



Europäisches
Patentamt
European
Patent Office
Office européen
des brevets

Patente für die Kunststoffe der Zukunft

Globale Innovationstrends in den Bereichen Recycling,
kreislauffähiges Design und alternative Rohstoffe
Hauptergebnisse | Oktober 2021



Zusammenfassung

Die massive Nutzung von Einwegkunststoffen ist schon lange ein Grund zur Sorge. Wie sehr, hat gerade erst die COVID-19-Pandemie mit dem massenhaften Einsatz von Masken, Handschuhen, Einweg-Testkits, Teststäbchen, Spritzen und medizinischen Verpackungen gezeigt – allesamt hergestellt aus Einwegkunststoffen. Und dies ist nur eines von vielen Beispielen für das Spannungsfeld zwischen gesellschaftlichem Nutzen und resultierender Verschmutzung.

In den letzten 70 Jahren haben sich Kunststoffe zu einem unverzichtbaren Rohstoff für etliche Branchen, ja sogar für die Wirtschaft insgesamt entwickelt. Doch es wächst das Bewusstsein dafür, mit welch hohem Preis für unsere Umwelt dieser wirtschaftliche Erfolg verbunden ist. Der überwiegende Teil aller produzierten Kunststoffe endet heute als Abfall in der Natur, wo er rund um den Erdball zu einer ernsthaften und oft unmittelbaren Bedrohung für zahlreiche gefährdete Arten, Ökosysteme und von ihnen abhängige sozio-ökonomische Systeme wird.

Diese Umweltkrise und die damit einhergehende systemische Herausforderung stehen im Mittelpunkt des europäischen Green Deals (Europäische Kommission, 2019) und der UN-Agenda 2030 für eine nachhaltige Entwicklung. Um der wachsenden Menge an Plastikabfällen Herr zu werden, die in unserer heutigen linearen Wirtschaft produziert, genutzt und als Müll weggeworfen werden, muss die Kunststoffindustrie auf eine durchgängige Kreislaufwirtschaft umstellen, in der Kunststofferzeugnisse am Ende ihrer Lebensdauer nicht entsorgt, sondern als Quelle neuer Wertschöpfungsprozesse genutzt werden.

Ohne Innovation, Regulierung und internationale Zusammenarbeit wird diese Umstellung nicht gelingen. Fortschritte bei den Technologien zu Abfallbehandlungs- und -umwandlungstechnologien sind unerlässlich, wenn ein systematisches Recycling gefördert und der damit erzielbare Nutzen maximiert werden soll. Noch viel zu sehr wird die Kunststoffindustrie von linearen Prozessen mit Fokus auf Leistungsfähigkeit und Haltbarkeit dominiert. Doch die voranschreitende Innovation bei alternativen Kunststoffen und Kreislaufkonzepten kann Prioritäten wie Wiederverwendbarkeit, Recyclbarkeit und biologische Abbaubarkeit von Plastikerzeugnissen voranbringen oder Plastik gar gänzlich überflüssig machen.

Ziel der Studie

Dieser Bericht richtet sich an Entscheidungsträger im privaten und im öffentlichen Sektor und ist eine einzigartige Informationsquelle zu den genannten Technologien und den technischen Problemen, die sie zu lösen versuchen. Der Bericht stützt sich auf die neuesten Patentinformationen und auf die Expertise der Prüfer des Europäischen Patentamts (EPA). Er liefert eine umfassende Analyse der Innovationstrends in der Kunststoffindustrie, welche den Übergang zur Kreislaufwirtschaft vorantreiben.

Patentinformation liefert belastbare statistische Evidenz für technische Fortschritte. Die Daten in diesem Bericht lassen die Trends für hochwertige Erfindungen erkennen, die zum Patentschutz in mehr als einem Land angemeldet wurden (IPF¹). Auf diese Weise zeigt er, welche Bereiche gerade starke Impulsgeber sind und sich wechselseitig positiv beeinflussen. Auf eine Kreislaufwirtschaft abzielende Innovationen waren noch nie wichtiger für die Entwicklung der Branche. Insofern liefert dieser Bericht Entscheidungshilfen für Politik und Wirtschaft, damit die Ressourcen hin zu vielversprechenden Technologien gelenkt werden. Er hilft Entscheidungsträgern, ihren Wettbewerbsvorteil an bestimmten Stellen der Wertschöpfungskette zu erkennen, und beleuchtet innovative Unternehmen und Organisationen, die langfristig zu einem nachhaltigen Wachstum beitragen könnten.

¹ Jede internationale Patentfamilie oder IPF steht für eine einzelne Erfindung und umfasst die bei verschiedenen Patentämtern eingereichten und veröffentlichten Anmeldungen. Sie ist ein verlässlicher Indikator für eine gewisse Qualität der Erfindungstätigkeit, weil nur Erfindungen vertreten sind, die der Urheber für so wertvoll erachtet, dass er internationalen Patentschutz anstrebt. Alle in diesem Bericht enthaltenen Daten zu Patentierungstrends beziehen sich auf IPF.

Hauptergebnisse

USA und Europa sind die wichtigsten Innovationstreiber im Bereich Kreislaufwirtschaft

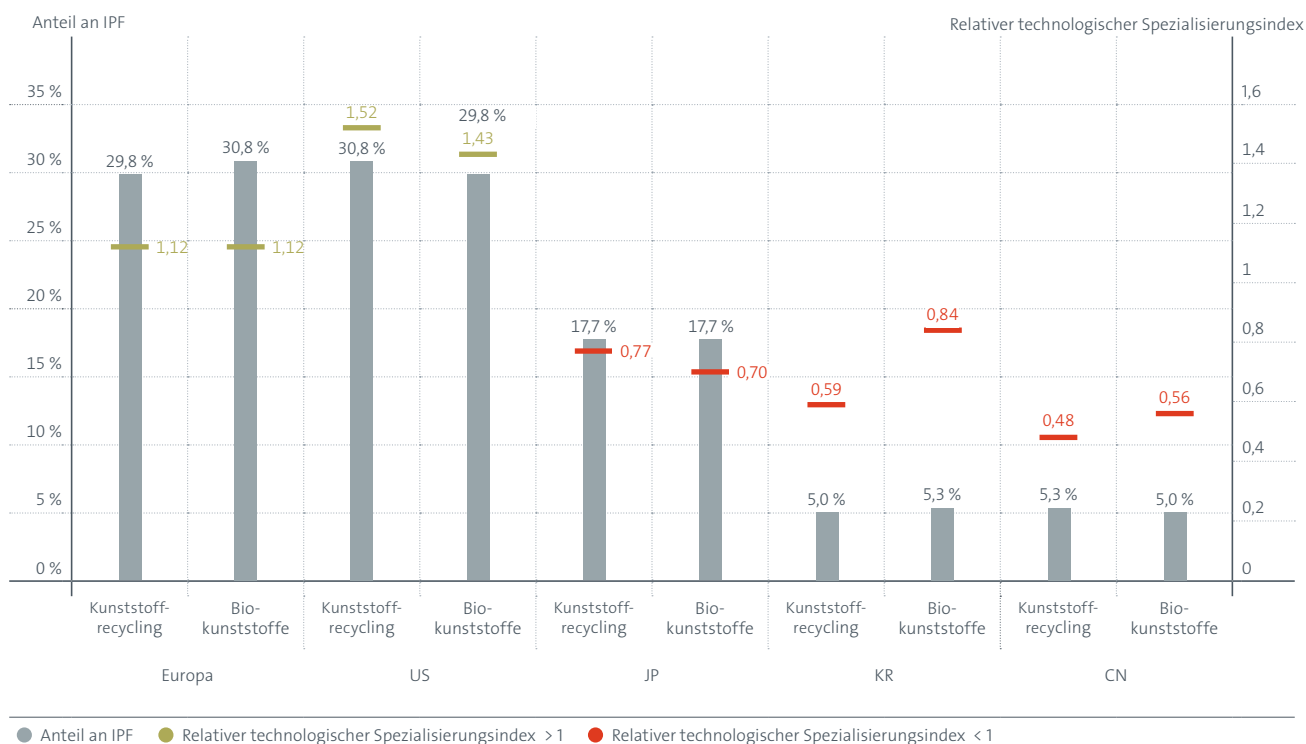
Die USA und Europa ² sind weltweit die mit Abstand aktivsten Innovatoren, wenn es um das Ziel einer funktionierenden Kreislaufwirtschaft in der Kunststoffindustrie geht, entfielen doch zwischen 2010 und 2019 jeweils rund 30 % der IPF auf diese beiden Regionen. ³ Zudem sind sie die einzigen größeren Innovationszentren, die sich wirklich auf die diesbezüglichen Technologien spezialisiert haben. Insbesondere die USA weisen sowohl beim Kunststoffrecycling als auch bei Biokunststoffen einen deutlich höheren relativen technologischen Spezialisierungsindex ⁴ auf.

Mit einem Anteil von rund 18 % an den IPF zwischen 2010 und 2019 liegt Japan deutlich vor der Republik Korea und der Volksrepublik China mit jeweils rund 5 %. Allen drei gemeinsam ist der geringe Spezialisierungsgrad in diesem Technologiebereich.

Innerhalb Europas haben sich vor allem Frankreich, das Vereinigte Königreich, Italien, die Niederlande und Belgien spezialisiert, und zwar sowohl auf Kunststoffrecycling als auch auf Biokunststoffe. Deutschland punktet zwar dank der Größe seiner Volkswirtschaft mit dem höchsten IPF-Anteil in Europa, weist aber nur eine geringe Spezialisierung in diesen Bereichen auf.

Abbildung E.1

Kreislaufwirtschaft in der Kunststoffindustrie – Herkunft der Erfindungen (2010 - 2019)



Quelle: EPA

- Sofern nicht anders angegeben, sind in diesem Bericht mit "Europa" oder "europäischen Ländern" die 38 Vertragsstaaten des Europäischen Patentübereinkommens (EPÜ) gemeint, zu denen auch die 27 Mitgliedstaaten der Europäischen Union (EU) gehören.
- Das Datum einer bestimmten IPF richtet sich stets nach dem frühesten Veröffentlichungstag innerhalb dieser Patentfamilie.
- Die Spezialisierung wird hier anhand des relativen technologischen Spezialisierungsindex (Revealed Technological Advantage oder RTA-Index) gemessen. Der RTA setzt die Spezialisierung eines Landes auf Innovationen im Bereich Kreislaufwirtschaft in der Kunststoffindustrie in Relation zu dessen Innovationskapazität insgesamt. Er ist definiert als der Anteil von IPF eines Landes in einem bestimmten Technologiebereich geteilt durch dessen IPF-Anteil in allen Technologiebereichen. Ein Wert über 1 zeigt eine Spezialisierung auf die jeweilige Technologie an. Nur die höchsten RTAs (ab ca. 1,5) werden in der Grafik berücksichtigt.

Chemisches und biologisches Recycling sind Spitzenreiter beim Patentierungsaufkommen

Mechanisches Recycling ist derzeit die einfachste und am weitesten verbreitete Lösung für die Umwandlung von Plastikabfällen in neue Erzeugnisse. Zwischen 2010 und 2019 waren in diesem Bereich fast 4 500 IPF zu verzeichnen, die sich zunehmend mit dem Problem der Qualitätsverschlechterung beim Recycling von Post-Consumer-Material befassen. Spitzenreiter sind jedoch chemische und biologische Recyclingverfahren mit mehr als 9 000 IPF im selben Zeitraum (zumindest was die Zahl der IPF angeht).

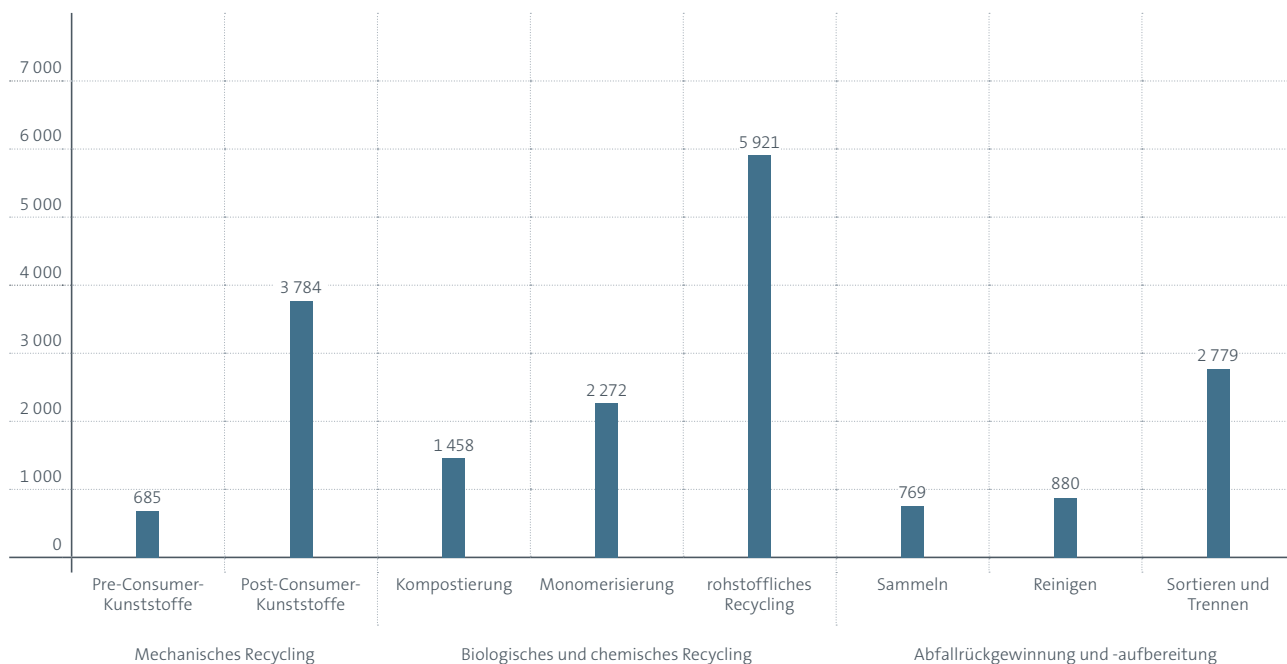
Bei den chemischen Verfahren handelt es sich zumeist um energieintensive Prozesse des rohstofflichen Recyclings von Kunststoffen wie Cracking oder Pyrolyse. Dabei wird die chemische Struktur der Kunststoffabfälle in verschiedene Grundchemikalien aufgebrochen, die in der petrochemischen Industrie flexibel wiederverwendet werden können.

Allerdings hat die Innovation in diesem Bereich 2014 ihr Spitzenniveau erreicht. Seit Neuestem bieten nun Kunststoff-zu-Monomer-Recyclingverfahren die Möglichkeit einer weiteren Aufschlüsselung der Polymere in ihre ursprünglichen Bausteine und damit in praktisch neuwertige Rohmaterialien, die eine größere Anzahl an Zyklen ermöglichen. Auch die noch jungen biologischen Kunststoff-zu-Kompost-Recyclingverfahren schlagen bislang nur mit einer relativ geringen Zahl von IPF zu Buche. Diese vielversprechende Technologie bedient sich lebender Organismen, die Polymere zu Kompost abbauen.

Alle diese Verfahren setzen eine wirksame Rückgewinnung von Kunststoffabfällen voraus (ca. 3 400 IPF zwischen 2010 und 2019), bei der die einzelnen Kunststoffarten vor dem Recycling erkannt, getrennt und gereinigt werden. Hier konzentrieren sich die Innovationen auf das Sortieren und Trennen der Abfälle unter Einsatz so fortschrittlicher Technologien wie optischer Erkennung und künstlicher Intelligenz (KI).

Abbildung E.2

Innovation bei Recyclingtechnologien (Zahl der IPF, 2010 - 2019)



Hinweis: Wo bestimmte Erfindungen für mehrere Technologiebereiche relevant sein können, wird die betreffende IPF in jedem dieser Bereiche einmal gezählt.

Quelle: EPA

Grundlagenforschung als Fortschrittsmotor für biologisches und chemisches Recycling – Europas Leistungsfähigkeit belegt das Vermarktungspotenzial neuer Recyclingtechnologien

Chemische und biologische Recyclingverfahren sind deutlich stärker als andere Recyclingtechnologien auf die Grundlagenforschung angewiesen, stammen doch 20 % der IPF im Zeitraum 2010 bis 2019 aus Hochschulen und öffentlichen Forschungseinrichtungen. Innovationen in der Abfallaufbereitung und beim Recycling von Kunststoffabfällen zu neuen Erzeugnissen greifen häufig auf bereits bekannte Technologien und vorhandene technische Ansätze zurück, woraus sich der in diesen beiden Bereichen geringere IPF-Anteil (7,4 % bzw. 6,8 %) von Hochschulen und Forschungseinrichtungen erklärt.

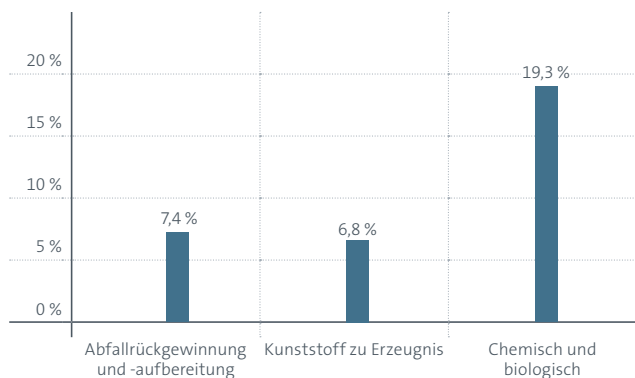
Führend bei den chemischen und biologischen Recyclingverfahren sind eindeutig die europäischen Länder und die USA, auf die jeweils 29 % der von Hochschulen und Forschungseinrichtungen generierten IPF entfallen. Europa ist dabei das einzige größere Innovationszentrum, das mehr IPF in der vorgelagerten Forschung aufzuweisen hat als in diesem Technologiebereich insgesamt (26 %). Demgegenüber fällt der Beitrag der USA und Japans zu IPF der vorgelagerten Forschung mit 29 % bzw. 11 % der IPF geringer aus als ihr jeweiliger Anteil an den IPF insgesamt (36 % bzw. 17 %).

Das legt nahe, dass Europa – obwohl überaus aktiv in der Grundlagenforschung – sein Potenzial nicht voll ausschöpft, wenn es um die Industrialisierung dieser Technologien geht. Ein genauerer Blick auf die von Start-Up- und Scale-up-Unternehmen generierten IPF stützt diese Feststellung. Obwohl deren IPF-Anteil zwischen 2010 und 2019 in beiden Regionen in etwa gleichem Maße gewachsen ist, haben US-amerikanische Start-Ups und Scale-ups in diesem Zeitraum rund vier Mal so viele IPF generiert wie ihre europäischen Konkurrenten (338 gegenüber 84).

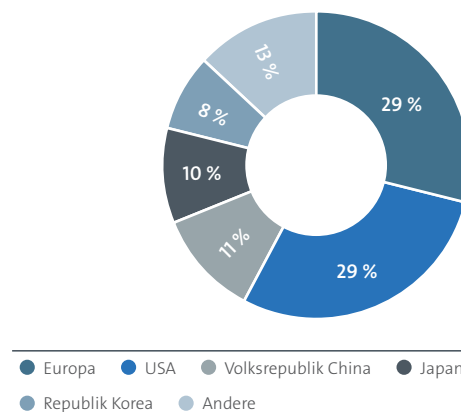
Abbildung E.3

Vorgelagerte Forschung bei Recyclingtechnologien (2010 - 2019)

a) Anteil der von Hochschulen und öffentlichen Forschungseinrichtungen generierten IPF



b) Anteil der von Hochschulen und öffentlichen Forschungseinrichtungen generierten IPF bei chemischem und biologischem Recycling



Hinweis: Die geografische Herkunft der IPF in Abbildung E.3b richtet sich nach dem Anmeldeland.

Quelle: EPA

Biokunststoffe als Alternative zu herkömmlichen fossilen Rohstoffen

Biobasierte und biologisch abbaubare Kunststoffe haben das Potenzial uns auf dem Weg zu einer Kreislaufwirtschaft voranzubringen und zur Reduzierung des durch den Einsatz herkömmlicher fossiler Rohstoffe bedingten CO₂-Ausstoßes beizutragen. Solche Biokunststoffe werden seit Ende der 80er-Jahre patentiert und erleben seither einen Aufwärtstrend, der dem bei der herkömmlichen Kunststoffherstellung in nichts nachsteht.

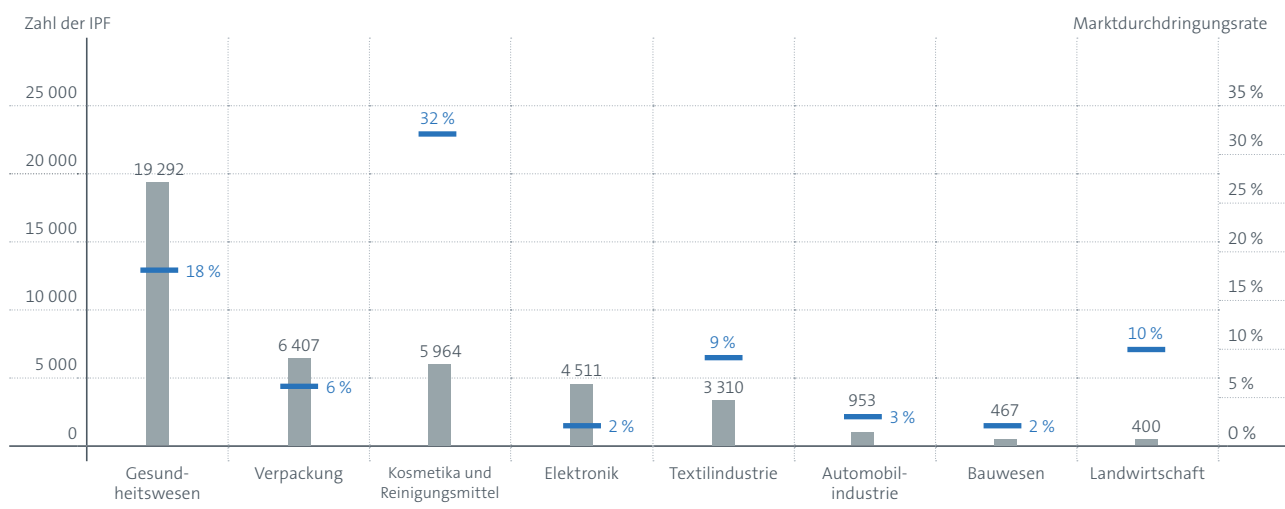
Den größten Anteil an der Patentierungstätigkeit des letzten Jahrzehnts hatten chemisch veränderte natürliche Polymere wie z. B. modifizierte Zellulose. Die höchsten Zuwächse allerdings verbuchten aus biobasierten Monomeren hergestellte Polymere. Die meisten Patente in diesem Bereich betreffen sogenannte "Drop-In-Biokunststoffe" (z.B. Bio-PE und Bio-PET), die zwar nicht biologisch abbaubar sind, aber den Verbrauch nicht nachwachsender Ressourcen und den CO₂-Ausstoß im Produktionsprozess verringern. Ein ebenfalls Zuwächse verbuchender - allerdings noch kleiner - Bereich

stellen die in industriellen Prozessen hergestellten natürlichen Polymere dar. Diese haben das Potenzial, wiederverwendbare und recycelbare Kunststoffe zu schaffen, die von Mikroorganismen leicht abgebaut werden können.

Auch wenn auf den Gesundheitssektor weniger als 3 % des gesamten europäischen Kunststoffverbrauchs entfallen (PlasticsEurope, 2020), ist er gemessen an den IPF für Biokunststoffe die mit Abstand wichtigste Branche: zwischen 2010 und 2019 verzeichnete er über 19 000 IPF. Die innovationsintensivste Branche bei Biokunststoffen sind Kosmetika und Reinigungsmittel, wo die Zahl der Biokunststoff-IPF 32 % des Niveaus der IPF für herkömmliche Kunststoffe erreicht. Verpackungen, Elektronik und Textilien tragen mit ihren 6 400, 4 511 bzw. 3 310 IPF zwischen 2010 und 2019 ebenfalls maßgeblich zur Innovation bei den Biokunststoffen bei. Auch die Landwirtschaft hat eine hohe Marktdurchdringung (10 %) und verbuchte 2019 zweieinhalbmal so viele IPF wie noch 2010.

Abbildung E.4

Innovationsintensivste Branchen für Biokunststoffe



● Zahl der IPF ● Marktdurchdringungsrate

Hinweis: Die Marktdurchdringungsrate ist der Quotient aus IPF für Biokunststoffe und IPF für herkömmliche Kunststoffe in ein und derselben Branche.

Quelle: EPA

Rapide wachsende Zukunftstechnologien ermöglichen neuartige Designs aus haltbaren Kunststoffen

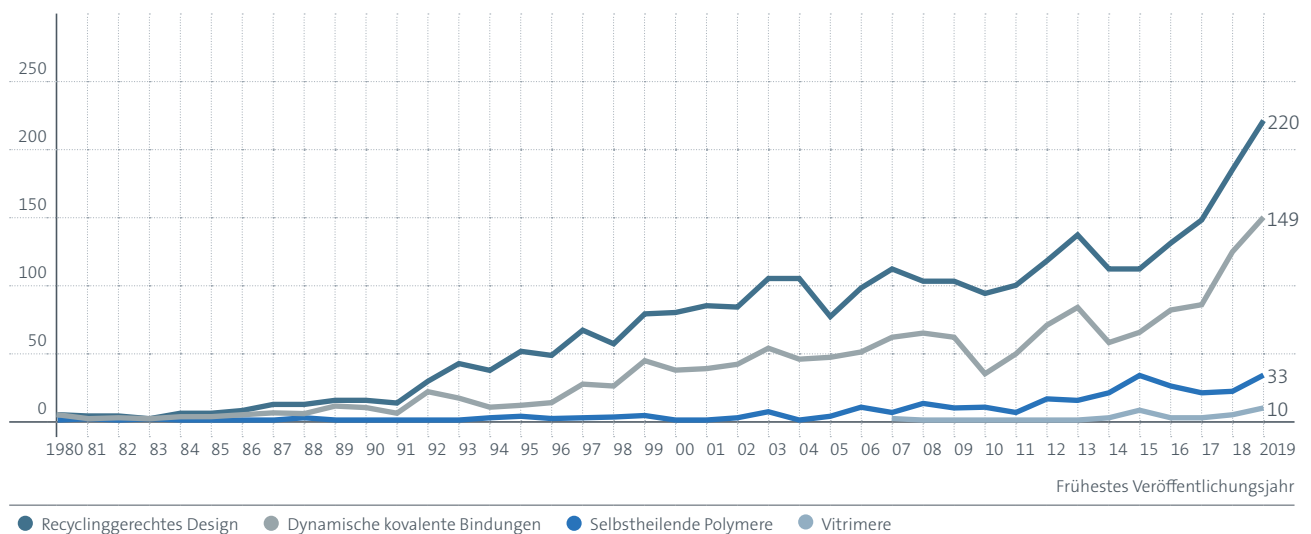
Seit Anfang der 90er-Jahre erste Technologien entstanden sind, deren Hauptaugenmerk dem recyclinggerechten Design von Kunststoffen galt, hat dieser Bereich ein exponentielles Wachstum erlebt. Das stark steigende Patentierungsaufkommen erklärt sich vor allem durch die Fortschritte bei dynamischen kovalenten Bindungen, d. h. bei Syntheseverfahren zur Bildung dreidimensionaler vernetzter Makromolekülketten, die durch reversible chemische Reaktionen aufgebrochen und neu formiert werden können. Durch diese dynamische Reversibilität lassen sich Schwierigkeiten bei der Verarbeitung und beim Recycling der zahlreichen in der Luft- und Raumfahrt, im Bau- und Transportwesen und in der Mikroelektronik verwendeten Polymere überwinden.

Unter den jüngsten Entwicklungen sind Vitrimere – ein vielversprechender Typ kovalenter adaptiver Netzwerke (covalent adaptable network, CAN). Die festen, stabilen und intrinsisch selbstheilenden Vitrimere können potenziell Duroplaste in hoch leistungsfähigen und leichtgewichtigen Anwendungen ablösen, so z. B. bei der Herstellung von Verbundteilen für Flugzeuge, Kraftfahrzeuge, Sportgeräte und Windradblättern.

Spitzenreiter bei den auf dynamische kovalente Bindungen setzenden Technologien ist eindeutig Japan mit knapp der Hälfte (49 %) aller zwischen 2010 und 2019 angemeldeten IPF, gefolgt von den USA mit 24 %, während die europäischen Länder nur 17 % beitragen. Die von Hochschulen und öffentlichen Forschungseinrichtungen generierten IPF stammen hingegen mehrheitlich aus europäischen und amerikanischen Forschungsstätten (40 % bzw. 30 %), während Japan hier mit gerade einmal 7 % eher abgeschlagen ist. Trotz seiner geringen Präsenz bei der Hochschulforschung liegt Japan jedoch insgesamt vorne – ganz im Gegensatz zu Europa, das fast doppelt so viel zur universitären Grundlagenforschung wie zum Patentierungsaufkommen beiträgt.

Abbildung E.5

IPF für recyclinggerechtes Design, dynamische kovalente Bindungen, selbstheilende Polymere und Vitrimere (1980 - 2019)



Quelle: EPA

Herausgeber und Redaktion

Europäisches Patentamt
München, Deutschland
© EPA 2021

Der vollständige Bericht ist verfügbar unter
epo.org/trends-plastics

Zusätzliche Informationen

Besuchen Sie **epo.org**

- > Patentrecherche: epo.org/espacenet
 - > Europäisches Patentregister: epo.org/register
 - > Dienste für die Online-Einreichung: epo.org/online-services
 - > Schulungen: epo.org/academy
 - > Freie Stellen: epo.org/jobs
 - > FAQs, Veröffentlichungen, Formblätter und Tools:
epo.org/service-support
-

Abonnement

- > Unser Newsletter: epo.org/newsletter
-

Besuchen Sie **epo.org/contact**

- > Kontaktformulare für Ihre Fragen an uns
 - > Telefonnummer unserer Kundenbetreuung
 - > Unsere Kontaktdaten
-

Folgen Sie uns auf

- > facebook.com/europeanpatentoffice
 - > twitter.com/EPOorg
 - > youtube.com/EPOfilms
 - > linkedin.com/company/european-patent-office
-