

AUSZUG zum Schwerpunktthema:
Innovationen zu Klimaschutz und Nachhaltigkeit

INNOVATIONSINDIKATOREN CHEMIE 2020

Schwerpunktthema: Innovationen zu
Klimaschutz und Nachhaltigkeit

Studie im Auftrag des Verbandes
der Chemischen Industrie e. V.

ZEW

11
102
1004

Leibniz
Universität
Hannover

CWS Center für Wirtschaftspolitische Studien

Mannheim und Hannover, Oktober 2020

Innovationsindikatoren Chemie 2020

Dieser Bericht setzt die regelmäßige Darstellung der Innovationsleistung der deutschen Chemieindustrie fort. Er stellt anhand ausgewählter Indikatoren aktuelle Entwicklungen und Trends bei Forschung und Innovation im Wissenschafts-, Technologie- und Industriefeld Chemie dar.

Die Chemieindustrie ist in diesem Bericht wie folgt abgegrenzt:

- **Industrie:** Herstellung von Chemikalien (Abteilung 20 der Wirtschaftszweigsystematik 2008)
- **Wissenschaft:** Fachgruppe/Studienbereich 40 („Chemie“) der Systematik der Fächergruppen, Studienbereiche und Studienfächer; für Publikationen: SCI-Search Kategorien „chemistry“ (ohne „clinical“ oder „medical“), „electrochemistry“, „polymer“ „engineering + chemical“
- **Technologie:** IPC-Klassen A01N, A01P, A61C0013-23, A61K0008, A61Q0011, C01B, C01C, C05*, C06B, C06C, C07B, C07C, C07F, C08*, C09B, C09C, C09D not C09D0011, C09H, C09J, C09K0003-18, C09K0005-20, C10B, C10H, C10J, C10K, C10M0125, C10M0127, C10M0129, C10M013*, C10M014*, C10M015*, C10M0161, C10M0163, C10M0165, C10M0167, C10N, C11B, C11B0009, C11D, C14C, C25B, D01F, D06M0014, D06M0015, F02B0047, F02D0019-12, F02M0025-14, G01N0031, G03C

Zur besseren Lesbarkeit wird in diesem Dokument für Personenbezeichnungen der Einfachheit halber nur die männliche Sprachform verwendet. Die weibliche Sprachform ist selbstverständlich immer mit eingeschlossen.

Kontakt und weitere Informationen:

Dr. Birgit Gehrke
Center für Wirtschaftspolitische Studien (CWS)
Leibniz Universität Hannover
Königsworther Platz 1, 30167 Hannover
Tel: +49 (0) 511 762 14592
Tel: +49 (0) 511 762 4574
E-Mail: gehrke@cws.uni-hannover.de

Dr. Christian Rammer
ZEW – Leibniz-Zentrum für Europäische
Wirtschaftsforschung GmbH Mannheim
L 7,1 – D-68161 Mannheim
Tel: +49 (0) 621 1235 184
Fax: +49 (0) 621 1235 170
E-Mail: rammer@zew.de

Innovationen zu Klimaschutz und Nachhaltigkeit

Die Chemieindustrie leistet mit Hilfe von FuE, neuen Technologien sowie Produkt- und Verfahrensinnovationen vielfältige Beiträge zur Begrenzung des treibhausgasgetriebenen Klimawandels und zu einer auf Nachhaltigkeit ausgerichteten Produktion:

- **Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten** zu Klima- und Umweltschutz sowie Nachhaltigkeit legen die Wissensbasis für neue Materialien, Verfahren und Lösungen. 25 % der FuE-aktiven Unternehmen in der Chemieindustrie haben im Jahr 2017 zu diesem Themenfeld geforscht. Dies ist der zweithöchste Wert im Branchenvergleich.
- **Patentanmeldungen** im Bereich von Klimaschutztechnologien zeigen die konkrete Entwicklung industriell einsetzbarer Stoffe, Methoden und Verfahren an, die zu geringeren Emissionen, einer höheren Effizienz des Ressourceneinsatzes sowie der Nutzung erneuerbarer Energiequellen beitragen. Von den weltweit ca. 3.700 Chemiepatenten mit Klimaschutzbezug, die im Jahr 2016 angemeldet wurden, kamen 11 % aus Deutschland. Dies ist Rang 3 hinter den USA und Japan. Der Anteil der Klimaschutzpatente an allen Chemiepatentanmeldungen in Deutschland hat sich von 2005 bis 2016 fast verdoppelt (auf 13,5 %).
- **Produkt- und Prozessinnovationen** zu Energie- und Ressourceneffizienz, Klimaschutz und Kreislaufwirtschaft stellen die Umsetzung der FuE-Ergebnisse und Patentierungsaktivitäten in Lösungen für Kunden, Endnutzer und interne Prozess dar. 18 % der Chemieunternehmen in Deutschland haben 2012-2014 Prozessinnovationen eingeführt, die zu einer wesentlichen Erhöhung der Energieeffizienz führten, 11 % konnten den Material- oder Wasserverbrauch merklich reduzieren und 10 % die CO₂-Emissionen erheblich verringern. Dies sind höhere Anteilswerte als in den meisten anderen Branchen.
- **Investitionen** in neue Anlagen zur Verbesserung von Klima- und Umweltschutz sind eine konkrete Form der Einführung neuer oder verbesserter Verfahren, um die Umweltbelastung von Produktions- und Distributionsprozessen zu verringern. Im Jahr 2017 gab die deutsche Chemieindustrie 521 Mio. € für Investitionen in den Klima- und Umweltschutz aus. Dies sind 21,8 % der Klima- und Umweltschutzinvestitionen der verarbeitenden Industrie Deutschlands.
- **Chemie-Startups**, die Geschäftsmodelle zu Klimaschutz und Nachhaltigkeit verfolgen, stellen einen besonderen Weg der Umsetzung von FuE-Ergebnissen und neuen Technologien in innovative Marktangebote dar. Fast ein Viertel der Chemie-Startups in Deutschland weist solche Geschäftsmodelle auf. Die adressierten Absatzmärkte sind primär die Chemieindustrie, die Umwelttechnikbranche sowie die Elektroindustrie.

Zwei konkrete aktuelle Beispiele für Chemie-Innovationen, die zur Stärkung einer Kreislaufwirtschaft und zu einer nachhaltigeren Form der Energienutzung beitragen, sind das **chemische Recycling** von Kunststoffabfällen und die Nutzung von chemischen Technologien für **Power-to-X**.

Innovations on Climate Protection and Sustainability

R&D, new technologies as well as product and process innovations of the chemical industry contribute in a variety of ways to limit climate change driven by greenhouse gases and to transfer production towards a higher level of sustainability:

- **Research and development** for protecting the climate and the environment create the new knowledge that is required for new and improved materials and solutions. In 2017, 25% of all R&D performing firms in the German chemical industry performed R&D in these areas, which is the second largest share among all industries.
- **Climate protection patents** indicate new technological developments towards substances, methods and processes which lead to lower emissions, higher resource efficiency and the use of renewable energy that can be deployed at an industrial scale. In 2016, almost 3,700 chemical patents were related to climate protection. Germany contributed 11% to this total figure, which is rank 3 behind the U.S. and Japan. The share of climate protection patents in all chemical patent applications in Germany almost doubled between 2005 and 2016, reaching 13.5%.
- **Product and process innovations** related to energy and resource efficiency, climate protection and the circular economy represent the implementation of R&D results and patent activities in the market or for internal use in the chemical industry. 18% of all chemical firms in Germany reported process innovations during 2012 and 2014 that significantly increased energy efficiency while 11% could substantially reduce material or water consumption and 10% markedly decreased CO₂ emissions. These shares are among the highest across all industries.
- **Capital expenditure** in new equipment for improving climate and environmental protection are a specific way to reduce environmental impacts through the introduction of new or improved processes. In 2017, the German chemical industry spent €521m on such investment. This equals 21.8% of total capital expenditure for climate and environmental protection in German manufacturing.
- **Chemical start-ups** with business models related to climate protection and sustainability are transferring R&D results and new technologies into innovative market offers. Almost a quarter of all chemical start-ups in Germany show such business models. Their primary customer markets include the chemicals, environmental technologies and the electrical and electronics industry.

Two practical and topical examples for chemical innovations that strengthen the circular economy and contribute to a more sustainable energy use include **chemical recycling** of plastic waste (e.g. through pyrolysis) and the use of chemical technologies for **power-to-X**.

Schwerpunktthema: Innovationen zu Klimaschutz und Nachhaltigkeit

Klimaschutz und Nachhaltigkeit sind die Grundlagen für ein langfristig tragfähiges Wirtschaften. Der Chemieindustrie¹ kommt dabei eine besondere Bedeutung zu. Denn als eine Branche, die mit ihren Produkten zu einem beträchtlichen Teil die materielle Basis für andere Industriezweige und für viele Konsumgüter schafft, haben Anstrengungen für mehr Nachhaltigkeit weit reichende Wirkung in andere Wirtschaftsbereiche. Dies gilt z.B. für die Schließung von Stoffkreisläufen durch Recycling von Materialien oder die Vermeidung von umweltbelastenden Stoffen. Gleichzeitig kann die Chemieindustrie bei ihren eigenen Prozessen erhebliche Beiträge zum Klimaschutz leisten. Denn als eine Branche mit hohem Materialdurchsatz auf Grundlage von energieintensiven Verfahren bieten sich viele Möglichkeiten, über innovative Ansätze die Ressourcen- und Umwelteffizienz zu steigern.

In dem vorliegenden Spezialthema wird indikatorgestützt dargestellt, wie die Chemieindustrie mit Hilfe von FuE, neuen Technologien sowie neuen Produkten und Verfahren Beiträge zur Begrenzung des treibhausgasgetriebenen Klimawandels und zu einer auf Nachhaltigkeit ausgerichteten Produktion leistet:

- **Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten** zu Klima- und Umweltschutz sowie Nachhaltigkeit legen die Wissensbasis für neue Materialien, Verfahren und Lösungen.
- **Patentanmeldungen** im Bereich von Klimaschutztechnologien zeigen die konkrete Entwicklung industriell einsetzbarer Stoffe, Methoden

und Verfahren an, die zu geringeren Emissionen, einer höheren Effizienz des Ressourceneinsatzes sowie der Nutzung erneuerbarer Energiequellen beitragen.

- **Produkt- und Prozessinnovationen** zu Energie- und Ressourceneffizienz, Klimaschutz und Kreislaufwirtschaft stellen die Umsetzung der FuE-Ergebnisse und Patentierungsaktivitäten in Lösungen für Kunden, Endnutzer und interne Prozesse dar.
- **Investitionen** in neue Anlagen zur Verbesserung von Klima- und Umweltschutz sind eine konkrete Form der Einführung neuer oder verbesserter Verfahren, um die Umweltbelastung von Produktions- und Distributionsprozessen zu verringern.
- **Chemie-Startups**, die Geschäftsmodelle zu Klimaschutz und Nachhaltigkeit verfolgen, stellen einen besonderen Weg der Umsetzung von FuE-Ergebnissen und neuen Technologien in innovative Marktangebote dar.

Zusätzlich wird anhand von zwei **Fallbeispielen** aufgezeigt, wie Innovationen der Chemieindustrie konkret zu Klimaschutz und Nachhaltigkeit beitragen:

- **chemisches Recycling** von Kunststoffabfällen,
- chemische Technologien für **Power-to-X**.

Nicht Gegenstand dieses Spezialthemas ist die Analyse des Energie- und Ressourceneinsatzes sowie der klimarelevanten Emissionen in der Chemieindustrie. Hierzu liegen bereits verschiedene andere Publikationen vor.²

FuE-Aktivitäten zu Klimaschutz und Nachhaltigkeit

Eine zentrale Grundlage für Innovationen zu Klimaschutz und Nachhaltigkeit in der Chemieindustrie sind die FuE-Aktivitäten der Unternehmen in diesem Bereich. Aus der FuE-Erhebung des Stifterbands liegen für das Jahr 2017 Angaben zu den Technologiefeldern und Themenbereichen vor, zu denen die Unternehmen FuE betreiben. Eines dieser Felder ist "Klima/Umwelt/Nachhaltigkeit". 25 % der FuE-aktiven Unternehmen in der Chemieindustrie haben im Jahr 2017 zu diesem Themenfeld geforscht. Dies ist hinter dem Maschinenbau (29 %) der zweithöchste Wert. Im Fahrzeugbau und in der Elektroindustrie sind es mit 12 bzw. 10 % nur weniger als halb so viele.

Der hohe Anteil von 25 % in der Chemieindustrie bedeutet jedoch nicht, dass 25 % der gesamten FuE-Ausgaben der Branche diesem Themenbereich gewidmet sind. Denn die großen Chemieunternehmen forschen zu vielen unterschiedlichen Themen, sodass sich deren FuE-Budget auf entsprechend viele Technologiefelder verteilt.

Zwei weitere Technologiefelder und Themenbereiche mit Bezug zur Nachhaltigkeit sind "Energie" und "Bioökonomie". Während sich FuE zu Energie primär mit der Entwicklung von Technologien zur Erzeugung, Umwandlung, Übertragung und Nutzung von Energie befasst, hat das Thema Bioökonomie u.a. einen engen Bezug zur Kreislaufwirtschaft und der Nutzung nachwachsender Rohstoffe. 11 % der FuE-aktiven Chemieunternehmen betreiben FuE zur Bioökonomie, 7 % zählen FuE zu Energietechnologien zu ihren thematischen Schwerpunkten. Während die Elektroindustrie sowie der Maschinen- und Fahrzeugbau hohe Anteilswerte beim Thema Energie aufweisen, spielt die Bioökonomie hier kaum eine Rolle für die Inhalte der FuE-Aktivitäten. Bioökonomie ist dagegen ein zentrales Forschungsthema für viele forschende Pharmaunternehmen. Die Chemieindustrie ist die einzige Branche, die in allen drei Technologien und Themenfeldern mit Bezug zu Klimaschutz und Nachhaltigkeit merklich vertreten ist. Dies unterstreicht den Querschnittscharakter der Chemie-FuE.

¹ Die Chemieindustrie umfasst hier - so wie im Hauptteil des Berichts - die Herstellung von Chemikalien. Dies schließt die industrielle Biotechnologie sowie die grüne Biotechnologie mit ein, nicht aber die rote Biotechnologie und die Herstellung von Pharmazeutika.

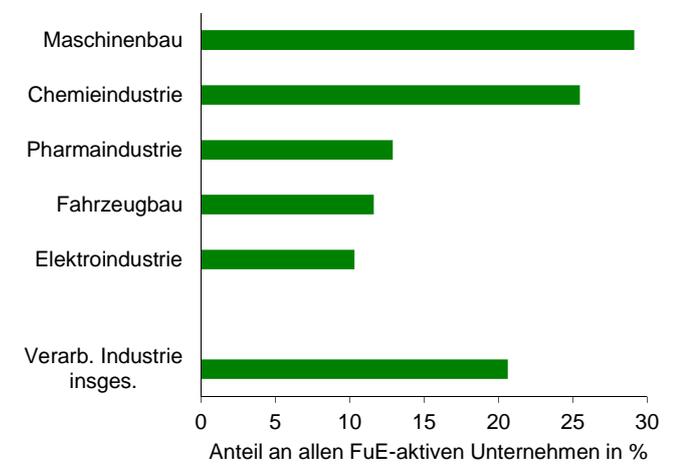
² "Chemie³ - die Nachhaltigkeitsinitiative der deutschen Chemie. Fortschrittsbericht 2018" - VCI, IG BCE, BAVC. Frankfurt, 2018.

"Road Map 2050 - Auf dem Weg zu einer treibhausgasneutralen chemischen Industrie in Deutschland" - Eine Studie von DECHEMA und FutureCamp für den VCI. Frankfurt, 2019.

"2020 Facts & Figures of the European Chemical Industry" - CEFIC. Brüssel, 2020.

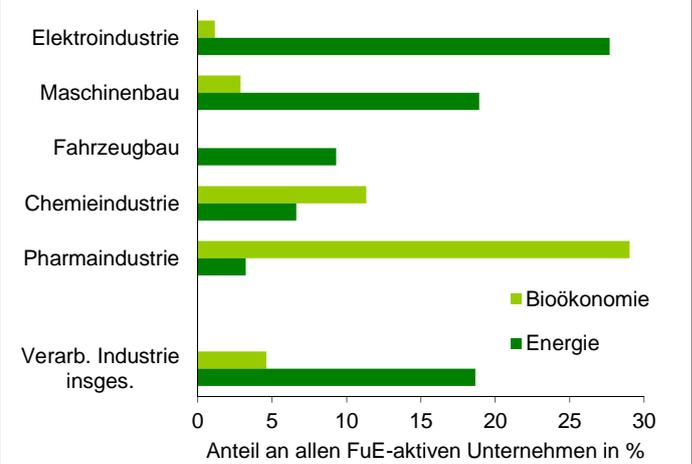
Die Angaben zu FuE-Aktivitäten zu Klima, Umwelt und Nachhaltigkeit sowie zu Energie und zu Bioökonomie stammen aus der **deutschen FuE-Erhebung** zum Berichtsjahr 2017. Erfasst wurde, zu welchen Technologiefeldern und Themenbereichen (aus einer Liste von 13 Feldern/Themen) Unternehmen im Jahr 2017 FuE betrieben haben. Mehrfachnennungen von Feldern/Themen waren möglich. Da nicht die Höhe der FuE-Ausgaben in den einzelnen Feldern/Themen erhoben wurde, ist nur eine Auswertung nach der Anzahl der Unternehmen, die zu einem bestimmten Feld/Thema FuE betrieben haben, möglich. Die ausgewiesenen Anteilswerte beziehen sich auf alle FuE-aktiven Unternehmen, die Angaben gemacht haben zu den Themen/Feldern, zu denen sie FuE betrieben haben.

FuE zu Klima, Umwelt und Nachhaltigkeit im Branchenvergleich in Deutschland 2017



Quelle: Wissenschaftsstatistik Stifterverband - Berechnungen des CWS

FuE zu Energie und Bioökonomie im Branchenvergleich in Deutschland 2017



Quelle: Wissenschaftsstatistik Stifterverband - Berechnungen des CWS

Patentanmeldungen mit Klimaschutzbezug

Patentanmeldungen sind ein Indikator zur Messung der technologischen Position von Branchen und Ländern auf den Weltmärkten. Sie zeigen an, dass technische Neuerungen mit industriellem Anwendungspotenzial entwickelt wurden. Die Chemie trägt in vielfältiger Form zur Entwicklung neuer Technologien und technischer Lösungen für den Klimaschutz bei. Diese reichen von Materialien für Solarzellen, Batterietechnologien und Technologien zur Herstellung von Wasserstoff über Brennstoffzellentechnologien bis zu Technologien zur Abgasreinigung oder lumineszierende Materialien. Die Chemie leistet damit zusammen mit den anderen Technologiebranchen (Fahrzeugbau, Maschinenbau, Elektrotechnik, IT-Industrie) entscheidende technologische Beiträge für klimaneutrale wirtschaftliche und gesellschaftliche Aktivitäten.

Insgesamt wurden weltweit 2016 schätzungsweise knapp 3.700 Chemiepatente mit Klimaschutzbezug ("Klimaschutzpatente") angemeldet. Hiervon entfiel allein die Hälfte auf die USA (27 %) und Japan (23 %). Deutschland lag auf Rang 3 mit gut 11 % vor China und Südkorea mit jeweils knapp 8 %. Für die Klimaschutzpatente zeigt sich – ebenso wie für die Patentanmeldungen im Technologiefeld Chemie - für die vergangenen zehn Jahre eine Verschiebung zulasten der großen westlichen Chemienationen und zugunsten der asiatischen Länder. Insbesondere China und Südkorea haben in beachtlichem Umfang hinzugewonnen.

Auch an den Patentanmeldungen wird deutlich, dass Klimaschutzbelange weltweit einen immer höheren Stellenwert innerhalb der Chemieforschung einnehmen. Dies gilt besonders für Deutschland, wo sich der Anteil der Klimaschutzpatente zwischen 2005 (7,4 %) und 2016 (13,5 %) fast verdoppelt hat. Weltweit war im gleichen Zeitraum ein Zuwachs von 10,1 % auf 14,5 % zu verzeichnen. Im Ländervergleich lag Deutschland 2016 annähernd gleichauf mit

Südkorea und Indien im Mittelfeld. Die höchste Ausrichtung auf Klimaschutztechnologien innerhalb der Chemiepatentaktivitäten zeigen die Niederlande (18 %), die USA (15,6 %) und Großbritannien (14,7 %). Vergleichsweise niedrige Anteile von rund 12 % ergeben sich für China, Japan, die Schweiz und Frankreich.

Das weltweit gewachsene Strukturgewicht von Chemiepatentanmeldungen mit Klimaschutzbezug liegt darin begründet, dass deren Zahl bis 2010 deutlich stärker gewachsen ist als die Zahl der Chemiepatente insgesamt und sich seitdem – bei allen Unsicherheiten in den Daten - auf höherem Niveau zumindest stabilisiert hat. Für Deutschland gilt grundsätzlich ein ähnlicher Trend, mit dem Unterschied, dass die Zahl der transnationalen Chemiepatentanmeldungen hier schon seit Ende der 2000er Jahre rückläufig ist. Auch bei den Klimaschutzpatenten ist nach zunächst überdurchschnittlichem Zuwachs seit einigen Jahren eine leicht nachlassende Entwicklung zu verzeichnen.

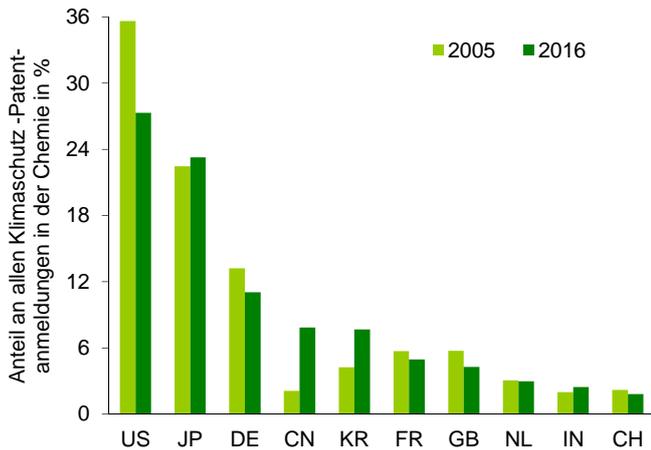
Im deutschen Branchenvergleich zeigt sich, dass die Klimaschutzanteile an den Patentanmeldungen nicht nur in der Chemie, sondern in allen Branchen seit 2005 zugenommen haben. Die Chemie erreicht dabei einen guten Mittelwert auf dem Niveau des Maschinenbaus und der Elektrotechnik. Deutlich darüber liegt der Fahrzeugbau, darunter die Pharmazeutische Industrie.

Mit Blick auf die klimarelevanten Hauptgruppen mit den höchsten Patentanmeldezahlen geht es in der Chemie vor allem um Beiträge zur Elektromobilität, Solarzellen und LEDs, Abgasreinigung sowie effiziente Verfahren. Klimaschutzorientierte Forschung und Entwicklung in der Chemie dient damit nicht nur für eigene Zwecke, sondern ist gleichzeitig eine wesentliche Voraussetzung für die klimaschutzorientierten Ansätze in der Fahrzeug- und Elektrotechnik.

Grundlage der Patentanalyse sind **transnationale Patentanmeldungen**, d.h. Patente, die am Europäischen Patentamt oder über das PCT-Verfahren an der World Intellectual Property Organization angemeldet wurden (vgl. dazu den Methodenkasten zu Indikatorblatt 10 auf S. **Fehler! Textmarke nicht definiert.**). Anhand der Unterklassen der Internationalen Patentklassifikation (IPC), die bei der Anmeldung obligatorisch vergeben werden, werden Patente Branchen zugeordnet. Um technische Trends und Markttrends auf den verschiedenen Feldern von Klimaschutztechnologien besser erkennen zu können, wurde vor rund 10 Jahren vom Europäischen und US-amerikanischen Patentamt innerhalb der Cooperative Patent Classification (CPC) eine spezifische Klassifikation zur Erfassung von „Technologies or Applications for Mitigation or Adaption against Climate Change“ (Y02) eingerichtet. Seitdem werden Patentanmeldungen zusätzlich nach diesem Schema indiziert. Da die CPC-Codes aber oftmals erst mit größerer Verzögerung eingetragen werden, können, unter Nutzung von Hochrechnungen, derzeit lediglich Daten bis zum Erstanmeldungs-jahr 2016 sinnvoll ausgewertet werden.

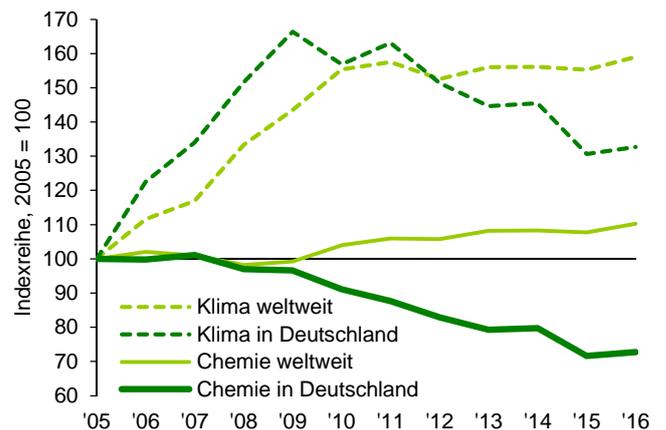
Die Auswertung der häufigsten als **klimarelevant indizierten Patenthauptgruppen** in der Chemie ergibt die folgenden Bereiche: Organische Solarzellen; Wasserstoffherstellung; Lumineszierende Materialien; Chemische Reinigung von Abgasen; Elektrolytische Herstellung von Wasserstoff; Elektroden von Batterien; Wieder aufladbare Batterien; Kohlenstoffherstellung; Solarzellen; Brennstoffzellen; Polymere sowie Verwendung von anorganischen Stoffen als Zusatzstoffe; Chemische, physikalische oder physikochemische Verfahren; Herstellung von Kohlenwasserstoffen. Die Patenthauptgruppe Biotechnologische Verfahren bleibt unberücksichtigt, da ein großer Teil der Anmeldung Bezug zu Pharma hat.

Anteil ausgewählter Länder an den weltweiten Chemiepatentanmeldungen für Klimaschutz 2005 und 2016



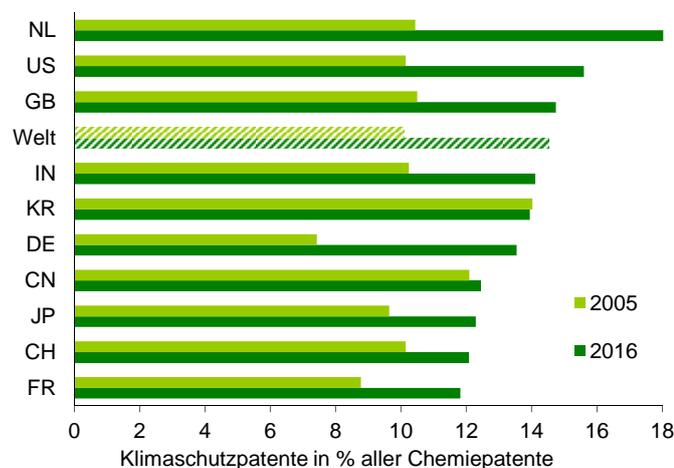
2016 hochgerechnet
Quelle: WPI – Berechnungen des Fraunhofer-ISI und CWS

Dynamik von Chemiepatentanmeldungen insgesamt sowie für Klimaschutz in Deutschland und weltweit 2005 bis 2016



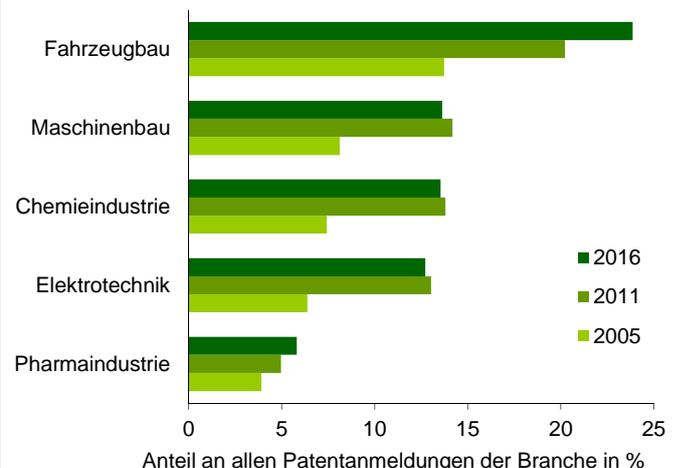
2013 bis 2016 hochgerechnet
Quelle: WPI – Berechnungen des Fraunhofer-ISI und CWS

Anteil der Klimaschutzpatente an allen Chemiepatentanmeldungen im Ländervergleich 2005 und 2016



2016 hochgerechnet.
Quelle: WPI – Berechnungen des Fraunhofer-ISI und CWS

Anteil von Patentanmeldungen für Klimaschutz im deutschen Branchenvergleich 2005, 2011 und 2016



2016 hochgerechnet.
Quelle: WPI – Berechnungen des Fraunhofer-ISI und CWS

Produkt- und Prozessinnovationen zu Klimaschutz und Nachhaltigkeit

Die deutsche Chemieindustrie zeichnet sich im Vergleich zu anderen Technologiebranchen durch einen überdurchschnittlich hohen Anteil von Unternehmen mit Innovationen zu Klimaschutz und Nachhaltigkeit aus. Im Zeitraum 2012-2014 hatten 18 % der Chemieunternehmen in Deutschland Prozessinnovationen eingeführt, die zu einer wesentlichen Erhöhung der Energieeffizienz führten. 11 % wiesen Prozessinnovationen auf, die den Material- oder Wasserverbrauch merklich reduziert haben. Bei 10 % der Che-

mieunternehmen trugen Prozessinnovationen zu einer bedeutenden Reduktion der CO₂-Emissionen und in 11 % zu einer Reduktion anderer Luftemissionen bei. Alle diese Anteilswerte liegen deutlich über dem Durchschnitt der verarbeitenden Industrie und über den Werten der Elektroindustrie, des Maschinenbaus und des Fahrzeugbaus. Einzig die Pharmaindustrie weist etwas höhere Anteilswerte in Bezug auf Prozessinnovationen zur merklichen Erhöhung der Energieeffizienz bzw. zur Verringerung der CO₂-Emissionen auf (wobei beides oft Hand in Hand geht).

Der hohe Anteil von Unternehmen mit Prozessinnovationen, die einen bedeutenden Beitrag zu Klimaschutz und Nachhaltigkeit leisten, spiegelt das hohe Potenzial für solche Innovationen in einer materialverarbeitenden, energieintensiven Branche wider. Er zeigt aber auch, dass trotz bereits hoch-effizienter Anlagen und Prozesse mit Hilfe von Innovationen noch weitere positive Beiträge erzielt werden können.

Die Chemieindustrie ist aber auch im Produktbereich in Richtung Klimaschutz und Nachhaltigkeit innovativ. 10 % der Unternehmen führten 2012-2014 neue Produkte ein, die den Energieverbrauch beim Einsatz durch die Anwender merklich verringern. Gleich hoch ist der Anteil der Chemieunternehmen, deren Produktinnovationen zu einer bedeutenden Verringerung von Emissionen bei der Nutzung der Produkte führen. Während Maschinenbau, Fahrzeugbau und Elektroindustrie etwas höhere Anteilswerte

in Bezug auf Innovationen zur Verringerung des Energieverbrauchs von Produkten aufweisen, liegt die Chemieindustrie bei emissionsmindernden Produktinnovationen im Branchenvergleich vorn. Dies gilt auch für die deutlich verbesserte Recyclingfähigkeit der Produkte, die eine zentrale Voraussetzung für eine intensivisierte Kreislaufwirtschaft ist.

Im europäischen Vergleich führen die Unternehmen der deutschen Chemieindustrie besonders häufig Prozessinnovationen mit positiven Beiträgen zum Umweltschutz ein. Mit einem Anteil von 79 % der Unternehmen, die 2012-2014 Innovationen mit einem bedeutenden oder geringen Beitrag zum Umweltschutz eingeführt haben, befindet sich Deutschland vor allen Vergleichsländern, für die Daten vorliegen. In Bezug auf Produktinnovationen mit positiven Umweltbeiträgen zeigt die österreichische Chemieindustrie einen höheren Anteilswert als die deutsche.

In der **europaweiten Innovationserhebung** (Community Innovation Survey) wurde für das Referenzjahr 2014 erhoben, inwieweit Unternehmen neue oder merklich verbesserte Produkte oder Prozesse eingeführt haben, die einen positiven Beitrag zum Umweltschutz geleistet haben (d.h. eine Verringerung der Umweltbelastung im Vergleich zu den vom Unternehmen zuvor angebotenen Produkten und eingesetzten Prozessen). Dabei wurde zwischen positiven Umweltbeiträgen im Bereich der Prozesse des Unternehmens (Produktion, Logistik etc.) und durch die Nutzung der Produkte beim Kunden unterschieden. Die meisten der erfassten Beiträge lassen sich dem Klimaschutz und der Erhöhung von Nachhaltigkeit zuordnen, so die Verringerung von Energie-, Material- und Wasserverbrauch sowie von CO₂- und anderen Luftemissionen, der Ersatz gefährlicher Stoffe, die Verbesserung des Recyclings, der Ersatz fossiler Energiequellen durch erneuerbare und die Reduktion von Wasser- und Bodenbelastung.

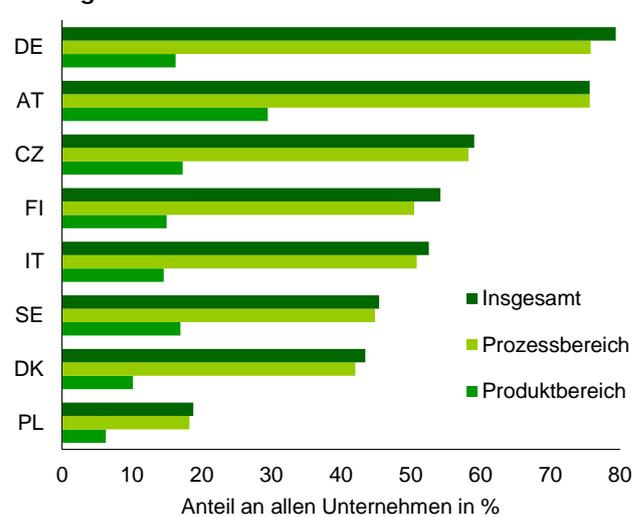
In der deutschen Innovationserhebung wurde darüber hinaus erfasst, ob der Beitrag zum Umweltschutz bedeutend oder gering war. Für einen internationalen Vergleich liegen nur zu ausgewählten europäischen Ländern Daten vor, da nicht alle EU-Mitgliedstaaten diese Frage in das Fragenprogramm der nationalen Innovationserhebung aufgenommen haben. Als Indikator wird der Anteil der Unternehmen ausgewiesen, die Innovationen mit positiven Beiträgen zum Umweltschutz (für den Branchenvergleich in Deutschland: mit bedeutenden positiven Beiträgen) geleistet haben. Wenngleich die Angaben bereits einige Jahre alt sind, so zeigen sie gleichwohl die grundsätzliche Ausrichtung der Innovationstätigkeit der Chemieindustrie auf das Thema Klimaschutz und Nachhaltigkeit. Aktuelle Daten zu Innovationen im Bereich Umweltschutz werden im Rahmen der europaweiten Innovationserhebung erst wieder für das Referenzjahr 2020 erhoben.

Innovationen mit bedeutenden positiven Beiträgen zu Klimaschutz und Nachhaltigkeit 2012-2014 im deutschen Branchenvergleich

Anteil an allen Unternehmen in %	Chemie	Pharma	Elektroind.	Maschinenb.	Fahrz. z.g.b.	Verarb. Industr.
Prozessbereich						
Energieverbrauch	18	21	11	12	12	14
Material-/Wasserverbr.	11	9	7	8	6	8
CO ₂ -Emissionen	10	11	5	7	6	7
Ersatz gefährl. Substanz.	7	7	4	4	2	6
Recycling	8	0	9	7	3	6
Ersatz fossiler Energiequ.	6	6	3	6	8	5
andere Luftemissionen	11	2	2	4	4	4
Wasser-/Bodenbelastung	3	7	2	4	5	3
Produktbereich						
Energieverbrauch	10	7	13	13	11	9
Erhöhung Lebenszeit	4	2	12	8	9	5
Emissionen	10	4	5	6	8	4
Recyclingfähigkeit	7	6	4	2	4	3

Quelle: ZEW - Mannheimer Innovationspanel

Innovationen in der Chemieindustrie mit positiven Beiträgen zum Umweltschutz 2012-2014 im internationalen Vergleich



Quelle: Eurostat, CIS 2014 - Berechnungen des ZEW

Investitionen in den Klima- und Umweltschutz

Investitionen in den Klima- und Umweltschutz zeigen die Höhe der finanziellen Mittel an, die Unternehmen für die Einrichtung neuer oder verbesserter Anlagen aufwenden, die spezifisch auf die Verringerung von Umweltbelastungen und die Verbesserung des Klimaschutzes ausgerichtet sind. In der Regel handelt es sich dabei um Prozessinnovationen, um die Energie- oder Ressourceneffizienz zu erhöhen, Emissionen und Wasser-/Bodenbelastung zu verringern sowie Recycling zu verbessern und Abfälle zu vermeiden.

Im Jahr 2017 gab die deutsche Chemieindustrie 521 Mio. € für Investitionen in den Klima- und Umweltschutz aus. Dies sind 21,8 % der Klima- und Umweltschutzinvestitionen der verarbeitenden Industrie Deutschlands. Auf direkte Klimaschutzinvestitionen (Vermeidung/Verminderung von Treibhausgas-Emissionen, Nutzung erneuerbarer Energien, Energieeffizienzsteigerung) entfielen 95,2 Mrd. €. Dies entspricht 10,7 % der Klimaschutzinvestitionen in der

verarbeitenden Industrie. Besonders hoch sind die Investitionen der Chemieunternehmen im Bereich Energieeffizienzsteigerung.

Im Branchenvergleich wendet die deutsche Chemieindustrie einen erheblich höheren Umsatzanteil für Klima- und Umweltschutzinvestitionen auf als die anderen Technologiebranchen und als die verarbeitende Industrie insgesamt. 2017 beliefen sich die gesamten Klima- und Umweltschutzinvestitionen der Chemie auf 3,4 ‰ des Branchenumsatzes. Der größte Teil entfiel auf präventiven integrierten Umweltschutz, der anders als additiver Umweltschutz nicht auf Reparatur, sondern auf Vermeidung oder zumindest Verwertung setzt. Aber auch die Klimaschutzinvestitionen sind in Relation zum Umsatz in der Chemie deutlich höher als in anderen Branchen.

Auch im internationalen Vergleich wies die deutsche Chemieindustrie die höchsten Investitionen in integrierten Umweltschutz in Relation zum Umsatz auf. In den anderen großen europäischen Industrieländern lagen 2017 diese Investitionen um zwei Drittel

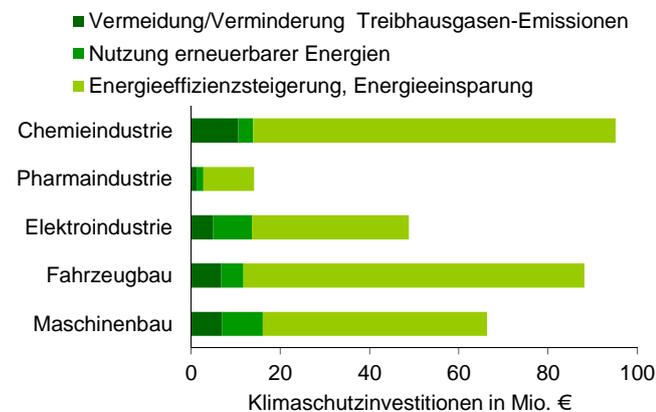
(Frankreich) bis neun Zehntel (Großbritannien) unter dem deutschen Niveau. Die Investitionen in den nachsorgenden Umweltschutz ('end-of-pipe' Technologien) sind in Deutschland dagegen geringer als in den meisten Vergleichsländern. Während die Umweltschutzinvestitionen seit 2008 in der deutschen Chemieindustrie ansteigen, verzeichnete die Mehrzahl der Vergleichsländer Rückgänge.

In den vergangenen 10 Jahren stiegen die Klima- und Umweltschutzinvestitionen der deutschen Chemieindustrie stärker als der Umsatz. Dabei verschoben sich die Investitionen vom additiven zum integrierten Umweltschutz. Die direkten Klimaschutzinvestitionen blieben in Relation zum Umsatz auf einem stabilen Niveau. In der verarbeitenden Industrie ist das Niveau der Klima- und Umweltschutzinvestitionen im Jahr 2017 unter dem Niveau von 2008. Hier gingen die additiven Umweltschutzinvestitionen deutlich zurück und wurden nur zum Teil durch höhere Investitionen in den integrierten Umweltschutz kompensiert.

Die Daten zu den **Investitionen für den Umweltschutz im Produzierenden Gewerbe** werden jährlich vom Statistischen Bundesamt in Fachserie 19, Reihe 3.1 veröffentlicht. Bei der Erhebung wird zwischen Investitionen für Maßnahmen für den Klimaschutz (Vermeidung und Verminderung von Treibhausgas-Emissionen, Nutzung erneuerbarer Energien, Energieeffizienzsteigerung, Energieeinsparung) sowie Investitionen für sonstige Umweltschutzbereiche (Abfall, Abwasser, Lärm/Erschütterung, Luftreinhaltung, Arten- und Landschaftsschutz; Schutz/Sanierung von Boden-, Grund- und Oberflächenwasser) unterschieden. Nur im Hinblick auf diese sonstigen Umweltschutzbereiche wird zusätzlich zwischen Investitionen in additive und integrierte Maßnahmen differenziert.

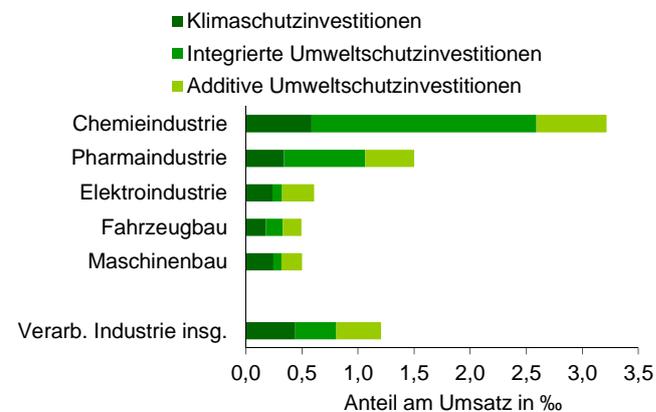
Die Informationen zu den **Umweltschutzinvestitionen im europäischen Vergleich** stammen von Eurostat. Dort finden sich in der Datenbank im Bereich Umwelt u.a. unter dem Titel „Umweltschutzausgaben von Kapitalgesellschaften nach Wirtschaftsbereichen“, die Investitionen der Unternehmen in Umweltschutzaktivitäten ausweist. Die Differenzierung der Umweltschutzbereiche folgt der CEPA (*Classification of Environmental Protection Activities*), die sich an den klassischen Umweltmedien (Luft, Lärm, Abfall etc.) und der Beseitigung typischer Probleme (Umweltverschmutzung) orientiert. D.h., die in der deutschen Statistik extra ausgewiesenen Investitionen für ressourcenschonende Klimaschutzaktivitäten, wie z.B. Investitionen zur Nutzung erneuerbarer Energien und Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz, bleiben hier unberücksichtigt.

Klimaschutzinvestitionen in Deutschland im Jahr 2017 im Branchenvergleich



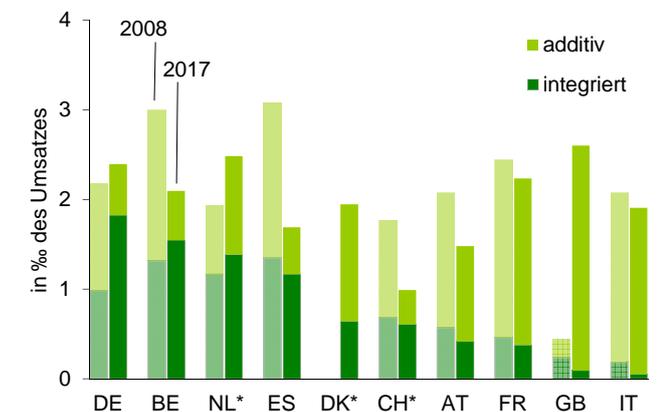
Quelle: Destatis

Klima- und Umweltschutzinvestitionen 2017 in Deutschland im Branchenvergleich



Quelle: Destatis – Berechnungen des CWS

Umweltschutzinvestitionen in der Chemieindustrie 2008 und 2017 im internationalen Vergleich



ohne Klimaschutzinvestitionen; * DK 2015; CH 2009/2016; NL 2009, Quelle: Eurostat – Berechnungen des CWS

Klima- und Umweltschutzinvestitionen 2008, 2012 und 2017 in der Chemieindustrie und in der verarbeitenden Industrie Deutschlands



Quelle: Destatis – Berechnungen des CWS

Klimaschutz und Nachhaltigkeit als Teil der Geschäftsmodelle von Chemie-Startups

Geschäftsmodelle, die auf Klimaschutz und Nachhaltigkeit abzielen, sind unter den Chemie-Startups in Deutschland durchaus verbreitet. Von den 308 Chemie-Startups - d.h. junge Chemieunternehmen mit innovativen Angeboten, die i.d.R. auf eigener FuE basieren - weisen aktuell zumindest 72 Geschäftsmodelle mit Produkten und Dienstleistungen zum Klimaschutz und für mehr Nachhaltigkeit auf. Das Spektrum reicht von der Entwicklung von Materialien auf Basis von nachwachsenden Rohstoffen, Lösungen für eine umweltfreundliche Produktion und neuen Energietechnologien (z.B. Batterie-, Wasserstofftechnologien) über die Verbesserung der Recyclingfähigkeit von Materialien und Lösungen zur Wasser- und Abwasserbehandlung bis zu Technologien für erneuerbare Energien und zur Emissionsreduzierung und Energieeffizienzsteigerung.

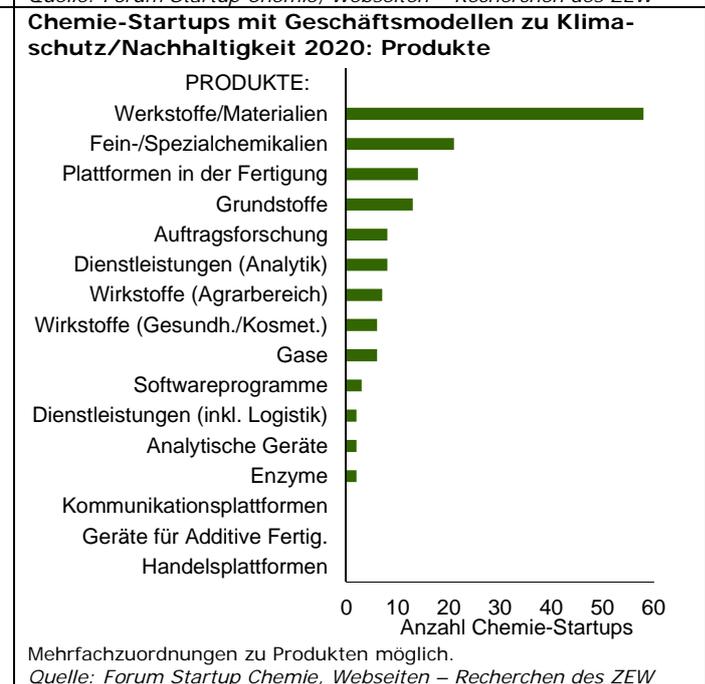
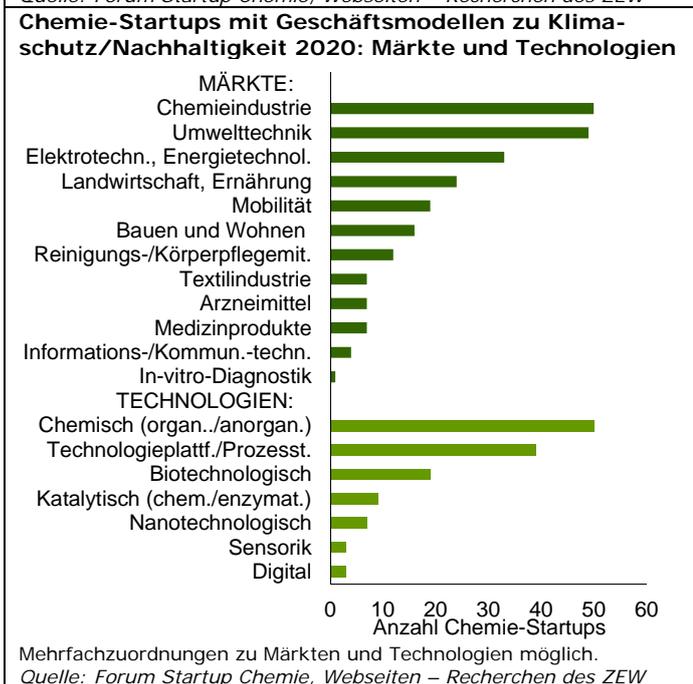
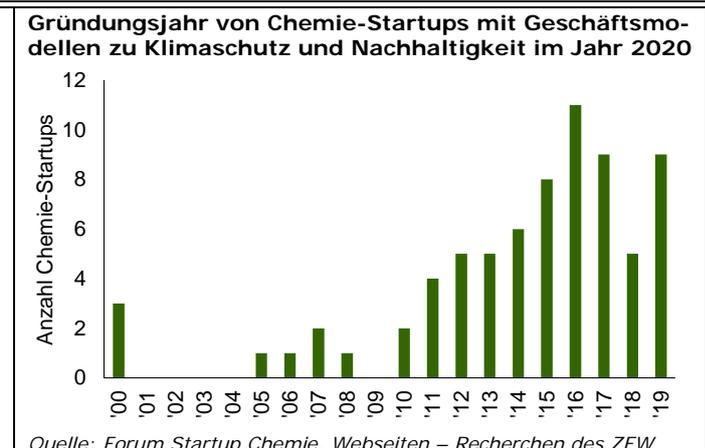
Chemie-Startups mit Geschäftsmodellen zu Klimaschutz und Nachhaltigkeit wurden überwiegend in den vergangenen sechs Jahren gegründet. Besonders

viele solche Chemie-Startups sind in den Jahren 2016, 2017 und 2019 in den Markt eingetreten.

Die Angebote der Chemie-Startups mit Geschäftsmodellen zu Klimaschutz und Nachhaltigkeit richten sich an sehr unterschiedliche Absatzmärkte. Die am häufigsten adressierten Absatzmärkte sind die Chemieindustrie, die Umwelttechnikbranche sowie die Elektroindustrie. Technologisch beruhen die Produkte und Dienstleistungen meist auf chemischen Technologien oder auf Technologieplattformen und Prozesstechnik. Gut ein Viertel der Startups hat eine biotechnologische Basis.

Bei den von den Chemie-Startups mit Geschäftsmodellen zu Klimaschutz und Nachhaltigkeit angebotenen Produkten und Dienstleistungen handelt es sich überwiegend um Materialien und Werkstoffe. Eine kleinere Anzahl fokussiert auf Fein- und Spezialchemikalien, Plattformen in der Fertigung und chemische Grundstoffe. Dienstleistungsangebote zu Klimaschutz und Nachhaltigkeit sind eher selten.

Chemie-Startups sind junge Unternehmen, die auf Basis von chemischem Wissen und chemischen Technologien innovative Produkte und Dienstleistungen anbieten. Sie sind eine Teilgruppe aller Unternehmensgründungen im Bereich Chemie. Zentrales Merkmal ist die Innovationsorientierung. Gründungen, die Standardprodukte ohne innovative Bestandteile herstellen, zählen daher nicht zu dieser Gruppe. Das **Forum Startup Chemie** hat eine Liste von Chemie-Startups in Deutschland erstellt, die laufend aktualisiert wird. Für alle Unternehmen dieser Liste (mit Stand Juni 2020) wurde untersucht, ob ihre Geschäftsmodelle Bezug auf die Themen Klimaschutz und Nachhaltigkeit nehmen.



Chemisches Recycling als Beitrag zur Kreislaufwirtschaft

Die Kreislaufwirtschaft ist ein wichtiger Ansatz, um den Verbrauch an Rohstoffen und Energie zu verringern und Produktion und Konsum nachhaltiger zu gestalten. Das Recycling von Abfällen spielt dabei eine große Rolle. Durch die stoffliche Abfallverwertung kann die Inanspruchnahme von Primärressourcen erheblich reduziert werden, gleichzeitig müssen weniger Abfälle deponiert oder energetisch verwertet werden.

Ein wichtiger Stoffkreislauf sind **Kunststoffe**. Sie umfassen eine Vielzahl von Materialien mit sehr unterschiedlichen chemischen Zusammensetzungen. Durch ihre Eigenschaften wie geringes Gewicht, gute Formbarkeit, hohe Bruchfestigkeit, Härte und Elastizität sowie Temperatur- und chemische Beständigkeit sind sie vielen konventionellen Materialien (wie Metallen, Glas oder Keramik) überlegen. Mit Hilfe von Kunststoffen kann die Leistungsfähigkeit von vielen Produkten deutlich erhöht werden. Dies verbessert nicht nur deren Einsatzmöglichkeiten, sondern hat oft auch positive Umweltwirkungen. So trägt eine leichtere Bauweise von Produkten zu einem geringeren Energiebedarf beim Transport der Produkte oder bei deren Nutzung bei (z.B. bei Kraftfahrzeugen).

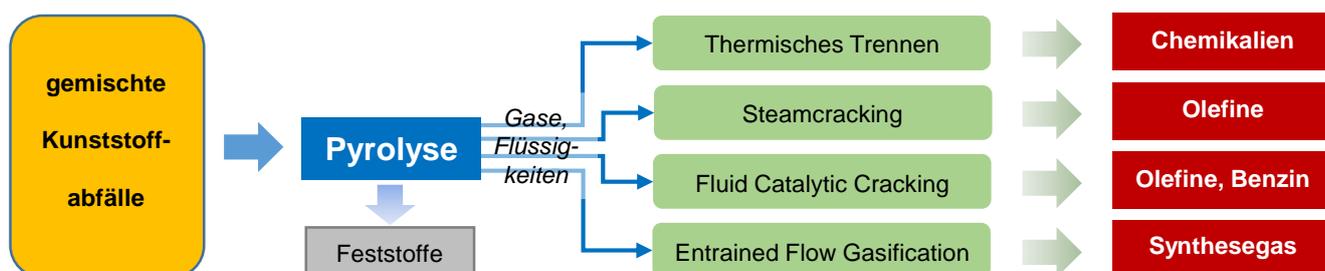
Der größte Teil der heute in Europa anfallenden Kunststoffabfälle wird energetisch verwertet, d.h. zur Produktion von Elektrizität oder Wärme genutzt, oder deponiert (vor allem in Süd- und Osteuropa). Zur Realisierung einer Kreislaufwirtschaft wäre es aber nötig, einen hohen Anteil von Kunststoffabfällen zu recyceln. Die EU hat mit der Richtlinie über Verpackungen und Verpackungsabfälle für 2025 ein Recyclingziel von 50 % für Kunststoffe gesetzt.

Ein **werkstoffliches Recycling**, d.h. der direkte Einsatz von Kunststoffabfällen für die Produktion

neuer Kunststoffprodukte, setzt im Falle von mechanischen Recyclingverfahren vorwiegend sortenreine und saubere Kunststoffabfälle voraus. Diese fallen meist nur im Bereich der industriellen Produktion an oder bei speziellen Rücknahme- und Verwertungssystemen einzelner Branchen oder bei der Aufbereitung von Abfällen zu definierten Stoffströmen. Für Kunststoffabfälle aus dem Haushaltsbereich wird derzeit eine sortenreine Trennung mit modernen physikalischen Verfahren der in diesen Abfällen enthaltenen Kunststoffe großtechnisch praktiziert. Um die Möglichkeiten zur werkstofflichen Verwertung von Haushalts-Kunststoffabfällen noch weiter zu erhöhen, wird u.a. versucht, Informationen zur chemischen Zusammensetzung in den Kunststoff selbst einzubauen. Dies würde eine effizientere Trennung unterschiedlicher Kunststoffabfälle erleichtern. Diese Entwicklung steht technologisch aber noch ganz am Anfang.

Für Kunststoffabfälle, für die mechanische Recycling-Verfahren derzeit nicht möglich sind, stellt das **chemische Recycling** aus Kreislaufwirtschaftssicht eine attraktive ergänzende Möglichkeit dar. Dabei werden Kunststoffabfälle aufbereitet und chemisch zu sekundären Chemierohstoffen umgewandelt, die für die Chemieproduktion (z.B. Kunststoffherstellung) genutzt werden können. Die Herausforderung ist, Verfahren zu entwickeln, die Sekundärrohstoffe zu einem wirtschaftlich wettbewerbsfähigen Preis herstellen können. Zu den aussichtreichen Verfahren zählen die Gasifizierung, die Pyrolyse, die Solvolyse, das thermokatalytische Recycling sowie das Hydrocracking.³ Alle Verfahren sind derzeit aber technologisch noch nicht ausgereift genug, um eine großtechnische und kosteneffiziente Anwendung für das Kunststoff-Recycling zu erlauben.

Pyrolyse: Zukunftsweisende, ergänzende Technologie für eine Kunststoff-Kreislaufwirtschaft



Quelle: Karlsruher Institut für Technologie

Um die technologische Entwicklung voranzutreiben, haben der Chemieverband VCI und der Kunststoffherstellerverband PlasticsEurope Deutschland in Kooperation mit dem Expertcenter der Kunststoffindustrie, BKV, ein **Grundlagen-Forschungsprojekt** initiiert, das relevante Daten zu Pyrolyseverfahren zusammenzutragen und analysieren soll. Bei der Pyrolyse werden Polymerketten aus Abfallkunststoffen durch thermische Degradation in kleinere Moleküle (Kohlenwasserstoffverbindungen) getrennt, wofür unterschiedliche Technologien zum Einsatz kommen (vgl. Abbildung). Die **Pyrolyse** hat gegenüber ande-

ren Verfahren die Vorteile, dass die Recyclingprodukte - von Chemikalien über Olefine und Benzin bis zu Synthesegas - breit anwendbar sind und einen hohen Energiegehalt aufweisen. Gleichzeitig ist das Anlagendesign relativ einfach, u.a. da kein Katalysator benötigt wird. Dem stehen noch zu lösenden technologische Herausforderungen, ein verfahrenseffektives Anlagendesign, eine effektive Prozessführung und Fragen der Produktverarbeitung gegenüber. Das Grundlagenprojekt wird am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) umgesetzt, als Partner sind zahlreiche Unternehmen eingebunden (Basell, BASF, Cla-

³ Lechleitner, A., D. Schwabl, T. Schubert, M. Bauer, M. Lehner (2020): Chemisches Recycling von gemischten Kunststoffabfällen

als ergänzender Recyclingpfad zur Erhöhung der Recyclingquote. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft Nr. 72, S. 46-60.

riant, Covestro, Dow, Evonik, Henkel, Lanxess, Unipetrol, Vestolit, Vinnolit, Vynova). Ein Schwerpunkt des Projekts liegt auf der Frage, inwieweit sich verschiedene Arten von Kunststoffabfall aus der Praxis (z.B. Shredder-Rückstände aus Altfahrzeugen und Elektronik, organische Rückstände aus gewerblichen Abfällen) für Pyrolyse-Verfahren eignen und wie diese

im Rahmen der technischen Entwicklung ausgestaltet werden sollen. Das Projekt umfasst drei Phasen (Technologie, Pilotierung, Demonstration) und Grundlagen für das Technolgie-design erarbeiten, auf die späterhin für eine industrielle Nutzung zurückgegriffen werden kann.

Power-to-X: Chemie-Innovationen für den Klimaschutz

Die verstärkte Nutzung von erneuerbaren Energien in der Elektrizitätserzeugung stellt einen wesentlichen Baustein für mehr Klimaschutz und die Verringerung von Treibhausgasemissionen dar. Eine große Herausforderung ist dabei die ungleichmäßige Stromproduktion. An sonnigen oder windreichen Tagen produzieren die Solar- bzw. Windenergieanlagen deutlich mehr Elektrizität als benötigt wird. Da eine direkte Speicherung von Elektrizität in größerem Umfang nicht möglich ist, werden andere Wege gesucht, um diese Überschussproduktion zu nutzen.

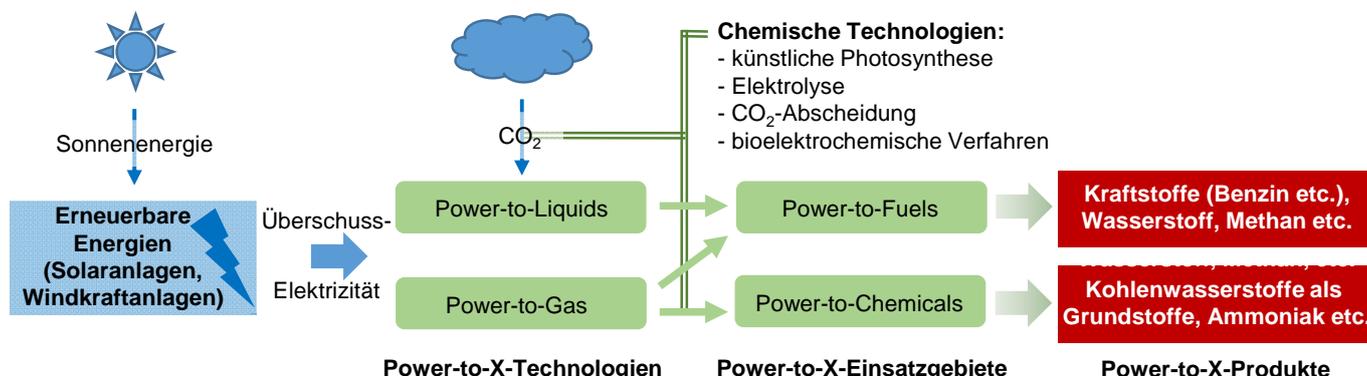
Ein sehr vielversprechender Weg sind **Power-to-X-Technologien**. Dabei wird in Zeiten von Stromüberschüssen die überschüssige elektrische Energie (Power) in andere Energieformen oder Rohstoffe (X) umgewandelt. Solar- und Windenergieanlagen können so deutlich besser genutzt. Die Endprodukte unterscheiden sich je nach Power-to-X-Verfahren:

- **Power-to-Liquid:** Kraftstoffe für Verbrennungsmotoren.

- **Power-to-Gas:** Wasserstoff oder andere Brenngase (z.B. Methan, Ammoniak) als Energiebasis für Brennstoffzellen-Antriebe oder zur Herstellung von Chemikalien.
- **Power-to-Heat:** Wärme für Heizzwecke oder Industrieanlagen.

Aus Klimaschutzsicht besonders interessant sind jene Power-to-X-Technologien, die **gleichzeitig CO₂ "recyceln"**. Dies ist dann der Fall, wenn das Endprodukt eine Kohlenwasserstoffverbindung ist, wie bei Power-to-Liquid und verschiedenen Power-to-Gas-Technologien, die Energieträger für den Verkehrsbereich ("Power-to-Fuels") oder chemische Rohstoffe (Power-to-Chemicals) erzeugen. Denn stofflicher Ausgangspunkt für den Umwandlungsprozess ist bereits vorhandenes CO₂, das entweder aus der Atmosphäre oder direkt aus CO₂-emittierenden Quellen gewonnen wird. Für diese Power-to-X-Technologien sind chemische Technologien unverzichtbar.

Power-to-X und chemische Technologien



Quelle: eigene Darstellung

Um Power-to-X-Verfahren wirtschaftlich effizient zu betreiben, sind technologische, infrastrukturelle und regulatorische **Innovationen** notwendig:

- Auf **technologischer** Seite müssen serienreife und großindustriell einsatzfähige Verfahren entwickelt werden. Dies betrifft zum einen die Elektrolysetechnik und (bio-)elektrochemische Verfahren sowie alternative Prozessoren unter Nutzung erneuerbaren Stroms und Elektrolysewasserstoffs, zum anderen Verfahren der CO₂-Abscheidung.
- Im Bereich der **Infrastruktur** muss u.a. dafür gesorgt werden, dass Power-to-X-Anlagen möglichst kontinuierlich betrieben werden können, z.B. indem Überschussproduktion aus erneuerbaren Energien jeweils aus den Regionen, in denen diese

gerade anfällt, den Anlagen zugeführt werden kann. Dies erfordert leistungsfähige und engmaschige Stromnetze über Ländergrenzen hinweg.

- Auf regulatorischer Seite müssen Anreize und Planungssicherheit für Investitionen in Power-to-X geschaffen werden. Dies betrifft zum einen die steuerliche Behandlung von Power-to-X und den dabei eingesetzten Strom, zum anderen die Anerkennung des Beitrags von Power-to-X zur Treibhausgaseminderung.⁴

Um Power-to-X zu realisieren, spielen **Innovationen der Chemieindustrie** eine entscheidende Rolle. Die wichtigsten aktuellen Innovationsfelder sind⁵

- künstliche Photosynthese,

⁴ VCI (2020): Regulierungsgrundlagen für Power-to-Fuels-Technologien und E-Fuels als Beitrag zu einer treibhausgasneutralen Mobilität aus Sicht der chemischen Industrie. Frankfurt.

⁵ DLR, FfE, Ifo, Uni Münster, TU München (2018): Methodenentwicklung und -anwendung zur Priorisierung von Themen und Maßnahmen in der Energieforschung im Kontext der Energiewende. Strategisches Leitprojekt des BMWi.

- reversible Elektrolyseure,
- CO₂-Abscheidung aus der Luft oder CO₂-Abscheidungs-Technologien im Kleinmaßstab direkt an den CO₂-Emissionsquellen,
- Ertüchtigung von Salzkavernen für H₂-Einlagerung,
- Nutzungsmöglichkeiten bestehender Infrastrukturen für Power-to-Gas-Anwendungen von H₂,
- Potenziale klimaneutraler CO₂-Quellen, Anlagenskalierbarkeit für Power-to-Gas (Methanisierung).

Um diese Innovationen voranzutreiben, ist eine abgestimmte und langfristig ausgerichtete Forschungsförderung notwendig, die Technologieproduzenten (Chemie, Maschinenbau), Energieversorger und Abnehmer der Power-to-X-Produkte zusammenbringt.⁶

⁶ VCI (2019): Energieforschung heute – Chemie 2050. Leitplanken der Chemieindustrie auf dem Weg in die Zukunft der Energieversorgung – Forschungslücken und Randbedingungen. Frankfurt.