

Biokunststoffe - ein Beitrag zur nachhaltigen Bioökonomie?

Abstract

Auf Basis von Erkenntnissen zum Fallbeispiel "Biokunststoffe", das wir auf Grundlage des Ansatzes eigendynamischer politischer Prozesse (AEP) in einem Bioökonomie-Seminar analysiert haben, stellt sich für uns die Frage, ob Biokunststoffe einen Beitrag zu einer nachhaltigen Bioökonomie leisten können. Um dies zu beantworten, untersuchen wir, inwieweit sie dazu in der Lage sind, die zunehmenden globalen und komplexen Nebenwirkungen von konventionellen Kunststoffen über ihren Lebenszyklus einzudämmen und ob sie auf Grundlage der aktuellen gesetzlichen Rahmenbedingungen dazu befähigt sind, Ökonomie und Ökologie in diesem Punkt in Einklang zu bringen. Diese Fragen analysieren wir mit Fokussierung auf die Policy der Einwegkunststoffrichtlinie (EU-Richtlinie 2019/904) und der deutschen Bundesgesetzgebung. Als Bezugspunkte dienen uns relevante Aspekte der Kunststoffe mit Fokussierung auf Ökologie, Ökonomie und Ethik. Dabei werden komplexe Probleme deutlich, die wir ausführlicher benennen und für die wir Lösungsansätze aufzeigen. Im Ergebnis kann die Frage nach der Möglichkeit von Biokunststoffen, Bestandteil einer nachhaltigen Bioökonomie zu werden, aktuell nicht ausreichend sicher beantwortet und somit legitim in Frage gestellt werden.

Schlagworte: Bioökonomie, Biokunststoffe, AEP, EU-Plastikstrategie, Einwegkunststoffrichtlinie

Based on findings concerning the case of bioplastics, which we analyzed on the foundation of the political process inherent dynamics approach (PIDA) in seminar on bioeconomy, we ask ourselves the question, if bioplastics can provide a contribution to a sustainable bioeconomy. To answer this question we examine to what extent they are capable of confining the increasing global and complex side-effects of conventional plastics through their lifetime and if they can reconcile economy and ecology grounded on current legal foundations. These questions are analyzed focusing on the Single-use plastics directive (EU-directive 2019/904) and German national legislation as policies. We use relevant aspects of plastics as reference points zooming in on ecology, economy and ethics. In this process complex problems become apparent, which we specify in more detail and then identify approaches towards a solution. As a result the question if it is possible for bioplastics to become a component of a sustainable bioeconomy can not be answered at this point with sufficient certainty and legitimately questioned.

Keywords: bioeconomy, bioplastics, PIDA, EU plastic strategy, Single-use plastics directive

Debbie Wenzel

ist Biologin, Umweltmanagerin und infernum-Studierende an der FernUniversität in Hagen.

Kontakt: debbie.schindler@uni-duesseldorf.de

Dr. Tilo Meißner

ist Humanmediziner, Umweltmanager und infernum-Studierender an der FernUniversität in Hagen.

Kontakt: dr.meissner@posteo.de

Einleitung

Im Rahmen des von Januar bis März 2021 stattgefundenen Onlineseminars "Bioökonomie" des Interdisziplinären Fernstudiums Umweltwissenschaften der FernUniversität Hagen (kurz: infernum), beschäftigten wir uns, nach einer Einführung in das Arbeitsfeld der Bioökonomie, in einer Gruppenarbeit mit dem Fall "Biokunststoffe". Dies beinhaltete die Analyse der politischen Prozesse (Politics), welche zur "Richtlinie (EU) 2019/904 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 5. Juni 2019 über die Verringerung der Auswirkungen bestimmter Kunststoffprodukte auf die Umwelt", der sogenannten Einwegkunststoffrichtlinie, geführt haben.

Als Analyserahmen diente uns hierbei der Ansatz eigendynamischer politischer Prozesse (AEP) (Böcher & Töller, 2012), der ursprünglich für heuristische umweltpolitische Analysen entwickelt wurde. Dieser verwendet ein Verständnis von politischen Prozessen als eigendynamisch. Hiernach sind diese weder rein auf Problemlösung noch rein auf Interessenaggregation ausgerichtet, sondern unterliegen auch Ideologien, Eigendynamiken und insbesondere Zufällen. Er fokussiert dabei fünf definierte Erklärungsfaktoren, die für den Verlauf und das Ergebnis von politischen Prozessen als potenziell wesentlich angenommen werden. Diese sind "Akteure und ihre Handlungen", "Institutionen", "Problemstrukturen", "Alternativen" (bzgl. politischer Instrumente) und "situative Aspekte".

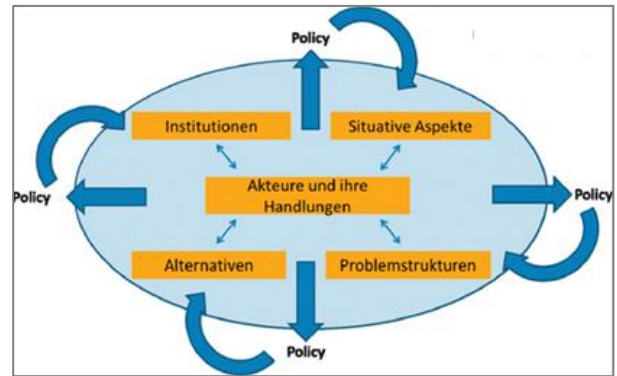


Abb. 1: Erklärungsfaktoren politischer Prozesse.
(Quelle: Böcher & Töller, 2012.)

Nach einer einleitenden Übersichtsanalyse aller fünf AEP-Erklärungsfaktoren (siehe Abb. 1 und Exkurs "AEP"), folgte im Seminar eine vertiefende Analyse des Faktors "Akteure und ihre Handlungen". Uns wurde deutlich, dass ein breites Spektrum an Akteur*Innen diesem Fallbeispiel zuzuordnen ist und ihr Handeln größtenteils zweckrational ausgelegt ist. Demnach unterliegt v. a. das Handeln der politischen und wirtschaftlichen Akteur*Innen einem rationalen Nutzenkalkül, wobei insbesondere der Erwerb und Erhalt von Macht ein zentrales Steuerungselement ist. Es war uns jedoch nicht möglich, diesen Faktor vollständig isoliert zu betrachten. Vielmehr zeigte sich, dass im Besonderen "Institutionen" und "politische Instrumente" großen Einfluss auf die "Akteure und ihre Handlungen" ausüben und die fallspezifischen "Problemstrukturen" durch ihre Komplexität und unklare Definition (Dissens Problemdefinition) in vielen Bereichen zu gleichermaßen unklaren Lösungen (Dissens Lösungsoptionen) führen. "Situative Aspekte" wiederum können bei der Ausarbeitung der Richtlinie als Impulse, wie das durch Medien entfachte Interesse an Mikroplastik und die Probleme der historisch zuvor thematisierten Biokraftstoffpolitik, verstanden werden.

Durch die thematische Beschäftigung in dem Seminar, stellten sich uns im Anschluss weiterführende Fragen: In welchen Bereichen sind Biokunststoffe den konventionellen Kunststoffen tatsächlich überlegen? Können sie unter diesen Umständen als Teil einer nachhaltigen Bioökonomiestrategie angesehen werden? Und erfüllt die Richtlinie (EU) 2019/904 grundsätzlich ihren Zweck, oder ist sie zusammen mit den gesetzlichen Rahmenbedingungen in Deutschland vielleicht einer solchen Bioökonomie abträglich?

Deshalb greifen wir im Folgenden diese Unklarheiten auf. Hierzu führen wir zunächst in Kapitel eins in die Begrifflichkeiten und den Kontext von konventionellen Kunststoffen und Biokunststoffen ein, bevor im zweiten Kapitel deren Problemstrukturen von uns ausführlicher dargestellt werden. Hierbei fokussieren wir uns insbesondere auf ökologische Aspekte der Produktion, der Entsorgung, der Komplexität, der Meeresvermüllung und des Plastikzerfalls. Im Anschluss betrachten wir gesundheitliche, ethische und ökonomische Aspekte. Vertiefend dazu führen wir in Kapitel drei in die EU-Richtlinie 2019/904 ein und stellen einen Bezug zur nationalen Rechtslage her. Im Anschluss erläutern wir in Kapitel vier Kritikpunkte der europäischen und deutschen Kunststoffpolitik und den sich daraus für unser Verständnis ergebenden Lösungsansätzen in Kapitel fünf. Wir beenden den Beitrag mit einem zusammenfassenden Fazit in Kapitel sechs.

Exkurs "AEP":

"Akteure", als zentraler Faktor des AEP, können entweder auf Basis von Zweckrationalität, orientiert an kurzfristigen Interessen, oder auch wertrational, mit Bezug zu Werten, Normen und Wahrnehmungen, handeln. "Institutionen" werden als Regel- und Anreizakkumulationen verstanden, die von Akteur*Innen durch Strategien und Handlungen nutzenmaximierend genutzt werden. Hierbei können auch Normen und Werte sowie soziale Akzeptanz eine wichtige Rolle spielen. "Problemstrukturen" stellen die Probleme des entsprechenden Politikfeldes oder Regelungsbereiches dar und untersuchen, wie sich diese auf den politischen Prozess auswirken. "Alternativen" beschreiben unterschiedlichste politische Instrumente, z. B. entlang des Eingriffsausmaßes von Freiwilligkeit bis Zwang, beispielsweise durch Ge- und Verbote, finanzielle Anreize und freiwillige Vereinbarungen. Es wird dabei betont, dass diese Instrumente nicht neutral sind, sondern ihre Verwendung durch politische und ideologische Eigenschaften, sowie durch die sie verwendenden Institutionen, beeinflusst werden. "Situative Aspekte" sind nicht planbare Ereignisse, die keinen direkten inhaltlichen Bezug zu dem Problem haben, die Rahmenbedingungen von politischen Prozessen jedoch indirekt beeinflussen (z. B. der Atomausstieg Deutschlands aufgrund der Reaktorkatastrophe in Fukushima) (Beer et al., 2018).

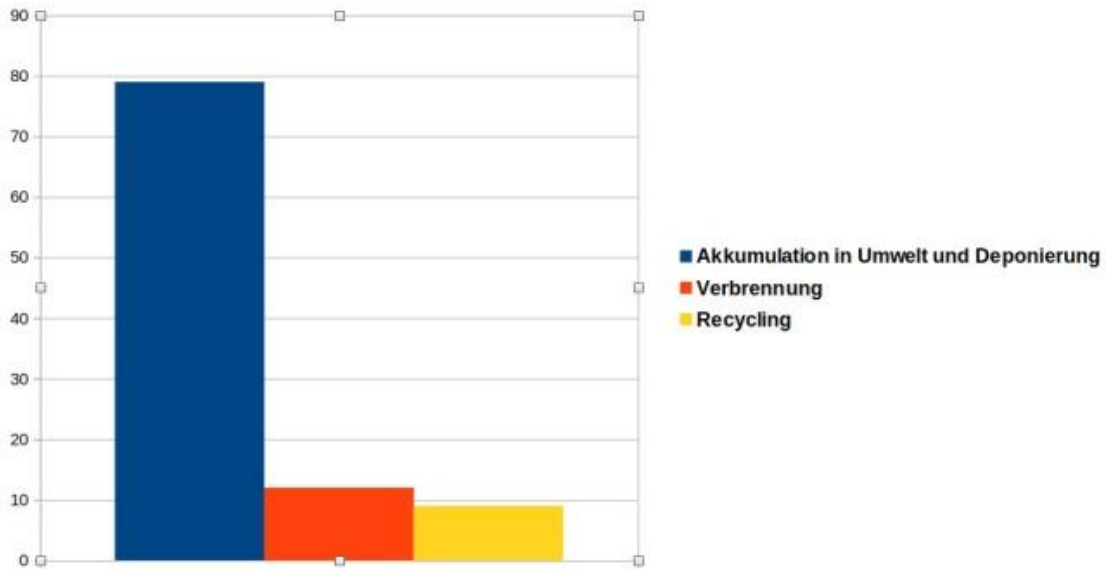


Abb. 2: Globale Verwertung von Plastik bis 2015 in Prozent.
(Eigene Darstellung; Daten aus Geyer et al., 2017.)

1. Konventionelle Kunststoffe und Biokunststoffe

In diesem Abschnitt wird zunächst kurz vorgestellt, was Kunststoffe sind und ein Einblick in die globale Produktion gegeben, bevor dann auf den Begriff der Biokunststoffe und der unter diesen Begriff subsumierten Materialien genauer eingegangen wird. Dies bildet eine essenzielle inhaltliche und terminologische Grundlage für die im weiteren Artikel folgende Analyse.

1.1 Begriffsdefinition

Kunststoffe, umgangssprachlich oft als Plastik bezeichnet, sind polymere Materialien, die meist durch Hitze oder Druck geformt bzw. gegossen werden können und deren Plastizität im Zusammenspiel mit anderen in der Regel vorliegenden Eigenschaften wie geringer Dichte, geringer elektrischer Leitfähigkeit, Durchsichtigkeit und Robustheit die Herstellung einer großen Produktvielfalt erlaubt (Rodriguez, 2021).

Typische Kunststoffe (mit Beispiel) sind Polyethylenterephthalat (PET) (Getränkeflaschen), Polypropylen (Verpackungen), Polyvinylchlorid (PVC) (Rohre) und Polystyrol (Kunststoffbesteck).

1.2 Produktion

Die globale Produktionsmenge wird für 2019 auf 368 Megatonnen (Mt) geschätzt, wovon Europa allein etwa 57,9 Mt produziert (Tiseo, 2021a). Eine erste Schätzung der anthropogenen Gesamtproduktion ergab 8.300 Mt, wobei bis 2015 eine Produktionsmenge von 6.300 Mt Plastikmüll angenommen wurde (Geyer et al., 2017). Dabei seien 9 % davon recycelt, 12 % verbrannt und 79 % in Deponien oder der Umwelt akkumuliert worden. Als wichtigste produzierenden Industriebereiche wurde dabei die Verpackungsindustrie (2015: 146 Mt), gefolgt von der Bau- und Textilindustrie (2015: 65 und 59 Mt respektive) identifiziert. Hauptausgangsstoff für die Kunststoffproduktion war 2019 mit einem Anteil von etwa 85 % Erdöl (Tiseo, 2021b). Daneben werden auch aktuell noch vor allem Gas und Kohle als Ressourcen genutzt.

Der Kunststoffindustrie wird allgemein eine sehr große Bedeutung für die globale Ökonomie beigemessen. Beispielsweise beschrieb das Weltwirtschaftsforum Kunststoffe aufgrund der Kombination aus "konkurrenzlosen Eigenschaften und niedrigen Kosten" als das "Arbeitspferd-Material der modernen Ökonomie" (World Economic Forum, 2016; *eigene Übersetzung*).

1.3 Biokunststoffe

Neben den konventionellen Kunststoffen gibt es einen kleinen Anteil an sehr heterogenen Kunststoffen, die unter dem unpräzisen definierten Begriff "Biokunststoffe" zusammengefasst werden (UBA, 2018a). Diese umfassen biobasierte und biologisch abbaubare Kunststoffe, sowie Kunststoffe, die beide Eigenschaften vereinen (siehe Abb. 3).

Biobasierte Kunststoffe verwenden ein Material biologischen Ursprungs, wobei vor allem kohlenstoffhydratreiche Agrarpflanzen (wie Mais oder Zuckerrohr) verwendet werden, sowie teilweise Ligno-Zellulose (wie verholzende Pflanzen) und organische Abfallprodukte (European Bioplastics, 2021). Die Erstgenannten werden auch als biobasierte Kunststoffe der ersten Generation bezeichnet. Biologisch abbaubare Kunststoffe hingegen werden nicht über ihren Ausgangsstoff definiert, sondern über ihren Abbauweg. Daher können auch aus fossilen Rohstoffen produzierte Kunststoffe biologisch abbaubar sein und werden dann ebenfalls als Biokunststoff bezeichnet.

Die als "biologisch abbaubare Kunststoffe" bezeichneten Materialien werden, je nach Stoff, in bestimmten, unterschiedlichen Umgebungen bei bestimmten Bedingungen in einer definierten Zeit abgebaut, also z. B. Polyhydroxyalkanoate im Boden bei 20-28 °C in ca. 7-12 Monaten (UBA, 2018a), wobei es auch hier keine global einheitliche Definition gibt.

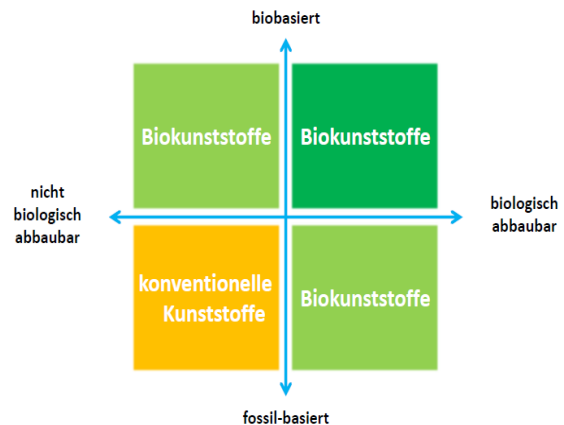


Abb. 3: Einordnung von Kunststoffen anhand ihrer Eigenschaften. (Eigene Darstellung nach Endres und Siebert-Raths, 2009.)

Es werden zwei klassische Abbauewege unterschieden (UBA, 2018a): zum einen mikrobiell die aerobe Kompostierung (unter Sauerstoffzufuhr) zu Kohlenstoffdioxid (CO₂), Wasser, mineralischen Salzen und Biomasse und zum anderen die anaerobe Gärung (ohne Sauerstoffzufuhr) zu Kohlenstoffdioxid, Methan (CH₄), mineralischen Salzen und Biomasse. Eine Besonderheit stellen oxo-fragmentierbare Kunststoffe dar, denen Additive zur schnelleren Zersetzung beigefügt werden, was zu einer schnellen Zersetzung in kleine Fragmente, nicht jedoch deren Abbau, führt (UBA, 2018a). Daher gelten diese nicht als biologisch abbaubar.

Die übliche Subsumierung dieser äußert diversen Stoffgruppen unter dem gemeinsamen Überbegriff Biokunststoffe ist sicher kritisch zu betrachten, da sich die einzelnen Stoffe in ihren Eigenschaften auch innerhalb ihrer Subgruppen noch einmal stark unterscheiden. Hinzu kommen diesbezüglich unterschiedliche Begriffsdefinitionen relevanter Akteur*Innen, die Frage des Umganges mit und der Einordnung von aus verschiedenen Kunststoffen bestehenden Produkten oder auch von Kunststoffmischungen, die als "Blends" (engl.: to blend = vermischen)

bezeichnet werden. Einer eigenen Bewertung bedarf ebenfalls der Ersatz von fossilen Rohstoffen als Ausgangsstoff durch biogene Ressourcen bei chemisch gleichen Endprodukten (z. B. bei Bio-PET), was als "Drop-in-Lösung" bezeichnet wird, da sich damit bestehende Einsatzbereiche, Strukturen und petrochemische Verarbeitungsprozesse nutzen lassen (Sachverständigenrat Bioökonomie Bayern, 2017). Dennoch erfolgt der gesellschaftliche Diskurs und die politische Verhandlung über diese heterogenen Materialien aktuell unter dem Label "Biokunststoffe" als Sammelbegriff.

2. Problemstrukturen der Kunststoffpolitik

In diesem Kapitel werden nach einer Einführung in die Debatte ökologische, ethische und ökonomische Aspekte der Problemstrukturen der Kunststoffpolitik aufgezeigt, wobei auf ökologische Folgen für Umwelt und Mensch fokussiert wird. Zum einen dient dies dem Verständnis der Hintergründe für die in nachfolgenden Kapiteln anschließenden Untersuchungen, zum anderen aber auch einem Einblick in die Breite und Komplexität der Problemstrukturen.

Global werden zunehmend unerwünschte Nebenwirkungen der Erzeugung, Nutzung und Entsorgung von Kunststoffen sichtbar, wobei die Zunahme der Sichtbarkeit unserer Einschätzung nach z. T. wohl an der hohen und weiter steigenden Produktionsmenge aufgrund deren Materialeigenschaften und einer wachsenden Weltwirtschaft liegt. Daneben könnten aus unserer Sicht u. a. die zunehmende Akkumulation von Abfällen in der Umwelt und Fortschritte in der Informations- und Kommunikationstechnologie mit leichterem Datenerfassung und Berichterstattung eine Rolle spielen. Berichte über die Probleme der Kunststoffproduktion sind jedoch, genau wie Kritik am

Material selbst, nicht neu. So steht in Deutschland seit Beginn der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts der Begriff "Plastik" zunehmend für "billig", die Verwendung von Plastik wurde als Ausdruck des kulturellen Verfalls gesehen und bereits die Umweltbewegungen in den 1970er Jahren thematisierten die Müllproblematik durch Kunststoffe (Schweiger, 2021). Allerdings scheint als situativer Aspekt die mediale Aufmerksamkeit zuletzt noch einmal zugenommen zu haben, wozu auch breit rezipierte Filmreportagen wie "Plastic Planet" (Boote, 2009) und Forschungserkenntnisse (Geyer et al., 2017) beigetragen haben dürften.

2.1 Ökologische Aspekte

2.1.1 Produktion

Bei der Produktion von Kunststoffen werden vor allem fossile Ressourcen als Ausgangsmaterialien verwendet. Das Weltwirtschaftsforum ging für 2014 allein von einem Anteil von 6 % am weltweiten Ölverbrauch aus, der sich nach dessen Szenario bei unveränderter Entwicklung bis 2050 auf 20 % erhöhen würde, was dann 15 % des globalen CO₂-Budgets ausmachen würde (World Economic Forum, 2016). Die globalen CO₂-Emissionen der Kunststoffindustrie wurden für das Jahr 2012 in demselben Bericht auf 390 Mt geschätzt. Nicht eindeutig nachvollziehbar ist hierbei leider, ob es sich um CO₂-Äquivalente handelt, also andere Treibhausgase, wie vor allem Methan, mit eingerechnet wurden. An anderer Stelle wurde dies im Bericht explizit benannt, hier aber nicht. Vor dem Hintergrund des Klimawandels würde dies jedoch einen großen Unterschied machen.

Das Umweltprogramm der Vereinten Nationen (UNEP) weist in einem mit der Allianz für Klima und saubere Luft zur Reduktion kurzlebiger Klimagase (CCAC) veröffentlichten Bericht aktuell darauf hin, dass die Erreichung der Begrenzung der Erderwärmung

auf 1,5 °C bis 2100 ohne eine Reduktion von Methan bis 2030 um mindestens 40-45 % nicht mehr zu annehmbaren Kosten erreichbar ist (UNEP und CCAC, 2021). CH₄ gehört laut diesem Bericht zu den kurzlebigen Klimagasen mit einem Verbleib in der Atmosphäre von etwa 10 Jahren, ist dabei aber um ein vielfaches klimawirksamer als CO₂ und seine atmosphärische Konzentration steigt aktuell stärker als jemals zuvor seit den 1980er Jahren. Die Autor*Innen gehen ferner davon aus, dass 20 % der weltweiten CH₄-Emissionen aus Müll hervorgehen und die Müllreduktion für Europa die wichtigste Option zur Mitigation der Methanemissionen darstellt.

Auch hier lohnt ein differenzierter Blick auf einzelne Materialien: Polyethylen (PE), der global am meisten verwendete Kunststoff, scheint von allen häufig verwendeten Kunststoffen unter Sonnenstrahlung auch am meisten CH₄ und Ethylen freizusetzen, das ebenfalls ein Treibhausgas ist (Royer et al., 2017). Eine Metaanalyse zur Lebenszyklusanalysen von Bioplastik fand insgesamt wenig und schlecht vergleichbare Daten, ging aber für den hier angesprochenen Unterbereich der Treibhausgasemissionen, für

den etwas bessere Daten vorlagen, von einem relevanten Reduktionspotenzial durch Austausch von konventionellem Plastik durch Bioplastik aus (Spierling, 2018).

In der Kunststoffindustrie erscheinen Nachhaltigkeitsthemen wie dieses bisher nur sehr begrenzt anzukommen, was sich beispielhaft in einem Report von Planet Tracker, einem nicht profitorientierten think tank, der sich auf die Untersuchung von Risiken von Marktversagen aufgrund ökologischer Grenzen spezialisiert hat, zeigt (Thomi et al., 2021). Darin wird berichtet, dass von 83 der größten Unternehmen, die Plastikverpackungen und -container herstellen und zusammen einen globalen Marktanteil von 93 % haben, 53 keine Policies für nachhaltige Verpackungen benannten und die meisten sich keine Gedanken über Risiken durch (neue) Gesetzesvorgaben in ihrem Unternehmensbereich machen. Insgesamt ist aktuell der Anteil an bio-basierten Plastik an der globalen Produktion als sehr gering einzuschätzen.

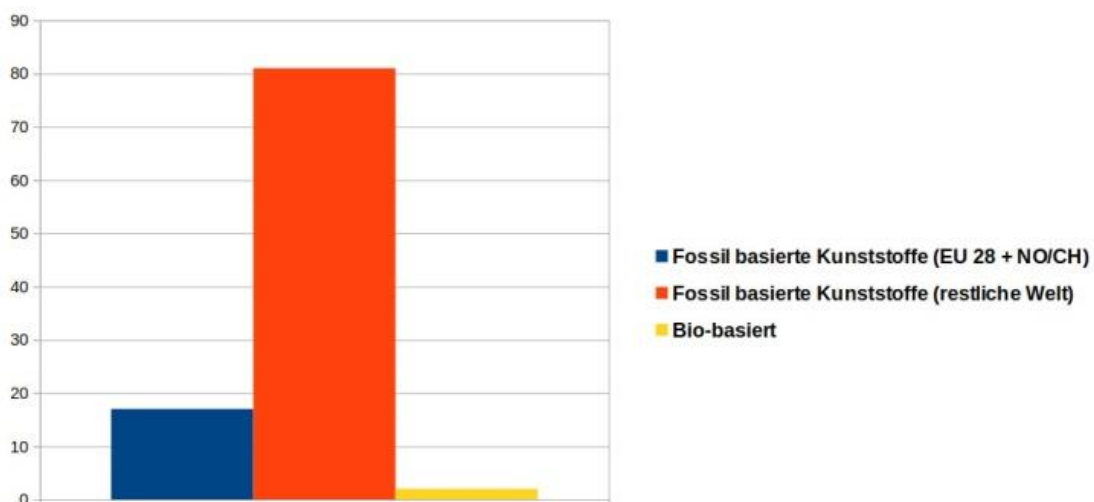


Abb. 4: Prozentuale Anteile der weltweiten Kunststoffproduktion des Jahres 2018. (Eigene Darstellung; Daten aus nova-Institut, 2019.)

2.1.2 Entsorgung

Die Entsorgung von Abfällen der Kunststoffindustrie bietet darüber hinaus Ansatzpunkte für Kritik. Wie eingangs bereits erwähnt, sind die Recyclingraten niedrig, die Entsorgung erfolgt vorzugsweise bereits nach der Erstnutzung auf Mülldeponien und zum Teil durch Verbrennung (Geyer et al., 2017). Hinzu kommt, dass das Recycling die Entsorgung lediglich um einen oder wenige Nutzungszyklen aufschiebt (Geyer et al., 2017). Auf EU-Ebene wurden laut Statistischem Amt der Europäischen Union (Eurostat) im Jahr 2018 41,5 % der Verpackungen aus Plastik recycelt (Eurostat, 2021), was im internationalen Vergleich einen hohen Wert darstellt. Allerdings machten Verpackungen 2019 mit 39,9 % weniger als die Hälfte der Kunststoffnachfrage in Europa aus (Plastics Europe, 2019).

Die EU-Kommission sieht das Potenzial für Recycling von Kunststoffabfällen weitestgehend ungenutzt und beschreibt die Wiederverwendungs- und Recyclingraten von Altkunststoffen als sehr gering, insbesondere im Vergleich zu Papier, Glas oder Metall (Europäische Kommission, 2018). Sie geht an derselben Stelle davon aus, dass in Europa pro Jahr etwa 25,8 Mt Kunststoffabfälle entstehen, von denen weniger als 30 % gesammelt und davon wiederum ein erheblicher Teil in Drittstaaten verbracht werde, in denen möglicherweise niedrigere Umweltstandards gelten würden.

Ferner werden von ihr in demselben Dokument die hohen Deponierungsraten (31 %, zuletzt sinkend) und Verbrennungsraten (39 % zuletzt steigend) kritisiert. Das Weltwirtschaftsforum schätzt, dass 95 % des Wertes von Plastikverpackungen nach dem ersten Nutzungszyklus verloren geht und der Wirtschaft damit jährlich 80-120 Mrd US \$ verloren gehen (World Economic Forum, 2016). Der erwähnte Export zum Teil großer Mengen von Plastikmüll, der dann oft über Drittstaaten in der Umwelt landet, wird regelmäßig von Umweltschutzorganisationen aufgegriffen und kritisiert (Greenpeace, 2021).

Für Deutschland geht das Statistische Bundesamt (Destatis) für das Jahr 2020 von mehr als 1 Mt exportierten Kunststoffmüll aus und betont dabei die Reduktion um 33 % innerhalb der letzten zehn Jahre (Destatis, 2021). Gleichzeitig hatte Deutschland im Jahr 2018 einen Anteil von 24,6 % an der gesamten Kunststoffnachfrage in Europa, was mehr als die der beiden Folgenationen Italien (13,9 %) und Frankreich (9,4 %) gemeinsam war (Plastics Europe, 2019).

Hauptexportland für Plastikabfälle aus Europa war Malaysia mit 17 %, dass die Volksrepublik China als Hauptzielland 2018 abgelöst hatte, nachdem "24 verschiedene Recyclingmaterialien nicht mehr in die Volksrepublik China exportiert werden [durften] – darunter unsortierter Plastikabfall" (Destatis, 2021). Noch 2012 gingen 53 % des Plastikmülls dorthin und weitere 13 % nach Hongkong (Destatis, 2021). Für die später analysierte Richtlinie erscheint der Wechsel der chinesischen Importstrategie ein beachtenswerter situativer Aspekt im Sinne des AEP, da die EU damit den Hauptabnehmerstaat ihrer Kunststoffabfälle verloren hat.

2.1.3 Komplexität

Ein weiterer zentraler Aspekt der Problemstrukturen der Kunststoffpolitik kann hier anhand eines Beispiels bzgl. der globalen Anteile an Kunststoffabfällen verdeutlicht werden, und zwar, dass aufgrund der Komplexität ein Gesamtverständnis der Kunststoffmüll-Problematik für die Einordnung der oben genannten Daten notwendig erscheint. Als Beispiel sei hier ein Aspekt des bereits erwähnten Reports des World Economic Forum (2016, Grafik 9) benannt. Ein dargestellter Punkt ist darin die Vermüllung der Meere durch Plastikabfälle, wobei der Anteil von Asien daran auf 82 % gegenüber 2 % durch die USA und Europa zusammen beziffert wird.

Einerseits kann hierbei hinterfragt werden, ob und wie vollständig der oben beschriebene, nach Asien exportierte Müll zurecht dorthin zugeschrieben wird oder dies nicht dem Land der Verbraucher*Innen zugeschrieben werden muss. Andererseits geht in der Darstellung die Relation zur Bevölkerungsgröße unter, wobei laut den Vereinten Nationen (UN) in Asien im

Jahr 2020 über 4,6 Mrd. Menschen lebten und damit über viermal so viele wie in Europa mit knapp 750 Mio. und den USA mit über 330 Mio. zusammen (UN, 2019). Durch diese potenzielle Ungenauigkeit und reale Auslassung wird die Information nicht falsch, aber doch einseitig und fehlerleitend, zumal in ihr auch hohe Produktionskapazitäten Asiens für Kunststoffe angegeben werden (45 % der Weltproduktion), ohne die Märkte und Regionen zu benennen, für die diese produziert werden.

2.1.4 Meeresvermüllung

Als Problematik ist auch die Meeresvermüllung zu benennen, da sie ein wichtiger Aufhänger der EU-Richtlinie war. Vorteile der Kunststoffe wie Strapazierbarkeit und Haltbarkeit werden an diesem Punkt gleichzeitig zu ihren Nachteilen, da sie nur über lange Zeiträume abbaubar sind und sich im Meer ansammeln. Unter anderem in den fünf großen ozeanischen Wirbeln der Weltmeere sammeln sich stellenweise große Mengen von Plastikmüll. Dieser hat laut dem fünften globalen Biodiversitätsausblick des Sekretariats der UN-Biodiversitätskonvention (CBD) schwere Folgen für marine Ökosysteme und weitestgehend unklare Implikationen für andere Ökosysteme (Sekretariat der UN-Biodiversitätskonvention, 2020).

Ziel acht der 2010 verabschiedeten Aichi-Ziele der CBD-Vertragsstaaten für die Dekade der Biodiversität von 2011 bis 2020 war die Reduktion der Umweltverschmutzung auf ein für die Funktionsweise von Ökosystemen und die Biodiversität nicht schädliches Ausmaß bis 2020. Dieses Ziel wurde verfehlt, insbesondere, was die Verminderung von Kunststoffabfällen angeht (Sekretariat der UN-Biodiversitätskonvention, 2020), wobei in diesem Bericht darauf verwiesen wird, dass aktuelle Schätzungen davon ausgehen, dass 10 Mt neuer Kunststoffmüll pro Jahr im Ozean landen. Dabei stelle verlorene Fischereiausrüstung eine besonders große Gefahr für die Biodiversität dar und habe bereits knapp die Hälfte (46 %) der auf der roten Liste für bedrohte Arten der Weltnaturschutzorganisation (IUCN) stehenden Arten geschädigt. Hauptquelle von globalem marinem Müll sind Behälter für Essen zum Mitnehmen und Getränke, gefolgt von Nebenwirkungen der

Fischereiindustrie (Morales-Caselles et al., 2021).

2.1.5 Plastikzerfall

Dazu zerfällt Plastik, insbesondere oxo-abbaubare Kunststoffe, oft in sehr lange beständige Kleinteile, die ab einer Größe von unter 5 mm meist als Mikroplastik und ab einer Größe im Nanometerbereich als Nanoplastik bezeichnet werden. Nanoplastik hat teilweise etwas andere Eigenschaften als Mikroplastik. Da im politischen Diskurs vor allem Mikroplastik thematisiert wird, werden wir dies etwas genauer beschreiben. Mikroplastik kann als primäres Mikroplastik direkt bei der Produktion (8 %) oder Nutzung (66 %) entstehen, sowie als sekundäres Mikroplastik durch Abbau von Makroplastik (26 %) (Bertling et al., 2018).

Als die drei Hauptquellen wurden in dieser Studie in der genannten Reihenfolge Abriebe von Reifen, Freisetzungen bei der Abfallentsorgung und Abrieb von Bitumen im Asphalt identifiziert. Die Verteilung von Mikroplastik erfolgt z. T. anthropogen und durch Flüsse und Meere. Daneben geschieht dies auch über die Erdatmosphäre, wobei Distanzen von bis zu 95 km nachgewiesen wurden und davon ausgegangen wird, dass Mikroplastik auch abgelegene und kaum bewohnte Gebiete erreicht (Allen et al., 2019).

Für Naturschutzgebiete im Westen der USA wurde geschätzt, dass durch Wind (75 %) und Niederschläge (25 %) im Durchschnitt 132 Plastikpartikel pro Quadratmeter und Tag abgelagert werden, was einer gesamten Jahresmenge von über 1.000 t entspricht (Brahney et al., 2020). Auf marine Ökosysteme wirkt Mikroplastik z. B. über die Schädigung von Zooplankton, was aktuell ein Stressor ist und bei Persistenz und Konzentrationsanstieg die Basis der marinen Nahrungsmittelpyramide gefährden könnte (Lim, 2021). Es wird davon ausgegangen, dass sich analog zu geochemischen Kreisläufen, wie dem Kohlenstoffkreislauf, ein Plastikkreislauf entwickelt, wobei das atmosphärische Plastik vor allem als Erbschaft von sich kontinuierlich weiter aufbauenden Plastikabfällen aus früherer Produktion angesehen wird (Brahney et al., 2021).

2.1.6 Gesundheitliche Aspekte

Da Plastikabfälle weit verbreitet sind und Mikroplastik mittlerweile nahezu ubiquitär in der menschlichen Umwelt vorkommt, stellen sich Fragen nach gesundheitlichen Folgen für Mensch, Tier und Umwelt. Diese Fragen sind nicht neu und aufgrund der bekannten Folgen gab es von wissenschaftlicher Seite bereits Aufrufe, zumindest die giftigsten und schädlichsten Kunststoffe zu verbieten und für die Anderen ein geschlossenes Kreislaufsystem aufzubauen (Rochman et al., 2013).

Es gibt Hinweise auf In-vitro-Toxizität von Kunststoffen. So fanden etwa Zimmermann et al. (2019) in einem Vergleich von 27 nach Vor-Testungen ausgewählten Stoffen heraus, dass Extrakte von PVC und Polyurethan (PUR) die höchste Toxizität aufwiesen und Polylactide (PLA), eine Biokunststoffgruppe, auch hohe Werte zeigten. Sie benennen Herausforderungen für die Risikoeinschätzung unbekannter Mischungen und betonen aber, dass es bereits Kunststoffe mit weniger toxischen Wirkungen auf dem Markt gibt. Gleichwohl ist zu beachten, dass In-vitro-Toxizität nicht dasselbe ist wie In-vivo-Toxizität.

Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) hat sich 2019 in einem Bericht zu den Folgen von Mikroplastik in Trinkwasser zum ersten Mal mit potenziellen Gesundheitsfolgen für den Menschen durch Mikroplastik in der Umwelt beschäftigt (WHO, 2019), aus dem zentrale Ergebnisse hier kurz vorgestellt werden. Bzgl. der Trinkwasserbelastung wird auf eine Metastudie hingewiesen, die zu dem Ergebnis kam, dass bisherige Studien momentan aufgrund der fehlenden Standardisierung von Probenentnahme und -analyse, sowie methodischer Limitierungen schwer vergleichbar und Durchschnittswerte von 0,001 bis 1000 Partikeln pro Liter gefunden worden seien. Zur Einschätzung des Gesundheitsrisikos untersuchte die WHO Informationen zu Gesundheitsrisiken von und Expositionen mit Kunststoffen für Menschen. Als Gesundheitsrisiken wurden die physischen Partikel selbst, darin enthaltene Chemikalien (sog. Additive) und Mikroorganismen, die Kunststoffpartikel besiedeln und einen Biofilm bilden könnten, identifiziert. Chemikalien und

mikrobielle Pathogene wurden als wenig beunruhigend eingeschätzt und auch für Gefährdungen durch Nanopartikel gebe es aktuell keine Hinweise. Betont wurde allerdings mehrfach die limitierte Datenlage.

Insgesamt sieht die WHO kein Gesundheitsrisiko durch Mikroplastik im Trinkwasser und empfiehlt vor diesem Hintergrund auch kein Routine-Monitoring. Empfohlen wird allerdings eine weitere Verbesserung der Wasseraufbereitung und Partikelentfernung zur Vermeidung von mikrobiellen Besiedlungen, was als Nebeneffekt zu einer Reduktion von Mikroplastik in Trinkwasser führen würde. Dazu werden eine Reihe von zu füllenden Forschungslücken benannt, welche die Exposition von Mikroplastik entlang der gesamten Lieferkette für Wasser, die Toxizität der Inhaltsstoffe und die Gesamtexposition des Menschen auch über andere Wege betreffen.

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen einerseits, dass es erfreulicherweise bisher keine Hinweise auf Gesundheitsschäden durch Mikroplastik in Trinkwasser gibt, andererseits aber auch eine sehr limitierte Datenlage. Es bleibt daher die wissenschaftliche Mahnung, dass die Abwesenheit von Evidenz nicht Evidenz für die Abwesenheit ist. Im konkreten Fall wird das durch das gewählte Untersuchungsmedium verstärkt, was die WHO selbst als Limitierung angibt. Aus medizinischer Sicht ist sehr gut nachvollziehbar, warum die WHO Trinkwasser analysiert hat. Allerdings ergab eine Studie aus demselben Jahr für die USA, dass zum einen die durchschnittlich durch Wasserkonsum aufgenommenen Kunststoffpartikel stark, je nach Art des Wassers, divergieren und für Leitungswasser auf 4.000 sowie Trinkwasser aus Flaschen 90.000 Partikel geschätzt wurde (Cox et al., 2019). Zum anderen erhöhte sich die durchschnittliche Partikelaufnahme von 39.000-52.000 auf 74.000-113.000, wenn eine inhalative Aufnahme berücksichtigt wird, wobei wir uns auf korrigierte Zahlen der Autor*Innen selbst beziehen (Cox et al., 2020).

Es erscheint vor diesem Hintergrund wahrscheinlich, dass die WHO die Exposition in ihrem o. g. Report durch Auslassung anderer

Aufnahmewege unterschätzt, wobei sie aber konservative, also hohe, Expositionswerte für die Wasserexposition verwendet hat. Dazu kommt, dass es aktuell weitere Hinweise für die Toxizität von Mikroplastik gibt. So fanden sich im Tierversuch mit Mäusen nach Exposition mit Mikroplastik Nachweise für Veränderungen der Blutzusammensetzung, u. a. mit einem gleichzeitigen Anstieg der Immunglobuline A und neutrophiler Granulozyten, einer Art von Abwehrzellen, sowie Veränderungen von Reproduktion und Entwicklung der Embryonen mit weniger und kleineren Nachkommen (Park et al., 2020). Dazu wurden Plastikpartikel im Menschen in verschiedenen Organen nachgewiesen, wie u. a. der Plazenta von Frauen mit physiologischer Schwangerschaft (Ragusa et al., 2021).

Auch die Blut-Hirn-Schranke von Säugetieren scheint für Mikroplastik durchgängig zu sein und dieses dahinter zu toxischen Reaktionen zu führen (Prüst et al., 2020). In einer Studie zur Verwendung von Polyethylen-basierten Plastikflaschen für die Zubereitung von Säuglingsnahrung, wofür diese häufig verwendet werden, wurde regionsabhängig eine Aufnahme von 14.600 bis 4.550.000 Kunststoffpartikeln pro Säugling am Tag nachgewiesen (Li, 2020). Im Falle von Nanopartikeln ergibt sich die Besonderheit, dass aufgrund der Größe Nachweis und Monitoring sowie Einschätzung der Folgen kaum möglich sind (Lim, 2021).

Befunde wie diese sind auch zusammengekommen keineswegs Beweis für klinisch relevante Schädigungen beim Menschen durch Mikro- und Nanoplastik, berechtigen aber auch angesichts großer Wissenslücken zur Einleitung von Vorsorgemaßnahmen, sowie weiterer Erforschung und Monitoring. Des Weiteren werden die Hinweise auf Toxizität auch politisch zunehmend ernst genommen, z. B. hat Kanada einige Kunststoffe als toxisch klassifiziert (Walker, 2021).

2.2 Ethische Aspekte

Aufgrund der Problemlage stellen sich spannende und wichtige ethische Fragen im Problemfeld der Kunststoffnebenwirkungen. Beispielsweise darüber, wie weit das Vorsorgeprinzip reicht, wie mit externalisierten Kosten umgegangen wird, die die Umwelt und potenziell den Menschen schädigen, woher die Biomasse kommen soll, wenn vermehrt biobasierte Kunststoffe produziert werden (Flächenkonflikt zur Nahrungsmittelherstellung und Biokraftstoffen), oder wie Gesellschaften intergenerationale Verantwortung sicherstellen und gewichten.

Unser heutiges Handeln als Menschen in einer aus Staaten bestehenden Weltgemeinschaft hat potenziell massive Auswirkungen auf nachfolgende Generationen - sollte sich etwa Nanoplastik im menschlichen Körper akkumulieren und schwere Nebenwirkungen ab einer bestimmten Schwelle hervorrufen, würden wir vor einem völlig neuartigen Gesundheitsproblem stehen, bei dem wir, im Gegensatz z. B. zu der Bekämpfung einer Pandemie, keine Vorerfahrungen haben sowie auch sehr wenig Wissen und Methoden. Gleichzeitig handelt es sich dabei zwar um ein nachvollziehbares, aber auch schwer quantifizierbares Risiko, da die Exposition nur eingeschränkt bekannt und die Gefährdung weitestgehend unbekannt und schwer evaluierbar ist. Dies macht die Folgenabschätzung schwieriger als z. B. bei den Folgen der Klima- oder Biodiversitätskrise.

Auch wenn wir die genannten und weitere ethische Fragen für gesellschaftlich sehr wichtig halten, ist dies nicht der Ort für eine Vertiefung dieses Diskurses, weshalb wir es hier beim Aufwerfen der Frage belassen wollen und für einen guten Überblick über wichtige Teilaspekte auf einen Bericht des Umweltbundesamtes verweisen (UBA, 2019), der in Deutschland drei vorherrschende Diskursstränge ("affirmativ", "pragmatisch" und "kritisch") zur Bioökonomie identifiziert und eine ethische Analyse u. a. zu Suffizienz, Gerechtigkeit und Macht anschließt.

2.3 Ökonomische Aspekte

Die weltweite Biokunststoffproduktion wird für 2020 auf 2,11 Mt geschätzt (European Bioplastics, 2021), was im jahresübergreifenden Verhältnis zur globalen Kunststoffproduktion von 2019 mit 368 Mt (Tiseo, 2021a) einem Anteil von knapp 0,006 % ergeben würde. Ein wichtiger Grund für dieses Ungleichgewicht scheinen aus ökonomischer Sicht, neben einem deutlichen historischen Rückstand der Biokunststoffindustrie im Aufbau effizienter, großskaliger Produktion, die hohen Kosten im Vergleich zu klassischen Kunststoffen zu sein (Waldrop, 2021). Beim Ersatz konventioneller Kunststoffe durch Polyhydroxyalkanoate wird beispielsweise davon ausgegangen, dass dies zu einer Verdrei- bis Vervielfachung der Kosten führen würde (Laird, 2019).

Aufgrund der Vielfalt der Biokunststoffe lohnt sich hier im Einzelfall sicher eine detailgenauere Analyse, allerdings erkennt auch die Biokunststoffindustrie selbst die erhöhten Kosten als allgemeines Problem an (European Bioplastics, 2016). Als Grund benennt sie niedrige Ölpreise, hohe Kosten für Forschung und Entwicklung und verweist auf zuletzt sinkende Kosten. Ein weiterer, aus unserer Sicht wesentlicher, Grund ist die Externalisierung von Folgekosten der klassischen Kunststoffproduktion. Hierbei ist zu beachten, dass auch die Analyse der Nachhaltigkeit von Biokunststoffen komplex ist und bzgl. deren Lebensdauer sehr unterschiedliche Bereiche, von der Biomasseproduktion bis zur Abfallwirtschaft, inkludiert werden müssen.

Die in diesem Kapitel dargestellten Problemstrukturen können als Belege für dringenden Handlungsbedarf und gleichzeitig die hohe Komplexität der Kunststoffpolitik angesehen werden und sollen als Verständnisgrundlage für die nun folgende weitere Analyse dienen.

3. Vorstellung der Richtlinie (EU) 2019/904

Im Folgenden wird nun zunächst die "Richtlinie (EU) 2019/904 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 5. Juni 2019 über die Verringerung der Auswirkungen bestimmter Kunststoffprodukte auf die Umwelt", kurz Einwegkunststoffrichtlinie, als Policy der Europäischen Union in Auszügen dargestellt, gefolgt von einer Beschreibung der Umsetzung in nationales Recht in Deutschland.

3.1 Begründung für die Erstellung der Einwegkunststoffrichtlinie

Die Richtlinie (EU) 2019/904 über die Verringerung der Auswirkungen bestimmter Kunststoffprodukte auf die Umwelt entspricht der Europäischen Strategie für Kunststoffe (Europäische Kommission, 2018) zur Erreichung des Zieles 12 "nachhaltige Konsum- und Produktionsmuster" der in der Agenda 2030 definierten SDGs (sustainable development goals). Sie soll den Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft dieser Güter durch verschiedene Maßnahmen fördern. Erforderlich wurde dies einerseits durch einen steigenden Konsum von Einwegkunststoffartikeln, wobei es sich per Definition um nicht-wiederverwendbare und nicht kosteneffizient recycelbare Produkte handelt. Sowie andererseits durch den vermehrten Gebrauch von marinen Fanggeräten, welche konventionelle und mitunter oxo-abbaubare Kunststoffe (welche beim Zerfall u. a. Mikroplastik erzeugen können) enthalten. Damit einher geht ein Eintrag in die Umwelt, im Weiteren als Vermüllung bezeichnet. Dieser erfolgt insbesondere in die gebietsüberschreitende Umweltressource Wasser. Verstärkt wurde dies jedoch auch durch den bereits erwähnten Wechsel der chinesischen Importstrategie, wodurch die Option der Müllverbringung stark eingeschränkt wurde. Die aus all diesen Faktoren resultierenden gesundheitlichen und wirtschaftlichen Folgen machen die Schaffung eines kreislauforientierten Lebenszyklus für bis dato ineffiziente und lineare Produktions- und Verbrauchsgewohnheiten von Kunststoffen nötig.

Übersicht Policies

<p>I Richtlinie (EU) 2019/904 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 5. Juni 2019 über die Verringerung der Auswirkungen bestimmter Kunststoffprodukte auf die Umwelt, kurz: "Einwegkunststoffrichtlinie"</p>	<p>VI Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz - KrWG)</p>
<p>II Richtlinie 2018/851EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 30. Mai 2018 zur Änderung der Richtlinie 2008/98/EG über Abfälle und zur Aufhebung bestimmter Richtlinien, kurz: "Abfallrahmenrichtlinie"</p>	<p>VII Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die hochwertige Verwertung von Verpackungen (Verpackungsgesetz - VerpackG)</p>
<p>III Durchführungsverordnung (EU) 2020/2151 der Kommission vom 17. Dezember 2020 zur Festlegung harmonisierter Kennzeichnungsvorschriften für in Teil D des Anhangs der Richtlinie (EU) 2019/904 des Europäischen Parlaments und des Rates über die Verringerung der Auswirkungen bestimmter Kunststoffprodukte auf die Umwelt aufgeführte Einwegkunststoffartikel, kurz: "Kennzeichnungsverordnung"</p>	<p>VIII Verordnung über das Verbot des Inverkehrbringens von bestimmten Einwegkunststoffprodukten und von Produkten aus oxoabbaubarem Kunststoff (Einwegkunststoffverbotsverordnung - EWKVerbotsV)</p>
<p>IV Richtlinie (EU) 2018/852 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. Mai 2018 zur Änderung der Richtlinie 94/62/EG über Verpackungen und Verpackungsabfälle, kurz: "Verpackungsrichtlinie"</p>	<p>IX Verordnung über die Beschaffenheit und Kennzeichnung von bestimmten Einwegkunststoffprodukten (Einwegkunststoffkennzeichnungsverordnung - EWKKennzV)</p>
<p>V Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Oktober 2009 zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte, kurz: "Ökodesignrichtlinie"</p>	<p>X Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden (Bioabfallverordnung - BioAbfV)</p>
	<p>XI DIN/EN 13432 „Verpackung – Anforderungen an die Verwertung von Verpackungen durch Kompostierung und biologischen Abbau –Prüfschema und Bewertungskriterien für die Einstufung von Verpackungen“</p>
	<p>XII DIN/EN 14995 „Kunststoffe – Bewertung der Kompostierbarkeit“</p>
	<p>XIII Gesetz über den Handel mit Berechtigungen zur Emission von Treibhausgasen (Treibhausgas-Emissionshandelsgesetz - TEHG)</p>

3.2 Zusammenfassung der konkreten Maßnahmen der Einwegkunststoffrichtlinie

Das erklärte Ziel der Richtlinie ist es, "[...], dafür Sorge zu tragen, dass alle Kunststoffverpackungen bis 2030 wiederverwendbar oder leicht zu recyceln sind." (Richtlinie (EU) 2019/904 Abs. 6). Erreicht werden soll dies in erster Linie durch eine generelle Verbrauchsminderung von Einwegkunststoffartikeln (Artikel 4). Dies entspricht der Abfallvermeidung laut Abfallpolitik der EU (II). Die Wahl der dafür notwendigen Maßnahmen obliegt dem jeweiligen Mitgliedsstaat und kann somit ein Angebot von Alternativen, die Erhebung von Gebühren oder auch Vermarktungsbeschränkungen umfassen. Diese Strategie unterstützen Beschränkungen des Inverkehrbringens von Artikeln aus oxo-abbaubarem Kunststoff und gewissen Einwegkunststoffartikeln (Artikel 5). Dazu zählen Wattestäbchen, Besteck, Teller, Trinkhalme, Rührstäbchen, Luftballonstäbe, sowie Lebensmittelverpackungen, Getränkebehälter und -becher aus expandiertem Polystyrol.

Es wurden Produktanforderungen für die Hersteller*Innen definiert (Artikel 6), nach denen Verschlüsse und Deckel an Flaschen aus Einwegkunststoff befestigt sein müssen. PET-Getränkeflaschen sollen wiederum ab 2025 aus mindestens 25 % und ab 2030 aus mindestens 30 % recyceltem Kunststoff bestehen. Des Weiteren gelten ab dem 03.07.2021 Kennzeichnungsvorschriften für Damenhygieneartikel, Feuchttücher, Tabakfilter und Getränkebecher (Artikel 7), welche durch die Durchführungsverordnung (EU) 2020/2151 (III) vor kurzem harmonisiert wurden. Hierdurch werden VerbraucherInnen über angemessene Entsorgungsmethoden und das Vorhandensein von Kunststoff aufgeklärt.

Die "erweiterte Herstellerverantwortung" (Artikel 8) (ergänzt die §§ 8 & 8 a) der Abfallrahmenrichtlinie (II) um die Kostenübernahme von Sensibilisierungsmaßnahmen, von der Sammlung, Beförderung und Behandlung des Produktabfalls und von damit im Zusammenhang stehenden Reinigungsaktionen durch die

Hersteller*Innen. Dies gilt für verschiedene Lebensmittelverpackungen, leichte Kunststofftragetaschen, Feuchttücher, Luftballons und Tabakfilter, sowie insbesondere für marine Fanggeräte, die Kunststoff enthalten. Die Maßnahmen zur Gewährleistung einer getrennten Sammlung (Artikel 9) von bis zu 90 Gewichtsprozent der Abfälle aus Einwegkunststoffartikeln zum Zwecke des Recyclings (zu realisieren bis 2029) hingegen werden durch den jeweiligen Mitgliedsstaat festgelegt. Angeraten werden hierbei Pfandsysteme und Zieldefinitionen bzgl. der "erweiterten Herstellerverantwortung".

Auch die in der Richtlinie (EU) 2019/904 (I) verabschiedeten Sensibilisierungsmaßnahmen (Artikel 10) obliegen in ihrer Ausgestaltung den Mitgliedsstaaten. Hierbei sollen "Verbraucher" über wiederverwendbare Alternativen, die sachgemäße Entsorgung von Einwegkunststoffartikeln und Fanggeräten, sowie die Auswirkungen der Vermüllung informiert werden. Gleichzeitig sollen Anreize zu verantwortungsvollem Verhalten geschaffen werden.

3.3 Umsetzung der Einwegkunststoffrichtlinie in nationales Recht

Die Bioökonomie ist in Deutschland zu einem Schwerpunktthema geworden. Als zentrale Strategien gelten hierbei die Nationale Forschungsstrategie Bioökonomie 2030 und die Nationale Politikstrategie Bioökonomie (UBA, 2019).

Auf Grundlage der Kunststoffstrategie der EU (Europäische Kommission, 2018) wurden, neben der Einwegkunststoffrichtlinie (I), weitere Richtlinien angepasst. Darunter fallen u. a. die Abfallrahmen- (II), Verpackungs- (IV) und Ökodesignrichtlinie (V). Auf nationaler Ebene ausformulierte Gesetze finden sich u. a. in dem Kreislaufwirtschafts- (KrWG) (VI) und Verpackungsgesetz (VerpackG) (VII), sowie v. a. in der Einwegkunststoffverbots- (EWKVerbotsV) (VIII), Einwegkunststoffkennzeichnungs- (EWK-KennzV) (IX) und Bioabfallverordnung (Bio-AbfV) (X).

Das KrWG (VI) entspricht fast vollständig einer Eins-zu-eins-Umsetzung der internationalen Abfallrahmenrichtlinie (II) in deutsches Recht. Zudem greift es einzelne Regelungen der Einwegkunststoffrichtlinie (I) mit auf (BMUV, 2020a). Der "Zweck des Gesetzes ist es, die Kreislaufwirtschaft zur Schonung der natürlichen Ressourcen zu fördern und den Schutz von Mensch und Umwelt bei der Erzeugung und Bewirtschaftung von Abfällen sicherzustellen." (§ 1 Abs. 1 KrWG). Um dieses Ziel möglichst umfassend erreichen zu können, wurde das KrWG auf Grundlage der novellierten Abfallrahmenrichtlinie überarbeitet, sodass nun die Kreislaufwirtschaft insbesondere durch Vermeidung und Recycling von Abfällen gefördert werden soll. Zentral hierbei ist die in § 6 aufgeführte fünfstufige Abfallhierarchie: Vermeidung, Vorbereitung zur Wiederverwendung, Recycling, sonstige Verwertung (v. a. energetische Verwertung und Verfüllung) und Beseitigung (BMUV, 2020b).

Das VerpackG (VII) setzt die Verpackungsrichtlinie (IV) in nationales Recht um und ergänzt diese um die für Verpackungen geltenden Regelungen der Einwegkunststoffrichtlinie (I). Durch dieses Gesetz wird das Verhalten der Hersteller*Innen reguliert, um die negativen Auswirkungen von Verpackungsabfällen durch die ersten drei Stufen der Abfallhierarchie zu verringern. Demnach soll einerseits vorrangig Abfall vermieden und andererseits zur Wiederverwertung vorbereitet oder recycelt werden (UBA, 2021).

Die EWKVerbotsV (VIII) überführt Artikel 5 und die EWKKennzV (IX) Artikel 7 der Einwegkunststoffrichtlinie (I), auf Basis des KrWG (VI) und des VerpackG (VII), in nationales Recht. Die BioAbfV (X) hingegen reguliert die Verwertung von Bioabfallkomposten und Gärrückständen (BMUV, 2021).

4. Auswahl von Kritikpunkten an der Kunststoffpolitik

Kunststoffe sind, laut Aktionsplan der EU (Europäische Kommission, 2018), für die Kreislaufwirtschaft von zentraler Bedeutung. Demnach

muss eine Strategie ermittelt werden, durch die jegliche negative Auswirkungen, welche durch Kunststoffe entstehen, reduziert bzw. beendet werden können. Die Stärkung der Biokunststoffindustrie wird als ein Baustein dieser Strategie angesehen.

Im Folgenden wollen wir einige, aus unserer Sicht kritische, Formulierungen insbesondere der Einwegkunststoffrichtlinie (I) erläutern und wir verweisen im Weiteren auf Diskrepanzen, die sich bezüglich der Entsorgung von Biokunststoffen, aufgrund unklarer Definitionen, ergeben.

4.1 Kritische Formulierungen der EU-Kunststoffstrategie

Aktuell enthält insbesondere die Einwegkunststoffrichtlinie (I) viele Prüfaufträge und kaum verbindliche Maßnahmen der Kommission (UBA, 2018b). Demnach obliegt es dem jeweiligen Mitgliedsstaat, ob eine generelle Verbrauchsminderung (Artikel 4) durch z. B. ein Angebot von Alternativen, die Erhebung von Gebühren oder auch Vermarktungsbeschränkungen erzielt wird. Die Sicherstellung einer getrennten Sammlung (Artikel 9) soll möglichst (dies ist jedoch kein Muss) durch die Etablierung von Pfandsystemen und Zieldefinitionen bzgl. der "erweiterten Herstellerverantwortung" erreicht werden. Somit ist auch die "erweiterte Herstellerverantwortung" (Artikel 8) gegenüber den Produzierenden durch den Mitgliedsstaat anpassbar. Die in Artikel 10 thematisierten Sensibilisierungsmaßnahmen obliegen in vollem Umfang der jeweiligen Nation. Diese soll selbstständig entscheiden, in welcher Form und in welchem Ausmaß "Verbraucher" über Alternativen, Entsorgung und negative Auswirkungen informiert und Anreize für angemessenes Verhalten geschaffen werden sollen.

Des Weiteren finden sich innerhalb der Kunststoffstrategie viele unklare Definitionen, die einen Ermessensspielraum geben, welcher so weit gefasst ist, dass er dem Ziel einer nachhaltigen Bioökonomie im Wege steht. So ist beispielsweise laut Artikel 4 der Einwegkunststoffrichtlinie (I) bzgl. der Verbrauchsminderung von einer "messbaren quantitativen

Verminderung des Verbrauchs" bis 2026 (Referenzjahr: 2022) die Rede. Dies entspricht durch seine Formulierung jedoch keiner verbindlichen Zielvorgabe. Auch wird nicht klar formuliert, dass es sich bei der Umsetzung einer Kreislaufwirtschaft und einer Reduktion von Kunststoffemissionen um zwei grundsätzlich unterschiedliche Ziele der Kunststoffstrategie handelt, welche nicht in gleichem Umfang durch jegliche Maßnahme Beachtung erfahren (Bertling et al., 2018). Zudem sind natürliche Polymere, die chemisch nicht modifiziert wurden (Artikel 3 Satz 1 Richtlinie (EU) 2019/904), von der Einwegkunststoffrichtlinie ausgenommen. Dazu zählen jedoch auch PHA, PLA, Lyocell und Viskose. Diese Stoffe unterscheiden sich in ihren Eigenschaften kaum von konventionellen Kunststoffen (bauen sich schlecht bis gar nicht ab) und können als Schlupfloch genutzt werden, um die Vermeidung von Müll zu unterbinden. Deshalb plädiert die DUH (2020) dafür, dass es auch keine Ausnahmen für Einwegprodukte aus Biokunststoff geben darf.

Die EWKVerbotsV (VIII) setzt den zentralen Artikel 5 der Einwegkunststoffrichtlinie (I) in nationales Recht um. Hierbei werden jedoch die europäischen Mindestanforderungen "eins zu eins" übernommen. Die geforderte Mehrwegförderung wird nicht durch verbindliche Ziele und Maßnahmen definiert, wodurch ein weitestgehendes Ausbleiben der Lenkungswirkung in Richtung Wiederverwendung zu erwarten ist. Die Gleichstellung von Mehrwegprodukten und Ersatzmaterialien widerspricht der Abfallhierarchie der Abfallrahmenrichtlinie (II) bzw. des KrWG VI), denn eine klare Priorisierung von Mehrwegartikeln ist zentraler Baustein zum Erreichen einer Abfallvermeidung. Stattdessen werden Einwegartikel zunehmend aus anderen Materialien gefertigt (wie z. B. Papier), sodass sich die Vermüllungsproblematik nur verlagert und die Ökobilanz des Herstellungsprozesses mitunter sogar verschlechtert (NABU, 2015; DUH, 2020).

Die Definition von "Mehrweg" laut § 3 Absatz 3 VerpackG (VII) steht in Konflikt zur Definition der EWKVerbotsV (VIII). Laut VerpackG sind "Mehrwegverpackungen [...] Verpackungen, die dazu bestimmt sind, nach dem Gebrauch

mehrfach zum gleichen Zweck wiederverwendet zu werden und deren tatsächliche Rückgabe und Wiederverwendung durch eine ausreichende Logistik ermöglicht sowie durch geeignete Anreizsysteme, in der Regel durch ein Pfand, gefördert wird." (§ 3 Abs. 3 VerpackG).

In der EWKVerbotsV wird dagegen eine negative Definition von Einweg als "ein ganz oder teilweise aus Kunststoff bestehendes Produkt, das nicht konzipiert, entwickelt und in Verkehr gebracht wird, um während seiner Lebensdauer mehrere Produktkreisläufe zu durchlaufen, indem es zur Wiederbefüllung an einen Hersteller oder Vertreiber zurückgegeben wird oder zu demselben Zweck wiederverwendet wird, zu dem es hergestellt worden ist." (§ 2 Abs. 1 EWKVerbotsV), festgeschrieben.

Eine Definition von Mehrweg fehlt, macht eine Abgrenzung zum Einweg schwierig und fördert die missbräuchliche Deklaration von sogenannten "Pseudo-Mehrweg"-Verpackungen. Dies wird, laut DUH (2020), zunehmend zum Problem, denn hierbei werden Produkte als Mehrwegartikel ausgezeichnet, die zwar eine bessere Qualität als vergleichbare Einwegartikel aufweisen, jedoch minderwertig gegenüber herkömmlichen Mehrwegartikeln sind. Diese Artikel sind pfandfrei, werden von Verbraucher*Innen zumeist nach einer Nutzung entsorgt und weisen bei ihrer Herstellung einen höheren Ressourcenverbrauch als vergleichbare Einwegartikel auf. Somit kann die Einwegkunststoffrichtlinie (I) von Hersteller*Innen gezielt umgangen und die Vermüllung fortgesetzt werden (NABU, 2015; DUH, 2020).

4.2 "Bioplastik" - Braune, Gelbe oder Schwarze Tonne?

Die Europäische Kommission (2018) plädiert in ihrer Kunststoffstrategie dafür, dass durch begleitende Policies zunehmend die Entwicklung von nachhaltigen Materialien gefördert wird, sodass durch die Vermeidung von Abfällen die Wettbewerbs- und Widerstandsfähigkeit der Wirtschaft gesteigert wird. Dieser Übergang zu einer nachhaltigkeitsorientierten Bioökonomie fußt insbesondere auf den Kernbegriffen:

Werterhaltung, Wiederverwendung, Reparatur und Recycling.

Betrachtet man vor diesem Hintergrund den Begriff "Bioplastik", fällt auf, dass hierdurch zwei scheinbar gegensätzliche Wortteile verbunden wurden. Die erste Silbe "Bio" suggeriert den Verbraucher*Innen, dass es sich um ein natürliches Produkt handelt, welches in der Braunen Tonne, oder sogar auf dem heimischen Kompost, entsorgt werden kann. Dadurch wird sorgloser und verschwenderischer Umgang mit solcherlei Stoffen legitimiert und gefördert, was sich konträr zur Abfallvermeidungsstrategie der EU verhält.

Die Bezeichnung "Bioplastik" ist gleichermaßen für biologisch abbaubare und biobasierte Stoffgruppen, sowie auch für Blends gebräuchlich. Wie bereits eingehend erläutert, handelt es sich jedoch nur bei biologisch abbaubarem Kunststoff um ein potenziell kompostierbares Material. Selbst die Zertifizierung "biobasiert" besitzt keine rechtliche Grundlage, da weder qualitativ nach der Art der eingesetzten nachwachsenden Rohstoffe, noch quantitativ nach deren Menge unterschieden wird. Dies gilt auch für den Ausdruck "bioabbaubar", welcher nicht mit kompostierbar gleichgesetzt werden darf, da per Definition die biologische Abbaubarkeit einzig die Eignung zum biologischen Abbau bezeichnet, während die Kompostierbarkeit einen biologischen Abbau unter definierten Bedingungen und in einer definierten Zeit beschreibt (Wissenschaftliche Dienste, 2015; NABU, 2015; UBA, 2012; UBA, 2017).

Tatsächlich gehören laut BioAbfV (X) aktuell nur Abdeckfolien (sog. Mulchfolien) und Abfalltüten (sog. Biobeutel), welche aus biologisch abbaubaren Werkstoffen gefertigt wurden, zu den Bioabfällen, die keiner Zustimmung nach § 9a BioAbfV zur Verwertung bedürfen, sofern diese nach DIN/EN 13432 (XI) oder DIN/EN 14995 (XII) zertifiziert sind. Hierbei ist zu beachten, dass selbst die Verwendung dieser zertifizierten Biobeutel in der Braunen Tonne u. U. durch die kommunale Abfallsatzung verboten sein kann, denn selbst der Großteil der deutschen Kompostierungsanlagen gaben in einer Umfrage der DUH an, dass sie nicht alle als

biologisch abbaubar deklarierten Plastikprodukte normgerecht kompostieren können. Diese Produkte stellen zumeist Störstoffe dar und werden daher grundsätzlich vor der Kompostierung aussortiert und dem Restmüll zugeführt, welcher daraufhin verbrannt wird (Wissenschaftliche Dienste, 2015; UBA, 2017; DUH, 2021).

Die zertifizierte Kompostierbarkeit erhalten, laut DIN-Certco, Materialien, die u. a. biologisch abbaubar und kompostierbar sein müssen. Als biologisch abbaubar gelten organische Substanzen, die sich nach sechs Monaten in einem wässrigen Medium zu 90 % in CO₂ umgewandelt haben (UBA, 2018a). Kompostierbare Werkstoffe besitzen wiederum nach einer dreimonatigen industriellen Kompostierung (bei 60 °C) maximal 10 % ihrer Ausgangsmasse (Wissenschaftliche Dienste, 2015).

Dies heißt jedoch nicht, dass solcherlei Materialien über den heimischen Kompost entsorgt oder sogar einfach weggeworfen werden dürfen, da die kontrollierten Bedingungen einer industriellen Kompostierung nicht den natürlichen Gegebenheiten entsprechen und somit eine Zersetzung nicht in vergleichbarem Ausmaß stattfindet. Zudem bilden sich bei der Zersetzung nur H₂O und CO₂, jedoch keine humusbildenden Abbauprodukte. "Auch können biologisch abbaubare Kunststoffe mit Druckfarben, Klebstoffen, Stabilisatoren, Weichmachern und anderen Additiven versetzt sein, die bei einem Abbau des Kunststoffträgermaterials in die Umwelt gelangen würden", als auch zu einer Entstehung von Mikroplastik beitragen (Wissenschaftliche Dienste, 2015; NABU, 2015; DUH, 2021).

Eine Ausnahme bildet das rein biobasierte und vollständig kompostierbare Cateringzubehör. Um bei Großveranstaltungen Geschirr, Besteck und Essensreste gemeinsam entsorgen zu können, können Lebensmittelverpackungen aus Holzschliff, Geschirr aus Zuckerrohr oder Kartoffelstärke und Besteck aus Pappelholz oder Palmblättern gefertigt werden. Diese Materialien werden wiederum zu humusbildenden Stoffen abgebaut. Hierbei handelt es sich, wie bei den Mulchfolien, jedoch um eine reine

Nischenanwendung, die mitunter die Müllproblematik verschärfen kann, da dies in Konkurrenz zur nachhaltigen Kaskadennutzung (mehrfache stoffliche Nutzung = Recycling) mit einer abschließenden thermischen Verwertung steht (Wissenschaftliche Dienste, 2015; UBA, 2017).

Der zweite Wortteil "Plastik" wiederum lässt implizit eine Entsorgung über die Gelbe Tonne am sinnvollsten erscheinen, doch insbesondere biologisch abbaubare Kunststoffe gelten in der Gelben Tonne als Fehlwurf, werden aussortiert und anschließend der Verbrennung zugeführt. Aber auch nicht biologisch abbaubare biobasierte Kunststoffe können, je nach Materialzusammensetzung und Menge, z. T. nicht kosteneffizient sortenrein getrennt werden und gelangen somit ebenfalls in die Restmüllverwertung. Sinngemäß gehören die sogenannten Drop-in-Lösungen, also biobasierte Kunststoffe, die chemisch identisch zu fossilen Kunststoffen sind, in die Gelbe Tonne und können so problemlos entsorgt werden (Wissenschaftliche Dienste, 2015; NABU, 2015; UBA, 2017).

Hierbei ist jedoch anzumerken, dass die Ökobilanz von biobasierten mit der von konventionellen Kunststoffen vergleichbar ist. Die negativen Konsequenzen verschieben sich von einem erhöhten CO₂-Ausstoß hin zu einem erhöhten Nährstoffeintrag durch mineralischen Dünger (Eutrophierung) (UBA, 2017). Ein reines Umschwenken zu Biokunststoffprodukten steht, wie bereits erläutert, im Kontrast zur Müllvermeidung, die laut EU-Abfallhierarchie, das dem Recycling übergeordnete Ziel ist, um Ressourcen und Energie zu sparen. Vorteilhaft ist einzig der Herstellungsprozess von Biokunststoffen, insofern hierfür Reststoffe aus der bereits etablierten Pflanzenproduktion genutzt werden. Somit erfolgt kein Flächenkonflikt durch einen zusätzlichen Anbau und demnach ist auch keine Zunahme des Eutrophierungsgrades und Pestizideintrages in die Umweltkompartimente Boden, Wasser und Luft zu verzeichnen (UBA, 2012; NABU, 2015; Wissenschaftliche Dienste, 2015; DUH, 2021).

5. Lösungsansätze in der Biokunststoffdebatte

Im Folgenden wollen wir zu Teilaspekten der zuvor beschriebenen Problemstrukturen und Problematik der Kunststoffpolitik passende Lösungsansätze vorschlagen. Wir maßen uns dabei nicht an, eine pauschale Lösung oder ein Gesamtlösungskonzept für die präsentierte Komplexität aufzeigen zu können, sondern sehen dies als wissenschaftsbasierten, sachlichen Beitrag zur Biokunststoffdebatte.

Die wichtige Frage, ob eine dauerhafte volkswirtschaftliche Produktivitätssteigerung in einer begrenzten Welt erstrebenswert und überhaupt möglich ist, klammern wir im Folgenden bewusst aus. Aufgrund unserer Einschätzung der globalen Leitpolitiken gehen wir aktuell von einem Festhalten am Wachstumsparadigma aus. Sowohl die Debatte darum und wissenschaftliche Analyse davon sollte aber intensiviert erfolgen.

5.1 Haltungen der Akteur*Innen

Zum Erreichen einer nachhaltigen Bioökonomie ist es erforderlich, dass alle am Prozess beteiligten Akteur*Innen verstärkt zusammenarbeiten, um die volkswirtschaftliche Produktivität bei gleichzeitiger Entlastung der Umwelt zu steigern. Hierfür muss ein breiter gesellschaftlicher Konsens bzgl. unterschiedlicher Interessen, Ressourcen und Einfluss gefunden werden. Dies betrifft die an der Kunststoffwertungskette beteiligten Akteur*Innen (Herstellung, Gestaltung, Marken, Einzelhandel, Recycling) sowie gleichermaßen Verbraucher*Innen, Wissenschaft, Wirtschaft, Behörden und Regierungen (Europäische Kommission, 2018; UBA, 2019).

5.1.1 Akzeptanzsteigerung der Akteur*Innen

Die Steigerung der sozialen Akzeptanz spielt eine entscheidende Rolle für gesellschaftliches Umdenken im Umgang mit "wicked problems" (*engl.*: komplizierte Probleme). Hierbei handelt es sich simplifiziert ausgedrückt um komplexe

Probleme, welche zumeist politisch nicht thematisiert werden, oder zu einer ausgeprägten Symbolpolitik führen. Da für solcherlei Probleme unterschiedliche Definitionen sowie sehr heterogene Lösungsansätze vorliegen, führt dies unweigerlich zu besonders deutlichen gesellschaftlichen Interessenskonflikten. Es sollten Lösungen angestrebt werden, mit denen möglichst viele beteiligte Akteur*Innen so zufrieden wie möglich sind, auch wenn sie unterschiedliche Sichtweisen der Problemdefinition aufweisen (Beer, 2022).

Für die Aushandlungsprozesse erscheinen dabei die Interessen der Akteur*Innen und die Machtverhältnisse sogar wichtiger als Problemdefinitionen und Lösungsvorschläge (Roberts, 2000). Insbesondere Verbraucher*Innen sollen dafür durch angemessene informationelle und persuasive politische Instrumente indirekt zur Suffizienz veranlasst werden (z. B. durch entsprechende Kampagnen), u. a. damit sich die Vermüllung nicht von den fossilen auf die biobasierten Kunststoffe (oder ggf. andere Materialien) verlagert (NABU, 2015).

Ein Wandel der Konsumgewohnheiten wird wissenschaftlich als Schlüsselement angesehen, etwa zur Eindämmung der Meeresvermüllung (Nature Sustainability, 2021). Es sollte dabei aber unbedingt der, aus unserer Sicht häufig gemachte, Einengungsfehler, nur Konsument*Innen zur Akzeptanzsteigerung zu bewegen, vermieden und stattdessen auch die Industrie von Produktion über Nutzung bis Verwertung diesbezüglich mit adressiert werden. Dies könnte z. B. durch aussagekräftige Label oder Veröffentlichungspflichten mit regulativer Entlastung auf anderen Ebenen erfolgen. Das würde ökonomische Anreize setzen, aber die Unternehmen bei fehlender Compliance auch öffentlich sichtbar machen. Dabei erscheint das Setzen von klaren Nachhaltigkeits-Standards entlang der Wertschöpfungskette notwendig (Wuppertal Institut, 2021), sowie die Sicherstellung von deren Einhaltung.

5.1.2 Gesellschaftlicher Wandel hin zur Suffizienz

Da menschliche Gesellschaften zunehmend die planetaren Grenzen überbeanspruchen, erscheint ein Haltungswandel zur Suffizienz überlebensnotwendig. Wir neigen als Menschen dazu, systematisch subtraktive Lösungen zu übersehen, auch wenn letztere effizienter wären (Adams et al., 2021) und schätzen deren Erfinder*Innen auch weniger. Begriffe wie "Exnovation" (UBA, 2019) werden teilweise als fortschrittsfeindlich fehlinterpretiert, erscheinen aber bei sinnvoller Begründung und nach zugehörigem Diskurs im Zeitalter des Anthropozäns als ein notwendiger gesellschaftlicher Entwicklungsfortschritt.

Um die zunehmenden negativen Nebenwirkungen aufgrund der hochskaligen Anwendung erfolgreicher Fortschrittstechnologien unter Kontrolle zu halten und unsere Zivilisation nicht als Ganzes zu gefährden, muss hiermit ein Umgang gefunden werden (Beck, 2016). Für Menschen ist es aber eine psychologisch größere Belastung, Ressourcen zu verlieren, als denselben Wert nicht zu gewinnen (Kahneman, 2012). Hier erscheint eine transparente Einbindung umweltpsychologischer Erkenntnisse und Maßnahmen, sowie ein weiterer Aufbau der entsprechenden Expertise sinnvoll.

5.2 Überarbeitung der Plastikstrategie und ergänzender politischer Maßnahmen

Aufgrund der beschriebenen Probleme erscheint eine enger regulierte Plastikstrategie für eine nachhaltigkeitsorientierte Bioökonomie essenziell. Als wichtige Bausteine dafür sind, unserer Einschätzung nach, eindeutige gesetzliche Formulierungen sowie klare Definitionen, wie u. a. für den Begriff "Bioplastik", notwendig. Somit können Fehlanreize deutlich reduziert und etwaige Schlupflöcher effektiv vermieden werden. Um dies zu erreichen, sollten Partizipationsprozesse deutlich erweitert werden, um alle relevanten Akteur*Innen und Expertisen in ausreichendem Maße am politischen Prozess zu beteiligen und auftretende Zielkonflikte, wie z. B. bzgl. der Priorisierung

der Verwendung von begrenzt vorhandener Biomasse als Nahrungsmittel oder Treibstoff (sog. Teller vs. Tank-Konflikt), in Einklang zu bringen. Hierbei sollten insbesondere zivilgesellschaftliche Akteur*Innen mehr Beachtung als bisher üblich erfahren (UBA, 2019; DUH, 2020).

Zur Förderung des tatsächlich nachhaltigen Einsatzes von biobasierten Kunststoffen erscheint die Festlegung konkreter Maßnahmen und Beschränkungen wie verbindliche Mehrwegquoten für Verpackungen zur Verlängerung der Nutzungsdauer, Abgaben auf Einwegprodukte (die, um effektiv zu sein, unbedingt von Verbraucher*Innen zu entrichten sein sollten, anstatt wie bisher durch die Kunststoffindustrie (NABU, 2015), erniedrigte Mehrwertsteuer für Mehrwegartikel, die Förderung und Ausweitung eines Pfandsystems und die Verpflichtung zur Nutzung von Mehrwegalternativen in bestimmten Bereichen durch Verbote von Einwegartikeln, nötig (NABU, 2015; Bertling et al., 2018; DUH, 2020). Die Gesetzgebung sollte sowohl Nachhaltigkeitsstrategien als auch nachhaltige Produkte der Verpackungsindustrie für deren Profitabilität und Wettbewerbsfähigkeit essenziell machen (You et al., 2021). Darüber hinaus sollten Kunststoffe durch das Chemikalienrecht (ChemG) besser reguliert und die Recyclingrate durch eine deutlichere Förderung der Entsorgungsbetriebe erhöht werden (Bertling et al., 2018).

Unserer Einschätzung nach muss zur Lösung der Probleme ein besser auf die Handlungen der beteiligten Akteur*Innen abgestimmter Rahmen politischer Instrumente entwickelt werden, sodass institutionelle Hürden, durch eine daraus resultierende soziale Akzeptanz, abgebaut werden können. Parallel dazu sollte eine vermehrte Akzeptanz der Industrie zum Einsatz von Biokunststoffen unter Berücksichtigung von Nachhaltigkeitsaspekten aufgebaut werden. Zudem erscheint es sinnvoll, die eingesetzten politischen Instrumente hinsichtlich ihrer Wirksamkeit politikbegleitend systematisch wissenschaftlich zu analysieren, wie dies z. B. für Policy Instrumente zur Dekarbonisierung begonnen wurde (Peñasco et al., 2021).

Auf internationale Ebene erscheint ein gemeinsames und globales Vorgehen sinnvoll, was im Rahmen eines verbindlichen Vertrages der Vereinten Nationen analog zu dem Vertrag von Paris bezüglich des Klimawandels erfolgen sollte (Nature, 2021).

5.3 Eindeutiges Labelling von Biokunststoffen

Die stetig ansteigende Produktion von biobasierten Kunststoffen macht ein eindeutiges Labelling zur Gewährleistung einer angemessenen Abfallsammlung und -behandlung des jeweiligen Materials, über die harmonisierten Vorgaben für die Kennzeichnung hinaus, zwingend notwendig. Hierdurch können die Kunststoffarten klar voneinander abgegrenzt und entsprechend ihrer Eigenschaften unterschiedlich behandelt werden. Durch die Etablierung eines solchen Labellings würde, in Zusammenspiel mit einer Zunahme des Biokunststoffmarktes und einer klaren Definition der Begrifflichkeit, die Wirtschaftlichkeit einer sortenreinen Trennung durch die Entsorgungsbetriebe gegeben werden. Letztlich müssen Biokunststoffe dann nicht mehr als Fehlwürfe aussortiert und der Verbrennung zugeführt werden (UBA, 2012; Europäische Kommission, 2018).

Es zeigte sich, dass die Begrifflichkeit der "biologischen Abbaubarkeit" von Verbrauchern oftmals fälschlicherweise mit der "Kompostierbarkeit" gleichgesetzt wird. Um dieses Problem zu lösen, ist eine neue Deklaration kompostierbarer Biokunststoffe vonnöten. Dies würde ebenso den Markt für Nieschenanwendungen (kompostierbares Einweggeschirr und -besteck) rentabel machen und erweitern.

5.4 Investitionen in biobasierte und technische Innovationen

Durch Investitionen in biobasierte Innovationen (z. B. der weißen Biotechnologie, zu welcher biobasierte Kunststoffe zählen) wird die Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands und der EU durch eine Effizienz- und Produktionssteigerung sehr wahrscheinlich erhöht. Dies erzeugt wiederum Wirtschaftswachstum und schafft

neue Arbeitsplätze (BMBF, 2010; Europäische Kommission, 2018; UBA, 2019). Dazu ergibt sich eine Chance und aufgrund von Wissensdefiziten auch eine Notwendigkeit für eine Stärkung der Forschung. Dabei sollte auch deren verbesserte Verzahnung und Einbindung in laufende gesellschaftliche Prozesse gestärkt werden. Diese bedürfen der wissenschaftlichen Expertise, dürfen aber gleichzeitig nicht durch letztere im Sinne einer "Expertokratie" ersetzt werden.

Hierbei sollten auch technische Lösungsansätze mit gefördert werden. Der Club of Rome beschreibt in einem aktuellen Bericht eine marine Anlage, die Plastikmüll physikalisch durch Ausnutzen der Meeresströmung einsammelt (von Weizsäcker & Wijkman, 2018) und es gibt auch Ansätze, Bakterien zum Einsammeln von marinem Mikroplastik zu verwenden (Liu, 2021), die allerdings noch weit vom praktischen Einsatz entfernt sind. Eine aktuelle Übersichtsarbeit identifizierte 177 Innovationen, die zur Verringerung der Meeresvermüllung beitragen könnten, wobei davon keine einzige hinsichtlich Effizienz und Umwelteinwirkungen validiert war (Bellou et al., 2021). Eine Auflösung der Gesamtproblematik erscheint durch Innovationen wie diese nicht absehbar. Nichtsdestotrotz könnte in bestimmten Bereichen, wie der Reduktion marinen Plastikmülls durch Einsammeln mit anschließender Zuführung zum Recycling, zumindest die Geschwindigkeit der Zunahme von Folgeprobleme reduziert und damit Anpassungszeit verschafft werden. Diese sollte dann allerdings auch umfassend genutzt werden.

Dazu bietet insbesondere die Digitalisierung neue Möglichkeiten, die unter Berücksichtigung ihrer eigenen Umweltwirkungen gefördert und genutzt werden sollten. Sie könnte bspw. zur Steuerung von Abfallströmen eingesetzt werden (Wuppertal Institut, 2021). Dazu sollten allgemein Investitionen in die digitale Zukunft natürliche Lebensgrundlagen als ein Kernelement berücksichtigen, wie dies z. B. der Wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung für Globale Umweltveränderung (WBGU) ausführlich ausgearbeitet hat (WBGU, 2019).

5.5 Erweiterung von Ökobilanzen um entscheidende Faktoren

Die Methoden zur ökologischen Bewertung von Kunststoffverwendungen müssen durch innovative Neuerungen verbessert und wissenschaftlich evaluiert werden, sodass ein umfassender Vergleich mit alternativen Lösungen möglich ist. Insbesondere die gesundheitsschädlichen Kunststoffemissionen müssen hierbei in die Ökobilanz mit aufgenommen werden (Bertling et al., 2018), wobei auch die Klimaschädlichkeit und Biodiversitätsfolgen mit in die Bewertung einfließen müssen. Für noch nicht bilanzierbare Teile, wie bspw. Ausmaß und Folgen von Nanoplastik, sollte dringend die Evidenz zur Bewertung hergestellt werden.

5.6 Internalisierung von bisher externalisierten Folgekosten

Eine konsequente Einbeziehung bisher externalisierter Folgekosten, wie u. a. für Entsorgung, Umweltschäden und Klimawirksamkeit, wäre ein ökonomisch wichtiger Ansatzpunkt (Nature, 2021), der in ersten Ansätzen auch in der vorgestellten Richtlinie für den Bereich der Entsorgung eingebaut wurde. Hierbei muss aufgrund der komplexen Problemstruktur diese weitreichend verstanden und mit den noch klaren Definitionen verbunden, sowie die Ergebnisse evaluiert und bei Bedarf die Policy angepasst werden. Als Beispiel sei, mit Bezug auf die Klimawirksamkeit von Kunststoffabfällen, auf ein Defizit des Treibhausgasemissionshandelsgesetzes (TEHG) (XIII) in Deutschland verwiesen, das in seinem Anhang 1 keine Methanemissionen von Anlagen berücksichtigt. Angesichts der weiter oben dargestellten wissenschaftlichen Erkenntnisse, erscheint hier eine Anpassung dringend notwendig. Auf allgemeiner Ebene sollte bei politischen Entscheidungen, die einen Bezug zu Treibhausgasen aufweisen, eine generelle Kategorisierung in CO₂-Äquivalente mit entsprechender Gesetzgebung erfolgen, um den Fokus auf das wichtigste Klimagas, CO₂, nicht zu verlieren, aber dennoch einen Bezug zu den weiteren Treibhausgasen sicherzustellen.

Fazit

Auch nach der vorliegenden Analyse bleibt weitestgehend offen, ob Biokunststoffe einen Beitrag zu einer nachhaltigen Bioökonomie leisten, die zu Beginn dargestellten, zunehmenden, globalen und komplexen Nebenwirkungen von Kunststoffen über ihren Lebenszyklus eindämmen und an dieser Stelle Ökonomie und Ökologie verbinden können. Biokunststoffe müssen sich, als postulierter Teil einer nachhaltigen Bioökonomiestrategie, gegenüber den seit Jahrzehnten etablierten und durch Externalisierung von Folgekosten preisgünstigeren, konventionellen Kunststoffen behaupten und ihren Mehrwert unter Beweis stellen. Innerhalb der EU wird versucht diesen Prozess durch die Schaffung gesetzlicher Rahmenbedingungen zu stützen, allen voran durch die hier untersuchte Richtlinie (EU) 2019/904.

Sofern diese Rahmenbedingungen ihr Ziel erreichen sollen und die Integration von Ökonomie und Ökologie in diesem Bereich möglich sein sollte, erscheint die Setzung passenderer politischer Rahmenbedingungen mit weniger lückenhafter Gesetzgebung und klaren Begriffsdefinitionen zu diesem Zweck eine zentrale Grundvoraussetzung, um die Wettbewerbsfähigkeit der Biokunststoffindustrie und Investitionssicherheit zu ermöglichen. In diesem Zusammenhang von Bedeutung sind, ohne diese gegeneinander zu gewichten, die Etablierung eines eindeutigen Labellings der Produkte zur Stärkung v. a. der Entsorgungsindustrie, durch Investitionen realisierbare Innovationen, eine verbesserte Ökobilanzierung und die Steigerung der sozialen Akzeptanz bzgl. der Maßnahmen der Kunststoffpolitik aller an der Wertschöpfungskette beteiligten Akteur*Innen. Dazu erscheint eine ökonomische Internalisierung bisher externalisierter Folgekosten ein zentraler Faktor zum Erreichen einer nachhaltigen Bioökonomie.

Aufgrund der Komplexität der Problemstrukturen der Kunststoffpolitik und rasch zunehmender Folgeprobleme durch die Kunststoffverwendung erscheint eine Ausrichtung dieses Politikfeldes auf Nachhaltigkeit für eine funktionierende Bioökonomie sehr bedeutsam. Dabei

sollte der Aspekt der Nachhaltigkeit, der bisher kein grundsätzlich fester Bestandteil der Bioökonomiestrategie aller Nationen ist, zukünftig als eine zentrale Zielvorgabe dienen und einheitlich definiert werden. Zur Erreichung einer nachhaltigen Bioökonomie braucht es sowohl weitere Forschung als auch politische Handlung und Haltung.

Dazu ist zu beachten, dass sich regelmäßig neue Erkenntnisse ergeben. So veröffentlichte die Zeitschrift "Science" nach Abschluss unserer Recherche eine Spezialausgabe zum Plastikdilemma, die hier daher inhaltlich nicht mit eingeflossen ist, auf die wir aber verweisen wollen (siehe Science, 2021).

Anmerkungen zur Autor*Innenschaft:

Die Kapitel 1 und 2 wurden mehrheitlich von TM und die Kapitel 3 und 4 mehrheitlich von DW verfasst, der Rest zu gleichen Anteilen.

Literaturverzeichnis

- Adams, G. S., Converse, B. A., Hales, A. H. & Klotz, L. E. (2021). People systematically overlook subtractive changes. *Nature* 592: 258-261. <https://www.nature.com/articles/s41586-021-03380-y>
- Allen, S., Allen, D., Phoenix V. R., Le Roux G., Jiménez P. D., Simonneau A., Binet S. & Galop, D. (2019). Atmospheric transport and deposition of microplastics in a remote mountain catchment. *Nature Geoscience* 12: 339–344.
- Beck, U. (2016). *The Metamorphosis of the World*. Polity Press. Cambridge.
- Beer, K. (2022). Problem Structures of Bioenergy Policy in the Power and Heat Sector in Germany. In: Lanzerath, D., Schurr, U., Pinsdorf, C. & Stake, M. (Hrsg.). *Bioeconomy and Sustainability: Perspectives from Natural and Social Sciences, Economics and Ethics*. Springer.

- Beer, K., Böcher, M., Bollmann, A., Töller, A. E. & Vogelpohl, T. (2018). *Politische Prozesse der Bioökonomie zwischen Ökonomie und Ökologie. Arbeitsbericht 1 - Fallauswahl und Übersichtsanalysen.* Hagen. https://www.fernuni-hagen.de/bio-oeko-poli/download/arbeitspapier_1.pdf
- Belou, N., Gambardella, C., Karantzas, K., Monteiro, J. G., Canning-Clode, J., Kemna, S., Arrieta-Giron, C. A. & Lemmen, C. (2021). Global Assessment of innovative solutions to tackle marine litter. *Nature Sustainability* 4, 516-524.
- Bertling, J., Bertling, R. & Hamann, L. (2018). *Kunststoffe in der Umwelt: Mikro- und Makroplastik. Ursachen, Mengen, Umweltschicksale, Wirkungen, Lösungsansätze, Empfehlungen.* Kurzfassung der Konsortialstudie, Fraunhofer-Institut für Umwelt-Sicherheit und Energietechnik UMSICHT (Hrsg.). <https://www.umsicht.fraunhofer.de/content/dam/umsicht/de/dokumente/publikationen/2018/kunststoffe-id-umwelt-konsortialstudie-mikroplastik.pdf>
- BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung) (2010). *Nationale Forschungsstrategie. BioÖkonomie 2030. Unser Weg zu einer bio-basierten Wirtschaft.* BMBF. <https://www.bmbf.de/SharedDocs/Publikationen/de/bmbf/pdf/nationale-forschungsstrategie-biooekonomie-2030.pdf>
- BMUV (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit) (2020a, 30. Oktober). *Kreislaufwirtschaftsgesetz. Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen.* BMUV. <https://www.bmuv.de/gesetz/kreislaufwirtschaftsgesetz/>
- BMUV (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit) (2020b, 9. Oktober). *Eckpunkte der Novellierung des Kreislaufwirtschaftsgesetzes (KrWG).* BMUV. <https://www.bmuv.de/themen/wasser-ressourcen-abfall/kreislaufwirtschaft/abfallpolitik/uebersicht-kreislaufwirtschaftsgesetz/eckpunkte-der-novellierung-des-kreislaufwirtschaftsgesetzes-krwg>
- BMUV (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit) (2021, 29. Januar). *Bioabfallverordnung und Hinweise zum Vollzug der novellierten Bioabfallverordnung (2012).* BMUV. <https://www.bmuv.de/gesetz/bioabfallverordnung-und-hinweise-zum-vollzug-der-novellierten-bioabfallverordnung-2012/>
- Böcher, M. & Töller, A. E. (2012). *Umweltpolitik in Deutschland - Eine politikfeldanalytische Einführung.* Springer VS. ISBN 978-3-531-19465-3
- Boote, W. (2009). *Plastic Planet.* <https://www.bpb.de/media-thek/187448/plastic-planet>
- Brahney, J., Hallerud, M., Heim, E., Hahnenberger, M. & Sukumaran, S. (2020). Plastic rain in protected areas of the United States. *Science* Vol. 368, Issue 6496, pp. 1257-1260.
- Brahney, J., Mahowald, N., Prank, M., Cornwell, G., Klimont, Z., Matsui, H. & Prather, K. A. (2021). Constraining the atmospheric limb of the plastic cycle. *PNAS April 20, 2021 118 (16)*. <https://doi.org/10.1073/pnas.2020719118>
- Cox, K. D., Covernton G. A., Davies H. L., Dower, J. F., Juanes, F. & Dudas, S. E. (2019). Human Consumption of Microplastics. *Environmental Science & Technology*. 53(12): 7068-7074. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31184127/>
- Cox, K. D., Covernton G. A., Davies H. L., Dower, J. F., Juanes, F. & Dudas, S. E. (2020). Correction to Human Consumption of Microplastics. *Environmental Science & Technology*. 54(17): 10974. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.0c04032>
- Destatis (2021). *Export von Plastikmüll 2020: 33% weniger Kunststoffabfälle ausgeführt als vor zehn Jahren.* https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2021/03/PD21_N016_51.html;jsessionid=351956B7D50C6E2BCDFC41F93A8BD6C7.live722

- DUH (Deutsche Umwelthilfe e.V.) (2018). "Plastikstrategie für Deutschland". Forderungen an die Bundesregierung. *Positionspapier Plastikstrategie*. DUH. https://www.duh.de/fileadmin/user_upload/download/Projektinformation/Kreislaufwirtschaft/181126_DUH_Plastikstrategie_f%C3%BCr_Deutschland_Stand_September.pdf
- DUH (Deutsche Umwelthilfe e.V.) (2020). *Einwegkunststoffverbotsverordnung. Stellungnahme der Deutschen Umwelthilfe*. DUH. https://www.duh.de/fileadmin/user_upload/download/Projektinformation/Kreislaufwirtschaft/200515_DUH_Stellungnahme_Einwegkunststoffverbotsverordnung_FINAL.pdf
- DUH (Deutsche Umwelthilfe e.V.) (2021, 2. Juni). *Bioplastik - wirklich "bio" oder Greenwashing?* DUH. <https://www.duh.de/bioplastik/>
- Endres, H.-J. & Siebert-Raths, A. (2009). *Technische Biopolymere. Rahmenbedingungen, Marktsituation, Herstellung, Aufbau und Eigenschaften*. Hanser.
- Europäische Kommission (2018). *Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen - Eine europäische Strategie für Kunststoffe in der Kreislaufwirtschaft*. Europäische Kommission.
- European Bioplastics (2016). *Are bioplastics more expensive than conventional plastics?* <https://www.european-bioplastics.org/faq-items/how-are-costs-for-bioplastics-developing/>
- European Bioplastics (2021, 2. Mai). *Renewable Feedstock*. <https://www.european-bioplastics.org/bioplastics/Feedstock/>
- Eurostat (2021). *More than 40% of EU plastic packaging waste recycled*. <https://ec.europa.eu/eurostat/en/web/products-eurostat-news/-/ddn-20210113-1>
- Geyer, R., Jambeck, J. R. & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastic ever made. *Science Advances*. Vol 3, issue 7
- Greenpeace (2021). *Zugemüllt - wie Deutschland Plastikmüll recycelt*. Greenpeace. <https://www.greenpeace.de/sites/www.greenpeace.de/files/publications/20210517-greenpeace-factsheet-plastikmuell-tuerkei.pdf>
- Kahneman, D. (2012). *Thinking, fast and slow*. Penguin Random House.
- Laird, K. (2019). *Bioplastics: Promising but pricey*. <https://www.plasticsnews.com/article/20190205/NEWS/190209956/bioplastics-promising-but-pricey>
- Li, D., Shi, Y., Yang, L., Xiao, L., Kehoe, D. K., Gun'ko, Y. K., Boland, J. J. & Wang, J. J. (2020). Microplastic release from the degradation of polypropylene feeding bottles during infant formula preparation. *Nature Food* 1:746-754.
- Lim, X. (2021). Microplastics are everywhere - but are they harmful? *Nature* 593, 22-25. <https://www.nature.com/articles/d41586-021-01143-3>
- Liu, S. Y., Leung, M. M.-L., Fang, J. K.-H. & Chua, S. L. (2021). Engineering a microbial 'trap and release' mechanism for microplastics removal. *Chemical Engineering Journal*. Vol. 404, 127079. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1385894720332071?via%3Dihub>
- Morales-Caselles, C; Viejo, J; Martí, E; González-Fernández, D; Pragnell-Raasch, H; González-Gordillo, J I; Montero, E; Arroyo, G M; Hanke, G; Salvo, V S; Basurko, O C; Mallos, N; Lebreton, L; Echevarría, F; van Emmerik, T; Duarte, C M; Gálvez, J A; van Sebille, E; Galgani, F; García, C M; Ross, P S; Bartual, A; Iokeimidis, C; Markalein, G; Isobe, A; Cózar, A (2021). An inshore-offshore sorting system revealed from global classification of ocean litter. *Nature Sustainability* 4, 484-493.
- NABU (Naturschutzbund Deutschland e.V.). (2015). *Plastiktüten? Vermeiden statt ersetzen! Andere Materialien verlagern nur die Umweltprobleme*. NABU.

- https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/abfallpolitik/150905_faq_plastiktueten.pdf
- Nature Sustainability (2021). Ending marine pollution. *Nature Sustainability* 4, 459 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41893-021-00734-2>
- Nature (2021). Chemistry can help make plastics sustainable - but it isn't the whole solution. *Nature* 590, 363-364. <https://doi.org/10.1038/d41586-021-00391-7>
- nova-Institut (2019). *Plastics Production from 1950 to 2018*. nova-Institut. <http://bio-based.eu/downloads/plastics-production-from-1950-to-2018/>
- Park, E.-J., Han J.-S., Park, E.-J., Seong, E., Lee, G.-H., Kim, D.-W., Son, H.-Y., Han, H.-Y. & Lee, B. S. (2020). Repeated oral-dose toxicity of polyethylene microplastics and the possible implications on reproduction and development of the next generation. *Toxicology letters* 324:75-85. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31954868/>
- Peñasco, C., Anadón, L. D. & Verdolini E. (2021). Systematic review of the outcomes and trade-offs of ten types of decarbonization policy instruments. *Nature Climate Change* 11:257-265.
- Plastics Europe (2019). *Plastics - the facts 2019. An Analysis of European plastics production, demand and waste data*. Plastics Europe. https://www.plasticseurope.org/application/files/9715/7129/9584/FINAL_web_version_Plastics_the_facts2019_14102019.pdf [abgerufen am 01.06.2021]
- Prüst, M., Meijer, J. & Westerink R. H. S. (2020). The Plastic Brain: neurotoxicity of micro- and nanoplastics. *Particle and Fibre Toxicology* 17(1): 24. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32513186/>
- Ragusa, A., Svelato, A., Santacroce, C., Catalano, P., Notarstefano, V., Carnevali, O., Papa, F., Rongioletti, M. C. A., Baiocco, F., Draghi, S., D'Amore, E., Rinaldo, D., Matta, M. & Giorgini, E. (2021). Plasticenta: First evidence of microplastic in human placenta. *Environment International* 146:106274. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33395930/>
- Roberts, N. (2000): Wicked Problems and Network Approaches to Resolution. In: *International Public Management Review* 1/1. <https://journals.sfu.ca/ipmr/index.php/ipmr/article/view/175/175>
- Rochman, C. M., Browne, M. A., Halpern, B. S., Hentschel, B. T., Hoh, E., Karapanagioti, H. K., Rios-Mendoza, L. M., Takada, H., Teh, S. & Thompson, R. C. (2013). Classify plastic waste as hazardous. *Nature* 494: 169-171. <https://www.nature.com/articles/494169a>
- Rodriguez, F. (2021, 2. Mai). *Plastic. Chemical Compound*. <https://www.britanica.com/science/plastic>
- Royer S.-J., Ferrón S., Wilson S.T. & Karl D.M. (2018). Production of methane and ethylene from plastic in the environment. *PLoS ONE* 13(8): e0200574. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0200574>
- Sachverständigenrat Bioökonomie Bayern (2017). *Schwerpunktthema Drop-In-Biokunststoffe*. https://www.biooekonomierat-bayern.de/dateien/Publikationen/SVB-Schwerpunktthema_Drop-In-Biokunststoffe.pdf
- Schweiger, S. (2021). *Die Verformung der Welt durch Kunststoffe - Vom Ersatzstoff zum Umweltproblem*. [öffentlicher Vortrag im Rahmen der Ringvorlesung "Nachhaltigkeit vermitteln: Perspektiven nachhaltiger Erziehung und nachhaltigen Wissenstransfers" der Ruhr-Universität Bochum]
- Secretariat of the Convention on Biological Diversity (2020) *Global Biodiversity Outlook 5*. Montreal. <https://www.cbd.int/gbo/gbo5/publication/gbo-5-en.pdf>
- Science (2021). Our plastic dilemma. *Science*, Vol. 373, Issue 6550.
- Spierling, S., Knüpffer, E., Behnsen, H., Mudersbach, M., Krieg, H., Springer, S., Albrecht, S.,

- Herrmann, C. & Endres, H.-J. (2018). Bio-based plastics - A review of environmental, social and economic impact assessments. *Journal of cleaner production* 2018 v.185 pp. 476-491. <https://pubag.nal.usda.gov/catalog/5919379>
- Thoumi G., CFA FRM, Willis J. & Manili A. (2021). *Unwrapping Investor Risk: Global Plastic Containers and Packaging sector*. Planet Tracker.
- Tiseo, I. (2021a). *Global plastic production 1950-2019*. <https://www.statista.com/statistics/282732/global-production-of-plastics-since-1950/> [abgerufen am 02.05.2021]
- Tiseo, I. (2021b). *Global market volume share of plastics by feedstock 2019 & 2030*. <https://www.statista.com/statistics/1135484/market-volume-share-plastics-worldwide-by-feedstock/> [abgerufen am 02.05.2021]
- UBA (Umweltbundesamt) (2012). *Untersuchung der Umweltwirkungen von Verpackungen aus biologisch abbaubaren Kunststoffen*. UBA. <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/3986.pdf>
- UBA (Umweltbundesamt) (2017). *Kurzposition Biokunststoffe*. UBA. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/2503/dokumente/uba_kurzposition_biokunststoffe.pdf
- UBA (Umweltbundesamt) (2018a). *Gutachten zur Behandlung biologisch abbaubarer Kunststoffe*. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/421/publikationen/18-07-25abschlussbericht_bak_final_pb2.pdf
- UBA (Umweltbundesamt) (2018b, 17. Januar). *EU-Plastikstrategie: Guter Ansatz, aber zu unkonkret*. UBA. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/eu-plastikstrategie-guter-ansatz-aber-zu-unkonkret>
- UBA (Umweltbundesamt) (2019). *Bioökonomiekonzepte und Diskursanalyse*. UBA. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-07-18_texte_78-2019_sdg-biooekonomie.pdf
- UBA (Umweltbundesamt) (2021, 21. Januar). *Verpackungsgesetz*. UBA. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/produktverantwortung-in-der-abfallwirtschaft/verpackungen/verpackungsgesetz#sinn-und-zweck-des-verpackungsgesetzes>
- UN (United Nations) (2019). *Department of Economic and Social Affairs, Population Division. World Population Prospects 2019, custom data acquired via website*. <https://population.un.org/wpp/DataQuery/>
- UNEP (United Nations Environment Programme) & CCAC (Climate and Clean Air Coalition) (2021). *Global Methane Assessment: Benefits and Costs of Mitigating Methane Emissions*. United Nations Environment Programme.
- von Weizsäcker, E. U. & Wijkman, A. (2018). *WIR SIND DRAN. Was wir ändern müssen, wenn wir bleiben wollen*. Pantheon Verlag.
- Waldrop, M. (2021). Core Concepts: Bioplastics offer carbon-cutting advantages but are no panacea. *PNAS March 23, 2021 118(12) e2103183118*. <https://www.pnas.org/content/118/12/e2103183118>
- Walker, T. R. (2021). Canada is right to classify single-use plastics as toxic. *Nature* 594: 496. <https://www.nature.com/articles/d41586-021-01701-9>
- WBGU (Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen) (2019). *Unsere gemeinsame digitale Zukunft*. WBGU.
- WHO (World Health Organisation) (2019). *Microplastics in drinking-water*. Geneva. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/326499/9789241516198-eng.pdf>
- Wissenschaftliche Dienste (2015). *Ausarbeitung. Biologisch abbaubare Kunststoffe*. Deutscher Bundestag.

<https://www.bundestag.de/resource/blob/410104/34eca17202ee9d7380e1df34946335c8/wd-8-028-15-pdf-data.pdf>

World Economic Forum, Ellen MacArthur Foundation & McKinsey & Company (2016). *The New Plastics Economy - Rethinking the future of plastics*. https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/El-lenMacArthurFoundation_TheNewPlasticsEconomy_Pages.pdf

Wuppertal Institut (2021). *Zeit für den Kurswechsel: hin zu einer klimagerechten, ressourcenleichten Gesellschaft. (Zukunftsimpuls Nr 17)*.

You S., Li W., Yan W.-C. & Sonne C. (2021). Green strategies for sustainable packaging. *Science Vol. 372 Issue 6544, p. 802*.

Zimmermann, L., Dierkes G., Ternes, T. A., Völker, C. & Wagner, M. (2019). Benchmarking the in Vitro Toxicity and Chemical Composition of Plastic Consumer Products. *Environmental Science and Technology 53, 19, 11467-11477*.
<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.9b02293>