



TECHNOLOGIELAND
HESSEN

VERNETZT.
ZUKUNFT.
GESTALTEN.

technologieland-hessen.de

Kunststoff

Auf dem Weg zur Kreislaufwirtschaft

Vorwort



Kunststoffe sind unglaublich vielseitig und leicht zu verarbeiten. Deshalb sind sie in unserem Alltag allgegenwärtig, und ihre Produktion wächst exponentiell – mit ihr allerdings auch die Belastung unserer Umwelt durch Plastikmüll sowie die bei Herstellung, Verarbeitung und Verbrennung entstehenden Treibhausgase.

Wenn wir diesen so wichtigen und kaum zu ersetzenden Werkstoff weiter nutzen wollen, müssen wir die schädlichen Begleiterscheinungen seiner Herstellung und seines Gebrauchs minimieren. Ein Schlüssel zu einer zukunftsfähigen Kunststoffwirtschaft liegt in möglichst geschlossenen Stoffkreisläufen. Jedes Gramm wiederverwerteter Kunststoffe spart Ressourcen, vermindert Abfälle und vermeidet CO₂-Emissionen. Wo unmittelbare Wiederverwertung nicht möglich ist, sind Alternativen zum Ausgangsmaterial Rohöl zu entwickeln. Diese können in Biomasse bestehen, aber auch in Technologien des chemischen Recyclings und der Nutzung von CO₂.

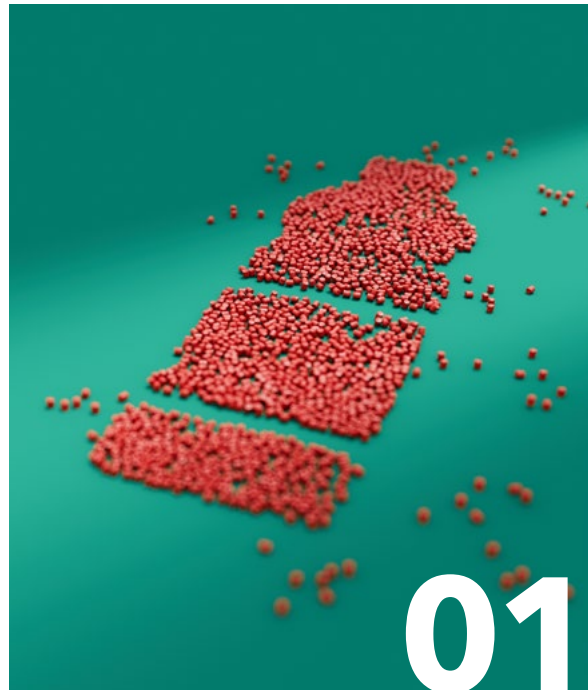
Diese Broschüre bietet einen Überblick über Risiken und Chancen des Werkstoffs Kunststoff und die Rahmenbedingungen einer nachhaltigen Kunststoffwirtschaft. Lesen Sie, welche konkreten Ansätze in Wirtschaft und Wissenschaft verfolgt werden. Ich wünsche eine anregende Lektüre.

Tarek Al-Wazir

Tarek Al-Wazir

Hessischer Minister für
Wirtschaft, Energie, Verkehr
und Wohnen

Inhalt



Kunststoff

Wachstumsmarkt und ökologische Herausforderung

Werkstoff des 21. Jahrhunderts	08
Zukunft durch Kreislaufwirtschaft	16
Risiken und Chancen von Kunststoff	18
Kunststoffwirtschaft in Hessen	22
Handlungsziele für Unternehmen	24

Regelungen

Rechtliche Rahmenbedingungen und Trends

Zunehmend verbindliche europäische Verordnungen	28
Fördermöglichkeiten	30
Deutschlands Kreislaufwirtschaftsgesetz und Umsetzung in Hessen	32

Strategien und Lösungsansätze

Zukunft durch Kreislauf

Kunststoffabfälle vermeiden	38
Stoffkreisläufe schließen	44
Neue Rohstoffe nutzen	60

Praxisbeispiele	
circolution GmbH	40
RIGK GmbH	46
plastship GmbH	47
Koziol ideas for friends GmbH	50
Technoform Bautec	51
Kunststoffprodukte GmbH	
Forschungsprojekt ReCircE	54
MKV GmbH Kunststoffgranulate	56
Sanner GmbH	64
Biowert Industrie GmbH	65
Forschungsprojekt VERENA	72
Forschungsprojekt GAMES	77

Vernetzung

Starke Partner finden

DECHEMA	82
Kunststoff Cluster Nordhessen	83
Fraunhofer IWKS	84
Fraunhofer LBF	85
Kunststoff Innovationsnetzwerk Hessen	86
SuPRA - Sustainable Plastics Recycling & Automation	87
Technologieland Hessen	88

Quellen	92
Abkürzungsverzeichnis	93
Impressum / Bildnachweis	94

01

Kunststoff

Wachstumsmarkt und ökologische Herausforderung

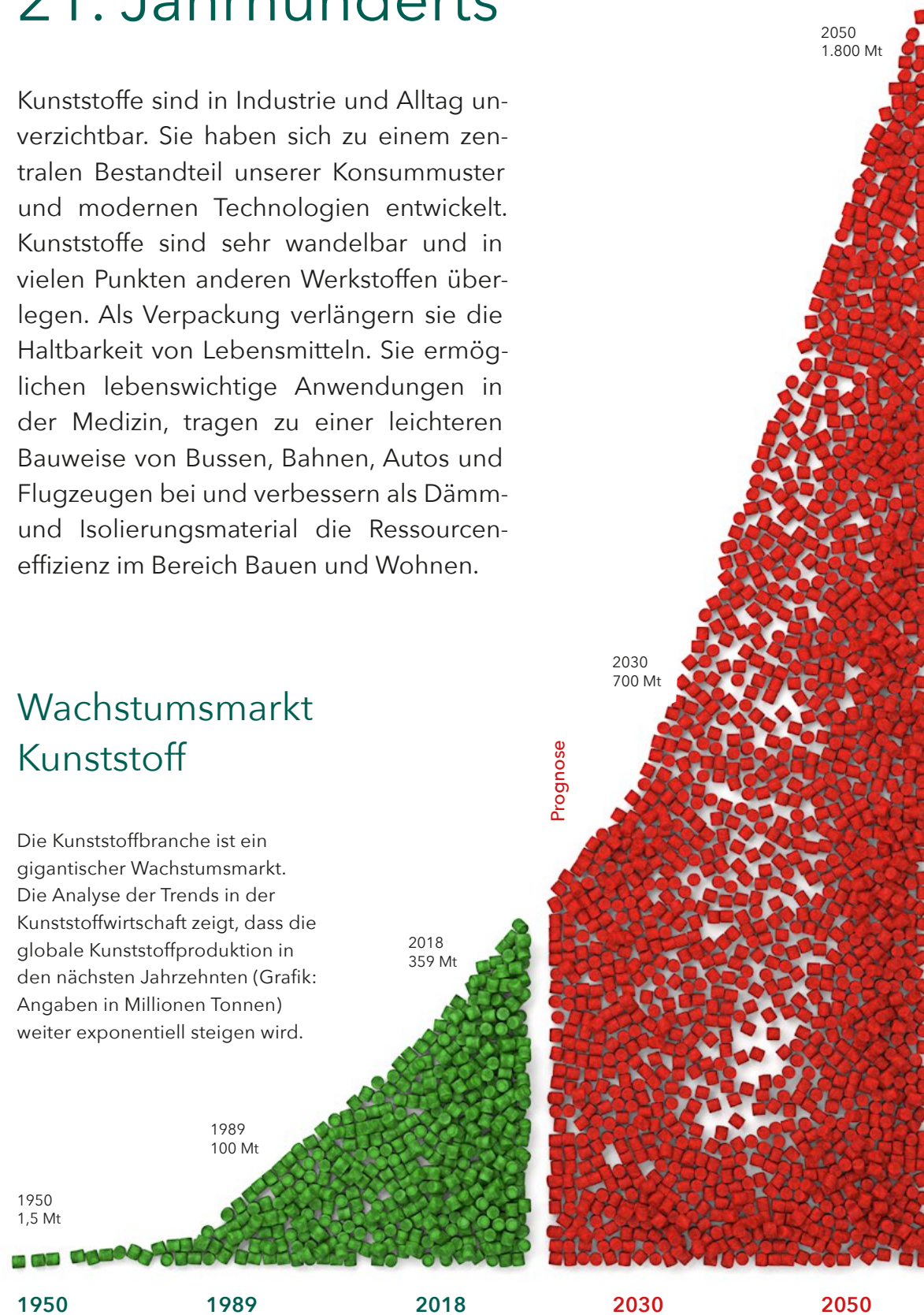
Kunststoffe sind allgegenwärtig und in vielen Branchen nicht mehr wegzudenken. Doch mit dem globalen Marktwachstum wächst auch die ökologische Herausforderung dramatisch. Neue und nachhaltige Lösungen für die Kunststoffwirtschaft werden drängender.

Werkstoff des 21. Jahrhunderts

Kunststoffe sind in Industrie und Alltag unverzichtbar. Sie haben sich zu einem zentralen Bestandteil unserer Konsummuster und modernen Technologien entwickelt. Kunststoffe sind sehr wandelbar und in vielen Punkten anderen Werkstoffen überlegen. Als Verpackung verlängern sie die Haltbarkeit von Lebensmitteln. Sie ermöglichen lebenswichtige Anwendungen in der Medizin, tragen zu einer leichteren Bauweise von Bussen, Bahnen, Autos und Flugzeugen bei und verbessern als Dämm- und Isolierungsmaterial die Ressourceneffizienz im Bereich Bauen und Wohnen.

Wachstumsmarkt Kunststoff

Die Kunststoffbranche ist ein gigantischer Wachstumsmarkt. Die Analyse der Trends in der Kunststoffwirtschaft zeigt, dass die globale Kunststoffproduktion in den nächsten Jahrzehnten (Grafik: Angaben in Millionen Tonnen) weiter exponentiell steigen wird.



Abfälle, Mikroplastik und Treibhausgase: Kunststoff als Risiko

Kunststoffe erzeugen gravierende Probleme für unser Leben, unsere Erde und unsere Umwelt. Sie verursachen ein massives Abfallaufkommen und haben zahlreiche negative ökologische Konsequenzen. Mit den global steigenden Produktionsvolumina wächst die Herausforderung: Die Menge an Altkunststoffen, die unsere Umwelt belastet, nimmt drastisch zu. Kunststoffe sind äußerst widerstandsfähig gegenüber Umwelteinflüssen, werden bislang aber nur zu einem Bruchteil recycelt. Stattdessen sind zahlreiche Einwegprodukte im Gebrauch und die meisten Kunststoffabfälle werden verbrannt oder landen auf Deponien. Mikroplastik bedroht inzwischen weltweit die biologische Viel-

falt und die Gesundheit des Menschen. Fast alle Kunststoffe und Kunststoffprodukte werden nach wie vor aus fossilen Brennstoffen gewonnen. Industrielle Prozesse setzen in jeder Phase des Lebenszyklus Treibhausgase frei: von der Förderung und dem Transport der Rohstoffe über die Raffinierung, Veredelung und Herstellung von Kunststoffen bis zur Entsorgung von Kunststoffabfällen. Der Preis für Erdöl bestimmt weitgehend die Kosten des gesamten Marktes. Über den Einsatz von Primär- versus Sekundärkunststoffen wird in der Regel aus ökonomischen, nicht aus ökologischen Gesichtspunkten entschieden.

Wenn sich die Rahmenbedingungen bis **2050** nicht ändern

- wird sich das Abfallaufkommen durch Kunststoffe nahezu **verdreifachen**;
- werden Kunststoffe ohne Kreislaufwirtschaft für **13 Prozent der Treibhausgase** weltweit verantwortlich sein.

Quellen: PlasticsEurope; Consultic; Conversio (2020), GRID-Arenal (2018): Global plastic production and future trends, URL: www.grida.no/resources/6923.

Was ist Kunststoff?

Kunststoffe bestehen aus Polymeren, langen Molekülketten aus Kohlenstoff. Die meisten Kunststoffe sind keine Reinstoffe. Sie erhalten zusätzlich Additive wie etwa Weichmacher, Stabilisatoren oder Färbemittel. Dies erschwert ihr Recycling erheblich. Kunststoffe haben sehr unterschiedliche Anwendungsbereiche. Dafür werden sie auf vielfältige Art und Weise hergestellt, verarbeitet und designt. Auch ihre Nutzungsdauer variiert sehr stark: Während Kunststoffe im Bausektor viele Jahrzehnte überdauern können, werden sie als Verpackungen meist deutlich weniger als ein Jahr lang genutzt.

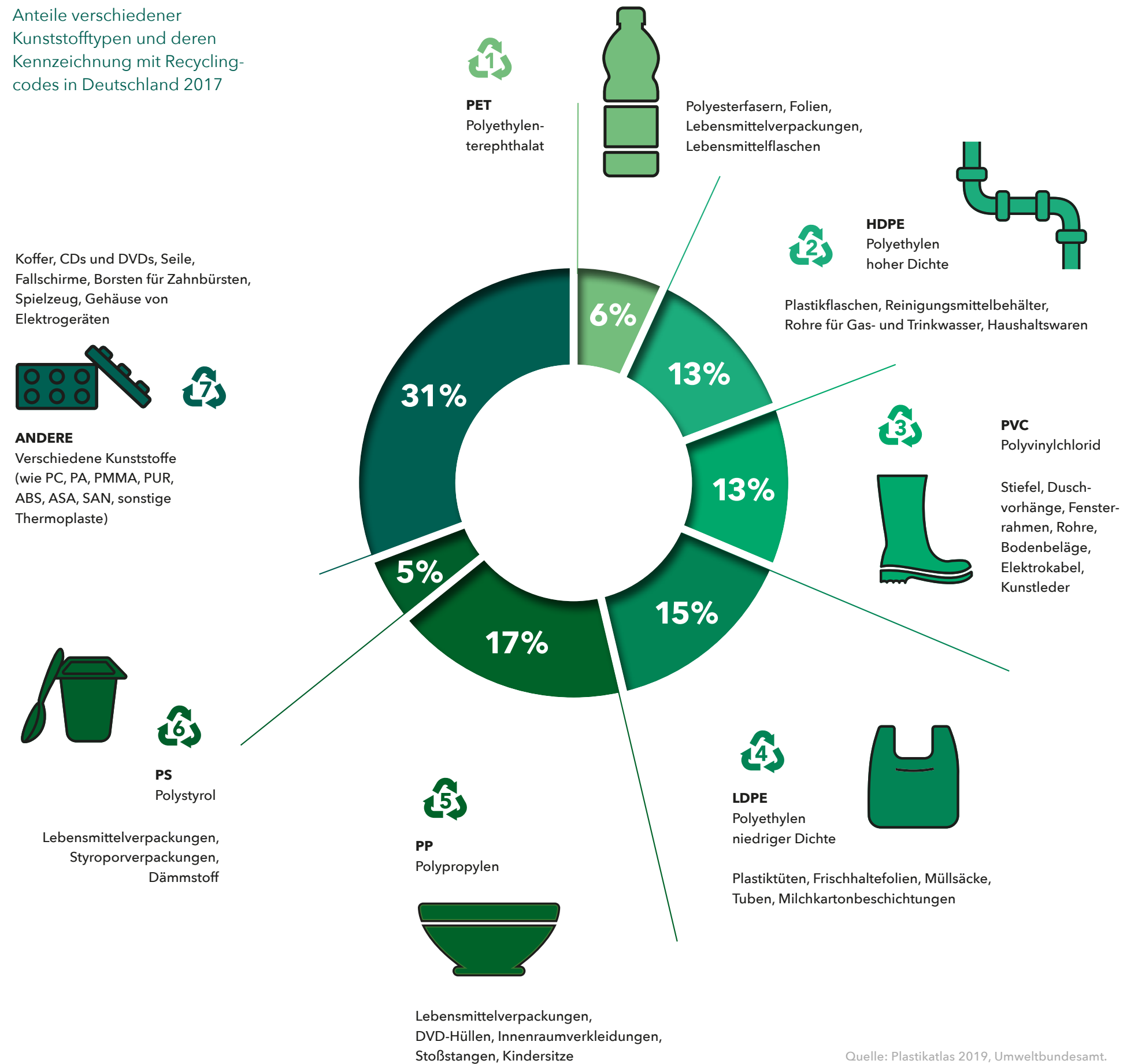
Thermoplaste, Duroplaste, Elastomere

Kunststoffe lassen sich im Wesentlichen in drei Gruppen unterteilen: Thermoplaste werden durch Erhitzen weich und härten beim Abkühlen aus. Sie können zu hundert Prozent erneut eingeschmolzen und wiederverwertet werden. Duroplaste bleiben, einmal in Form gebracht, dauerhaft fest. Sie können dann nicht mehr geschmolzen oder geformt werden. Elastomere verhalten sich unter Druck elastisch - sie lassen sich strecken und stauchen - und gelangen danach wieder in ihre ursprüngliche Form zurück.

Kunststoff und Verbundwerkstoffe

Für viele Anwendungen werden aus Kunststoffen Verbundwerkstoffe hergestellt. Diese bestehen aus zwei oder mehr Materialien, deren Kombination dem Werkstoff neue Eigenschaften verleiht. Kunststoffe werden beispielsweise mit metallischen, keramischen und organischen Werkstoffen kombiniert. Vielfach setzt die Kunststofftechnik Faser-verbundwerkstoffe ein. Dabei verstärken endliche oder endlose Fasern aus Glas oder Kohlenstoff die Festigkeit der Materialien um ein Vielfaches.

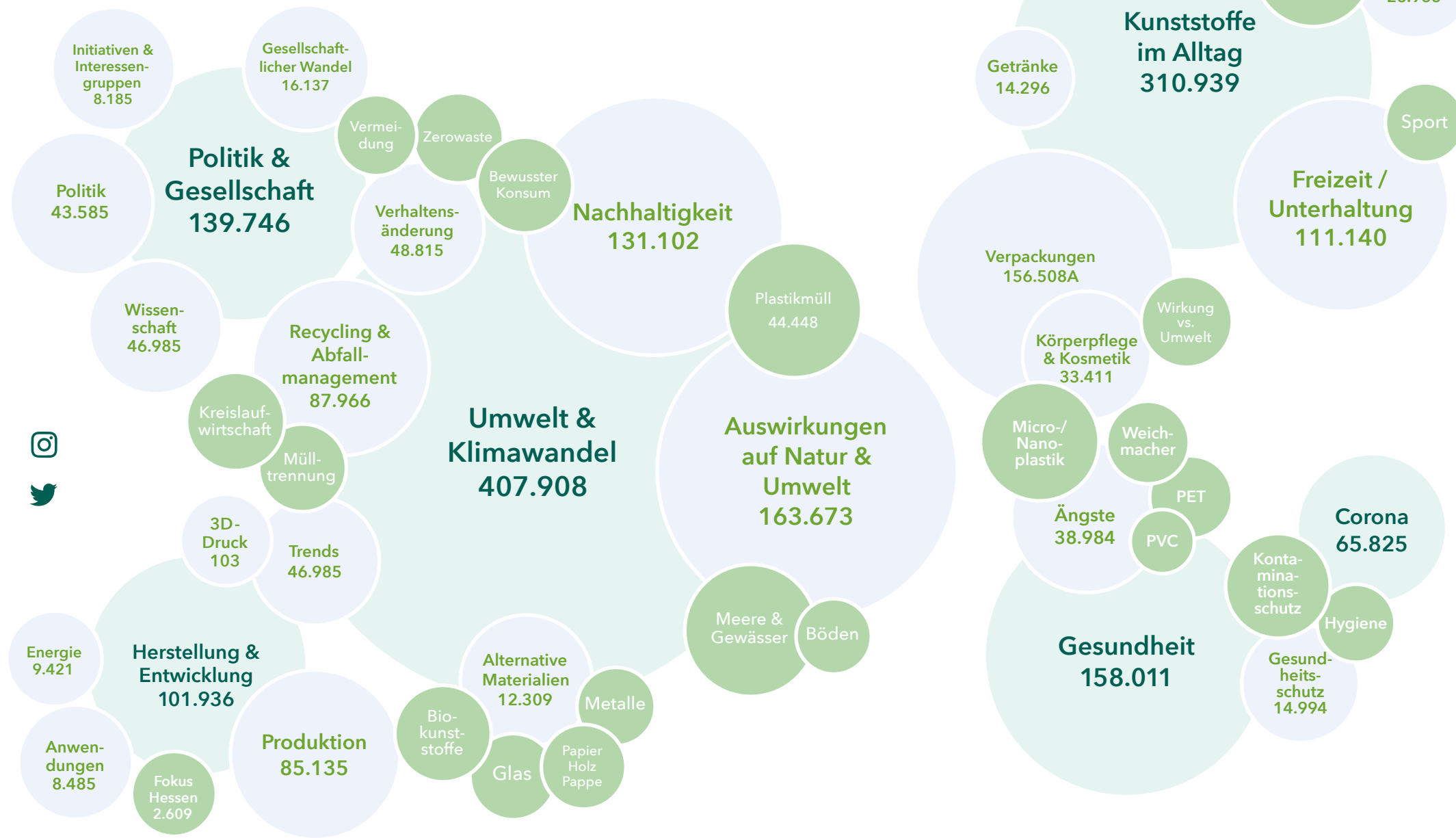
Anteile verschiedener Kunststofftypen und deren Kennzeichnung mit Recycling-codes in Deutschland 2017



Quelle: Plastikatlas 2019, Umweltbundesamt.

Kunststoff in der öffentlichen Debatte

Im Rahmen einer Themenanalyse des ISK-Instituts für Strategie & Kommunikation im Auftrag der Hessen Trade & Invest GmbH wurden für das Jahr 2020 webbasierte News und Social-Media-Beiträge analysiert, die dem Thema Kunststoffe zugeordnet werden können. Untersuchungsgegenstand waren das deutschsprachige Web mit öffentlich zugänglichen Foren, Blogs, Nachrichten und verschiedenen Social-Media-Plattformen. Im Ergebnis spiegelt der öffentliche Diskurs ein breites Spektrum von Einstellungen zum Thema Kunststoffe wider. Dieses reicht von pragmatisch orientierten Befürwortenden über Personen, die Vor- und Nachteile abwägen, bis hin zu strikten Plastikgegnerinnen und -gegnern.



Als ein Ergebnis der Webanalyse stellt eine Themenkarte für das Thema Kunststoff relevante Kern- und Subthemen sowie deren Treiber dar. Dazu wurden die Beiträge mit Hilfe von Social Media-beziehungswise Web Monitoring Tools gesammelt, gefiltert und geclustert. Die Größe der Kreise und die angegebenen Zahlen zeigen, wie häufig einzelne Themen aufgegriffen wurden.

Die Analyse zeigt einen eindeutigen Überhang der negativen Themenbeiträge. Positive Beiträge umfassen etwa positive Äußerungen zur Plastikreduktion und zu Recycling, aber auch die aktuelle Covid-19-Diskussion, in der Kunststoffe positiv besetzt sind.

positive Beiträge
32%

- Schutz vor Corona-Virus
- hygienische, sterile Verpackung - leicht, handlich, stabil
- 100 Prozent recyceltes Plastik
- Verbot von Einweg-Plastik
- Mehrweg- und Pfandsysteme
- Plastikreduzierung

„Ohne Plastikverpackungen würden viele Lebensmittel schneller verderben und im Müll landen.“

„Recycling von Plastik könnte viele CO₂-Emissionen einsparen“

negative Beiträge
68%

- Plastikmüll und Plastiktüten
- Umweltverschmutzung
- Mikroplastik
- nicht abbaubare Verpackung
- Einweg-Plastikprodukte
- PET und Plastikflaschen
- Weichmacher

„Die produzierten Mengen an Plastik müssen deutlich reduziert werden.“

„Inzwischen findet sich Plastik nahezu überall auf der Welt.“

„Noch immer sind viele Verpackungen nicht recyclingfähig und werden verbrannt.“

Summe der betrachteten Beiträge
n = 495.411



Die Kunststoffwirtschaft muss neue Wege gehen

Mit der heutigen Kunststoffwirtschaft sind erhebliche Risiken für unsere Lebenswelt verbunden, die sich zukünftig verschärfen werden. Es besteht dringender Handlungsbedarf. Wirtschaft, Politik und Gesellschaft sind gefordert, gemeinsam Lösungen auf den Weg zu bringen. Europa hat dabei eine Vorreiterfunktion.

Im Jahr 2015 hat die UN-Generalversammlung die nachhaltigen Entwicklungsziele (Sustainable Development Goals, kurz: SDGs) verabschiedet. Die SDGs betreffen das Thema Kunststoff in vielen Aspekten. Für das Ziel nachhaltiger Konsum- und Produktionsmuster müssen Abfallmengen wesentlich verringert werden, das heißt Abfälle deutlich stärker vermieden, recycelt und wiederverwendet werden. Dies erfordert eine immense Anpassung der bisherigen Entsorgungs- und Recyclingstrukturen. Zudem formulieren zwei weitere SDGs den Schutz mariner Ökosysteme sowie Maßnahmen gegen den Klimawandel als Ziele.

Der European Green Deal gibt den Fahrplan für Nachhaltigkeits-Maßnahmen in Europa vor. Die EU-Kommission hat verdeutlicht, dass der Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft ein wesentlicher Bestandteil des European Green Deals sein muss. In einer nachhaltigen Kunst-

stoffwirtschaft müssen sowohl Abfälle vermieden als auch Stoffkreisläufe geschlossen und die rohstoffliche Basis für Kunststoffe verändert werden. Für den langfristigen Erfolg ist ausschlaggebend, dass diese drei Hebel in der Praxis kombiniert werden. Dies fordert Unternehmen und bietet ihnen gleichzeitig neue Entwicklungschancen, sich als Akteure einer Kreislaufwirtschaft zu positionieren.

Auch die Öffentlichkeit reagiert zunehmend kritisch auf das Thema Plastik und Kunststoffe. Das Thema Kunststoffe ist im gesellschaftlichen Diskurs verankert und überwiegend negativ besetzt. Auf digitalen Diskussionsplattformen werden Industrie und Herstellerfirmen in der Verantwortung gesehen, Produkte, Verpackungen und Prozesse nachhaltiger zu gestalten. Die Corona-Pandemie macht die Ambivalenz des Themas deutlich: einerseits die grundsätzliche Kritik an Kunststoff, andererseits die Erkenntnis, dass es beispielsweise im Bereich Gesundheit und Hygiene kaum Alternativen gibt. Recycling hat ein insgesamt positives Image, allerdings wird bemängelt, dass zu wenig Kunststoff in Deutschland recycelt wird. Mit der biologischen Abbaubarkeit von Kunststoffen wird erwartet, dass weniger Plastikmüll entsteht, der die Umwelt und auch die Menschen belastet.

Zukunft durch Kreislaufwirtschaft

Um das Dilemma von Kunststoff als Wachstumsmarkt einerseits und seinem erheblichen ökologischen Fußabdruck andererseits zu überwinden, muss eine Transformation des bestehenden linearen Systems hin zu einer ressourcenschonenden Kreislaufwirtschaft stattfinden.

Nur langsame Fortschritte – die Transformation drängt

Bisher ist das Zielbild einer Kreislaufwirtschaft noch bei Weitem nicht in die Realität umgesetzt. Die klassische Kunststoffwirtschaft umfasst die notwendige Wertschöpfungskette, um Kunststoffe und Kunststoffprodukte zu erzeugen, nutzbar zu machen und letztlich zu verwerten beziehungsweise zu entsorgen. Die Strukturen sind weitgehend linear; es herrscht ein System des „make-use-dispose“ vor. In Europa bedeutet dies in erster Linie Verbrennung und Deponierung am Ende des Lebenszyklus. Nachhaltige Ursprungsmaterialien oder Rezyklate spielen noch keine große Rolle. Der wichtigste Rohstoff für Kunststoff ist nach wie vor das Erdöl.

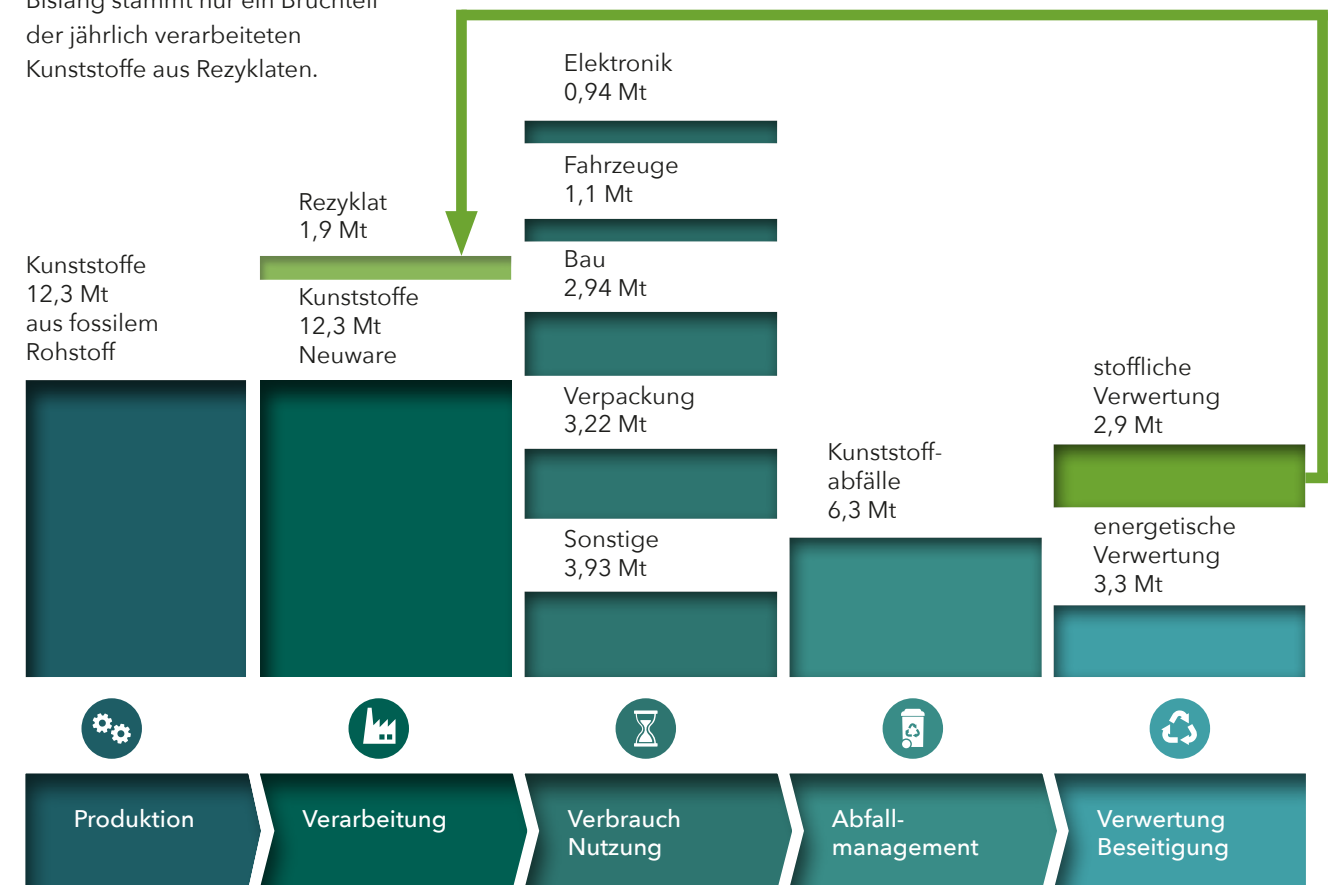
Vor dem Hintergrund des erwarteten exponentiellen Wachstums der Kunststoffwirtschaft ist diese stark lineare Ausrichtung hoch problematisch. Dennoch gibt es erst sehr vereinzelt kleinere Fortschritte im Hinblick auf eine zirkuläre Ausrichtung der Wertschöpfungskette. Da unser Wertschöpfungs-system in vieler-

lei Hinsicht aber auf Kunststoffe angewiesen ist und diese vielfach eine – auch nach ökologischen Kriterien – vorzuziehende Variante zu alternativen Materialien darstellen, muss die Kunststoffwirtschaft umdenken. Sie muss die gesamte Wertschöpfungskette vom Design über die Nutzung bis zur Entsorgung ganzheitlich zirkulär gestalten. So ändert sich nicht die grundlegende Wertschöpfung von Kunststoffen (Produktion, Verarbeitung, Verbrauch), sondern es wird zusätzliche Wertschöpfung durch die Wiederverwendung und die Reparatur von Kunststoffen erreicht. Die Abfall- und Sammellogistik sowie das Recycling und die Aufbereitung von Rezyklaten werden an Bedeutung zunehmen und zusätzlich um Re-Design-Prozesse ergänzt werden.

Für die Weiterentwicklung des Rezyklatmarkts ist der Rohölpreis von entscheidender Bedeutung. Wenn Recyclingkunststoffe preislich nicht marktfähig sind, ist die einzige Chance eine politische Regulierung.

Das lineare System ist nicht nachhaltig

Bislang stammt nur ein Bruchteil der jährlich verarbeiteten Kunststoffe aus Rezyklaten.



Alle Angaben in Millionen Tonnen für das Jahr 2019 in Deutschland. Da sich die Lebens- und Gebrauchsdauer von Produkten stark unterscheidet, fallen nicht alle Produkte im gleichen Jahr wieder als Abfall an. Zudem führen Exporte und Prozessverluste zu einem verminderten Aufkommen an Abfällen und Rezyklaten.

Quelle: Conversio (2020): Stoffstrombild Deutschland



Ziel: ein geschlossener Kreislauf

Um Stoffkreisläufe möglichst vollständig zu schließen, ist nicht nur eine hochwertige Abfallverwertung, sondern auch das Design von Kunststoffprodukten entscheidend. Flankiert werden diese Ansätze durch Abfallvermeidung und den Einsatz neuer, nicht fossiler Rohstoffe, um Verluste auszugleichen, die während der Verarbeitung, Nutzung und Verwertung unvermeidbar sind (siehe Kapitel 3).



Risiken und Chancen von Kunststoff

In vielen Bereichen bedeuten Kunststoffe Chance und Risiko zugleich – dies betrifft die globale CO₂-Problematik ebenso wie die praktischen Einsatzbereiche von Kunststoffen, etwa im Lebensmittel- und Medizinbereich.

1 Kunststoffe und das CO₂-Problem

Im Jahr 2019 haben die weltweite Kunststoffproduktion und -verbrennung mindestens eine knappe Milliarde Tonnen an Kohlenstoffdioxid (CO₂) freigesetzt. Dies entspricht etwa zwei Prozent der globalen Gesamtemissionen. Es wird aber nicht nur CO₂ emittiert, sondern auch andere Treibhausgase wie Methan. Diese werden dann in CO₂-Äquivalenten angegeben. Werden diese anderen Treibhausgase berücksichtigt, kommt man auf viel höhere Emissionen. Nach einer Hochrechnung des „Center for International Environmental Law“ werden sich die Treibhausgas-Emissionen aus der Produktion und Verbrennung von Kunststoffen bis 2050 zusammengenommen auf circa 56 Milliarden Tonnen CO₂-Äquivalente belaufen [1].

Nach dieser Schätzung wäre die Kunststoffwirtschaft bis dahin für zehn bis dreizehn Prozent der globalen Treibhausgas-Emissionen verantwortlich. Mehr Rezyklate könnten diesem Trend entgegenwirken. Der Treibhausgas-Ausstoß hängt auch vom jeweiligen Kunststoff-Polymer und dessen Herstellungsverfahren ab. Inzwischen gibt es sogar erste Pilotprojekte, die CO₂ als Rohstoff nutzen und wieder für die Kunststoffproduktion verwerten (siehe Seite 76).



2 Mikroplastik und Verlust der Biodiversität

Mikroplastik ist in unserer Umwelt mittlerweile allgegenwärtig. Es befindet sich in der Luft, in Lebensmitteln, im Wasser sowie in vielen Kosmetika, Wasch- und Reinigungsmitteln. Im Mittel nimmt der Mensch jede Woche bis zu fünf Gramm Mikroplastik über die Nahrung zu sich. Erste Forschungsarbeiten zeigen, dass mögliche gesundheitliche Langzeitfolgen wie Krebs in Zusammenhang mit den in Plastik beigemischten Chemikalien oder Zusatzstoffen stehen. Laut einer Studie des Fraunhofer UMSICHT [2] sind die Hauptquellen von primärem Mikroplastik der Abrieb von Reifen, gefolgt von freigesetzten Partikeln bei der Abfallentsorgung. Kunststoffabfälle und Mikroplastik tragen zu einer Verschmutzung der Weltmeere bei, schädigen die marinen Ökosysteme und führen zu einem gravierenden Rückgang der biologischen Vielfalt. Jedes Jahr gelangen über drei Millionen Tonnen Mikroplastik in die Umwelt; etwa die Hälfte davon schwimmt in den Weltmeeren [3]. Ein Hauptproblem bei Kunststoffabfällen sind Einweg-Plastikflaschen und Plastiktüten. Es dauert Hunderte von Jahren bis diese sich vollständig zersetzen.



3 Weniger Lebensmittelverschwendung durch Kunststoff

Kunststoffverpackungen verlängern die Haltbarkeit von Lebensmitteln und schützen empfindliche Nahrungsmittel. Ohne Kunststoffverpackungen wäre die Menge an Lebensmittelabfällen im globalen Ernährungssystem um ein Vielfaches größer. Der damit verbundene Ressourcenverlust würde in der Regel auch den Aufwand für die Herstellung, die Nutzung und das Recycling der Kunststoff-Verpackungen bei Weitem übersteigen. Allerdings setzt die Nahrungsmittelindustrie auch viele Verpackungen ein, die in erster Linie Marketingzwecken dienen. Diese Verpackungen verursachen einen großen Teil der überflüssigen Abfälle: Viele Produkte in Einweg-Plastikverpackungen könnten ebenso gut ohne Verpackung oder in Mehrwegverpackungen angeboten werden. Auch hat der Rezyklatanteil im Verpackungssektor noch deutliches Verbesserungspotenzial: 2017 bestanden 90,9 Prozent der Kunststoff-Verpackungen in Deutschland aus Neuware [4]. Im Lebensmittelbereich sind insbesondere rechtliche Aspekte der Grund für den geringen Einsatz von Sekundärrohstoffen. Es gelten spezifische Vorgaben für die Qualität von Rezyklaten mit Lebensmittelkontakt.



4 Kunststoffverpackungen in der Ökobilanz

Wiederverwendbare Kunststoffverpackungen können auch ökologische und ökonomische Vorteile gegenüber alternativen Verpackungslösungen aus anderen Materialien bieten. So sind etwa Mehrwegpfandflaschen aus PET-Kunststoff Mehrweg-Glasflaschen in fast allen Umweltaspekten überlegen: Anders als bei PET-Einwegflaschen ist ihre Treibhausgasbilanz deutlich besser als die von Glas [5]. Selbst bei dem Verbrauch von Rohöl-Äquivalenten schneidet die PET-Mehrwegflasche besser ab als die Glasflasche: Durch ihr weit geringeres Materialgewicht verbraucht der Transport weniger Kraftstoff. Dazu ist die Glasproduktion sehr energieintensiv. Allerdings dominieren derzeit nicht Mehrweg- sondern PET-Einwegflaschen den Markt – insbesondere im Discounter-Bereich. Ihre CO₂-Bilanz ist etwa doppelt so schlecht wie die der Mehrwegflaschen. In der Produktion benötigen sie mehr Rohstoffe. Die mehrfache Verwendung von Mehrwegflaschen spart etwa ein Drittel von fossilen Rohstoffen.



5 Energie sparen durch Kunststoffe im Leichtbau

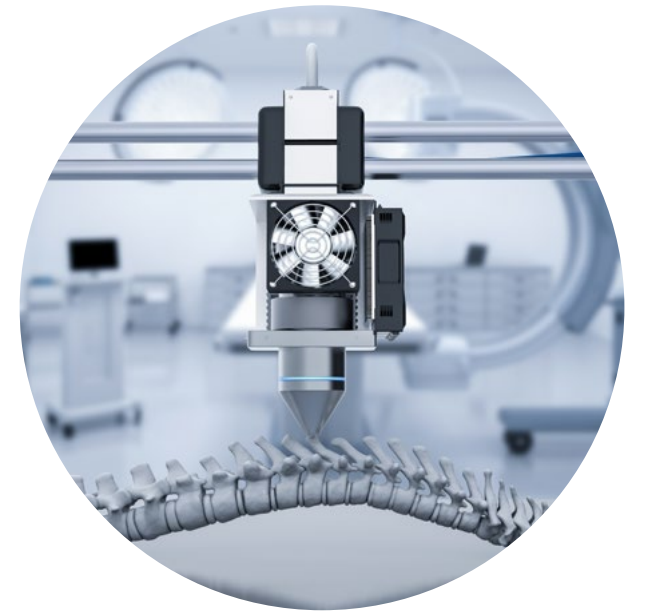
Das geringe Gewicht von Kunststoffen macht diese zum idealen Werkstoff für den Leichtbau. Im Automotive-Sektor ersetzen leichtere und neuartige Kunststoffe zunehmend andere Werkstoffe wie etwa Aluminium. Die Gewichtseinsparungen sind nennenswert. Sie verringern den Kraftstoffverbrauch und reduzieren CO₂-Emissionen. Angepasste Konstruktions- und Fertigungstechniken, die auf Kunststoffen basieren, erhöhen zudem die Sicherheit. Der Leichtbau-Anteil wird in Zukunft zunehmen und auch auf neue Anwendungsbereiche wie mobile Energieerzeugungsanlagen, Kliniken oder Containerstädte ausgeweitet werden.

Allerdings sind die Entsorgungs- und Verwertungsfragen am Ende des Lebenszyklus meist noch ungeklärt. Traditionelle Verwertungskonzepte stoßen durch den geringeren Material-Footprint der Leichtbauprodukte an ihre Grenzen. Die Abfallhierarchie, welche den Umgang mit anfallenden Abfällen, insbesondere Kunststoffabfällen, regelt, findet in diesem Bereich nicht automatisch Anwendung. Um dies zu ändern, muss gewährleistet sein, dass Leichtbau-Produkte so designt sind, dass eine vermehrte Nutzung durch Refurbishment („Second Life“) oder ein vollständiges mechanisches oder chemisches Recycling möglich werden.



6 Kunststoffe für die Medizin

Für unzählige Anwendungen in der Medizin und Medizintechnik sind Kunststoff-Produkte praktisch unverzichtbar. Typische Produkte sind beispielsweise Spritzen, Kanülen oder Infusionsbestecke, aber auch Orthesen und Inlays für Hörgeräte. Kunststoffe sind steril, beständig gegen Flüssigkeiten und nehmen keine Gerüche an. Sie sind auf vielfältige Weise form- und anpassbar und bergen so gut wie kein Risiko für Allergien. Besonders häufig kommen Thermoplaste zum Einsatz, da sie isolierende Eigenschaften haben und nicht knicken. Aus ihnen entstehen etwa wiederverschließbare Infusionsbeutel, Beatmungsschläuche oder exakt dosierbare Spritzen. Zwei besonders häufig eingesetzte Thermoplaste sind PEEK- und ABS-Kunststoffe, die sich durch eine große Temperaturbeständigkeit auszeichnen. Glasfaser-verstärkte Kunststoffe erhöhen nochmals die Robustheit. Da Kunststoff vergleichsweise günstig in der Produktion ist, werden viele der verwendeten Materialien nach einmaligem Gebrauch entsorgt. Dies spart eine aufwändige Sterilisation und schützt vor Infektionen, erzeugt jedoch ein hohes Abfallaufkommen. Methoden wie die Dampfsterilisation erfüllen die Anforderungen, um die Wiederverwendung von Kunststoffen in der Medizin zu erleichtern.



7 Kunststoffabfälle als Exportgut

Abfall ist ein international gehandeltes Wirtschaftsgut. Kunststoffabfälle stellen dabei einen der bedeutendsten Abfallströme dar. Lange Zeit war China der größte Importeur von deutschen Altkunststoffen. Die chinesischen Umweltstandards hinsichtlich der Verwertung und Entsorgung liegen allerdings weit unter den deutschen. Während die Sortierreste aus dem

Recycling in Deutschland einer hochwertigen thermischen Verwertung zugeführt werden, werden diese in China ohne weitere Vorbehandlung entsorgt und vermüllen massiv die Weltmeere. Anfang 2018 setzte ein länger angekündigtes Verbot für den Import diverser Abfälle in China ein. Dies führte jedoch lediglich zu einer Verlagerung des Problems und der Exporte nach Indien, Indonesien, Malaysia, Vietnam und in die Türkei. Die dortigen Verwertungssysteme sind drastisch überfordert; Vietnam verhängte bereits erste Importbeschränkungen. Seit 2021 dürfen nur noch sortenreine und störstofffreie Kunststoffabfälle, die nachweislich zum Recycling bestimmt sind, mit anderen Ländern frei gehandelt werden. Es müssen sinnvolle Entsorgungsstrukturen in diesen Ländern gefördert, primär aber nach Recyclinglösungen in Deutschland gesucht werden.

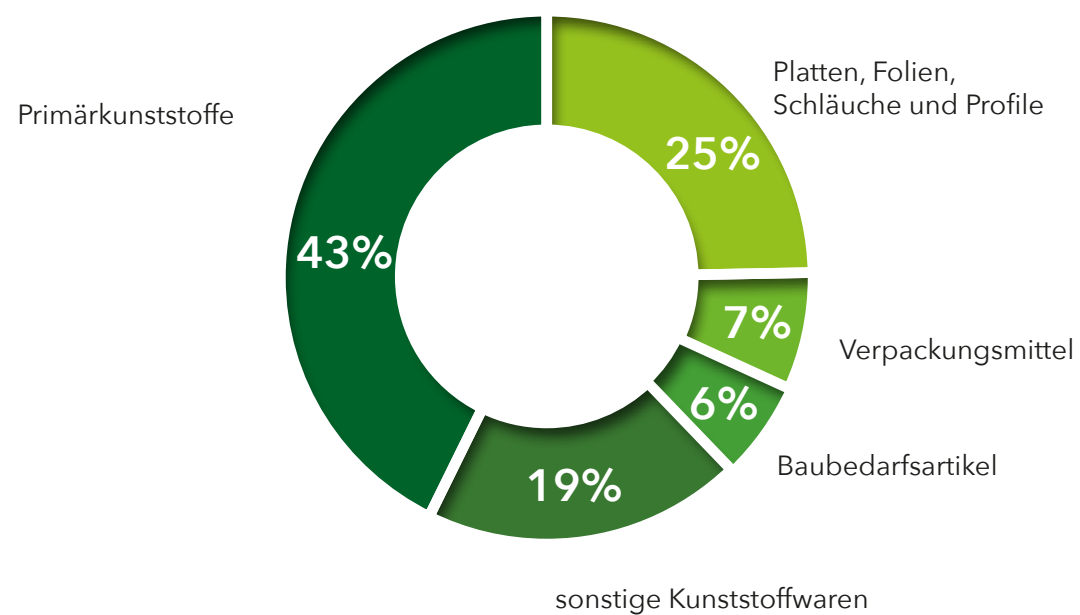


Kunststoffwirtschaft in Hessen

Die Kunststoffwirtschaft ist für Europa und Deutschland von großer Bedeutung – mit hohen Beschäftigungszahlen und Umsätzen. In Hessen dominiert die Kunststoffproduktion: Die Herstellung von Primärkunststoffen erzielte im Jahr 2018 einen Anteil von über vierzig Prozent am Gesamtumsatz der hessischen Kunststoffwirtschaft – fast doppelt so viel wie der deutsche Durchschnitt. Die ökonomische Bedeutung der Herstellung gegenüber der Verarbeitung von Kunststoff ist daher in Hessen deutlich ausgeglichener als in Deutschland insgesamt: Die kunststoffproduzierenden Unternehmen sind mit knapp 170 Mitarbeitenden im Schnitt etwa anderthalbmal so groß wie Unternehmen der kunststoffverarbeitenden Industrie. Als wichtigster Anwendungsbereich sticht die Medizintechnik heraus. Dazu kommt eine mittelständisch geprägte Unternehmens- und Wirtschaftsland-

schaft von weiteren Spezialanwendungen für die unterschiedlichsten Sektoren. Während die Herstellung von sonstigen Kunststoffwaren knapp ein Drittel des Gesamtumsatzes der deutschen Kunststoffwirtschaft ausmacht, ist diese Kategorie in Hessen für nicht einmal ein Fünftel des Markts verantwortlich. Die Herstellung von Verpackungsmitteln aus Kunststoffen beläuft sich mit sieben Prozent des Gesamtumsatzes der hessischen Kunststoffwirtschaft auf etwa die Hälfte des bundesdeutschen Schnitts. Auch die wirtschaftliche Bedeutung der Herstellung von Baubedarfsartikeln liegt mit sechs Prozent deutlich unter dem deutschen Mittel von zehn Prozent. Ausgeglichen wird dies zum einen durch die größere Bedeutung der Herstellung von Platten, Folien, Schläuchen und Profilen in Hessen, aber vor allem durch den bedeutend höheren Anteil der Herstellung von Primärkunststoffen.

Kunststoffproduktion in Hessen nach Sektoren



Quelle: Hessisches Statistisches Landesamt (2019)

Der Schwerpunkt liegt auf der Produktion

Kunststoffwirtschaft Hessen 2019

6,8 Mrd. € Umsatzvolumen, davon **2,9 Mrd. €** in der Primärkunststoffherstellung

7,56% des deutschlandweiten Umsatzes der Kunststoffwirtschaft

6,7% der Bruttowertschöpfung auf Landesebene

25.726 Beschäftigte in **213** Unternehmen

Davon 4.007 Beschäftigte in 24 Unternehmen in der Primärkunststoffherstellung

Quelle: Hessisches Statistisches Landesamt (2019)

Chemie- und Pharma-Standort

Der größte Anteil der Primärkunststoffe wird in Hessen durch Unternehmen der chemischen Industrie hergestellt und exportiert. Der Sektor der chemisch-pharmazeutischen Industrie liegt landesweit mit mehr als einem Viertel des Gesamtumsatzes des verarbeitenden Gewerbes weit über dem Bundesschnitt von rund zehn Prozent. Viele Kunststoffe werden für die Medizintechnik produziert. Die Medizintechnik stellt insgesamt einen Schwerpunkt in der hessischen Wirtschaft dar.



Handlungsziele für Unternehmen

Der Markt für kreislaforientierte Kunststoff-Konzepte entwickelt sich zunehmend zu einem Schlüsselsektor für die Wettbewerbsfähigkeit. Unternehmen können zukünftig nur dann erfolgreich sein, wenn sie sich aktiv für die Kreislaufführung engagieren und das Ziel der CO₂-Neutralität ernst nehmen. Bisher sind in Europa die Fortschritte in Richtung zirkulärer Wertschöpfungsketten – sowohl auf technologischer als auch in Form innovativer Geschäftsmodelle auf ökonomischer Ebene – äußerst gering. Bislang freiwillige Selbstverpflichtungen werden jedoch zunehmend durch verbindliche Vorgaben abgelöst. Zukünftig müssen sich alle Akteure auf strengere rechtliche Vorgaben und wachsende Kundenanforderungen einstellen, die neue Lösungsansätze erfordern. Seit Januar 2021 gilt etwa ein EU-weites Exportverbot für schwer recycelbare Kunststoffabfälle, die vermischt oder verschmutzt sind; seit Juli 2021 ein Produktionsverbot für viele vermeidbare Einwegplastikprodukte.

Faktoren für die Kreislaufführung

- Entwicklung von innovativen Produkten, Geschäftsmodellen und Technologien
- Kooperationen in der Wertschöpfungskette

Für eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft sind Multi-Stakeholder-Ansätze notwendig. Diese müssen sämtliche Akteure aus allen Phasen der Wertschöpfungskette berücksichtigen. Anwender, Inverkehrbringer und Recycler müssen sich stärker austauschen und abstimmen. Hier ist auch die Politik gefragt, entsprechende Anreize zu setzen. Bereits die klassische „lineare“ Kunststoffwirtschaft bezieht eine Vielzahl von Akteuren in den unterschiedlichen Bereichen der Produktion, Verarbeitung, Nutzung und Verwertung beziehungsweise Entsorgung ein. Eine Kreislaufführung von Kunststoffen muss zukünftig zusätzliche Wertschöpfungsstufen und Akteure berücksichtigen.



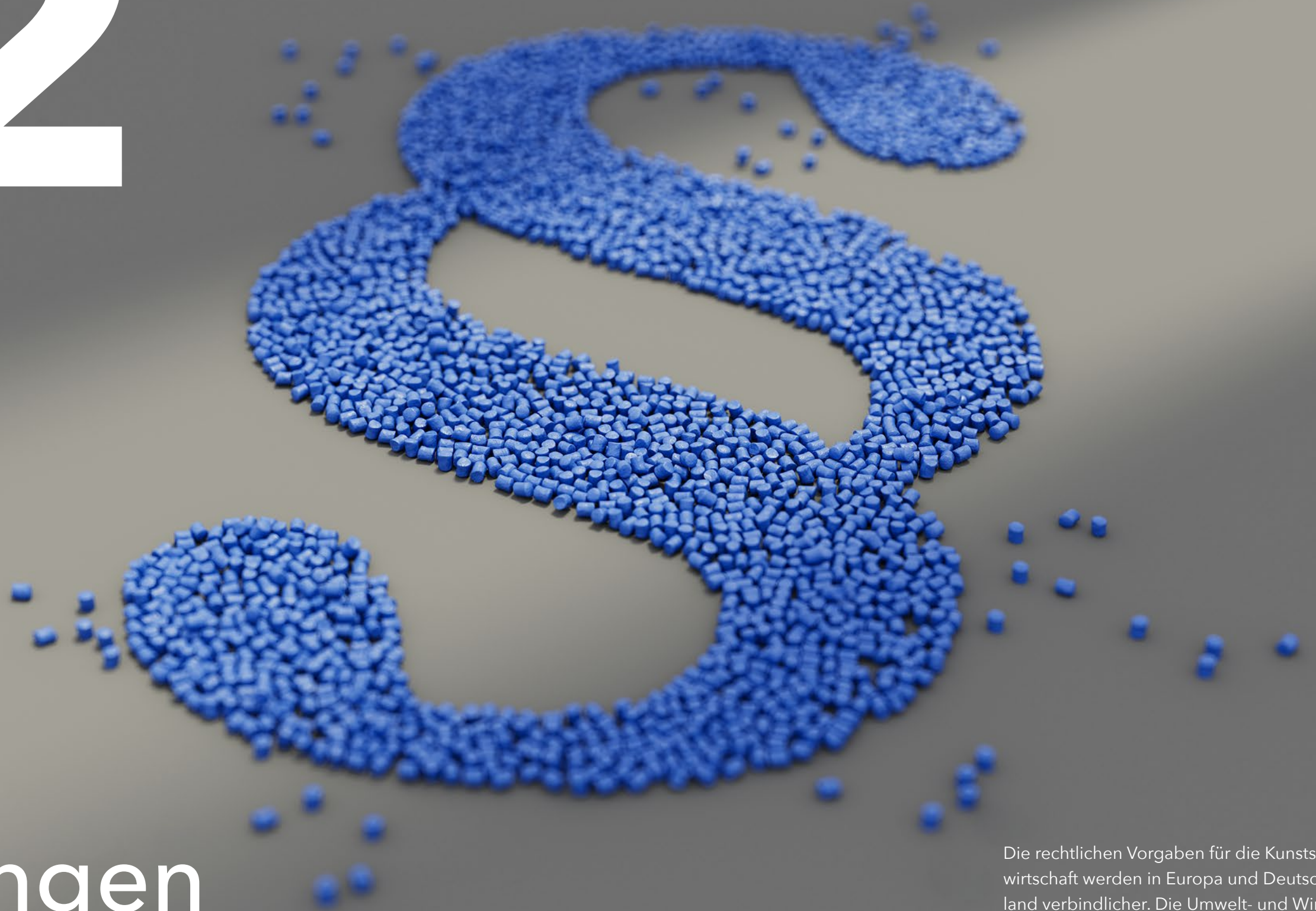
Der Verband der Kunststoffhersteller „Plastics Europe“ sieht in der Schließung der Kreisläufe eine effektive Möglichkeit, die Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Kunststoffwirtschaft zu steigern, dem Klimawandel zu begegnen und damit einen Beitrag zum Erreichen der SGDs der Vereinten Nationen zu leisten. Auch die Ellen MacArthur Foundation verweist auf die enormen Kosteneinsparpotenziale, die sich aus innovativen, zirkulären Geschäftsmodellen mit Lösungen zur Vermeidung, Wiederverwendung und Neugestaltung von Kunststoffabfällen ergeben könnten. Darüber hinaus steigern zirkuläre Geschäftsmodelle die Resilienz eines Unternehmens, indem es sich unabhängig von etwaigen Preisvolatilitäten und Kursschwankungen für Erdöl und andere Primärrohstoffe positionieren kann. Alternative Rohstoffe und Sekundärrohstoffe gewinnen immer stärker an Bedeutung. Insbesondere Biokunststoffe haben in den letzten Jahren mit zehn bis dreißig Prozent Aufwuchs pro Jahr stark zugenommen.

Das Potenzial des Rezyklatmarkts ist noch lange nicht ausgeschöpft. Altkunststoffe und bisherige Kunststoffabfälle werden zunehmend als potenzieller Rohstoff betrachtet und damit mehr und mehr zu einem internationalen Wirtschaftsgut. Die Circular Material Use (CMU) Rate, die Nutzungsrate wiederverwendbarer Materialien, ist in Europa jedoch sehr niedrig. Je höher der CMU-Wert, desto mehr Primärrohstoffe wurden durch Sekundärmaterialien eingespart. Von 2014 bis 2019 ist der CMU-Wert für die EU-Mitgliedsstaaten von 11,1 auf 11,9 Prozent nur geringfügig angestiegen [6]. Auch in Deutschland gibt es noch Luft nach oben. Im Jahr 2019 wurden hier über vierzehn Millionen Tonnen Kunststoffe verarbeitet, aber nur für weniger als ein Siebtel dieser Menge Rezyklate eingesetzt [7]. Ein wichtiger Faktor ist der überwiegende Export von Kunststoffabfällen, die anderorts durch Verbrennung zur Energiegewinnung genutzt, nicht aber recycelt werden. Das exportierte Recyclingpotenzial liegt jährlich bei rund einer Million Tonnen und besitzt einen Wert von über dreihundert Millionen Euro.

Verschiedene Akteure der Kunststoffwirtschaft

- Akteure in Forschung an und Entwicklung von innovativen Kunststoffen,
- Akteure im Bereich Design und Re-Design (Design for x),
- Rohstoffproduzenten,
- Hersteller von Kunststoffen,
- Kunststoffverarbeiter,
- Nutzende (gewerbliche Endverbraucher und private Haushalte),
- Verwerter von Kunststoffen (Sammel-, Sortier- und Rücknahmelogistik, Recycling, Energiegewinnung, etc.),
- Entsorger von Kunststoffen (Deponierung).

02



Regelungen

Rechtliche Rahmenbedingungen und Trends

Die rechtlichen Vorgaben für die Kunststoffwirtschaft werden in Europa und Deutschland verbindlicher. Die Umwelt- und Wirtschaftspolitik verfolgen das Leitbild einer Circular Economy, die den gesamten Lebenszyklus von Produkten im Blick hat.

Zunehmend verbindliche europäische Verordnungen



Die EU-Kommission hat in den letzten Jahren eine Vielzahl von Richtlinien und Verordnungen erlassen, die von den Mitgliedsstaaten umgesetzt werden müssen. Als Konsequenz der „European Strategy for Plastics in a Circular Economy 2018“ werden Themen wie die Vermeidung von Kunststoffabfällen, ein erhöhter Einsatz von Rezyklaten und die Reduktion des Kunststoffeintrags in die Umwelt die kommenden Regulierungen der EU maßgeblich beeinflussen. In den letzten Jahren wurden bereits einschneidende Verordnungen erlassen, die vor allem den Einwegverpackungsmarkt nachhaltig verändern werden. Weitere Regulierungen sind zu erwarten. Ein Hauptpfeiler der EU-Politik und zentrales Element des europäischen Green Deals ist der 2020 veröffentlichte, europäische Aktionsplan für Kreislaufwirtschaft, in dem Kunststoffe eine prominente Rolle spielen.

Der Europäische Aktionsplan für Kreislaufwirtschaft
(veröffentlicht im März 2020)

- hat zum Ziel, die europäische Wirtschaft vom Ressourcenverbrauch zu entkoppeln und den Wandel von einer Wegwerfgesellschaft hin zu mehr Nachhaltigkeit zu unterstützen;
- etabliert Normen und Rechtsvorschriften für eine nachhaltige Produktpolitik;
- beinhaltet konkrete Maßnahmen, Vorgaben und Quoten und adressiert damit die gesamte Wertschöpfungskette der Kunststoffwirtschaft;
- fordert einen höheren Rezyklatanteil von Kunststoffen;
- setzt einen Fokus auf Mikroplastik sowie biobasierte und biologisch abbaubare Kunststoffe;
- stellt die Vermeidung von Abfall und dessen Umwandlung in hochwertige Sekundärressourcen in den Vordergrund;
- prüft ein EU-weites Modell für die getrennte Sammlung von Abfällen und Kennzeichnung;
- minimiert die Ausfuhr von Abfällen aus der EU und bekämpft illegale Abfallverbringungen;
- zielt auch auf global verbindliche Abkommen ab.



Globale Verantwortung

Auf der globalen Ebene gibt es bisher keine verpflichtenden Abkommen, die zum Beispiel die Produktverantwortung von Herstellern oder den Einsatz von Rohöl als Rohstoff für die Kunststoffproduktion regulieren. In unserem globalisierten Wirtschaftssystem werden Kunststoffabfälle jedoch zu großen Teilen exportiert und verursachen steigende Umweltbelastungen im globalen Süden. Ein System zirkulärer Wertschöpfung erfordert eine erweiterte Herstellerverantwortung, die nicht an der deutschen oder europäischen Grenze endet, sondern global gilt. Die EU übernimmt in diesem Prozess eine Führungsrolle.

Förderung für nachhaltige Produkte und Nutzungsmuster

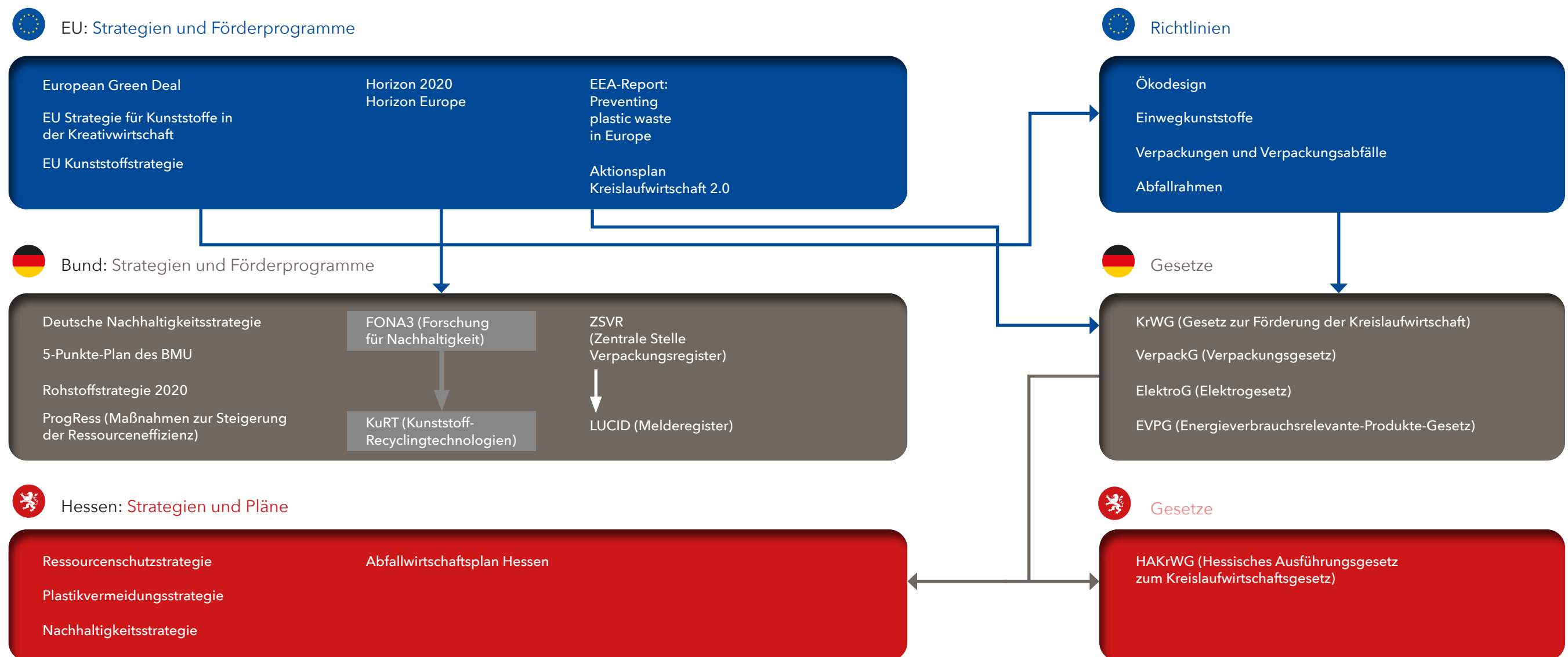
Europäische Strategien, Förderprogramme und Richtlinien geben die Richtung für die Umsetzung auf nationaler Ebene vor. Daran orientieren sich Gesetze und Programme für ganz Deutschland und münden auf Landesebene beispielsweise in der Strategie zur Plastikvermeidung und dem Abfallwirtschaftsplan Hessen.

Verschiedene europäische Förderprogramme unterstützen den Forschungsbedarf im Bereich der Kreislaufwirtschaft für Kunststoffe. Aktuell sind dies insbesondere Ausschreibungen zum European Green Deal und Schwerpunkte innerhalb des Forschungsrahmenprogramms Horizon Europe.

Im Rahmen der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie wurde das Förderprogramm zur Forschung für Nachhaltige Entwicklung (FONA) ins Leben gerufen. Das zugehörige Förderprogramm zu Kunststoffrecyclingtechnologien (KuRT) stellt Mittel für Verbundvorhaben zur Erforschung neuer Technologien, Produkte und Prozesse von Unternehmen, Hochschulen, Forschungseinrichtungen

und Einrichtungen der Kommunen und Länder bereit. Schwerpunkte liegen auf der Förderung von Sortierlösungen für Kunststoffabfälle, der Weiterentwicklung von werkstofflichen, rohstofflichen und chemischen Recyclingverfahren, der Entwicklung von Ansätzen für mehr Kunststoffrezyklate sowie der Entwicklung von Design-for-Sustainability-Konzepten für Kunststoffprodukte in den Bereichen Verpackungen, Bauprodukte, Elektro- und Elektronikaltgeräte und Fahrzeuge. Das Bundesumweltministerium (BMU) fördert Prozessinnovation in der Kunststoffaufbereitung und weitere Forschungsvorhaben im Rahmen eines Fünf-Punkte-Plans und seines Umweltinnovationsprogramms.

Übersicht und Wirkungsgefüge der politischen Rahmenbedingungen



Deutschlands Kreislaufwirtschaftsgesetz

Als gesetzliche Rahmenbedingung für eine zirkuläre Kunststoffwirtschaft auf nationaler Ebene ist insbesondere das deutsche Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) als das zentrale Gesetz des deutschen Abfallrechts zu nennen. Dieses gibt eine fünfstufige Abfallhierarchie vor. An oberster Stelle steht die Abfallvermeidung. Dann erst folgen die Vorbereitung zur Wiederverwendung, das Recycling, die sonstige, vorwiegend energetische Verwertung und Verfüllung sowie die Beseitigung. Das Kreislaufwirtschaftsgesetz verpflichtet die Erzeuger oder Besitzer von Abfällen zur ordnungsgemäßen und schadlosen Verwertung. Weitere Verordnungen zur Umsetzung der EU-Vorgaben konzentrieren sich stark auf das Thema Verpackungen.

Um der Abfallhierarchie gerecht zu werden und eine höhere Wiederverwendungs- und Recyclingquote zu erreichen, sind die dualen Entsorgungssysteme seit 2019 zur ökologischen Gestaltung der Beteiligungsentgelte verpflichtet. Die Systeme müssen dementsprechend Anreize schaffen, damit Hersteller von Verpackungen besonders recyclingfähige Materialien einsetzen und einen hohen Rezyklateinsatz absichern. Zukünftig sollen weitere Regulierungen gesetzlich verankert werden, darunter auch eine Zielvorgabe von siebzig Prozent Mehrweg-Getränkeverpackungen.

Abfallhierarchie nach KrWG ²⁷³



Bundesweite Strategien und Gesetze

- Der 5-Punkte-Plan des Bundesumweltministeriums für weniger Plastik und mehr Recycling von 2018 soll zu einer nachhaltigen Bewirtschaftung von Kunststoffen beitragen und definiert Maßnahmen zu den Schwerpunkten Abfallvermeidung, Ökodesign, Rezyklateinsatz und internationales Engagement gegen Meeresmüll.
- Die Fortschreibung der Rohstoffstrategie 2020 zielt auf eine möglichst hohe Substitution von Primärrohstoffen durch Sekundärrohstoffe ab - und fordert damit auch mehr Kunststoffrezyklate.
- Das Deutsche Ressourceneffizienzprogramm ProgRes hält Leitideen und Handlungsansätze für den Schutz der natürlichen Ressourcen fest.
- Das Abfallvermeidungsprogramm (AVP) hat 2013 erstmals sämtliche Abfallvermeidungsmaßnahmen auf Bundes-, Länder- und kommunaler Ebene zusammengefasst und bewertet.
- Das Elektro- und Elektronikgerätegesetz (ElektroG) verpflichtet seit 2015 unter anderem die Hersteller, Verantwortung für den gesamten Lebenszyklus ihrer Produkte zu übernehmen.
- Das deutsche Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) ist das zentrale Gesetz des deutschen Abfallrechts. Es fördert die Kreislaufwirtschaft zur Schonung natürlicher Ressourcen und definiert dafür eine Abfallhierarchie.
- Das Energieverbrauchsrelevante-Produkte-Gesetz (EVPG) setzt die europäische Ökodesign-Richtlinie in deutsches Recht um.
- Laut dem 2019 verabschiedeten Verpackungsgesetz (VerpackG) hat die Vermeidung von Verpackungsabfällen oberste Priorität.
- Das öffentliche Verpackungsregister LUCID der zentralen Stelle Verpackungsregister (ZSVR) sorgt für Transparenz im Verpackungsbereich.
- Die 2020 beschlossene Einwegkunststoffverbotsverordnung (EWKVerbotsV) verbietet das Inverkehrbringen von bestimmten Einwegkunststoffprodukten und generell von Produkten aus besonders schlecht recycelbaren, nicht wiederverwendbaren Kunststoffen (oxo-abbaubare Kunststoffe).



Umsetzung in Hessen

Die bundesweit erlassenen Gesetze gelten auch auf Landesebene. Hessen hat neben dem Hessischen Ausführungsgesetz zum Kreislaufwirtschaftsgesetz (HAKrWG) zusätzlich konkrete Maßnahmen zur Vermeidung von Plastik in einem Katalog veröffentlicht [8]. Die Reduktion von Kunststoffen spielt dabei eine wichtige Rolle. Bereits 2008 hat Hessen eine Nachhaltigkeitsstrategie verabschiedet, die die gute Lebensqualität, die vielfältige Landschaft und die hohe Wirtschaftskraft Hessens auch für zukünftige Generationen erhalten soll.

03

Strategien und Lösungsansätze

Zukunft durch Kreislauf

Die Transformation in eine Kreislaufwirtschaft erfordert Veränderungen entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Für die Kunststoffwirtschaft sind die wichtigsten Ansatzpunkte: Abfälle vermeiden, Stoffkreisläufe schließen und die rohstoffliche Basis für Kunststoffe verändern.

Mit integrierten Lösungen zum Ziel

Für ein nachhaltiges Wirtschaften ist es entscheidend, die komplexen Wechselwirkungen entlang der Wertschöpfungskette für jeden spezifischen Fall zu analysieren und zu bewerten - von unterschiedlichen Rohstoffen und dazu passenden Herstellungsverfahren bis hin zu möglichen Lebenszyklen, Verwertungsszenarien und Stoffkreisläufen. Angesichts der enormen ökologischen Herausforderung ist die Kombination unterschiedlicher Lösungsansätze zwingend notwendig für einen Wandel in der Kunststoffwirtschaft. Dabei ist die Priorisierung entsprechend der Abfallhierarchie einzuhalten: Können Kunststoffabfälle nicht vermieden werden, so sollen diese möglichst umfassend und häufig stofflich verwertet werden. Ist auch das nicht mehr möglich, so sind weitere Verwertungsoptionen zu prüfen.



Kunststoffabfälle vermeiden

Zur Abfallvermeidung gehören sowohl der quantitative Verzicht auf unnötiges Material wie auch der qualitative Verzicht auf besonders umweltbelastende und schwer recycelbare Inhaltsstoffe. Ressourcenschonende Produktdesigns und zirkuläre Nutzungsmuster ergänzen sich gegenseitig.



Stoffkreisläufe schließen

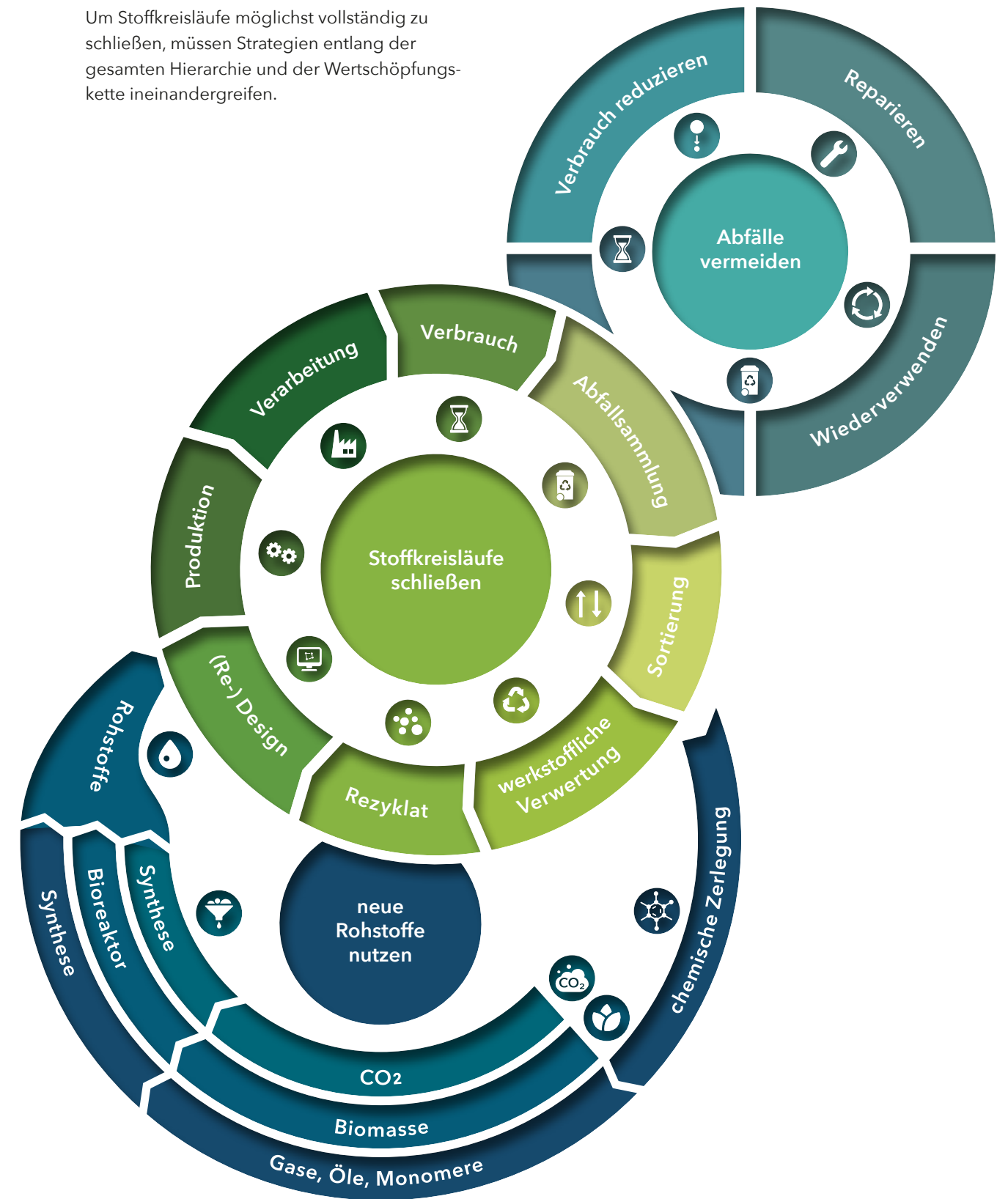
Stärker geschlossene Kreisläufe erhalten den Wert von Produkten, verarbeiteten Materialien oder Rohstoffen über den Produkt-Lebenszyklus hinweg. Neue Entwicklungen für intelligente Sammel- und Verwertungsprozesse und ein recyclingfreundliches Design leisten wichtige Beiträge.



Neue Rohstoffe nutzen

Alternativen zu Erdöl als Rohstoff für die Kunststoffproduktion sind auf dem Weg in eine CO₂-neutrale Wirtschaft essenziell. Mögliche Lösungen bieten etwa biobasierte Produkte, die Verwertung von Gasen und Ölen aus dem chemischem Recycling und CO₂-basierte Kunststoffe.

Um Stoffkreisläufe möglichst vollständig zu schließen, müssen Strategien entlang der gesamten Hierarchie und der Wertschöpfungskette ineinandergreifen.



Kunststoffabfälle vermeiden

Eine konsequente Abfallvermeidung soll das wirtschaftliche Wachstum der Kunststoffbranche von der Umweltbelastung durch Abfälle so weit wie möglich entkoppeln. Die Abfallvermeidung steht an oberster Stelle der in Europa und Deutschland gesetzlich verankerten Abfallhierarchie. Abfälle sollen in erster Linie vermieden und erst in zweiter Linie recycelt oder thermisch verwertet werden. Nur in Ausnahmefällen kann die abfallwirtschaftliche Planung von diesen Vorgaben abweichen, etwa wenn Lebenszyklusanalysen darauf hinweisen, dass abweichende Ansätze vorteilhafter für die Umwelt sind.

Qualitativ und quantitativ umdenken

Erstens müssen die Abfallmengen insgesamt kleiner werden. Zweitens ist es gerade bei Kunststoffen wichtig, zwischen verschiedenen Arten von Abfällen und ihrem jeweiligen ökologischen Fußabdruck zu unterscheiden. Ziel ist der möglichst vollständige Verzicht auf kritische Inhaltsstoffe, die bei der Produktion, Nutzung oder Entsorgung Gesundheit oder Umwelt gefährden. Die Abfallvermeidung setzt an verschiedenen Stellen entlang der Wertschöpfungskette an und kann somit auch von unterschiedlichen Akteuren initiiert werden. Im Idealfall fließt sie konzeptionell bereits in das Produktdesign ein und wird durch geeignete Nutzungsmuster und zirkuläre Modelle fortgeführt.

Unverpackt im Trend

In „Unverpackt“-Läden werden die Produkte ohne Verpackung und stattdessen beispielsweise an Abfüllstationen angeboten. Mittlerweile sind etwa dreihundert Läden beim Bundesverband registriert. Noch handelt es sich um ein Nischenphänomen. Allerdings starten bereits erste Pilotprojekte der großen Akteure auf dem Lebensmittel- und Drogeriemarkt.



Weniger Verpackungsabfall durch Design und Re-Design

Ein durchdachtes Produktdesign kann entscheidend zur Abfallvermeidung beitragen. Gerade der Verpackungsbereich hat noch deutliches Verbesserungspotenzial. Obwohl Verpackungen im Durchschnitt bereits deutlich leichter geworden sind - weniger Gewicht senkt die Materialkosten und spart gewichtsabhängige Lizenzierungsgebühren - hat sich das Plastikverpackungsaufkommen pro Kopf in den letzten zwanzig Jahren mehr als verdoppelt. Grund sind eine Reihe von Negativtrends, die der verbesserten Materialeffizienz entgegenstehen. Dazu gehören kleinere Verpackungseinheiten, Sammelverpackungen von portionierten Einheiten und der zunehmend wachsende Onlinehandel.



Quote für Mehrweglösungen

Neben dem Verpackungsdesign sind Mehrweglösungen ein entscheidender Hebel für die Abfallvermeidung. Da Mehrwegprodukte aufgrund der Anforderungen an ihre Haltbarkeit in der Regel schwerer sind, reduzieren sie Abfälle zwar erst ab einer produktabhängigen Mindestanzahl von Nutzungen - dann aber deutlich. Die Gesetzgebung sieht für Getränkeverpackungen eine Zielvorgabe von siebzig Prozent Mehrweganteil vor. Diese Quote wird jedoch seit Jahren deutlich unterschritten: 2018 betrug sie nur etwa vierzig Prozent [9].



Reparieren, Teilen, Erhalten

Die Nutzungsintensität von kunststoffhaltigen Produkten lässt sich durch zirkuläre Modelle verlängern. Dazu gehören etwa Reparatur und Remanufacturing oder Konzepte des Sharings und Leasings. Produktdienstleistungssysteme setzen durch die Garantie einer gewissen Dienstleistung Anreize für Kunden, langlebigere Produkte zu erwerben. Gerade im Bereich der Alltags-Elektronikprodukte wie Waschmaschinen, Wecker und Staubsauger, sind solche Veränderungen wichtig. Allein diese Produkte binden rund 940.000 Tonnen Kunststoff im Jahr [10].

Mehrwegverpackungen für Lebensmittel als Service

Mehrwegverpackungen zu mieten, anstatt sie zu kaufen, spart Geld, Platz und Zeit. Das Startup circolution hat dafür ein Mehrwegsystem mit einer modularen Verpackungslösung entwickelt, das auf vorhandener Infrastruktur und bestehenden Standards aufbaut und dadurch schnell skaliert werden kann. Modulare Verpackungen aller Größen sollen zukünftig Transport und Reinigung vereinfachen und eine ökologisch sinnvollere Lösung zu Einwegverpackungen bieten. Die White-Label-Verpackung lässt sich durch abwaschbare Etiketten individuell an Marken anpassen. Neben dem Bereitstellen der Verpackung ist das Management der gesamten Lieferkette der Service von circolution: von der Anlieferung der Verpackungen bis zur Abholung, Sortierung, Inspektion und Reinigung. Eine Pay-per-Cycle-Gebühr erspart Kapitalinvestitionen und dank einer bedarfsgerechten Lieferung ist nur eine begrenzte Lagerung erforderlich.



Einfache Formen und zueinander stimmige Größen bieten viel Platz zur Differenzierung für die Etiketten der unterschiedlichen Marken.

2021 wurden die Gründer von circolution mit dem „Hessen Ideen Stipendium“ für wissenschaftsbasierte Gründungsideen aus den hessischen Hochschulen ausgezeichnet. Das vierköpfige Gründerteam will mit circolution ein unabhängiges Pool-Mehrwegsystem für Lebensmittelverpackungen schaffen, das auf alle Lebensmittelsegmente, Einzelhändler und Lebensmittelproduzenten skalierbar ist. 2022 soll

ein erster Test-Pilot unter realen Bedingungen in einigen Supermärkten in Frankfurt erfolgen, um die unkomplizierte Implementierung in die Abläufe des Einzelhandels zu beweisen. Die komplette Automatisierung des vollen Mehrwegkreislaufs inklusive Logistik, Rückholung und Reinigung wird im zweiten größeren Test-Piloten 2023 im Rhein-Main-Gebiet in dreißig bis sechzig Supermärkten getestet.



„Unser Mehrwegsystem, inklusive Verpackung, schafft eine bequeme und nachhaltige Lösung für die Industrie sowie für Konsumentinnen und Konsumenten. Mehrweg richtig gedacht, ist eine sinnvolle Alternative zu Einweg.“

Kirils Jegorovs, Mitgründer

Die Zukunftsvision von circolution: Mit der flächendeckenden Einführung des neuen Mehrwegsystems wird der Übergang zu einer Welt ohne Verpackungsmüll beschleunigt. Dank des Open Access-Prinzips wird das System von Anfang an für jede Größe von Lebensmittel-

herstellern und Verkaufsstellen zugänglich und schafft gleichzeitig eine bequeme und kostengünstige Lösung für Konsumentinnen und Konsumenten. Während der Skalierungsphase entsteht für Pioniere somit viel Wachstumspotenzial.



www.circolution.com

Entwicklung bis 2030



Striktere Vorschriften zur Abfallvermeidung

Der Trend zur Vermeidung von Kunststoffabfällen wird durch die aktuelle politische Debatte und die Schwerpunktsetzungen der EU-Politik weiter an Bedeutung gewinnen. Regulatorische Eingriffe der öffentlichen Hand werden die Umsetzung der Abfallhierarchie zunehmend verbindlich machen. Mit der „Single Use Plastics Directive“ hat die Europäische Kommission bereits erste

Kunststoffprodukte verbieten lassen; weitere Produkte könnten folgen. Insbesondere im Hinblick auf Verpackungsabfälle könnte eine Überarbeitung der Kriterien der „EU Packaging and Packaging Waste Directive“ zukünftig etwa verbindlichere Vorgaben zum Verhältnis von Verpackungsgröße und -inhalt schaffen. Diese Vorgaben dürften über den Hebel der „grünen“ öffentlichen Beschaffung auch dann besondere Relevanz erhalten, wenn sie nicht allgemeinverbindlich festgelegt werden. Einige Ansatzpunkte wurden im neuen Kreislaufwirtschaftsgesetz erheblich gestärkt. Dazu gehört etwa die Klagebefugnis von Anbieterinnen und Anbietern, wenn an ihrer Stelle Konkurrenz bevorzugt wird, die weniger auf die Vermeidung von Kunststoffabfällen achtet. Auch im Rahmen der Umsetzung des Aktionsplans Kreislaufwirtschaft sollen konkrete Abfallvermeidungsziele definiert werden.

Neue Berichtspflichten für Bekleidung und Elektronik

Für zwei relevante Einsatzgebiete von Kunststoffen, nämlich Bekleidung und Elektronikprodukte, sieht das neue Kreislaufwirtschaftsgesetz eine Obhutspflicht zur Vermeidung von Kunststoffabfällen vor. Für beide Produktgruppen gibt es Hinweise, dass relevante Mengen an Überhangproduktionen und Retouren vernichtet werden, obwohl diese Produkte noch gebrauchsfähig wären. Speziell die Bekleidungsbranche verzeichnet einen besonders hohen Anteil an Retouren: Circa vierzig Prozent der Einkäufe werden zurückgegeben. Ab 2022 soll eine Berichtspflicht in Kraft treten. In Zukunft könnten ähnliche Regulierungen weitere Produktgruppen betreffen.



Abfallvermeidung als Geschäftsmodell

Durch technische Neuerungen entstehen auch neue Geschäftsmodelle rund um die Vermeidung von Kunststoffabfällen. 3D-Drucktechnologien etwa können Kunststoffabfälle in der Produktion minimieren. Ihre Energie- und Ressourcenbilanz hängt allerdings stark vom jeweiligen Einsatzfeld und der verwendeten Drucktechnologie ab. Webbasierte Trackingmöglichkeiten,

teilweise in Kombination mit Blockchain-Lösungen, ermöglichen Mehrweglösungen in Bereichen, in denen diese bislang nicht profitabel umsetzbar waren. Beispiele sind Transportverpackungen und „Bowls“ für den Außerhaus-Verzehr.

Ökologische und ökonomische Bewertung

Erhebliche Reduktion von CO₂ und Ressourcenverbrauch

Die ökologische Bedeutung von erfolgreichen Vermeidungsansätzen ergibt sich direkt aus der Abfallhierarchie: In fast allen Fällen reduziert die Vermeidung die CO₂-Emissionen signifikant und verbraucht erheblich weniger Ressourcen. Es gibt jedoch auch Ausnahmen. Speziell Lebensmittel sind in der Herstellung in der Regel deutlich ressourcenintensiver als Lebensmittelverpackungen.

Investitionen amortisieren sich in kurzer Zeit

Auch aus ökonomischer Perspektive kann die Vermeidung von Kunststoffabfällen erhebliche Kosten einsparen. Investitionen amortisieren sich oft in sehr kurzer Zeit. Für die erfolgreiche Vermeidung sind allerdings häufig Veränderungen des Kundenverhaltens notwendig – etwa für den Wechsel auf Mehrweglösungen. Ist die Akzeptanz unsicher, unterbleiben ökonomisch sinnvolle Investitionen noch zu häufig. Auch sorgen unvorhersehbare Entwicklungen wie plötzlich gestiegene Hygieneanforderungen in der Corona-Pandemie für Unsicherheiten.

Stoffkreisläufe schließen

Stärker geschlossene Kreisläufe erhalten den Wert von Produkten, Materialien und Rohstoffen über den Produktlebenszyklus hinweg. Durch Remanufacturing oder Reparatur können gebrauchte Kunststoffprodukte aufbereitet und wiederverwendet werden. Eine hochwertige stoffliche Verwertung erzeugt neue Produkte aus Abfällen und verringert dabei Kosten und Umweltbelastungen. Ausschlaggebend sind gesamtheitliche, kreislaforientierte Konzepte, die beim Produktdesign beginnen und bis zur Verwertung führen. Allerdings sind vollständig geschlossene Stoffkreisläufe in der Praxis unmöglich. Auch Recycling ist immer mit Energie- und Ressourcenaufwand verbunden, der abgewogen werden muss.

Qualität von Rezyklaten verbessern

Gesetzliche Recyclingquoten geben lediglich den quantitativen Anteil an Kunststoffabfällen vor, die einer technisch definierten Verwertung zugeführt werden sollen. Sie beziffern den Anlageninput, nicht aber die bislang oft mangelhafte Qualität der produzierten Sekundärrohstoffe, an der die Weiterverarbeitung oft scheitert. Dabei fordert die Kunststoffstrategie der Europäischen Kommission, den Rezyklatanteil am eingesetzten Kunststoff zu erhöhen. Dafür müssen Recyclingverfahren die in der Industrie geltenden Qualitätsstandards erreichen, und das Produktdesign und die Sammellogistik müssen sich verändern.

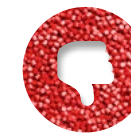
Additive: Chance und Hindernis für den Kunststoff-Kreislauf

In nahezu jedem Kunststoff sind chemische Zusätze enthalten, alleine um ihn verarbeitungsfähig zu machen und die Optik mit Hilfe von Farbpigmenten anzupassen. Vor allem aber verleihen Additive Kunststoffen spezielle Funktionen: Typische Beispiele sind Verstärkungsfasern, Füllstoffe, Naturfasern, Flammschutzmittel, Stabilisatoren, Leitfähigkeitsadditive und Biozide.

Der Umgang mit diesen Additiven ist eine zentrale Frage für das Recycling. So stellen etwa mit Ruß gefärbte Verpackungen das mechanische Recycling vor Probleme, weil sie das Nahinfrarot-Signal von Sortieranlagen teilweise verschlucken. Verstärkungsfasern, wie Glasfasern in Verbundwerkstoffen, können durch eine Mehrfachverarbeitung brechen und so die Eigenschaften des Rezyklats verändern. Hohe Temperaturen können Naturfasern in Verbundwerkstoffen schädigen und

deren Mechanik verschlechtern. Beim Recycling von Mischabfällen können sich unterschiedliche Zusatzstoffe im Rezyklat vermischen. Besonders kritisch sind Kunststoffprodukte mit möglicherweise toxischen Zusatzstoffen, wie sie in einigen Elektroaltgeräten vorkommen. Diese belasteten Produkte dürfen auf keinen Fall zusammen mit anderen Stoffströmen recycelt werden, da ansonsten gefährliche Substanzen in sensible Anwendungen wie Kinderspielzeug gelangen könnten.

Zusatzstoffe können den Recyclingprozess behindern oder auch unterstützen:



- Die Mehrfachverarbeitung kann im Altkunststoff enthaltene Additive schädigen und dadurch das Rezyklat verschlechtern. Mischen sich Additive beim Recycling von sortenähnlichen Materialströmen, kann die Qualität des Rezyklats leiden.



- Um die Qualität von Rezyklaten zu erhöhen, können Rezyklathersteller gezielt weitere Additive zuführen und dadurch die mechanischen Eigenschaften und die Ästhetik verbessern. Die Rezyklate werden vergleichbar zu Neuprodukten und können diese ersetzen.

Beispiel für Additive und deren Wirkung

Additiv	Wirkung
Weichmacher	Modifizierte mechanische/physikalische Eigenschaften und modifiziertes Verarbeitungsverhalten
Pigmente	Ästhetik (Farbgebung)
Stabilisatoren	Verbesserte Langzeit-Wärmestabilität, verbessertes Verarbeitungsverhalten, verbesserte Lichtstabilität, Bewitterungsstabilität
Polymermodifikatoren	Verbesserung der mechanischen/physikalischen Eigenschaften (beispielsweise Schlagzähigkeit)
Metalldesaktivatoren	Verbesserte Langzeit-Wärmestabilität bei metallischen Verunreinigungen
Säurefänger	Verbessertes Verarbeitungsverhalten/Alterungsverhalten



Lösungen durch nachhaltige Rücknahmesysteme



Die 1992 von Kunststoff- und Packmittelherstellern gegründete RIGK GmbH organisiert die Rückführung und Verwertung von Kunststoffen aus Industrie und Landwirtschaft.

Das zertifizierte Fachunternehmen übernimmt die Rücknahme für Abfüller und Verreiber und stellt die gesetzeskonforme Verwertung gebrauchter Verpackungen und Kunststoffe sicher. Ziel ist eine möglichst umfassende Rückführung in den Kreislauf durch werkstoffliches und energetisches Recycling. Die Recyclingquote der durch RIGK gesammelten Werkstofffraktionen beträgt neunzig Prozent und insgesamt existieren acht Rücknahmesysteme. Dazu gehört beispielsweise das Recycling von Kunststoffabfällen aus der Landwirtschaft im Rahmen der Initiative ERDE (Erntekunststoffe Recycling Deutschland) der Industrievereinigung Kunststoffverpackungen e.V.. Gebrauchte Erntekunststoffe wie Siloflach-, Stretch- und Spargelfolie sowie Ballennetze und Presengarne können deutschlandweit kostengünstig an Sammelstellen abgegeben werden. Lohnunternehmer sowie Landwirtinnen und Landwirte erhalten dafür den finanziellen Gegenwert, und das Sammelgut wird zu neuen Kunststoff-Rohstoffen rezykliert.

Die RIGK GmbH veranstaltet zudem gemeinsam mit Partnern das Internationale Recyclingforum Wiesbaden und ist an der Recycling-Plattform plastship beteiligt, mit der sie eng zusammenarbeitet.

„RIGK wurde von der Industrie für Industrie und Gewerbe gegründet. Für Hersteller, Abfüller und Verreiber übernehmen wir die gesetzlichen Rücknahme- und Verwertungspflichten, beraten zu nachhaltigen Recyclinglösungen und entwickeln innovative Kreislaufwirtschaftskonzepte für die individuellen Entsorgungsanforderungen von Unternehmen.“

Markus Dambeck,
Vorsitzender der Geschäftsführung



www.rigk.de

Digitale Industrieplattform für Rezyklate



„Wir möchten einen klaren Informationsmehrwert durch unsere digitale Plattform liefern, auf der sich Rohstoffe voneinander abgrenzen lassen und die Wertschöpfungskette sich miteinander vernetzen kann.“

Andreas Bastian und
Konstantin Humm,
Gründer und
Geschäftsführer



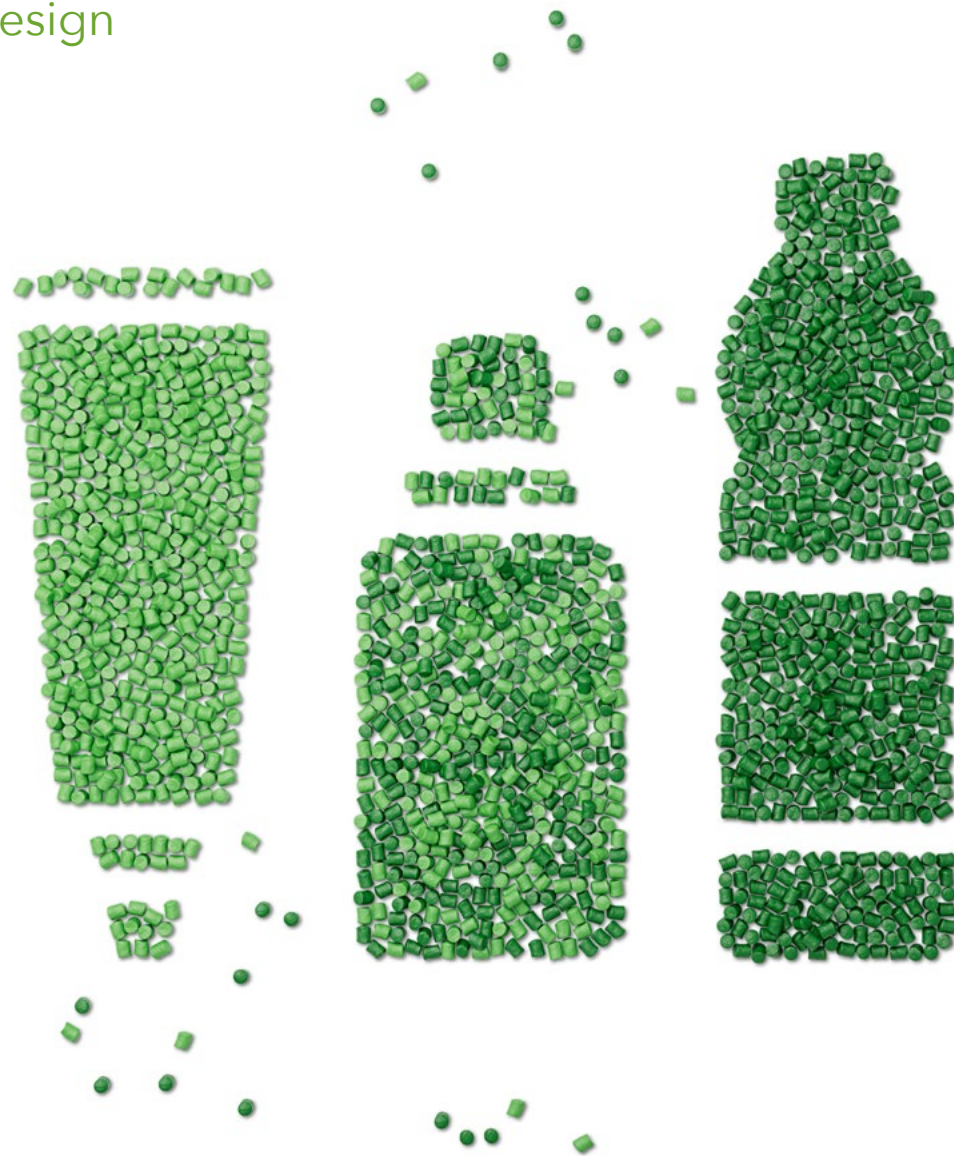
Die plastship GmbH, eine Tochtergesellschaft der RIGK GmbH, fördert die digitale Vernetzung auf dem Weg zu nachhaltigen Kunststoffkreisläufen. Sie unterstützt Unternehmen dabei, sowohl schnell und einfach passende Kunststoffe aus dem Recycling zu beziehen als auch die Recyclingfähigkeit eigener Verpackungen und Produkte zu verbessern und diese zu zertifizieren. Als offizielle Zertifizierungsstelle der Initiative RecyClass bietet plastship einen europaweiten Nachweis der Recyclingfähigkeit an und hilft beim Design for Recycling. Die Plattform stellt einheitliche und vergleichbare Informationen und eine breite Datenbank an Materialspezifikationen zur Verfügung. Kunststoffhersteller und -verarbeiter können dort recycelte Kunststoffe oder Sekundärrohstoffe passender Qualität finden. Die Datenbank liefert Informationen zu Materialherkunft, Verfügbarkeiten, technischen Spezifikationen und Zertifikaten auf einen Blick. plastship sorgt für die Musterbereitstellung und eine effiziente Abwicklung mit dem Hersteller.



www.plastship.com



Recyclingfreundliches Design



Bereits das Produktdesign ist entscheidend dafür, ob am Ende der Nutzungsphase eines Kunststoffprodukts ein sinnvolles Recycling möglich ist. Bislang sind untaugliche Designs noch ein wesentliches Hemmnis für stärker geschlossene Stoffkreisläufe: Sowohl die Kombination unterschiedlicher Kunststofftypen als auch die Verwendung unterschiedlicher Materialien erschweren Verwertungsprozesse; vor allem Verbundwerkstoffe aus Papier und Kunststoffen sind problematisch. Auf Verpackungen behindern Ruß als Schwärzungsmittel, Klebetiketten oder großflächige Sleeves die korrek-

te Aussortierung von Produkten und Materialien. Das ökologisch vorausschauende Design von Verpackungen und auch von anderen Kunststoff-Produkten ist ein kritischer Faktor für das Gelingen einer Kreislaufwirtschaft. Um das Bewusstsein für diese Problematik zu schärfen und die Kommunikation zwischen Recyclern und Designern zu verbessern, sind Design-Guidelines hilfreich. Diese müssen auch den technischen Stand der Sammel- und Sortier-Infrastruktur im jeweiligen Land berücksichtigen und in geeignete Designkriterien übersetzen.

Tools und Design-Guidelines für Verpackungen: Best Practice

- „RecyClass“ ist ein kostenloses Online-Tool, das die Recyclingfähigkeit einer Kunststoffverpackung anzeigt. Anhand eines Klassifizierungssystems von A bis F wird die Recyclingfähigkeit bewertet, und es werden Hinweise zur Verbesserung der Verpackungs-gestaltung gegeben. (<https://recyclclass.eu/>)
- „Recyda“ ist ein noch in der Entwicklungsphase befindliches Softwaretool eines Start-up-Unternehmens. Es bündelt Informationen zu der länderspezifischen Recyclingfähigkeit von Verpackungen. (www.recyda.com)
- Die „Circular Packaging Design Guideline“ [11] der FH Campus Wien gibt Empfehlungen für recyclinggerechte Verpackungen. Schwerpunkt ist die Erfüllung der von der EU vorgegebenen Recyclingquoten für unterschiedliche Verpackungsmaterialien.

Allgemeiner Überblick zum Thema Ecodesign

- Die Broschüre „Mit Ecodesign zu einer ressourcenschonenden Wirtschaft“ [12] betrachtet neben der Recyclingfreundlichkeit weitere Prinzipien des Ecodesigns im gesamten Lebenszyklus von Produkten - von der Herstellung über die Nutzung bis hin zur Verwertung. Sie umfasst zudem neue Geschäftsmodelle, die nicht mehr Produkte, sondern „Nutzwert“ verkaufen.

Im Zuge des erhöhten Umweltbewusstseins vieler Konsumentinnen und Konsumenten stärken recyclingfreundliche Designs das Image eines Unternehmens. Vielfach scheitert ihre Umsetzung jedoch noch aus Kostengründen. Zum Beispiel existieren längst Alternativen zur rußbasierten Schwarzfärbung, die von gängigen Detektorsystemen korrekt aussortiert werden könnten, aber aufgrund fehlender finanzieller Anreize noch nicht

umgesetzt werden. Einige EU-Mitgliedsstaaten haben daher bereits „eco-modulated fees“ eingeführt: Gebühren für das Inverkehrbringen von Verpackungen. In Italien oder Frankreich sind für den Einsatz bestimmter Trübungsmittel hohe Strafaufschläge vorgesehen. Auch nach deutschem Gesetz sind die Dualen Systeme angehalten, solche Aspekte bei ihren Lizenzgebühren zu berücksichtigen.



„Unsere oberste Prämisse ist, dass unsere Produkte recyclingfähig sind. Erstmals setzen wir ab Herbst 2021 auch biozirkuläre Kunststoffe ein. Dabei handelt es sich um Material, das aus entsorgten Pflanzenölen generiert wird. Weiterhin bauen wir auch unsere Organic Kollektion mit Zellulosefasern und thermoplastischem Kunststoff weiter aus.“

Daniel Koziol, CEO

Langlebiges Design – Hundert Prozent recycelbar

Kunststoffprodukte im Haushalt sind beliebt, da sie robust, leicht und durch ihr einfaches Handling auch für Kinder und Seniorinnen und Senioren gut geeignet sind.

Wie gelingt die nachhaltige Nutzung von Kunststoffprodukten im Alltag? Bereits das Produktdesign stellt wichtige Weichen für langlebige und recyclingfähige Produkte, beispielsweise durch die Fertigung in einem Stück, optimierte Wandstärken und die richtige Wahl der Werkstoffe. Das hessische Unternehmen Koziol ist seit 1927 Hersteller von Designprodukten aus Kunststoff für den Wohn- und Küchenbereich und Mitglied im Kunststoff Innovationsnetzwerk Hessen. Das Unternehmen verwendet ausschließlich thermoplastische Kunststoffe, die zu hundert Prozent recycelbar sind. Es befinden sich weder Additive wie Formaldehyd oder Weichmacher, noch schadhafte Pigmente in den Produkten. Bei der Koziol Organic Kollektion wird ein besonders nachhaltiges Material verwendet, unter Verwendung FSC-zertifizierter Holzfasern und biozirkulärem Kunststoff. Letzterer wird aus recycelten Pflanzenölen gewonnen, ist ebenfalls vollständig recycelbar, zudem langlebig, frei von Zusätzen und spülmaschinengeeignet. Mit seinem nachhaltigen Design wurde koziol für den Deutschen Nachhaltigkeitspreis 2021 nominiert.

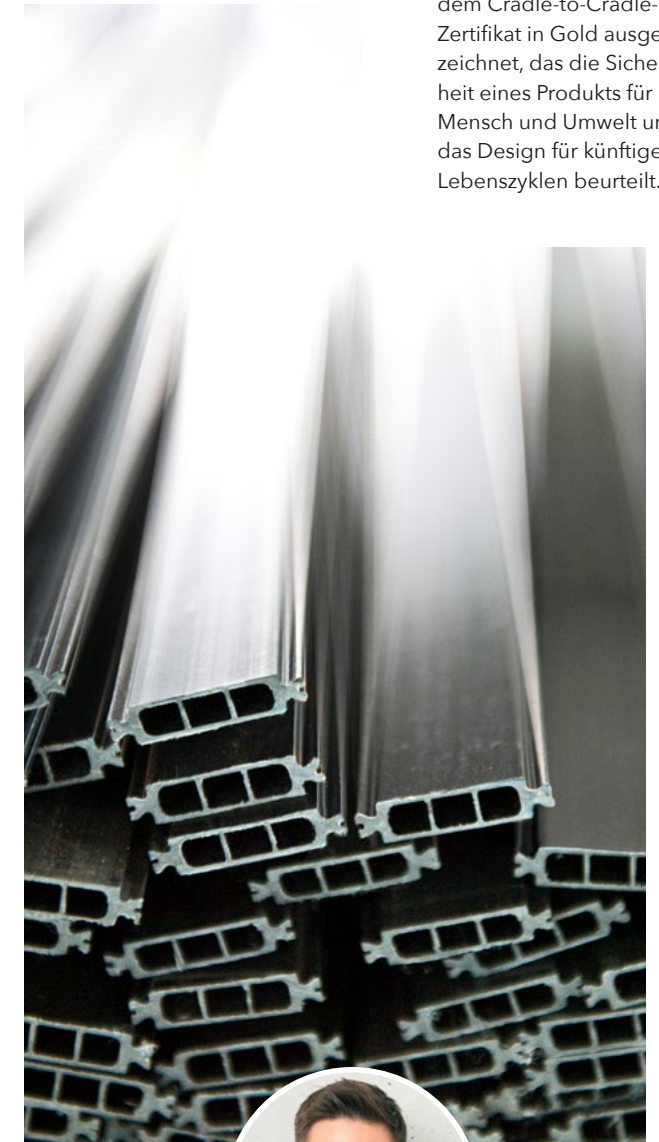


www.koziol.de

Von der Wiege zur Wiege

Technoform ist spezialisiert auf standard- und maßgefertigte Kunststofflösungen für eine Vielzahl von Branchen weltweit. Das Familienunternehmen mit 45 Produktions- und Vertriebsstandorten weltweit beschäftigt rund 1.500 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, davon knapp 800 im Raum Kassel. Spezielle Fertigungsmethoden haben Technoform zum Marktführer in der thermoplastischen Extrusion gemacht.

Von Technoform optimierte Fenster-, Türen- und Fassadensysteme können gegenüber herkömmlichen Produkten 85 Prozent der für Kühlung oder Beheizen benötigten Energie einsparen. So reduziert das Unternehmen CO₂-Emissionen in hohem Maße. Schon bei der Produktentwicklung muss gewährleistet werden, dass das Ende des Produktlebenszyklus nicht auch das Ende der dafür verwendeten Ressourcen ist. Idealerweise entsteht ein Kreislauf, ein „Cradle to Cradle“-System („von der Wiege zur Wiege“). In der Produktion sieht der technische Kreislauf sortenrein trennbare Materialien vor, die später erneut als Sekundärrohstoffe eingesetzt werden können. Ressourcen zirkulieren so im immer gleichen Kreislauf.



Die Isolierprofile von Technoform wurden mit dem Cradle-to-Cradle-Zertifikat in Gold ausgezeichnet, das die Sicherheit eines Produkts für Mensch und Umwelt und das Design für künftige Lebenszyklen beurteilt.



„Im Sinne kommender Generationen handeln. Den Menschen in den Fokus stellen. Intelligente Innovationen entwickeln. Das sind zentrale Prinzipien unserer Unternehmenskultur. Da lag es nah, sich frühzeitig mit dem Designkonzept ‚Cradle to Cradle‘ auseinanderzusetzen.“

Pierre Schlosser, Geschäftsführer



www.technoform.com



Intelligente Erfassungs-, Sortier- und Verwertungstechnik

Die möglichst sortenreine Erfassung beziehungsweise Sortierung ist vielfach die Voraussetzung für ein hochwertiges Recycling von Kunststoffabfällen. Neue Technologien setzen einerseits auf die innovative Kennzeichnung von Produkten, etwa durch digitale Marker, und andererseits auf verbesserte Sortiertechniken und Pfandsysteme.



Sowohl für Mehrweglösungen wie auch für Einwegsysteme setzen sich digital gestützte Technologien zunehmend durch. Datenbasierte Methoden künstlicher Intelligenz unterstützen Erfassungs- und Sortierprozesse.

Fälschungssichere Blockchain-Anwendungen minimieren Risiken des Pfandbetrugs und reduzieren den administrativen Aufwand der Ein- und Auszahlung von Pfandbeträgen.

Erst trennen, dann sortieren

Alternativ zur nachträglichen Sortierung von Kunststoffabfällen können diese bereits durch die Nutzer - Haushalte oder Unternehmen - getrennt und dann separat erfasst und verwertet werden. Vor allem Pfandsysteme erzielen häufig sehr sortenreine Stoffströme. Das PET aus dem deutschen Pfandsystem etwa ist sehr begehrt am Markt, weil es den Einsatz in bottle-to-bottle-Systemen erlaubt:

Aus alten Flaschen werden neue. Zentral ist dabei zum einen der regulatorisch geforderte Nachweis über die Herkunft beziehungsweise ein niedrigerer Störstoffanteil, zum anderen die Weiterverwendung der im Material enthaltenen Additive, die einen beträchtlichen Anteil der Materialkosten ausmachen.

Datenbasiert besser sortieren

Je höher der Anteil an Fremd- oder Störstoffen, desto aufwändiger und damit oft ökonomisch unrentabler wird die weitere Verwertung eines Produkts. Gelingt es, Verpackungen und andere Massenprodukte aus Kunststoffen genauer zu kennzeichnen, werden sie in der Sortierung besser erkannt und können in möglichst reine Kunststoffmengen überführt werden. Als ein Lösungsansatz wurde von verschiedenen Akteuren eine Art „digitales Wasserzeichen“ entwickelt, das ähnlich wie ein Barcode Informationen über die stoffliche Zusammensetzung eines Produkts erfasst. Darauf aufbauend wird an Möglichkeiten geforscht, solch ein Wasserzeichen anstelle zusätzlicher Papieretiketten direkt auf den Kunststoff aufzubringen. Alternativ können Fluoreszenzmarker dem Kunststoff beigemischt werden. Beide Systeme haben Vorteile: Die Wasserzeichen verbleiben nicht im Material. Die Marker sind im Sortierprozess einfacher zu erkennen - auch bei verschmutzten Oberflächen. Auch die klassische Sortiertechnik wird kontinuierlich weiterentwickelt. Heutige Hochleistungssysteme scannen Kunststoffabfallströme mit über dreihunderttausend Abtastpunkten pro Sekunde auf unterschiedlichste Aspekte für die Sortierung. Methoden der künstlichen Intelligenz unterstützen zunehmend bei der Materialerkennung und erlauben verbesserte Sortierprozesse.

Mit künstlicher Intelligenz zu effizienten Stoffkreisläufen

Das Recycling vieler Produkte scheitert daran, dass Informationen zu ihrer Recyclingfähigkeit fehlen. Das Projekt ReCircE (Digital Lifecycle Record for the Circular Economy) setzt deshalb auf die Entwicklung einer digitalen „Lebenszyklusakte“. Diese soll Produktlebenszyklen transparenter machen und eine recyclingfreundliche Produktentwicklung unterstützen, etwa indem sie Informationen zum Produkt mit Sortierprozessen verknüpft. Auf dieser Basis wird eine KI-gestützte Sortierung möglich, die auch einen höheren Rezyklatanteil in Verpackungen ermöglicht. Zudem wird mit ReCircE ein Ressourceneffizienz-Tool entwickelt, das unterschiedliche Varianten von Produktgestaltung, Wertschöpfungsketten und Recyclingverfahren miteinander vergleicht und unter ökologischen und ökonomischen Gesichtspunkten optimiert.

Die Cloud-basierte Lebenszyklusakte soll zukünftig recyclingrelevante Daten digital bereitstellen und so den Informationsaustausch zwischen Produzenten und Entsorgern erleichtern. Sortieranlagen und der Sortiervorgang können mit Hilfe dieser digitalen Lebenszyklusakte präziser und effizienter realisiert werden. Dies bedeutet geringere Ausschussmengen und höhere Produktqualitäten. Die Akte speichert Informationen zum Produkt und dessen Lebenszyklus wie etwa die enthaltenen Materialien und deren Eigenschaften und ermöglicht so KI-basierte Sortierentscheidungen.



„KI-basierte Entscheidungen eignen sich hervorragend, um bei komplexen, volatilen Stoff- und Produktströmen adäquate Entscheidungen bezüglich Umweltauswirkungen sowie Ressourcen- und Energieeffizienz zu treffen.“

Wladislaw Benner, Projektleiter für ReCircE am Fraunhofer IWKS

Aktuelle Forschungsfragen



Das dreijährige Verbundprojekt ReCircE startete im Oktober 2020. Es wird vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) gefördert und von der Firma GreenDelta koordiniert. Wissenschaftliche Partner sind das Deutsche Forschungszentrum für

Künstliche Intelligenz (DFKI), die Fraunhofer-Einrichtung für Wertstoffkreisläufe und Ressourcenstrategie (IWKS) sowie das Fachgebiet Stoffstrommanagement und Ressourcenwirtschaft (SuR) der Technischen Universität Darmstadt.



www.recirce.de

Industrielles Recycling für eine grünere Zukunft



„Wir zeigen Unternehmen Möglichkeiten auf, die eigenen Kunststoffabfälle wieder nutzbar zu machen und monetär vergüten zu lassen. Das alles immer mit Blick auf die Kreislaufwirtschaft.“

Rainer und Renate Zies, MKV-Geschäftsführung



Die MKV GmbH Kunststoffgranulate ist ein familiengeführtes Unternehmen im Bereich des mechanischen Kunststoff-Recyclings. Seit über sechzig Jahren setzt sich das Unternehmen für den Ausbau des Kreislaufwirtschaftssystems ein und betreibt Recycling von der sortenreinen Entsorgung beim Kunden bis zur Vermahlung, Entstaubung, Entmetallisierung, Compoundierung und Regranulierung, immer begleitet von labortechnischen Analysen. Kontinuierliche Produktoptimierungen ermöglichen es, Qualität vergleichbar zu Neuware anbieten zu können. Kunden profitieren von einem reduzierten CO₂-Fußabdruck und günstigeren Rohstoffkosten bei gleichbleibender Qualität. Die Rezyklate der MKV, die ZIA-Compounds, finden sich schwerpunktmäßig in der Automobilindustrie, Elektroindustrie, Bauindustrie und im Consumer-Bereich wieder. Als Partner der kunststoffverarbeitenden Industrie bereitet die MKV jährlich bis zu 9.000 Tonnen Kunststoff auf.



www.mkv-kunststoff.de

Stoffkreisläufe schließen

Entwicklung bis 2030



Stärkere europäische Recycling-Vorgaben

Verbesserte Erfassungs-, Sortier- und Verwertungstechniken werden zukünftig eine immer größere Rolle spielen: Einerseits werden sie durch technologische Weiterentwicklungen praktisch umsetzbar; andererseits werden gesetzliche

Vorgaben neue Standards und optimierte Schnittstellen zwischen Produktdesign und Verwertung unumgänglich machen. Das Europäische Parlament hat gefordert, dass bis 2030 nur noch recyclingfähige Kunststoffprodukte auf den Markt gebracht werden dürfen. Analog zum Metallbereich wird es für die großen Kunststoff-Nutzer interessant, in eigene Hol- und Rücknahmesysteme sowie Recyclinganlagen zu investieren und sich so den Zugriff auf die vom eigenen Unternehmen in Verkehr gebrachten Kunststoffabfälle zu sichern.

Finanzielle Anreize für recyclingfreundliche Verpackungsdesigns



Die Europäische Kommission hat im Kontext des Aktionsplans Kreislaufwirtschaft Vorgaben und finanzielle Anreize für ein recyclingfreundliches Produktdesign angekündigt. Es ist absehbar, dass gerade die großen Inverkehrbringer sowohl bei ihren Eigenmarken als auch bei ihren Zulieferern auf eine Reduktion der Materialvielfalt, auf eine optimierte Restentleerung sowie auf einheitliche Kommunikationsansätze gegenüber dem Kunden hinwirken werden. Ausgehend vom Verpackungsbereich werden sich solche Systeme auch auf weitere Anwendungsbereiche ausdehnen.



Steigende Preise für Sekundärrohstoffe

Viele Akteure der Kunststoffbranche haben sich freiwillig verpflichtet, in Zukunft vermehrt auf Sekundärkunststoffe für Verpackungen und Produkte zu setzen. Eine entsprechende Menge an hochwertigem Rezyklat ist am Markt jedoch noch nicht verfügbar. Teilweise liegen die Preise für sekundäres PET sogar

deutlich über denen für Neuware. Sowohl die Europäische Kommission als auch die Bundesregierung erwägen verpflichtende Mindestrezyklatquoten für Kunststoffe. Auf europäischer Ebene gilt eine solche Quote bereits für Getränkeflaschen; auf nationaler Ebene wird eine entsprechende Verordnung noch diskutiert. Dabei ist auch die Einführung weiterer Pfandsysteme absehbar, um die großen Marken mit ausreichend hochwertigem Rezyklat zu versorgen.

Von Push zu Pull

Die Erfassung, Sortierung und Verwertung wird einen Paradigmenwechsel erfahren: Sämtliche Prozesse werden aus der Perspektive der Qualität und der Absatzmöglichkeiten des Endprodukts gedacht. Die bestehende Infrastruktur ist auf die Erfüllung gesetzlicher Mindestquoten zu minimalen Kosten ausgelegt. In Zukunft werden Kunststoffabfälle so erfasst und verwertet werden, dass die Erträge auch Investitionen in ein optimiertes Produktdesign rechtfertigen. Die Digitalisierung wird dabei eine zentrale Rolle spielen: Sortierparameter könnten zukünftig auf aktuelle Marktpreise für individuelle Kunststofffraktionen angepasst und Qualitätsspezifikationen einzelner Verarbeiter im regionalen Umkreis einbezogen werden. Aus einem „push“-Markt, bei dem eine feststehende Qualität am Markt angeboten wird, wird ein „pull“-Markt, der exakt auf die Qualitätsanforderungen der Industrie hin produziert.



Anreize für Einzelpersonen und Haushalte

Im Hinblick auf Verschmutzungen sind Mehrtonnenerfassungssysteme in Haushalten deutlich effizienter und kostengünstiger als eine nachgeschaltete, automatische Sortiertechnik. Je nach Rohstoffpreis könnte die Vorsortierung in Haushalten zukünftig auch durch finanzielle Anreize gefördert werden und die Sortierqualität von Haushaltsabfällen verbessern. Dafür müssten die Sortierkriterien vereinfacht und besser kommuniziert werden.

Ökologische und ökonomische Bewertung

Ökologisch ein absolut notwendiger Schritt

Stärker geschlossene Stoffkreisläufe können erheblich dazu beitragen, CO₂-Emissionen und Ressourcenverbräuche zu reduzieren. Die Produktion von Sekundärrohstoffen ist deutlich weniger aufwändig als die Herstellung von primärem Kunststoff. Diese Einsparungen rechtfertigen den zusätzlichen Energieverbrauch der benötigten Anlagen und den erhöhten Logistikaufwand voll und ganz. Stärker geschlossene Stoffkreisläufe in Deutschland und Europa reduzieren auch den Export von Kunststoffabfällen und verhindern, dass Müll auf Deponien und letztlich in maritime Ökosysteme gelangt.

Kurzfristige Investitionen für langfristig ökonomische Vorteile

Die ökonomischen Effekte unterscheiden sich in ihrer Kurz-, Mittel- und Langfrist-Perspektive. Kurzfristig sind erhebliche Investitionen in neue Anlagen beziehungsweise in neue Technik für Anlagen notwendig. Neue Sortierprozesse erfordern zunächst einen höheren Logistikaufwand. Der Aufbau neuer Infrastruktur bringt aber auch erhebliche Marktchancen für den, auch global sehr gut aufgestellten, deutschen Maschinenbausektor. Mittelfristig können neue Prozesse skaliert werden, damit Sekundärkunststoff günstiger als Primärkunststoff wird. Vor allem der Non-Food-Bereich besitzt ein großes Kosteneinsparpotenzial, da seine Qualitätsanforderungen mit den gegebenen Stoffströmen einfacher erreicht werden können. Mittelfristig ist auch zu erwarten, dass es immer stärker von der Recyclingfähigkeit und dem Rezyklatanteil von Produkten abhängig gemacht wird, welche Kunststoffprodukte weltweit in Verkehr gebracht werden. Für die exportorientierte deutsche Wirtschaft erscheint der Aufbau von Strukturen zur Beschaffung von hochwertigem Rezyklat daher langfristig zwingend.



Neue Rohstoffe nutzen

Neue Rohstoffquellen für Kunststoff werden immer wichtiger für die Kunststoffproduktion. Denn fossile Rohstoffe sind endlich und ihre weitere Nutzung ist mit der Einhaltung der Klimaziele nicht vereinbar. Neben Treibhausgasen belasten Verschmutzungen aus Fracking und Ölaustritten die Umwelt. Alternativen zu erschließen und zu nutzen, wird drängender. Ziel ist der Umstieg auf nachhaltige Rohstoffe, die möglichst ohne negative ökologische Auswirkungen hergestellt und verwendet werden können. Besonders vielversprechend erscheinen Biokunststoffe, obwohl auch deren ökologischer Fußabdruck differenziert betrachtet werden muss. Weitere Optionen bieten Pilotprojekte, die neue Grundstoffe für Kunststoffe durch chemisches Recycling gewinnen oder CO₂ für die Synthese von Polymeren nutzen. Diese Ansätze befinden sich noch in einer Erprobungsphase. Sie sind noch mit Unsicherheiten und teils hohen Investitionen verbunden, könnten aber auch wirtschaftliche Chancen eröffnen.

Biobasierte Kunststoffe

Biokunststoffe haben aufgrund ökologischer Vorzüge, begrenzter petrochemischer Ressourcen und teilweise neuer Eigenschaftsprofile einen bemerkenswerten Aufschwung erfahren. Als Rohstoffquellen dienen heute zum Beispiel Zuckerrohr, Zuckerrübe, Mais, Weizen, Kartoffeln, Baumwolle, Holz oder biologische Reststoffe. Im Vergleich zur weltweiten Produktionskapazität von Kunststoffen handelt es sich bei biobasierten Kunststoffen zwar aktuell um einen

Nischenmarkt mit nur etwa einem Prozent Marktanteil. Gleichzeitig hat dieser Markt in den vergangenen Jahren hohe Wachstumsraten von bis zu dreißig Prozent verzeichnet und lässt auch zukünftig ein Wachstum von bis zu zwanzig Prozent jährlich erwarten [13].



Von besonderem Interesse sind Biokunststoffe der „New Economy“, die in den letzten dreißig Jahren entwickelt wurden – im Gegensatz zu den Biokunststoffen der „Old Economy“, wie Gummi, Cellophan, Viskose und Linoleum, die noch vor den petrochemischen Kunststoffen entstanden sind. Biokunststoffe der „New Economy“ teilen sich in zwei Hauptgruppen auf: Biopolymere, die eine für Kunststoffe völlig neue chemische Struktur besitzen, sowie „Drop-Ins“, die die gleiche chemische Struktur wie konventionelle Kunststoffe aufweisen, aber in denen petrochemische Monomere durch biobasierte ersetzt wurden.



Von Konsumartikeln bis zur Medizintechnik

Neuartige Biokunststoffe werden heute für zahlreiche Anwendungen eingesetzt: im Verpackungsbereich, für Konsumartikel wie Personenwaagen, Pflanzentöpfe oder Spielzeuge oder im Automotive-Bereich für Kraftstoffleitungen, Abdeckungen und Konnektoren. Sie stecken in Biodübeln und Isolationsprofilen, in Handygehäusen, Lautsprechern und Staubsaugergehäusen. Auch im Medizinbereich steigt das Interesse an Biokunststoffen, etwa für biologisch abbaubare medizinische Instrumente, Knochenersatzmaterial, resorbierbare Schrauben und Implantate. Bis Biokunststoffe konventionelle Kunststoffe im großen Maßstab ablösen

können, sind allerdings noch technologische und regulative Herausforderungen zu bewältigen. Auch die Kommunikation, etwa in Bezug auf große und zum Teil unklare Flächenbedarfe für die Erzeugung der Biomasse sowie die nur teilweise biologische Abbaubarkeit stellen Hersteller vor Herausforderungen.

Chance und Herausforderung „Bio“

Häufig verhindern der Materialpreis, unzureichende Informationen zu Materialeigenschaften und -beständigkeit sowie Schwierigkeiten in der Nachhaltigkeitsbewertung und Kommunikation den Einsatz von Biokunststoffen. Die Materialeigenschaften lassen sich zwar mit Hilfe von Additiven modellieren, diese sind jedoch meist eben nicht biologischen Ursprungs. Biobasierte Additive, die in Biokunststoffen zurzeit erprobt werden, sind biologische Weichmacher, sekundäre Pflanzenstoffe als Biozide, Lignin und Phytinsäure als mögliche Flammenschutzmittel, cellulose-, lignin- und holzfaserhaltige Materialien als Nukleierungsmittel für ein schnelleres Auskristallisieren der Schmelze sowie biobasierte Polymere zur Verbesserung der Schlagzähigkeit.

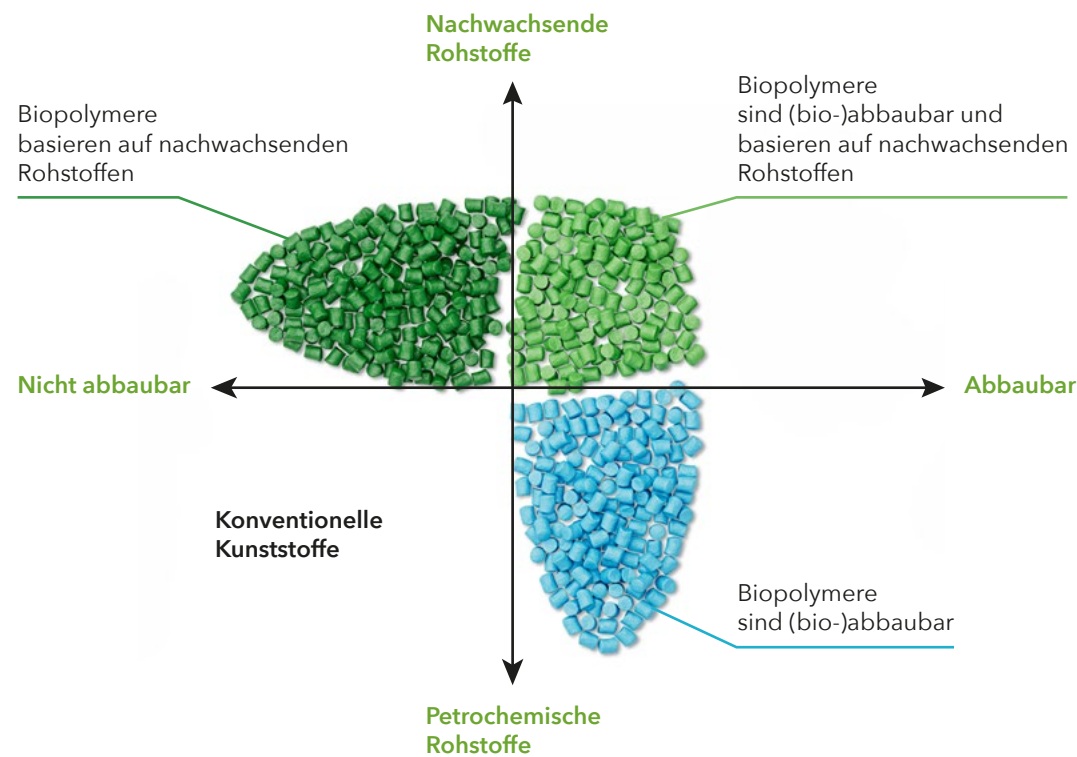
Infopools zu Biokunststoffprodukten

- Produktbeispiele in der MBase Biopolymerdatenbank: www.m-base.de/de/produkte/biopolymerdatenbank.html
- Produktbeispiele bei der Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe: www.fnr.de

Biobasiert, aber nicht immer abbaubar

Die Öffentlichkeit verknüpft hohe Erwartungen mit dem Begriff „Bio“ im Biokunststoff. Meist wird angenommen, dass Biokunststoffe – ähnlich Bioprodukten im Lebensmittelbereich – automatisch gesundheitlich verträglich und für die Umwelt unschädlich sind, unter fairen Arbeitsbedingungen produziert wurden und sich durch verbesserte Produkteigenschaften

auszeichnen. Dieses Idealbild können Biokunststoffe in der Regel noch nicht vollständig erfüllen. Materialien, die auf nachwachsenden Rohstoffen basieren, stammen nicht zwingend aus biologischem Anbau und sind auch nicht automatisch vollständig biologisch abbaubar. Auch gibt es keine klare Abgrenzung zu biologisch abbaubaren, aber petrochemischen Kunststoffen. Die Kommunikation zu Biokunststoffen stellt Hersteller daher vor Herausforderungen.



Einteilung der Kunststoffe hinsichtlich ihrer Rohstoffbasis und Abbaubarkeit

Biobasierte Kunststoffe werden auf Basis nachwachsender Rohstoffe wie Zucker, Stärke, Pflanzenölen und Zellulose hergestellt. Auch Stoffe tierischen Ursprungs, wie beispielsweise Chitin, können die Grundlage für die Herstellung biobasierter Kunststoffe bilden.

Neue Verwertungslösungen notwendig

Biokunststoffe haben grundsätzlich dieselben Verwertungsoptionen wie konventionelle Kunststoffe. In der Praxis funktioniert die Verwertung jedoch noch nicht zufriedenstellend. Zu geringe Stoffstrommengen führen dazu, dass einzelne Biopolymersorten aus Post-Consumer-Abfällen nicht aussortiert werden können, in Mischkunststofffraktionen gelangen und verbrannt werden. Sofern hundert Prozent biobasierter Kunststoff enthalten ist und somit kein petrochemischer Kohlenstoff freigesetzt wird, ist diese Verbrennung immerhin CO₂-neutral. Das Recycling von Drop-In-Lösungen, wie Bio-PE, Bio-PP, Bio-PET gemeinsam mit bestehenden petrochemisch basierten Stoffströmen ist unproblematisch. Die Kompostierung ist wiederum zwiespältig. Erstens sind Produkte aus Biokunststoffen mit der grundsätzlichen Fähig-

keit zum biologischen Abbau nicht zwangsläufig auch kompostierbar: Erst im Zusammenspiel von Material, Geometrie und Kompostierungsziel, etwa für Haushalt oder Industrie, können Produkte als kompostierbar zertifiziert werden. Zweitens scheitern industrielle Kompostierungsanlagen oft bereits an der Einordnung von Biokunststoffen als kompostierbares Produkt und können diese dementsprechend nicht aussortieren. Drittens verarbeiten viele Kompostierungsanlagen Bioabfall in weniger als acht Wochen zu Kompost, ein Zeitraum, der für einen Zerfall beziehungsweise Abbau der Biokunststoffe oft nicht ausreicht. Viertens verbietet die Bioabfallverordnung die Entsorgung typischer im Haushalt anfallender Produkte aus biologisch abbaubaren Kunststoffen wie Verpackungen, Besteck oder Kaffeekapseln über die Bioabfallsammlung. Lediglich zwölf Prozent der Kommunen erlauben bestimmte besonders dünnwandige Bioplastikbeutel für die Sammlung von Bioabfall.

Biokunststoffe mit wenig Flächenbedarf

In den letzten Jahren wurden die Herstellungs- und Produktionswege für Biokunststoffe zunehmend effizienter gestaltet. Insgesamt beträgt der für die nächsten Jahre geschätzte Flächenbedarf für den Anbau von Biomasse zur Kunststoff-Erzeugung nur einen kleinen Anteil an der gesamten landwirtschaftlich genutzten Fläche – und weniger als ein Sechzigstel des heutigen Flächenbedarfs für Biokraftstoffe. Dennoch steht der Anbau in Konkurrenz zu anderen Nutzungsformen. Bei der ökologischen Bewertung ist nicht nur die CO₂-Bilanz, sondern auch die Versauerung und Eutrophierung der Böden zu berücksichtigen. Am vorteilhaftesten ist es deshalb, nicht eigens Biomasse anzubauen, sondern Reststoffe oder Nebenprodukte zu nutzen. [14]

Im Medizin- und Pharmabereich müssen biobasierte Verpackungen besonders strenge Regularien erfüllen.



Biobasierte Kunststoffverpackungen für die Gesundheitsbranche

Die Sanner GmbH ist ein 1894 gegründetes Familienunternehmen mit heute rund sechshundert Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern in Deutschland und weltweit. Das Unternehmen entwickelt und produziert hochwertige Kunststoffverpackungen und Komponenten für Pharma, Medizintechnik, Diagnostik und Healthcare-Produkte und ist Weltmarktführer für Brausetablettenverpackungen und Trockenmittelverschlüsse. Diese bewirken, dass Medikamente ihre Wirksamkeit nicht durch den Einfluss von Luftfeuchtigkeit verlieren. Die Produktentwicklungen des Unternehmens gehen vor allem in Richtung intelligente oder smarte Verpackungen und Komponenten. So bietet Sanner als erstes Unternehmen eine Brausetabletten-Verpackung in einer biobasierten Version an. Die nachhaltigen Verpackungen bestehen zu über neunzig Prozent aus nachwachsenden Rohstoffen und werden beispielsweise aus Mais, Zuckerrohr oder Zellulose gewonnen. Vorteilhaft ist die wesentliche Unabhängigkeit von fossilen Rohstoffvorkommen und der reduzierte CO₂-Fußabdruck. Die geringere Wasserdampf-Permeation sorgt zudem für eine um rund vierzig Prozent längere Haltbarkeit, so dass weniger Nahrungsergänzungsmittel weggeworfen werden müssen.



„Wenn wir die Patientensicherheit und Nachhaltigkeit - und damit die Lebensqualität für hunderttausende Menschen - mit unseren Lösungen Schritt für Schritt verbessern, haben wir unser Ziel erreicht.“

Dr. Johannes Willem van Vliet,
CEO der Sanner Gruppe



www.sanner-group.com

Die Biowert-Produkte entstehen in einem Kreislaufverfahren. Biogas und Abwärme aus der Produktion werden für die Warmwasserbereitung, für Trocknungsprozesse und für die Erzeugung von Ökostrom genutzt.



„Wir sollten nicht einfach ein Produkt herstellen, ohne zu wissen, wo der Rohstoff herkommt und wie es entsorgt werden kann. Mit unserer Grasfabrik arbeiten wir ökologisch, regional und sozial verantwortlich.“

Jens Meyer zu Drewer,
Geschäftsführer



www.biowert.com

Kunststoffe aus Gras

Die Biowert Industrie GmbH betreibt in Brensbach im Odenwald eine grüne Bioraffinerie - die „Grasfabrik“. Sie besteht aus einer Biogasanlage mit zwei Blockheizkraftwerken und einer Grasveredelungsanlage, in der Gras von Dauergrünland und Ackerflächen aus der Region zu verschiedenen stofflichen Produkten verarbeitet wird. Auf der Basis von Grassilage entstehen naturfaserverstärkte Verbundwerkstoffe, Düngemittel, Wärmedämmstoffe sowie Ökostrom und Wärme.

Ziel von Biowert ist es, Rohstoffe in einem Kreislaufverfahren möglichst vollständig zu verwerten, keinerlei Abwässer und Abfälle zu erzeugen und nur ein Minimum an Ressourcen zu verbrauchen. Für die Produktion der Kunststoffe werden Rezyklate und auch Biopolymere verwendet, so dass biobasierte und teilweise sogar vollständig biologisch abbaubare Produkte entstehen. Die Biowert Industrie GmbH ist Teil des Kunststoff Innovationsnetzwerks Hessen.

Entwicklung bis 2030



Neuartige Biomaterialien im Trend

Die Nachfrage nach Biokunststoffen für Anwendungen in unterschiedlichen Branchen wird voraussichtlich weiterhin steigen. Entsprechend wird auch die Produktion von Biokunststoffen zunehmen, und es werden neue Produkte auf den Markt kommen. Ein Großteil davon basiert allerdings auf nicht biologisch abbaubaren Materialien; vollständig biologisch abbaubare Biokunststoffe bleiben die Ausnahme.

Ein neues Polymer auf der Basis von Fructose-Polyethylenfuranoat (PEF) - wird voraussichtlich 2023 auf den Markt kommen. PEF ist mit PET vergleichbar, jedoch eine andere und vollständig biobasierte Polymersorte. Aufgrund seiner Barriereigenschaften eignet es sich hervorragend für Getränkeflaschen. Neue Kapazitäten für biobasiertes PE aus Bio-Ethanol oder Glucose auf Basis von Zuckerrohr, Zuckerrübe, Mais, Kartoffel oder Weizen werden in Europa und Südamerika in Betrieb gehen. Biobasiertes PET wird nur einen kleinen Anteil zu den Gesamtkapazitäten beitragen.

Reststoffverwertung reduziert Flächenbedarf

Zukünftig wird die Verwendung von Rest- und Abfallstoffen als Basis für die Biokunststoffherstellung eine zunehmende Rolle spielen, so dass keine zusätzliche Flächennutzung in Konkurrenz zur Futter- und Nahrungsmittelproduktion entsteht. Denkbar ist etwa die Verwertung von Obstkernen, Nussschalen, Zuckerrübenresten, Heu, Kaffeesatz oder auch weiteren, bisher noch nicht bedachten natürlichen Reststoffen als Füll- oder Verstärkungsstoffe, Farbstoffe oder Additive. So können Bioverbundwerkstoffe entstehen, die zu hundert Prozent auf nachwachsenden Rohstoffen basieren. Auch eine Mehrfachnutzung und Recycling von Bioverbundwerkstoffen ist grundsätzlich nicht ausgeschlossen und muss im Einzelfall geprüft werden. Mit der Verwendung von bisher ungenutzten Reststoffen können neue Absatzmärkte gewinnbringend erschlossen werden. Die Verbesserung der Flächeneffizienz ist essenziell. Denn bislang muss das Bundesland Hessen für die Deckung des hessischen Bedarfs an Biomasse für Nahrungsmittel und Bioenergie bereits auf Importe zurückgreifen, für deren Herstellung umgerechnet circa 1,32 Millionen Hektar Flächen außerhalb Hessens beansprucht werden [15].



Ökologische und ökonomische Bewertung

CO₂-Bilanzen noch nicht gut vergleichbar

Biokunststoffe und auf Biokunststoffen basierende Produkte sind nicht automatisch nachhaltiger oder ökologisch sinnvoller als konventionelle Kunststoffe und Kunststoffprodukte. Sie müssen differenziert beurteilt werden und nicht immer ist ein petrochemisches Pendant zu einem Biomaterial vorhanden. Ein übergreifender Vergleich beider Kunststoffarten wird auch dadurch erschwert, dass Informationen zu CO₂-Bilanzen aus unterschiedlichen Quellen aus Industrie und Wissenschaft stammen, deren Vorgehensweisen nicht immer einheitlich und nachvollziehbar sind.

Bio aus Reststoffen und Nebenprodukten ökologisch vorteilhaft

Nach bisherigem Wissensstand können Biokunststoffe sowohl ökologische Vor- als auch Nachteile haben. Während sie in der Regel weniger Treibhausgase erzeugen und weniger Energie verbrauchen, kann es durch Eutrophierung und Versauerung der Böden zu größeren Belastungen kommen, wenn nachwachsende Rohstoffe eigens für die Kunststofferzeugung angebaut werden. Vorteilhafter ist deshalb die Nutzung von Abfall- und Reststoffen. Unter ökologischen Gesichtspunkten gibt es in der Herstellung von biobasierten Kunststoffen daher noch großes Optimierungspotenzial, beginnend beim Anbau der nachwachsenden Rohstoffe über die Nutzung von landwirtschaftlichen Nebenprodukten wie Maisstroh oder Zuckerrohrbagasse bis hin zur Erzeugung von Prozessenergie und deren Nutzung als zusätzliche Rohstoffquelle.

Materialpreis noch vergleichsweise hoch, aber perspektivisch lohnend

Ökonomische Gründe sind oft ausschlaggebend dafür, dass biobasierte Kunststoffe sich bisher noch nicht durchgängig im Markt durchgesetzt haben. Der Materialpreis für Biokunststoffe liegt in den meisten Fällen doch noch deutlich über dem seiner petrochemisch basierten Pendanten. Dieser hohe Materialpreis entsteht nicht zuletzt dadurch, dass die Einführung und Entwicklung neuer Materialien oder Synthesewege zunächst nur ein geringes Marktvolumen betrifft und hohe Entwicklungskosten mit sich bringt.



Grundstoffe aus chemischem Recycling

Viele Kunststoffprodukte sind bisher als Werkstoffe nicht recyclingfähig und werden verbrannt, also nur energetisch verwertet. Chemisches Recycling ist ein möglicher Lösungsansatz, auch diese herausfordernden Produkte sinnvoll weiter zu verwerten. Beim chemischen Recycling werden die Polymere der Kunststoffabfälle mittels thermochemischer und chemischer Prozesse in ihre chemischen Grundbausteine zerlegt. Diese können dann in den Kreislauf der chemischen Industrie zurückgeführt werden. Im Gegensatz zum werkstofflichen Recycling kann das chemische Recycling deutlich höhere Produktqualitäten erzielen und somit die meisten Primärrohstoffe ersetzen. Allerdings verbraucht es auch mehr Energie, kann kritische chemische Zusätze aus den Kunststoffen freisetzen und benötigt technische Hilfsmittel wie chemische Lösungsmittel oder Katalysatoren, die auf ihre Umweltverträglichkeit geprüft werden müssen.

Rohstoff statt Werkstoff

Das Konzept des chemischen Recyclings fokussiert sich auf die in einem Werkstoff enthaltenen Rohstoffe. Dadurch ist es flexibler im Vergleich zum werkstofflichen Recycling und kann auch mit Mischabfällen und schwierigen Abfällen umgehen. Chemisches Recycling kommt allerdings erst nach der fehlenden Eignung des Abfalls für werkstoffliches Recycling als Alternative zur energetischen Verwertung durch Verbrennung in Betracht.

Technologische Herausforderung mit großem Entwicklungspotenzial

Damit sich das chemische Recycling in großem Maßstab umsetzen lässt, gibt es noch erheblichen Forschungsbedarf [16]. In kleinem Maßstab sind Verfahren wie die Pyrolyse, Verflüssigung oder Gasifizierung bereits erprobt und zeigen ein hohes Entwicklungspotenzial. Entsprechend groß ist auch das Interesse der Kunststoffproduzenten. Es gibt zahlreiche Pilotprojekte, die eine Umsetzung im industriellen Maßstab anstreben. Im Vergleich zum werkstofflichen Recycling sind die ökologische Bewertung und ökonomische Kriterien allerdings noch eine Herausforderung. Das chemische Recycling erfordert den Betrieb komplexer technischer Anlagen. Probleme wie Verunreinigungen können zu kompletten Produktionsausfällen führen. Zudem müssen lokal verfügbare Inputmengen erst besser abschätzbar werden, damit die Verfahren ökonomisch sinnvoll umgesetzt werden können. Vor allem im Bereich der Mischabfälle gibt es noch viele offene Fragen. Nationale und internationale Pilotprojekte erforschen etwa die sortenreine Nutzung für die Herstellung von Polystyrol oder die Umwandlung von Plastikabfällen in Öl und Raffinerieprodukte.

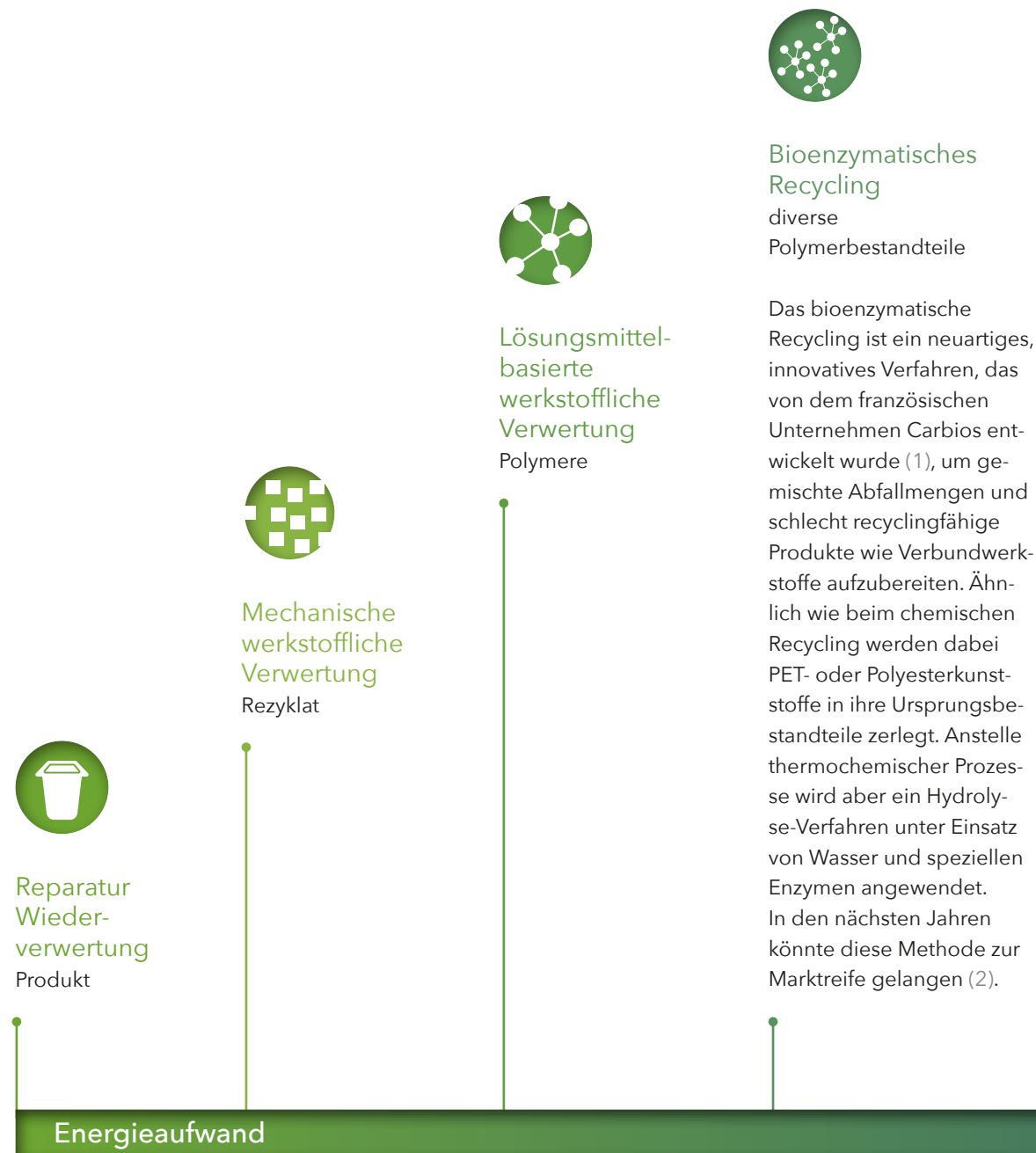


Chemisches Recycling

- kann eine wichtige Ergänzung zum mechanischen Recycling bieten
- eignet sich besonders für nicht oder schwierig werkstofflich verwertbare Kunststoffabfälle;
- umfasst begrifflich alle Verfahren zur Depolymerisation von Kunststoffen;
- produziert je nach Verfahren Monomere, zusammengesetzte Kohlenwasserstoffe oder Synthesegas;
- ist der energetischen Verwertung grundsätzlich vorzuziehen.

Recycling-Verfahren im Vergleich

Je nach Zusammensetzung der Kunststoffabfälle kommen anstelle des mechanischen Recyclings verschiedene, neuartige Recycling-Verfahren in Betracht. Das chemische Recycling kann mit sehr schwierigen Abfällen umgehen, erfordert aber auch den höchsten energetischen Aufwand.



Quellen: 1: www.carbios.com, 2: Schiller, C.; Amrhein, U.; Ehrlenspiel, M.; Jacob, A. M.; Prof. Dr.-Ing. Endres, H.J.; Wilts, H. (2020): Polyproblem Report – Wertsachen; „Nach der Plastik-Pandemie“. Röchling-Stiftung GmbH und Wider Sense GmbH (Hrsg.).

Chemisches Recycling



Verflüssigung Monomere

Als mögliche Verfahren kommen beispielsweise die Solvolyse oder die Verölung in Frage. Solvolyse ist die Lösung der Polymere in organischen Lösungsmitteln, oft unter erhöhter Temperatur und Druck. Im Gegensatz zu lösungsmittelbasierten, werkstofflichen Verfahren, bei denen die molekulare Struktur der Polymere erhalten bleibt, werden diese in ihre Grundbausteine, die Monomere, zerlegt. Die Verölung bezeichnet die direkte, thermische oder katalytische Zersetzung der Kunststoffpolymere in einem Rührkesselreaktor.

- flüssige Phase als Zielprodukt;
- eventuelle Verunreinigungen müssen vor hochwertiger Nutzung entfernt werden.

Pyrolyse Kohlenwasserstoffe

Die Pyrolyse ist ein schon seit Jahrhunderten, beispielsweise bei der Holzkohleherstellung oder der Verkokung von Steinkohle erprobtes Verfahren, bei dem unter Ausschluss von Sauerstoff organische Materialien thermisch zersetzt werden. Die Produkte der Pyrolyse sind Öle und Wachse, die nach weiteren Aufreinigungsschritten als Grundstoff in der chemischen Industrie eingesetzt werden können.

- erzeugt länger-kettige, zumeist flüssige Kohlenwasserstoffe;
- Produkte teilweise direkt nutzbar, teilweise aufwändige Trenn- und Aufbereitungsverfahren;
- gute Produktqualität erfordert niedrigen Verschmutzungsgrad und möglichst homogenes Grundmaterial; Sortier- und Sammelaufwand ähnelt dem werkstofflichen Recycling.

Gasifizierung Synthesegas

Gasifizierungsverfahren behandeln organische Materialien thermisch unter Sauerstoffmangel und sind beispielsweise im Bereich der Kohlevergasung etablierte Verfahren. Gasifizierungsverfahren erzeugen aus festen und zum Teil auch flüssigen Stoffen in Kunststoffabfällen ein Synthesegas, das dann einer hochwertigen Nutzung zugeführt werden kann. In der chemischen Industrie kann das Synthesegas als Grundstoff für die Herstellung vieler chemischer Produkte genutzt werden.

- arbeitet durch die hohen Temperaturen zwar mit hohem Energieeinsatz, zieht diese Energie aber aus der Oxidation des Inputmaterials selbst;
- Weiterverarbeitung der Produkte energieaufwändiger als bei der Pyrolyse;
- Qualität des erzeugten Synthesegases stark vom Einsatzstoff abhängig.

Mit „Waste-to-Value“ chemische Grundstoffe gewinnen

Hausmüll und Reststoffe, die nicht recycelt werden können, werden derzeit meist verbrannt. Diese thermische Nutzung setzt jedoch große Mengen Kohlendioxid frei. Im Forschungsprojekt VERENA untersuchen unter der Leitung der TU Darmstadt dreizehn Partner, wie stattdessen aus problematischen Reststoffen mittels Gasifizierung neue Grundstoffe für die chemische Industrie gewonnen werden können. Dabei handelt es sich um Verfahren des chemischen Recyclings, auch „Waste-to-Value“ genannt. Ziel ist es, Abfälle schrittweise wieder in Wertstoffe zu überführen und so einen in sich geschlossenen Kohlenstoffkreislauf zu etablieren. Neben Kunststoffabfällen können als Einsatzstoff für diesen Prozess auch andere Reststoffe genutzt werden, wie Schadholz oder Klärschlamm.



Die Polygenerationsanlage kombiniert zwei Verfahren und Zielsetzungen: Durch die Gasifizierung von Kunststoffabfällen zu Synthesegasen macht sie das im Kunststoff enthaltenen CO₂ als Grundlage für neue Chemikalien nutzbar. Gleichzeitig dient die Anlage als effiziente Energiequelle, die Schwankungen aus erneuerbaren Energiequellen ausgleichen kann. Bei der Gasifizierung werden in einem Reaktor Stoffe erhitzt und in gasförmige Produkte überführt. Dieses Synthesegas muss zunächst gereinigt werden, bevor es als Ausgangsstoff für eine chemische Synthese genutzt werden kann.

Im Projekt VERENA wird eine Vielzahl von Reststoffen untersucht. Die Verschaltung verschiedener Prozesse soll das in den Reststoffen enthaltene CO₂ wieder als Grundchemikalie nutzbar machen. Die Reststoffe stellen für die Vergasungstechnologien jedoch eine große Herausforderung dar, und nicht jeder Reststoff eignet sich für jedes Vergasungsverfahren. Daher werden in VERENA fünf unterschiedliche Verfahren untersucht. Teilprojekte beleuchten verschiedene Aspekte der Gasifizierung, Gasaufbereitung und Synthese von Chemikalien in Versuchsaufbauten im Labor- und Pilotmaßstab. An der TU Darmstadt wird so die gesamte Prozesskette der Gasifizierung bis hin zur Methanolsynthese dargestellt, erprobt und bewertet. Dafür steht unter anderem eine Gasaufbereitungsanlage zur Verfügung, die beispielsweise die Chemikalie Methanol als Ausgangsstoff für viele weitere Stoffe herstellt. Die Ergebnisse der Pilotprojekte fließen in die Konzeption einer Großanlage für verschiedene Anwendungen ein.



„Wir arbeiten an einer Zukunft, bei der Plastikabfall nicht mehr unsere Umwelt verschmutzt, sondern chemisch zu einem Wertstoff recycelt wird und kein zusätzliches Kohlendioxid in die Atmosphäre gelangt.“

Prof. Dr.-Ing. Bernd Epple, Leiter des Instituts für Energiesysteme und Energietechnik (EST) / Technische Universität Darmstadt



www.est.tu-darmstadt.de/forschung_est/projekte_est/aktuell/verena.de.jsp



Entwicklung bis 2030



Steigender Beitrag zu Recyclingquoten möglich

Mit den wachsenden Mengen an Kunststoffabfällen wird auch der Anteil an nicht werkstofflich recyclingfähigen Kunststoffen bis 2030 zunehmen. Durch die Covid-19-Pandemie ist das Aufkommen der Kunststoffabfälle zusätzlich stark gestiegen, und viele EU-Mitgliedsstaaten stehen vor der gewaltigen Herausforderung, ihre vereinbarten

Zielvorgaben bis 2030 zu erreichen. Das chemische Recycling könnte einen wesentlichen Beitrag leisten. Es kann die Abfallhierarchie um eine weitere Stufe ergänzen. Zum jetzigen Zeitpunkt fehlen noch entsprechende politische Rahmenbedingungen: Die Zielsetzungen und Quoten zum materialspezifischen Recycling für Kunststoffe im Verpackungsgesetz sind lediglich für das werkstoffliche Recycling niedergeschrieben. Für das chemische Recycling müssen noch entsprechende Kriterien gesetzlich verankert werden, die helfen, technologische Fortschritte im Sinne der Klima- und Kreislaufwirtschaftspolitik der EU zu gestalten.



Verwertung von Mischabfällen durch chemisches Recycling

Viele Betreiber von Müllverbrennungsanlagen haben mit stark verschmutzten und heterogenen Abfällen zu kämpfen.

Diese Mischabfälle werden voraussichtlich auch in Zukunft für die werkstoffliche Verwertung eher uninteressant bleiben. Zusätzlich müssen die Müllverbrennungsanlagen mit einem großen Anteil an Kunststoffabfällen mit einem hohen Brennwert umgehen. Diese müssen vor der Verbrennung erst behandelt und mit Abfällen mit einem geringen Brennwert vermischt oder gewässert werden. Ein chemisches Recycling dieser mengenmäßig relevanten Abfallfraktionen wäre aus abfallwirtschaftlicher Sicht begrüßenswert.

Ökologische und ökonomische Bewertung

Technische und ökologische Fragen müssen geklärt werden

Die technische Eignung sowie die ökologischen und ökonomischen Vorteile der chemischen Recyclingverfahren sind im Vergleich zum werkstofflichen und energetischen Recycling noch nicht umfassend erforscht [17]. Die verschiedenen Technologien müssen im Einzelfall hinsichtlich sich verändernder Systembedingungen auf ihre Vorteilhaftigkeit beurteilt werden. Wichtige Kriterien sind eine ressourcenschonende Herangehensweise, CO₂-Reduktion und Energieeffizienz. Großer Forschungs- und Entwicklungsbedarf besteht bezüglich der Wirkung auf Umwelt und Gesundheit. Chemische Zusätze in den Kunststoffen, die den Produkten besondere Eigenschaften verleihen, können giftig, hormonell wirksam oder krebserregend sein. Für die Recyclingverfahren sind technische Hilfsmittel wie chemische Lösungsmittel oder Katalysatoren notwendig, mit noch ungewisser Umweltverträglichkeit. Beispielsweise verbleiben bei der Pyrolyse fünfzehn bis zwanzig Prozent an Reststoffen [18], und es ist noch nicht klar, wie diese Reststoffe oder unerwünschte, gefährliche Nebenprodukte des chemischen Recyclings aus dem Kreislauf ausgeschleust werden können.

Langfristig großes Marktpotenzial für schwieriges Recyclinggut

Das chemische Recycling bietet großes Potenzial, sollte aber das werkstoffliche Recycling nicht grundsätzlich ersetzen. Nach jetzigem Forschungsstand ist das werkstoffliche Recycling - wo anwendbar - ökonomisch und ökologisch vorteilhafter. Damit chemische Recyclingverfahren wirtschaftlicher werden, sind erhebliche Mengen an Kunststoffabfällen vonnöten. Die komplexen Technologien benötigen für ein gutes Ergebnis eine gute Sortierung und eine energieintensive Vorbehandlung der Kunststoffe. Erheblicher Kostentreiber ist auch die Bereinigung der durch das chemische Recycling entstehenden oder im Synthesegas enthaltenen unerwünschten Nebenprodukte. Zum jetzigen Zeitpunkt ist in Deutschland der Betrieb einer industriellen Anlage aufgrund der Unwirtschaftlichkeit, des erheblichen Sortierungs- und Reinigungsaufwands oder fehlender technischer Umsetzbarkeit noch nicht gelungen.

Polymere aus CO₂

CO₂ entsteht in zahlreichen Industrieprozessen und bei der Verbrennung fossiler Rohstoffe als Neben- oder Abfallprodukt. Angesichts der Klimaproblematik wird intensiv nach Möglichkeiten gesucht, CO₂ zu binden, ohne es in die Atmosphäre zu entlassen. CO₂ soll als erneuerbarer und nachhaltiger Kohlenstofflieferant nutzbar gemacht werden. Im Idealfall könnte die Kunststoffindustrie sogar weitgehend geschlossene Kohlenstoffkreisläufe erzielen. Dafür werden Verfahren erforscht, die Kohlenstoff aus CO₂ wieder als Rohstoff in die Kunststoffproduktion überführen können.

Kunststoffe aus Treibhausgas – bislang noch die Ausnahme

Kommerzielle Prozesse, die CO₂ als Rohstoff zur Herstellung von Kunststoffen einsetzen, sind bislang noch die Ausnahme. Entsprechende Technologien stehen noch am Anfang. Da CO₂ eine stabile und kaum reaktive chemische Verbindung ist, werden spezielle Katalysatoren und chemische Reaktionspartner benötigt, die das CO₂ effizient in nutzbare Rohstoffe umwandeln. Wie sehr CO₂-basierte Kunststoffe sich langfristig am Markt etablieren können, hängt einerseits von der Art der Kunststoffe und andererseits von den CO₂-Bilanzen der Herstellungsverfahren ab, die meist noch nicht genau beziffert werden können. Dabei sollte der im Herstellungsprozess erforderliche Energiebedarf möglichst durch erneuerbare Energien gedeckt werden.

Neue Materialien und Anwendungen

Die Forschung im Bereich der chemischen Nutzung von CO₂ hat in den vergangenen Jahren einen starken Zuspruch durch Politik und Gesellschaft erhalten. Daher wurden zunehmend Projekte in diese Richtung gefördert, wie etwa das Projekt „Dream Reactions“ [19] innerhalb der BMBF-Fördermaßnahme „Technologien für Nachhaltigkeit und Klimaschutz – Chemische Prozesse und stoffliche Nutzung von CO₂“. Innovative CO₂-basierte Kunststoffe können neue Materialeigenschaften aufweisen. Am verbreitetsten sind Kunststoffe auf Basis von CO₂ in der Form von Polyurethanen und Polycarbonaten. Daneben gelangen langsam auch weitere CO₂-basierte Kunststoffe auf den Markt, die noch keine kommerzielle Bekanntheit haben: Kunststoffe wie Polypropylencarbonat oder Polycyclohexylcarbonat etwa besitzen noch unerschlossenes Anwendungspotenzial und werden zum Beispiel von dem Unternehmen Jinlong-Cas Chemail Co. in China bereits in größeren Mengen produziert [20].



Elektrochemie trifft Biotechnologie: CO₂ als nachhaltige Kohlenstoffquelle



Im GAMES-Projekt arbeiten fünf Partnereinrichtungen gemeinsam an innovativen Technologien für die industrielle Umsetzung von CO₂. Dafür kombinieren sie Methoden aus der Elektrochemie und Biotechnologie. Denn bei der Nutzung von Kohlendioxid als Rohstoff für die elektrochemische Synthese ist das Spektrum an möglichen Produkten sehr begrenzt. Die reine Biosynthese aus CO₂ wiederum ist auf eine externe Energiequelle wie etwa Wasserstoff angewiesen. Das Team von „GAMES“ untersucht die Entwicklung beispielgebender Verfahren für die gekoppelte elektrochemisch-mikrobielle Synthese. In einem ersten Schritt wird an einer Gasdiffusionselektrode CO₂ zu Formiat – einem Salz der Ameisensäure – reduziert. Dieses kann dann biotechnologisch zur Synthese von Wertstoffen genutzt werden. Mit dieser Technologie werden zukünftig zahlreiche Anwendungen möglich, wie beispielsweise biobasierte Kunststoffe, Aminosäuren, Aromen, Basischemikalien und alternative Kraftstoffe. Das GAMES-Projekt ist Teil der BMBF-Fördermaßnahme „CO₂ als nachhaltige Kohlenstoffquelle – Wege zur industriellen Nutzung (CO₂-WIN)“. Am GAMES-Projekt beteiligt sind die TH Mittelhessen, das DECHEMA-Forschungsinstitut, die Gaskatel GmbH, das Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ) und das ifn Forschungs- und Technologiezentrum.



„Unser Arbeitsprogramm umfasst insbesondere die Herstellung verbesserter Gasdiffusionselektroden, die Entwicklung von Elektrolysezellen, die Erweiterung des Prozessfensters, modellbasierte Optimierungen und Praxisevaluierungen.“

Prof. Dr.-Ing. Dirk Holtmann, Projekt-Koordinator vom Kompetenzzentrum für nachhaltiges Engineering und Umweltsysteme an der TH Mittelhessen



go.thm.de/bioprozesse

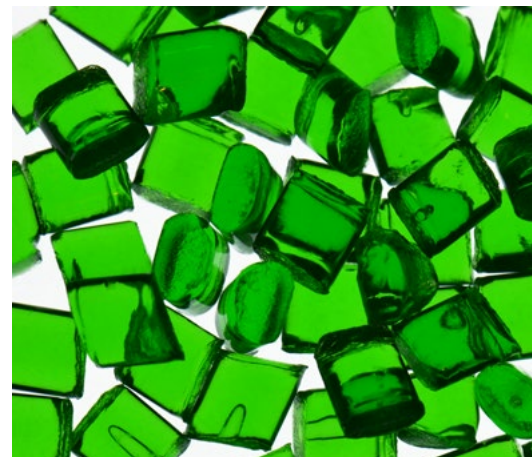
Entwicklung bis 2030



Neue Produkte und Produktvorstufen

Grundsätzlich gibt es zwei Wege, Kunststoffe auf der Basis von CO₂ herzustellen: Entweder dient CO₂ als Rohstoff zur Synthese der Monomere beziehungsweise Vorprodukte der Monomere für konventionelle Kunststoffe oder es wird selbst als Monomer für eine Ko-Polymerisation mit einem geeigneten Reaktionspartner in Kunststoff-Polymerketten eingebaut.

Über den ersten Weg könnten zukünftig beispielsweise Ethen und Vinylchlorid als Vorstufe für die Produktion von PE und PVC CO₂-basiert hergestellt werden. Über den zweiten Weg können beispielsweise verschiedene Polycarbonate wie Polypropylen-carbonat synthetisiert werden.



CO₂-Verwertung steigern

Theoretisch könnten durch die europaweite Substitution der konventionellen Kunststoffe PE, PP, PVC, PET, PS und PUR über CO₂-basierte Verfahren circa vierzig Millionen Tonnen Kohlenstoffdioxid für die Synthese von CO₂ verwertet werden. Auf den deutschen Markt bezogen entspricht dies fünfzehn Millionen Tonnen CO₂ pro Jahr. [21]

Polycarbonate haben das höchste Potenzial für die direkte Nutzung von CO₂ als Rohstoff für Kunststoffe. Sie haben den Vorteil, dass der CO₂-Anteil im Endprodukt höher ist als bei der indirekten Produktion und somit stärker auf fossile Rohstoffe verzichtet werden könnte. Allerdings müssen erst noch konkrete Anwendungen für diese direkt synthetisierten „neuen“ Polycarbonate gefunden werden.

Ökologische und ökonomische Bewertung

CO₂-Bilanzen vielversprechend, aber noch nicht belastbar

Die Ökobilanz von Kunststoffen auf Basis von CO₂ lässt sich noch nicht abschließend bewerten. Die Nutzung von CO₂ für Kunststoffe hat den Vorteil, dass der Kohlenstoff im CO₂, der in den Industrie- und Verbrennungsprozessen ohnehin entsteht, nicht in die Atmosphäre entlassen, sondern in Kunststoffprodukten über einen längeren Nutzungszeitraum wieder gespeichert wird. Die CO₂-Freisetzung erfolgt nach der Nutzungsphase daher zeitverzögert. Die Nutzungsdauer wird in aktuellen Ökobilanzen jedoch nicht berücksichtigt.

Noch zu klären ist zudem, wie hoch die neuerliche CO₂-Belastung durch die Kunststoffproduktion auf Basis von CO₂ ist und was dies für die Gesamt-CO₂-Bilanz eines Verfahrens bedeutet. Zunächst müssen detailliert vergleichbare und belastbare CO₂-Bilanzen der Herstellungsverfahren von Produkten mit eingebundenem CO₂ und Produkten aus bisher üblichen Herstellungsverfahren erfolgen. Erste Ökoeffizienzanalysen zur CO₂-basierten Polyolherstellung weisen auf eine geringere Menge an CO₂-Äquivalenten pro Kilogramm hergestelltem Polyol im Vergleich zu konventionell hergestelltem, erdölbasiertem Polyol hin. Zudem lässt sich der Verbrauch von fossilen Rohstoffen signifikant senken. [22]

Nur ein Teil der Lösung

Schätzungen beziffern das theoretische CO₂-Einsparpotenzial durch CO₂-basierte Kunststoffe und Bulkchemikalien auf zusammengekommen etwa sechzig Millionen Tonnen europaweit. Demgegenüber stehen aber CO₂-Emissionen von über drei Milliarden Tonnen (Stand 2015). Das heißt, nur weniger als zwei Prozent dieser Treibhausgase könnten potenziell durch die oben beschriebenen Technologien eingespart werden. Weltweit betrüge die Ersparnis sogar nur circa ein halbes Prozent. [23]

Ökonomisch noch in der Erprobung

Auch die ökonomischen Vor- und Nachteile CO₂-basierter Herstellungsverfahren sind noch nicht vollständig geklärt. Systematische Analysen zu Vermeidungskosten für Polymere liegen bisher nicht vor.



04



Vernetzung

Starke Partner finden

Für eine nachhaltige Produktion, innovative Verarbeitung und moderne Recyclinglösungen für Kunststoffe bieten verschiedene Akteure und Netzwerke in Hessen Unterstützung durch Wissenstransfer, Forschungskooperationen und Informationsplattformen.

DECHEMA Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V.

Die DECHEMA vereint wichtige Akteure aller Bereiche entlang der Kunststoff-Wertschöpfungskette. Die unterschiedlichen Verfahren werden technologieoffen diskutiert und Aspekte wie Energie- und Wasserbedarf einbezogen, um die jeweils ökonomisch und ökologisch nachhaltigsten Alternativen herauszuarbeiten. Dazu zählen die Erschließung neuer Rohstoffquellen wie beispielsweise CO₂ in Verbindung mit regenerativer Energie oder die Entwicklung biobasierter Kunststoffe, Methoden zur Trennung und Aufbereitung von Kunststoffabfällen und die verschiedenen Optionen für das Kunststoffrecycling.



„Wir stellen einen neutralen Rahmen für die Diskussion aller Stakeholder zur Verfügung und fördern die Entstehung neuer Ideen und Kooperationen.“

Dipl.-Ing. Katja Wendler,
Leiterin Fachbereich Rohstoffe

In den Gremien der DECHEMA treffen sich Expertinnen und Experten verschiedener Branchen aus Forschung und Anwendung, um diese Themen zu diskutieren, gemeinsam neue Ideen zu entwickeln und Kooperationen anzustoßen. In Veröffentlichungen stellen sie den Stand der Technik dar, zeigen Perspektiven für die Weiterentwicklung auf und geben Empfehlungen an Politik und Forschungsförderung. Workshops, Konferenzen und die AICHEMA als weltgrößte Messe für die Prozessindustrie, die alle drei Jahre in Frankfurt am Main stattfindet, beleuchten das Thema von allen Seiten und stellen sowohl Konzepte als auch existierende technologische Lösungen vor.

Kontakt:

DECHEMA Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V.
Theodor-Heuss-Allee 25, 60486 Frankfurt am Main
Tel: +49 69 7564 425
E-Mail: katja.wendler@dechema.de
www.dechema.de/rohstoffe.html



Kunststoff Cluster Nordhessen

Das Kunststoff Cluster Nordhessen ist ein 2008 gegründeter Verbund von Unternehmen der kunststoffverarbeitenden Industrie in der Region Nordhessen. Das Cluster fördert die Kooperation zu zukunftsweisenden und nachhaltigen Entwicklungen von Kunststoffprodukten sowie Maschinen und Werkzeugen zur Herstellung von Kunststoffprodukten. Dabei sind Unternehmen entlang der gesamten

Wertschöpfungskette der Kunststoffbranche angesprochen – kleine und mittelständische Unternehmen ebenso wie Großunternehmen. Durch die Anbindung an die Universität Kassel können Fragestellungen mit Hilfe modernster und umfangreicher (Labor-)Ausstattung bearbeitet werden. Das Cluster ist im Verein Innovationszentrum Kunststofftechnik e.V. angesiedelt.

Leistungen und Aktivitäten des Clusters:

- Seminare und Weiterbildungsveranstaltungen auf dem Gebiet der Kunststofftechnik
- Neutrale, wissenschaftliche Beratung
- Forschungsarbeiten, die der Weiterentwicklung und Förderung von Innovationen dienen
- Stipendien für wissenschaftliche Arbeiten zur Kunststofftechnik
- Finanzierung von Wissenschaft und Forschung über Beihilfen und Zuschüsse sowie Anschaffung von Forschungsgeräten



„Die Zusammenarbeit im Cluster setzt im Wesentlichen auf den technisch-wissenschaftlichen Austausch der Partner und bringt erfahrene Kunststoff-Fachleute in einem Kompetenzverbund zusammen.“

Dipl.-Ing. Karsten Erdmann, Technologiescout / Projektkoordination

Kontakt:

Innovationszentrum Kunststofftechnik e.V.
Mönchebergstr. 3, 34109 Kassel
Tel.: +49 561 804 3685
E-Mail: kcn@uni-kassel.de
www.kunststoffe-nordhessen.de



Mehr Kunststoff im Kreislauf halten

Fraunhofer-Einrichtung für Wertstoffkreisläufe und Ressourcenstrategie IWKS

Die Fraunhofer-Einrichtung für Wertstoffkreisläufe und Ressourcenstrategie IWKS mit Standorten in Alzenau und Hanau wurde im Jahr 2011 von der Fraunhofer-Gesellschaft unter dem Dach des Fraunhofer ISC (Institut für Silicatforschung) gegründet. Das Fraunhofer IWKS entwickelt neue Recyclingtechnologien und Substitute für knappe Roh- und Wertstoffe. Seine ressourcenstrategischen Studien sollen die Verfügbarkeit von Rohstoffen im Gesamtprozess der Gewinnung, Nutzung und Nachnutzung bewerten.

Dafür werden zusammen mit Industriepartnern innovative Trenn-, Sortier-, Aufbereitungs- und Substitutionsmöglichkeiten erforscht. Ziel ist es, eine effiziente Kreislaufwirtschaft zu etablieren und Abfälle zu vermeiden, indem wertvolle Rohstoffe zurückgewonnen und wiederverwertet werden oder aber durch nachhaltige Alternativen ersetzt werden.

Das Fraunhofer IWKS ist zusätzlich zum Projekt „Waste4Future“ (siehe Kasten unten) auch am Projekt „ReCircE“ (siehe Seite 54) beteiligt.

Kontakt:

Fraunhofer-Einrichtung für Wertstoffkreisläufe und Ressourcenstrategie IWKS
Brentanostr. 2a, 63755 Alzenau
Tel: +49 6023 32039 867
E-Mail: gert.homm@iwks.fraunhofer.de
www.iwks.fraunhofer.de



Dr. Gert Homm,
Leiter Teilprojekt
„Entropiebasiertes
Bewertungsmodell“



Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF

Mehr als vierhundert Fachkräfte unterschiedlicher Disziplinen bringen am Fraunhofer LBF (Laboratorium für Betriebsfestigkeit) und den assoziierten Fachgebieten Makromolekulare Chemie, Systemzuverlässigkeit und Maschinenakustik an der TU Darmstadt gemeinschaftlich ihr Know-how in die interdisziplinäre Projektarbeit und in Dienstleistungen für Forschung und Entwicklung ein. Diese berühren die gesamte Wertschöpfungskette, vom Werkstoff und dessen Verarbeitung über die Realisierung

des fertigen Bauteils und komplexen Systems bis hin zur Qualifizierung im Hinblick auf Sicherheit und Zuverlässigkeit. Zu den Leistungsfeldern gehören die Schwingungstechnik, Leichtbau, Zuverlässigkeit, Polymertechnik und Lösungen vom Produktdesign bis zur Nachweisführung. Speziell im Leistungsfeld Polymertechnik kann das Institut mit der Polymersynthese und umfassender Materialcharakterisierung bereits in einer besonders frühen Phase der Wertschöpfung unterstützen.

Kontakt:

Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF
Schlossgartenstraße 6, 64289 Darmstadt
Tel: +49 6151 705 8609
E-Mail: elke.metzsch-zilligen@lbf.fraunhofer.de
www.lbf.fraunhofer.de



Dr. rer. nat. Elke Metzsch-Zilligen,
Leiterin Teilprojekt
„Werkstoffliches Recycling“



Fraunhofer-Leitprojekt Waste4Future

Sieben Einrichtungen der Fraunhofer-Gesellschaft haben sich im Leitprojekt „Waste4Future“ zum Ziel gesetzt, Möglichkeiten für ein verlustfreies Recycling von Kunststoffen zu schaffen. Über vernetzte Prozesse wollen sie den in Kunststoffen enthaltenen Kohlenstoff vollständig wieder als „grüne“ Ressource für die Chemieindustrie bereitstellen. Konkret soll ein ganzheitliches Bewertungsmodell entwickelt werden, das die bisher prozessgeführte Recyclingkette zu einer stoffgeführten Kette umorganisiert. Dabei erkennt eine innovative Sortierung, welche Materialien und Kunststofffraktionen im Abfall enthalten sind und trennt den Gesamtstrom in Teilströme. Für jede spezifische Abfallmenge entscheidet sie dann, welcher Weg des Recyclings der technisch, ökologisch und ökonomisch sinnvollste ist – stets mit dem Ziel, den größtmöglichen Anteil von Kohlenstoffverbindungen zu erhalten. Was mittels werkstofflichen Recyclings nicht weitergenutzt werden kann, steht für chemisches Recycling zur Verfügung.

Beteiligte Einrichtungen:

- Fraunhofer-Institut für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS (Federführung)
- Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP
- Fraunhofer-Einrichtung für Wertstoffkreisläufe und Ressourcenstrategie IWKS in Hessen
- Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB
- Fraunhofer-Institut für Hochfrequenzphysik und Radartechnik FHR
- Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF in Hessen
- Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV

„Wir bahnen den Weg für eine Kohlenstoff-Kreislaufwirtschaft, in der aus Kunststoffabfällen wertvolle neue Basismoleküle gewonnen und Emissionen weitgehend vermieden werden: Der Abfall von heute wird zur Ressource von morgen.“

Dr.-Ing. Sylvia Schattauer,
stellvertretende Leiterin
Fraunhofer-Institut für
Mikrostruktur von Werkstoffen
und Systemen IMWS
(Federführung Projekt
Waste4Future)

Kunststoff Innovationsnetzwerk Hessen

Das Kunststoff Innovationsnetzwerk Hessen bündelt Kompetenzen im Bereich digitaler Geschäftsprozesse, Produktionsautomation, Energieeffizienz und der Kunststoff-Forschung. Es initiiert Kooperationsprojekte, die in einigen Fällen auch als Innovationsprojekte öffentlich gefördert werden können. Zentrales Anliegen ist die Vernetzung von Unternehmen, Forschungseinrichtungen, Hochschulen und kunststofforientierten Dienstleistern. Das Netzwerk berät neutral und bietet Veranstaltungen und Fortbildungen zu Themen wie Prozessautomation, Digitalisierung, Industrie 4.0 und Wertstromanalyse an. Darüber hinaus unterstützt es Unternehmen bei der Suche nach geeigneten IT-Dienstleistern zur Umsetzung von Digitalisierungsprojekten. Weiterhin steht die Vernetzung mit passenden Lehrstühlen im Vordergrund, um unter anderem FuE-Projekte zu initiieren und von aktuellen Technologien zu profitieren.



„Wir bieten all unseren Mitgliedern eine kostenlose Energie- und Umweltberatung. Bei Veranstaltungen und in Arbeitskreisen zu unterschiedlichen Schwerpunktthemen bringen wir Unternehmen mit Expertinnen und Experten aus Industrie und Wissenschaft rund um aktuelle technische Fragestellungen zusammen. Gerade im Bereich der Digitalisierung sehen wir hier einen großen Bedarf.“

Dr. Jan Henning Curtze,
Projektleiter



Kontakt:
Kunststoff Innovationsnetzwerk
Dr.-Ing. Jan Henning Curtze
Rheinstraße 89, 64295 Darmstadt
Tel: +49 6151 8711 251
E-Mail: curtze@kunststoffinnovation.net
www.kunststoffinnovation.net



SuPRA - Sustainable Plastics Recycling & Automation

Eine umfassend klimagerechte Kunststoffverarbeitung von der Herstellung bis zum Recycling ist die Vision des Innovationsnetzwerks „SuPRA“. Initiiert durch das Kunststoff Innovationsnetzwerk Hessen der IHK Darmstadt haben sich in dem Netzwerk mehrere mittelständische Unternehmen sowie die Hochschule Darmstadt zusammengeschlossen, um nachhaltige Produkte und Verfahren zu entwickeln. Die wissenschaftliche Expertise der Forschungseinrichtungen stellt die ideale Ergänzung zu den praxisnahen Entwicklungsideen der KMU dar. Gefördert wird das Netzwerk vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie im Rahmen des Zentralen Innovationsprogramms Mittelstand (ZIM).



„Durch den Zusammenschluss der kleinen und mittelständischen Unternehmen sowie der Hochschule Darmstadt im SuPRA-Netzwerk werden Synergieeffekte und vorhandenes Know-how optimal genutzt, um innovative Entwicklungen voranzutreiben.“

Jens Memmesheimer, Netzwerkmanager

Kontakt:
SuPRA Netzwerk
Jens Memmesheimer
Jöckel Innovation Consulting GmbH
Pfnorstraße 14, 64293 Darmstadt
Tel: +49 6151 6671 8719
E-Mail: j.memmesheimer@joein.de
www.supra-netzwerk.de

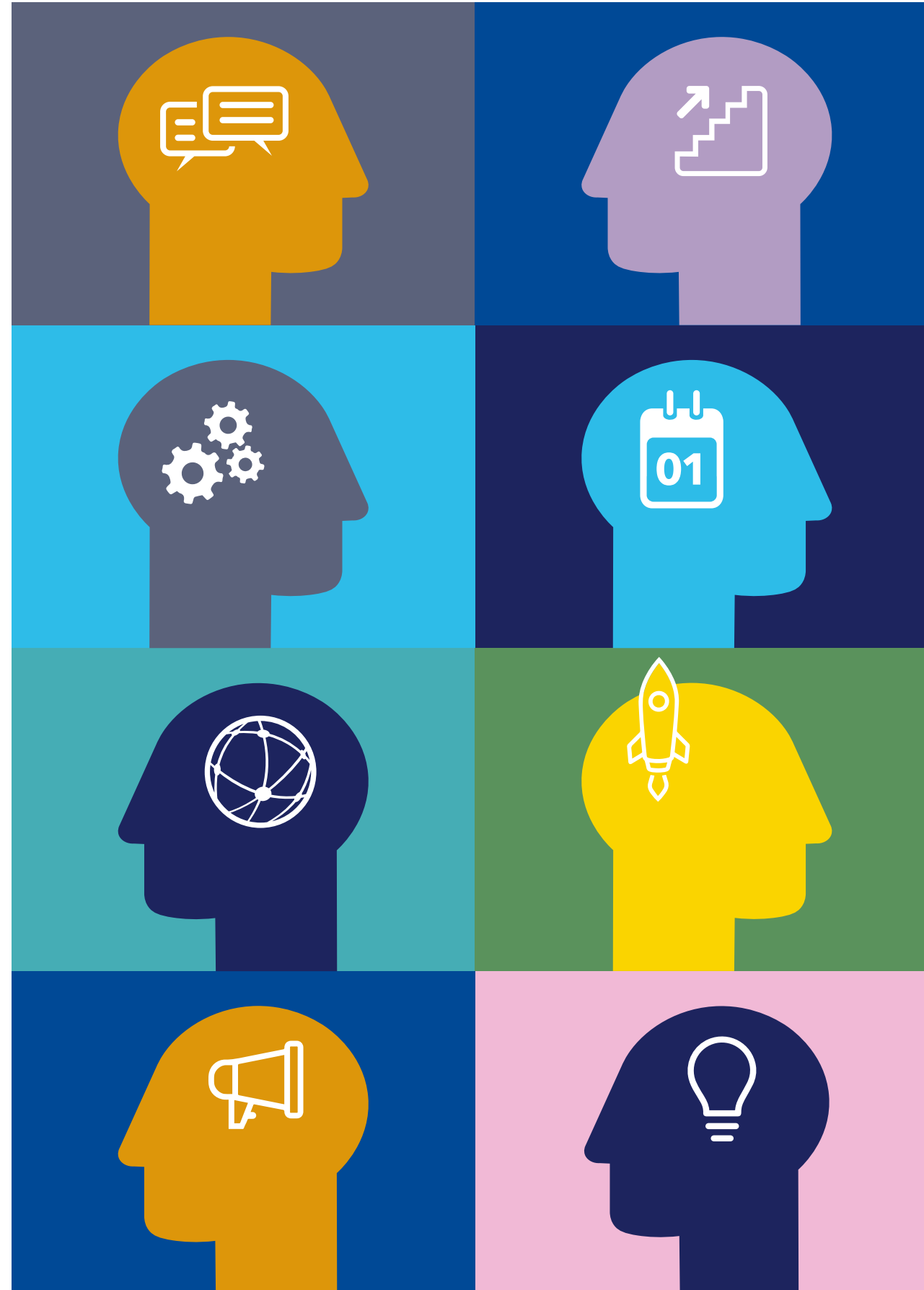


In drei Technologiefeldern entwickelt das Netzwerk Lösungen, um Kunststoffe über ihren gesamten Lebenszyklus nachhaltiger einsetzen zu können:

- nachwachsende Roh- und Reststoffe zur Herstellung von Biokunststoffen
- Automatisierungen in der Kunststoffverarbeitung für mehr Energieeffizienz, eine verlängerte Lebensdauer und weniger Abfälle
- verbessertes Recycling unvermeidbarer Abfälle und nicht mehr benötigter Kunststoffprodukte

Technogieland Hessen

Informieren, beraten, vernetzen:
Das Technologieland Hessen unterstützt Unternehmen dabei, zukunftsweisende Innovationen zu entwickeln. Wir entfalten wirtschaftliche Potenziale, machen technologische Spitzenleistungen sichtbar und profilieren damit Hessen als Technologie- und Innovationsstandort. Umgesetzt wird das Technologieland Hessen von der Hessen Trade & Invest GmbH im Auftrag des Hessischen Wirtschaftsministeriums.



Unsere Angebote umfassen:

- Vernetzung von Akteuren, Kooperationsvermittlung
- Fach- und Informationsveranstaltungen
- Themenspezifische Publikationen
- Newsletter und Magazin „Technogieland Hessen“
- Beratung und Förderung
- Messebeteiligungen und Außenwirtschaftsförderung



Um mit den aktuellen technologischen und gesellschaftlichen Entwicklungen Schritt zu halten, ist es wichtig, sowohl einzelne Technologien im Auge zu behalten als auch Synergien zu erkennen. In fachspezifischen Innovationsfeldern bildet das Technologieland Hessen deshalb unterschiedliche Schwerpunkte ab.

Innovationsfeld
Ressourceneffizienz & Umwelttechnologien



Wir informieren, beraten und vernetzen Sie zu folgenden Themen:

- Ressourceneffizienz und Produktionsintegrierter Umweltschutz (PIUS)
- Umwelttechnologien
- Kreislaufwirtschaft und umweltgerechtes Design

Ressourceneffiziente Verfahren und Umwelttechnologien sind nicht nur eine ökologische Notwendigkeit, sondern zunehmend ein Wettbewerbsfaktor. Sie helfen dabei Rohstoffe einzusparen sowie weniger CO₂-Emissionen und Abfälle zu erzeugen. Das spart Kosten und schont die Umwelt. Wir unterstützen den Wandel hin zu einer nachhaltigen Wirtschaft und sind Ansprechpartner für Anbieter und Anwender entsprechender Technologien. Nutzen Sie unsere Angebote und bringen Sie sich mit Ihren eigenen Ideen ein. Wir freuen uns auf den Dialog mit Ihnen!

Kontakt Ihre Ansprechpartner und Ansprechpartnerinnen im Technologieland Hessen, Innovationsfeld Ressourceneffizienz & Umwelttechnologien:



Dr. Felix Kaup
Projektleiter
Tel.: +49 611 95017 8636
E-Mail: felix.kaup@htai.de

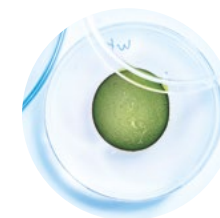


Dagmar Dittrich
Projektmanagerin
Tel.: +49 611 95017 8645
E-Mail: dagmar.dittrich@htai.de

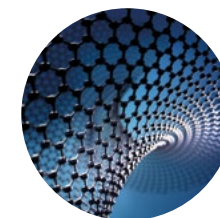


Tatjana Rosenau
Projektmanagerin
Tel.: +49 611 95017 8396
E-Mail: tatjana.rosenau@htai.de

Neben dem Innovationsfeld Ressourceneffizienz & Umwelttechnologien bieten weitere Innovationsfelder im Technologieland Hessen Anknüpfungspunkte zum Thema Kunststoffe:



Life Sciences & Bioökonomie



Materialtechnologien



Smart Production



Digitalisierung

Weitere Informationen und die jeweiligen Ansprechpartnerinnen und Ansprechpartner finden Sie auf unserer Website:
www.technologieland-hessen.de



Hessen Trade & Invest GmbH
Konradinallee 9
65189 Wiesbaden
www.htai.de

Quellen

[1] SRU (2020): Kreislaufwirtschaft: Von der Rhetorik zur Praxis, URL: www.umweltrat.de/DE/Themen/Rohstoffe-und-Kreislaufwirtschaft/rohstoffe-und-kreislaufwirtschaft_node.html [abgerufen 4.11.2021].

[2] 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-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT (Hrsg.), Oberhausen.

[3] WWF (2020): Mikroplastik ist überall, URL: www.wwf.de/themen-projekte/plastik/mikroplastik [abgerufen 4.11.2021].

[4] GVM (2019). Hemmnisse für den Rezyklateinsatz in Kunststoffverpackungen. Kurzfassung. Klimaschutz-offensive des Handels, Handelsverband Deutschland - HDE - e.V., URL: www.hde-klimaschutzoffensive.de/sites/default/files/uploads/document/2019-04/1904_KF_Hemmnisse%20Rezyklateinsatz_HDE-KSO.pdf [abgerufen 4.11.2021].

[5] GDB (2008): Ökobilanz - Vorsprung für Mehrweg, URL: www.gdb.de/fileadmin/content/Sonstiges/GDB_IFEU_Oekobilanz_MW_2008_broschuere.pdf [abgerufen 4.11.2021].

[6] Eurostat (2020): Nutzungsrate wiederverwendbarer Stoffe, URL: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/sdg_12_41/default/table [abgerufen 4.11.2021].

[7] Conversio (2018): Stoffstrombild Kunststoffe in Deutschland 2017, URL: www.bvse.de/images/news/Kunststoff/2018/181011_Kurzfassung_Stoffstrombild_2017.pdf [abgerufen 4.11.2021].

[8] Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2019): Maßnahmen im Rahmen der Plastikvermeidungsstrategie, URL: <https://umwelt.hessen.de/sites/umwelt.hessen.de/files/2021-07/plastikvermeidungsstrategie.pdf> [abgerufen 4.11.2021].

[9] Leighty, A. (2020): Bundesweite Erhebung von Daten zum Verbrauch von Getränken in Mehrweg- und ökologisch vorteilhaften Einweg-Getränkeverpackungen - Bezugsjahr 2018. Hrsg. Umweltbundesamt. TEXTE 109/2020.

[10] Lindner, C.; Schmitt, J; Hein, J. (2020): Stoffstrombild Kunststoffe in Deutschland 2019. Kurzfassung der Conversio Studie.

[11] FH Campus Wien (2020): Circular Packaging Design Guideline. Empfehlungen für recyclinggerechte Verpackungen. URL: www.fh-campuswien.ac.at/leadadmin/redakteure/Forschung/FH-Campus-Wien_Circular-Packaging-De-sign-Guideline_FIN_DE_Web.pdf [abgerufen 4.11.2021].

[12] Hessen Trade & Invest GmbH (Hrsg., 2021): Mit Ecodesign zu einer ressourcenschonenden Wirtschaft, Publikation im Rahmen des Technologielandes Hessen, URL: https://redaktion.hessen-agentur.de/publication/2021/3319_ecodesign_2021_final_web.pdf [abgerufen 4.11.2021].

[13] + [14] IfBB - Institute for Bioplastics and Biocomposites (ed.): Biopolymers - facts and statistics 2020; Hannover 2020.

[15] Hessisches Ministeriums für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz: Ressourcenschutzstrategie Hessen; 15.05.2018.

[16] IN4climate.NRW (Hrsg.) 2020: Chemisches Kunststoffrecycling - Potenziale und Entwicklungsperspektiven. Ein Beitrag zur Defossilisierung der chemischen und kunststoffverarbeitenden Industrie in NRW. Ein Diskussionspapier der Arbeitsgruppe Circular Economy. Gelsenkirchen.

[17] Vogel, J., Krüger, F., Fabian, M. (2020). Chemisches Recycling, Hrsg. Umweltbundesamt & Ramesohl, S., Vetter, L., Meys, R., & Steger, S. (2020). Chemisches Kunststoffrecycling - Potenziale und Entwicklungsperspektiven. Ein Beitrag zur Defossilisierung der chemischen und kunststoffverarbeitenden Industrie in NRW.

[18] NABU-Präsentation (2020): Chemisches Recycling von Kunststoffen - Potenziale, Risiken und viele offene Fragen, URL: www.nabu.de [abgerufen 25.11.2020].

[19] Abschlussbericht „Dream Reactions“: www.cleaner-production.de/fileadmin/assets/01RC0901.pdf [abgerufen 4.11.2021].

[20] + [22] A. Bazzanella, D. Krämer: Technologien für Nachhaltigkeit und Klimaschutz - Chemische Prozesse und stoffliche Nutzung von CO₂; DECHEMA Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V.; Juni 2017; URL: https://dechema.de/dechema_media/Bilder/Publikationen/CO2_Buch_Online.pdf [abgerufen 4.11.2021].

[21] Sefidroudi, J. (2015): Bewertung der chemischen Nutzung von CO₂ als Rohstoff für die Synthese von Polymeren und Kunststoffen. Bachelorarbeit, Fachhochschule Aachen, Standort Jülich, Fachbereich Chemie und Biotechnologie, Forschungszentrum Jülich GmbH.

[23] Otto, A.; Markewitz, P.; Robinius, M. (2017): Technologiebericht 2.4 CO₂-Nutzung. In: Wuppertal Institut, ISI, IZES (Hrsg.): Technologien für die Energiewende. Teilbericht 2 an das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). Wuppertal, Karlsruhe, Saarbrücken.

Abkürzungsverzeichnis

AVP	Abfallvermeidungsprogramm
ABS	Acrylnitril-Butadien-styrol-Copolymer
ASA	Acrylnitril-Styrol-Acrylat-Copolymer
Bio-PE	Biobasiertes Polyethylen
Bio-PP	Biobasiertes Polypropylen
Bio-PET	Biobasiertes Polyethylenterephthalat
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
CMU	Circular Material Use
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
EEA	European Environment Agency
ElektroG	Elektrogesetz
EVPG	Energieverbrauchsrelevante-Produkte-Gesetz
EWKVerbotsV	Einwegkunststoffverbotsverordnung
FONA	Förderprogramm Forschung für nachhaltige Entwicklung
HAKrWG	Hessisches Ausführungsgesetz zum Kreislaufwirtschaftsgesetz
HDPE	Polyethylen hoher Dichte
KuRT	Förderprogramm zu Kunststoffrecyclingtechnologie
KrWG	Deutsches Kreislaufwirtschaftsgesetz
LDPE	Polypropylen niedriger Dichte
LUCID	öffentliches Verpackungsregister der zentralen Stelle Verpackungsregister
PLA	Polyactide
PA	Polyamide
PC	Polycarbonat
PE	Polyethylen
PEEK	Polyetheretherketon
PEF	Polyethylenfuranoat
PE-HD	Polyethylen mit hoher Dichte
PE-MD	Polyethylen mit mittlerer Dichte
PE-LD	Polyethylen mit niedriger Dichte
PE-LLD	Lineares Polyethylen niedriger Dichte
PET	Polyethylenterephthalat
PMMA	Polymethylmethacrylat
PP	Polypropylen
PS	Polystyrol
PS-E	Polystyrol expanded
PUR	Polyurethane
PVC	Polyvinylchlorid
SAN	Styrol-Acrylnitril-Copolymer
SDG	Sustainable Development Goals / Nachhaltige Entwicklungsziele der Vereinten Nationen
UBA	Umweltbundesamt
ZSVR	Zentrale Stelle Verpackungsregister

Impressum

Herausgeber

Hessen Trade & Invest GmbH
Technologieland Hessen
Konradinallee 9
65189 Wiesbaden
Tel.: +49 611 95017-85
E-Mail: info@hessen-agentur.de
www.htai.de
www.technologieland-hessen.de

Redaktionelle Leitung

Jens Friis Braczek, Hessisches Ministerium für
Wirtschaft, Energie, Verkehr und Wohnen
Dagmar Dittrich, Hessen Trade & Invest GmbH
Dr. Felix Kaup, Hessen Trade & Invest GmbH

Inhalt

Die Broschüre basiert auf einer Studie im Auftrag
der Hessen Trade & Invest GmbH.
Autorinnen und Autoren der Studie:

Nadine Braun, Dr. Henning Wilts, Christine Zeher
Wuppertal Institut für Klima, Umwelt,
Energie gGmbH

Julia Loth, Michael Tesch
Kunststoff-Institut für die mittelständische
Wirtschaft NRW GmbH (K.I.M.W.)

Konzept und Text

Nadine Lux, Dr. Gabriele Schönherr
science³ Wissenschaftskommunikation, Berlin

Design und Umsetzung

Schueler Handmade Advertising, Frankfurt

Veröffentlichungsdatum: Dezember 2021

Druck

Lokay e.K., Reinheim
Auflage: 500



Bildnachweise

Titelseite, S. 03, Inhaltsverzeichnis, S. 06/07, S. 08, S. 23, S. 24, S. 26, S. 34, S. 44, S. 48, S. 54/55, S. 62, S. 76, S. 80/81, S. 86, Rückseite: Alle Grafiken: Peter Schladoth, **S. 02:** Christof Mattes, **S. 14:** Vladislav Babienko/Unsplash, **S. 18:** Daniel Pascoa/Unsplash, **S. 19:** Dan Lewis/Unsplash, Elena Rabkina/Unsplash, **S. 20:** Roman Milert/AdobeStock, Phonlamaipphoto/AdobeStock, **S. 21:** Phonlamaipphoto/AdobeStock, Kalyakan/AdobeStock, **S. 28:** jorisvo/AdobeStock, **S. 38:** reichdernatur/AdobeStock, **S. 39:** Chaosamran_Studio/AdobeStock, George Dolgikh/AdobeStock, Aldeca Productions/AdobeStock, **S. 40/41:** Porträt Kirils Jegorovs, Mehrwegverpackungen, Foto: circolution GmbH, **S. 46:** Porträt Markus Dambeck, Foto: RIGK GmbH, Voyage-rix/Adobe Stock **S. 47:** Porträt Konstantin Humm und Andreas Bastian, Foto: plastship GmbH, Grafik: plastship GmbH, **S. 50:** Produkte, Porträt Daniel Koziol, Fotos: Koziol ideas for friends GmbH, **S. 51:** Isolierprofile, Porträt Pierre Schlosser, Fotos: Technoform Bautech Kunststoffprodukte GmbH, **S. 54/55:** Porträt Wladislaw Benner, Foto: Fraunhofer IWKS, Grafik: ReCircE, **S. 56:** Porträt Rainer und Renate Zies, MKV, Foto: MKV GmbH Kunststoffgranulate, **S. 64:** Porträt Johannis Willem van Vliet, Produkte Sanner GmbH, Fotos: Sanner GmbH, **S. 65:** Porträt Jens Meyer zu Drewer, Foto: Biowert Industrie GmbH, **S. 72/73:** VERENA, EST TU Darmstadt, Porträt Bernd Epple, Fotos: Jens Martin Kaltenmorgen, **S. 77:** Porträt Dirk Holtmann, Foto: Armin Eikenberg/TH Mittelhessen, **S. 82:** Porträt Katja Wendler, Foto: Poblete/DEHEMA, **S. 83:** Porträt Karsten Erdmann, Fotos: Kunststoff Cluster Nordhessen, **S. 84:** Porträt Gert Homm, Foto: Fraunhofer IWKS, **S. 85:** Porträt Elke Metzsch-Zilligen, Foto: Fraunhofer LBF, **S. 86:** Porträt Jan Henning Curtze, Foto: Kunststoff Innovationsnetzwerk, **S. 87:** Porträt Jens Memmesheimer, Foto: Jöckel Innovation Consulting GmbH, **S. 90:** Fotolia_130882366, **S. 91:** Mitarbeiterbilder: Jana Kay; Materialtechnologien: Peter Schladoth; Life Sciences und Bioökonomie: Andreas Koschate; Smart Production: Parilov/AdobeStock; Digitalisierung: xiaoliangge/ AdobeStock

© Hessisches Ministerium
für Wirtschaft, Energie,
Verkehr und Wohnen
Kaiser-Friedrich-Ring 75
65185 Wiesbaden
www.wirtschaft.hessen.de

Vervielfältigung und Nachdruck – auch auszugsweise –
nur nach vorheriger schriftlicher Genehmigung.

Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Hessen Trade & Invest GmbH herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlbewerbern oder Wahlhelfern während eines Wahlkampfes zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Landtags-, Bundestags- und Kommunalwahlen. Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlkampfveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zwecke der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Druckschrift nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Landesregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Die genannten Beschränkungen gelten unabhängig davon, wann, auf welchem Weg und in welcher Anzahl die Druckschrift dem Empfänger zugegangen ist. Den Parteien ist es jedoch gestattet, die Druckschrift zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden.

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und die Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die in der Veröffentlichung geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit der Meinung des Herausgebers übereinstimmen.



Hessisches Ministerium
für Wirtschaft, Energie,
Verkehr und Wohnen

Projekträger:



HESSEN
TRADE & INVEST

Wirtschaftsförderer für Hessen