



## UMWELTFREUNDLICHE WERKSTOFFE DER ZUKUNFT

Eine Zukunfts-Analyse zu ausgewählten Technologie-Trends vom Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung in Zusammenarbeit mit den Münsterland Denkfabriken

06/2022

# INHALTSVERZEICHNIS

- 1 Einleitung ..... 2
- 2 Lignin basierte Polymerwerkstoffe ..... 3
- 3 Naturfaserverstärkte Verbundstoffe ..... 5
- 4 Flammhemmung von Biokompositen ..... 7
- 5 Nanocellulose ..... 9
- 6 Biologisch abbaubare Elektronik..... 11
- 7 Essbare Beschichtungen und Verpackungen..... 13
- 8 Werkstoffe aus Pilzmyzel..... 15
- 9 Terpenbasierte Polymerwerkstoffe ..... 17
- 10 Bioraffinerien der 2. Generation ..... 19
- 11 Wertstoffe aus urbanen Abfallströmen ..... 21
- 12 Chemisches Recycling von Kunststoffen .....23
- 13 Bewertung der Zukunftsthemen .....25
- 14 Literaturverzeichnis ..... 27

→ VERTIEFUNGSBERICHT ..... 28

→ VERTIEFUNGSBERICHT ..... 42

**Anhang:**  
 Vertiefungsbericht Naturfaserverstärkte Verbundstoffe  
 Vertiefungsbericht Terpenbasierte Polymerwerkstoffe



# 1 EINLEITUNG

Die Umwandlung von primären Rohstoffen in Werkstoffe für Produkte und Dienstleistungen zum menschlichen Gebrauch wird immer eine Auswirkung auf die Umwelt haben. Ziel einer nachhaltigen Wirtschaftsweise ist es jedoch die negativen Auswirkungen auf Ökosysteme zu minimieren. Ein zentraler Ansatz ist dabei die Kreislaufwirtschaft und darin insbesondere die Reduzierung der Stoffströme. Gleichzeitig müssen verstärkt Stoffe mit umwelt- und gesundheitsverträglichen Eigenschaften über den gesamten Lebenszyklus entwickelt und eingesetzt werden.

Dieser Herausforderung widmete sich die Denkfabrik „Umweltneutrale Werkstoffe“. Ein besonderes Augenmerk wurde dabei auf den nachhaltigen Umgang mit Polymeren gelegt. Der Umgang mit Plastik stellt eine besondere Herausforderung dar, da die weltweite Produktion von >350 Mio. Tonnen (Stand 2019)<sup>1</sup> mit erheblichen Umweltbelastungen verbunden ist. Auch hier sind Vermeidung und kreislauforientierte Lösungen der wichtigste Ansatz (Europäische Kommission 2018). Daneben können aber in manchen Fällen auch neue Werkstoffe, insbesondere biobasierte und biologisch abbaubare Kunststoffe eine Rolle spielen. Der Ersatz von Erdölprodukten durch biobasierte Werkstoffe trägt über die Vermeidung von CO<sub>2</sub> dazu bei, den Klimawandel einzugrenzen. Die Nachhaltigkeit dieser Werkstoffe hängt aber von einer Reihe von Faktoren ab. Vor allem ist es aus Sicht der Nachhaltigkeit zentral, dass auch biobasierte Kunststoffe dem Prinzip der Kaskadennutzung folgen. Dies sieht vor, biogene Ressourcen zunächst stofflich in langlebigen und reparierbaren Produkten einzusetzen, diese später zu recyceln und zuallerletzt biogenes Material einer energetischen Verwertung zuzuführen. Mehrweg-Lösungen sollten keinesfalls durch biobasierte Einwegverpackungen ersetzt werden. Entscheidend ist die Bewertung der Umweltauswirkungen über den gesamten Lebenszyklus und alle Wirkungskategorien. So ist für viel „Biokunststoffe“ zwar der Klimaeinfluss geringer, aber dafür die Bodenversauerung schlechter, so dass lediglich eine Verschiebung der Umweltwirkungen stattfindet.

Unter Einbeziehung dieser Abwägungen wurden für die Denkfabrik zwölf potenzielle Zukunftsthemen herausgearbeitet und vorgestellt. Bei der Auswahl der Zukunftsthemen wurde betrachtet, ob sich das Thema besonders dynamisch entwickelt und ob erwartet wird, dass es zukünftig große Auswirkungen auf die Bereiche Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft haben wird. Die Zukunftsthemen decken sowohl Themen ab, die bereits heute eine gewisse Relevanz für die Unternehmen in der Region Münsterland haben, als auch Themen die noch mit einer größeren Unsicherheit behaftet sind, weil sie sich noch in einem früheren Entwicklungsstadium befinden.

Für alle Zukunftsthemen wird neben einer Kurzbeschreibung jeweils diskutiert, wie die Dynamik der Entwicklung zu bewerten ist, welches die wichtigsten Treiber dieser Entwicklung sind und welche Zukunftsperspektiven gesehen werden. Zur graphischen Veranschaulichung der Dynamik ist für alle Themen eine bibliometrische Auswertung der weltweiten wissenschaftlichen Publikationen auf Basis der Dimensions-Datenbank<sup>2</sup> dargestellt. Ergänzend werden für alle Themen Beispiele für aktuelle Entwicklungen beschrieben. Die Grafiken im Abschnitt „Zukunftspotenzial“ vermitteln eine grobe Einschätzung der Relevanz des jeweiligen Themas für die Bereiche Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft.

Die Zukunftsthemen wurden in der jeweiligen Denkfabrik mit Folien vorgestellt und im Anschluss von den Teilnehmenden hinsichtlich ihrer Relevanz für die Region und des Aufwands für die Erschließung des Themas bewertet.

## ANSPRECHPARTNER:INNEN FRAUNHOFER ISI:

Elna Schirrmeister,  
Dr. Philine Warnke und  
Jan Rörden

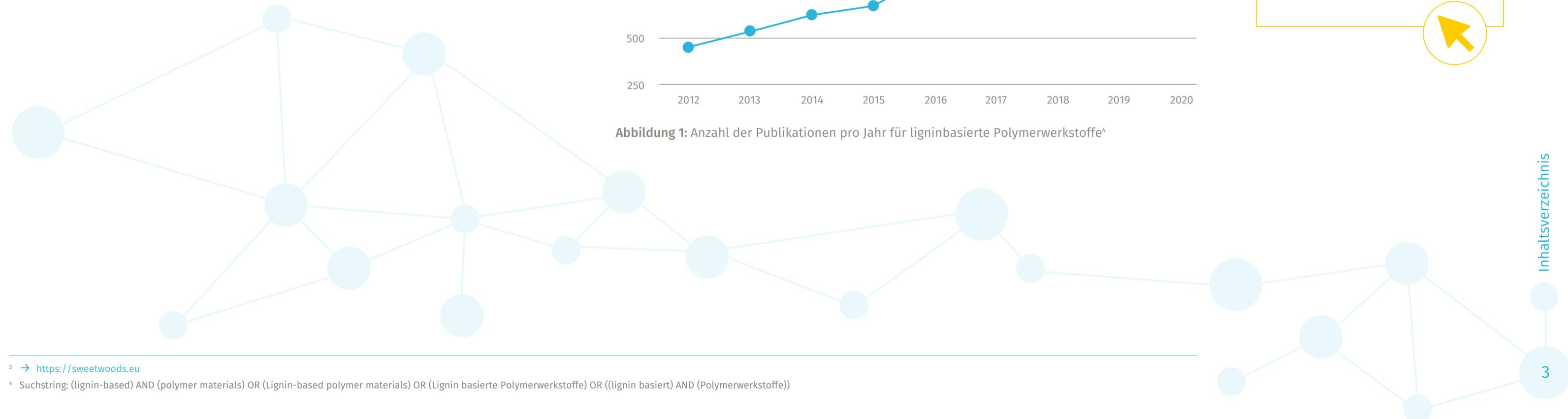
<sup>1</sup> PlasticsEurope (PEMRG). (June 1, 2021). Annual production of plastics worldwide from 1950 to 2020 (in million metric tons). In Statista. Retrieved December 09, 2021, from → <https://www.statista.com/statistics/282732/global-production-of-plastics-since-1950/>

<sup>2</sup> → <https://app.dimensions.ai/discover/publication>

## 2 LIGNIN BASIERTE POLYMERWERKSTOFFE

### KURZBESCHREIBUNG

Lignocellulosen sind Biopolymere aus nachwachsenden Rohstoffen wie Holz, Stroh oder Miscanthus. Das daraus gewonnene Lignin kann Produkte aus Erdöl ersetzen. Als Nebenprodukt der Zellstoffindustrie fallen weltweit jährlich zu etwa 50 Mio. Tonnen an. Lignin weist eine breite Palette von Verarbeitungsmöglichkeiten auf, von denen einige schon kurz vor der industriellen Anwendung stehen, während andere noch in der Entwicklung sind. Vorteil ist die breite Verfügbarkeit und chemische Vielfalt, z.B. die Nutzbarkeit als Quelle von Aromaten. In einem aktuellen EU-Projekt ist die Produktion von hochreinem Lignin in industriellem Maßstab gelungen.<sup>3</sup>



### DYNAMIK

Die Publikationen und Patente zeigen einen Anstieg seit 2017, zahlreiche Firmen weltweit sind in diesem Bereich aktiv darunter auch Unternehmen mit deutschen Niederlassungen wie Covestro in Leverkusen oder Prefere Resins in Erkner.

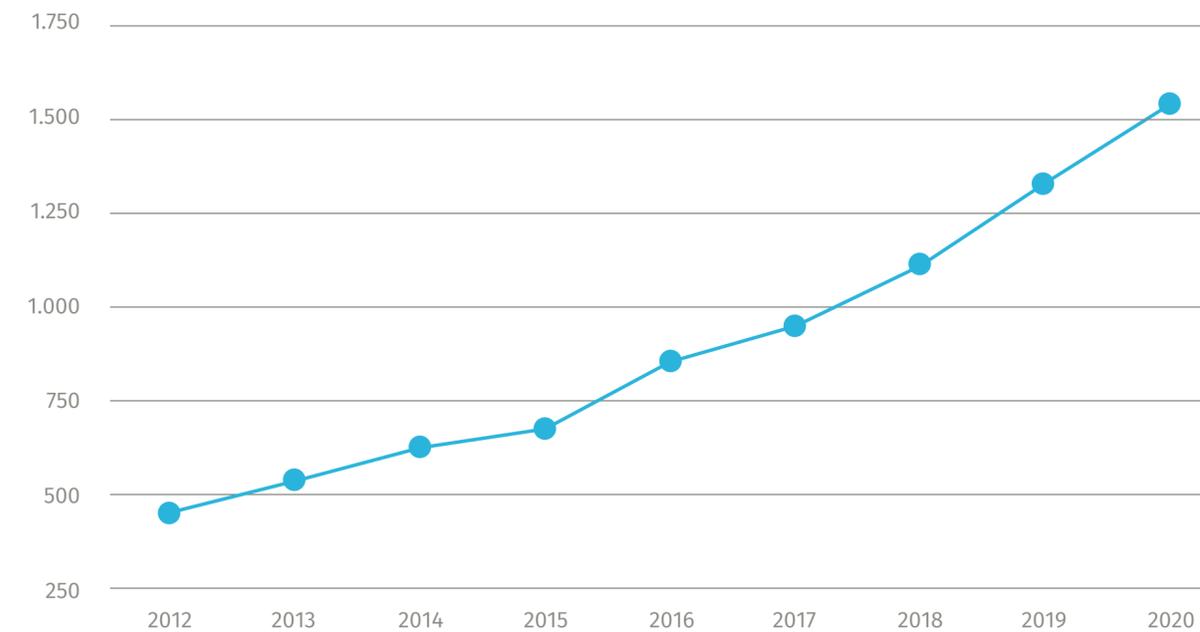


Abbildung 1: Anzahl der Publikationen pro Jahr für ligninbasierte Polymerwerkstoffe<sup>4</sup>

### ZUM NACHLESEN

- Lignin als Polymerwerkstoff – Fraunhofer IAP
- Aus Holz wird Öl – Thünen-Institut
- Holz statt Öl – heise online
- Bio-aromatics derived from lignin – Biorizon



<sup>3</sup> → <https://sweetwoods.eu>

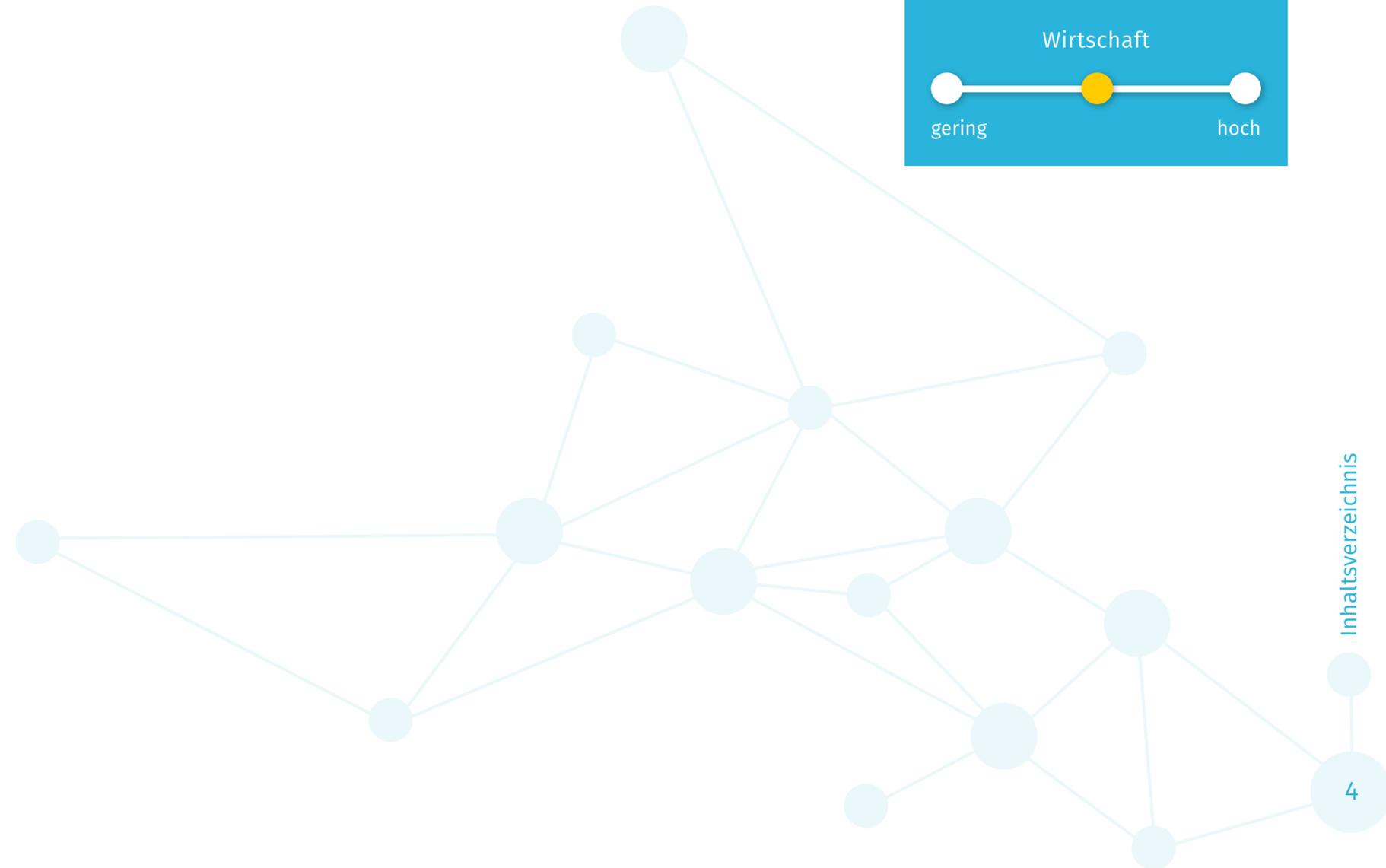
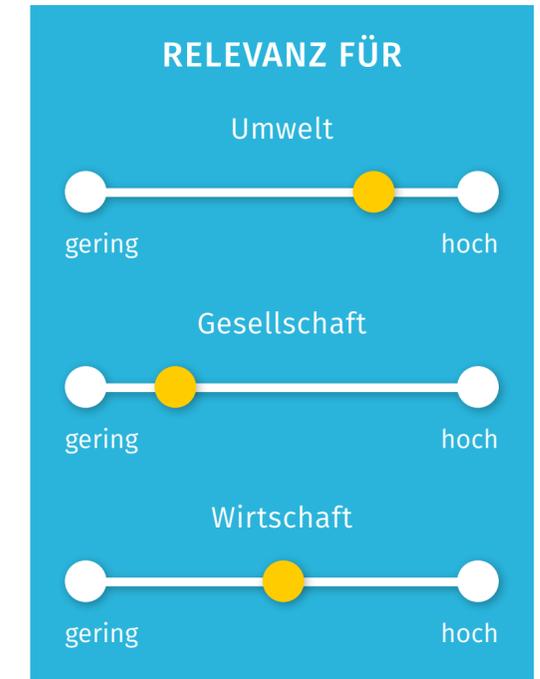
<sup>4</sup> Suchstring: (lignin-based) AND (polymer materials) OR (Lignin-based polymer materials) OR (Lignin basierte Polymerwerkstoffe) OR ((lignin basiert) AND (Polymerwerkstoffe))

AUSGEWÄHLTE AKTUELLE ENTWICKLUNGEN

- Lignin-basierte Bio-BTX Aromaten: Benzene, Toluene und Xylenes (BTX) sind Basis-Aromastoffe, die in großer Menge weltweit produziert werden und in vielen Industrien Verwendung finden (Textil, Pharmazie, Elektronik, Automobil). Lignin basierte BTX Stoffe sind erst in der Forschung, könnten aber den Fußabdruck industrieller Prozesse stark verringern. NRW ist aktiv im BIG-C-Cluster, das sich diesem Thema widmet (Ecologic Institute Berlin 2018).
- Phenolharze auf Ligninbasis: Phenolharze sind Polymere mit vielfältiger Anwendung in vielen Industrien, z. B. in Verbundwerkstoffen und Klebstoffen. Ligninbasierte Phenolharze versprechen eine deutlich reduzierte Toxizität (Vorteile für Gesundheit und Arbeitssicherheit) und niedrigeren Energieverbrauch. 1t Ersatz von konventionellem Phenolharz durch Lignin verspricht 1t CO<sub>2</sub>-Reduktion. Die Technologie ist in der Anwendung u.a. durch die deutsche Firma Prefere Resines in Erkner (Ecologic Institute Berlin 2018).

ZUKUNFTSPOTENZIAL

Da einige Innovationen schon in der Pilotphase, andere noch in der Forschung stehen, ist von einem hohen langfristigen Zukunftspotenzial auszugehen. Auch die breite Anwendung in einer Vielzahl von Industrien spricht für ein hohes Potenzial. Entscheidend für die Nachhaltigkeit ist die Einbindung in ein durchdachtes „Gesamtkonzept Bioökonomie“, um suboptimale Nutzungen wertvoller Rohstoffe und Rebound Effekte zu verhindern (Ecologic Institute Berlin 2018; Hochschule Hannover. IfBB – Institute for Bioplastics and Biocomposites 2020).



# 3 NATURFASERVERSTÄRKTE VERBUNDSTOFFE

## KURZBESCHREIBUNG

Faserverstärkte Verbundwerkstoffe sind weit verbreitet in zahlreichen Sektoren, etwa im Fahrzeugbau. Dabei kommen verschiedene Matrix-Polymere und Glas- oder Kohlefasern in verschiedenen Formen zum Einsatz. Durch Nutzung von Naturfasern wie Bast, Flachs oder Hanf mit einer Biopolymer Matrix können diese Werkstoffe biologisch abbaubar gestaltet sowie die CO<sub>2</sub>-Emission deutlich gesenkt werden. Weitere Vorteile der Naturfasern sind thermische und akustische Isolation und Schwingungsdämpfung. Eine Reihe von Ansätzen sind in der Entwicklung, viele stehen kurz vor der Anwendungsreife.

## DYNAMIK

Wegen ihres geringen Gewichts und ihrer hohen Festigkeit sind Faserverbundwerkstoffe zentral im Leichtbau und damit von großer Bedeutung für die Reduzierung des Treibstoffverbrauchs. Im Bauwesen könnte der Einsatz von Fasern statt Stahl im Beton erhebliche CO<sub>2</sub>-Einsparungen ermöglichen. Gelingt es, diese Werkstoffe nachhaltig zu gestalten, könnte dies in vielen Sektoren dazu beitragen, den ökologischen Fußabdruck zu senken und gesundheitsschädliche Giftstoffe zu vermeiden. Kritische Nachhaltigkeitsaspekte sind Flächenverbrauch, Schadstoffeintrag und Wasserverbrauch im Anbau der Fasern. Auch ökonomische Gesichtspunkte spielen eine Rolle: Naturfasern sind günstiger als Glas oder Carbonfasern, während die Bioplastik-Matrix oft teurer als erdölbasierte Alternativen ist.

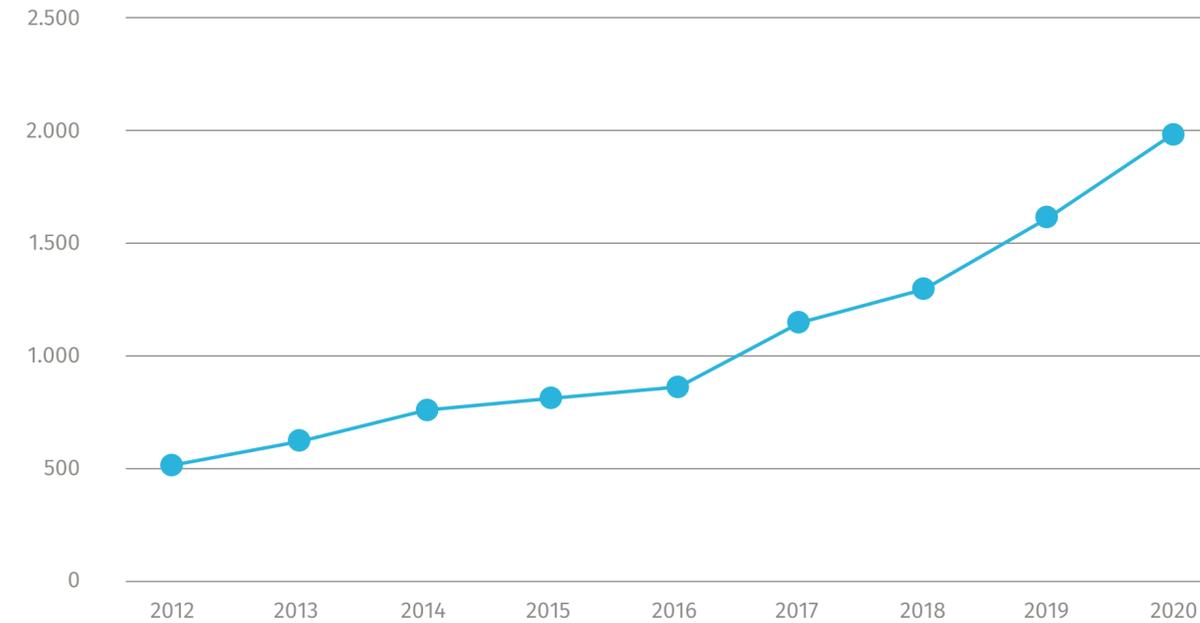


Abbildung 2: Anzahl der Publikationen pro Jahr für Verbundwerkstoffe aus Naturfasern<sup>5</sup>

## ZUM NACHLESEN

- Bioverbundwerkstoffe – Naturfaserverstärkte Kunststoffe und Holz-Polymer-Werkstoffe (FNR.de)
- Naturfaserverbundwerkstoffe – 3N Kompetenzzentrum
- Ecologic Institute & Fraunhofer ISI 2018: Top emerging bio-based products, their properties and industrial applications (Kapitel 3,4,6)



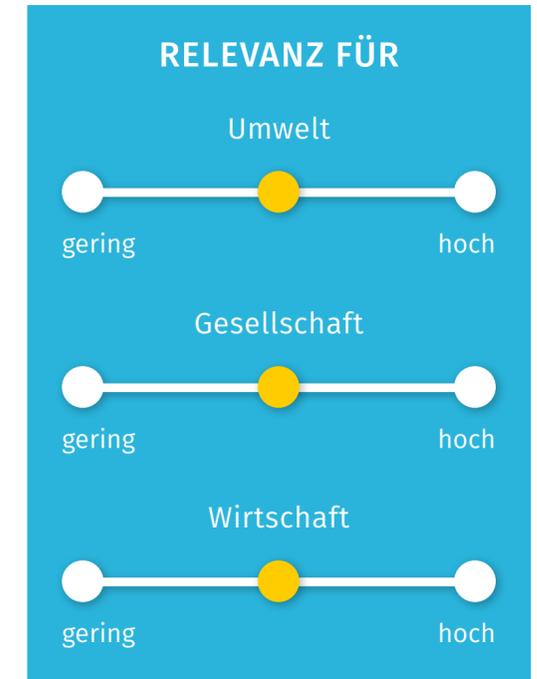
<sup>5</sup> Suchstring: ((composites) OR (fiber reinforced) OR (fiber composites) OR (fiber composite materials)) AND ((natural fibers) OR (Verbundwerkstoffe) OR (faserverstärkt) OR (natürliche Fasern) OR (Faserverbundwerkstoffe))

AUSGEWÄHLTE AKTUELLE ENTWICKLUNGEN

- Thermoplastische Faserverbundwerkstoffe sind weit verbreitet im Fahrzeugbau, für Verpackungen und Spritzguss-Teile. Sie können durch den Einsatz von Naturfasern und Biopolymeren (insbesondere Lignin) vollständig biologisch abbaubar werden. Die Eigenschaften sind wie bei gängigen Thermoplasten (z.B. PE, PP) mit entsprechend breiter Anwendung.
- Verbundwerkstoff Halbzeuge aus naturfaserverstärkten Bio-Harzen: „Pre-Regs“ sind wichtige Bausteine im Leichtbau für hochfeste Bauteile für Fahrzeuge und Gebäude. Sie bestehen aus Fasern in einer duroplastische Matrix. Biobasierte und biologisch abbaubare „Pre-Regs“ kombinieren Pflanzenfasern wie Flachs mit Bio-Harzen als Ersatz für den Duroplast.
- Biobasierte und biologisch abbaubare Vliesstoffe: Vliesstoffe können mit biobasierten Fasern wie Zellulose und biobasierten Bindemitteln produziert werden und sind dann vollständig biologisch abbaubar und recycelbar. Auch biobasierte Additive etwa zur Wasserabweisung sind verfügbar.

ZUKUNFTSPOTENZIAL

Das Zukunftspotenzial wird als sehr hoch bewertet, da die Reduzierung von Treibhausgasen und Plastikmüll immer stärker in das Bewusstsein der Gesellschaften weltweit rücken und entsprechende Regulationen zunehmend greifen.



→ ZUM VERTIEFUNGSBERICHT  
NATURFASERVERSTÄRKTE  
VERBUNDSTOFFE



# 4 FLAMMHEMMUNG VON BIOKOMPOSITEN

## KURZBESCHREIBUNG

Aufgrund der Wärme- und Feuerempfindlichkeit von Polymer-Biokompositmaterialien, insbesondere bei pflanzlichen Füllstoffen, wird in diesem Bereich intensiv geforscht und entwickelt. Derzeit werden oftmals noch Flammschutzmittel mit nachteiligen gesundheitlichen Auswirkungen (wie halogenierte organische Derivate, z.B. Hexabromcyclododecan, polybromierter Diphenylether) auch für Biokompositmaterialien eingesetzt. Verbundwerkstoffe auf Bio-Basis sind weit verbreitet als Baumaterialien für die Automobil-, Luftfahrt- und Tiefbauindustrie sowie in Elektronik, Elektrotechnik, Medizin und Astronautik und ihre Entflammbarkeit ist ein wichtiger Faktor für den Einsatz. In den letzten Jahren wurden aufgrund der umfassenden Diversifizierung der verfügbaren Polymermatrizen und -additive zahlreiche sehr spezifische Lösungsansätze entwickelt, bei denen eine effektive Flammhemmung von biobasierten Verbundwerkstoffen erreicht wird, durch die Anpassung an die Spezifität dieser Materialien. Bei der Anwendung von Flammschutzmitteln erfordert die Auswahl einer geeigneten Verbindung die Kenntnis des chemischen Mechanismus, der Kinetik des Verbrennungsprozesses eines bestimmten Verbundstoffs auf biologischer Basis sowie der damit verbundenen Massen- und Wärmetransportprozesse.

## DYNAMIK

Starker Anstieg der wissenschaftlichen Publikationen in den Jahren 2019 und 2020. Die Potenziale von faserverstärkten Kompositmaterialien auf der Basis von nachwachsenden Rohstoffen können nur vollständig genutzt werden, wenn auch die Flammhemmung verbessert wird. Mit der zunehmenden Diversität der Kompositmaterialien steigt auch die Diversität der Lösungsansätze in diesem Bereich. Weltweit steigt die Anzahl der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in diesem Bereich.

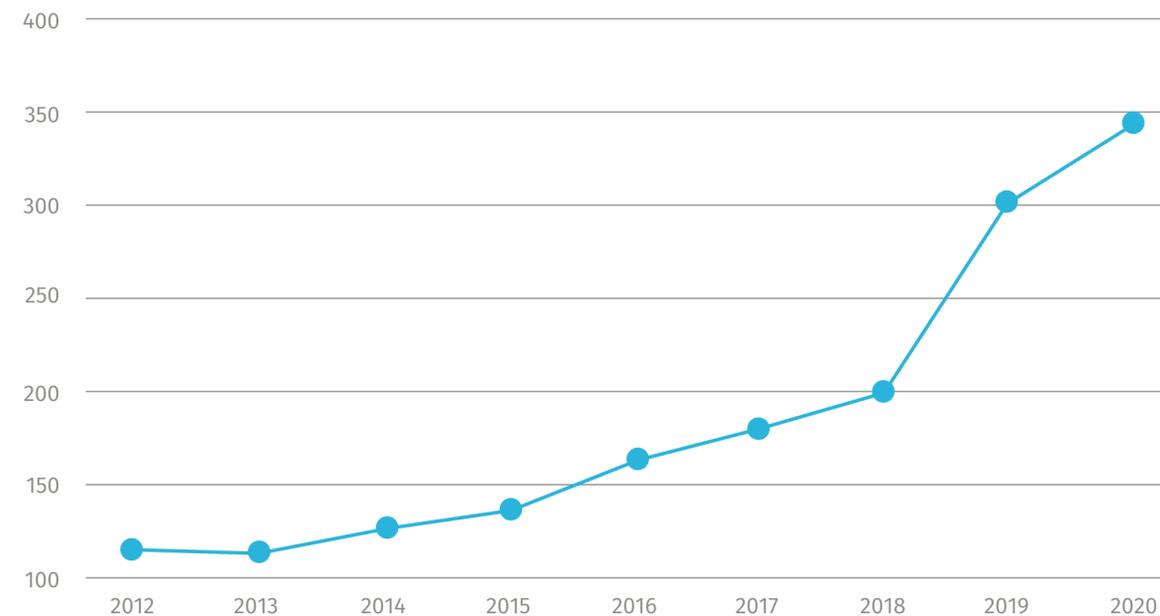


Abbildung 3: Anzahl der Publikationen pro Jahr für Flammhemmung von Biokompositen<sup>6</sup>

## ZUM NACHLESEN

- [Polyphosphazene-Tannic Acid Colloids as Building Blocks for Bio-Based Flame-Retardant Coatings | ACS Applied Polymer Materials](#)
- [Development and processing of flame retardant cellulose acetate compounds for foaming applications – Breuer – 2020 – Journal of Applied Polymer Science – Wiley Online Library](#)



<sup>6</sup> Suchstring: ((flame retardancy) OR (Low flammability) OR (Flame retardant) OR (Schwerentflammbarkeit) OR (Flammhemmung)) AND ((fiber surface) OR (fiber) OR (Faseroberfläche) OR (Faser) OR (Biocomposite) OR (Biokomposit) OR (bio based) OR (bio) OR (biodegradable) OR (biologisch abbaubar))



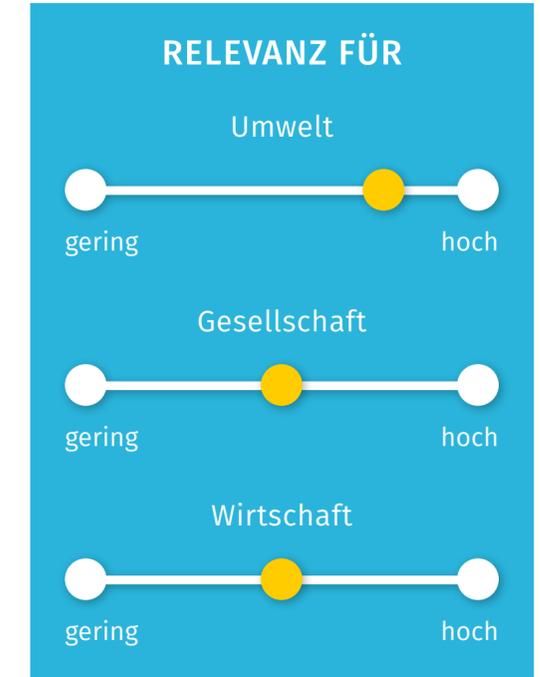
Inhaltsverzeichnis

AUSGEWÄHLTE AKTUELLE ENTWICKLUNGEN

- Es wurde nachgewiesen, dass durch die zusätzliche Modifikation der Faseroberfläche (z.B. Alkali-, Eisenphosphat- oder Hybridsilan) die thermische Stabilität der entwickelten faserverstärkten Bio-Verbundwerkstoffe durch Verhinderung der Wärmeübertragung und Verbesserung der Vernetzungsdichte der Systemfaser-Polymer-Matrix verbessert wird.
- Phytinsäure (PA) ist eines der weit verbreiteten Flammenschutzmittel zur Behandlung einer Vielzahl von Geweben. Die Vorteile von multifunktionalen Baumwollgeweben auf PA-Basis mit antimikrobiellen, leitfähigen und hydrophoben Eigenschaften werden aufgrund der Vorteile gesehen, die mit Molekülen auf Chitosan-, Silizium-, Stickstoff- und Bor-Basis verbunden sind. Ganzheitlich hat sich PA als potenzielle Alternative zu halogenierten Flammenschutzmitteln erwiesen, um Baumwoll- und Wollgeweben feuerhemmende Eigenschaften zu verleihen.

ZUKUNFTSPOTENZIAL

Gesetzliche Rahmenbedingungen könnten die Umstellung auf gesundheitlich unbedenkliche Flammenschutzmittel bei bio-basierten Verbundwerkstoffen beschleunigen. Die effektive Flammhemmung könnte die Marktdiffusion dieser Werkstoffe erheblich beschleunigen.



# 5 NANOCELLULOSE

## KURZBESCHREIBUNG

Mikrofibrillierte Cellulose (MFC), auch allgemein als Nanocellulose bezeichnet, wird durch Delaminierung von Cellulosefasern durch Hochdruck-, Hochtemperatur- und Hochgeschwindigkeitsschlag, Homogenisierung, Mahlen oder Mikrofluidisierung gewonnen. Die Fibrillierung von Cellulosefasern schafft eine vergrößerte Oberfläche und verleiht dem Produkt neue Eigenschaften. Vollständig delaminierte Nanocellulose besteht aus langen Mikrofibrillen und hat das Aussehen eines transparenten Gels. Anwendungen sind als Bindemittel in Vliesstoffen, Wärmedämmende und flammschützende Baustoffe, Verstärkungen für thermoplastische und duroplastische Werkstoffe sowie im Medizinbereich für antibakterielle Beschichtungen und zum Knochenaufbau.

## DYNAMIK

Patente und Publikationen steigen stetig an. Eine weitere Verbreitung mit hohen jährlichen Wachstumsraten wird erwartet.

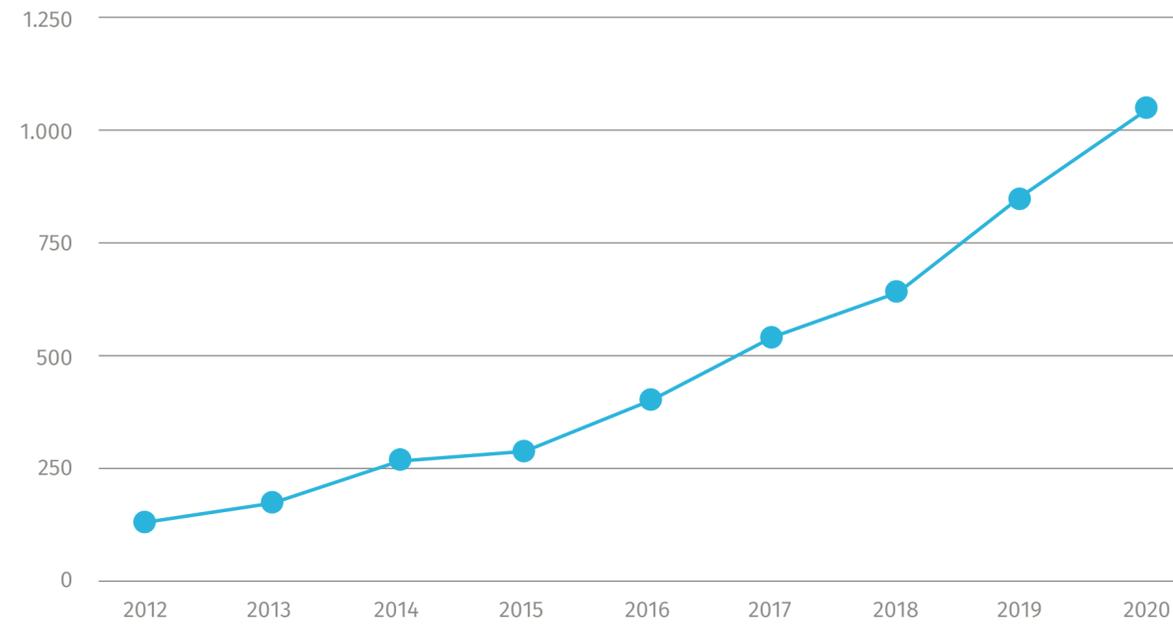
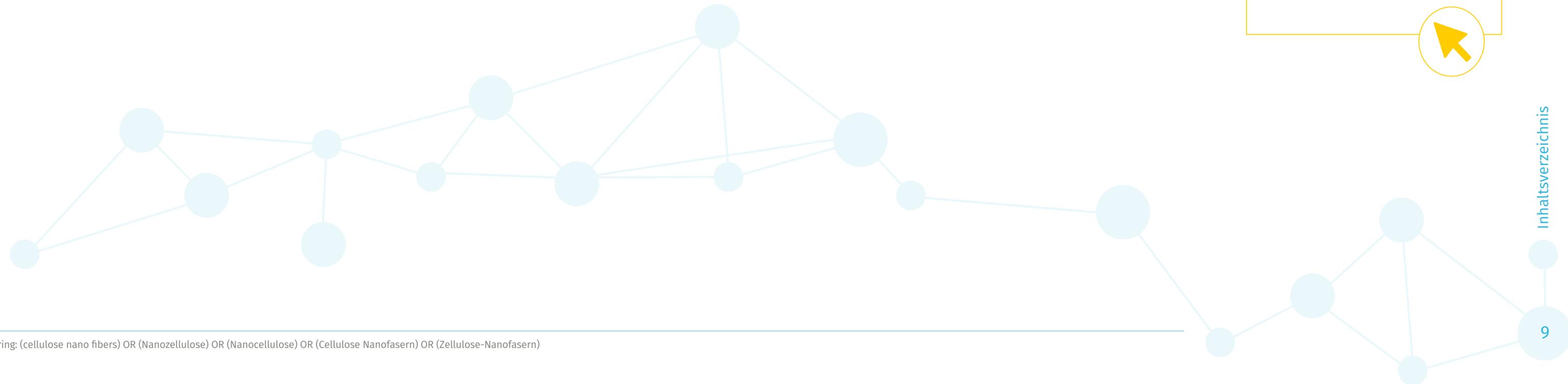


Abbildung 4: Anzahl der Publikationen pro Jahr für Nanocellulose<sup>7</sup>

## ZUM NACHLESEN

- [Nanocellulose – Fraunhofer INT](#)
- [Neuartige Technologie verwandelt Waldrohstoffe in Zellulose mit hohem Mehrwert – CORDIS – European Commission \(europa.eu\)](#)
- [Mit Nano-Cellulose zu neuartigen Verbundwerkstoffen \(idw-online.de\)](#)



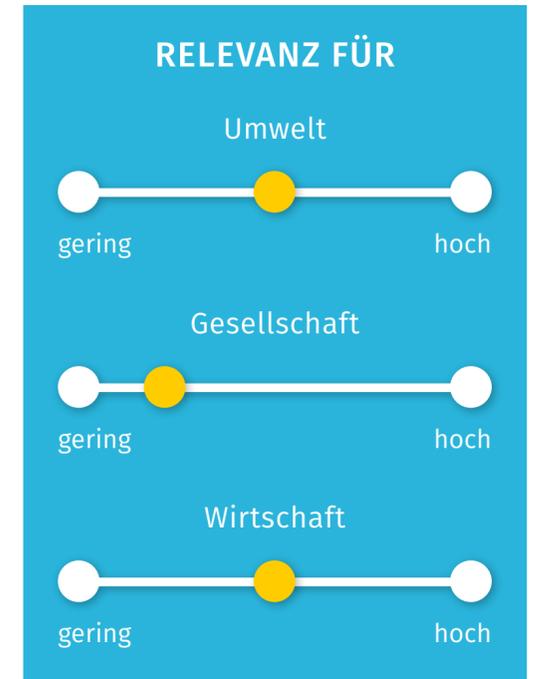
<sup>7</sup> Suchstring: (cellulose nano fibers) OR (Nanocellulose) OR (Nanocellulose) OR (Cellulose Nanofasern) OR (Zellulose-Nanofasern)

AUSGEWÄHLTE AKTUELLE ENTWICKLUNGEN

- Japanische Forscher:innen an der Universität Kyoto haben eine Technik entwickelt, um Autoteile durch den Einsatz von Zellulose-Nanofasern stärker und leichter als Metall zu machen. Es heißt, dass Autoteile aus Nanocellulose fünfmal weniger wiegen als Stahl und dabei fünfmal stärker sein können.
- Forscher:innen der University of Maryland haben aus Nanocellulose ein biologisch abbaubares und kostengünstiges Wärmedämmmaterial (Nano-Holz) entwickelt. Dazu entfernten sie das gesamte Lignin, das Wärme leitet, und fast die gesamte Hemicellulose. Dadurch wurde das Material weiß und kann das Licht besser reflektieren. Seine isolierenden Eigenschaften resultieren daraus, dass Nano-Holz anisotrop ist, d.h. die Fasern sind parallel und gebündelt angeordnet.
- Für medizinische Anwendungen wird eine Methode zur Regeneration der Knochen von Patienten erforscht. Dort werden auch Cellulose-Nanokristalline Gerüste für die regenerative Zahnmedizin verwendet.

ZUKUNFTSPOTENZIAL

Nanocellulose kann eine ganze Reihe von Polymeren in verschiedenen Industrien ersetzen. Derzeit werden Verfahren entwickelt, um cellulose Nanomaterialien in eine Vielzahl von Materialien wie Kunststoff oder Glas einzuarbeiten, um Hochleistungsmaterialien mit verbesserter Festigkeit und Haltbarkeit zu gewinnen die zudem superleicht und weniger kostspielig in der Herstellung sind. Der nächste Schritt könnte die Einführung von gentechnisch verändertem Holz und anderen Pflanzenstämmen sein, die spezifische Anforderungen für die industrielle Produktion erfüllen und ein schnelles Upscaling ermöglichen.



# 6 BIOLOGISCH ABBAUBARE ELEKTRONIK

## KURZBESCHREIBUNG

Elektronische Komponenten aus erneuerbaren oder biologisch abbaubaren Materialien, die sich zu harmlosen Nebenprodukten zersetzen, könnten einen Beitrag leisten, um zukünftig die Problematik des Elektronik-Schrotts zu reduzieren. Die größten Nutzungsmöglichkeiten werden gesehen im Bereich transparenter, flexibler Photovoltaik auf Papierbasis, organischer Feldeffekttransistoren (OLED) und Leuchtdioden. Die Europäische Norm EN13432 definiert, dass 90% aller in „grünen Elektronik“ verwendeten Materialien innerhalb von sechs Monaten in harmlose Komponenten wie Wasser, Kohlendioxid und Biomasse umgewandelt werden müssen. Elektronische Komponenten besteht aus Substrat, Elektroden und aktiven Schichtmaterialien. Substrate basieren auf natürlichen Zellulosefasern und einer Vielzahl von synthetischen Polymeren wie Polydi-Methylsiloxan (PDMS), Polyvinylalkohol (PVA) und Polymilchsäure (PLA). Die üblicherweise verwendeten Metalle als Elektroden und Kontakte sind Eisen (Fe), Magnesium (Mg), Zink (Zn) und ihre Legierungen und Oxide. Die größte Herausforderung, die für eine zukünftige Kommerzialisierung überwunden werden muss, ist die Entwicklung leitender organischer Polymere für die aktive Schicht in elektronischen Komponenten und organischen Solarzellen. Die Leistung grüner Elektronik ist noch nicht mit der Leistung konventioneller Elektronik vergleichbar, aber es gibt große Hoffnung auf eine schnelle Entwicklung. Synthetisierte organische Materialien sind bisher besonders vielversprechende biologisch abbaubare Materialien für Hochleistungselektronik, aber die Herstellung erfordert bisher noch den Einsatz giftiger Lösungsmittel.

## DYNAMIK

Seit ca. 5 Jahren steigen die Veröffentlichungen zu biologisch abbaubaren elektronischen Komponenten an. Wissenschaftler aus aller Welt haben verschiedene transparente Proof-of-Concept-Elektronik auf Papierbasis demonstriert. Es wurden Fortschritte bei der Filtration, dem Gießen, Extrudieren und Imprägnieren erreicht und Möglichkeiten für eine Massenproduktion werden diskutiert.

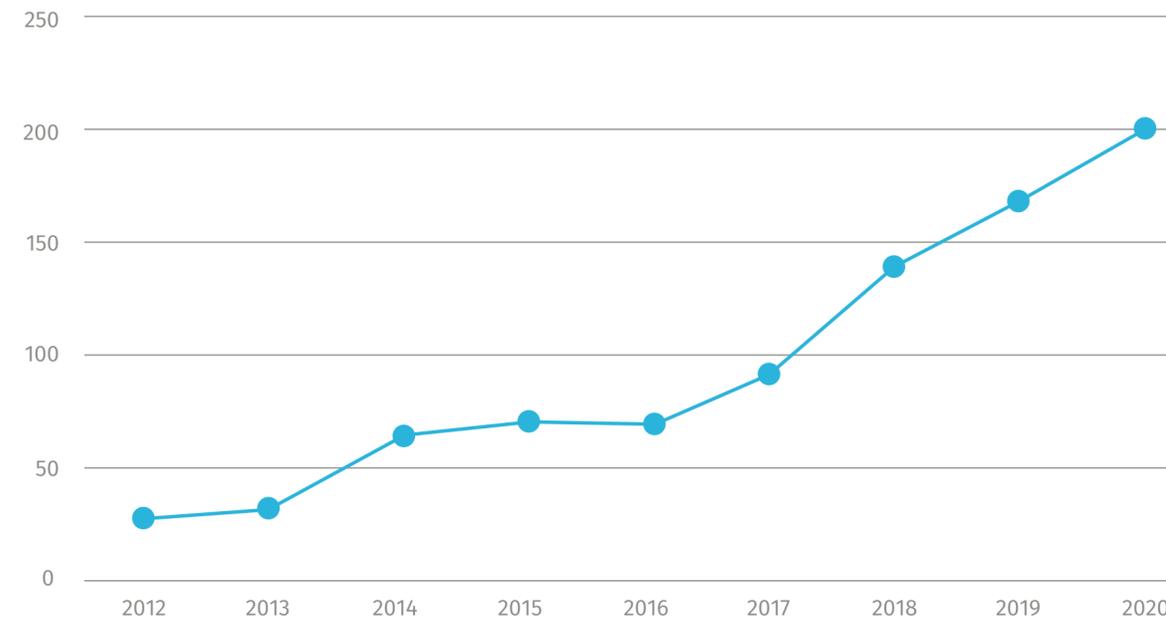


Abbildung 5: Anzahl der Publikationen pro Jahr für abbaubare Elektronik<sup>8</sup>

### ZUM NACHLESEN

- [Kompostierbare Displays für nachhaltige Elektronik – KIT](#)
- [Die biologisch abbaubare Batterie \(idw-online.de\)](#)



<sup>8</sup> Suchstring: (biodegradable electronics) OR (biologisch abbaubare Elektronik) OR ((biodegradable) AND (electronics)) OR ((biologisch abbaubar) AND (Elektronik))

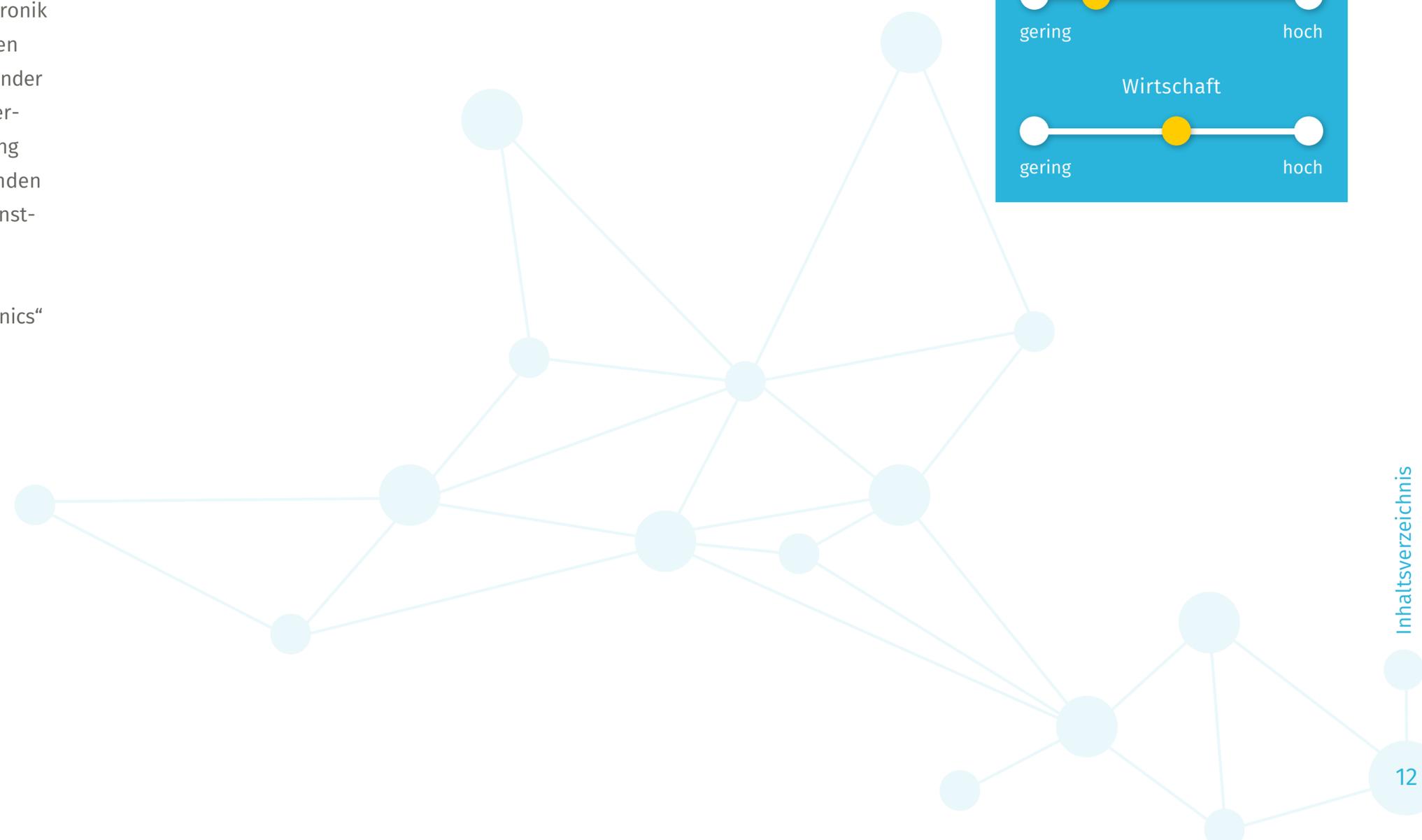
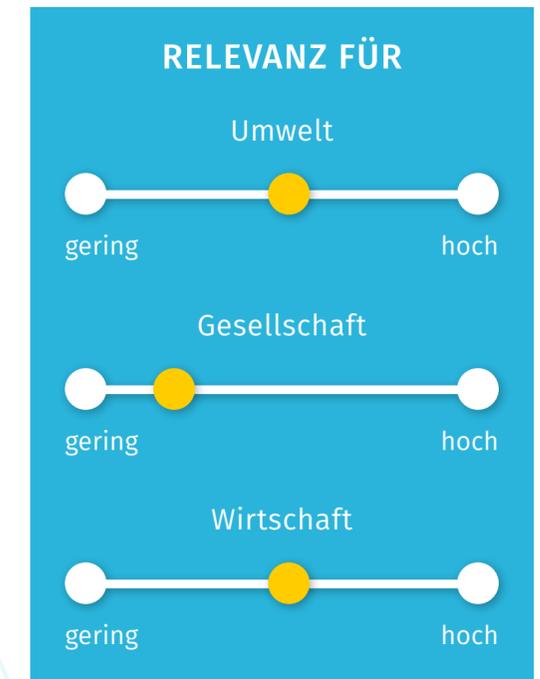


AUSGEWÄHLTE AKTUELLE ENTWICKLUNGEN

- Mit dem Aufkommen des „Internet of Everything“ (IoE) werden komplexe elektronische Komponenten und Sensoren überall eingesetzt werden. Ferroelektrische Polymere stellen eine Kerngruppe von Materialien dar, die die schnelle Entwicklung des IoE unterstützen könnten, da sie gekennzeichnet sind durch eine einfache Verarbeitung und große Vielseitigkeit. Sie sind hochselektiv, reaktionsschnell, hoch skalierbar, autark und mit flexiblen und dehnbaren Substraten kompatibel. Sie können in zahlreiche Objekte und sogar in die Haut integriert werden.
- Forscher, Hersteller und Bastler verlassen sich bei der Herstellung ihrer DIY-Elektronik auf Kunststoffe. Gehäuse, Batteriehalter, Knöpfe und Kabel werden in den meisten Prototypen zeitlich verwendet, wodurch Abfall entsteht. Myzel ist ein schnell wachsender vegetativer Teil eines Pilzes, der sich beim Wachsen in einem Schimmelpilz an verschiedene Formen anpasst und sich nach 90 Tagen in einer natürlichen Umgebung als organischer Abfall zersetzt. Um nachhaltigere Prototypen zu erstellen, verwenden wir Myzel-Verbundwerkstoffe mit gängigen digitalen Fertigungstechniken, um Kunststoff in der Elektronik zu ersetzen.
- In München wird seit kurzem ein internationaler Masterstudiengang „Green Electronics“ angeboten.

ZUKUNFTSPOTENZIAL

Weltweit wird eine große Zunahme elektronischen Abfalls in den nächsten Jahren erwartet und das Recycling dieser Anwendungen wird durch die Integration in Alltagsgegenstände erschwert. Gerade bei integrierten, elektronischen Komponenten wird eine oftmals kurze Lebensdauer erwartet, auf Grund des schnellen technologischen Fortschritts in diesem Bereich. Unter Berücksichtigung dieser Rahmenbedingungen könnte biologisch abbaubare, grüne Elektronik also in allen Bereichen der Nachhaltigkeit einen großen Beitrag leisten, auch wenn das Recycling dadurch nicht vernachlässigt werden sollte.



# 7 ESSBARE BESCHICHTUNGEN UND VERPACKUNGEN

## KURZBESCHREIBUNG

Essbare Beschichtung und Verpackungen werden eingesetzt, um den Feuchtigkeitstransfer, den Gasaustausch oder Oxidationsprozesse zu steuern. Ein Hauptvorteil von essbaren Folien und Beschichtungen besteht darin, dass mehrere Wirkstoffe in die Polymermatrix eingearbeitet und mit den Lebensmitteln verzehrt werden können, wodurch die Sicherheit und evtl. die ernährungsphysiologischen und sensorischen Eigenschaften verbessert werden. Bei essbaren Verpackungen wird in der Regel biologisch abbaubares Material verwendet, das als Verbrauchsmaterialverpackung oder -beschichtung keinen Abfall erzeugt. Zahlreiche Studien haben kürzlich die Bedeutung von essbaren Materialien als Mehrwert für verpackte Lebensmittel untersucht. Die Nanotechnologie hat sich als vielversprechende Methode zur Verwendung von Bioaktivstoffen, antimikrobiellen Mitteln, Vitaminen, Antioxidantien und Nährstoffen herausgestellt. Die Mehrheit der Marktinnovationen waren bisher auf Proteinbasis. Neue Forschungsprojekte beschäftigen sich mit der Kombination unterschiedlicher Rohstoffe.



Quelle: → [www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0963996920310061](http://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0963996920310061)

## DYNAMIK

Die Bemühungen der Hersteller von Lebensmitteln haben zugenommen, die Haltbarkeit zu verlängern und die vorhandene Verpackungstechnologie zu verbessern. Neue Firmen sind in das Marktsegment in den letzten Jahren eingetreten und auch die wissenschaftlichen Publikationen sind nach einer vorübergehenden Reduktion in den letzten Jahren wieder stark angestiegen. Es wird erwartet, dass vielfältige Produktinnovationen zum Marktwachstum beitragen werden.

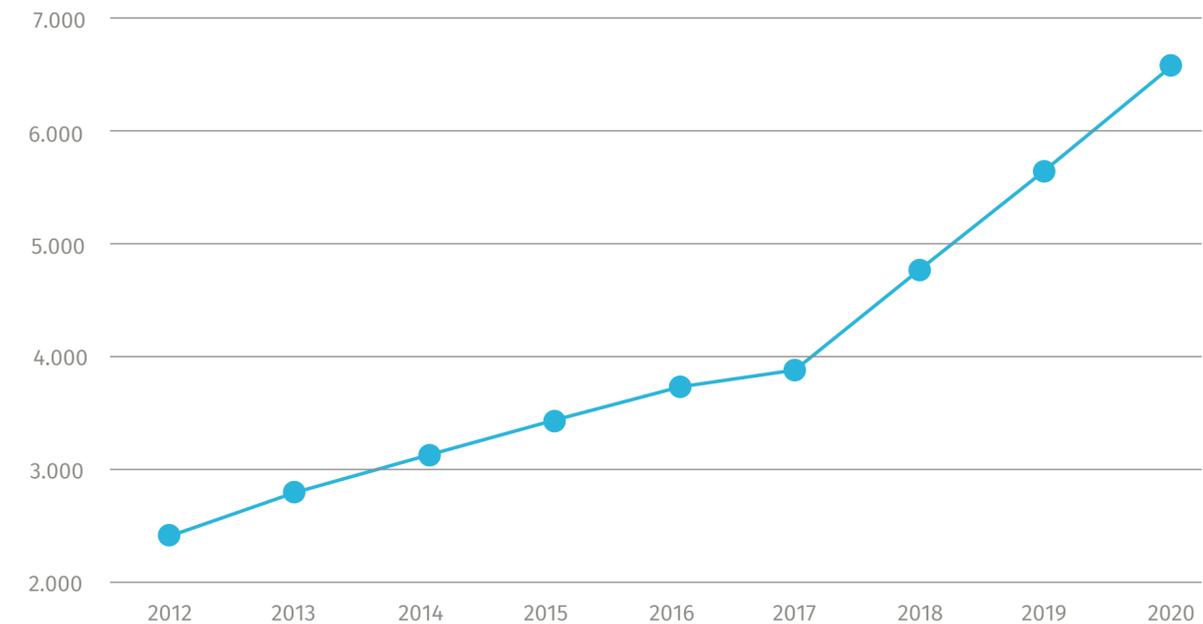


Abbildung 6: Anzahl der Publikationen pro Jahr für essbare Verpackungen oder Beschichtungen<sup>9</sup>

## ZUM NACHLESEN

- Die Verpackung von morgen: Essen statt wegwerfen – Steinbeis Transfer-Magazin
- Bioaktive Papierbeschichtung ersetzt Kunststoffverpackungen bei Lebensmitteln – Fraunhofer IGB



<sup>9</sup> Suchstring: (Essbare Verpackungen) OR (Essbare Beschichtung) OR ((Essbar) AND (Beschichtung) OR (Verpackung)) OR (Edible packaging) OR (Edible coating) OR ((edible) AND (packaging) OR (coating))

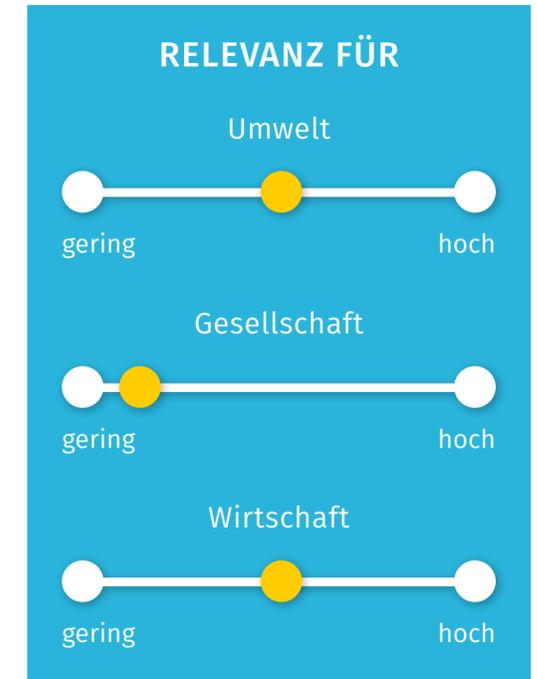


AUSGEWÄHLTE AKTUELLE ENTWICKLUNGEN

- Cambridge Crops, hat eine natürliche und essbare Beschichtung aus Protein entwickelt, die angeblich den Verfall verderblicher Lebensmittel wie Obst, Gemüse und Fleisch verzögert, indem der Kontakt mit Gasen und Wasserdampf verringert wird. Die patentierte, natürliche Lösung auf Wasserbasis besteht aus Seidenfibroin.
- Lactips, eine in Frankreich ansässig Unternehmen, hat ein thermoplastisches Pellet entwickelt, das vollständig aus Protein Casein auf Milchbasis besteht. Das Produkt soll biologisch abbaubar sein und bietet neben seinen essbaren Eigenschaften auch Beständigkeit gegen Gase.
- SCOPY ist ein niederländisches Startup, das eine essbare Verpackung herstellt, die aus einer Membran aus Bakterien und Hefe besteht, die das Ergebnis eines Fermentationsprozesses ist. Landwirten soll die Möglichkeit gegeben werden, ihre eigenen kunststofffreien Verpackungen aus Abfallprodukten herzustellen. Die Fermentation dauert zwei Wochen, in denen die Mischung Schichten bildet.

ZUKUNFTSPOTENZIAL

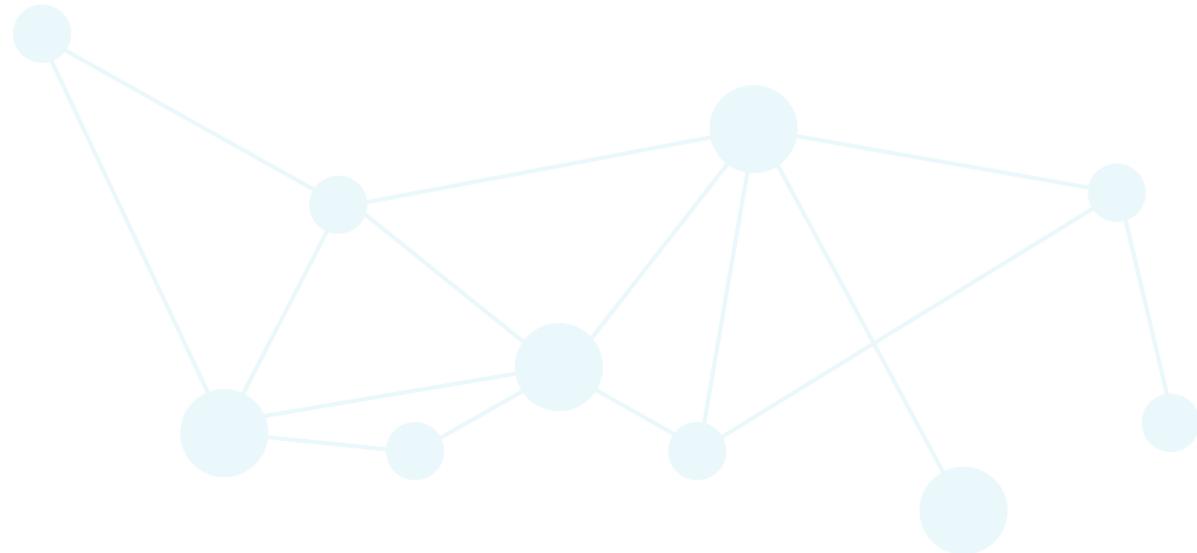
Auch wenn der Markt durch asiatische Firmen und Forschungsakteure dominiert wird, ist die EU der zweitgrößte Fördermittelgeber und in den letzten Jahren haben gerade europäische Firmen und Startups neue Produkte auf den Markt gebracht. Beschränkungen bei der Verwendung von Kunststoffverpackungen und Einweggeschirr sowie neue funktionale Beschichtungen und Verpackungen, die insbesondere die Lebensdauer von Lebensmitteln verbessern, könnten die wirtschaftlichen Potenziale fördern. Prof. Dr. Heinz Mehlhorn, Universität Düsseldorf ist einer der weltweit führenden Experten auf diesem Gebiet.



# 8 WERKSTOFFE AUS PILZMYZEL

## KURZBESCHREIBUNG

Mycelium ist ein Hefepilz, der die Eigenschaft hat, bei Zugabe von Wasser und Biomasse (z.B. Abfallprodukten der Landwirtschaft- und Nahrungsmittelindustrie) mehrzellig zu wachsen und dabei ein dichtes Netzwerk mikroskopischer Fasern auszubilden. Dieses kann durch gezielte Temperatursteuerung in verschiedene Formen gebracht werden. Es entsteht ein fester Verbundstoff – ein reines Biomaterial, aus dem man Kleidung entwickeln und Möbel oder Häuserwände bauen kann, die zudem noch weniger entflammbar sind und weniger CO<sub>2</sub> beim Verbrennen emittieren. Zudem wird deutlich weniger Wasser als bei anderen Prozessen, etwa der Herstellung von Baumwolle, benötigt. Myzelium wächst anders als andere organische Rohstoffe innerhalb von Tagen und kommt ohne energieaufwendige Herstellungsprozesse aus. Es ist vollständig kompostierbar und kann im Sinne der Kreislaufwirtschaft als biologischer Nährstoff wieder in biologische Kreisläufe zurückfließen.



<sup>10</sup> Suchstring: ((myzelium) OR (mycelium) OR (mycelium based) OR (fungal)) AND (material)

## DYNAMIK

Weltweit arbeiten Forschungsgruppen in Industrie und Wissenschaft daran, die Eigenschaft des Myzeliums für verschiedene Baumaterialien nutzbar zu machen. Dazu zählen Bodenfliesen, Paneele, Dämmplatten und „Ziegelsteine“.

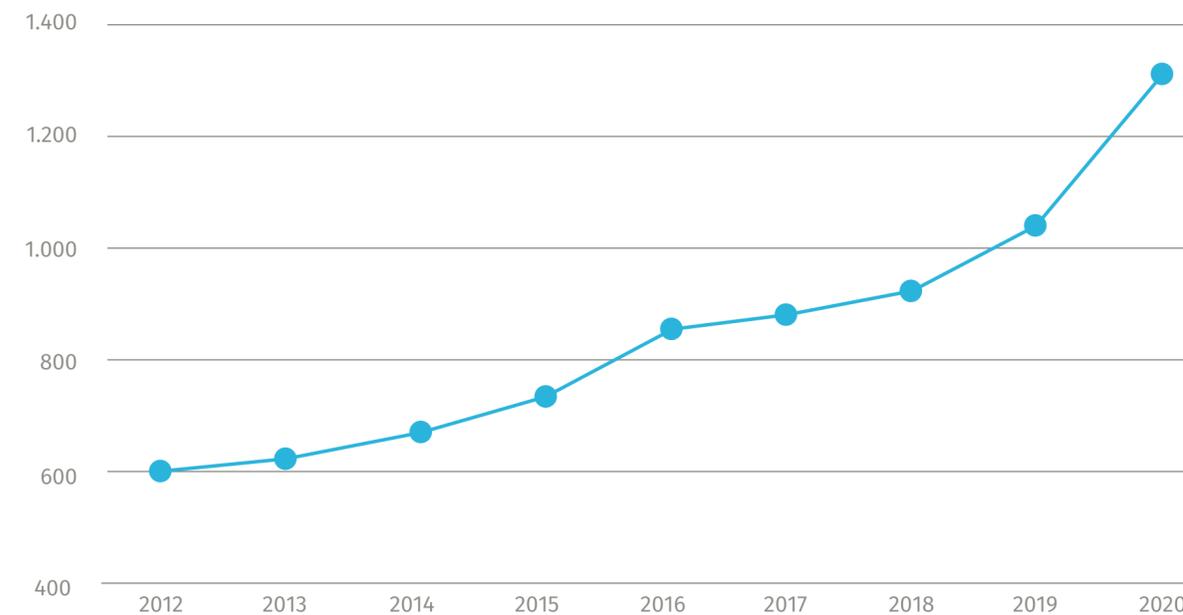


Abbildung 7: Anzahl der Publikationen pro Jahr für Pilzmycelium<sup>10</sup>

## ZUM NACHLESEN

- Die Pilz-Revolution – Citizen Science (tu-berlin.de)
- Myzelien: Architektur aus Pilzen (allplan.com)
- Mycelium | Institut für Baukonstruktion | Universität Stuttgart (uni-stuttgart.de)
- Pilzfäden als Baustoff der Zukunft – ubm magazin (ubm-development.com)

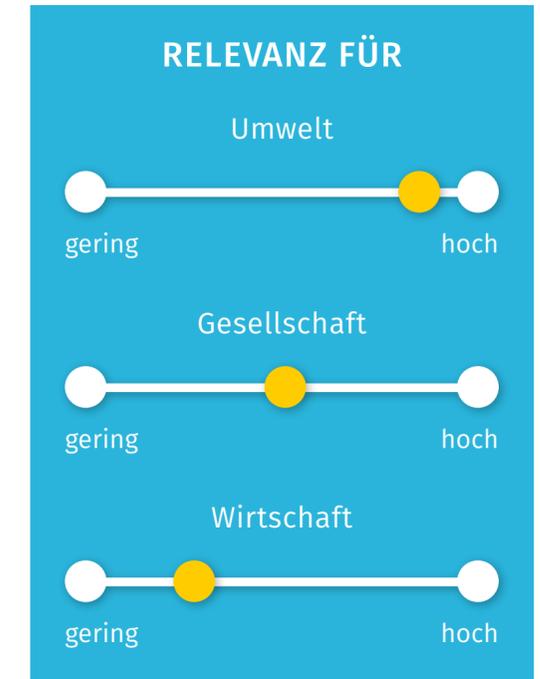


AUSGEWÄHLTE AKTUELLE ENTWICKLUNGEN

- Die Mushroom® -Verpackung des New Yorker Unternehmens Ecovative Design ist als Ersatz für Styropor auf dem Markt und sowohl in den USA als auch in Europa erhältlich. Sie ist voll kompostierbar und hat die Cradle2Cradle Gold Zertifizierung erhalten.
- MycoTree ist eine Struktur aus einem Verbundwerkstoff von Bambus und Mycelium die durch eine spezielle Formgebung eine hohe Festigkeit erreicht. Er wurde von einem Forscherteam vom Karlsruher Institut für Technologie (KIT) und der Block Research Group ETH Zürich entwickelt. In Kombination mit festen Materialien wie Bambus sowie durch die gezielte Gestaltung der geometrischen Form und des inneren Kräfteflusses können die neuen Baustoffe nach Meinung der Wissenschaftler belastbare Dachkonstruktionen bilden.
- Myco-Ziegelsteine aus Myzelium und Maisstroh wurden im Rahmen des „Young Architects Program“ im Museum of Modern Art in New York in einer turmartigen Konstruktion erstmals als tragendes Material im Außenbereich eingesetzt. Der Turm belegte damit beim Wettbewerb im Jahr 2014 den ersten Platz.

ZUKUNFTSPOTENZIAL

Die rasante Zunahme von Bauprojekten weltweit geht mit hohen ökologischen Schäden einher. Zudem entstehen Knappheiten bei einigen Rohstoffen wie Sand. Dies treibt den Bedarf nach nachhaltigen Baustoffen.



# 9 TERPENBASIERTE POLYMERWERKSTOFFE

## KURZBESCHREIBUNG

Terpene sind eine stark heterogene und große Gruppe chemischer Verbindungen, die als sekundäre Inhaltsstoffe in Organismen natürlich vorkommen. Die meisten Terpene sind Naturstoffe, das heißt hauptsächlich pflanzlicher und seltener tierischer Herkunft. Die Terpene sind Hauptbestandteil der in Pflanzen produzierten ätherischen Öle und sind biologisch und pharmakologisch interessant. Terpene können u.a. als umweltfreundliche Insektizide verwendet werden und wirken außerdem oftmals antimikrobiell. Viele Terpene werden als Geruchs- oder Geschmacksstoffe in Parfümen und kosmetischen Produkten eingesetzt.

## DYNAMIK

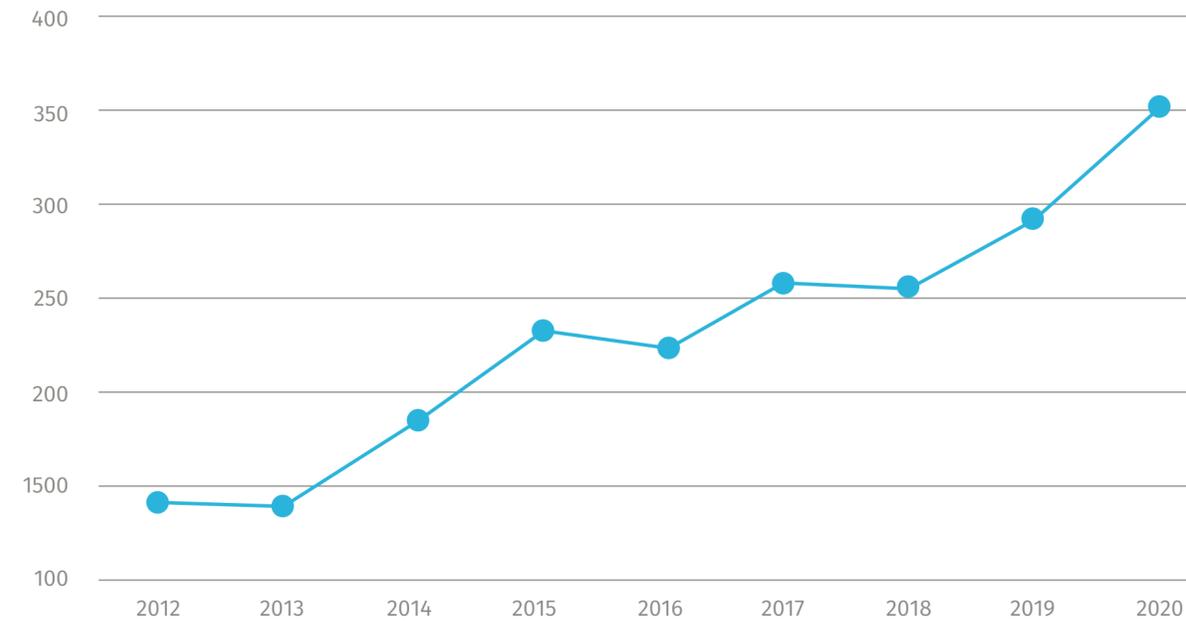
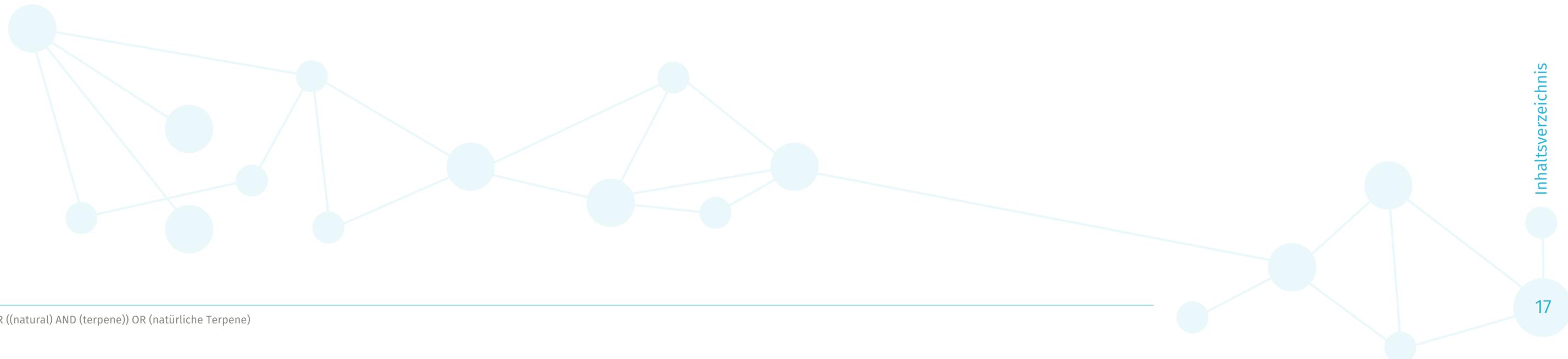


Abbildung 8: Anzahl der Publikationen pro Jahr für natürliche Terpene<sup>11</sup>

## ZUM NACHLESEN

- Eine flexible Biofabrik zur Terpenherstellung | Bioökonomie.de (bioökonomie.de)
- Fraunhofer IME: Löwenzahn die neue Kautschukquelle



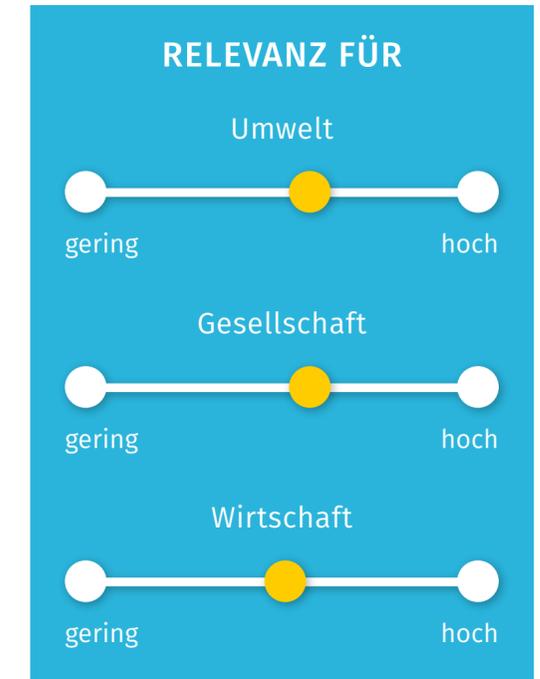
<sup>11</sup> Suchstring : (natural terpene) OR ((natural) AND (terpene)) OR (natürliche Terpene)

AUSGEWÄHLTE AKTUELLE ENTWICKLUNGEN

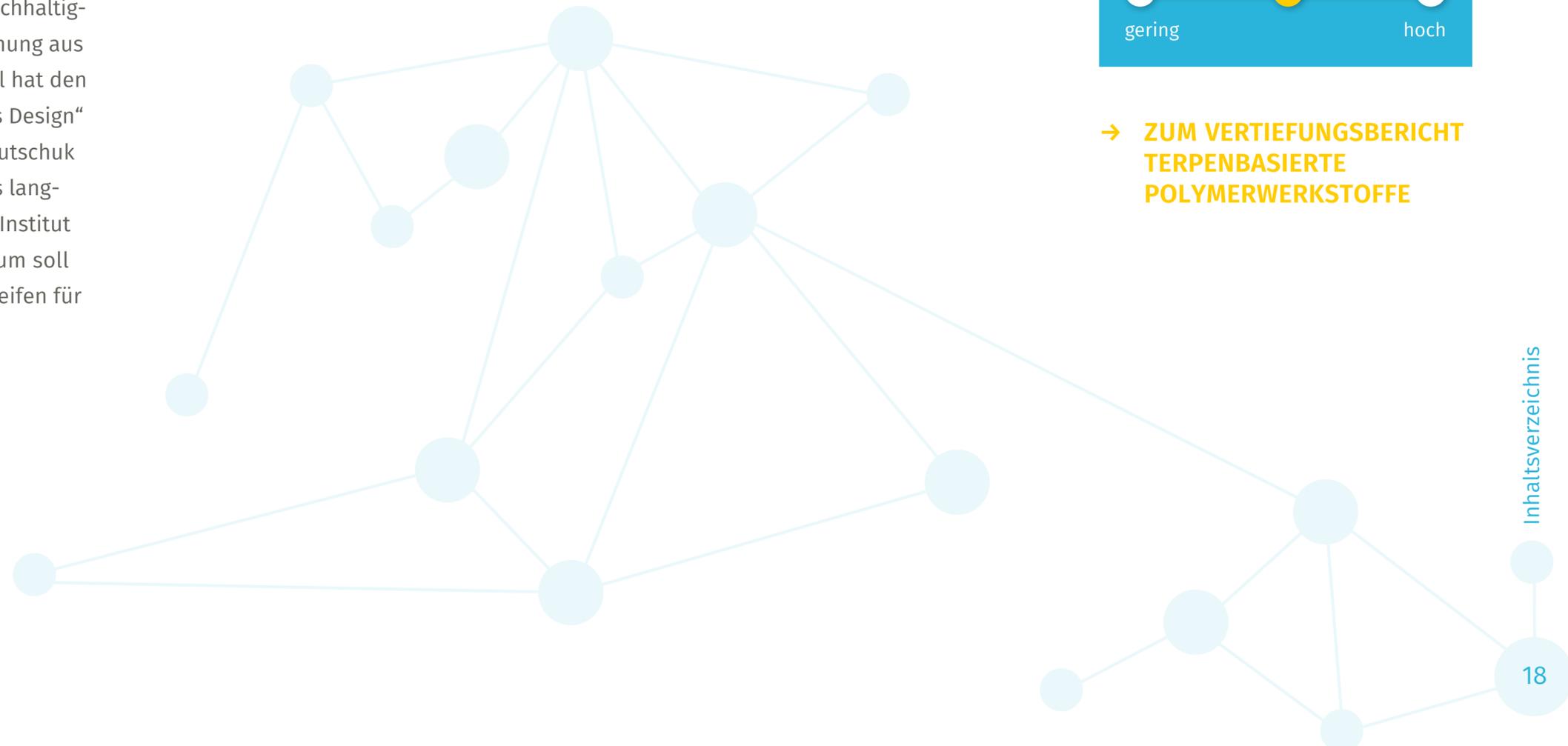
- Limonen ist das in Pflanzen am häufigsten vorkommende **Monoterpen**. Limonen ist der Hauptbestandteil der ätherischen Öle aus Schalen von Zitrusfrüchten (z.B. Zitrone, Orange, Mandarine). Technische Polymere, die aus Limonen gewonnen werden und über erhöhte thermomechanische Eigenschaften verfügen, sind derzeit in der Entwicklung. Die erhöhte molekulare Steifigkeit in Polymerketten und die minimalen Umwelt- und Gesundheitsauswirkungen machen es attraktiv für die Substitution traditioneller Monomere. Technische Polymere auf Limonenbasis sind langlebige Kunststoffe mit ähnlichen Eigenschaften und Anwendungen wie herkömmliche Kunststoffe, aber mit geringerer Umweltbelastung. Anwendungen sind u.a. in Beschichtungen oder Farben. Zur Gewinnung können biotechnologische Verfahren mit Bakterienstämmen genutzt werden.
- **Polyterpene** sind Bestandteil von Naturkautschuk. Eine Alternative zur aus Nachhaltigkeitssicht problematischen Gewinnung aus Kautschukbäumen ist die Gewinnung aus russischem Löwenzahn. Der Fahrradreifen Urban Taraxagum von Continental hat den Deutschen Nachhaltigkeitspreis 2021 in der Kategorie „Verantwortungsvolles Design“ gewonnen. Es ist das erste, in Serie gefertigte Produkt aus Löwenzahn-Kautschuk. Die Industrialisierung des Anbaus von Löwenzahn-Kautschuk ist das Ziel des langfristig angelegten Projekts Taraxagum von Continental und dem Fraunhofer Institut für Molekularbiologie und angewandte Ökologie (IME) in Münster. Taraxagum soll künftig für eine Vielzahl anderer Produkte, wie etwa Pkw- und Lkw-Reifen, Reifen für den Agrarbereich und technische Gummiwaren verwendet werden.

ZUKUNFTSPOTENZIAL

Für die chemische Industrie bergen Terpene ein enormes wirtschaftliches Potenzial. Sie können zum Beispiel als Aroma- und Geschmackstoffe dienen oder in Pflanzenschutzmitteln, Körperpflege- oder kosmetischen Produkten eingesetzt werden. Viele Terpene sind auch für die Pharmaindustrie von Bedeutung und können zur Behandlung von Infektionskrankheiten und in der Krebstherapie eingesetzt werden. Außerdem besteht zum Beispiel in der Aromaindustrie ein zunehmender Bedarf an Stoffen, die ohne eine konventionelle Synthese auf petrochemischer Basis auskommen. Für die Nahrungsmittelindustrie besteht die Chance der Valorisierung von Inhaltsstoffen aus organischen Abfällen (z.B. bei der Obstverarbeitung/Saftherstellung) und aus Nachhaltigkeitssicht begünstigt der Ansatz die Vermeidung von Tropenimporten und die Etablierung regionaler, fairer Lieferketten insbesondere im sehr problematischen Kautschukbereich.



→ ZUM VERTIEFUNGSBERICHT TERPENBASIERTE POLYMERWERKSTOFFE



# 10 BIORAFFINERIEEN DER 2. GENERATION

## KURZBESCHREIBUNG

Bioraffinerien sind Anlagen, die Biomasse verarbeiten und veredeln. Dabei werden verschiedene chemische und/oder biologische Prozesse eingesetzt. Während klassische Bioraffinerien einzelne Stoffe (z.B. Ethanol) aus hochwertigen Bio-Rohstoffen erzeugen, zeichnen sich Bioraffinerien der 2. Generation durch integrierte Prozesse aus, die viele Pflanzenteile verwerten können. Noch am Anfang der Entwicklung stehen komplexere Bioraffinerien, die aus einer Vielzahl von Rohstoffen völlig unterschiedliche Produkte herstellen können, interessant für eine regionale Kreislaufwirtschaft sind insbesondere solche, die flexibel Abfallströme verarbeiten.

## DYNAMIK

Das Interesse an Bioraffinerien der 2. Generation wächst stetig. Bisher existieren hauptsächlich Pilotanlagen aber zunehmend findet ein Upscaling statt.

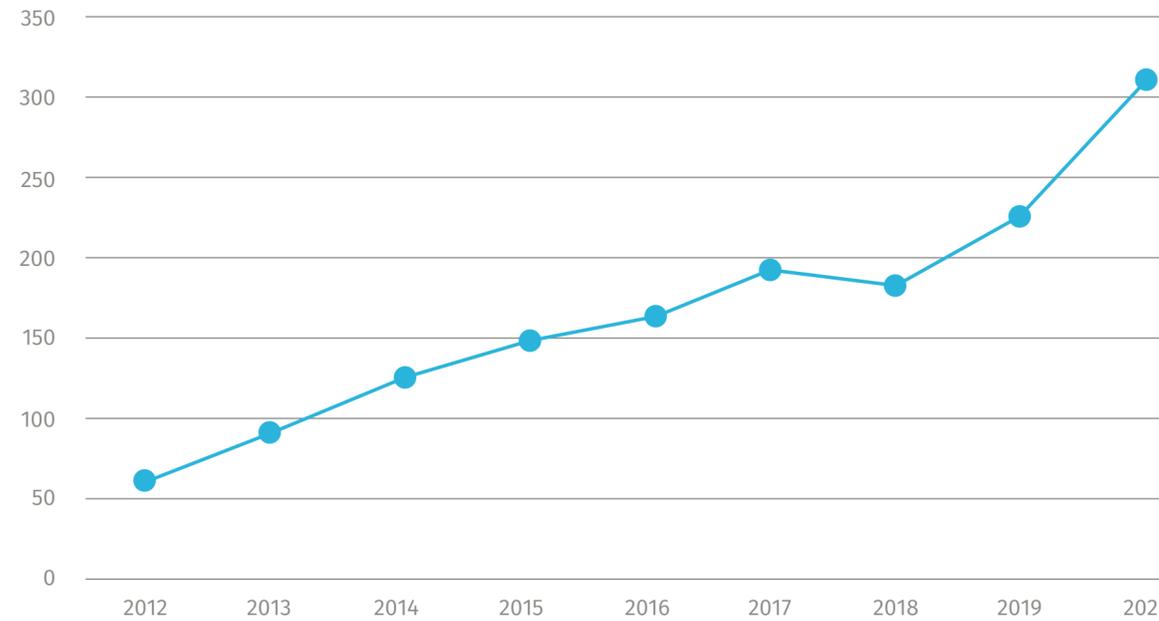
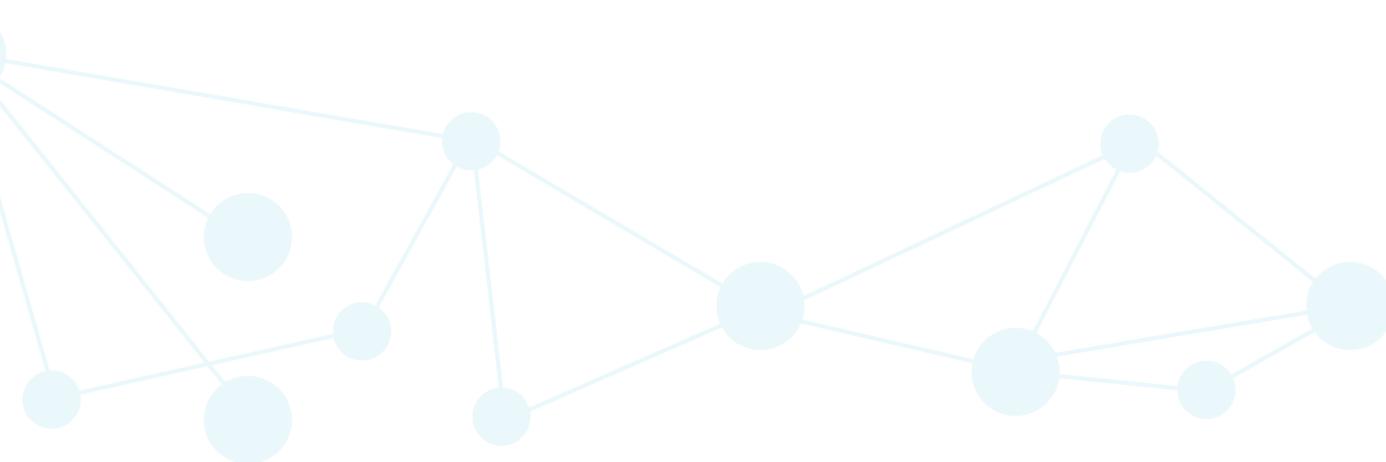


Abbildung 9: Anzahl der Publikationen pro Jahr für Bioraffinerien der 2. Generation<sup>12</sup>

## ZUM NACHLESEN

- Bioraffinerie in Leuna | UPM Biochemicals
- Die digitale Bioraffinerie – eine harte Nuss erfolgreich knacken (fz-juelich.de)
- Bioraffinerie – Rohstofflieferant für die Bioökonomie – C.A.R.M.E.N. e.V. (carmen-ev.de)
- Lignin-Bioraffinerie: Eine effektive Umwandlung von Biomasse in ein Mehrwertprodukt – TT Consultants



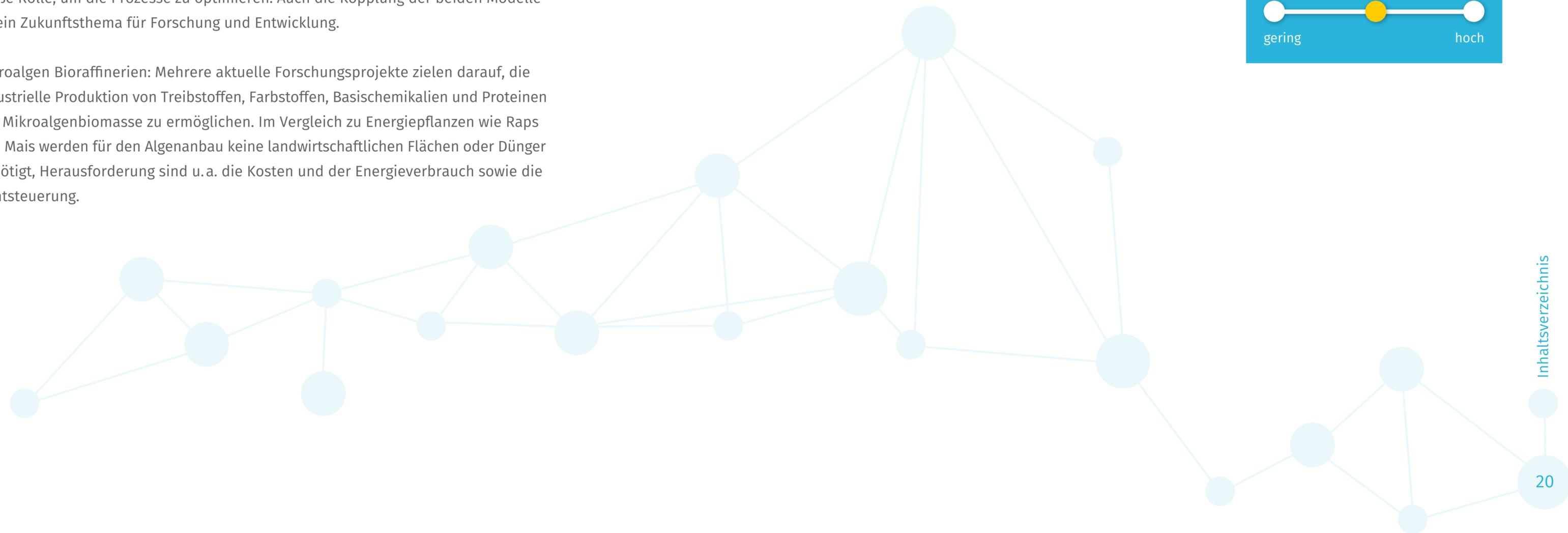
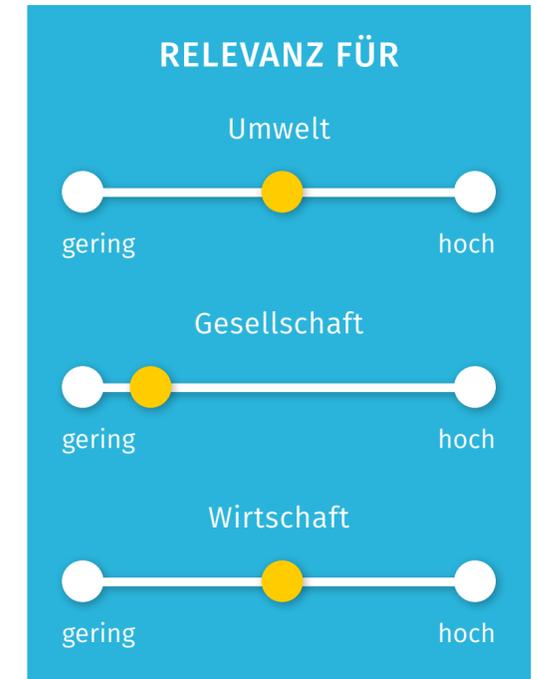
<sup>12</sup> Suchstring: ((lignocellulose) OR (algae) OR (second generation) OR (zweite Generation) OR (2. Generation) OR (Alge) OR (Lignozellulose) OR (biowaste) OR (Abfallströme) OR (Waste streams)) AND ((biorefinery) OR (Bioraffinerie))

AUSGEWÄHLTE AKTUELLE ENTWICKLUNGEN

- Lignocellulose Bioraffinerien verarbeiten Lignocellulose aus einer Vielzahl von Pflanzen, die meist nicht mit Nahrungsmitteln in Konkurrenz stehen. Sie sind der am besten erforschte Typ von Bioraffinerien der 2. Generation. Ein Beispiel für solch eine Anlage ist die vom finnischen Unternehmen UPM geplante Bioraffinerie am Standort Leuna. Dort sollen ab den Jahr 2022 aus nachhaltig erwirtschaftetem Laubholz und Reststoffen aus Sägewerken biobasierte Basischemikalien gewonnen werden.
- Biowaste-Raffinerien müssen in der Lage sein, verschiedene Rohstoffe z.B. aus Landwirtschaft, Industrie, Lebensmittelresten und Lignocellulose flexibel zu verarbeiten. Sie sind doppelt interessant in einer regionalen Kreislaufwirtschaft, da sie auch als Abfallverwerter fungieren. Hier spielt auch die Modellierung der Rohstoffströme eine große Rolle, um die Prozesse zu optimieren. Auch die Kopplung der beiden Modelle ist ein Zukunftsthema für Forschung und Entwicklung.
- Mikroalgen Bioraffinerien: Mehrere aktuelle Forschungsprojekte zielen darauf, die industrielle Produktion von Treibstoffen, Farbstoffen, Basischemikalien und Proteinen aus Mikroalgenbiomasse zu ermöglichen. Im Vergleich zu Energiepflanzen wie Raps und Mais werden für den Algenanbau keine landwirtschaftlichen Flächen oder Dünger benötigt, Herausforderung sind u.a. die Kosten und der Energieverbrauch sowie die Lichtsteuerung.

ZUKUNFTSPOTENZIAL

Bioraffinerien können im Prinzip helfen erdölbasierte Produkte zu ersetzen und damit den CO<sub>2</sub>-Ausstoß zu verringern. Viele Technologien stehen schon zur Verfügung andere sind in der Entwicklung. Die Herausforderung liegt in der praktischen Umsetzung des Stoffstrommanagements und der Anpassung an regionale Gegebenheiten.



# 11 WERTSTOFFE AUS URBANEN ABFALLSTRÖMEN

## KURZBESCHREIBUNG

Organische Fraktionen fester Siedlungsabfälle und kommunale Abwässer werden zunehmend als Ausgangsstoffe für mikrobielle Gewinnung von Biopolymeren genutzt. Dadurch entstehen geschlossene Rohstoffkreisläufe mit hoher Ressourceneffizienz. Probleme des Anbaus von Biomasse werden durch die Nutzung von Abfällen vermieden.

## DYNAMIK

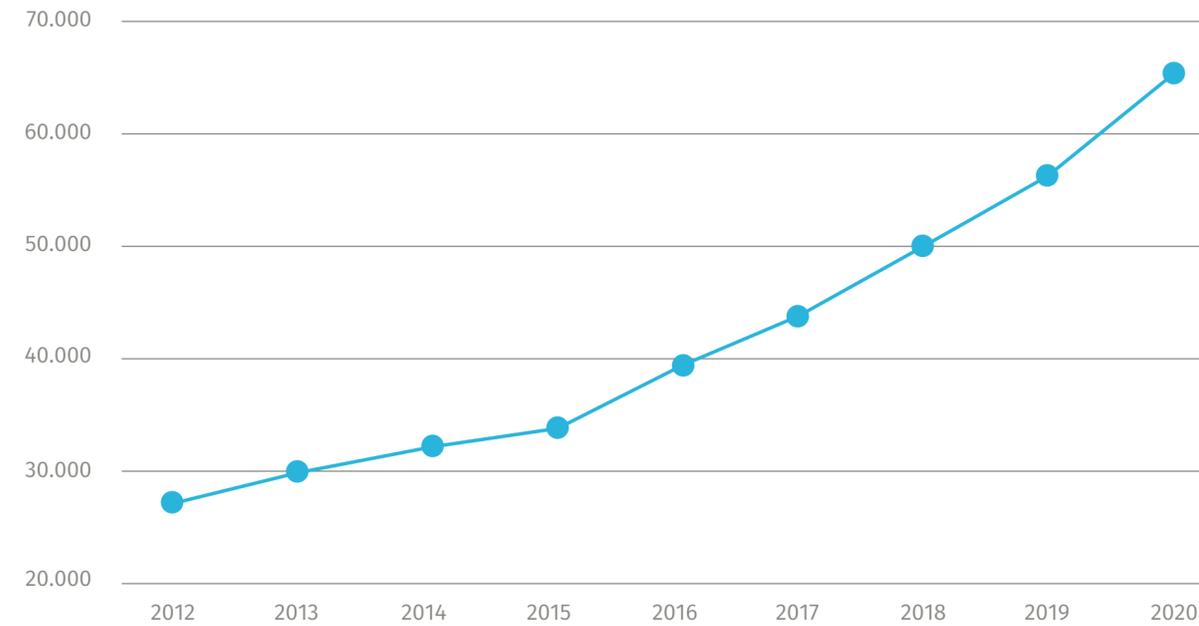
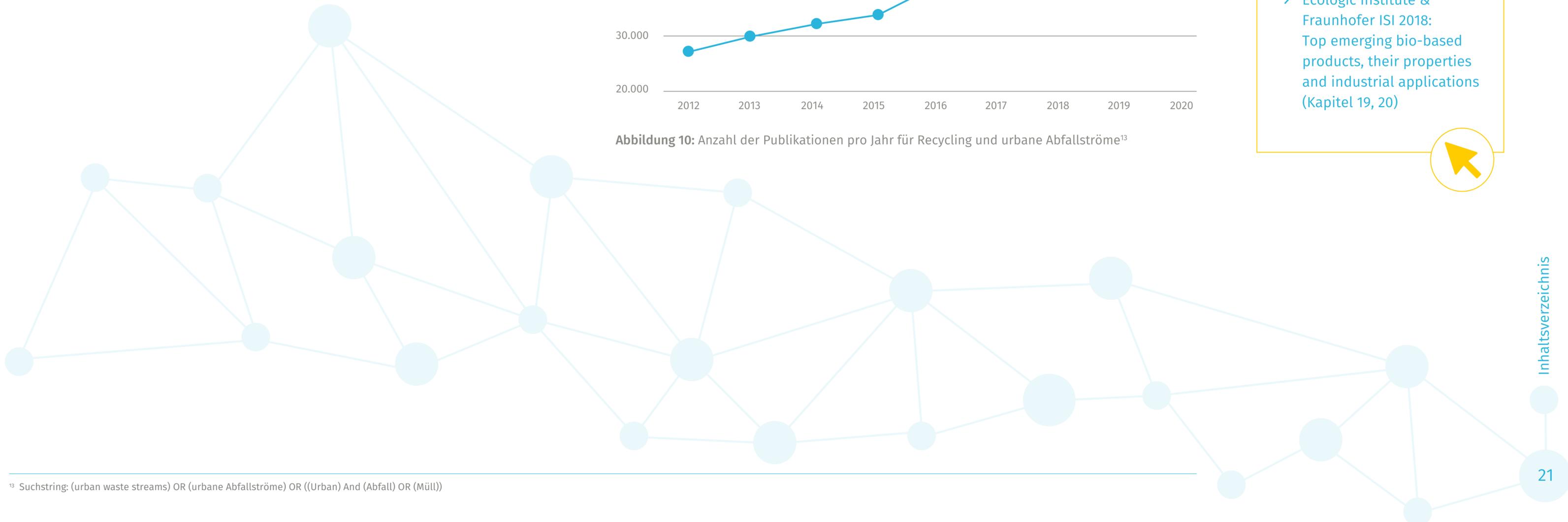


Abbildung 10: Anzahl der Publikationen pro Jahr für Recycling und urbane Abfallströme<sup>13</sup>

## ZUM NACHLESEN

- Die Kreislaufwirtschaft von morgen | Universität Stuttgart
- EU Projekt RESURBIS: REsources from URban Blo-waSte
- Ecologic Institute & Fraunhofer ISI 2018: Top emerging bio-based products, their properties and industrial applications (Kapitel 19, 20)



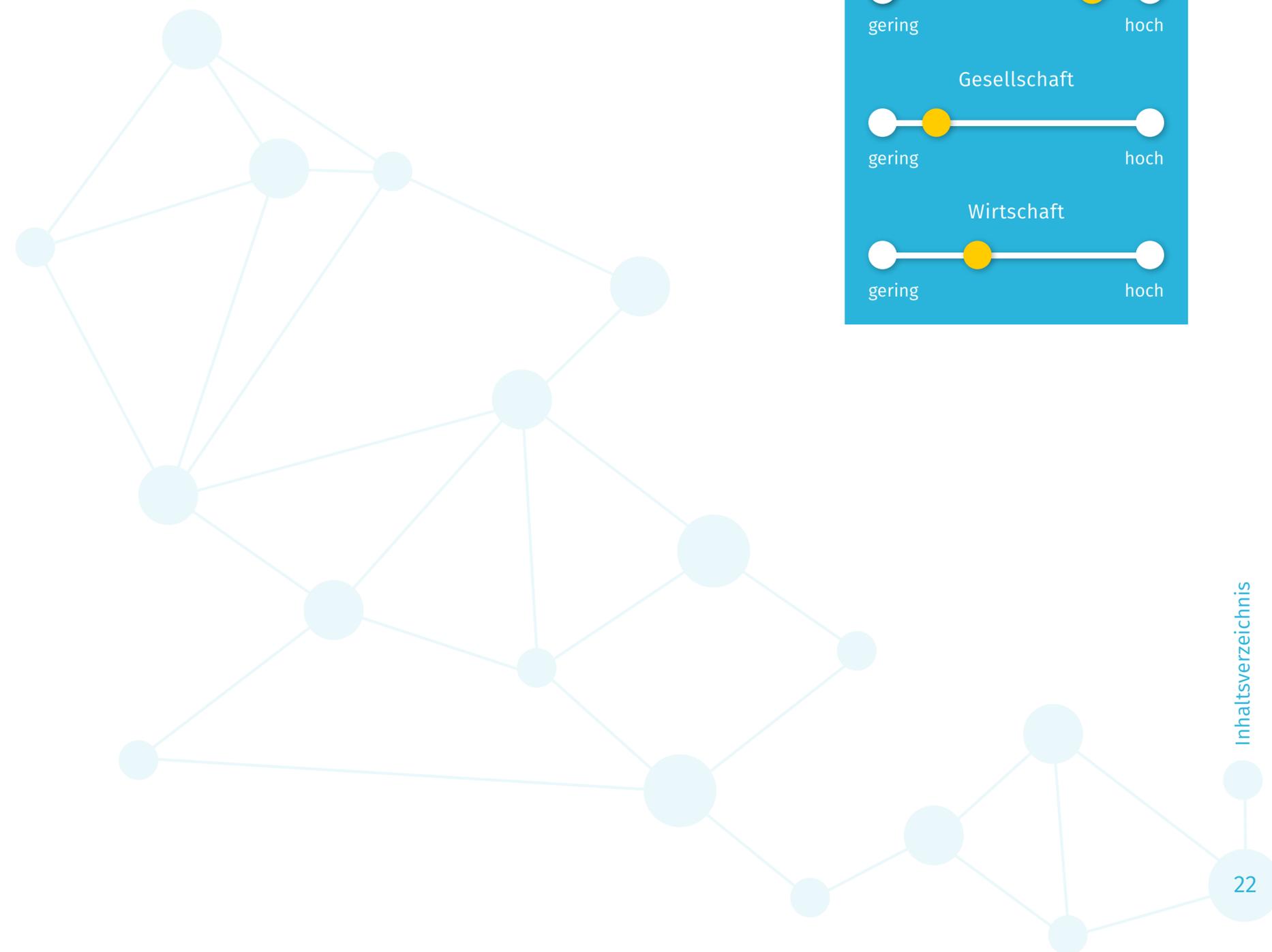
<sup>13</sup> Suchstring: (urban waste streams) OR (urbane Abfallströme) OR ((Urban) And (Abfall) OR (Müll))

AUSGEWÄHLTE AKTUELLE ENTWICKLUNGEN

- Polyhydroxyalkanoates (PHAs)/Polyhydrobuttersäure (PHB) Polyhydroxyalkanoate (PHAs) sind Biopolyester, die von verschiedenen Mikroorganismen als Kohlenstoff- oder Energiespeicher synthetisiert und angereichert werden. Eine Vielzahl von Abfallströmen wurde in den letzten Jahrzehnten zur Herstellung von PHAs genutzt: Belebtschlamm, kommunale Kläranlagen, städtischer Klärschlamm und organische kommunale Feststoffabfälle sind allesamt wirtschaftlich verwertbare Kohlenstoffsubstrate für ihre Produktion. Die Tatsache, dass PHAs auf rein biotechnologischem Wege aus einer Vielzahl von kohlenstoffreichen Biomassen gewonnen werden können, darunter landwirtschaftliche Abfälle, organische Fraktionen fester Siedlungsabfälle und kommunale Abwässer, macht sie besonders attraktiv. Zudem sind PHA die einzigen Biokunststoffe, die sich in offenen Gewässern spontan abbauen. Sie werden daher als vielversprechende biologisch abbaubare Ersatzstoffe für eine Reihe von Standardpolymeren wie HDPE, PP und Ausgangsstoff etwa für Klebstoffe aktuell sehr intensiv erforscht. Anwendungen sind auch im biomedizinischen Bereich.
- Flüchtige Fettsäuren aus Abfallströmen: Flüchtige Fettsäuren (VFAs) umfassen kurz- und mittelkettige gesättigte Carbonsäuren. Sie können sowohl durch mikrobielle Fermentation als auch auf biologischem Wege hergestellt werden, wobei erneuerbare Kohlenstoffquellen als Rohstoff genutzt werden. Eine große Vielfalt an organischen Abfallströmen kann in VFAs durch die Anwendung konventioneller biotechnologischer anaerober Fermentationen erzielt werden. VFAs sind ein leistungsfähiges Ausgangsmaterial für die gesamte chemische Industrie und stellen geeignete Vorprodukte für die Herstellung von Biopolymeren dar.

ZUKUNFTSPOTENZIAL

Die Gewinnung von Rohstoffen aus urbanen Abfallströmen vermeidet die Problematik des Bodenverbrauchs vieler Biopolymere. Daher besteht ein hohes langfristiges Zukunftspotenzial.



# 12 CHEMISCHES RECYCLING VON KUNSTSTOFFEN

## KURZBESCHREIBUNG

Chemisches oder rohstoffliches Recycling bezeichnet die Umwandlung der Kunststoffpolymere in ihre Monomere bzw. chemischen Grundbausteine oder Basischemikalien, also die Depolymerisation mittels thermochemischer bzw. chemischer Prozesse. Die Pyrolyse ist dabei die heute deutlich am häufigste eingesetzte Methode. Verbesserungspotenziale werden hier in der Verbesserung des Katalysator- und Reaktordesigns gesehen. Zukünftig könnten auch Solvolyse (nur für Polyester und Polyamide geeignet) und Lösen/Ausfällen an Bedeutung hinzugewinnen sowie neuartige Wege wie z.B. der Einsatz überkritischer Flüssigkeiten, Mikowellenreaktoren oder Biotechnologie. Auch wenn die energetische Bilanz dieser Verfahren positiv bewertet wird, weil die chemischen Bindungen nicht erst gebrochen werden und dann neu gebildet werden müssen, kann die Verwendung von schädlichen Lösungsmitteln zu Problemen führen und diese müssen zurückgewonnen werden.

## DYNAMIK

Das chemische Recycling könnte erheblich an Bedeutung gewinnen, da CO<sub>2</sub>-Einsparungen im Vergleich zur thermischen Nutzung bestehen und die stoffliche Nutzung sehr viel stärker eingeschränkt ist. Ansätze, die auch bei einer stärkeren Verunreinigung genutzt werden können, werden voraussichtlich an Bedeutung gewinnen. Vielversprechende Forschungsaktivitäten wurden im letzten Jahrzehnt oftmals nicht weiterverfolgt, weil eine wirtschaftliche Nutzung auf Grund der niedrigen Preise für fossile Rohstoffe nicht gesehen wurde. Das Kreislaufwirtschaftsgesetz hat diese Möglichkeiten nun verändert.

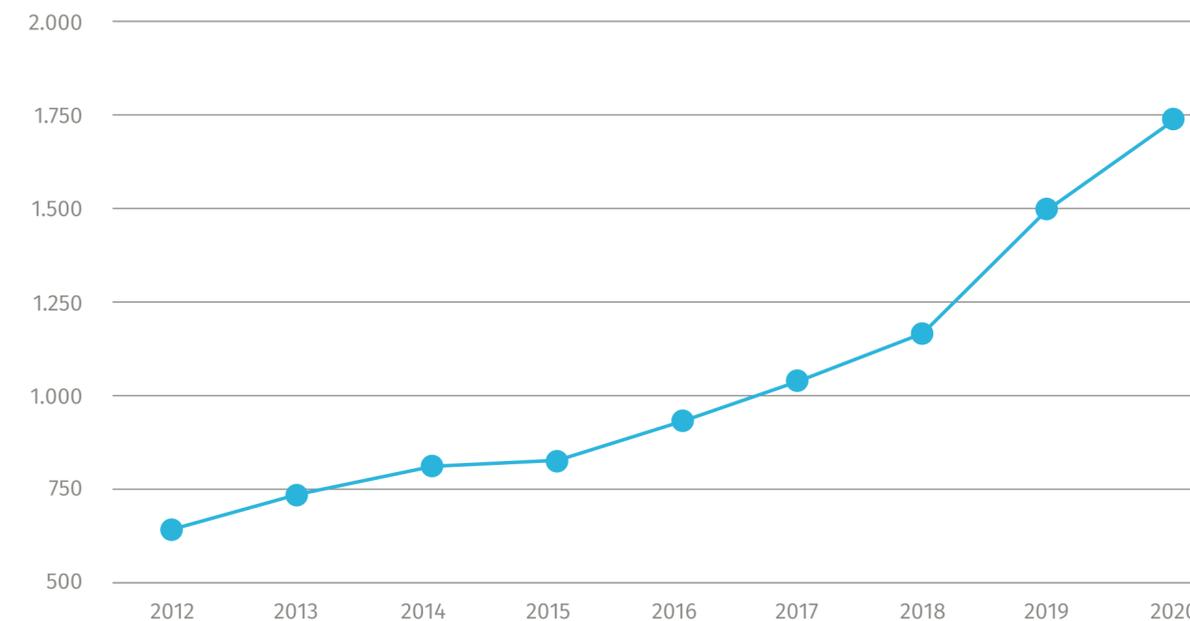


Abbildung 11: Anzahl der Publikationen pro Jahr für chemisches Recycling<sup>14</sup>

## ZUM NACHLESEN

- [Chemisches Recycling von Kunststoffen – wie und warum? | springerprofessional.de](#)
- [Wie funktioniert das chemische Recycling? | KIVO Flexible Plastics](#)
- [Chemisches Recycling im Blickpunkt – Verband der Chemischen Industrie e.V. \(VCI\)](#)
- [Chemisches Recycling: Neues Leben für Kunststoffe? \(kunststoffverpackungen.de\)](#)



<sup>14</sup> Suchstring: (chemical recycling) OR ((chemical) AND (recycling)) OR (chemisches Recycling) OR ((chmisch) AND (recycling))

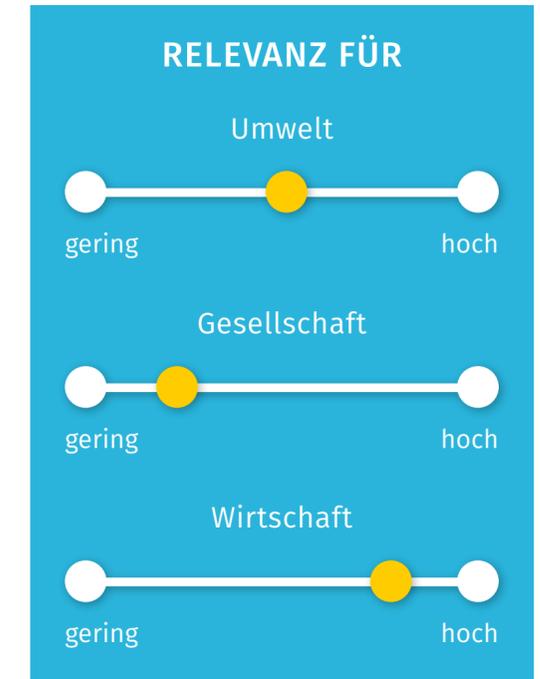


AUSGEWÄHLTE AKTUELLE ENTWICKLUNGEN

- Closed-Loop-Recycling auch für Kunststoff-Gemische. Der CreaSolv® Prozess (am Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV entwickelt) beruht auf der selektiven Separationstechnik, die die Rückgewinnung von reinen Kunststoffen aus komplexen Kunststoff-Gemischen erlaubt. Gemischte Kunststoffabfälle und Abfälle aus Kunststoff-Verbundmaterialien, wie Folienlamine oder Shreddermaterialien aus der Altauto- und Elektronikschrottverwertung, werden somit nachhaltig verwertbar.
- Das Recycling-Technologie-Startup BioCollection hat ein chemisches Verfahren entwickelt, um Polyethylen (PE) -Abfälle in „Bausteine“ zu zerlegen und in mehrere Produkte aus bis zu 50% recycelten Monomeren zu integrieren. Das in Menlo Park, Kalifornien, ansässige Unternehmen richtet sich unter anderem an die Schuh-, Etiketten- und Klebstoff-, Elektronik- und Automobilindustrie.

ZUKUNFTSPOTENZIAL

In den nächsten Jahren soll die Recyclingquote von Kunststoffen (Kreislaufwirtschaftsgesetz) von heute ca. 12% in Deutschland deutlich gesteigert werden. Es gibt umfangreiche Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten von Forschungseinrichtungen, Startups und großen Chemiekonzernen, um diese Entwicklung zu ermöglichen. Die technischen Entwicklungen müssen in enger Abstimmung mit anderen Interessengruppen der Kunststoff-Wertschöpfungskette erfolgen. In der Roadmap der chemischen Industrie in Deutschland zur Treinhausgasneutralität bis 2050 spielt das chemische Recycling eine wichtige Rolle (FutureCamp Climate GmbH und DECHEMA 2019)



# 13 BEWERTUNG DER ZUKUNFTSTHEMEN

Nach der Vorstellung aller Themen während der Denkfabrik wurden die Teilnehmenden jeweils gebeten einzuschätzen, wie das Thema zu den eigenen Interessen, Entwicklungs- und Forschungsschwerpunkten passt, wie sie die Passfähigkeit zu den wirtschaftlichen Stärken des Münsterlandes bewerten und mit welchem Aufwand die Erschließung des Themas verbunden sein könnte. Alle Themen wurden auf einer Skala von 1 (gering) bis 5 (hoch) bewertet. Es haben sich jeweils ca. 11 Teilnehmende an der Befragung beteiligt.

## #1 LIGNINBASIERTE POLYMERWERKSTOFFE

Mentimeter

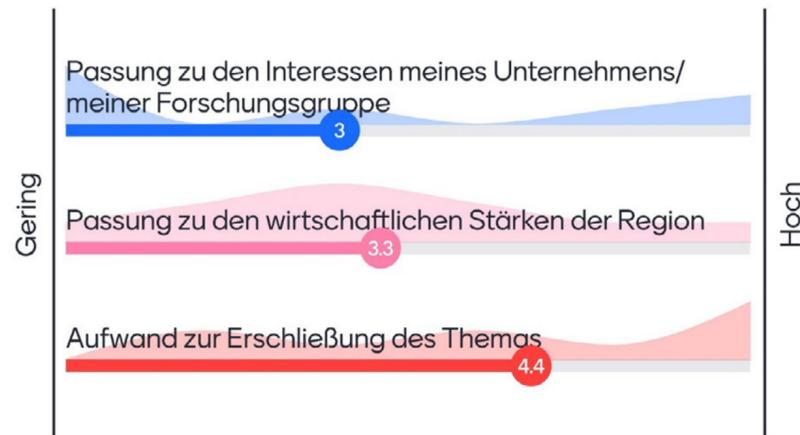


Abbildung 9: Beispiel für die Bewertung mit Mentimeter durch die Teilnehmenden

Das wichtigste Kriterium war jeweils die Passfähigkeit zu den Stärken der Region, aber auch der Aufwand für die Erschließung eines Themas sollte berücksichtigt werden. Die in Abbildung 10 und Abbildung 11 dargestellten Ergebnisse der Befragung dienten als Ausgangspunkt für die Diskussion während der Denkfabrik. Regionale Stoffkreisläufe und insbesondere Wertstoffe aus urbanen Abfallströmen wurden als ein besonders wichtiges Zukunftsthema für die Region besprochen. Hier wird es notwendig sein die vorhandenen Abfallströme zu sichten und Möglichkeiten der Kreislaufführung auszuloten. In der Diskussion wurde die regionale Passfähigkeit bei den natürlichen Terpenen auf Grund der Entwicklungsarbeiten in der Region diskutiert. Auch Flammhemmung von Biokompositen wurden als mögliches Thema gesehen, da dies ein spannendes Themenfeld für involvierte Unternehmer ist. Insgesamt wurden die Potenziale durch die Kooperation zwischen regionalen Forschungseinrichtungen und Unternehmen betont.



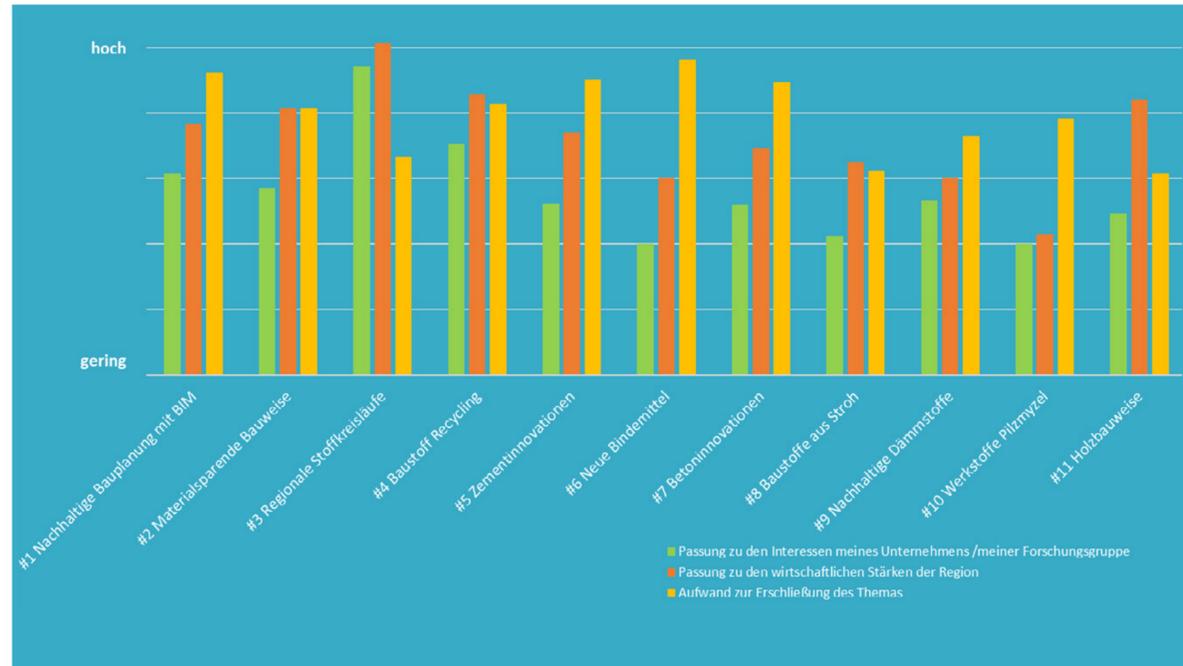


Abbildung 10: Bewertung der Zukunftsthemen durch die Teilnehmenden der Denkfabrik

Für die Zukunft sind auch weitere Themen insbesondere die Verbundwerkstoffe aus Naturfasern sowie die essbaren Beschichtungen mögliche relevante Themen mit relativ hohem Potenzial für das Münsterland. Auch hier wird auszuloten sein welche Formen der Biomasse sinnvoll regional nutzbar sind. Dabei liegt es für das Münsterland nahe neben den urbanen Abfallströmen auch den ländlichen Raum in den Blick zu nehmen. Für die Verbundwerkstoffe besteht zudem ein starker Bezug zu der in der Denkfabrik Kreislaufwirtschaft eingeschlagenen Fokussierung auf die Bauwirtschaft. Hier wurde unter anderem



Abbildung 11: Potenzial und Aufwand für Erschließung der Zukunftsthemen

auf Zementbewehrungen aus natürlichen Fasern hingewiesen. Für die Bioraffinerien der zweiten Generation wurde zwar der Aufwand als sehr hoch eingeschätzt, ihr Einsatz muss jedoch im Kontext der Nutzung urbaner Abfallströme mit einbezogen werden. Dies könnte ein weiterer Schritt in Richtung einer regionalen Bioökonomie darstellen. Eine ähnliche Situation zeigt sich beim chemischen Recycling. Da das Recycling auch bei Kunststoffen ein sehr wichtiges Element der Kreislaufwirtschaft darstellt, wird auch hier zu überlegen sein welche Rolle diese Technologie in der Zukunft des Münsterlandes spielen kann.

## 14 LITERATURVERZEICHNIS

Ecologic Institute Berlin (Hg.) (2018): Top emerging bio-based products, their properties and industrial applications. Ecologic Institute Berlin. Berlin. Online verfügbar unter → [www.ecologic.eu/sites/files/publication/2018/3513-top-emerging-bio-based-products.pdf](http://www.ecologic.eu/sites/files/publication/2018/3513-top-emerging-bio-based-products.pdf), zuletzt geprüft am 28.03.2021.

Europäische Kommission (2018): MITTEILUNG DER KOMMISSION AN DAS EUROPÄISCHE PARLAMENT, DEN RAT, DEN EUROPÄISCHEN WIRTSCHAFTS- UND SOZIALAUSSCHUSS UND DEN AUSSCHUSS DER REGIONEN Eine europäische Strategie für Kunststoffe in der Kreislaufwirtschaft. {SWD(2018) 16 final}. Online verfügbar unter → <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=CELEX:52018DC0028&from=EN>

FutureCamp Climate GmbH; DECHEMA (2019): Roadmap Chemie 2050. Auf dem Weg zu einer treibhausgasneutralen chemischen Industrie in Deutschland. DECHEMA Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V. Online verfügbar unter → [www.vci.de/services/publikationen/broschueren-faltblaetter/vci-dechema-futurecamp-studie-roadmap-2050-treibhausgasneutralitaet-chemieindustrie-deutschland-langfassung.jsp](http://www.vci.de/services/publikationen/broschueren-faltblaetter/vci-dechema-futurecamp-studie-roadmap-2050-treibhausgasneutralitaet-chemieindustrie-deutschland-langfassung.jsp), zuletzt geprüft am 13.04.2021.

Hochschule Hannover. IfBB – Institute for Bioplastics and Biocomposites (2020): Biopolymers facts and statistics. Production capacities, Processing routes, feedstock, land and water use. Hannover. Online verfügbar unter → [www.ifbb-hannover.de/en/facts-and-statistics.html](http://www.ifbb-hannover.de/en/facts-and-statistics.html), zuletzt geprüft am 29.03.2021.



# Naturfaserverstärkte Verbundstoffe

## UMWELTFREUNDLICHE WERKSTOFFE DER ZUKUNFT

Eine Zukunfts-Analyse zu ausgewählten Technologie-Trends vom Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung in Zusammenarbeit mit den Münsterland Denkfabriken

06/2022

Inhaltsverzeichnis

# INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung.....	30
2	Innovationslandschaft.....	31
2.1	Wissenschaft.....	31
2.2	Wirtschaft.....	33
2.3	Politik und Gesellschaft.....	36
3	Leuchtturm-Beispiele.....	38
3.1	Biobasierter Duroplast Verbundwerkstoff.....	38
3.2	Verbundwerkstoff OrganiQ für Küchenausstattungen.....	38
3.3	ARBOBLEND® Werkstoff von Tecnar.....	39
4	Schlussfolgerungen für das Münsterland.....	40
5	Literaturverzeichnis.....	41



# 1 EINLEITUNG

Polymer-Matrix-Verbundwerkstoffe (englisch composites) bestehen aus zwei Materialien, die sortenrein kombiniert werden, um ein Material mit neuen Eigenschaften zu schaffen. Typischerweise werden hochfeste Fasern oder Partikel, etwa aus Glas, in einem duroplastischen oder thermoplastischen Polymer gebunden. Die daraus resultierenden Materialien sind fest, steif und korrosionsbeständig, lassen sich aber an ganz verschiedene Konturen anpassen, was den Herstellern eine hohe Designflexibilität bietet. Von Bioverbundwerkstoffen spricht man, wenn mindestens eine der Komponenten bio-basiert ist, d.h. auf Basis von Biomasse hergestellt wurde (Carus und Partanen 2019). Durch Nutzung von Naturfasern wie Bast, Flachs, Kenaf, Sisal oder Hanf mit einer Biopolymer Matrix können diese Werkstoffe biologisch abbaubar gestaltet und die CO<sub>2</sub>-Emission deutlich gesenkt werden. Solche Bauteile aus naturfaserverstärkten Kunststoffen (NFK) weisen nicht nur hohe Steifigkeiten und Festigkeiten, sondern auch eine geringe Dichte auf. Weitere Vorteile der Naturfasern sind thermische und akustische Isolation, Schwingungsdämpfung und Gewichtsreduktion im Vergleich zu Glasfasern.

Faserverstärkte Verbundwerkstoffe sind weit verbreitet in zahlreichen Sektoren – etwa im Fahrzeugbau. Wegen ihres geringen Gewichtes und ihrer hohen Festigkeit sind Faser-verbundwerkstoffe zentral im Leichtbau und damit zur Reduzierung des Treibstoffverbrauchs jeder Art von Fahrzeugen. Im Bauwesen könnte der Einsatz von Fasern statt Stahl im Beton erhebliche CO<sub>2</sub>-Einsparungen ermöglichen, da weniger Betonverkleidung benötigt wird. Gelingt es, diese Werkstoffe nachhaltig zu gestalten, könnte dies in vielen Sektoren dazu beitragen den ökologischen Fußabdruck zu senken und gesundheitsschädliche Giftstoffe zu vermeiden. Kritische Nachhaltigkeitsaspekte sind Flächenverbrauch, Schadstoffeintrag und Wasserverbrauch im Anbau der Fasern. Auch ökonomische Gesichtspunkte spielen eine Rolle als Treiber. Naturfasern sind günstiger als Glas oder Carbonfasern, während die Bioplastik Matrix oft teurer ist als erdölbasierte Alternativen.

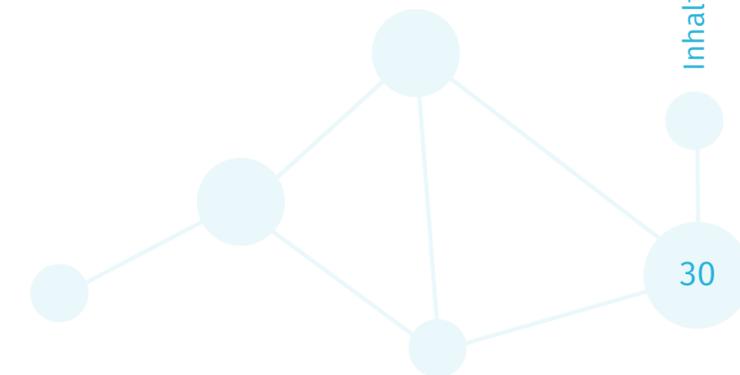
Beispiele für vielversprechende Innovationsfelder (Ecologic Institute Berlin 2018):

- Thermoplastische Faserverbundwerkstoffe sind weit verbreitet im Fahrzeugbau, für Verpackungen und Spritzgussteile. Sie können durch den Einsatz von Naturfasern und Biopolymeren (insbesondere Lignin) vollständig biologisch abbaubar werden. Die Eigenschaften sind wie bei gängigen Thermoplasten (z.B. PE, PP) mit entsprechend breiter Anwendung.
- Verbundwerkstoff Halbzeuge aus naturfaserverstärkten Bio-Harzen: „Pre-Regs“ sind wichtige Bausteine im Leichtbau für hochfeste Bauteile für Fahrzeuge und Gebäude. Sie bestehen aus Fasern in einer duroplastischen Matrix. Biobasierte und biologisch abbaubare „Pre-Regs“ kombinieren Pflanzenfasern wie Flachs mit Bio-Harzen als Ersatz für den Duroplast.
- Biobasierte und biologisch abbaubare Vliesstoffe: Vliesstoffe können mit biobasierten Fasern wie Zellulose und biobasierten Bindemitteln produziert werden und sind dann vollständig biologisch abbaubar und recyclebar. Auch biobasierte Additive etwa zur Wasserabweisung sind verfügbar.

Das Zukunftspotenzial von Naturfaserverbundwerkstoffen wird als sehr hoch bewertet, da die Reduzierung von Treibhausgasen und Plastikmüll weltweit immer stärker in das Bewusstsein der Gesellschaften rücken und entsprechende Regulationen zunehmend greifen. Zu beachten ist allerdings bei der Nachhaltigkeitsbewertung – wie für alle Anwendungen der Bioökonomie – die Erfassung des gesamten Fußabdrucks zur Vermeidung von negativen Umweltauswirkungen.

**ANSPRECHPARTNER:INNEN  
FRAUNHOFER ISI:**

**Elna Schirrmeister,  
Dr. Philine Warnke und  
Jan Rörden**



## 2 INNOVATIONSLANDSCHAFT

### 2.1 WISSENSCHAFT

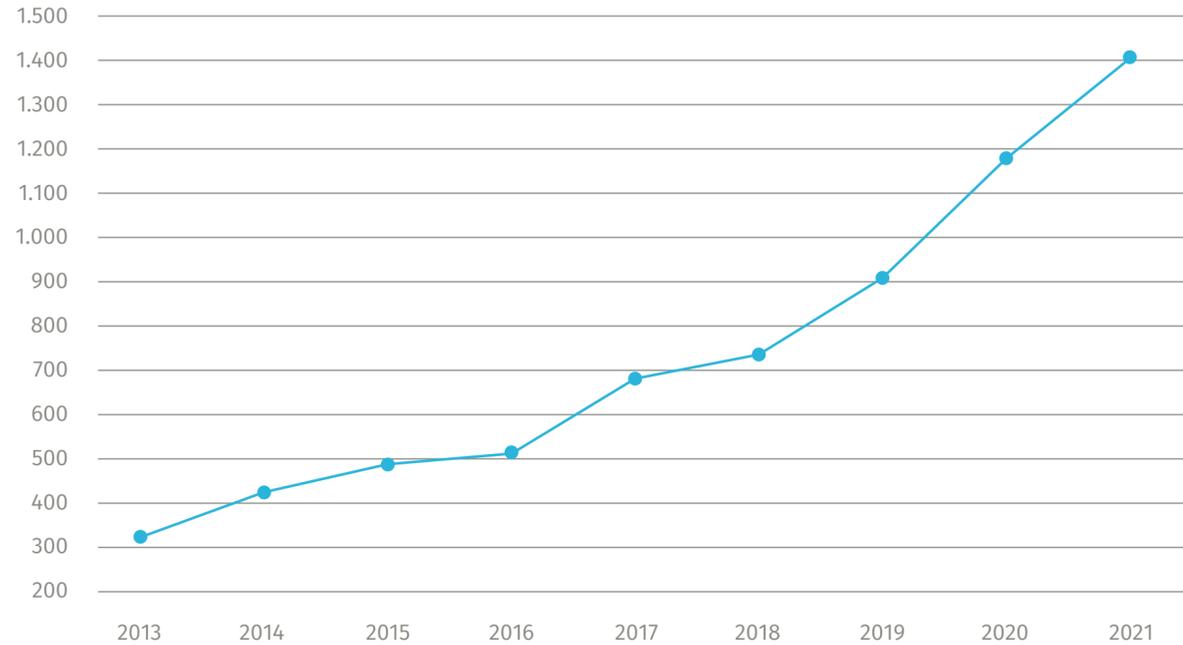
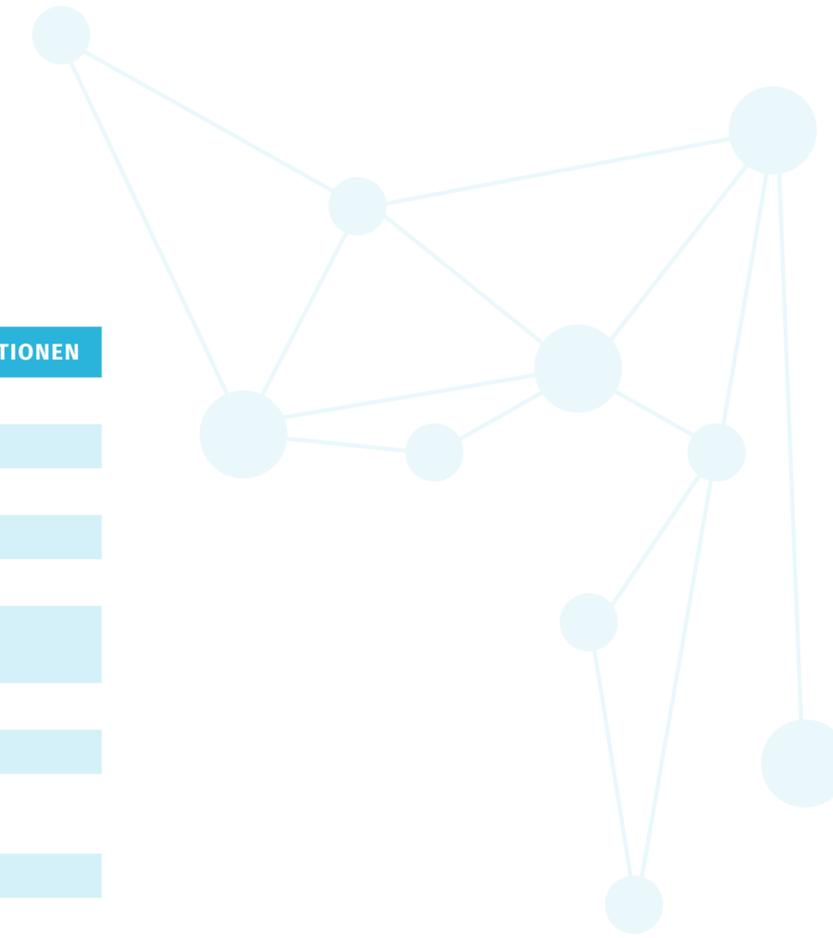


Abbildung 1: Anzahl der weltweiten Publikationen pro Jahr für Verbundwerkstoffe mit Naturfasern<sup>1</sup>

Die Analyse der Publikationen in Abbildung 1 zeigt einen starken Anstieg insbesondere seit 2018. Schaut man auf die aktivsten Forschungseinrichtungen weltweit (vgl. Tabelle 1), zeigt sich eine hohe Dominanz von Akteuren aus Indien, Malaysia und Brasilien. Deutschland liegt mit 250 Publikationen nach Frankreich und England auf Platz acht. Die meisten der deutschen Veröffentlichungen kommen aus den Universitäten Kassel und Clausthal, die restlichen Publikationen zu diesem Thema sind jedoch flächendeckend in Deutschland verteilt (vgl. Tabelle 2).

EINRICHTUNG	LAND	ANZAHL PUBLIKATIONEN
Anna Universität, Chennai	Indien	327
Universität Putra Malaysia (UPM)	Malaysia	300
Technische Universität Visvesvaraya (VTU)	Indien	128
Universität der Wissenschaft Malaysia (USM)	Malaysia	94
Technische Universität Malaysia (UTM)	Malaysia	85
Akademie für Forschung und Bildung Kalasalingam (KARE)	Indien	67
Universität Malaysia, Perlis (KUKUM)	Malaysia	65
Technische Universität MARA (UiTM)	Malaysia	64
King Mongkuts technische Universität Nord-Bangkok (KMUTNB)	Thailand	63
Militärisches Institut für Ingenieurwesen (IME)	Brasilien	63

Tabelle 1: Forschungseinrichtungen mit Publikationen zu naturfaserverstärkten Verbundwerkstoffen weltweit



<sup>1</sup> Suchstring (Composites) AND (natural fibers). Im Gegensatz zum Langbericht wurde hier in der Vertiefung die Suche auf Titel und Abstract beschränkt um noch spezifischere Publikationen zu erhalten.

EINRICHTUNG	ANZAHL PUBLIKATIONEN
Universität Kassel	23
Technische Universität Clausthal (TUC)	21
Hochschule für angewandte Wissenschaften Bremen (HSB)	14
Leibniz-Institut für Verbundwerkstoffe Kaiserslautern (IVW)	11
Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden	10
Technische Universität Berlin (TUB)	10
Technische Universität Chemnitz	10
Fraunhofer-Institut für Holzforschung Braunschweig (WKL)	9
Universität Stuttgart	9
Technische Universität Dresden (TUD)	7

**Tabelle 2:** Forschungseinrichtungen mit Publikationen zu naturfaserverstärkten Verbundwerkstoffen in Deutschland

Folgenden Forschungsgruppen publizierten besonders intensiv:

- Institut für Werkstofftechnik der Universität Kassel (IFW), Abteilungsleiterin Biokunststoffe, Schwerpunkt naturfaserverstärkte Werkstoffe: Nicole Gemmecke  
→ [www.uni-kassel.de/maschinenbau/institute/werkstofftechnik/fachgebiete/kunststofftechnik/forschung/materialentwicklung-und-verbundwerkstoffe](http://www.uni-kassel.de/maschinenbau/institute/werkstofftechnik/fachgebiete/kunststofftechnik/forschung/materialentwicklung-und-verbundwerkstoffe)
- TU Clausthal: Institut für Polymerwerkstoffe und Kunststofftechnik Prof. Ziegmann und Dr. Steuernagel (Abteilungsleiter „Nachwachsende Rohstoffe“)  
→ <https://www.puk.tu-clausthal.de/ueber-uns/das-institut>
- Hochschule Bremen, Biologische Werkstoffe Fachrichtung BIONIK Prof. Müssig
  - AG biologische Werkstoffe:  
→ [http://bionik.fk5.hs-bremen.de/pages\\_DE/BIC\\_forschungsprojekte.html](http://bionik.fk5.hs-bremen.de/pages_DE/BIC_forschungsprojekte.html)
- Leibniz-Institut für Verbundwerkstoffe IVW, Kaiserslautern Bereich Press- und Fügetechnologien Prof. Mitschang  
→ [www.ivw.uni-kl.de/de/forschung-entwicklung/kompetenzfelder/press-fuegetechnologien](http://www.ivw.uni-kl.de/de/forschung-entwicklung/kompetenzfelder/press-fuegetechnologien)



2.2 WIRTSCHAFT

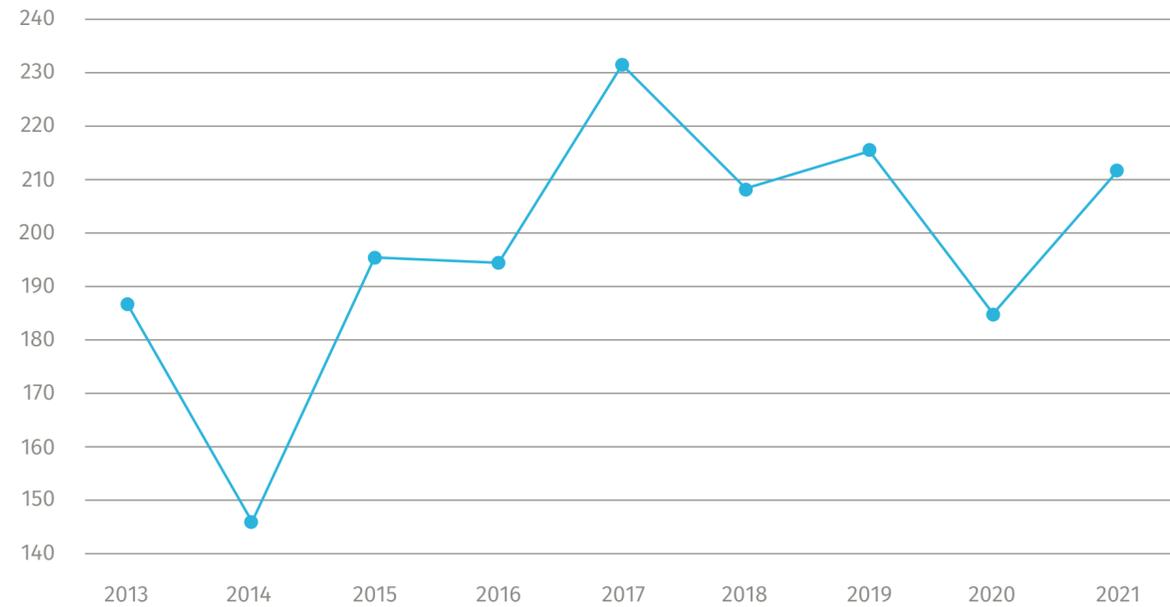


Abbildung 2: Anzahl der angemeldeten Patente pro Jahr für Verbundwerkstoffe aus Naturfasern<sup>2</sup>

Die Anzahl der Patente, die unmittelbar diese Thematik adressieren<sup>3</sup> fiel nach einem Hoch in 2017 wieder ab, liegt aber in 2022 immer noch bei 211 (Abbildung 2). Ein Blick auf die Anmelder (vgl. Tabelle 3) zeigt, dass hier skandinavische und US-Akteure dominieren.

NAME	LAND	ANZAHL PATENTE
UPM	Finnland	73
DuPont	USA	62
FPIInnovations	Kanada	45
Svenska Cellulosa	Schweden	33
Kimberly-Clark	USA	32
Scion	Neuseeland	23
Lanxess	USA	23
BASF	Deutschland	21
Hyundai Motors	Südkorea	21
Owens Corning	USA	21

Tabelle 3: Patentanmelder weltweit

NAME	ANZAHL PATENTE
BASF (Ludwigshafen am Rhein)	21
Henkel (Düsseldorf)	14
Fraunhofer Society (München)	14
BMW (München)	8
Bayer (Leverkusen)	8
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) (Hardthausen am Kocher)	8
Daimler (Stuttgart)	7
Airbus (Hamburg)	6
Faurecia (Hannover)	6
Dräxlmaier (Vilsbiburg)	6

Tabelle 4: Patentanmelder Deutschland

<sup>2</sup> Suchstring (Composites) AND (natural fibers) in title & abstract

<sup>3</sup> es wurden nur die Titel und Abstracts der Patente in die Suche einbezogen



In Deutschland sind vor allem BASF und Henkel, sowie Fraunhofer als Patentanmelder präsent (vgl. Tabelle 4). In der Fraunhofer Gesellschaft beschäftigen sich u.a. folgende Institute mit Naturfasern für Biokomposite:

- Fraunhofer-Institut für Holzforschung Wilhelm-Klauditz-Institut WKI (Schwerpunkt Holz) Fachbereich Holzwerkstoff- und Naturfaser-Technologien  
→ [www.wki.fraunhofer.de/de/fachbereiche/hnt/profil.html](http://www.wki.fraunhofer.de/de/fachbereiche/hnt/profil.html)
- Fraunhofer-Institut für Angewandte Polymerforschung IAP, Potsdam Bereich Polymermaterialien und Composite PYCO  
→ [www.iap.fraunhofer.de/de/Forschungsbereiche/PYCO.html](http://www.iap.fraunhofer.de/de/Forschungsbereiche/PYCO.html)
- Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT, Oberhausen. Forschungsbereich Biokunststoffe  
→ [www.umsicht.fraunhofer.de/de/forschung-fuer-den-markt/biokunststoffe.html](http://www.umsicht.fraunhofer.de/de/forschung-fuer-den-markt/biokunststoffe.html)

Es gibt sehr viel Marktstudien bei denen Biokomposit Werkstoffe untersucht werden. In diesem Zusammenhang werde weitere innovative Unternehmen in Europa aufgeführt:

**Tecnaro** (→ [www.tecnaro.de](http://www.tecnaro.de)): Das Unternehmen mit Sitz in Ilsfeld (Baden-Württemberg) entwickelt auf Basis nachwachsender Rohstoffe Biokunststoffe und Biocomposites (siehe auch Leuchtturm-Beispiel).

**Karelina Oy** (→ <https://plasthill.fi/karelina>): Der finnische Hersteller hat ein Patent auf Karelina® Materialien. Diese naturfaserverstärkten Verbundgranulate eignen sich vor allem für Spritzguss und Extrusion.

**Eco-Technilin** (→ <https://eco-technilin.com>): Europäischer Marktführer im Bereich der technischen Nutzung von Naturfasern, vor allem durch die verschiedenen Anwendungsbereiche – von der Automobilbranche über das Bauwesen bis zum Haushaltsbereich.

**Group Depestele** (→ [www.groupedepestele.com](http://www.groupedepestele.com)): Größter privater Leinenproduzent in Europa mit Sitz in Frankreich. Verwendung von Fasern, die direkt von der Verbundwerkstoffindustrie für strukturelle Anwendungen verwendet werden können. Das Unternehmen trägt das Siegel „Masters of Linen“, das besagt, dass der Flachs in der Europäischen Union unter Einhaltung der geltenden Umwelt- und Sozialstandards angebaut und verarbeitet wurde.

**Composites Evolution** (→ <https://compositesevolution.com>): In UK basierender Entwickler, Hersteller und Lieferant von Prepregs und thermoplastischen Bändern für die Herstellung von Leichtbaukonstruktionen aus Verbundwerkstoffen, darunter auch eine Produktlinie mit Flachsfasern.

**Procotex Corporation SA** (→ <https://en.procotex.com>): Das belgische Unternehmen handelt und verarbeitet Flachsfasern für verschiedene Industriezweige wie die Spinnerei, die Papierindustrie, die Sanitärbranche und die Verbundwerkstoffindustrie. Außerdem recycelt Procotex sowohl natürliche als auch synthetische und technische Textilabfälle und ist ein globaler Anbieter von nachhaltigen Recyclingfasern für verschiedene Anwendungen, Märkte, Materialien und Produktlinien.

**BComp** ist eine Schweizer Firma, die sich auf naturfaserverstärkte Verbundwerkstoffe für Hochleistungsanwendungen etwa für Raumfahrt, Offshore Energie und Motorsport spezialisiert hat. Sie verwendet in Europa angebauten Flachs und recyceltes Plastik aus dem Meer als Ausgangsstoffe.<sup>4</sup>

<sup>4</sup> → [www.bcomp.ch](http://www.bcomp.ch)

Weitere wichtige unternehmensnahe Akteure sind:

- nova-Institut<sup>5</sup> ist ein unabhängiges Forschungsinstitut mit dem Schwerpunkt auf Biökonomie und biobasierte Materialien. Das Institut ist in zahlreichen europäischen und nationalen Projekten aktiv und betreibt die Plattform IBIB International Directory for Bio-based Businesses → <http://bio-based.eu/ibib> auf dem gezielt Unternehmungs-partner gesucht werden können.
- Die Industrievereinigung von Naturfaserherstellern Discover Natural Fibres Initiatives → <https://dnfi.org>
- Cluster industrielle Biotechnologie CLIB → [www.clib-cluster.de/en/club-cluster-industrielle-biotechnologie](http://www.clib-cluster.de/en/club-cluster-industrielle-biotechnologie) – ein Zusammenschluss von Unternehmen mit Aktivitäten in der Bioökonomie.
- European Bioplastics eine Industrievereinigung der europäischen Bioplastik Unternehmen → [www.european-bioplastics.org](http://www.european-bioplastics.org).

Biokomposit Werkstoffe sind bei Frost&Sullivan in 2020/21 in mehr als 100 Studien thematisiert. Beispiele sind:

- Frost & Sullivan. (2020, April 22). Global Outlook for Chemicals in the Plastics and Composites, CASE, and Construction Industries, 2020. → <https://store.frost.com/global-outlook-for-chemicals-in-the-plastics-and-composites-case-and-construction-industries-2020.html>
- Frost & Sullivan. (2020, December 04). Growth Opportunities In Sustainable Construction, Plant-Based Specialty Chemicals, And Wastewater Treatment. → <https://store.frost.com/growth-opportunities-in-sustainable-construction-plant-based-specialty-chemicals-and-wastewater-treatment.html>

<sup>5</sup> → <http://nova-institute.eu>

<sup>6</sup> Frost & Sullivan. (2020, August 26). Industry Convergence Powering the Global Automotive Composites Market. → <https://store.frost.com/industry-convergence-powering-the-global-automotive-composites-market.html>

<sup>7</sup> → [www.hempflax.com/de/anwendungen/construction/hb/](http://www.hempflax.com/de/anwendungen/construction/hb/)

- Frost & Sullivan. (2020, August 26). Industry Convergence Powering the Global Automotive Composites Market. → <https://store.frost.com/industry-convergence-powering-the-global-automotive-composites-market.html>

Die Marktstudien erwarten insgesamt ein hohes Wachstum bei den Verbundwerkstoffen und darin einen leichten Anstieg des Anteils der Naturfasern insbesondere in der Automobilindustrie (aktuell um 5%), wo Anwendungen besonders bei Türverkleidung, Sitzlehnen, Ladefläche, Unterbodenschutz und Bodenplatten erwartet werden.<sup>6</sup>

Als Treiber für den Einsatz von Biokomposit-Materialien wird vor allem die bessere Recyclingfähigkeit gegenüber konventionellen Verbundwerkstoffen genannt. Dahinter stehen zunehmende Regulierungen im Kontext der Bestrebungen zur Etablierung einer Kreislaufwirtschaft und entsprechende Forderungen von Konsument:innen. Aber auch der günstige Preis der Fasern, der geringere Energieverbrauch in der Herstellung und die oben beschriebenen günstigen Eigenschaften werden als Treiber gesehen. Als mögliche Barrieren werden die Versorgungssicherheit mit den Rohstoffen und mögliche Preisschwankungen genannt.

Die Mehrzahl der Studien ist in den Branchen Materialien und Chemikalien angesiedelt, danach folgen aber gleich die Branchen Bau, Energie und Mobilität. Ein Beispiel für ein in einer Marktstudie hervorgehobene zukunftssträchtige Firma im Bereich Naturfasern ist die niederländische Firma HempFlax, die sich auf nachhaltigen Anbau von Hanf und seine Verarbeitung in verschiedene Werkstoffe spezialisiert hat. Beispiele sind HempFlax HB®, ein Biokompositmaterial aus kalkgebundenem Hanf („Hanfbeton“), das sich für Wände und Dachkonstruktionen eignet sowie HempFlax Felt, ein Vliesmaterial aus den Fasern der Industriehanfpflanze mit vielen Anwendungsmöglichkeiten u.a. im Baugewerbe, aber auch in der Automobilindustrie oder im Nahrungsmittelanbau.<sup>7</sup> Die 2500 ha Anbaufläche von HempFlax liegen in den Niederlanden, Rumänien und Deutschland (vorwiegend Emsland); es werden sehr strenge Zertifizierungen eingehalten.



## 2.3 POLITIK UND GESELLSCHAFT

Bioökonomie und Kreislaufwirtschaft sind wichtige Bestandteile in Strategien verschiedener Ministerien auf Bundes- und Landesebene ebenso wie gesellschaftlicher Akteure.

### Nationale Ebene

- Die nationale Bioökonomiestrategie<sup>8</sup> der Bundesregierung seit Januar 2020 mit dem Ziel unabhängiger von fossilen Rohstoffen zu werden und Biomasse umweltverträglich zu nutzen. Um das zu erreichen, unterstützen bzw. fördern das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) und das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) Innovationen und praxisnahe Forschungsprojekte im Rahmen der Forschungsförderung. Dafür stellen BMBF und BMEL von 2020 bis 2024 für bioökonomie-relevante Projekte und Maßnahmen 3,6 Milliarden Euro zur Verfügung.<sup>9</sup>
- Förderprogramm „Nachwachsende Rohstoffe“ des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) dessen Ziel die Weiterentwicklung einer nachhaltigen Bioökonomie ist. Dazu stehen jährlich 85 Millionen Euro aus dem Bundeshaushalt zur Verfügung.<sup>10</sup>
- Die Fachagentur nachwachsende Rohstoffe (FNR) ist ein Projektträger des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) im Bereich Biopolymere. FNR unterstützt die Forschung und Entwicklung von Produktlinien von der Erzeugung bis zur Verwendung einschließlich der Entsorgung von nachwachsenden Rohstoffen.<sup>11</sup> Eine Broschüre der FNR stellt einschlägige Informationen zu dem Themenfeld zur Verfügung.<sup>12</sup> Aktuell wird ein sehr großes Verbundvorhaben zur „Beständigkeit von Biokunststoffen und Bioverbundwerkstoffen“ durchgeführt. Ein Teilprojekt widmet sich auch den naturfaserverstärkten technischen Biokunststoffen.<sup>13</sup>

- Am 15.01.2020 beschloss die Bundesregierung das Programm Bioökonomie – Biogene Ressourcen und biologisches Wissen für eine nachhaltige Wirtschaft, welches beim BMBF angesiedelt ist. Das Programm baut auf der „Nationalen Forschungsstrategie BioÖkonomie 2030“ und der „Nationalen Politikstrategie Bioökonomie“ auf und bündelt fortan die Forschungsförderung und die politischen Rahmenbedingungen zur Bioökonomie.<sup>14</sup>
- Der Bioökonomierat ist ein unabhängiges Beratungsgremium der Bundesregierung und erarbeitet Handlungsempfehlungen zur Umsetzung der nationalen Bioökonomiestrategie. Ziel ist es, durch den partizipativen Austausch mit der Gesellschaft sowie Branchen- und Interessenvertretungen die Bioökonomie als Grundlage einer gesellschaftlichen nachhaltigen Transformation, im Rahmen der nationalen Bioökonomiestrategie, zu etablieren.<sup>15</sup>

Bereits 2010 entwickelte NRW eine Bioökonomiestrategie und fördert seit 2013 durch das Ministerium für Kultur und Wissenschaft des Landes Nordrhein-Westfalen das *Kompetenzzentrum BioSC* (siehe auch 3.4) im Rahmen des *NRW-Strategieprojekts BioSC*. werden regionale, transdisziplinäre Ansätze in Nordrhein-Westfalen gefördert.<sup>16</sup>

<sup>9</sup> → [www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/bioeconomie-nachwachsende-rohstoffe/nationale-bioeconomiestrategie.html](http://www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/bioeconomie-nachwachsende-rohstoffe/nationale-bioeconomiestrategie.html)

<sup>10</sup> → [www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/bioeconomie-nachwachsende-rohstoffe/foerderprogramm-nachwachsende-rohstoffe.html](http://www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/bioeconomie-nachwachsende-rohstoffe/foerderprogramm-nachwachsende-rohstoffe.html)

<sup>11</sup> → [www.fnr.de/projektfoerderung/foerderprogramm-nachwachsende-rohstoffe](http://www.fnr.de/projektfoerderung/foerderprogramm-nachwachsende-rohstoffe)

<sup>12</sup> → [www.fnr.de/fileadmin/allgemein/pdf/broschueren/Bioverbundwerkstoffe\\_2019\\_Web.pdf](http://www.fnr.de/fileadmin/allgemein/pdf/broschueren/Bioverbundwerkstoffe_2019_Web.pdf)

<sup>13</sup> → [www.fnr.de/presse/pressemitteilungen/aktuelle-mitteilungen/aktuelle-nachricht/bestaendigkeit-von-biokunststoffen-und-bioverbundwerkstoffen](http://www.fnr.de/presse/pressemitteilungen/aktuelle-mitteilungen/aktuelle-nachricht/bestaendigkeit-von-biokunststoffen-und-bioverbundwerkstoffen)

<sup>14</sup> → [www.bmbf.de/bmbf/de/forschung/energiewende-und-nachhaltiges-wirtschaften/bioeconomie/bioeconomie\\_node.html](http://www.bmbf.de/bmbf/de/forschung/energiewende-und-nachhaltiges-wirtschaften/bioeconomie/bioeconomie_node.html)

<sup>15</sup> → [www.bioeconomie.de](http://www.bioeconomie.de)

<sup>16</sup> → [www.biosc.de/strategieprojekt\\_biosc](http://www.biosc.de/strategieprojekt_biosc)



## EU Ebene

Die EU verfolgt seit 2012 eine Bioökonomie-Strategie (European Commission. Directorate General for Research and Innovation. 2018). Eine Reihe weitere Strategien im Kontext des aktuellen „Green Deals“ ergänzen diese. Dazu gehört der „Circular Economy Action Plan“, der „Biodiversity Plan“, die „Forestry Strategy“ und die „Farm to Fork Strategy“. Entsprechend existieren zahlreiche Förderprogramme Darunter Horizon Europe als das wichtigste Finanzierungsprogramm der EU für Forschung und Innovation mit einem Budget von 95,5 Mrd. Euro. Relevant für den Bereich der Bio-kompositwerkstoffe sind die folgenden Programme:

- Horizon Europe Cluster 4 Digital Industry and Space, insbesondere die Destination Climate neutral and Circular digitised production  
→ [https://ec.europa.eu/info/research-and-innovation/funding/funding-opportunities/funding-programmes-and-open-calls/horizon-europe/cluster-4-digital-industry-and-space\\_en](https://ec.europa.eu/info/research-and-innovation/funding/funding-opportunities/funding-programmes-and-open-calls/horizon-europe/cluster-4-digital-industry-and-space_en)
- Horizon Europe Cluster 6 “Food, bioeconomy, natural resources, agriculture and environment” Destination Circular Economy  
→ [https://rea.ec.europa.eu/funding-and-grants/horizon-europe-cluster-6-food-bioeconomy-natural-resources-agriculture-and-environment\\_en](https://rea.ec.europa.eu/funding-and-grants/horizon-europe-cluster-6-food-bioeconomy-natural-resources-agriculture-and-environment_en)

Außerdem relevant ist z.B. das Joint Undertaking Bio-based Industries, eine Partnerschaft zwischen EU-Kommission und einem Zusammenschluss von Industrieunternehmen, die im Bereich Bioökonomie tätig sind.<sup>17</sup>

<sup>17</sup> → [www.bbi.europa.eu](http://www.bbi.europa.eu)

Eine Reihe deutscher und internationaler Umweltorganisationen beschäftigen sich mit dem breiteren Thema Bioökonomie oft in sehr kritischer Weise. Einige davon z.B. BUND, Deutsche Umwelthilfe, Brot für die Welt und Greenpeace haben sich im Aktionsforum Bioökonomie zusammengeschlossen und eine Reihe von Stellungnahmen zur nachhaltigen sozial-gerechten Bioökonomie erarbeitet: → <https://nachhaltige-biooekonomie.de>. Insbesondere wird vor nicht nachhaltiger Gewinnung von Biomasse gewarnt.



## 3 LEUCHTTURM-BEISPIELE

### 3.1 BIOBASIERTER DUROPLAST VERBUNDWERKSTOFF

Die Lorenz Kunststofftechnik GmbH in Wallenhorst-Hollage hat von 2018 bis 2020 gemeinsam mit dem Institut für Verbundwerkstoffe GmbH (IVW) an Möglichkeiten für die Herstellung eines duroplastischen Verbundwerkstoffes mit einem geringeren CO<sub>2</sub>-Verbrauch gearbeitet. Das Ergebnis ist ein gewichtsreduziertes Halbzeug auf Basis von nachwachsenden Rohstoffen, für dessen Herstellung auf biologische Materialien zurückgegriffen wird. Durch die Verwendung von Basalt-Fasern als Verstärkungsfasern konnte der Anteil der bio-basierten Komponenten in Summe auf 74 Gew.-% gesteigert werden. Die Halbzeuge zeigen eine ca. 20% geringere Dichte als konventionelle Halbzeuge, die erreichbaren mechanischen Kennwerte bleiben dabei auf einem konstanten Niveau. Dank der erzielten Dichtereduktion eröffnen sich für das neu entwickelte Halbzeug Einsatzmöglichkeiten als Leichtbauwerkstoff in verschiedenen Bereichen, wie beispielsweise Automotive und E-Mobilität oder Bau-Infrastruktur. Um die ökologische Bilanz zu verbessern, hat sich das Unternehmen für die zu erwartende Kommerzialisierung der Projektergebnisse dazu entschieden, die Rohstoffe im regionalen Umkreis von 500 km zu beziehen. Der nachhaltige Kunststoff ist flammenfest nach UL 94 V0 4 mm HB und schimmelresistent. Das Forschungsprojekt wurde vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) im Rahmen einer ZIM-Förderung (Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand) finanziell unterstützt.

→ [www.ivw.uni-kl.de/fileadmin/user\\_upload/pdf/Externe\\_Veroeffentlichungen/2021-04\\_Konstruktion\\_IVW\\_Lorenz\\_Gewichtsoptimierte\\_Duroplasts.pdf](http://www.ivw.uni-kl.de/fileadmin/user_upload/pdf/Externe_Veroeffentlichungen/2021-04_Konstruktion_IVW_Lorenz_Gewichtsoptimierte_Duroplasts.pdf)

### 3.2 VERBUNDWERKSTOFF ORGANIQ FÜR KÜCHENAUSSTATTUNGEN

OrganiQline: Im Rahmen eines gemeinsamen Projektes wurde von den Projektpartnern Holzwerk Rockenhausen GmbH & Co. KG, J. Dittrich & Söhne Vliesstoffwerk GmbH und dem Institut für Verbundwerkstoffe GmbH ein nachhaltiger Werkstoff zur Anwendung für Innenausstattungen in Küchen-Schubkästen und -Auszügen entwickelt. Diese werden von der Firma Holzwerk Rockenhausen weltweit vertrieben. Konkrete Projekteinhalte waren hierbei unter anderem die Entwicklung des umweltverträglichen Verbundwerkstoffes „OrganiQ“ basierend auf 78 Gew.-% Naturfasern und 22 Gew.-% duroplastischem Bindemittel durch die Firma Dittrich und Söhne. Das Bindemittel ist auf Wasserbasis, formaldehyd- und phenolfrei. Als Verstärkungsfasern wurden Hanf und Kenaf ausgewählt, da diese Fasern sowohl auf kargen und anspruchlosen Böden schnell wachsen und entsprechend viel Kohlendioxid binden – aber auch sehr gute mechanische Eigenschaften besitzen. Durch die räumliche Nähe der Projektpartner konnte weiterhin eine Einsparung von CO<sub>2</sub>-Emissionen während des Transports erreicht werden.

Parallel zur Materialentwicklung wurde durch das IVW ein Verarbeitungsprozess entwickelt, welcher sowohl auf die Nutzung des vorhandenen Maschinenparks als auch auf die anspruchsvollen Qualitätskriterien der Firma Holzwerk Rockenhausen abgestimmt wurde. Durch die Kooperation der Projektpartner konnte eine Prozesskette vom Rohstoff bis zum Bauteil entwickelt werden. Das entwickelte Material kann als Alternative zu hochwertigen Hölzern – welche bisher zum Einsatz kamen – genutzt werden. Durch Symbiose von Naturfaser-Halbzeugen und hochwertigen Hölzern wurde die „OrganiQ“ Produktlinie durch Holzwerk Rockenhausen entwickelt.

Diese neue Ausstattungsserie wurde auf mehreren Messen vorgestellt und wurde dort positiv aufgenommen. Der Einsatz des Materials in Küchenschubladen wurde durch die DEKRA Automobil GmbH – Labor für Umwelt- und Produktanalytik in Stuttgart auf Schadstoffe und Lebensmittelverträglichkeit geprüft und freigegeben. Die Nachfrage nach dem Material durch Küchenhersteller ist hoch.

→ [www.ivw.uni-kl.de/de/aktuelles/news/detail/organiqline-setzt-neue-massstaebe](http://www.ivw.uni-kl.de/de/aktuelles/news/detail/organiqline-setzt-neue-massstaebe)



### 3.3 ARBOBLEND® WERKSTOFF VON TECNARO

Das Unternehmen Tecnaro mit Sitz in Ilsfeld (Baden-Württemberg) entwickelt auf der Basis nachwachsender Rohstoffe Biokunststoffe und Biocomposite. Mit ihren thermoplastischen Biowerkstoffen ARBOFORM®, ARBOBLEND® und ARBOFILL® zählt Tecnaro zu den Technologieführern. Tecnaro erhielt 2021 bereits zum fünften Mal in Folge die Auszeichnung GREEN BRANDS GERMANY.<sup>18</sup>

Die ARBOBLEND® Materialien sind naturfaserverstärkte Verbundwerkstoffe. Sie bestehen je nach Rezeptur aus Biopolymeren wie z.B. Polyhydroxyalkanoaten (PHA), Polycaprolacton (PCL), Polyester (z.B. Bio-PET), Stärke, Polymilchsäure (PLA), Bio-Polyolefinen (Bio-PE), Bio-Polyamiden (Bio-PA), Lignin, Naturharzen, -wachsen, -ölen, natürlichen Fettsäuren, Cellulose, biologischen Additiven und natürlichen Verstärkungsfasern. In dem kürzlich abgeschlossenen EU-Projekt FUNGUSCHAIN wurden auch Pilzabfälle als neue nachhaltige Ressource für die ARBOBLEND® Biokunststoffrezepturen erschlossen.

Anwendungsbereiche sind Bau, Gartenbau, Agrar, Technische Teile, Möbel, Musikinstrumente, Spielwaren, Sport und Freizeit, Haushaltswaren, Schreibwaren und Büroartikel, Bekleidungsindustrie und Verpackung.



<sup>18</sup> → [www.tecnaro.de](http://www.tecnaro.de)

## 4 SCHLUSSFOLGERUNGEN FÜR DAS MÜNSTERLAND

Viele der hier genannten hochinnovativen Akteure im Bereich naturfaserverstärkte Bio-kompositwerkstoffe befinden sich in unmittelbarer Nachbarschaft zum Münsterland. Beispiele sind Covestro, Lorenz Kunststofftechnik, HempFlax, BASF, Bayer, Henkel, das Fraunhofer UMSICHT sowie das Kompetenzzentrum BioSC. Innerhalb des Münsterlands sind einige Unternehmen unmittelbar mit Verarbeitung von Kunststoffen und technischen Textilien sowie dem entsprechenden Anlagenbau befasst.

Eine große Zahl von Unternehmen nutzt solche Bauteile etwa in den Bereichen Logistik, Fahrzeugbau, Bauwirtschaft, Gartenbau, Landwirtschaft, Medizinprodukte, Maschinenbau und Windkraft. Da aus den oben genannten Gründen mit sich wandelnden Rahmenbedingungen die Vorteile naturfaserverstärkter Kunststoffe immer stärker zutage treten und sich immer mehr Anbieter und Verfahren etablieren, scheint es sehr sinnvoll für das Münsterland sich frühzeitig in diesem Bereich zu engagieren. Ein solches Engagement passt auch gut mit den traditionellen Werten des Münsterlandes und dem Ziel eines soliden, nachhaltigen, kreislauforientierten Wirtschaftens das auch zukünftige Generationen in den Blick nimmt. Zudem bietet das große ländliche Umfeld Chancen zum Anbau von Pflanzen und das exzellente Forschungsumfeld die Möglichkeiten, diese auf nachhaltige Weise technisch zu nutzen. Nicht zuletzt kann das ausgeprägte Know-how im Bereich Recycling und Umweltanalytik helfen auch Irrwege frühzeitig zu vermeiden.

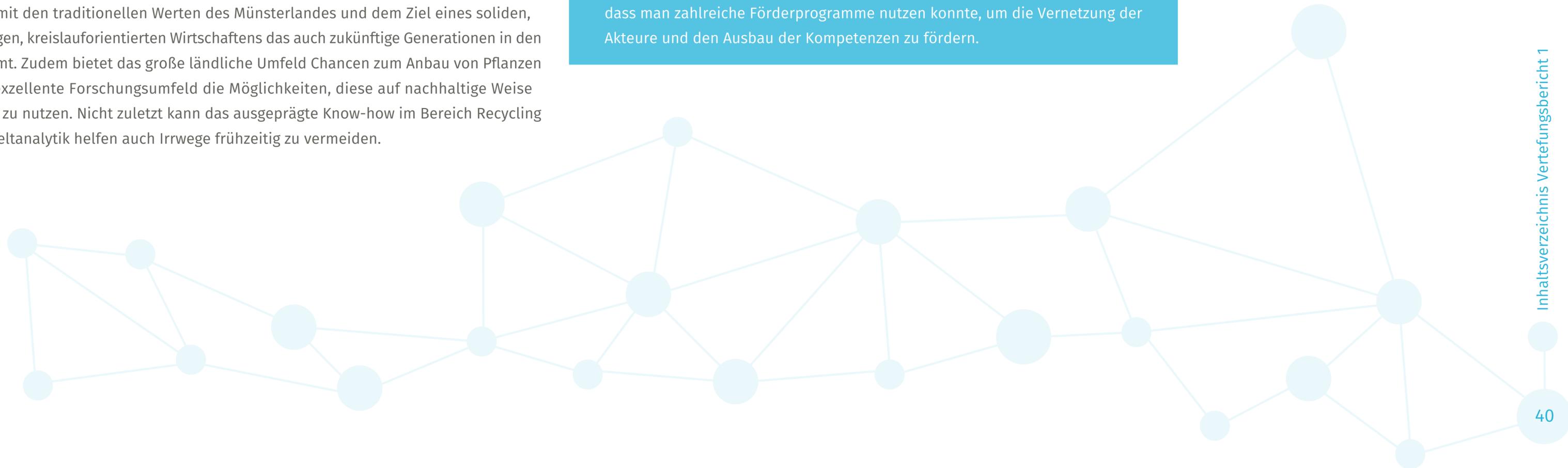
### ZUKUNFTSSZENARIO



#### MÜNSTERLAND KALENDERBLATT 28.02.2033

##### Regionale Stoffströme als Grundlage für Circular Economy

Anfang der 20er Jahre entwickelte sich die Circular Economy sehr dynamisch und viele Unternehmen und Regionen strukturierten ihre Lieferketten um und passten ihre Materialien an. Im Münsterland wählte man einen besonders umfangreichen Ansatz, bei dem man nicht nur die regionalen Abfall-Stoffströme in den Fokus nahm, sondern auch ergänzende Ansätze berücksichtigte. Naturfaserverstärkte Kunststoffe, bei denen die Rohstoffe aus der Region kamen, waren ein wichtiger Bestandteil und auch das chemische Recycling wurde als Ergänzung integriert. Bioökonomie wurde damals umfangreich gefördert, so dass man zahlreiche Förderprogramme nutzen konnte, um die Vernetzung der Akteure und den Ausbau der Kompetenzen zu fördern.



## 5 LITERATURVERZEICHNIS

Carus, Michael; Partanen, Asta (2019): BIOVERBUNDWERKSTOFFE Naturfaserverstärkte Kunststoffe (NFK) und Holz-Polymer-Werkstoffe (WPC). Hg. v. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR). Online verfügbar unter → [www.fnr.de/fileadmin/allgemein/pdf/broschueren/Bioverbundwerkstoffe\\_2019\\_Web.pdf](http://www.fnr.de/fileadmin/allgemein/pdf/broschueren/Bioverbundwerkstoffe_2019_Web.pdf)

Ecologic Institute Berlin (Hg.) (2018): Top emerging bio-based products, their properties and industrial applications. Ecologic Institute Berlin. Berlin. Online verfügbar unter → [www.ecologic.eu/sites/files/publication/2018/3513-top-emerging-bio-based-products.pdf](http://www.ecologic.eu/sites/files/publication/2018/3513-top-emerging-bio-based-products.pdf), zuletzt geprüft am 28.03.2021.

European Commission. Directorate General for Research and Innovation. (2018): A sustainable bioeconomy for Europe. strengthening the connection between economy, society and the environment:updated bioeconomy strategy: Publications Office.



# Terpenbasierte Polymerwerkstoffe

## UMWELTFREUNDLICHE WERKSTOFFE DER ZUKUNFT

Eine Zukunfts-Analyse zu ausgewählten Technologie-Trends vom Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung in Zusammenarbeit mit den Münsterland Denkfabriken

06/2022

# INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung.....	44
2	Innovationslandschaft .....	45
2.1	Wissenschaft .....	45
2.2	Politik und Gesellschaft.....	48
3	Leuchtturm Beispiele.....	50
3.1	Löwenzahn Kautschuk .....	50
3.2	Biotechnologische Terpenproduktion.....	50
3.3	Terpene als Bausteine für biobasierte Polyamide .....	51
3.4	Bioeconomy Science Center .....	51
4	Ausblick Münsterland.....	52
5	Literaturverzeichnis .....	53



# 1 EINLEITUNG

Terpene sind eine stark heterogene und große Gruppe chemischer Verbindungen mit Isopren (C<sub>5</sub>) Gruppen in verschiedener Anzahl (Behr und Seidensticker 2018). Die meisten Terpene sind Naturstoffe, das heißt hauptsächlich pflanzlicher und seltener tierischer Herkunft. Terpene sind Hauptbestandteil der in Pflanzen produzierten ätherischen Öle und können antimikrobiell wirken. Sie werden schon seit der Antike als Duft und Heilstoffe genutzt. Für die chemische Industrie bergen Terpene ein hohes Potenzial. Sie können zum Beispiel als Aroma- und Geschmacksstoffe dienen und sind in Pflanzenschutzmitteln, Lösungsmitteln sowie Körperpflege- oder kosmetischen Produkten enthalten. Terpene sind auch für die Pharmaindustrie von Bedeutung; etwa zur Behandlung von Infektionskrankheiten und Gallensteinen sowie in der Krebstherapie. Schließlich können Terpene eine Basis für Biopolymerwerkstoffe bilden. Diese Nutzung gewinnt aktuell stark an Aufmerksamkeit (Kleij 2018; Mosquera et al. 2021) und steht hier im Mittelpunkt.

In einer von der Europäischen Kommission beauftragten Überblicksstudie wurden natürliche Terpene als besonders vielversprechendes Ausgangsmaterial für hochwertige<sup>1</sup> Biomasse-basierte Produkte hervorgehoben (Ecologic Institute Berlin 2018). Die Entwicklung von Verfahren zur Gewinnung und Weiterverarbeitung von Terpenen aus verschiedenen Naturstoffen ist ein sehr dynamisches Forschungsgebiet. Auch biotechnologische Ansätze werden intensiv beforscht. Dies steht im Kontext eines weltweit steigenden Interesses an Ansätzen der „grünen Chemie“<sup>2</sup>, die darauf abzielen den ökologischen Fußabdruck der Chemie zu verringern und den Einsatz von erneuerbaren Rohstoffen als eines der zwölf Kernprinzipien umfassen.

Insbesondere das aus der Schale von Zitrusfrüchten gewonnene Monoterpen Limonen, das in großen Mengen etwa bei der Produktion von Orangensaft anfällt, kann eine umweltfreundliche Alternative zu fossilbasierten Werkstoffen bieten (Rolf et al. 2020). Limonenbasierte technische Polymere werden etwa in den Bereichen Bau, Isolierung, Automobil, Leder und Medizingeräte eingesetzt. Für die Nahrungsmittelindustrie besteht hier die Chance zur Valorisierung von Inhaltsstoffen aus organischen Abfällen (z. B. bei der Obstverarbeitung/Saftherstellung). Weitere relevante Ausgangsstoffe sind Terpentinöl, das bei der Zelluloseproduktion anfällt (Stockmann et al. 2020), Baumharz oder Chitin. Ein weiterer zukunftsweisender Ansatz ist die Gewinnung von Polyterpenen aus Löwenzahn zur Herstellung von Kautschuk (Epping et al. 2015). Sie kann dazu beitragen, regionale, faire Lieferketten zu etablieren und Tropenimporte von Naturkautschuk mit ihren hohen Nachhaltigkeitsproblemen zu vermeiden.

**ANSPRECHPARTNER:INNEN  
FRAUNHOFER ISI:**

**Elna Schirrmeister,  
Dr. Philine Warnke und  
Jan Rörden**

<sup>1</sup> Low volume high value (LVHV) biomass components

<sup>2</sup> → [www.acs.org/content/acs/en/greenchemistry/principles/12-principles-of-green-chemistry.html](http://www.acs.org/content/acs/en/greenchemistry/principles/12-principles-of-green-chemistry.html), zuletzt geöffnet am 20.01.2022

## 2 INNOVATIONSLANDSCHAFT

### 2.1 WISSENSCHAFT

Wie Abbildung 1 zeigt, steigt die Anzahl der weltweiten Publikationen zu dem Thema stetig an, wenn auch im letzten Jahr etwas verlangsamt. Die Publikationsdynamik liegt weit über der durchschnittlichen Steigerung der Publikationsaktivitäten über allen Themenfeldern.

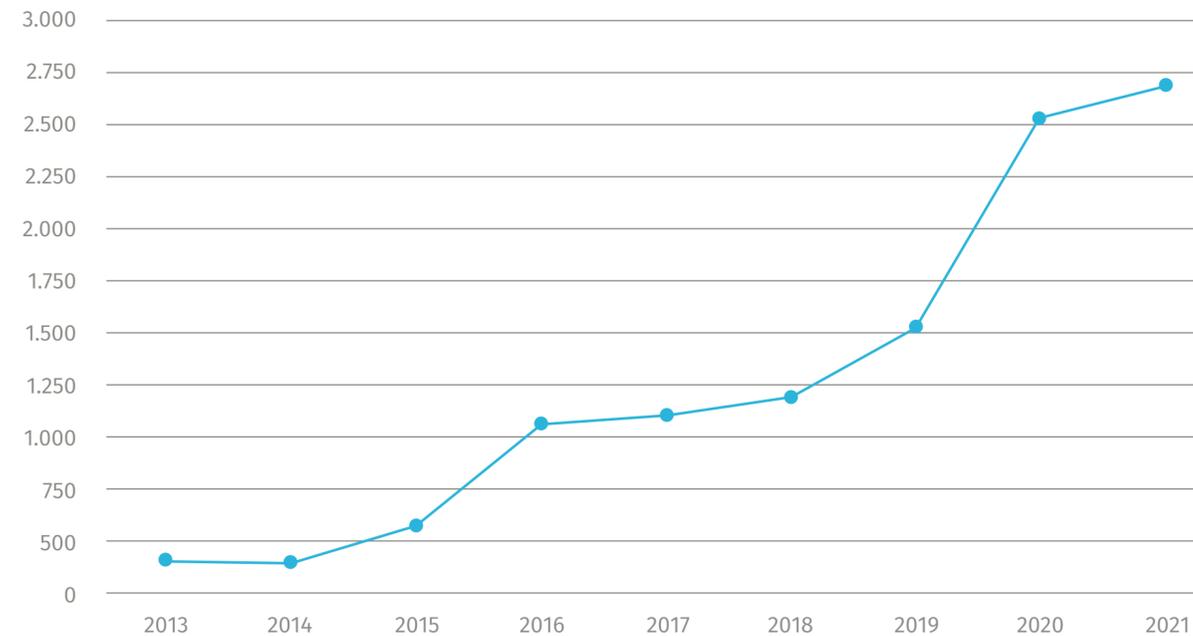


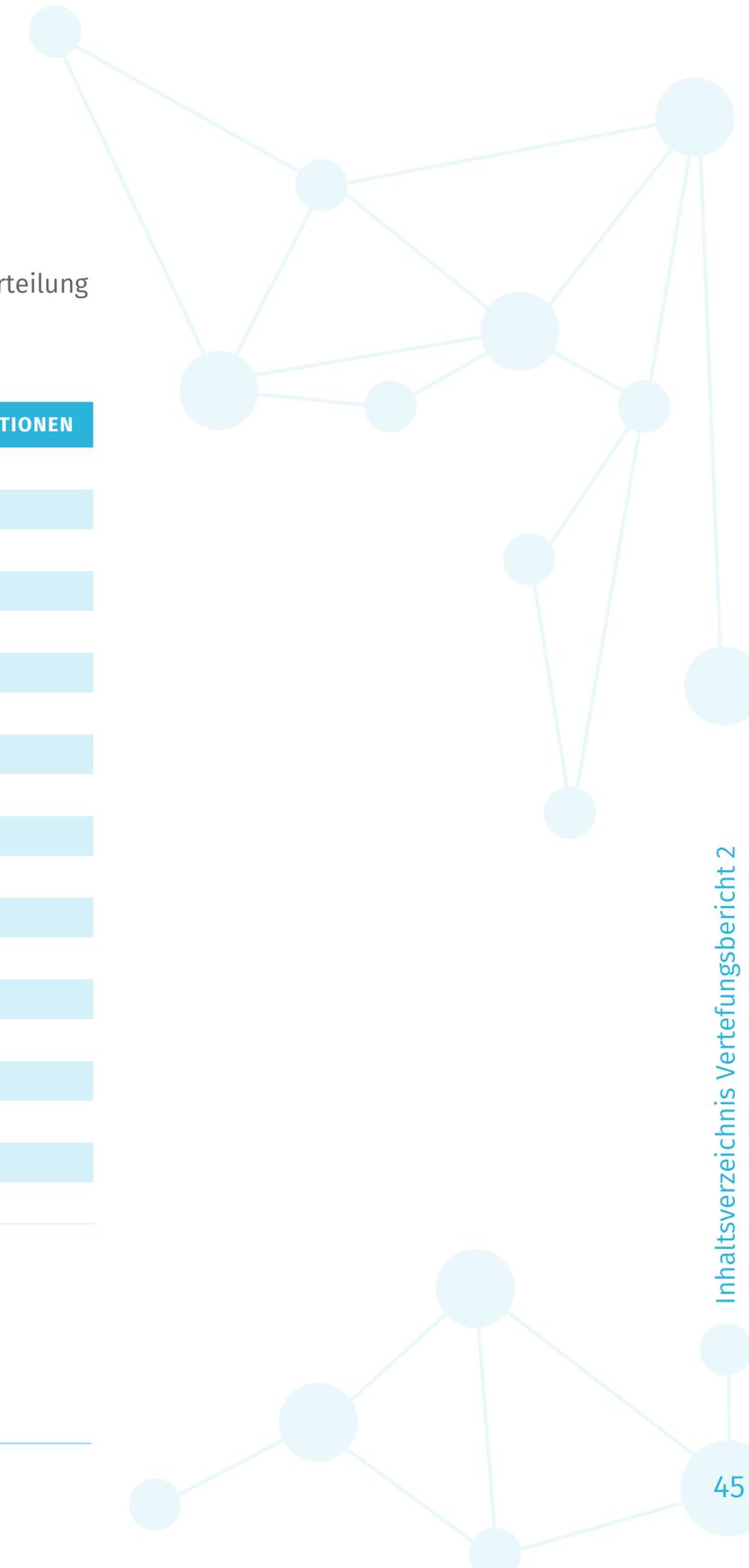
Abbildung 1: Anzahl der weltweiten Publikationen pro Jahr zu terpenbasierten Polymerwerkstoffen<sup>3</sup>

<sup>3</sup> Suchstring ((terpene or terpenes) AND (polymer) AND (sustainable))

Ein Blick auf die aktiven Forschungseinrichtungen in Tabelle 1 zeigt eine breite Verteilung der Aktivitäten mit Schwerpunkten in den USA, Brasilien, Portugal und China.

FORSCHUNGSEINRICHTUNG	LAND	ANZAHL PUBLIKATIONEN
Universität Florida (UF)	USA	109
Universität São Paulo (USP)	Brasilien	87
Nanjing Forestry Universität (NFU)	China	75
Staatliche Universität Campinas (UNICAMP)	Brasilien	75
Nationale Universität Seoul (SNU)	Südkorea	69
Universität von Kalifornien, Berkeley (UCB)	USA	65
Wageningen Universität & Forschung (WUR)	Niederlande	64
Universität Porto	Portugal	62
Lawrence Berkeley Nationales Laboratorium (LBL)	USA	61
Universität Lisbon	Portugal	60
Universität British Columbia (UBC)	Kanada	57
Technische Universität München (TUM)	Deutschland	57
Technische Universität Dänemark (DTU)	Dänemark	56
Universität Zhejiang (ZJU)	China	55
Universität Minnesota	USA	55
Universität Neapel Federico II	Italien	53
Universität Ghent	Belgien	53
Universität Aveiro	Portugal	49
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)	Deutschland	49

Tabelle 1: Forschungseinrichtungen weltweit mit Publikationen im Bereich terpenbasierte Polymerwerkstoffe



Auch in Deutschland sind eine Reihe von Akteuren in diesem Bereich aktiv. Zu nennen sind etwa folgende Forschungsgruppen mit Schwerpunkt in diesem Bereich:

- München: Technische Universität München sowie Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB Straubing: Prof. Malte Winnacker, Prof. Volker Sieber, Prof. Stockmann<sup>4</sup>
- Karlsruhe: Karlsruhe Institute of Technology KIT: Prof. Dr. Michael A. R. Meier Institute of Biological and Chemical Systems – Functional Molecular Systems (IBCS-FMS)<sup>5</sup>
- Dortmund: TU Dortmund Fakultät Bio- und Chemieingenieurwesen: Prof Lütz Prof. Behr (emeritiert), Lehrstuhl Bioprozesstechnik, Nachwuchsforschungsgruppe Renewlysis (Dr. Thomas Seidensticker)<sup>6</sup>
- Münster: Institut für Biologie und Biotechnologie der Pflanzen der Westfälischen Wilhelms-Universität (WWU) und Fraunhofer-Institut für Molekularbiologie und Angewandte Oekologie IME<sup>8</sup>

FORSCHUNGSEINRICHTUNG	LAND	ANZAHL PATENTE
Henkel	Deutschland	235
Dow Chemical	USA	224
3M	USA	118
Procter & Gamble (P&G)	USA	102
BASF	Deutschland	100
Syngenta	Schweiz	87
Roquette Frères	Frankreich	69
The Clorox	USA	67
Corteva	USA	56
Genomatica	USA	48
Johns Hopkins Universität (JHU)	USA	43
Symrise	Deutschland	43
Massachusetts Institut für Technologie (MIT)	USA	41
System der Universität von Kalifornien (UC)	USA	41
Lanxess	USA	40
Beiersdorf	Deutschland	37
Nitto	Japan	35
Nestlé	Schweiz	34
Fujifilm	Großbritannien	33
Eni	Italien	30

Tabelle 2: Erste 20 Anmelder von Patenten für terpenbasierte Polymere weltweit

<sup>4</sup> → [www.igb.fraunhofer.de/de/forschung/bioinspirierte-chemie/biobasierte-polymere.html](http://www.igb.fraunhofer.de/de/forschung/bioinspirierte-chemie/biobasierte-polymere.html)

<sup>5</sup> → [www.meier-michael.com/index.html](http://www.meier-michael.com/index.html)

<sup>6</sup> → [www.renewlysis.com](http://www.renewlysis.com)

<sup>7</sup> → [www.uni-muenster.de/news/view.php?cmdid=12091](http://www.uni-muenster.de/news/view.php?cmdid=12091)

<sup>8</sup> → [www.ime.fraunhofer.de/de/Forschungsbereiche/MB/funktionelle\\_und\\_angewandte\\_genomik.html](http://www.ime.fraunhofer.de/de/Forschungsbereiche/MB/funktionelle_und_angewandte_genomik.html)



FORSCHUNGSEINRICHTUNG	STADT	ANZAHL PATENTE
Henkel	Düsseldorf	235
BASF	Ludwigshafen am Rhein	103
Symrise	Holzminden	43
Beiersdorf	Hamburg	37
Bayer	Leverkusen	28
Evonik	Essen	16
Heraeus	Hanau	15
Continental	Hannover	13
Fraunhofer Gesellschaft (FHG)	München	6
Lanxess	Köln	5
Technische Universität München (TUM)	München	5
Universität Regensburg	Regensburg	5
Universität Tübingen	Tübingen	4
Westfälische Hochschule	Gelsenkirchen	4
Jowat	Detmold	4
Ineos	Köln	4
Carl-von-Ossietzky Universität Oldenburg	Oldenburg	4
Merz Pharma	Frankfurt a. M.	3
LTS Lohmann Therapie-Systeme	Andernach	3
Universitätsmedizin der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz	Mainz	2
Grünenthal Group	Aachen	2
BioNTech	Mainz	2
Astellas Pharma	München	2
Universität Bonn	Bonn	1
Merck	Darmstadt	1
Biotest	Dreieich	1
Boehringer Ingelheim	Ingelheim am Rhein	1
Sanofi	Frankfurt a. M.	1
Nanogate	Göttelborn	1
TU Dresden (TUD)	Dresden	1
Universität Freiburg	Freiburg	1

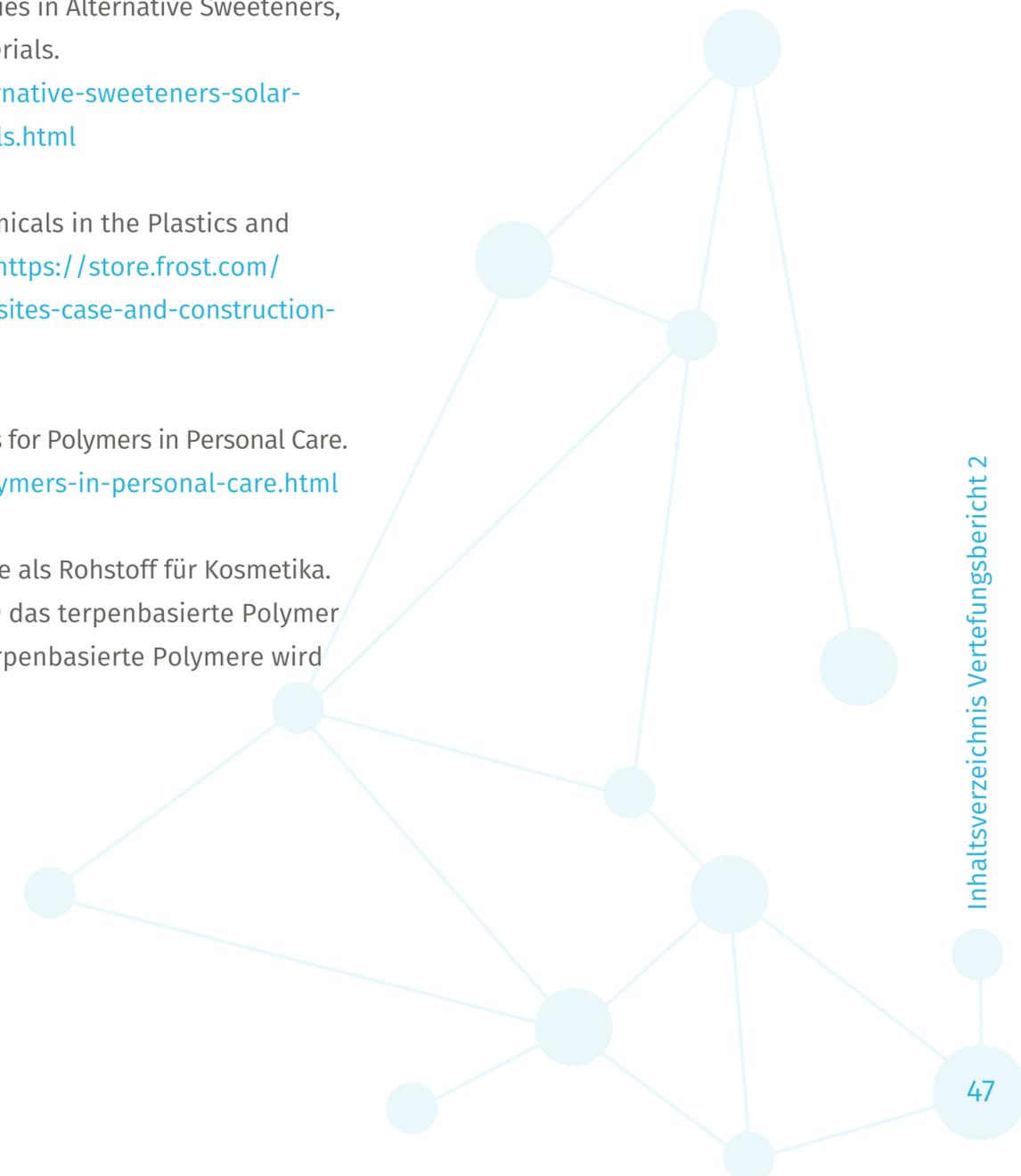
Tabelle 3 zeigt die gesamte Liste der deutschen Patentanmelder. Es wird deutlich, dass der Anwendungsbereich sehr breit ist. Neben der Chemieindustrie und Kosmetik ist auch Medizin, Ernährung, Werkstofftechnik und Mobilität vertreten.

Eine Reihe aktueller Marktstudien im Bereich Polymere verweisen auf die stark wachsende Bedeutung pflanzenbasierter Rohstoffe als Ersatz für Erdöl als Ausgangsmaterial:

- Frost & Sullivan. (2021, September 10). Growth Opportunities in Alternative Sweeteners, Solar Cells, Self-Healing Materials, And Sustainable Materials. → <https://store.frost.com/growth-opportunities-in-alternative-sweeteners-solar-cells-self-healing-materials-and-sustainable-materials.html>
- Frost & Sullivan. (2020, April 22). Global Outlook for Chemicals in the Plastics and Composites, CASE, and Construction Industries, 2020. → <https://store.frost.com/global-outlook-for-chemicals-in-the-plastics-and-composites-case-and-construction-industries-2020.html>
- Frost & Sullivan. (2020, December 26). Growth Opportunities for Polymers in Personal Care. → <https://store.frost.com/growth-opportunities-for-polymers-in-personal-care.html>

Die letzte Studie verweist auch auf das Potenzial der Terpene als Rohstoff für Kosmetika. Als Beispiel wird die US-Firma P2 Science genannt, die 2019 das terpenbasierte Polymer ©Citropol auf den Markt gebracht hat. Der Reifegrad für terpenbasierte Polymere wird in der Marktstudie mit „Kommerzialisierung“ angegeben.

Tabelle 3: Patentanmelder in Deutschland



## 2.2 POLITIK UND GESELLSCHAFT

Die Analyse der Förderprojekte<sup>9</sup> zeigt die EU mit 570 geförderten Publikationen als zweitgrößte Förderorganisation in diesem Thema an. An erster Stelle steht die National Natural Science Foundation of China (NSFC) mit 629 Förderungen. Die wichtigsten Förderorganisationen in Deutschland sind in Tabelle 4 aufgeführt.

NAME	ZAHL DER FÖRDERUNGEN
Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)	97
Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)	65
Max-Planck-Gesellschaft (MPG)	30
Europäische Kommission (EC)	27
Verband der Chemischen Industrie (VCI)	13
Deutscher Akademischer Austauschdienst (DAAD)	12
Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren	11
Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU)	11
Alexander-von-Humboldt Stiftung	10
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)	7

Tabelle 4: Wichtigste Förderer in Deutschland

Bioökonomie und Kreislaufwirtschaft sind wichtige Bestandteile in Strategien verschiedener Ministerien auf Bundes- und Landesebene ebenso wie gesellschaftlicher Akteure.

<sup>9</sup> → <https://app.dimensions.ai/discover/publication>

<sup>10</sup> → [www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/bioeconomie-nachwachsende-rohstoffe/nationale-bioeconomiestrategie.html](http://www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/bioeconomie-nachwachsende-rohstoffe/nationale-bioeconomiestrategie.html)

<sup>11</sup> → [www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/bioeconomie-nachwachsende-rohstoffe/nationale-bioeconomiestrategie.html](http://www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/bioeconomie-nachwachsende-rohstoffe/nationale-bioeconomiestrategie.html)

### Nationale Ebene

- Die nationale Bioökonomiestrategie<sup>10</sup> der Bundesregierung seit Januar 2020 mit dem Ziel unabhängiger von fossilen Rohstoffen zu werden und Biomasse umweltverträglich zu nutzen. Um das zu erreichen, unterstützen bzw. fördern das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) und das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) Innovationen und praxisnahe Forschungsprojekte im Rahmen der Forschungsförderung. Dafür stellen BMBF und BMEL von 2020 bis 2024 für bioökonomie-relevante Projekte und Maßnahmen 3,6 Milliarden Euro zur Verfügung.<sup>11</sup>
- Förderprogramm „Nachwachsende Rohstoffe“ des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) dessen Ziel die Weiterentwicklung einer nachhaltigen Bioökonomie ist. Dazu stehen jährlich 85 Millionen Euro aus dem Bundeshaushalt zur Verfügung. Das Programm wurde am 7. Mai 2015 ins Leben gerufen und löste damit das gleichnamige Projekt aus dem Jahr 2008 ab.<sup>12</sup>
- Die Fachagentur nachwachsende Rohstoffe (FNR) ist ein Projektträger des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) im Bereich Biopolymere. FNR unterstützt die Forschung und Entwicklung von Produktlinien von der Erzeugung bis zur Verwendung einschließlich der Entsorgung von nachwachsenden Rohstoffen. Die finanziellen Mittel stellt das BMEL.<sup>13</sup>
- Am 15.01.2020 beschloss die Bundesregierung das Programm Bioökonomie – Biogene Ressourcen und biologisches Wissen für eine nachhaltige Wirtschaft, welches beim BMBF angesiedelt ist. Das Programm baut auf der „Nationalen Forschungsstrategie Bioökonomie 2030“ und der „Nationalen Politikstrategie Bioökonomie“ auf und bündelt fortan die Forschungsförderung und die politischen Rahmenbedingungen zur Bioökonomie.<sup>14</sup>

<sup>12</sup> → [www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/bioeconomie-nachwachsende-rohstoffe/foerderprogramm-nachwachsende-rohstoffe.html](http://www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/bioeconomie-nachwachsende-rohstoffe/foerderprogramm-nachwachsende-rohstoffe.html)

<sup>13</sup> → [www.fnr.de/projektfoerderung/foerderprogramm-nachwachsende-rohstoffe](http://www.fnr.de/projektfoerderung/foerderprogramm-nachwachsende-rohstoffe)

<sup>14</sup> → [www.bmbf.de/bmbf/de/forschung/energie-wende-und-nachhaltiges-wirtschaften/bioeconomie/bioeconomie\\_node.html](http://www.bmbf.de/bmbf/de/forschung/energie-wende-und-nachhaltiges-wirtschaften/bioeconomie/bioeconomie_node.html)



- Der Bioökonomierat ist ein unabhängiges Beratungsgremium der Bundesregierung und erarbeitet Handlungsempfehlungen zur Umsetzung der nationalen Bioökonomiestrategie. Ziel ist es, durch den partizipativen Austausch mit der Gesellschaft sowie Branchen- und Interessenvertretungen die Bioökonomie als Grundlage einer gesellschaftlichen nachhaltigen Transformation – im Rahmen der nationalen Bioökonomiestrategie – zu etablieren.<sup>15</sup>

Bereits 2010 entwickelte NRW eine Bioökonomiestrategie und fördert seit 2013 durch das Ministerium für Kultur und Wissenschaft des Landes Nordrhein-Westfalen das *Kompetenzzentrum BioSC* (siehe auch 3.4) im Rahmen des NRW-Strategieprojekts BioSC. Das *NRW-Strategieprojekt BioSC* fördert regionale, transdisziplinäre Ansätze in Nordrhein-Westfalen.<sup>16</sup>

### EU Ebene

Die EU verfolgt seit 2012 eine Bioökonomie Strategie (European Commission. Directorate General for Research and Innovation. 2018). Eine Reihe weitere Strategien im Kontext des aktuellen „Green Deals“ ergänzen diese. Dazu gehört der „Circular Economy Action Plan“, der „Biodiversity Plan“, die „Forestry Strategy“ und die „Farm to Fork Strategy“.

Entsprechend existieren zahlreiche Förderprogramme, darunter *Horizon Europe* als das wichtigste Finanzierungsprogramm der EU für Forschung und Innovation mit einem Budget von 95,5 Mrd. Euro. Relevant für den Bereich der Biopolymere sind die Programme:

- Horizon Europe Cluster 4 Digital Industry and Space, insbesondere die Destination Climate neutral and Circular digitised production  
→ [https://ec.europa.eu/info/research-and-innovation/funding/funding-opportunities/funding-programmes-and-open-calls/horizon-europe/cluster-4-digital-industry-and-space\\_en](https://ec.europa.eu/info/research-and-innovation/funding/funding-opportunities/funding-programmes-and-open-calls/horizon-europe/cluster-4-digital-industry-and-space_en)
- Horizon Europe Cluster 6 “Food, bioeconomy, natural resources, agriculture and environment” Destination Circular Economy  
→ [https://rea.ec.europa.eu/funding-and-grants/horizon-europe-cluster-6-food-bioeconomy-natural-resources-agriculture-and-environment\\_en](https://rea.ec.europa.eu/funding-and-grants/horizon-europe-cluster-6-food-bioeconomy-natural-resources-agriculture-and-environment_en)

### Gesellschaft

Eine Reihe deutscher und internationaler Umweltorganisationen beschäftigen sich mit dem breiteren Thema Bioökonomie oft in sehr kritischer Weise. Einige davon z.B. BUND, Deutsche Umwelthilfe, Brot für die Welt und Greenpeace haben sich im Aktionsforum Bioökonomie zusammengeschlossen und eine Reihe von Stellungnahmen zur nachhaltigen sozial-gerechten Bioökonomie erarbeitet: → <https://nachhaltige-biooekonomie.de>. Insbesondere wird vor nicht nachhaltiger Gewinnung von Biomasse gewarnt.

<sup>15</sup> → [www.biooekonomierat.de](http://www.biooekonomierat.de)

<sup>16</sup> → [www.biosc.de/strategieprojekt\\_biosc](http://www.biosc.de/strategieprojekt_biosc)

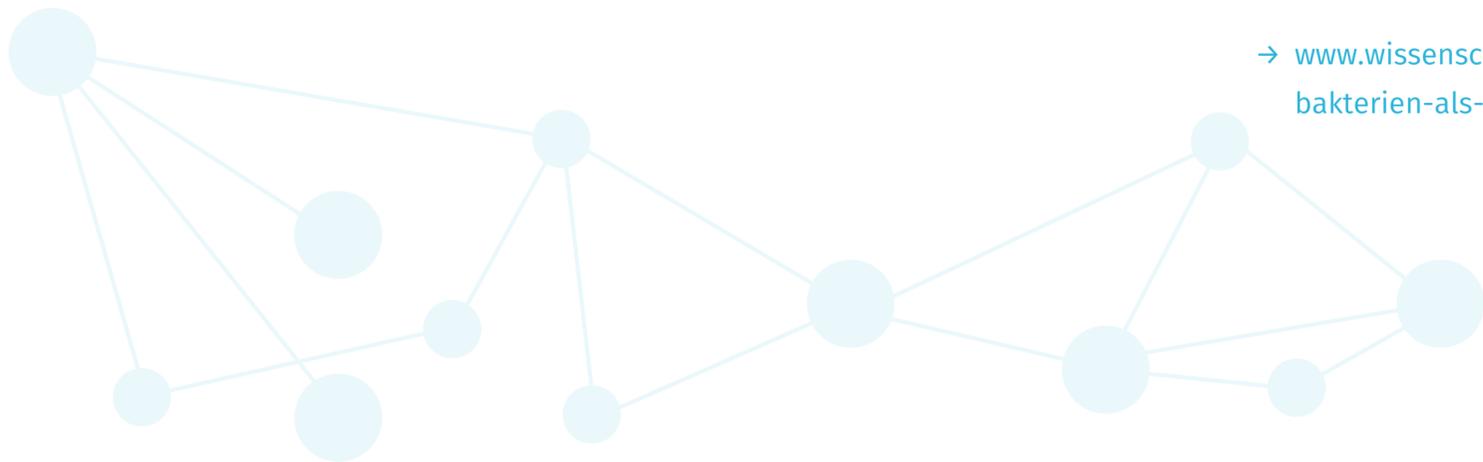


## 3 LEUCHTTURM-BEISPIELE

### 3.1 LÖWENZAHN KAUTSCHUK

Polyterpene sind Bestandteil von Naturkautschuk. Die Gewinnung aus russischem Löwenzahn ist aus Nachhaltigkeitssicht eine Alternative zur problematischen Gewinnung aus Kautschukbäumen. Der Fahrradreifen Urban Taraxagum von Continental hat den Deutschen Nachhaltigkeitspreis 2021 in der Kategorie „Verantwortungsvolles Design“ gewonnen. Es ist das erste, in Serie gefertigte Produkt aus Löwenzahn-Kautschuk. Die Industrialisierung des Anbaus von Löwenzahn-Kautschuk ist das Ziel des langfristig angelegten Projekts Taraxagum von Continental und dem Fraunhofer-Institut für Molekularbiologie und angewandte Ökologie (IME) in Münster. Taraxagum soll künftig für eine Vielzahl anderer Produkte, wie etwa Pkw- und Lkw-Reifen, Reifen für den Agrarbereich und technische Gummiwaren verwendet werden.<sup>17</sup>

→ [www.ime.fraunhofer.de/de/Forschungsbereiche/MB/funktionelle\\_und\\_angewandte\\_genomik/Isoprenoide/loewenzahn\\_die-neue-kautschukquelle.html](http://www.ime.fraunhofer.de/de/Forschungsbereiche/MB/funktionelle_und_angewandte_genomik/Isoprenoide/loewenzahn_die-neue-kautschukquelle.html)



<sup>15</sup> → [www.gummibereifung.de/nachrichten/nachhaltigkeitspreis-2021-fuer-urban-taraxagum](http://www.gummibereifung.de/nachrichten/nachhaltigkeitspreis-2021-fuer-urban-taraxagum)

### 3.2 BIOTECHNOLOGISCHE TERPENPRODUKTION

Forschende der Technischen Hochschule Mittelhessen (THM) entwickeln gemeinsam mit Phytowelt GreenTechnologies kostengünstige und auch im großtechnischem Maßstab leicht implementierbare Produktionsverfahren für Terpene. Von der Optimierung der Technologien erhofft man sich auch eine Senkung der Kosten für die Produkte und so die Möglichkeit dem steigenden Bedarf gerecht zu werden. Die Ergebnisse eines Vorgängerprojekts der Hochschule deuten darauf hin, dass sich der Bakterienstamm *Cupriavidus necator* für die Produktion von Terpenoiden sehr gut eignet und auch eine industrielle Nutzung vielversprechend ist. Die Partner wollen auf dieser Basis ein Produktionssystem für das Terpen Humulen entwickeln. Humulen ist eine Aromaverbindung, die auch pharmakologisch interessant ist und zum Beispiel in Hopfen und der Cannabispflanze natürlich vorkommt. Der Bakterienstamm und der gesamte Produktionsweg sollen optimiert und Produktproben zur weiteren Analyse bei Industriepartnern erzeugt werden. Darüber hinaus wollen die Forscher *Cupriavidus necator* als Plattform für die Produktion weiterer wertvoller Terpene, wie zum Beispiel Carotinoide sowie pharmakologisch wirksame Substanzen etablieren. Das Forschungsvorhaben hat eine Laufzeit von drei Jahren. Es wird im Rahmen der „Nationalen Forschungsstrategie BioÖkonomie 2030“ vom BMBF gefördert.

→ [www.wissenschaftsjahr.de/2020-21/aktuelles/oktober-2021/bakterien-als-biofabrik-fuer-terpene](http://www.wissenschaftsjahr.de/2020-21/aktuelles/oktober-2021/bakterien-als-biofabrik-fuer-terpene)



### 3.3 TERPENE ALS BAUSTEINE FÜR BIOBASIERTE POLYAMIDE

Um aus Terpenen biobasierte Polymerwerkstoffe zu entwickeln, fokussierte sich das Projekt TerPa auf ein in großen Mengen anfallendes Nebenprodukt der Holzverwertung bzw. Papierherstellung – das Terpen 3-Caren. Für die Umsetzung von 3-Caren zu einem bicyclischen Lactam, einem Monomer für Polyamide wurde ein technisch gangbares Verfahren ausgearbeitet (Stockmann et al. 2020). Ein erster Schritt war die Optimierung der in Vorarbeiten entwickelten Synthese des Lactams auf Basis von 3-Caren im Hinblick auf Skalierbarkeit und Wirtschaftlichkeit. Dazu gehört auch die Entwicklung einer Reinigungsmethode die es erlaubt, das Zielprodukt in einer für die nachfolgende Polymerisation ausreichenden Reinheit herzustellen. Die optimierte Synthese wurde dann in einen größeren Laborreaktor übertragen, um Daten für das weitere Scale-up in die Pilotproduktion beim Projektpartner Fraunhofer UMSICHT zu liefern. Hier wurden ausreichende Mengen des auf 3-Caren basierenden Lactams hergestellt, um die assoziierten Industriepartner mit Mustermengen zu beliefern. Das neue Monomer wurde anschließend zu Homo- und Copolyamiden polymerisiert und die Eigenschaften der neuen Polymere untersucht, um erste Eigenschaften der neuen Werkstoffklasse und damit Hinweise zu technologischen Anwendungsfeldern zu liefern. Für das Verfahren zur Herstellung terpenbasierter Polyamide wurde jüngst ein Patent erteilt.

→ [www.igb.fraunhofer.de/de/referenzprojekte/terpa.html](http://www.igb.fraunhofer.de/de/referenzprojekte/terpa.html)

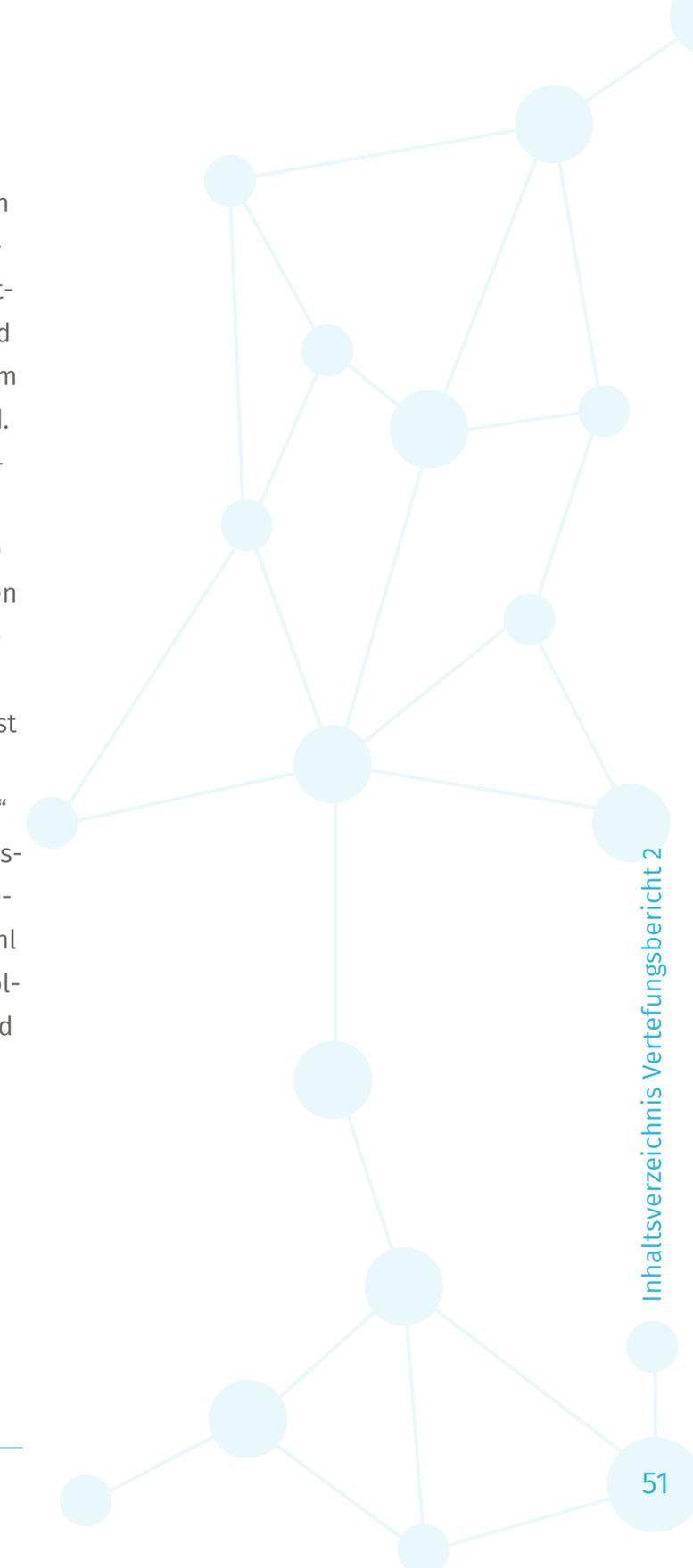
→ [www.igb.fraunhofer.de/de/presse-medien/presseinformationen/2019/polyamide-aus-terpenen-caramid-r-und-caramid-s.html](http://www.igb.fraunhofer.de/de/presse-medien/presseinformationen/2019/polyamide-aus-terpenen-caramid-r-und-caramid-s.html)

<sup>15</sup> → [www.biosc.de/bioeconomy\\_science\\_center](http://www.biosc.de/bioeconomy_science_center)

<sup>16</sup> → [www.biosc.de/CombiCom\\_Terpene](http://www.biosc.de/CombiCom_Terpene)

### 3.4 BIOECONOMY SCIENCE CENTER

Das Bioeconomy Science Center (BioSC) ist ein Zusammenschluss von RWTH Aachen, Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf (HHUD), die Friedrich-Wilhelms Universität Bonn und dem Forschungszentrum Jülich, die alle seit langem Forschungsaktivitäten in zahlreichen Themenfeldern der Bioökonomie verfolgen. Die Partner haben ein Konzept entwickelt, in dem alle relevanten Wissenschaftszweige zur Bereitstellung von Biomasse und biobasierten Produkten und Prozessen im Wertschöpfungsnetzwerk Bioökonomie in einem international sichtbaren und derzeit einmaligen Kompetenzzentrum in NRW vertreten sind. Zentrale Themen im BioSC sind die nachhaltige Produktion von Pflanzen als Nahrungs- und Futtermittel und Biomasse, neue bio-/chemokatalytische und biotechnologische Methoden und Prozesse zur Umsetzung von nachwachsenden Rohstoffen in Wertstoffe wie z. B. Feinchemikalien, Proteine, Enzyme, Biopolymere, Biokraftstoffe. Ebenso werden Fragestellungen der wirtschaftlichen Umsetzbarkeit der Bioökonomie und ihrer gesellschaftlichen Akzeptanz bearbeitet. Eine enge Kooperation mit der Industrie soll eine wirtschaftliche Umsetzung der Forschungsergebnisse beschleunigen. Das BioSC umfasst aktuell ca. 1900 Mitarbeiter aus 67 Mitgliedsinstituten aus den Partneereinrichtungen.<sup>18</sup> Das Themenfeld: „Neue Plattformen für die mikrobielle Produktion bioaktiver Terpene“ bildet einen Forschungsschwerpunkt des Centers.<sup>19</sup> Es adressiert einige wichtige Herausforderungen des Forschungsfeldes – nämlich die Produktions-Optimierung und das Bereitstellen diverser Verbindungen. Der Fokus ist auf Pflanzen und Pilze, die eine Vielzahl unterschiedlicher Terpen-Verbindungen mit spezifischen ökologischen Funktionen evolviert haben. Ziel ist es, Zugang zu dieser biochemischen Reichhaltigkeit zu erhalten und die nachhaltige Gewinnung von Terpenoiden in mikrobiellen Wirten zu ermöglichen.



## 4 AUSBLICK MÜNSTERLAND

Mit dem Institut für Biologie und Biotechnologie der Pflanzen der Westfälischen Wilhelms-Universität (WWU) und dem Fraunhofer-Institut für Molekularbiologie und Angewandte Ökologie IME hat das Münsterland eine starke Ausgangsposition im Bereich Terpene. Ein weiterer Standortvorteil ist die Nähe zum Kompetenzzentrum Bioökonomie BioSc und das hohe Engagement des Bundeslandes Nordrhein-Westfalen, sowie die Nähe zu den Niederlanden, wo ebenfalls zahlreiche Aktivitäten in diesem Bereich verortet sind. Allerdings sind die natürlichen Ausgangsstoffe insbesondere Zitruschalen, Zelluloseabfälle und russischer Löwenzahn nicht unmittelbar verfügbar. Daher könnten eher die biotechnologischen Verfahren von Interesse sein. Andererseits ist auch ein Anbau geeigneter Pflanzen, wie etwa Hanf, denkbar. Wegen des breiten Spektrums der Anwendungen von Medizin, Pharma und Kosmetika bis hin zum Bausektor, Fahrzeugen und der Möbelbranche bestehen Anknüpfungspunkte zu vielen innovativen Unternehmen – so etwa in den dynamischen Bereichen Gesundheit, Bau und Beschichtungen.

### ZUKUNFTSSZENARIO



#### MÜNSTERLAND KALENDERBLATT 05.08.2035

##### Gespräch mit dem Leiter des Bioeconomy Science Center zum Thema Terpene

Wir haben es jetzt endlich geschafft, dass die Bioökonomie einen mengenmäßig relevanten Anteil an der Wirtschaft hat. Über viele Jahre wurde diese Entwicklung sehr umfangreich gefördert, aber blieb dennoch eine Nischenentwicklung. Den Durchbruch haben wir erst geschafft, als die Rohölpreise 2022 extrem stark angestiegen sind und sowohl die Pandemie als auch die geopolitische Lage zur Unterbrechung von Lieferketten geführt hat. Es wurde allen bewusst, dass die internationalen Lieferketten nicht resilient sind und somit hat man sehr viel stärker auf regionale und europäische Rohstoffe gesetzt.

Bei den Terpenen haben wir auf unterschiedliche Quellen gesetzt. Einerseits auf den regionalen Anbau von Hanf, der durch die Legalisierung von Cannabis eine große Dynamik entwickelte und gleichzeitig auf die enge Vernetzung mit Lieferanten in Spanien. Bei der Herstellung von großen Volumina setzen wir auf die Verarbeitung in der Nähe der Rohstoffgewinnung, so werden Zitruschalen überwiegend in Spanien verarbeitet. Aber die Produktionsverfahren die dort gerade in großem Umfang aufgebaut werden, wurden hier in NRW entwickelt und pilotiert. Für den Pharma- und Kosmetikbereich sind die Mengen geringer als im Bausektor; hier ist auch der Transport innerhalb von Europa unproblematisch.

## 5 LITERATURVERZEICHNIS

Behr, Arno; Seidensticker, Thomas (2018): Der Balsam der Bäume. In: Arno Behr und Thomas Seidensticker (Hg.): Einführung in die Chemie nachwachsender Rohstoffe. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 219–232.

Ecologic Institute Berlin (Hg.) (2018): Top emerging bio-based products, their properties and industrial applications. Ecologic Institute Berlin. Berlin. Online verfügbar unter <https://www.ecologic.eu/sites/files/publication/2018/3513-top-emerging-bio-based-products.pdf>, zuletzt geprüft am 28.03.2021.

Epping, Janina; van Deenen, Nicole; Niephaus, Eva; Stolze, Anna; Fricke, Julia; Huber, Claudia et al. (2015): A rubber transferase activator is necessary for natural rubber biosynthesis in dandelion. In: *Nature Plants* 1 (5). DOI: 10.1038/nplants.2015.48.

European Commission. Directorate General for Research and Innovation. (2018): A sustainable bioeconomy for Europe. strengthening the connection between economy, society and the environment: updated bioeconomy strategy: Publications Office.

Kleij, Arjan W. (2018): Across the Board: Arjan Kleij. In: *ChemSusChem* 11 (17), S. 2842–2844. DOI: 10.1002/cssc.201801648.

Mosquera, Marta. E. G.; Jiménez, Gerardo; Taberner, Vanessa; Vinueza-Vaca, Joan; García-Estrada, Carlos; Kosalková, Katarina et al. (2021): Terpenes and Terpenoids: Building Blocks to Produce Biopolymers. In: *Sustainable Chemistry* 2 (3), S. 467–492. DOI: 10.3390/suschem2030026.

Rolf, Jascha; Julsing, Mattijs K.; Rosenthal, Katrin; Lütz, Stephan (2020): A Gram-Scale Limonene Production Process with Engineered *Escherichia coli*. In: *Molecules (Basel, Switzerland)* 25 (8). DOI: 10.3390/molecules25081881.

Stockmann, Paul N.; van Opdenbosch, Daniel; Poethig, Alexander; Pastoetter, Dominik L.; Hoehenberger, Moritz; Lessig, Sebastian et al. (2020): Biobased chiral semi-crystalline or amorphous high-performance polyamides and their scalable stereoselective synthesis. In: *Nature communications* 11 (1), S. 509. DOI: 10.1038/s41467-020-14361-6.



**KONTAKT:**

Münsterland e.V.

Telefon +49 2571 94 93 27

[buedding@muensterland.com](mailto:buedding@muensterland.com)

[raiber@muensterland.com](mailto:raiber@muensterland.com)

[www.muensterland.com](http://www.muensterland.com)

**PROJEKTPARTNER WIRTSCHAFTSFÖRDERUNG:**



**PROJEKTPARTNER TRANSFER:**



**PROJEKTPARTNER INNOVATIONSKOMPETENZFELDER:**



**FÖRDERER:**



**UNTERSTÜTZER:**



**PROJEKTLEAD:**



