zurzeit keine abschliessende Risikobeurteilung möglich ist und nicht ausgeschlossen werden kann, dass zurzeit oder in der Zukunft Effekte durch die Partikel auftreten werden. Aus den oben genannten Risikoabschätzungen lassen sich folgende Herausforderungen und Vorbehalte ableiten:

- Die *Konzentrationen* werden in Zukunft zunehmen, wenn Kunststoffe weiterhin in die Umwelt eingetragen werden. Kunststoffe sind persistent, reichern sich dadurch in der Umwelt an und können praktisch nicht mehr aus der Umwelt entfernt werden (v. a. Mikroplastik). Langfristig zerfällt Makroplastik zu sekundärem Mikroplastik und kann so potenziell weitere Effekte verursachen. Die Umweltkonzentrationen von sehr kleinen Partikeln werden selten gemessen und somit wahrscheinlich unterschätzt. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass die Umweltkonzentrationen von Kunststoffen künftig auf ein Niveau steigen, auf dem sie Effekte hervorrufen werden.
- Da es bisher keine standardisierten *Messmethoden* gibt, sind Resultate verschiedener Studien mit Vorsicht zu interpretieren und zu vergleichen.
- Die Herleitung von ökotoxikologischen *Grenzwerten* ist schwierig. So werden noch nicht genügend Tierarten abgedeckt, es mangelt an Studien mit Mikroplastik-Material, wie es tatsächlich in der Umwelt vorkommt, und Daten zu chronischen Effekten fehlen weitgehend.
- Studien zu *terrestrischen Organismen* liegen bis heute nur vereinzelt vor. Eine Einordnung der Risiken für Menschen, Tiere und Ökosysteme ist somit unter den bislang in der Umwelt gefundenen Konzentrationen noch nicht möglich.

7.2 Auswirkungen auf die Gesundheit

Menschen können Kunststoffpartikel oder darin enthaltene Bestandteile vorwiegend mit der Nahrung, aber auch durch die Atmung und über die Haut aufnehmen. Es ist erwiesen, dass Kunststoffpartikel sowie die darin enthaltenen Monomere oder Additive toxische Effekte auslösen und gesundheitsgefährdend sein können. Ob diese Effekte auch bei den heutigen Umweltkonzentrationen auftreten, ist nicht abschliessend geklärt. Insgesamt hängt das Risiko für Menschen einerseits vom Gefahrenpotenzial ab und andererseits von der tatsächlichen Exposition, d. h. in welcher Form der Mensch dem Stoff ausgesetzt ist.

Es ist bekannt, dass sehr kleine Kunststoffpartikel (sog. Nanoplastik) Entzündungsreaktionen auslösen können. Sie setzen möglicherweise auch Bestandteile des Kunststoffs frei, welche die Gesundheit beeinträchtigen können. Jedoch ist noch unklar, ob diese Kunststoffpartikel über den Darm oder die Lunge ins Körperinnere gelangen können. Die Langzeitwirkungen einer Kunststoffexposition – gerade von Mikroplastik – auf Lebewesen sind ebenfalls noch nicht bekannt.

7.2.1 Gefahrenpotenzial

Zu den Effekten von *Mikroplastik* auf den Menschen ist noch sehr wenig bekannt. Grundsätzlich wären Effekte in der Lunge, im Darm oder – falls sie absorbiert werden – auch bei anderen Organen (insbesondere der Leber) möglich. Es gibt verschiedene Studien, welche mit Labortieren (in vivo, z. B. mit Ratten oder Mäusen) oder mit menschlichen Zellkulturen (in vitro) durchgeführt worden sind (Yong, Valiyaveetil und Tang 2020). Die beobachteten Effekte aus Tierexperimenten, wie beispielsweise Darmentzündungen bei Mäusen, geben Hinweise zu möglichen Effekten beim Menschen. Sie lassen jedoch keine direkten Rückschlüsse auf die menschliche Gesundheit zu. Bei Experimenten mit mensch-

Kunststoffe in der Umwelt

lichen Zellkulturen konnten keine signifikanten Effekte beobachtet werden. Eine Ausnahme davon bilden erhöhte Entzündungswerte bei sehr hohen Mikro- und Nanoplastikkonzentrationen.

Es ist bekannt, dass *Additive und Schadstoffe* wie Schwermetalle gesundheitsschädliche Wirkungen haben können. Diese Stoffe sind chemische Bestandteile von Kunststoffen (Additive) oder haften an den Oberflächen der Kunststofffragmente an (Umweltschadstoffe). Additive oder an Mikroplastik angelagerte Umweltschadstoffe könnten im menschlichen Körper freigesetzt werden und damit die Schadstoffexposition bei Menschen erhöhen. Ausserdem können Mikroplastikpartikel in ihre Grundbausteine (Monomere oder Oligomere) abgebaut werden, die ebenfalls toxische Effekte hervorrufen können (Beispiel Bisphenol A). Ob allerdings durch Mikroplastikpartikel relevante Chemikalienmengen von Additiven oder adsorbierten Schadstoffen freigesetzt werden, die solche Effekte hervorrufen könnten, ist derzeit noch nicht bekannt. Bezüglich der angelagerten Umweltschadstoffe weisen Modellierungen darauf hin, dass für diese Stoffe die Exposition durch Lebensmittel sehr viel höher ist als durch die Aufnahme über Kunststoffe.

7.2.2 Exposition

Die Aufnahme von Mikroplastik über die *Nahrung* wird als die wichtigste Eintrittsroute in den menschlichen Körper betrachtet. Der Eintrag von Mikroplastik in unsere Lebensmittel ist vielschichtig: Mikroplastik kann aus der Umwelt in die Nahrungskette gelangen, aber auch via Staub aus der Luft auf unseren Teller oder in unser Glas (z. B. Fasern von synthetischen Textilien). Mikroplastik kann bereits im Rohprodukt enthalten sein oder erst während des Produktionsprozesses in die Nahrungsmittel gelangen, zum Beispiel durch den Abrieb von Verpackungen oder durch Transport in der Innenluft. Mögliche Quellen für die Aufnahme von Mikroplastik finden sich in verschiedenen Lebensmitteln, beispielsweise in Muscheln, Fischen, Zucker, Honig, Salz, Bier, Flaschen- oder Leitungswasser. Die Identifizierung und Quantifizierung von Mikroplastik in Nahrungsmitteln ist schwierig, beispielsweise können Verunreinigungen im Labor eine grosse Herausforderung darstellen. Die Resultate der Studien sind deshalb mit Vorsicht zu interpretieren (EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM) 2016, Rist u. a. 2018, Prata u. a. 2020). Die Weltgesundheitsorganisation (WHO 2019) hat in einer Übersichtsstudie den Wissensstand von Mikroplastik in Flaschen- und Leitungswasser festgehalten und kommt zum Schluss, dass man zurzeit nicht von einem Gesundheitsrisiko durch Mikroplastik in Trinkwasser ausgehen kann. Es bestehen allerdings noch grosse Wissenslücken. In der Schweiz gibt es bis jetzt keinen Nachweis von Mikroplastik im Leitungswasser.

Das Einatmen von Kunststoffpartikeln als Bestandteil des Feinstaubs mit der *Atemluft* ist eine weitere Eintrittsroute. Dabei gibt es zahlreiche Quellen, darunter synthetische Textilien, Abrieb von Materialien (z. B. Fahrzeugreifen, Gebäudefassaden) und Aufwirbelung von Mikroplastik (Prata u. a. 2020). In der Lufthygieneforschung wurde nachgewiesen, dass Feinstaub- und Ultrafeinstaub tief in die feinsten Verästelungen der Lunge eindringen und von dort zum Teil in die Lymph- und Blutbahnen gelangen. Sie verursachen Erkrankungen der Atemwege und des Herz-Kreislauf-Systems, lokale Entzündungen, die folglich zu einem erhöhten Krebsrisiko führen können (Rist u. a. 2018). Es liegen allerdings keine Daten spezifisch für Mikroplastik vor. Die Luftreinhalte-Verordnung (LRV, SR 814.318.142.1) enthält aber Immissionsgrenzwerte für Feinstaub. Bei deren Einhaltung sind Menschen, nach dem heutigen Wissensstand, vor schädlichen und lästigen Auswirkungen von Feinstaub, einschliesslich darin enthaltenem Mikroplastik, geschützt.

Der Mensch ist Kunststoffen und deren Bestandteilen, die in Produkten, Textilien oder im Staub enthalten sind, auch über den *Hautkontakt* ausgesetzt. Diese Expositionsroute gilt jedoch als weniger wichtig (Prata u. a. 2020).

Ob die Mikroplastikpartikel vom Darm oder von der Lunge in den Blutkreislauf und in das Gewebe und die *Organe* gelangen können, wurde bisher kaum untersucht. Die Europäische Behörde für Lebensmit-

Kunststoffe in der Umwelt

telsicherheit (EFSA) geht davon aus, dass kleine Partikel (<150 µm) die Darmwand durchqueren können, aber weniger als 0,3 Prozent davon tatsächlich absorbiert werden. Aufgrund von chemisch-physikalischen Annahmen kann man davon ausgehen, dass nur sehr kleine Partikel (<1.5 µm) in die Organe eindringen können. Man vermutet, dass die persistenten Eigenschaften von Mikroplastik dazu führen können, dass sich Mikroplastik auch im menschlichen Körper, insbesondere der Leber und im Darmepithel, anreichern kann (Bioakkumulation). In-vitro-Untersuchungen an humanen Darmzellen haben gezeigt, dass sich Nanoplastik – je nach Grösse der Partikel – in den Zellen akkumulieren kann (Forte u. a. 2016). Kürzlich konnten in einer niederländischen Studie erstmals Kunststoffpartikel ≥ 700 nm im menschlichen Blut nachgewiesen werden (Leslie u. a. 2022). Ein Nachweis der Akkumulation von Mikroplastik in menschlichen Organen liegt derzeit nicht vor.

Weiter fanden österreichische Forschende Kunststoffpartikel im Stuhl von Probanden (Schwabl u. a. 2019). Daraus kann man schliessen, dass Menschen Kunststoffe mit der Nahrung aufnehmen, aber einen Teil davon auch wieder ausscheiden.

7.2.3 Herausforderungen

Kunststoffe haben in vielen Bereichen, die mit der menschlichen Gesundheit zu tun haben, einen technologischen Fortschritt ermöglicht (Hygiene, Implantate, Apparaturen, medizinische und Labor-Artikel, usw.). Im Gegensatz dazu stellen Kunststoffe direkte oder indirekte Risiken für die menschliche Gesundheit dar. Die meisten Kunststoffe sind biologisch inerte Materialien. Untersuchungen zeigen jedoch, dass gewisse Additive, Monomere und Oligomere toxische Effekte wie Entzündungsreaktionen verursachen können.

Es gilt jedoch auch festzuhalten, dass Kunststoffe, wie viele andere Stoffe, negative Auswirkungen auf Menschen haben, wenn eine bestimmte Dosis über einen längeren Zeitraum überschritten wird – insbesondere dann, wenn die Stoffe nicht abgebaut werden können und sich akkumulieren. Eine Gesundheitsgefährdung kann auch mit einer erhöhten Exposition generell gegenüber Umweltschadstoffen, einschliesslich Mikroplastik, zusammenhängen (Prata u. a. 2020).

Das Wissen über die Auswirkungen der Exposition von Kunststoffen auf die menschliche Gesundheit ist noch begrenzt, was zu hohen Unsicherheiten bezüglich der Risikoabschätzung führt. Es besteht grosser Forschungsbedarf, um die Aufnahme- und Transferprozesse sowie Effekte der Langzeit-Exposition von Kunststoffen auf den Menschen besser zu verstehen. Die prioritären Fragestellungen, welche es anzugehen gilt, wurden identifiziert (siehe z. B. EFSA 2021 und Erickson 2022). Im Jahr 2021 wurden fünf grosse EU-Forschungsprojekte im Rahmen des CUSP-Clusters¹⁵ gestartet, in welchen die Auswirkungen von Mikroplastik auf die menschliche Gesundheit erforscht werden.

Klar ist aber auch, dass Kunststoffe als persistente und synthetische Materialien nicht in die Umwelt gehören. Die weltweite Zunahme des Kunststoffkonsums in verschiedensten Anwendungen gekoppelt mit der Tatsache, dass Kunststoffe persistent sind, wird ohne die nötige Vorsorge künftig zu einer erhöhten Exposition des Menschen führen. Bei einem ungebremsten Eintrag von Kunststoffen in die Umwelt werden die Umweltkonzentrationen weiter zunehmen. Damit dies nicht zu einem ernsthaften Problem wird, muss das im Umweltschutzgesetz verankerte Vorsorgeprinzip angewendet werden.

¹⁵ The European Research Cluster to Understand the Health Impacts of Micro- and Nanoplastics. CUSP cluster - AURORA, IMPTOX, POYRISK, plasticheal, PlasticsFatE. Mehr Informationen zum Projekt unter <https://cusp-research.eu/> (zuletzt geprüft am 11.07.2022).

8 Massnahmen

Weil sich Kunststoffe in der Umwelt kaum abbauen (vgl. Kap. 6.6), sind die Einträge aufgrund des Vorsorgeprinzips so weit wie möglich zu reduzieren. Kapitel 4 (Abfälle) des Umweltschutzgesetzes sieht dazu verschiedene, sich ergänzende Massnahmen vor: Vermeidung, Sammlung, Behandlung, Verwertung, Planung, Entsorgung, Finanzierung gemäss Verursacherprinzip. Eine Reduktion der Einträge in die Umweltkompartimente kann dabei mit ganz unterschiedlichen Instrumenten angestrebt werden, die sich möglichst sinnvoll ergänzen sollen:

- Umsetzung von technischen Massnahmen (primär an der Quelle);
- Rechtsetzung und Vollzug (Emissionsbegrenzungen, Technologie- und Deklarationsvorschriften, Bewilligungspflichten, Verbote, Bussen);
- Marktwirtschaftliche Instrumente (finanzielle Anreize, Lenkungsabgaben, vorgezogene Recyclingbeiträge, Pfandsysteme);
- Selbstregulierung (Branchenvereinbarungen, Selbstverpflichtungen, Labels, Produkteertifizierungen, freiwillige Umweltinitiativen und Innovationen der Privatwirtschaft);
- Verhaltensökonomische Ansätze (Standards, Produktinformationen, Anstossen von Verhaltensänderungen mit sog. «Nudging»);
- Einflussnahme auf freiwillige Verhaltensänderungen (Information, Kommunikation, Beratung, Aus- und Weiterbildung, Kampagnen, lokale Aktionen);
- Internationales Engagement (Behörden, Gremien, Organisationen, Netzwerke);
- Verbesserung des Wissens (Forschung, Innovationsförderung, Evaluation, Modellierung, Monitoring, Berichterstattung).

Im vorliegenden Kapitel 8 folgt zuerst eine Auslegeordnung der bisher ergriffenen und umgesetzten Massnahmen der verschiedenen Akteure zur Reduktion der Umweltbelastung durch Kunststoffe (vgl. Kap. 8.1). Sodann werden die laufenden Arbeiten auf politischer Ebene in der Schweiz und der EU dargelegt (vgl. Kap. 8.2). Schliesslich werden Verbesserungspotenziale mit möglichen weiteren Massnahmen aufgezeigt (vgl. Kap. 8.3).

Die Postulate Thorens Goumaz (18.3196) und Munz (18.3496) verlangen, dass der Bundesrat prüft, ob ein Aktionsplan beziehungsweise eine Strategie im Sinne der EU-Strategie für Kunststoffe in der Kreislaufwirtschaft auch in der Schweiz notwendig sei. Aufgrund der Vielzahl von bereits laufenden Arbeiten wie beispielsweise der USG-Revision im Rahmen der parlamentarischen Initiative UREK-N (20.433) «Schweizer Kreislaufwirtschaft stärken» sieht der Bundesrat zum jetzigen Zeitpunkt keine Notwendigkeit, einen Aktionsplan oder eine Strategie im Kunststoffbereich zu erarbeiten.

8.1 Bisherige und laufende Massnahmen

8.1.1 Abfallbewirtschaftung

Mit dem Ziel, Abfälle umweltschonend zu bewirtschaften und damit den Eintrag von Kunststoffen in die Umwelt zu reduzieren, wurden in der Schweiz bereits vor Jahrzehnten verschiedene, wirksame Massnahmen umgesetzt. Zentral ist dabei ein gut funktionierendes *Abfallbewirtschaftungssystem*. Damit sollen unterschiedliche Kunststoffe, bei einer sachgemässen Entsorgung, dem Recycling oder der thermischen Verwertung zugeführt werden können und somit nicht in die Umwelt gelangen. Seit 1975 wurde bei der Entsorgung der Siedlungsabfälle mit der Kehrichtsackgebühr dem Verursacherprinzip zunehmend Rechnung getragen. Heute ist mit Ausnahme des Kantons Genf die Kehrichtsackgebühr schweiz-

Kunststoffe in der Umwelt

weit eingeführt. Die Sackgebühr macht die Kosten für die Entsorgung direkt sichtbar und bietet einen Anreiz für die Abfallvermeidung und das Recycling.

Der Kunststoffverbrauch hat seit den 1950er-Jahren stark zugenommen (vgl. Kap. 3.2). So zeigte sich bereits gegen Ende des 20. Jahrhunderts, dass die etablierten Massnahmen nicht ausreichten, um dem Anstieg der Kunststoffabfallmengen und den damit verbundenen negativen Umweltauswirkungen entgegenzuwirken. Bis heute wurden deshalb nach und nach weitere Massnahmen beschlossen und umgesetzt.

Eine wichtige Rolle spielt die aktive Bekämpfung von *Littering*. Die dafür zuständigen Kantone und Gemeinden haben mit der Unterstützung des Bundes und privaten Organisationen verschiedenste Massnahmen gegen das Littering ergriffen. Beispielsweise wurden folgende Massnahmen umgesetzt:

- Verbesserung der Entsorgungsinfrastruktur im öffentlichen Raum;
- Einschränkung von Einweggeschirr bei Grossanlässen oder bei Verpflegungsständen im öffentlichen Raum;
- Sensibilisierungsmassnahmen wie Clean-Up-Days, Fachbroschüren oder Plakate;
- Einführung von Littering-Bussen: 22 Kantone kennen heute Gesetzesbestimmungen, die das Littering auf kantonaler Ebene mit einer Ordnungsbusse von 40 bis 300 Franken oder einem ordentlichen Strafverfahren ahnden. Im Rahmen der parlamentarischen Initiative (20.433) «Schweizer Kreislaufwirtschaft stärken» wird die Einführung einer nationalen Litteringbusse zur Harmonisierung der kantonalen Regelungen vorgeschlagen;
- Zwischen 2008 und 2017 hat der Bund insgesamt acht runde Tische «Massnahmen gegen Littering» durchgeführt, mit Vertreterinnen und Vertretern von Kantonen, Gemeinden und Städten, Verbänden sowie Akteuren der Privatwirtschaft (z. B. Detailhandel, Tabakindustrie, Anbieter von Gratiszeitungen, öffentlicher Verkehr, Take-Aways). Der Runde Tisch Littering wird ab Sommer 2022 wiederaufgenommen. Dabei sollen in thematischen Arbeitsgruppen (z. B. Tabakprodukte und unterwegsverpflegung) Massnahmenvorschläge entwickelt und gegebenenfalls gemeinsame Ziele mit einer Umsetzungsfrist definiert werden.

Bereits seit 2001 müssen, gemäss der Verordnung über Getränkeverpackungen (VGV, SR 814.621), der Handel sowie Herstellerinnen und Importeure, die Getränke in *PET-Flaschen* verkaufen, die leeren Gebinde zurücknehmen und sie der Verwertung zuführen. Dank dieser Vorschrift werden seit vielen Jahren über 80 Prozent der in Umlauf gebrachten PET-Getränkeflaschen eingesammelt und der stofflichen Verwertung übergeben. Würde die Quote unter 75 Prozent sinken, könnte der Bund ein Pfand einführen.

Die Wirtschaft leistet in verschiedenen Bereichen im Rahmen der Selbstregulierung wichtige Beiträge, um Abfall zu vermeiden und das Recycling zu fördern. Neben der etablierten PET-Getränkeflaschen-Sammlung entstanden in den letzten Jahren verschiedene Sammlungen von weiteren *Kunststoffabfällen aus Haushalten* (gemischt oder selektiv) zum Recycling. Diese ergänzenden Sammlungs- und Recyclingangebote verschiedener Gemeinden, Zweckverbände und privater Anbieter befinden sich seit ein paar Jahren im Aufbau. Weiter haben die Detailhandelsgeschäfte in der Schweiz in den vergangenen Jahren separate Sammlungen von Kunststoffflaschen mit Deckel (z. B. Milch- und Shampoo-Flaschen) eingeführt, welche mittlerweile flächendeckend angeboten werden.

Auch die Sammlung von *Industrie- und Landwirtschaftsfolien* kann aufgrund der einheitlichen Kunststoffart und grossen anfallenden Mengen sinnvoll sein. Der Kunststoffbranchenverband Kunststoff Swiss hat mit Akteuren aus der Landwirtschaftsbranche den Verein Erde Schweiz gegründet. Seit Anfang 2022 wird schweizweit ein Siloballenfolien-Recycling etabliert und auf weitere Abfälle wie Rundballennetze ausgebaut. Dieses wird nach Vorbild des in Deutschland bereits eingeführten Recycling-Systems für Agrarfolien «ERDE» (Erntekunststoffe Recycling Deutschland) aufgebaut. Auch der EPS-

Kunststoffe in der Umwelt

Verband Schweiz arbeitet an neuen Sammelkonzepten und fördert die stoffliche Verwertung von Styropor-Abfällen.

Trotz guter Ansätze ist das Recycling-Potenzial in der Schweiz noch nicht ausgeschöpft. Separat gesammelte gemischte Kunststoffabfälle aus Haushalten können bisher erst zu rund 50 Prozent tatsächlich recycelt werden. Mit der im Jahr 2020 eingeführten Zertifizierung des Vereins Schweizer Plastic Recycler (VSPR) für die stoffliche Verwertung von Kunststoffabfällen aus Haushalten wird ein Zielpfad für die Recyclingquote definiert. Die Zertifizierung schafft damit Transparenz in Bezug auf die Stoff- und Finanzflüsse von Kunststoffverwertungsunternehmen.

Die Branchenvereinbarung zur Verringerung des Verbrauchs von *Einweg-Plastiksäcken* ist eine freiwillige Vereinbarung der Detailhandelsverbände IG Detailhandel Schweiz und der Swiss Retail Federation im Bereich Abfallvermeidung. Damit konnte der Verbrauch der «Raschelsäckli» an den Kassen, gemäss Angaben der Branche, seit Einführung der Kostenpflicht im Jahr 2017 um fast 90 Prozent verringert werden. Bis Ende 2020 wurde von denselben Verbänden eine zweite Branchenvereinbarung zur Verringerung des Verbrauchs von *Plastiktragetaschen* umgesetzt. Diese umfasst den Verzicht auf eine Gratisabgabe von Plastiktragetaschen an sämtlichen Kassen im Detailhandel (auch im Non-Food-Bereich) und beinhaltet zudem auch solche Säcke, die zum mehrmaligen Gebrauch geeignet sind (Swiss Retail Federation & IG Detailhandel Schweiz 2016, 2020).

In der Schweiz existieren verschiedene etablierte Plattformen mit einem grossen Netzwerk an involvierten Akteuren, welche sich für *freiwillige Massnahmen* im Umweltbereich stark machen. Die Drehscheibe Kreislaufwirtschaft des Verbands Swiss Recycling mit dem Projekt «Sammlung 2025», das Projekt «Realcycle» der Firma Redilo sowie der Verein Prisma setzen sich bereits intensiv mit den Themen Förderung und Finanzierung von Kunststoffsammel- und Recyclingsystemen, dem Ökodesign sowie der Umsetzung von Pilotprojekten für eine nachhaltige Kunststoff-Kreislaufwirtschaft auseinander. Das BAFU ist bei vielen dieser Plattformen eingebunden.

Die Verordnung über die Rückgabe, die Rücknahme und die Entsorgung elektrischer und elektronischer Geräte (VREG, SR 814.620) regelt seit 1998 den Umgang mit ausgedienten *Elektro- und Elektronikgeräten*, die meistens ebenfalls Kunststoffanteile enthalten. Sie verpflichtet den Handel sowie Herstellerinnen und Importeure, ausgediente elektrische und elektronische Geräte kostenlos zurückzunehmen und legt Anforderungen an die umweltverträgliche Entsorgung von Geräten fest.

8.1.2 Forschung, Entwicklung und Information

Das BAFU hat den Auftrag, den Stand des Wissens laufend zu verbessern und aktiv darüber zu kommunizieren (Art. 10e ff. USG). Es hat auch im Bereich der *Forschung und Entwicklung* verschiedene Fördermöglichkeiten, wie die finanzielle Unterstützung von Umwelttechnologie- und Forschungsprojekten (Artikel 49 Abs. 2 und 3 USG). Nachfolgend wird eine Auswahl von kürzlich abgeschlossenen und noch laufenden Projekten aufgezeigt:

- Das Thema Mikroplastik erhält als prioritäres Forschungsthema des BAFU im Forschungskonzept 2021 bis 2024 besondere Aufmerksamkeit. In den nächsten Jahren sollen in Zusammenarbeit verschiedener Forschungsinstitute standardisierte Methoden für den Nachweis von Mikroplastik in verschiedenen Umweltkompartimenten (z. B. Böden, Sedimente, Klärschlamm, Fliessgewässer, Luft) entwickelt werden. Dabei sollen gemeinsame Probenahme-, Aufbereitungs- und Messmethoden entwickelt werden mit dem Ziel, einen Vergleich der Verunreinigung durch Mikroplastik in den verschiedenen Umweltkompartimenten zu ermöglichen (vgl. *Kap. 6 und 7.1.3*).
- Auch im Bereich der biologisch abbaubaren Kunststoffe wird geforscht (vgl. *Kap. 6.6*). Die Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaften (ZHAW) wird einerseits den aktuellen Stand (Mengen und Anwendungsgebiete) von biologisch abbaubaren Kunststoffprodukten abbilden und die auf

Kunststoffe in der Umwelt

dem Markt vorhandenen Materialien hinsichtlich ihrer Abbaubarkeit charakterisieren. Andererseits sollen auch Methoden zur Bestimmung von biologisch abbaubaren Kunststoffen in Boden-, Kompost- und Gärgutproben weiterentwickelt werden.

- Erste Antworten über die biologische Abbaubarkeit von landwirtschaftlichen Mulchfolien unter realen Bedingungen soll ein Projekt der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich (ETHZ) liefern, das in Zusammenarbeit mit der Agroscope und mit Unterstützung des Bundesamtes für Landwirtschaft (BLW) durchgeführt wird. Zu diesem Zweck werden über mehrere Jahre die biologische Abbaubarkeit von bioabbaubaren Mulchfolien in Feld, Gewächshaus und Labor auf deren Kunststoffrückstände hin untersucht.
- Bereits durchgeführt wurden Arbeiten an der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Empa). Im Auftrag des BAFU hat die Empa anhand von Modellberechnungen für die Schweiz erstmals die Quellen, Eintragswege und Senken der sieben am häufigsten verwendeten Kunststofftypen in die Umwelt identifiziert und quantifiziert (vgl. Kawecki und Nowack 2019). In einer Folgestudie werden nun die Umweltkonzentrationen modelliert.
- An der ETHZ werden zurzeit im Rahmen des «Clean Cycle» Projekts die Stoffflüsse und Schadstoffe im Kunststoff-Lebenszyklus identifiziert und quantifiziert. Ziel der laufenden Arbeiten an der ETHZ ist die Darlegung der Rahmenbedingungen sowie des Potenzials einer Kunststoff-Kreislaufwirtschaft in der Schweiz. Erste Erkenntnisse sind bereits in diesen Bericht eingeflossen (vgl. Klotz und Haupt 2022).
- Ein weiteres Forschungsprojekt ist die Erhebung und statistische Analyse von Abfällen entlang von Schweizer Gewässern durch die Firma Hammerdirt (vgl. Erismann und Erismann 2021 sowie Kap. 4.3). Die Erkenntnisse dieser Studie helfen dem BAFU zu erkennen, welche Abfälle aus welchen Branchen tatsächlich in der Umwelt gefunden werden und wo künftig vermehrt Massnahmen ergriffen werden müssen.
- Das Institut für Umwelt- und Verfahrenstechnik der Ostschweizer Fachhochschule (OST) forscht an den Umwelteinträgen von Fussball-Kunststoffrasenplätzen (vgl. Patrick u. a. 2022). Die Erkenntnisse dieser Arbeit werden in ein Merkblatt für den Bau, die Entwässerung und den Unterhalt von solchen Plätzen einfließen.
- Mit dem Projekt «Digitale Grünguttonne» der Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW) und des Verbands Biomasse Suisse wurde an einem Sammelfahrzeug ein Scanner installiert, der unter anderem Kunststoffe, Metalle und Steine im Grüngut identifizieren kann.
- Mit der *Umwelttechnologieförderung* werden innovative Lösungen gefördert, wie dies beispielsweise auch im Kunststoffbereich zur Förderung des Recyclings von Polycarbonat aus CDs und DVDs oder von Garnen aus unverfüllten Kunststoffrasenplätzen umgesetzt wird. Zudem wird ein Projekt unterstützt, bei dem die Eawag, das Wasserforschungsinstitut des ETH-Bereichs, zusammen mit dem Foundation Ithaka Institute ein Verfahren entwickelt zur Verwertung von Kunststoffrückständen im Siebüberlauf von Kompostierungsanlagen.

Das BAFU baut zudem das öffentliche *Informationsangebot* laufend aus und aktualisiert dieses Angebot mit den neuen wissenschaftlichen Erkenntnissen (z. B. Publikation¹⁶ neue Fachinformationsseite «Kunststoffe in der Umwelt» mit zehn Faktenblättern, Übersichtsbericht zum aktuellen Wissensstand «Plastik in der Schweizer Umwelt»). Auch die Kantone und Gemeinden leisten wichtige Beiträge, um die Information und Sensibilisierung der Öffentlichkeit laufend zu verbessern.

8.1.3 Engagement auf internationaler Ebene

Für die Reduktion der Umweltbelastung durch Kunststoffe sowie eine bessere Bewirtschaftung von Kunststoffabfällen ist die internationale Zusammenarbeit von zentraler Bedeutung. Die globalen Pro-

¹⁶ Sämtliche Publikationen verfügbar unter: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/abfall/fachinformationen/abfallpolitik-und-massnahmen/kunststoffe-in-umwelt.html> (zuletzt geprüft am 14.07.2022).

Kunststoffe in der Umwelt

bleme können nur gemeinsam gelöst werden, und die Schweiz kann den Weg hin zu einer Kreislaufwirtschaft und einem nachhaltigen Umgang mit fossilen Ressourcen nicht im Alleingang schaffen. Sie setzt sich deshalb auch auf internationaler Ebene für gemeinsame Anstrengungen zur Reduktion von Kunststoffen in der Umwelt ein. Das BAFU verfolgt die Entwicklungen in der EU und weltweit intensiv und setzt sich bei entsprechenden politischen Entscheiden für einen nachhaltigen Umgang mit Kunststoffen ein.

Berichte des Umweltprogramms der Vereinten Nationen (UNEP) haben gezeigt, dass die aktuellen Massnahmen und vorhandenen Instrumente nicht ausreichen, um das globale Kunststoffproblem effektiv anzugehen. Für die Beratung derartiger globaler Umweltanliegen und die Beschlussfassung über entsprechende Massnahmen hat die *UNO-Umweltversammlung (UNEA)* eine zentrale Position inne. Die UNEA hat im März 2022 ein Mandat zur Aufnahme von Verhandlungen für ein international rechtlich verbindliches Abkommen zu Kunststoffen («Plastikkonvention») beschlossen¹⁷. Dieses Abkommen soll den gesamten Lebenszyklus von Kunststoffen abdecken. Die Schweiz unterstützt dieses Vorhaben. Die Plastikkonvention wird laufende und geplante Massnahmen und Prozesse berücksichtigen. Die Schweiz unterstützt in diesem Zusammenhang Massnahmen, welche die Informations- und Datengrundlagen ergänzen und die Koordination von bestehenden und neuen Initiativen stärken. Weiter unterstützt sie internationale Instrumente in den Bereichen nachhaltige Produktions- und Konsummuster sowie Chemikalien und Abfall. Ein noch zu etablierendes zwischenstaatliches Wissenschaftspanel für den Chemikalien- und Abfallbereich, analog dem Weltklimarat (IPCC), wird die Arbeiten zur Plastikkonvention unterstützen.

Die Schweiz ist Mitglied des *Basler Übereinkommens* über die Kontrolle der grenzüberschreitenden Verbringung gefährlicher Abfälle und ihrer Entsorgung (SR 0.814.05). Die Schweizer Delegation hat an der Vertragsstaatenkonferenz des Basler Übereinkommens im Mai 2019 aktiv darauf hingewirkt, dass gemischte Kunststoffabfälle ab 2021 kontrollpflichtig werden (vgl. Kap. 5.5). Zudem wurde in diesem Rahmen eine Partnerschaft für Kunststoffabfälle etabliert («Plastic Waste Partnership»), um Ressourcen, Interessen und Fachwissen aus Wirtschaft, öffentlicher Hand, Wissenschaft und Zivilgesellschaft zu mobilisieren, die Bewirtschaftung von Kunststoffabfällen zu verbessern und ihre Entstehung zu verhindern.

Die Schweiz hat sich bei der Welthandelsorganisation (WTO) der Multi-Stakeholder-Initiative des informellen Dialogs über die Belastung der Umwelt durch Kunststoffe und den Handel mit umweltverträglichen Kunststoffen («Informal Dialogue on Plastic Pollution and Environmentally Sustainable Plastics Trade») angeschlossen, die derzeit 72 Co-Sponsoren¹⁸ zählt. Mit dieser Initiative wird anerkannt, dass zur Bewältigung der steigenden Umwelt-, Gesundheits- und Wirtschaftskosten durch Kunststoffabfälle ein koordiniertes Vorgehen nötig ist und der Handel ein bedeutender Teil der Lösung ist.¹⁹ Die Teilnehmenden verpflichten sich, konkrete Schritte zu unternehmen, um den Dialog mit den Beteiligten anderer globaler Initiativen zur Bekämpfung der Umweltbelastung durch Kunststoffe zu intensivieren, insbesondere durch die Aufnahme von Verhandlungen über ein globales Abkommen zu Kunststoffen an der UNEA. Ausserdem nehmen sie die derzeit laufenden Arbeiten der Weltzollorganisation (WZO) zur Kenntnis, mit denen die Definition von Kunststoffabfällen in der zolltariflichen Nomenklatur des Harmonisierten Systems (HS) gemäss Änderung des Basler Übereinkommens über Kunststoffabfälle angepasst werden soll.

¹⁷ Die Resolution «End plastic pollution: Towards an international legally binding instrument» ist verfügbar unter (in Englisch): <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/39764/END%20PLASTIC%20POLLUTION%20-%20TOWARDS%20AN%20INTERNATIONAL%20LEGALLY%20BINDING%20INSTRUMENT%20-%20English.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (zuletzt geprüft am 14.07.2022).

¹⁸ Anzahl der Co-Sponsoren im Juli 2022.

¹⁹ Die Ministererklärung ist auf der folgenden Seite abrufbar (in Englisch): <https://docs.wto.org/dol2fe/Pages/SS/directdoc.aspx?filename=q:/WT/MIN21/8R2.pdf&Open=True> (zuletzt geprüft am 09.08.2022).

Kunststoffe in der Umwelt

Im *europäischen Umfeld* wirken die Vertreterinnen und Vertreter der Schweiz in verschiedenen, auf Kunststoffe fokussierten Arbeitsgruppen mit, wie zum Beispiel in der «Interest Group Plastics» im Netzwerk der Direktoren der nationalen Umweltbehörden Europas.

Die Schweiz setzt sich auch in der *globalen Entwicklungszusammenarbeit* für das Thema ein:

- Seit den 1990er Jahren unterstützt die Schweiz Entwicklungsländer in den Bereichen Ressourceneffizienz und umweltschonende Produktionsformen. Dazu wurde ein umfassendes Programm zum Aufbau von sogenannten «Cleaner Production Centers» geschaffen – mit dem Ziel, die Produktionsformen von privaten Sektoren und dem öffentlichen Sektor in den Zielländern zu verbessern und deren Energie-, Wasser- und allgemeinen Rohstoffeinsatz zu senken.
- Seit Ende 2019 setzt die Schweiz zusammen mit der Organisation der Vereinten Nationen für industrielle Entwicklung (UNIDO) das globale Programm für Öko-Industrieparks um, das unter anderem in Vietnam und Indonesien aktiv ist («Global Eco-Industrial Parks Programme», GEIPP). GEIPP hat das Ziel, den ökologischen Fussabdruck bestehender Industrieparks durch die Verbesserung der Ressourcenproduktivität zu reduzieren und dadurch die Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen zu stärken.
- Des Weiteren unterstützt die Schweiz die Initiative «Sustainable Recycling Industries» (SRI). SRI baut in einigen Entwicklungsländern einen auf das Recycling von elektronischem Abfall fokussierten Wirtschaftssektor auf. Diese Aktivitäten unterstützen die Partnerländer bei der Erarbeitung der notwendigen regulatorischen Rahmenbedingungen und umfassen die gezielte Förderung von Recyclingunternehmen sowie Audit- und Zertifizierungssysteme.
- Über die interdepartementale Plattform der Bundesämter SECO, DEZA, BAFU und BFE fördert die Schweiz erneuerbare Energien sowie die Energie- und Ressourceneffizienz in Entwicklungs- und Transitionsländern (REPIC). Zu den Aktivitäten gehört ein Projekt der Stiftung Fair Recycling zu Kunststoffrecycling in Liberia. Mit weiteren Initiativen in Südasien (Nepal und Indien) wird ein besserer Umgang mit elektrischen und elektronischen Abfällen angestrebt. Während das Thema im Rahmen von bilateralen Programmen in der Vergangenheit vor allem in Lateinamerika angegangen worden war, läuft aktuell ein umfassendes Programm zu einer nachhaltigeren Bewirtschaftung von festen Abfällen in sozial benachteiligten Quartieren in der Mongolei.

8.1.4 Weitere Massnahmen zur Verminderung von Kunststoffeinträgen in die Umwelt

Im Vergleich zu den anderen europäischen Ländern hat die Schweiz schon früh Massnahmen getroffen, um den Schadstoffeintrag aus Rückständen der Abwasserreinigung in die Umwelt einzudämmen. Seit 2006 ist es verboten, *Klärschlamm* – eine Quelle von Mikroplastik – für die Verwendung zu Düngezwecken abzugeben. Weiter wurde 2016 in der Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung (ChemRRV, SR 814.81) der Grenzwert für Kunststoffe im *Kompost und Gärgut* auf 0.1 Prozent des Gewichts der Trockensubstanz gesenkt. Damit soll verhindert werden, dass Recyclingdünger und Bodenverbesserer, die mit Kunststoffpartikeln verunreinigt sind, auf Landwirtschaftsböden ausgebracht werden.

Angeichts der engen Wirtschaftsbeziehungen zwischen der Schweiz und der EU wurde das Schweizer *Chemikalienrecht* in Teilbereichen im Rahmen des sogenannten «autonomen Nachvollzugs» mit dem entsprechenden EU-Recht harmonisiert. Dadurch sollen technische Handelshemmnisse vermieden werden. Zudem soll damit ein hohes Schutzniveau für die menschliche Gesundheit und die Umwelt in der Schweiz gewährleistet werden. In diesem Kontext wird auch geprüft, ob die im Januar 2019 von der Europäischen Chemikalienagentur (ECHA) vorgeschlagenen weitreichenden Beschränkungen von Mikroplastik in Produkten in der Schweiz übernommen werden sollen, soweit sie in der EU ebenfalls beschlossen werden. Darüber hinaus hat der Bundesrat mit der Änderung der ChemRRV vom 23. Februar 2022 im Auftrag des Parlaments die Motion Chevalley (19.4182) umgesetzt und das Inverkehrbringen

Kunststoffe in der Umwelt

und die Verwendung von oxo-abbaubaren Kunststoffen wie in der EU verboten. Die Verbote traten am 1. April 2022 in Kraft.

Der europäische Dachverband der Kosmetikindustrie, Cosmetics Europe, hat 2015 die Empfehlung abgegeben, spätestens ab 2020 auf den Einsatz von *festen Kunststoffpartikeln mit Reinigungs- und Peelingeffekt* in Produkten zu verzichten. An diesen Empfehlungen orientiert sich auch der Schweizerische Kosmetik- und Waschmittelverband (SKW). In einer Medienmitteilung vom 30. Mai 2018 gab Cosmetics Europe bekannt, die Verwendung von Mikroplastik («plastic microbeads») in abwaschbaren Kosmetik- und Körperpflegeprodukten sei um 97,6 Prozent, d. h. mehr als 4'250 Tonnen reduziert worden und man halte am Ziel fest, bis 2020 vollständig auf Mikroplastik zu verzichten, das für Peeling- und Reinigungszwecke in abwaschbaren Kosmetika und Körperpflegeprodukten verwendet wird (Cosmetics Europe 2018).

Seit 2002 sehen die *Gewässerschutzvorschriften* vor, dass Strassenabwasser ab einer täglichen Verkehrsbelastung von 15'000 Fahrzeugen sicher behandelt werden muss. Ein Ziel der Strassenabwasserbehandlung ist die Entfernung der gesamten ungelösten Stoffe. Zu diesen Stoffen gehört auch der Reifenabrieb. Die Eliminationsleistung einer SABA liegt durchschnittlich bei 80 Prozent. Eine laufende Studie soll bis Herbst 2022 klären, wie weit die Gewässerschutzvorschriften betreffend Strassenentwässerung in der Schweiz bereits umgesetzt sind, welcher Endzustand zu erwarten ist und ob es Orte gibt, bei welchen hohe Mengen an Reifenabrieb in die Umwelt abgegeben werden. Nach Abschluss dieser Studie werden weitergehende Massnahmen zu prüfen sein.

Im Weiteren können Massnahmen, die einen stetigen Fahrstil fördern, einen Beitrag zur *Minderung von Reifenabrieb* leisten. Eine laufende Massnahme in diesem Bereich ist die Kampagne «Ecodrive» von Energieschweiz. Obwohl der Fokus der Kampagne auf dem Einsparen von Treibstoff und dementsprechend der Reduktion von CO₂ liegt, wirken sich einige der Verhaltensempfehlungen (z. B. «Vorausschauend fahren» oder «Reifendruck prüfen») gleichzeitig vorteilhaft aus in Bezug auf Reifenabrieb, indem sich die Reifen weniger schnell abnutzen. Auch die aktuelle Energieetikette für Personenwagen leistet indirekt einen Beitrag zur Minderung des Reifenabriebs, indem sie tendenziell den Kauf von leichteren Fahrzeugen fördert. Die Energieeffizienz-Kategorien bilden seit 2020 absolute Energieverbräuche ab und das Fahrzeugleergewicht hat somit keinen Einfluss mehr auf die Kategorisierung. Ebenso trägt die Strassenwartung und -reinigung (inkl. entsprechender Abwasseraufbereitung) sowie die Förderung des Langsamverkehrs in den Gemeinden und Kantonen zur Minderung von Reifenabrieb bei.

Im Rahmen ihrer *Kunststoffstrategie* prüft die EU derzeit Handlungsoptionen zur Verringerung der unbeabsichtigten Freisetzung von Mikroplastik aus Fahrzeugreifen. Dazu gehören folgende Massnahmen:

- Einführung von Mindestanforderungen für das Reifendesign (Reifenabnutzung, Reifenlebensdauer);
- Entwicklung einer standardisierten Methode zur Bewertung von Mikroplastikverlusten aus Reifen (Reifenabriebsrate);
- Daten- sowie Mindestanforderungen (Reifenkennzeichnung);
- gezielte Forschung und Entwicklungsfinanzierung.

Die Entwicklung einer standardisierten Messmethode ist eine wichtige Voraussetzung, um die Erforschung von Minderungsoptionen für den Reifenabrieb voranzutreiben und diese Informationen möglicherweise in die Gesetzgebung aufnehmen zu können (z. B. über Systeme zur Reifenkennzeichnung). Der Handlungsspielraum im Bereich Reifen scheint jedoch relativ beschränkt zu sein, da bei der Konstruktion der Reifen die Sicherheit eine ebenso wichtige Rolle spielt wie die Umweltverträglichkeit.

8.2 Laufende Arbeiten auf politischer Ebene

8.2.1 In der Schweiz

In der Schweiz steht das Thema Kunststoffe weit oben auf der politischen Agenda. Davon zeugen unter anderem zahlreiche eingereichte oder bereits überwiesene Vorstösse:

- Die parlamentarische Initiative der UREK-N (20.433) «Schweizer Kreislaufwirtschaft stärken» zielt mittels einer USG-Revision darauf ab, Stoffkreisläufe generell besser zu schliessen. Unter anderem werden in diesem Rahmen auch verschiedene Massnahmen diskutiert, welche zu einer Verbesserung des Recyclings von Kunststoffen führen dürften.
- Das überwiesene Postulat Chevalley (19.4183) «Weniger Kehrichtverbrennung, mehr Recycling» fordert vom Bundesrat einen Bericht, der aufzeigt, wie die Menge an Abfällen verringert und das Recycling, insbesondere von Kunststoffabfällen, gefördert werden kann.
- Die Motion Bourgeois (19.4100) «Wirksame Massnahmen gegen Littering» fokussiert auf das Problem des Litterings und hat damit Schnittstellen mit den besonders häufig gelitterten Kunststoffprodukten (vgl. Kap. 4.3). Die Motion Bourgeois wird im Rahmen der parlamentarischen Initiative 20.433 «Schweizer Kreislaufwirtschaft stärken» diskutiert und umgesetzt.

Zwei weitere überwiesene Motionen im Themenbereich Kunststoffe werden zurzeit unabhängig vom vorliegenden Bericht vorangetrieben:

- Die Motion Dobler (20.3695) «Förderung der Kreislaufwirtschaft. Die Schweiz soll mehr Plastik recyceln» verlangt, dass stofflich verwertbare Kunststoffabfälle künftig schweizweit koordiniert und flächendeckend getrennt gesammelt werden. Das Anliegen wird auch im Rahmen der parlamentarischen Initiative 20.433 diskutiert. Im vorliegenden Bericht wird aufgezeigt, welche Voraussetzungen für eine schweizweite Sammlung von Kunststoffabfällen zielführend sein könnten.
- Die Motion der UREK-N (18.3712) «Weniger Plastikmüll in Gewässern und Böden» beauftragt den Bundesrat, «gemeinsam mit den betroffenen Branchen Massnahmen zu prüfen und zu ergreifen, um der Belastung der Umwelt durch Kunststoffe umfassend und unter Einbezug der Hauptemissionsquellen effizient entgegenzutreten». Die Motion verlangt damit die Prüfung und Umsetzung von eigenverantwortlichen Massnahmen, wie zum Beispiel Branchenvereinbarungen.

8.2.2 In der Europäischen Union

Um der Belastung der Umwelt durch Kunststoffe entgegenzuwirken, hat die Europäische Union in den letzten Jahren umfassende Instrumente entwickelt, um Kunststoffe über ihren ganzen Lebenszyklus ökologisch nachhaltiger zu bewirtschaften. Nachfolgend werden die im vorliegenden Kontext relevanten Arbeiten der EU kurz beschrieben:

- Die EU hat 2015 das Kreislaufwirtschaftspaket veröffentlicht. Das Paket besteht aus einem Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft und einem Abfallpaket mit Gesetzgebungsvorschlägen im Abfallbereich.
- Im Ersten Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft (2015) bildeten die Kunststoffe einen von fünf Schwerpunktbereichen. Darauf folgte 2018 die Strategie für Kunststoffe in der Kreislaufwirtschaft («EU-Kunststoffstrategie»). Die darin skizzierten Massnahmen sollen die Abhängigkeit Europas von importierten fossilen Rohstoffen verringern sowie die CO₂-Emissionen reduzieren. Eines der übergeordneten Ziele besteht darin, bis 2030 alle Kunststoffverpackungen auf dem EU-Markt wiederverwendbar oder kosteneffizient rezyklierbar zu gestalten.
- Im Rahmen des Abfallpakets wurde die Verpackungsrichtlinie (Richtlinie (EU) 2018/852) überarbeitet. Sie trat 2018 in Kraft und reguliert Verpackungen und Verpackungsabfälle umfassend. Die Massnahmen zielen auf die Schonung der Ressourcen und Förderung der Kreislaufwirtschaft bei

Kunststoffe in der Umwelt

- Verpackungsmaterialien ab. Beispielsweise soll bis 2030 die Recyclingquote von Kunststoffverpackungen 55 Prozent und über alle Verpackungsmaterialien 70 Prozent betragen. Die Verpackungsindustrie wird damit in die Umsetzung der politischen Umweltziele der EU einbezogen (z. B. Klimaneutralität bis 2050).
- Mit der ebenfalls 2018 in Kraft getretenen Abfallrahmenrichtlinie (Richtlinie (EU) 2018/851) soll die Abfallverwertung hin zu einer Kreislaufwirtschaft gestaltet werden, beispielsweise mit einer stufenweisen Steigerung der Recyclingquote bei Siedlungsabfällen auf 55 Prozent bis 2025 und auf 65 Prozent bis 2035.
 - Die Einwegplastik-Richtlinie (Richtlinie (EU) 2019/904) konkretisiert die EU-Kunststoffstrategie und fordert die Mitgliedstaaten auf, griffige Massnahmen umzusetzen. Beispielsweise wurden ab Mitte 2021 bestimmte Einwegprodukte aus Kunststoff (z. B. Besteck, Teller, Trinkhalme) sowie alle oxo-abbaubaren Kunststoffe verboten und einige kunststoffhaltige Produkte (z. B. Tabakprodukte) mit einem neuen Logo als Hinweis für die korrekte Entsorgung versehen.
 - 2020 veröffentlichte die EU einen neuen Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft, worin die in der Kunststoffstrategie verabschiedeten Massnahmen weiterentwickelt wurden. Vorgesehen sind unter anderem verbindliche Anforderungen an den Rezyklat-Anteil sowie Massnahmen zur Abfallvermeidung für Produkte wie Verpackungen, Baustoffe und Fahrzeuge. Zudem soll das Vorkommen von Mikroplastik in der Umwelt mit einer Beschränkung von absichtlich beigefügtem Mikroplastik in Produkten und der Reduktion von unbeabsichtigt freigesetztem Mikroplastik (z. B. aus Reifen oder Textilien) angegangen werden. Weiter soll ein klarer politischer Rahmen bezüglich biologisch abbaubaren und biobasierten Kunststoffen geschaffen werden, um die Verbreitung irreführender Informationen in der Öffentlichkeit zu vermeiden.
 - Im Oktober 2020 veröffentlichte die Europäische Kommission eine neue Chemikalienstrategie für Nachhaltigkeit und für eine schadstofffreie Umwelt. Diese sieht unter vielen anderen Massnahmen eine Ausweitung der Registrierungspflicht in der EU-Chemikalienverordnung (REACH) auf bestimmte bedenkliche Polymere vor. Bisher waren Polymere, die Hauptbestandteile von Kunststoffen, keiner Registrierungspflicht unterworfen, weshalb im Vergleich zu anderen, in grossen Mengen hergestellten Chemikalien für Polymere vergleichsweise wenige Informationen über gefährliche Eigenschaften, Verwendungen und das Verhalten in der Umwelt vorliegen. Eine weitere Massnahme im Rahmen der Kunststoff- und der Chemikalienstrategie sieht vor, die absichtliche Verwendung von Mikroplastik in diversen Produkten zu beschränken. Dazu zählen insbesondere Kunststoffrasenplätze, Kosmetika und Körperpflegeprodukte, Medizinprodukte, Dünger, Pflanzenschutzmittel und Biozidprodukte, Wasch- und Reinigungsmittel, Wachse und Polituren. Ein Regelungsentwurf für eine diesbezügliche Beschränkung in der EU liegt vor.

Die Umsetzung der europäischen Richtlinien in den Mitgliedstaaten kann mit folgenden Beispielen aus Deutschland und Frankreich illustriert werden:

- Deutsches Verpackungsgesetz: Seit Anfang 2022 ist das überarbeitete Verpackungsgesetz in Kraft. Es enthält detaillierte Vorschriften zu Verpackungen entlang der gesamten Prozesskette. Dabei sind unter anderem Verpackungen so herzustellen, dass das Volumen auf das notwendige Mass beschränkt wird (Verbot von Überverpackungen). Wer Take-Away-Verpflegung verkauft, muss ab einer gewissen Unternehmensgrösse auch Mehrweg-Verpackungen anbieten und dies deutlich sichtbar kennzeichnen (ab 2023). PET-Flaschen müssen ab dem Jahr 2025 mindestens 25 Prozent Rezyklat enthalten. Bürgerinnen und Bürger haben die Pflicht, Verpackungsmaterialien getrennt zu entsorgen.
- Französisches „Anti-Wegwerf-Gesetz“: Seit Anfang 2020 ist das „loi anti-gaspillage pour une économie circulaire“ in Kraft. Stufenweise sollen Einwegverpackungen aus Kunststoff bis 2040 verboten werden – und zwar von der Kunststoffflasche, über die Zahnpasta-Tube bis hin zur Kunststoffschale für Fertigsalat. 2022 wurden unter anderem folgende Regulierungen eingeführt: Kunststoffverpackungen für Gemüse und Früchte unter 1.5 kg wie auch gratis Kunststoffspielzeug (beispiels-

Kunststoffe in der Umwelt

weise bei Menüs) sind verboten. In gut frequentierten Einrichtungen muss ein öffentlich zugänglicher Trinkwasserspender vorhanden sein. Ausserdem kauft der Staat keine Einwegkunststoffprodukte mehr ein. Fast-Food-Ketten dürfen beim Konsum vor Ort ab 2023 kein Einweg-Geschirr mehr verwenden.

Die EU-Kunststoffstrategie und deren Bedeutung für die Schweiz wurde von der Universität Lausanne in einer Studie untersucht²⁰. Aufgrund der engen wirtschaftlichen Verknüpfungen und der geopolitischen Lage verfolgt der Bundesrat laufend die Entwicklungen in der EU und prüft allfällige Anpassungen im Inland.

8.3 Mögliche weitere Massnahmen

Aufgrund der in den vorhergehenden *Kapiteln 2 bis 7* dargestellten Faktenlage genügen die bisher ergriffenen Massnahmen nicht, um die Kunststoffeinträge in die Umwelt soweit zu reduzieren, dass Menschen, Tiere und Pflanzen vor schädlichen oder lästigen Einwirkungen dauerhaft geschützt sind. Um die Belastung der Umwelt durch Kunststoffe wirksam einzudämmen, sollten weitere Massnahmen in unterschiedlichen Handlungsfeldern ansetzen.

Wie in *Kapitel 8.1* dargelegt, laufen auf verschiedenen Ebenen (Verwaltung, Privatwirtschaft, EU) im Kunststoffbereich bereits zahlreiche Aktivitäten. In Umsetzung verschiedener parlamentarischer Vorstösse prüft die Bundesverwaltung zudem zurzeit verschiedene weitere Massnahmen. Für die Prüfung möglicher weiterer Massnahmen lohnt es sich, den Blick auf die Nachbarstaaten zu richten (vgl. *Kap. 8.2.2*).

Das geltende schweizerische Umweltschutzgesetz bietet für allfällige zusätzliche Massnahmen bereits heute eine geeignete Grundlage, wenn die darin festgeschriebenen allgemeinen Grundsätze (Vorsorgeprinzip, Emissionsbegrenzungen an der Quelle, Verursacherprinzip) und die abfallspezifischen Regelungen des 4. Kapitels USG konsequent angewendet werden. Mit der aktuell diskutierten USG-Revision im Rahmen der parlamentarischen Initiative 20.433 will die zuständige Kommission des Nationalrates das bestehende Gesetz stärken und weiterführende Massnahmen ermöglichen.

Bei der Planung und Umsetzung neuer Massnahmen ist darauf zu achten, dass sie am richtigen Ort (möglichst an der Quelle) ansetzen, auf die Hauptemissionsquellen fokussieren, effizient, wirksam und verhältnismässig sind und zudem das Verursacherprinzip berücksichtigt wird. Die Priorisierung der Massnahmen bedingt eine gute Wissenslage über die wesentlichen Emissionsquellen und über die Auswirkungen, wozu sowohl die Forschung als auch entsprechendes Monitoring beitragen können.

Da die Kunststoffemissionen aus einer Vielzahl von Quellen stammen, sind unterschiedliche Massnahmen notwendig, um den Eintrag in die Umwelt einzudämmen. Bei der Definition von Massnahmen sind nachfolgende, zentrale Grundsätze zu beachten:

- *Berücksichtigung der Abfallhierarchie:*
 1. Priorität: *Vermeiden* – Reduktion des Konsums kurzlebiger Produkte und Erhöhung der Einsatzdauer von Produkten, z. B. durch die Förderung von qualitativ hochwertigen Geräten, Möbeln oder Kleidern.
 2. Priorität: *Vermindern* – Schaffung geeigneter Rahmenbedingungen zur Unterstützung der Wiederverwendung, der gemeinsamen Nutzung und der Reparatur von Produkten, z. B. durch die Be-

²⁰ Die Studie von Lauwerier u. a. 2021. «Comparing European and Swiss Strategies for the Regulation of Plastics». Institut de hautes études en administration publique IDHEAP, Université de Lausanne, im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt BAFU ist verfügbar unter: <https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/en/dokumente/abfall/externe-studien-berichte/comparing-european-swiss-strategies-regulation-plastics.pdf.download.pdf/comparing-european-swiss-strategies-regulation-plastics.pdf> (zuletzt geprüft am 14.07.2022).

Kunststoffe in der Umwelt

vorzugung von Mehrwegprodukten, die Nutzung von Sharing-Angeboten oder Reparaturwerkstätten für Geräte und Kleider.

3. Priorität: *Verwerten* – Schaffung geeigneter Rahmenbedingungen zur Unterstützung der (primär) stofflichen und (sekundär) thermischen Verwertung von Produkten, z. B. durch die Stärkung rezyklierbarer Produkte, den Ausbau der Sammel-, Sortier- und Recyclinginfrastruktur oder die Schaffung von Qualitätsstandards für Kunststoffrezyklate.

– *Internalisierung der Umweltbelastung:*

Über zwei Drittel der Treibhausgas-Emissionen (v.a. CO₂) im Lebenszyklus eines Kunststoffs entstehen bei der Produktion der Kunststoffgranulate, die grösstenteils im Ausland erfolgt (vgl. Kap. 3.3). Die Schweiz soll als Folge ihres grossen Konsums an Kunststoffprodukten die Kosten der Umweltbelastung nach Möglichkeit internalisieren.

– *Effektive Reduktion der Umweltbelastung:*

Produkte und Verpackungen sollen ausschliesslich durch ökologisch vorteilhafte Materialien ersetzt werden, da Alternativmaterialien wie biobasierte Kunststoffe nicht zwangsläufig ökologisch vorteilhafter sind als erdölbasierte Kunststoffe. Grundlage soll jeweils eine Ökobilanz über den ganzen Lebenszyklus eines Produktes sein. Beispielsweise führen biobasierte Kunststoffe oft zu Konflikten mit der Lebensmittelproduktion (z. B. Verwendung von Maisstärke). Ein weiteres Beispiel sind Multi-Layer-Verpackungen, mit denen Kunststoffmaterial eingespart, die Haltbarkeit von Lebensmitteln verlängert und damit Food Waste verhindert werden kann. Dafür sind solche Verpackungen aktuell nicht rezyklierbar. Es ist daher wichtig, bei der Lebenszyklusanalyse solcher Verpackungen auch das verpackte Produkt zu berücksichtigen, da die Verpackung einen bedeutend geringeren Anteil an der Umweltbelastung trägt (1 bis 10 Prozent) als das verpackte Produkt selber (über 90 Prozent) (siehe beispielsweise Dinkel und Kägi 2014 sowie Dinkel, Roberts und Zschokke 2021).

Massnahmen sollen überdies die gesamte Prozesskette berücksichtigen. Die Etablierung von neuen Recyclingkanälen (z. B. Kunststoffsammlung) sollte Hand in Hand mit der Erhöhung der Rezyklierbarkeit von Produkten einhergehen, um ein effektives und effizientes Recycling zu ermöglichen.

– *Vermeidung irreführender Kennzeichnungen:*

Angaben auf Verpackungen und Produkten sollen verständlich sein. Sie dürfen nicht zu Verwirrung bei den Konsumentinnen und Konsumenten führen wie z. B. die oft miteinander verwechselten Begriffe «biologisch abbaubar» und «biobasiert».

– *Gewährleistung Gesundheitsschutz bei Konsumentinnen und Konsumenten:*

Kunststoffe mit Lebensmittelkontakt dürfen die Gesundheit von Konsumentinnen und Konsumenten nicht beeinträchtigen und daher keine schädlichen Stoffe an Lebensmittel abgeben. Die entsprechenden Anforderungen sind im Lebensmittelrecht²¹ festgehalten.

Auch bei der Verwendung von rezyklierten Kunststoffen mit Lebensmittelkontakt ist die Sicherheit der Konsumentinnen und Konsumenten prioritär. Die entsprechenden lebensmittelrechtlichen Vorgaben²² müssen eingehalten werden.

Weiter sollte das Problem bei der Verwendung von Alternativmaterialien nicht verlagert werden. Mit dem Verbot von Strohhalmen aus Kunststoff in der EU sind z. B. zunehmend Strohhalme aus Papier/Karton auf dem Markt zu finden. Diese genügen oft den lebensmittelrechtlichen Anforderungen nicht.

Ziel ist eine Kanalisierung der laufenden Aktivitäten zur Schaffung von schweizweit einheitlichen Regeln und zur Umsetzung flächendeckender Massnahmen, um dadurch den grössten Umweltnutzen zu ge-

²¹ Siehe dazu die Lebensmittel- und Gebrauchsgegenständeverordnung (LGV, SR 817.02) und die Bedarfsgegenständeverordnung (SR 817.023.21).

²² Siehe dazu die LGV und Bedarfsgegenständeverordnung.

Kunststoffe in der Umwelt

nerieren und mit den Entwicklungen in der EU Schritt zu halten. Die Ergebnisse der USG-Revision im Rahmen der parlamentarischen Initiative 20.433 sind dabei zu berücksichtigen und umzusetzen.

Auch im Hinblick auf die Erreichung des 1,5-Grad-Klimaziels ist es unabdingbar, künftig Kunststoffe vermehrt im Kreislauf zu führen und zielgerichtet einzusetzen. Investitionen in erneuerbare Energien, wie sie von der Internationalen Energieagentur (2015) für die Erreichung der Klimaziele vorgeschlagen werden, würden es ermöglichen, den Kunststoff-Treibhausgas-Fussabdruck der Schweiz bis 2030 um 40 Prozent zu reduzieren (Wiebe u. a. 2018, Cabernard u. a. 2021)²³. So könnten die CO₂-Emissionen, welche mehrheitlich bei der Primärproduktion von Kunststoffen im Ausland anfallen, reduziert werden (vgl. Kap. 3.3). Gleichzeitig müsste der Kunststoffkonsum gegenüber dem Jahr 2015 um mindestens 10 Prozent gesenkt werden. Neben der Reduktion des Kunststoffverbrauchs, der Erhöhung der Wiederverwendung und des Recyclings von Kunststoffen ist somit auch die Umstellung auf erneuerbare Energien in der Kunststoffproduktion eine effiziente Massnahme, um den Treibhausgas- und Feinstaub-Fussabdruck der Schweiz aus Kunststoffen zu reduzieren (vgl. Kap. 3.3). Die Schweizer Wirtschaft müsste hierfür in die nachhaltige Produktion von Kunststoffen in ihrer Zulieferkette investieren.

In den folgenden Unterkapiteln werden Massnahmenvorschläge formuliert, die sich an verschiedene Akteure entlang der Kunststoff-Wertschöpfungskette richten. Hierbei wird auch an die bereits umgesetzten und laufenden Massnahmen (vgl. Kap. 8.1) angeknüpft. So könnten noch vorhandene Potenziale entlang des gesamten Lebenszyklus von Kunststoffen ausgeschöpft werden – mit dem Ziel, bestehende Lücken zu schliessen und die Belastung der Umwelt durch Kunststoffe zu minimieren.

8.3.1 Verpackungen

In der Schweiz werden jährlich rund 350'000 Tonnen Kunststoffverpackungen verbraucht (Klotz und Haupt 2022). Während der meist kurzen Nutzungsphase erfüllen sie wichtige Funktionen: Schutz, Erleichterung von Transport und Lagerung sowie Informationsfläche. Herstellung, Transport und (nicht-korrekte) Entsorgung verursachen jedoch vielfältige Umweltbelastungen durch Ressourcenverbrauch, CO₂-Emissionen und direkten Eintrag in die Natur. Im Bereich der Kreislaufschliessung von Verpackungen existieren in der Schweiz bereits diverse Plattformen auf privatwirtschaftlicher Basis (vgl. Kap. 8.1.1). Allerdings fehlen schweizweit flächendeckende Recyclingmöglichkeiten, insbesondere für Kunststoffverpackungen (mit Ausnahme von PET-Getränkeflaschen sowie Kunststoffflaschen mit Deckel).

M.01	Einheitliche Anforderungen und Zielvorgaben für alle Akteure der Verpackungswirtschaft Die Einführung einheitlicher Anforderungen und Zielvorgaben durch den Bund (z. B. in einer Verpackungsverordnung) würde einen Beitrag zum Ausbau der Kreislaufwirtschaft und zur Ressourcenschonung in der Schweiz leisten. Sie könnte (z. B. analog zur bestehenden Verordnung über Getränkeverpackungen, VGV) eine koordinierte, effiziente und insbesondere nachhaltige Entwicklung entlang des gesamten Lebenszyklus von Verpackungen ermöglichen. Weiter könnten damit Anreize geschaffen werden, um neue und nachhaltige Technologien beispielsweise für Sortier- und Recyclingwerke zu entwickeln, Arbeitsplätze zu generieren und Littering zu reduzieren. Die zuständige Kommission des Nationalrates hat in ihrem Vorentwurf zur Revision des Umweltschutzgesetzes (VE-USG) im Rahmen der parlamentarischen Initiative (20.433) «Schweizer Kreislaufwirtschaft stärken» einen neuen Artikel vorgeschlagen, der als Basis für die Formulierung von Anforderungen an Verpackungen dienen könnte. Mit dem Vorschlag soll die ressourcenschonende Gestaltung von Produkten und Verpackungen verbessert werden (vgl. Art. 35i VE-USG²⁴).
-------------	--

²³ Die zitierten Zahlen basieren auf der Methodik von Cabernard u. a. (2021) und den Daten von Wiebe u. a. (2018).

²⁴ Die genannten Artikel der laufenden USG-Revision im Rahmen der parlamentarischen Initiative (20.433) «Schweizer Kreislaufwirtschaft stärken» beziehen sich auf den Vorentwurf für die Vernehmlassung und werden entsprechend mit «VE-USG» ge-

Mögliche Stossrichtungen (vgl. auch *Kap. 8.3.2*):

- In einer Verordnung könnten verschiedene *gewünschte Entwicklungen* wie die Förderung der Recyclingfähigkeit, des Rezyklateinsatzes oder des Einsatzes von wiederverwendbaren Verpackungen sowie die Vermeidung von Überverpackungen angeordnet werden.
- In einer Verordnung könnten die *Separatsammlung*, die *Verwertung* (inkl. möglicher Quoten für die stoffliche Verwertung), die *Finanzierung* und weitere Aspekte, zugeschnitten auf den Verpackungsmarkt und den Lebenszyklus von Verpackungen, geregelt werden.

8.3.2 Ökodesign und Recycling

Nicht vermeidbare Kunststoffabfälle sollen am Ende ihrer Nutzungsdauer in einem hochwertigen, stofflichen Recycling verwertet werden. Bei der Vielzahl an eingesetzten Materialien ist es wichtig, dass die Entsorgung von Verpackungen und Produkten bereits bei deren Entwicklung und Herstellung berücksichtigt wird. Dieser Prozess wird auch Ökodesign genannt.

M.02 Einheitliche Sammlung für Kunststoffabfälle aus Haushalten

Aktuell existieren hierzulande verschiedenste Angebote zur Sammlung von Kunststoffabfällen aus Haushalten. Die untenstehenden Stossrichtungen sowie die in *Kapitel 8.3.1* beschriebene Verordnung könnten den Aufbau sowie die Bereitstellung der Infrastruktur eines national einheitlichen Sammel-, Sortier- und Recyclingsystems unterstützen oder erwirken. Solche Bestrebungen sind auch im Sinne der Motion Dobler (20.3695), welche eine schweizweit koordinierte und flächendeckend getrennte Sammlung von stofflich verwertbaren Kunststoffabfällen verlangt.

Die Drehscheibe Kreislaufwirtschaft unter dem Dach von Swiss Recycling beabsichtigt, bis 2025 ein schweizweites Sammelsystem für Verpackungen aus Kunststoffen und Getränkekartons zu lancieren. Dabei stünde die Schaffung von klaren Rahmenbedingungen im Vordergrund. Es sollte Transparenz über die Stoffflüsse (vom Abfall bis zum Einsatz der Rezyklate), die Ökobilanz und die verursachergerechte Finanzierung eines solchen Systems geschaffen werden. Zudem sollte sichergestellt werden, dass ein Sammelsystem schweizweit koordiniert aufgebaut wird, das gesammelte Material tatsächlich stofflich verwertet wird und das Sammelsystem eine hohe Beständigkeit hat. Nur mit klaren Rahmenbedingungen kann sichergestellt werden, dass die Kantone weiterhin eine langfristige Abfallplanung und damit ein funktionierendes Entsorgungssystem gewährleisten können. Die etablierten und gut funktionierenden Sammelsysteme für Getränkeflaschen aus PET und Kunststoffflaschen mit Deckel dürfen nicht negativ beeinflusst werden.

Im Rahmen der parlamentarischen Initiative 20.433 schlägt die zuständige Kommission des Nationalrates Grundlagen vor, welche für den Aufbau einer einheitlichen Sammlung von Kunststoffen relevant wären: Anforderungen zur ressourcenschonenden Gestaltung von Produkten und Verpackungen (Art. 35i VE-USG), zur Stärkung von Branchenvereinbarungen und freiwilligen Massnahmen von Unternehmen (Art. 32a^{ter} VE-USG und 41a Abs. 4 VE-USG), zur Förderung von Pilotprojekten (Art. 48a VE-USG) sowie zur Innovationsförderung und zur Förderung von Plattformen (Art. 49 Abs. 1 und 3 VE-USG, Art. 49a VE-USG). Die im Rahmen der parlamentarischen Initiative 20.433 vorgeschlagenen Änderungen in Artikel 31b Absatz 4 VE-USG zur Vereinfachung der separaten Wertstoffsammlung sollen den Ausbau der Sammel-, Sortier- und Recyclinginfrastruktur unterstützen.

Kunststoffe in der Umwelt

	Mögliche Stossrichtungen: – Verpackungen und Produkte sollten künftig vermehrt aus <i>kreislauffähigen Materialien</i> hergestellt werden. Die Branche könnte in Eigeninitiative zielführende Ökodesign-Richtlinien erarbeiten. Über die besser ausgebaute Sammel-, Sortier- und Recyclinginfrastruktur würden Kunststoffe so vermehrt in den Stoffkreislauf zurückgelangen. – Für die einfachere Sortierung könnten Verpackungen und Produkte durch die Hersteller künftig einheitlich <i>mit Codes gekennzeichnet</i> werden, damit sie eindeutig einem Recyclingstrom zugeführt werden können. – Um den Einsatz von qualitativ hochwertigen <i>Rezyklaten</i> in Verpackungen und Produkten zu unterstützen, könnten Zieldefinitionen und eigenverantwortliche Standards für die Qualitätssicherung von Rezyklaten erarbeitet werden. In der EU werden momentan entsprechende Normen und Standards weiterentwickelt. – Die <i>erweiterte Herstellerverantwortung</i> – indem der Handel, Herstellerinnen und Importeure die Kosten für die Entsorgung und das Recycling (teilweise) übernehmen – könnte ausgebaut werden.
--	--

8.3.3 Littering

Als weit verbreitete Form der widerrechtlichen Abfallentsorgung ist Littering in der Schweiz nach wie vor ein Problem (vgl. Kap. 4.3). Trotz der bereits bestehenden Massnahmen in den Bereichen Sensibilisierung und Prävention, Schadensminderung und technische Anforderungen (z. B. Bereitstellung Entsorgungsinfrastruktur) sowie Sanktionen besteht weiterhin Handlungsbedarf. Einwegprodukte aus Kunststoff wie beispielsweise Einwegbecher oder Plastikbesteck sind problematisch, da sie aufgrund ihrer kurzen Lebensdauer im Vergleich zur verursachten Umweltbelastung einen geringen Nutzen aufweisen. Sie werden nach einmaligem Gebrauch zu Abfall und vergleichsweise oft gelittert.

M.03	Eindämmung von Einwegprodukten aus Kunststoff Mit der zurzeit laufenden USG-Revision im Rahmen der parlamentarischen Initiative 20.433 will die zuständige Kommission des Nationalrates die Grundlagen schaffen, um mit Regelungen in der EU gleichziehen zu können. In Bezug auf die EU-Einwegplastik-Richtlinie sind insbesondere die vorgeschlagene Stärkung der Kostenpflicht (Art. 30a Bst. a VE-USG), die verbesserte Kennzeichnung sowie Grundlagen zur ressourcenschonenden Gestaltung von Produkten und Verpackungen (Art. 35i VE-USG) nennenswert.
	Mögliche Stossrichtungen: – Es könnte eigenverantwortlich durch die Wirtschaft oder mit Zielvorgaben auf Verordnungsstufe eine <i>Verbrauchsverminderung</i> von bestimmten Einwegprodukten angestrebt werden (z. B. für Take-Away-Geschirr), indem beispielsweise Mehrweglösungen unterstützt oder eine Kostenpflicht der Einwegprodukte aus Kunststoff am Verkaufspunkt eingeführt werden. – Es könnten vom Bund auf Verordnungsstufe <i>Sensibilisierungsmassnahmen</i> gefördert werden, bei welchen die Verbraucher u. a. über Mehrweglösungen als Ersatz für Einwegkunststoffprodukte informiert sowie Anreize für ein verantwortungsvolles Verbraucherverhalten geschaffen werden. Zur Sensibilisierung der Bevölkerung könnten beispielsweise die Kennzeichnungsvorschriften der EU mit dem neuen Logo mit Hinweisen zur korrekten Entsorgung eingeführt werden. – Die <i>erweiterte Herstellerverantwortung</i> könnte ausgebaut werden, indem Hersteller von bestimmten Einwegprodukten aus Kunststoff (z. B. Take-Away-Verpackungen, Hygiene- und Tabakprodukte) für Sensibilisierungsmassnahmen, Kosten der Sammlung

Kunststoffe in der Umwelt

	im öffentlichen Sammelsystem sowie Reinigungsaktionen in Zusammenhang mit diesen Produkten aufkommen müssten. – <i>Produktanforderungen</i> wie die «Tethered Caps» (Deckel ist mit der Flasche verbunden) könnten auf Verordnungsstufe auch in der Schweiz vorgeschrieben werden.
--	---

M.04	Erfolgskontrolle von Anti-Littering-Massnahmen Anti-Littering-Massnahmen haben Kosten zur Folge, die von der Allgemeinheit getragen werden. Eine Erfolgskontrolle von durchgeführten Massnahmen könnte in einem nationalen Monitoring-System erfolgen, indem die Berichterstattungspflicht auf Verordnungsebene erweitert würde. Die gesammelten Daten der Kantone würden an das BAFU weitergeleitet und dort auf einfache Weise öffentlich zugänglich gemacht.
	Mögliche Stossrichtungen: – Die bereits gesammelten Erfahrungen im Rahmen der Erhebung entlang von Gewässern und in den Alpen sowie im Jura (Erismann und Erismann 2021) könnten in ein nationales oder kantonales <i>Monitoring</i> überführt werden. Die Vergleichbarkeit der Erhebungsergebnisse würde durch eine vereinheitlichte Methodik sichergestellt. – Der Erfolg von Massnahmen gegen Littering und andere unsachgemässe Abfallentsorgungen könnte mit einer jährlichen <i>Berichterstattung</i> der Kantone an das BAFU überprüft werden.

8.3.4 Kunststoffe in industriellen und gewerblichen Anwendungen

In der Industrie und dem Gewerbe werden Kunststoffe im Allgemeinen häufig eingesetzt, was Abfälle und Emissionen bei der Herstellung und Entsorgung erzeugt (vgl. *Kap. 4.5*). In der Bau-, Land- und Forstwirtschaft fallen aufgrund der vielseitigen Anwendungen im Aussenraum erhebliche Kunststoffemissionen an (vgl. *Kap. 4.6 und 4.7*). Es besteht somit in all diesen Branchen ein grosses Potenzial für die nachhaltige Bewirtschaftung von Produkt-Anwendungen aus Kunststoff sowie der Reduktion von Einträgen in die Umwelt. Durch die Abnutzung bei Wind und Wetter gelangen Kunststoffpartikel in die Umwelt. Oft werden die Kunststoffe zudem nach der Nutzung aufgrund des Aufwands nicht sachgemäss entsorgt. In der Bau- und Landwirtschaft besteht zudem ein grosses Potenzial zum Ausbau des Recyclings. Beispielsweise fallen in grossen Mengen Folien an, die aus einheitlichen, rezyklierbaren Kunststoffarten bestehen. Alternativen zu konventionellem Kunststoff wie «biobasierte» oder «biologisch abbaubare» Kunststoffe sind oft keine sinnvolle Lösung, da sie sich nicht oder nur unvollständig abbauen (vgl. *Kap. 6.6*).

Kunststoffe in der Umwelt

M.05	Vermehrte Förderung des Kunststoff-Recyclings Das Recycling von Kunststoffen aus Bau ²⁵ , Land- und Forstwirtschaft sowie Gewerbe und Industrie im Allgemeinen könnte vermehrt gefördert werden. Es kann hierfür an die Erfahrungen und Netzwerke der laufenden Aktivitäten angeknüpft werden (z. B. Verein Erde Schweiz). Das Recyclingpotenzial von Kunststoffen aus diesen Branchen ist bei Weitem noch nicht ausgeschöpft. Mit freiwilligen Branchenvereinbarungen könnte das Recycling von Kunststoffen forciert werden.
	Mögliche Stossrichtungen: – Die Ausarbeitung einer Branchenlösung zur Förderung einer Separatsammlung von Kunststoff-Schnittabfällen und Folien auf Baustellen könnte angegangen werden. – Die bereits bestehende Branchenlösung im Bereich Landwirtschaft des Vereins Erde Schweiz könnte von Siloballenfolien auf weitere Fraktionen sowie auf die Forstwirtschaft ausgeweitet werden (vgl. Kap. 8.1.1). – Die Ausarbeitung einer Branchenlösung zur Förderung der Sammlung und des Recyclings von Kunststoffen aus Industrie und Gewerbe könnte vorangetrieben werden.

M.06	Entwicklung einer guten Praxis im Umgang mit biologisch abbaubaren Folien Der Einsatz von Kunststoffen in der Land- und Forstwirtschaft ist weit verbreitet und macht in vielen Bereichen auch aus ökologischer Sicht Sinn (beispielsweise geringerer Herbizideinsatz bei der Verwendung von Mulchfolien). Allerdings gilt es zu vermeiden, dass Kunststoffe aus diesen Anwendungsbereichen in die Umwelt gelangen. In der Praxis sind noch viele Fragen in Bezug auf einen umweltverträglichen Umgang mit Kunststoffen ungeklärt (z. B. biologisch abbaubare Mulchfolien in der Landwirtschaft). Behörden wie kantonale Landwirtschafts- und Umweltschutzämter, das BAFU und das BLW könnten künftig eine tragende Rolle spielen, um einen besseren Umgang mit solchen Folien zu finden (sog. «Good Plasticultural Practice»).
	Mögliche Stossrichtungen: – Auf Basis der heutigen Kenntnisse über den korrekten Einsatz und die Zersetzungsprozesse von biologisch abbaubaren Mulchfolien könnten die oben genannten Akteure gemeinsam mit den Anwenderinnen und Anwendern eine «Good Plasticultural Practice» entwickeln. – Die Branche könnte Empfehlungen für die nachhaltige Verwendung und Entsorgung von Kunststoffen in der Land- und Forstwirtschaft erarbeiten. – Der Bund könnte Hersteller und Händlerinnen im Sine der gestärkten Herstellerverantwortung dazu verpflichten, mit den biologisch abbaubaren Mulchfolien korrekte und leicht verständliche Gebrauchsanweisungen mitzuliefern.

²⁵ Die sortenreine Trennung von stofflich verwertbaren Bauabfällen wie Kunststoffe ist in Art. 17 Abs. 1 Bst. d der Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen (SR 814.600, VVEA) festgehalten.

Kunststoffe in der Umwelt

M.07	Schaffung von Klarheit bezüglich der Verwendung und Kennzeichnung von biobasierten und biologisch abbaubaren Kunststoffen Die Verwendung und Kennzeichnung sogenannter biobasierter und biologisch abbaubarer Kunststoffe ist für die Konsumentinnen und Konsumenten oft verwirrend, da einheitliche Regelungen fehlen. Die unterschiedlichen Kennzeichnungen erwecken oft den Eindruck, die Produkte und Verpackungen würden sich in der Natur vollständig biologisch abbauen, was jedoch meistens nicht der Realität entspricht (vgl. auch M.06 und M. 08). Mit Artikel 35i VE-USG will die zuständige Kommission des Nationalrates eine neue Grundlage für die Kennzeichnung und Information von Produkten und Verpackungen schaffen.
	Mögliche Stossrichtungen: – Es könnten vom Bund auf Verordnungsstufe Vorgaben für die Kennzeichnung von «biobasierten», «biologisch abbaubaren» und «kompostierbaren» Verpackungen und Produkten gemacht werden. – Die Anwendungen von biologisch abbaubaren Kunststoffen könnten auf Verordnungsstufe beschränkt werden. Sie könnten beispielsweise künftig nur noch dort zugelassen werden, wo der Eintrag in die Umwelt nicht vermieden werden kann (z. B. Rasentrimmer mit Nylonfaden, Aufkleber auf Früchten und Gemüse, Pflanzengebinde) – vgl. auch M.08. – Es könnten künftig auf Verordnungsstufe nur solche biologisch abbaubaren Kunststoffmaterialien und Anwendungen zugelassen werden, die einen klaren ökologischen Vorteil gegenüber konventionellen Kunststoffen aufweisen und die unter den inländischen Umweltbedingungen vollständig abbaubar sind.

M.08	Anwendungsbeschränkungen bestimmter kunststoffhaltiger Produkte Gestützt auf eine gesetzliche Grundlage (z. B. USG) könnten bestimmte Produkte auf Verordnungsstufe verboten werden, die Kunststoffe enthalten, welche mit erhöhtem Risiko in der Umwelt landen und für die bereits umweltfreundliche Alternativen existieren. Für solche Anwendungsbeschränkungen besteht bereits in Art. 30a USG eine Rechtsgrundlage. Zudem würde bei einer Annahme der USG-Revision im Rahmen der parlamentarischen Initiative 20.433 mit dem vorgeschlagenen Artikel 35i VE-USG zur ressourcenschonenden Gestaltung von Produkten und Verpackungen eine weitere gesetzliche Grundlage geschaffen werden.
	Mögliche Stossrichtung: – Bestimmte Kunststoff-Anwendungen (z. B. Kunststoffrasen als Triebwegmatten für Kühe, Fruchtaufkleber aus Kunststoff) könnten künftig durch den Bund auf Verordnungsstufe nicht mehr zugelassen werden. Zu beachten ist jedoch, dass Art. 41a Abs. 3 USG vorsieht, dass der Bund vor dem Erlass von Ausführungsvorschriften jeweils freiwillige Massnahmen der Wirtschaft zu prüfen hat.

8.3.5 Eindämmung von Mikroplastik

Bei der Eindämmung von Mikroplastik ist eine Abstimmung mit den laufenden Arbeiten der EU, insbesondere des Aktionsplans für die Kreislaufwirtschaft und der Chemikalienstrategie für Nachhaltigkeit zentral (vgl. Kap. 8.2.2). Bei den Massnahmen zur Beschränkung der absichtlichen Verwendungen von Mikroplastik und zur unbeabsichtigten Freisetzung von Mikroplastik sowie bei der Weiterentwicklung und Harmonisierung von Messmethoden, insbesondere für Reifen und Textilien, kann sich die Schweiz an der EU orientieren (vgl. Kap. 8.1.4 und 8.2.2). In Bezug auf mögliche Massnahmen zur Eindämmung von Reifenabrieb wird der Bericht in Erfüllung des Postulats Schneider Schüttel (19.3559) «Reifenabrieb als grösste Quelle von Mikroplastik. Massnahmen zur Verminderung» weitere Lösungsvorschläge aufzeigen.

M.09	Vermeidung der Freisetzung von Kunststoffgranulaten Bei einer aktuellen Erhebung von Abfällen entlang von Schweizer Gewässern wurden häufig auch Kunststoffgranulate gefunden (Erismann und Erismann 2021). Diese können während des Transports, bei der Verarbeitung, beim Umfüllen oder Umladen verloren gehen (vgl. Kap. 4.3 und 4.5). Mit einer Sensibilisierung durch die Branchenverbände könnten Hersteller und Transporteure solcher Produkte dazu motiviert werden, die Transportbehälter so zu gestalten, dass keine Kunststoffgranulate verloren gehen.
	Mögliche Stossrichtung: – Zur Vermeidung von Verlusten von Kunststoffgranulaten könnte an Erfahrungen und Synergien bei laufenden Bestrebungen angeknüpft werden (wie z. B. der «Operation Clean Sweep», einem internationalen Programm zur Vermeidung der Freisetzung von Kunststoffgranulaten).

M.10	Verminderung der Faserfreisetzung von Textilien Es fehlt zurzeit eine Gesamtsicht über die Mengen an freigesetzten Mikroplastikfasern entlang des Lebenszyklus von Textilien und deren Auswirkungen auf die Umwelt und Gesundheit. Es gibt erste Hinweise, welche Verarbeitungsarten und Parameter im Herstellungsprozess einen Einfluss haben auf den Mikrofaserabrieb in der späteren Nutzungsphase. Solche Erkenntnisse könnten in Zusammenarbeit zwischen Forschung und Industrie weiter vertieft werden. Daraus könnten Massnahmen im Design und der Herstellung von Textilien abgeleitet und umgesetzt werden, welche die Freisetzung von Fasern vermindern.
	Mögliche Stossrichtungen: – Mögliche Risiken der Mikrofaserfreisetzung für Mensch und Umwelt könnten in einer gesamtheitlichen Nachhaltigkeitsbetrachtung analysiert werden. Eine Kosten-Nutzen-Analyse kann helfen, Massnahmen zu priorisieren. Neue Produktionstechnologien könnten ihre positive Auswirkung auf die Faserfreisetzung von Textilien entfalten. – Nebst den Emissionsprozessen von synthetischen Textilfasern könnte ein weiterer Fokus auf Textilien aus Naturfasern gelegt werden. Diese setzen ebenfalls Faserbruchstücke frei, welche überall in der Umwelt gefunden werden. Es ist wenig bekannt über allfällige toxische Effekte dieser biobasierten Mikrofasern und wie sich diese mit denjenigen der Mikroplastikfasern vergleichen lassen. Entsprechende Studien würden ein gesamtheitliches Bild zum Faserabrieb von Textilien ermöglichen.

Anhang 1: Begriffe

Die grundlegenden Fachbegriffe werden in diesem Bericht wie folgt verwendet, angelehnt an Erny, O'Connor und Spörri (2020):

- «**Kunststoff**» als Oberbegriff für alle Werkstoffarten, die sich aus Polymeren (aus Makromolekülen bestehende chemische Stoffe) zusammensetzen. Die meisten Kunststoffe basieren auf Erdöl, in jüngerer Zeit auch auf Biomasse. Die Eigenschaften von Kunststoffen lassen sich durch die Wahl der Makromoleküle, die Herstellungsverfahren oder durch Beimischung verschiedener Additive variieren. Dazu gehören auch Gummi und Kunstkautschuk in Fahrzeugreifen. Der Begriff wird in diesem Bericht auch dann übergreifend verwendet, wenn von Mikro- und Makroplastik die Rede ist. Die beiden letzteren Begriffe werden hier als solche ebenfalls verwendet, weil sie sich etabliert haben und auch von offiziellen Organisationen verwendet werden.
- «**Makroplastik**» sind Kunststoffteile, welche grösser als 5 Millimeter sind, sowie Kunststoffabfälle in Form von ganzen Produkten wie gelitterte PET-Flaschen, Plastiksäcke und dergleichen.
- Als «**Mikroplastik**» werden kaum sichtbare Kunststoffpartikel von 0.1 Mikrometer bis 5 Millimeter oder bis 15 Millimeter lange Fasern bezeichnet. Sehr kleine Kunststoffpartikel, sogenanntes «Nanoplastik», sind demzufolge Partikel kleiner als 0.1 Mikrometer. Mikroplastik kann weiter unterteilt werden in primäres und sekundäres Mikroplastik.
- «**Primäres Mikroplastik**» sind Kunststoffteilchen, welche bewusst als solche hergestellt und Produkten beigefügt werden (z. B. als Reibkörper in Kosmetika, Zahnpasta, usw.).
- «**Sekundäres Mikroplastik**» entsteht während der Nutzung und Entsorgung von Kunststoffprodukten oder bei der Verwitterung und Zersetzung von Makro- zu Mikroplastik (z. B. Abrieb von Fahrzeugreifen, Faserabrieb beim Waschen synthetischer Textilien, Aussenanstriche von Gebäuden, Strassensignalisation, usw.). Die Freisetzung ist nicht gewollt.
- «**Biobasierte Kunststoffe**» werden aus Biomasse hergestellt, haben aber dieselben Eigenschaften wie erdölbasierte Kunststoffe.
- «**Bioabbaubare Kunststoffe**» sind Materialien, die durch natürlich auftretende Mikroorganismen vollständig abgebaut und in Wasser, Kohlenstoffdioxid und Biomasse umgewandelt werden. Dabei spielt es keine Rolle, ob erneuerbare oder fossile Ressourcen zur Herstellung verwendet werden.
- Als «**Oxo-abbaubarer Kunststoff**» gilt gemäss Anhang 2.9 Ziffer 1 Absatz 4 ChemRRV ein Kunststoff, der Zusatzstoffe enthält, die durch Oxidation einen Zerfall des Kunststoffs in Mikropartikel oder einen chemischen Abbau herbeiführen.

Anhang 2: Referenzen

- Adam, Véronique, Tong Yang, und Bernd Nowack. 2019. „Toward an ecotoxicological risk assessment of microplastics: Comparison of available hazard and exposure data in freshwaters.“ *Environmental Toxicology and Chemistry*. doi:10.1002/etc.4323.
- BAFU. 2021a. „Abfallmengen und Recycling 2020 im Überblick.“ <https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/abfall/statistik/abfallmengen-und-recycling-2020-im-ueberblick.pdf.download.pdf/Aabfallmengen-und-recycling-2020-im-ueberblick.pdf>.
- . 2021b. *Indikator Wirtschaft und Konsum*. <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/thema-wirtschaft-und-konsum/wirtschaft-und-konsum--daten--indikatoren-und-karten/wirtschaft-und-konsum--indikatoren/indikator-wirtschaft-und-konsum.pt.html/aHR0cHM6Ly93d3cuaW5kaWthdG9yZW4uYWWRtaW4uY2gvUHVibG/lj>.
- Berger, Till, und Markus Sommerhalder. 2011. *Littering kostet. Fraktionsspezifische Reinigungskosten durch Littering in der Schweiz*. Bern: Bundesamt für Umwelt BAFU. Umwelt-Wissen Nr. 1108.
- Bertling, Jürgen, Ralf Bertling, und Leandra Hamann. 2018. „Kunststoffe in der Umwelt: Mikro- und Makroplastik. Ursachen, Mengen, Umweltschicksale, Wirkungen, Lösungsansätze, Empfehlungen.“ Kurzfassung der Konsortialstudie, Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT (Hrsg.), Oberhausen. doi:10.24406/UMSICHT-N-497117.
- Boucher, Julien, Florian Faure, Olivier Pompini, Zara Plummer, Olivier Wieser, und Luiz Felipe de Alencastro. 2019. „(Micro) plastic fluxes and stocks in Lake Geneva basin.“ *Trends in Analytical Chemistry*. doi:10.1016/j.trac.2018.11.037.
- Burns, Emily E., und Alistair B.A. Boxall. 2018. „Microplastics in the aquatic environment: Evidence for or against adverse impacts and major knowledge gaps.“ *Environmental Toxicology and Chemistry*. doi:10.1002/etc.4268.
- Cabernard, Livia, Stephan Pfister, Christopher Oberschelp, und Stefanie Hellweg. 2021. „Growing environmental footprint of plastics driven by coal combustion.“ *Nature Sustainability*. doi:10.1038/s41893-021-00807-2.
- Cormier, Bettie, Florane Le Bihanic, Mathieu Cabar, Jean-Claude Crebassa, Mélanie Blanc, Maria Larsson, Florian Dubocq, et al. 2021. „Chronic feeding exposure to virgin and spiked microplastics disrupts essential biological functions in teleost fish.“ *Journal of Hazardous Materials*. doi:10.1016/j.jhazmat.2021.125626.
- Cosmetics Europe. 2018. *Press release. Over 97% of plastic microbeads already phased out from cosmetics*. <https://cosmeticseurope.eu/news-events/over-97-plastic-microbeads-already-phased-out-cosmetics-cosmetics-europe-announces>.
- de Souza Machado, Anderson Abel, Chung W. Lau, Werner Kloas, Joana Bergmann, Julien B. Bachelier, Erik Faltin, Roland Becker, Anna S. Görlich, und Matthias C. Rillig. 2019. „Microplastics Can Change Soil Properties and Affect Plant Performance.“ *Environmental Science & Technology*. doi:10.1021/acs.est.9b01339.
- de Souza Machado, Anderson Abel, Werner Kloas, Christiane Zarfl, Stefan Hempel, und Matthias C. Rillig. 2018. „Microplastics as an emerging threat to terrestrial ecosystems.“ *Global Change Biology*. doi:10.1111/gcb.14020.
- Dinkel, Fredy, Gavin Roberts, und Mischa Zschokke. 2021. *Ökobilanz von Versandhüllen für Zeitschriften. CustomLCA*. Carbotech AG. Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt BAFU.
- Dinkel, Fredy, und Thomas Kägi. 2014. *Ökobilanz Getränkeverpackungen. CustomLCA*. Carbotech AG. Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt BAFU.
- ECHA. 2019. „Annex XV Restriction Report: Proposal for a Restriction of Intentionally-added Microplastics.“ Helsinki.

Kunststoffe in der Umwelt

- EFSA. 2021. *EFSA Scientific Colloquium 25 – A coordinated approach to assess the human health risks of micro- and nanoplastics in food. Event Report*. EFSA Journal. doi:10.2903/sp.efsa.2021.EN-6815.
- EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). 2016. „Statement on the presence of microplastics and nanoplastics in food, with particular focus on seafood.“ *EFSA Journal*, Juni. doi:10.2903/j.efsa.2016.4501.
- Erickson, Britt E. 2022. „Getting a grip on microplastics' risks: Lessons from nanoparticle toxicology help guide path forward.“ *C&EN*. doi:10.1021/cen-10019-cover.
- Erismann, Roger, und Shannon Erismann. 2021. *Identification, quantification and analysis of observable anthropogenic litter along Swiss lake systems (IQAASL)*. Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt BAFU. doi:10.5281/zenodo.6053926.
- Erny, Isolde, Isabel O'Connor, und Andy Spörri. 2020. *Plastik in der Schweizer Umwelt*. Zollikon: EBP Schweiz AG. Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt BAFU.
- Eunomia. 2016. *Plastics in the Marine Environment*. Bristol, United Kingdom: Eunomia Research & Consulting Ltd .
- EZV. 2020. „Swiss-Impex.“ *Datenbank für Zolltarife 3915.10, 3915.20, 3915.30, und 3915.90 für das Jahr 2017 (Abgerufen am 16.08.2021)*.
- Faure, Florian, und Luiz Felipe de Alencastro. 2014. *Évaluation de la pollution par les plastiques des les eaux de surface en Suisse*. École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL). Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt BAFU.
- Forte, Maurizio, Giuseppina Iachetta, Margherita Tussellino, Rosa Carotenuto, Marina Prisco, Maria De Falco, Vincenza Laforgia, und Salvatore Valiante. 2016. „Polystyrene nanoparticles internalization in human gastric adenocarcinoma cells.“ *Toxicology in Vitro*. doi:10.1016/j.tiv.2015.11.006.
- Geyer, Roland, Jenna R. Jambeck, und Kara Lavender Law. 2017. „Production, use, and fate of all plastics ever made.“ *Science Advances*. doi:10.1126/sciadv.1700782.
- Hüsch, Ragini, Urs Baier, Lena Breitenmoser, Thomas Gross, und Florian Rüschi. 2018. *Lebensmittelabfälle in Schweizer Grüngut*. Wädenswil: Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt BAFU.
- Internationale Energieagentur. 2015. *Energy Technology Perspectives 2015: Mobilising Innovation to Accelerate Climate Action*. Paris: International Energy Agency IEA.
- Internationale Vereinigung Sport- und Freizeiteinrichtungen (IAKS). 2019. „Protokoll zum Meeting Mikroplastik.“ Köln.
- Kalberer, Andreas, Delphine Kawecki-Wenger, und Thomas D. Bucheli. 2019. „Plastikströme in der Schweizer Landwirtschaft und ihr Risikopotenzial für Böden.“ *Agrarforschung Schweiz*.
- Kawecki, Delphine, Livnat Goldberg, und Bernd Nowack. 2021. „Material flow analysis of plastic in organic waste in Switzerland.“ *Soil Use and Management*. doi:10.1111/sum.12634.
- Kawecki, Delphine, und Bernd Nowack. 2019. „Polymer-Specific Modeling of the Environmental Emissions of Seven Commodity Plastics As Macro- and Microplastics.“ *Environmental Science & Technology*. doi:10.1021/acs.est.9b02900.
- Klotz, Magdalena, und Melanie Haupt. 2022. „A high-resolution dataset on the plastic material flows in Switzerland.“ *Data in Brief*. doi:10.1016/j.dib.2022.108001.
- Leslie, Heather A., Martin J.M. van Velzen, Sicco H. Brandsma, A. Dick Vethaak, Juan J. Garcia-Vallejo, und Marja H. Lamoree. 2022. „Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood.“ *Environment International*. doi:10.1016/j.envint.2022.107199.
- Liu, Zipeng, und Bernd Nowack. 2022. „Probabilistic material flow analysis and emissions modeling for five commodity plastics (PUR, ABS, PA, PC, and PMMA) as macroplastics and microplastics.“ *Resources, Conservation and Recycling*. doi:10.1016/j.resconrec.2021.106071.
- Løkkegaard, Hanne, Bjørn Malmgren-Hansen, und Nils H. Nilsson. 2019 (Revised). *Mass balance of rubber granulate lost from artificial turf fields, focusing on discharge to the aquatic environment. A review of literature*. Danish Technological Institute.

Kunststoffe in der Umwelt

- Nowack, Bernd, und Delphine Kawecki-Wenger. 2020. „Modellierung von Plastik in der Umwelt.“ *Aqua & Gas*.
- Paruta, Paola, Margherita Pucino, und Julien Boucher. 2021. *Plastic Paints the Environment*. Lausanne, Switzerland: EA – Environmental Action.
- Patrick, Michael, Ann-Kathrin Stalder, Cengiz Akandil, Patricia Meier, und Michael Burkhardt. 2022. *Erhebung von Kunststoffrasenflächen und Mikroplastik in der Schweiz (KUNST)*. OST – Ostschweizer Fachhochschule, Rapperswil: Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt BAFU. Bericht noch nicht veröffentlicht.
- Plastics Europe. 2021. „Plastics - the Facts 2021.“
- Prata, Joana Correia, João P. da Costa, Isabel Lopes, Armando C. Duarte, und Teresa Rocha-Santos. 2020. „Environmental exposure to microplastics: An overview on possible human health effects.“ *Science of The Total Environment*. doi:10.1016/j.scitotenv.2019.134455.
- Regnell, Fredrick. 2019. *Dispersal of microplastic from a modern artificial turf pitch with preventive measures - Case study Bergaviks IP, Kalmar*. EcoLoop.
- Rillig, Matthias C., Shin Woong Kim, Tae-Young Kim, und Walter R. Waldman. 2021. „The Global Plastic Toxicity Debt.“ *Environmental Science & Technology*. doi:10.1021/acs.est.0c07781.
- Rist, Sinja, Bethanie Carney Almroth, Nanna B. Hartmann, und Therese M. Karlsson. 2018. „A critical perspective on early communications concerning human health aspects of microplastics.“ *Science of The Total Environment*. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.01.092.
- Rodríguez-Seijo, Andrés, Joana I. Lourenço, Teresa A.P. Rocha-Santos, João da Costa, Armando C. Duarte, Helena Vala, und Ruth Pereira. 2017. „Histopathological and molecular effects of microplastics in *Eisenia andrei* Bouché.“ *Environmental Pollution*. doi:10.1016/j.envpol.2016.09.092.
- Schäfer, Anke. 2019. *Umweltschädlichkeit von Zigarettenstummeln*. Schweizerisches Zentrum für angewandte Ökotoxikologie.
- Scheurer, Michael, und Moritz Bigalke. 2018. „Microplastics in Swiss Floodplain Soils.“ *Environmental Science & Technology*. doi:10.1021/acs.est.7b06003.
- Schwabl, Philipp, Sebastian Köppel, Philipp Königshofer, Theresa Bucsics, Michael Trauner, Thomas Reiberger, und Bettina Liebmann. 2019. „Detection of Various Microplastics in Human Stool: A Prospective Case Series.“ *Annals of Internal Medicine*. doi:10.7326/M19-0618.
- Steiner, Michele. 2020. *Mikroplastik: Eintrag von Reifenabrieb in Oberflächengewässer*. Zürich: Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt BAFU.
- Steiner, Michele. 2022. *Priorisierung von Massnahmen zur Reduktion des Eintrags von Reifenabrieb in Oberflächengewässer*. Zürich: Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt BAFU. Bericht noch nicht veröffentlicht.
- Swiss Retail Federation & IG Detailhandel Schweiz. 2016. „Branchenvereinbarung zur Verringerung des Verbrauchs von Einweg-Plastiksäcken.“
- Swiss Retail Federation & IG Detailhandel Schweiz. 2020. „Branchenvereinbarung zur Verringerung des Verbrauchs von Plastiktragetaschen.“
- Van Eygen, Emile, Julia Feketitsch, David Laner, Helmut Rechberger, und Johann Fellner. 2017. „Comprehensive analysis and quantification of national plastic flows: The case of Austria.“ *Resources, Conservation and Recycling*. doi:10.1016/j.resconrec.2016.10.017.
- Verschoor, Anja J., Alex van Gelderen, und Ulbert Hofstra. 2021. „Fate of recycled tyre granulate used on artificial turf.“ *Environmental Sciences Europe*. doi:10.1186/s12302-021-00459-1.
- Vogel, Julia, Franziska Krüger, und Matthias Fabian. 2020. *Chemisches Recycling*. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.
- Weijer, Annet, Jochem Knol, und Ulbert Hofstra. 2017. *Verspreiding van infill en indicatieve massabalans*. Sweco Nederland B.V., SGS Intron B.V.
- WHO. 2019. *Microplastics in drinking-water*. Genf: Weltgesundheitsorganisation.
- Wiebe, Kirsten Svenja, Eivind Lekve Bielle, Johannes Többen, und Richard Wood. 2018. „Implementing exogenous scenarios in a global MRIO model for the estimation of future environmental footprints.“ *Journal of Economic Structures*. doi:10.1186/s40008-018-0118-y.

Kunststoffe in der Umwelt

- Wiesinger, Helene, Magdalena Klotz, Zhanyun Wang, Yaqi Zhao, Melanie Haupt, und Stefanie Hellweg. 2020. *The Identity of Oxo-Degradable Plastics and their Use in Switzerland*. Zürich: Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt BAFU.
- Yong, Cheryl Qian Ying, Suresh Valiyaveetil, und Bor L. Tang. 2020. „Toxicity of Microplastics and Nanoplastics in Mammalian Systems.“ *International Journal of Environmental Research and Public Health*. doi:10.3390/ijerph17051509.