

OST

Ostschweizer
Fachhochschule

OST Technologietag 2024

CO₂-neutrale, biobasierte und rezyklierbare Duroplaste

Arno Maurer, OST IMP Institut für Mikrotechnik und Photonik, arno.maurer@ost.ch

OST Campus Buchs, 11. Juni 2024

Department Technik | OST – Ostschweizer Fachhochschule

Überblick

- **Kunststoffe, Kreislaufwirtschaft und Klimaschutz**
- **Was sind Duroplaste, Anwendungen, Beschränkungen**
- **Vitrimere, Funktionsweise, Stand der Forschung**
- **Innovationsprojekt**
- **Herausforderungen, Projektstatus**
- **Ausblick**

Kunststoffe, Kreislaufwirtschaft und Klimaschutz

- Jährlich etwa 380 Mio. t neue Kunststoffe produziert; Recyclingquoten derzeit weltweit bei etwa 9 %
- Global etwa 6,3 Mrd. t Plastikabfälle (bis 2015), davon ca. 80 % in der Umwelt oder in Deponien
- 12 Mrd. t Plastikabfall bis 2050, falls die Trends bei Produktion und Entsorgung unverändert bleiben
- Kunststoffherstellung/Verwendung erzeugt derzeit 3 - 5 % der globalen CO₂-Emissionen, bis 2050 etwa 10 - 15%
- Perspektiven zur Lösung der Plastikkrise durch globale Vereinbarungen (UN Plastics Treaty), Roadmaps der Industrieverbände und Nachhaltigkeitsziele in Unternehmen
- Etablierung einer Kreislaufwirtschaft und Kombination von rezyklierten, bio- und CO₂-basierten Materialströmen



Bild von [Maurice Angres](#) auf [Pixabay](#)

Mehr Info: Papers Jahrbuch DICHT! [2022](#), [2023](#)

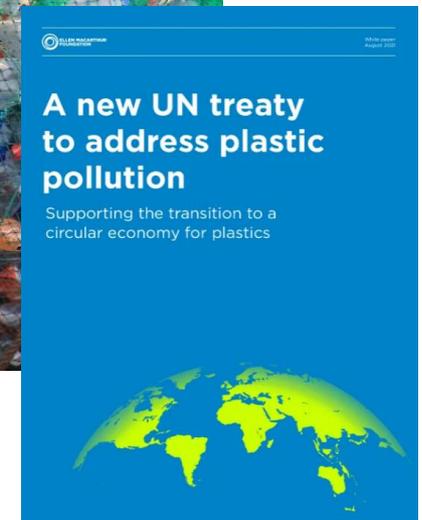
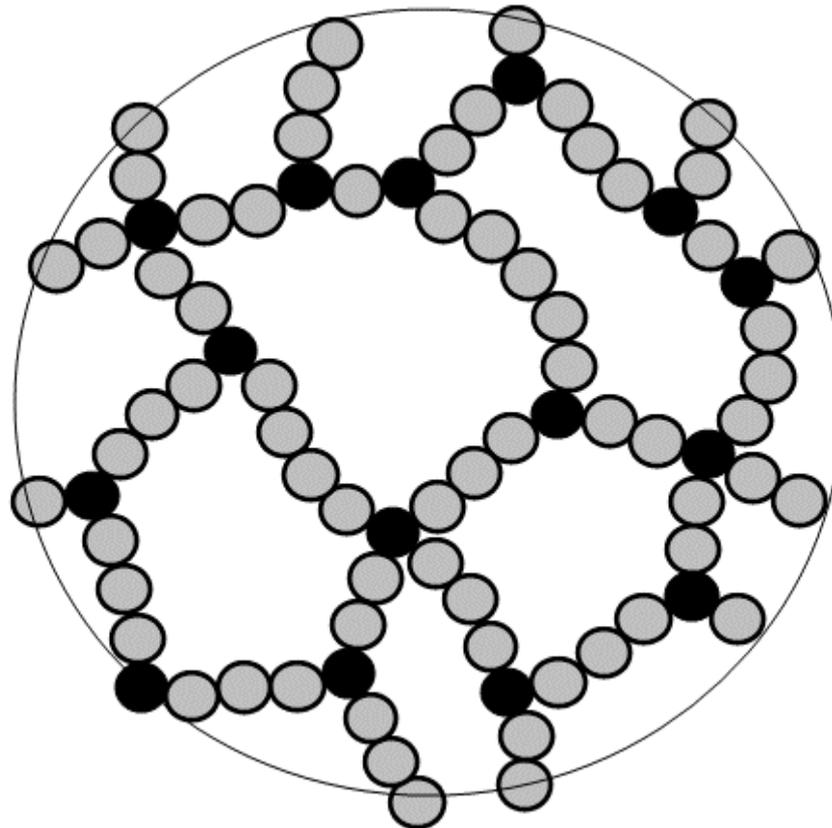


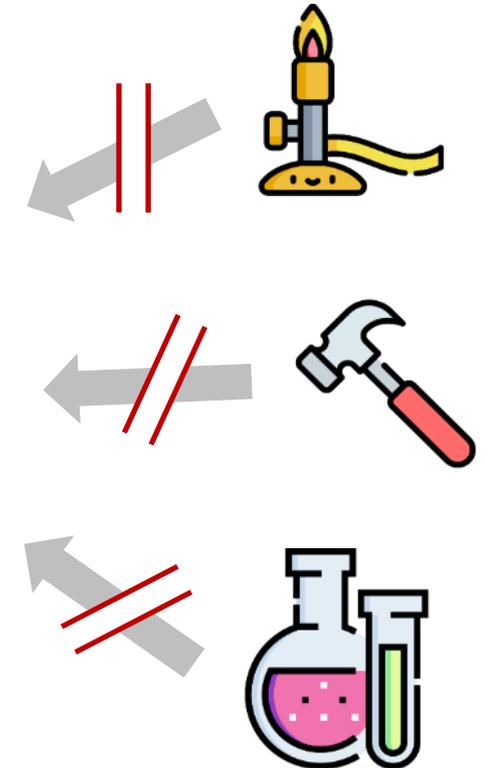
Bild: Ellen MacArthur Foundation

Duroplaste – die Hochleistungspolymere

- Reaktive Polymersysteme aus 2 Komponenten: im Ausgangszustand leicht zu dosieren, giessen und imprägnieren
- Verarbeitung bei RT oder niedrigen Temperaturen
- Im gehärteten Zustand: engmaschiges 3D-Netzwerk kovalenter Bindungen
- thermisch, mechanisch und chemisch widerstandsfähig



By Cjp24 - Own work, CC BY-SA 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=7035474>



www.flaticon.com/

Duroplaste – Märkte und Anwendungen

Anwendungen

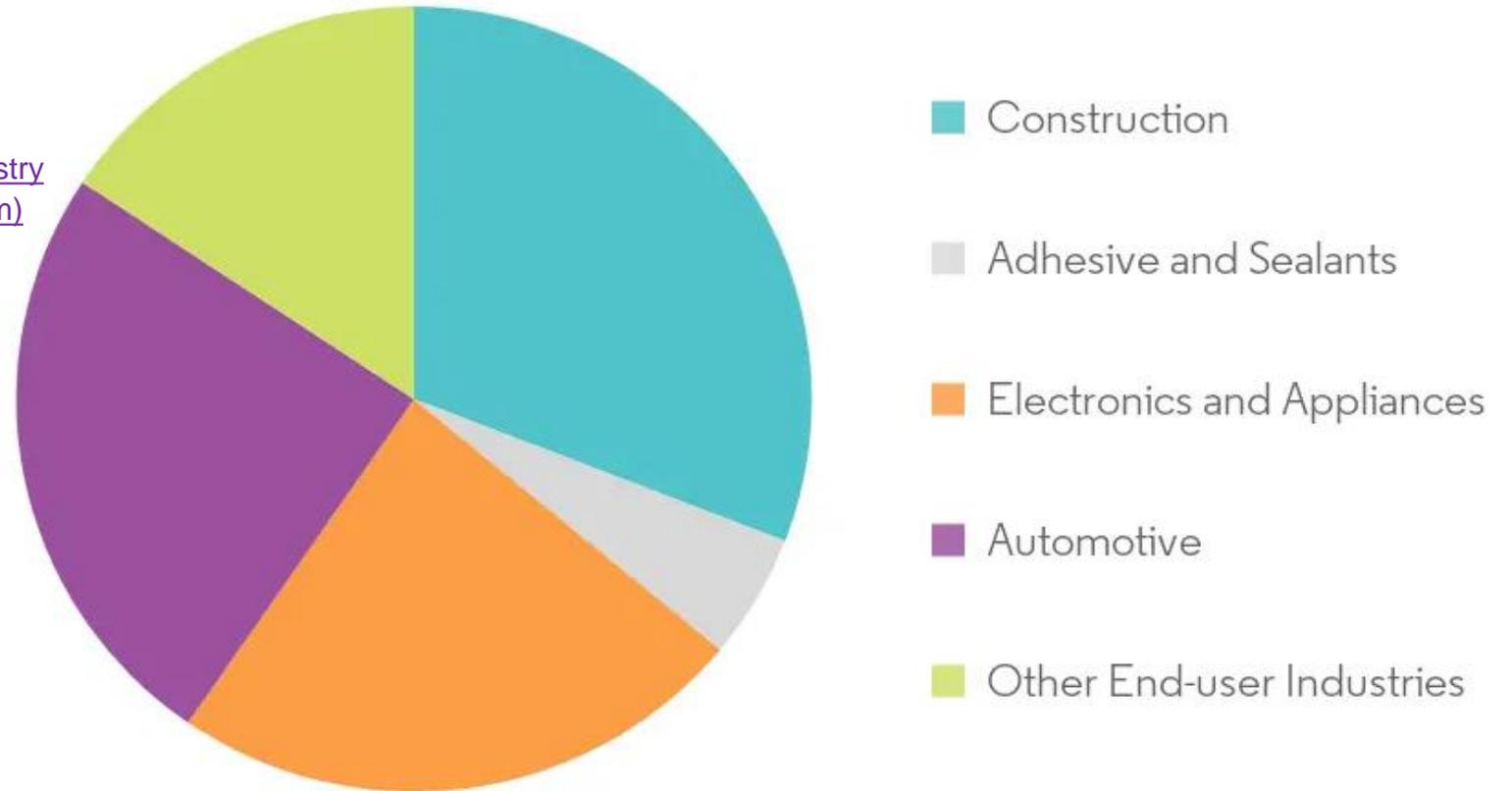
- Global, 2019, in % Umsatz

Quelle: [Thermosetting Plastics Market Analysis - Industry Report - Trends, Size & Share \(mordorintelligence.com\)](https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/thermosetting-plastics-market-analysis)

Marktvolumen Welt

- Anteil Duroplaste ca. 8 % aller Kunststoffe
- 2020: 2.78 Mrd. \$
- Prognostiziertes jährliches Wachstum 11.2 %

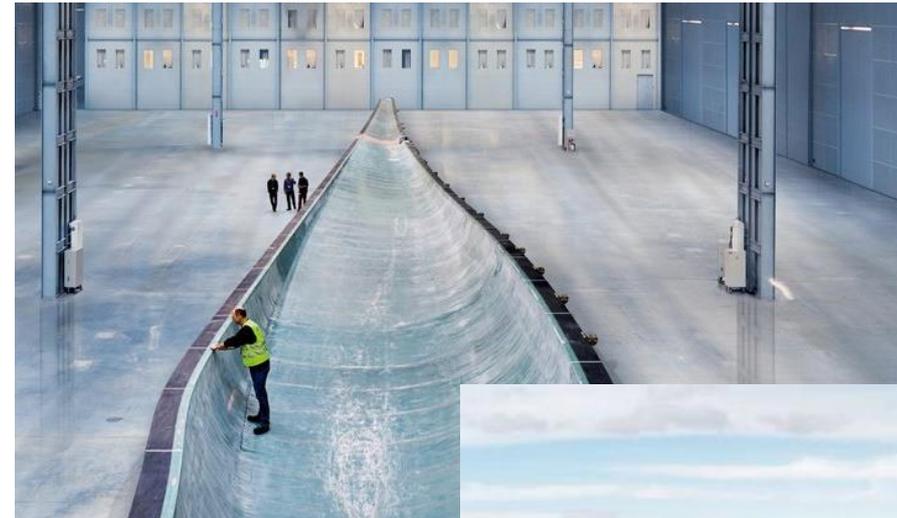
Quelle: [Thermosets Market: Global Industry Analysis and Forecast \(2021-2027\) \(maximizemarketresearch.com\)](https://www.maximizemarketresearch.com/industry-analysis/thermosets-market-analysis-forecast-2021-2027)



Duroplaste – Beispiel: Windkraftanlagen



Quelle: <http://archiv.aktuelle-wochenschau.de/2010/images/w40/abb3.jpg>



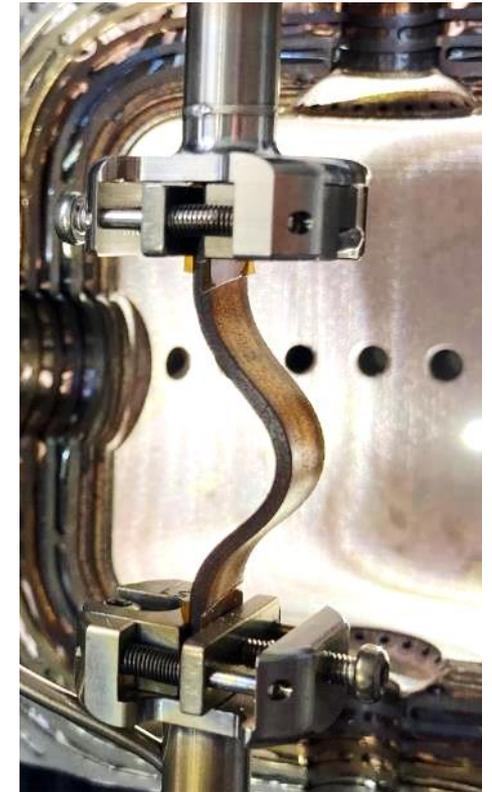
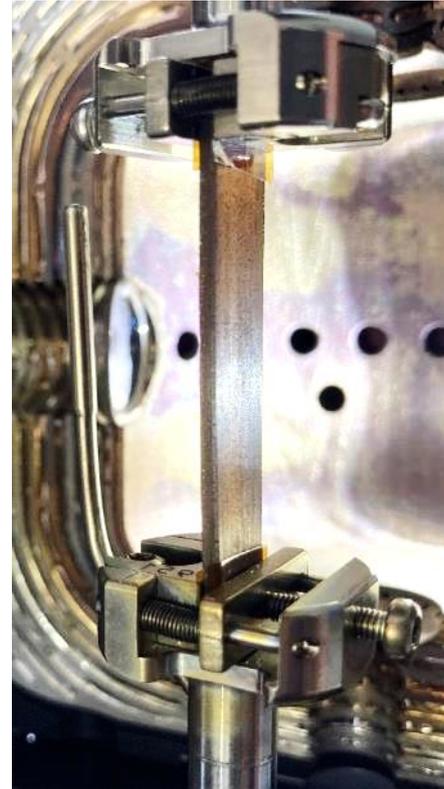
Quelle: <https://www.designboom.com/technology/worlds-longest-wind-turbine-blade-by-siemens>



Quelle: [Wind Turbine Blades Can't Be Recycled. So They're Piling Up in Landfills - Bloomberg](#)

Vitrimere: rezyklierbare Duroplaste!

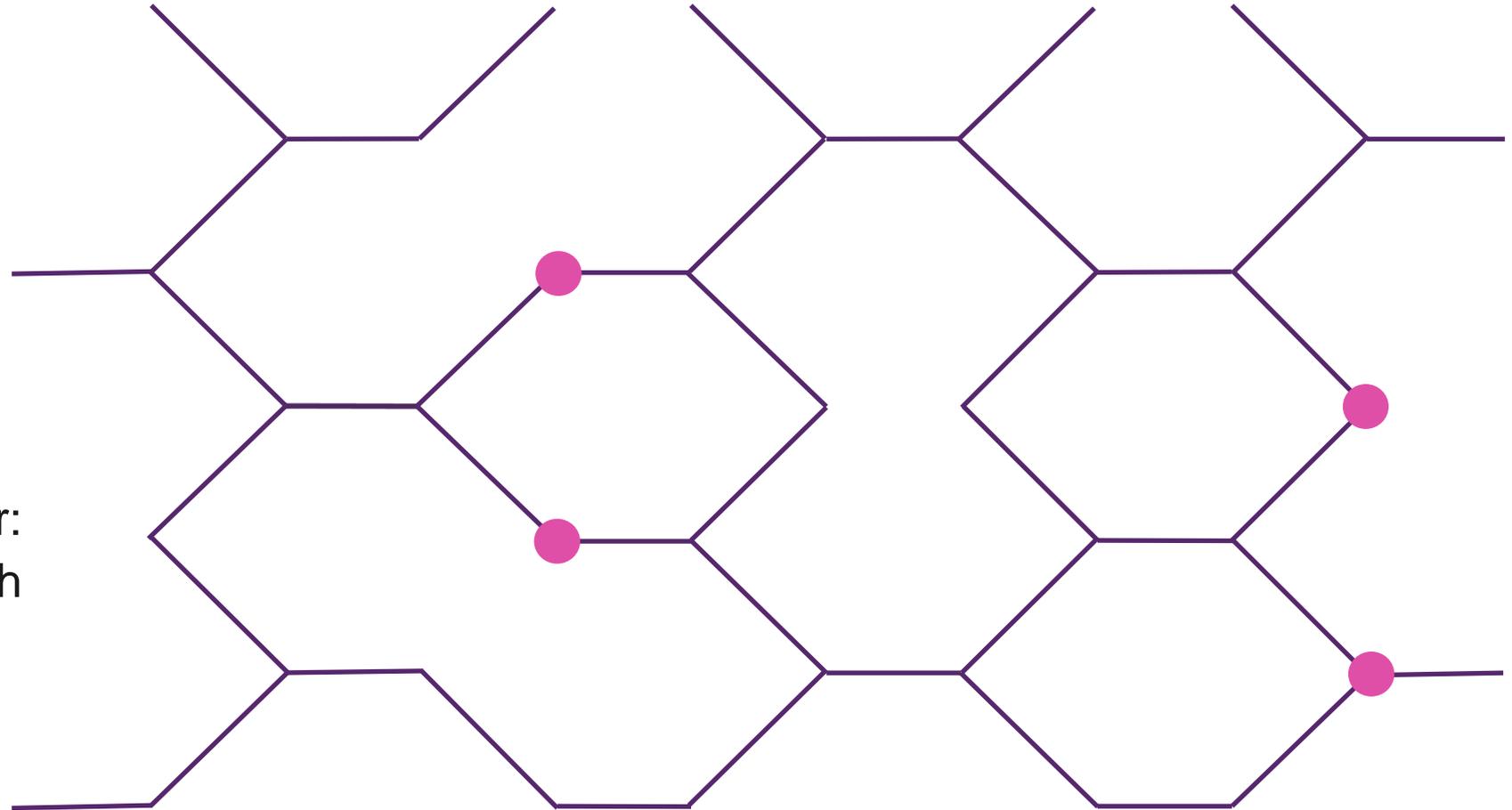
- **Vitrimere** sind eine neue Klasse von 3D-vernetzten Kunststoffen mit glasartigen Eigenschaften (lat. “vitrus” = Glas)
- Im Bereich der Einsatztemperaturen sind Vitrimere **chemisch und mechanisch** widerstandsfähig wie Duroplaste
- Bei höheren Temperaturen werden Vitrimere **umformbar**, selbstheilend, und damit wiederverwendbar



<https://www.flaticon.com>

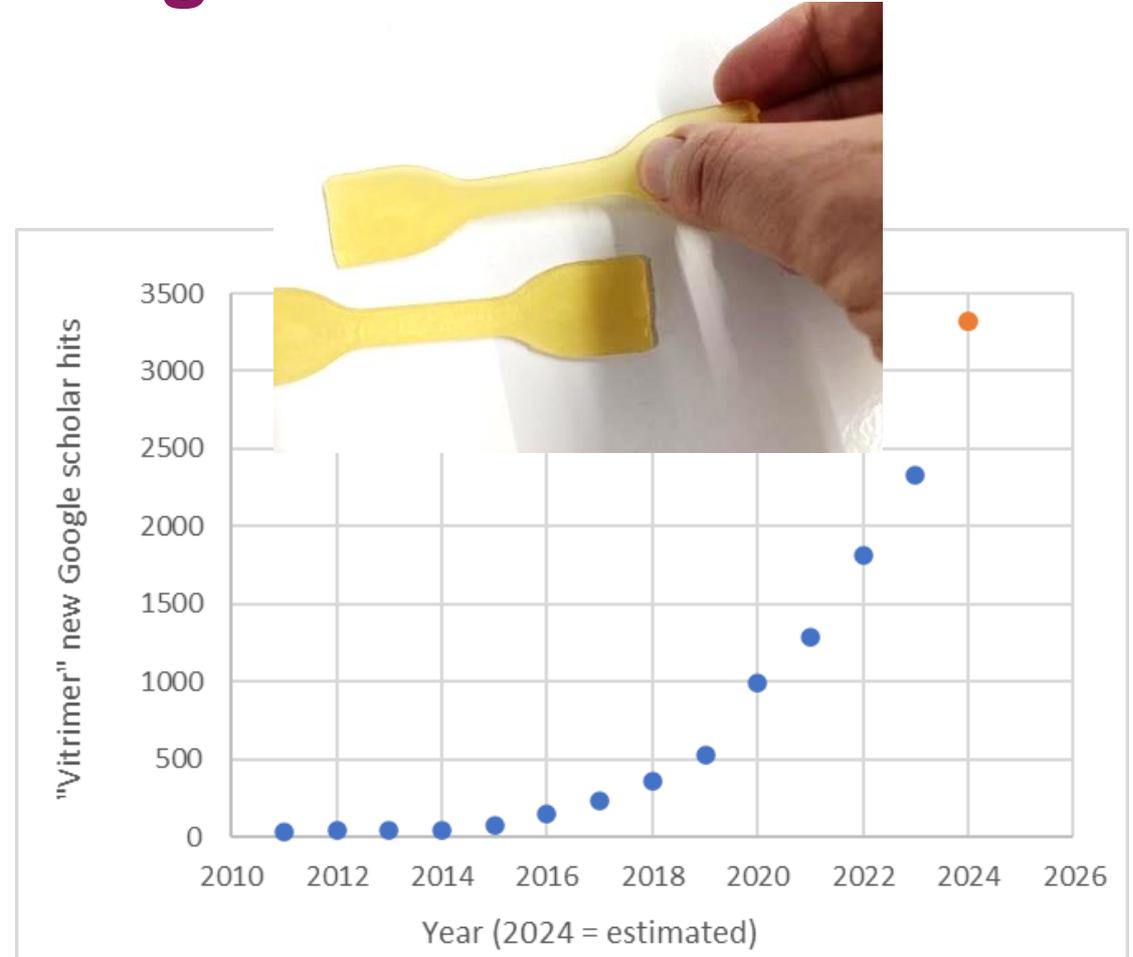
Vitrimere – wie sie funktionieren

- Polymernetzwerk mit kovalenten Querverbindungen
- Spezielle funktionelle Gruppen
- Bei hoher Temperatur: Bindungen öffnen sich und bilden sich gleichzeitig an anderer Stelle

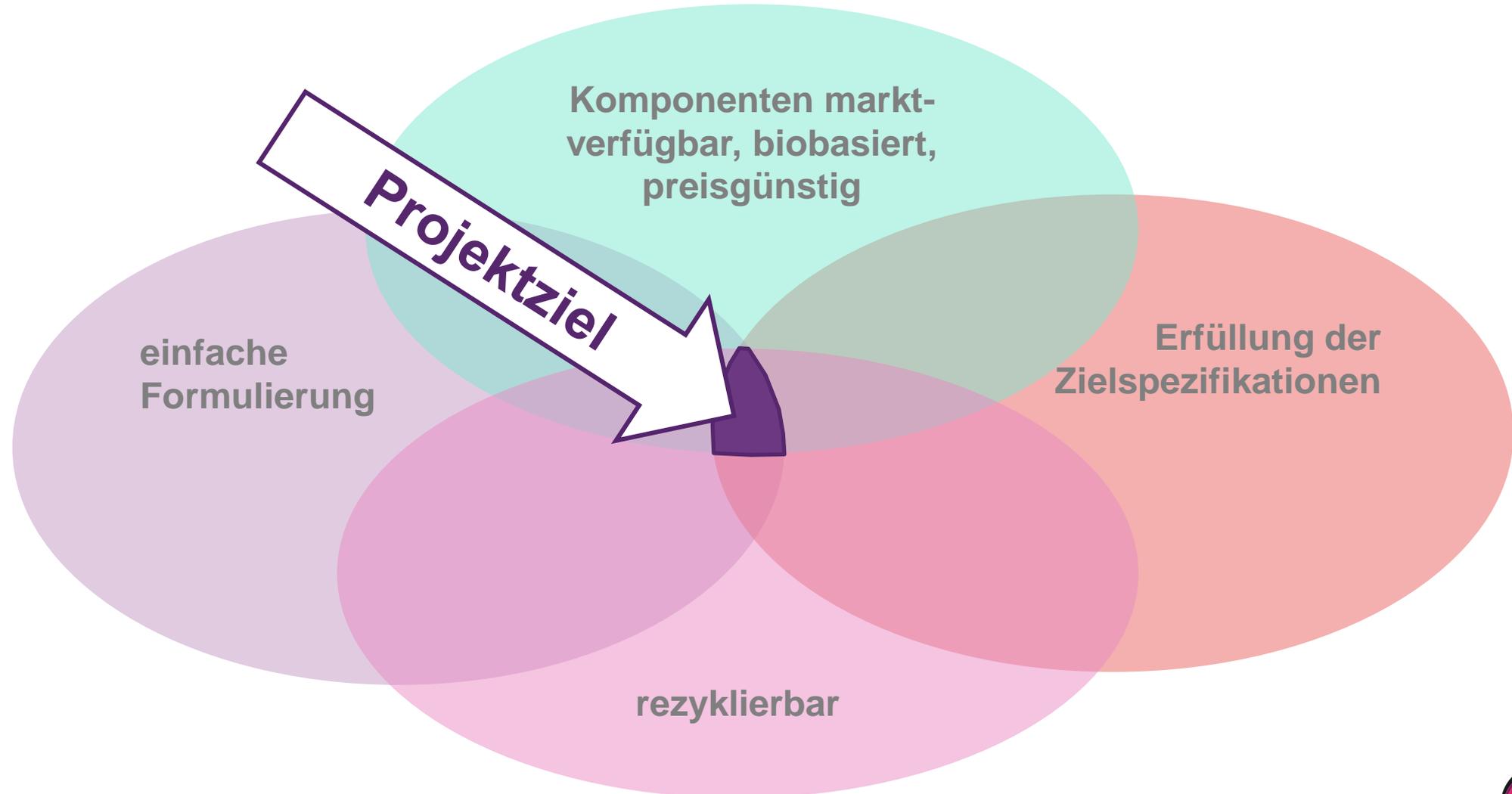


Vitrimere – Stand der Forschung

- **2011:** erste Beschreibung durch Leibler et al.
<https://doi.org/10.1126/science.1212648>
- **2014:** Erstes kommerzielles Produkt VITRIMAX™ von [Mallinda Inc](#)
- **2015:** Recyclebare Duroplaste vom WEF unter den [Top 10 «Emerging Technologies»](#) gelistet
- **Seither:** Anzahl der Forschungsprojekte zu Vitrimeren stark ansteigend, jedoch noch kein Durchbruch am Markt oder in den Anwendungen
- **2023:** Start des Innosuisse-Projekts “Swiss made, recyclable, bio-based thermosets”



Innovationsprojekt – Motivation



CO₂-neutrale, biobasierte und rezyklierbare Duroplaste

Entwicklung der ersten Prototypen



Bio-Resin erwärmen



Katalysator und Härter zufügen



Mischen und evakuieren im Thinky Mixer



Prüflinge giessen



Aushärten im Ofen

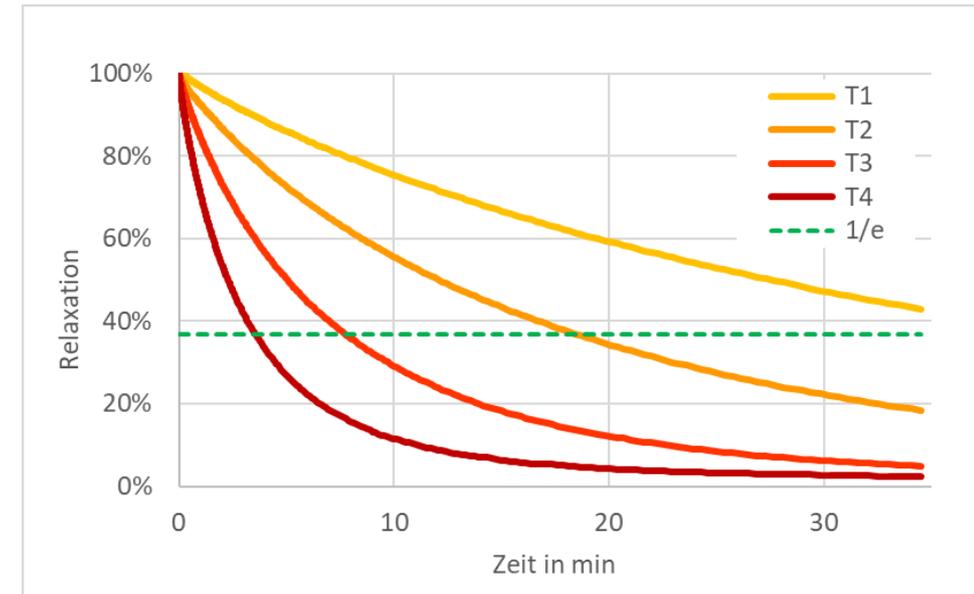


Messung der Relaxationseigenschaften

Bestimmung der Reprozessierbarkeit

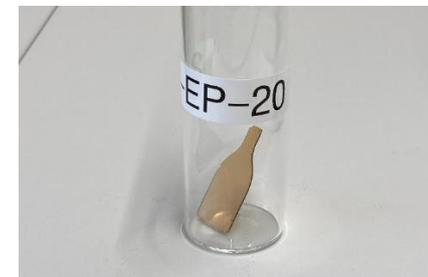
Mechanische Reprozessierung

- Messung der Relaxation = Antwort auf eine mechanische Belastung bei unterschiedlichen Temperaturen
- Ab einer bestimmten Temperatur wird das Material verformbar



Chemische Reprozessierung

- Solvolyse bei erhöhter Temperatur in flüssiger Phase
- Auch für gefüllte Systeme und Komposite anwendbar



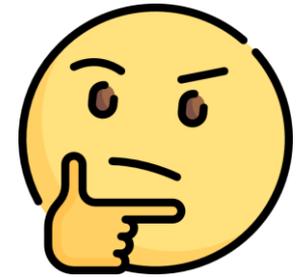
Herausforderungen und aktueller Status

Herausforderungen

- Biobasierte Chemikalien sind oft teurer als konventionelle; Umweltauswirkungen müssen beachtet werden; eine Bio-Feedstock-Ökonomie ist erst im Entstehen
- Synthesewege für Vitrimere sind oft komplex; optimal wäre ein Produkt aus zwei flüssigen Komponenten; viele der geeigneten Chemikalien sind aber Feststoffe
- Mechanische Reprozessierung erfordert relativ hohe Temperaturen und Kräfte

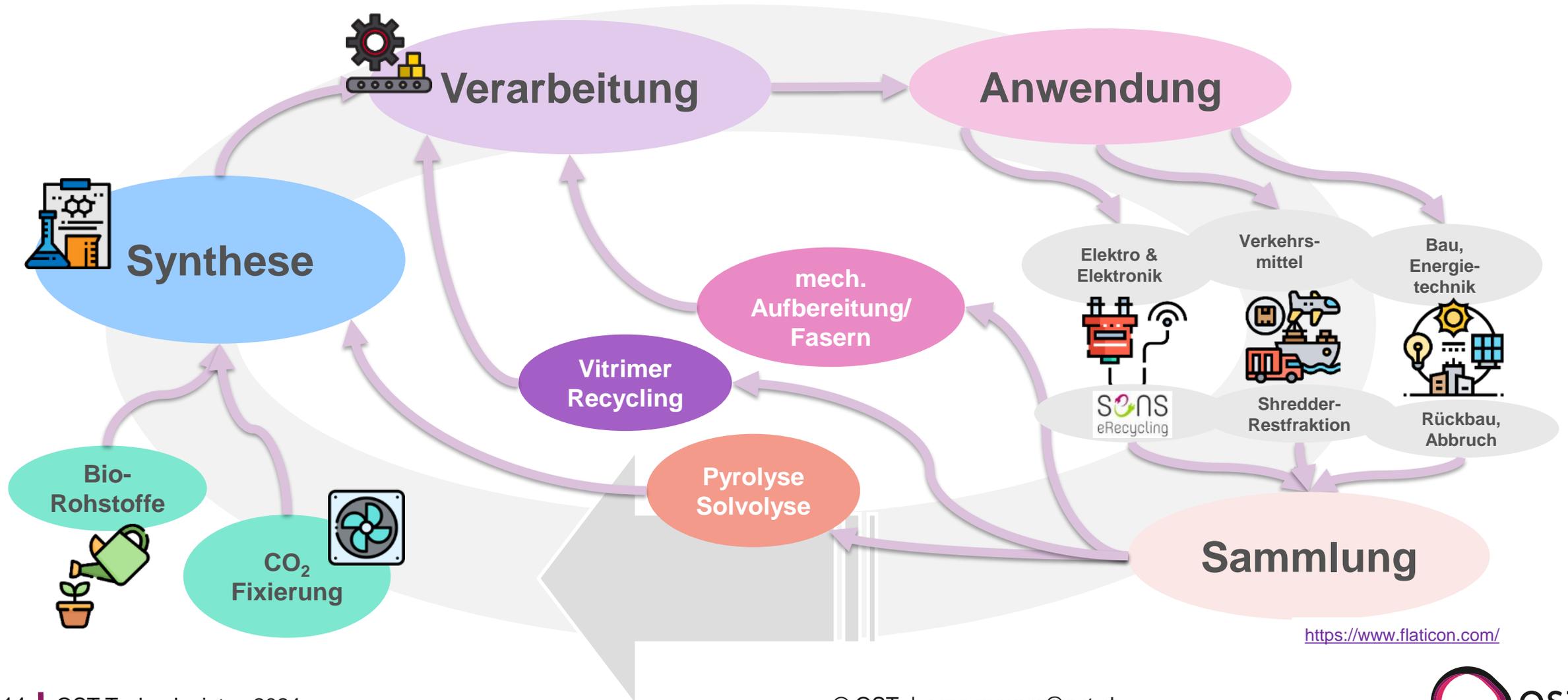
Aktueller Projektstatus

- Erste Projekthälfte abgeschlossen (Laufzeit: April 2023 –September 2025)
- Formulierungen sind verfügbar, welche die Go/NoGo-Ziele weitgehend erfüllen
- Lösungsansätze für einen Teil der Herausforderungen konnten gefunden werden



<https://www.flaticon.com/>

Vision: CO₂-neutrale Duroplast-Kreislaufwirtschaft



<https://www.flaticon.com/>

Herzlichen Dank

an alle Projektpartner und -mitarbeiter/innen für die spannende Aufgabe, stetige Motivation, gute Ideen und tatkräftige Mithilfe, u.a.:

- Martina Bruderer, Roudabeh Valiollahi Bisheh, Jens Ulmer, OST Institut für Mikrotechnik und Photonik
- Simon Cerqua, Eugenia Bonora, Christof Brändli, ZHAW Institute of Materials and Process Engineering

... und an Innosuisse für die grosszügige Förderung (Innovationsprojekt 102.087 IP-EE)



<https://www.flaticon.com/>

Abstract

Eine vollständige Dekarbonisierung der Industrie erfordert auch die Substitution konventioneller Polymere durch nachhaltigere Materialien. Viele Anwendungen setzen hochleistungsfähige Duroplaste ein, die aber aufgrund ihrer Vernetzung nicht rezyklierbar sind. Das Innosuisse-Verbundprojekt zielt daher auf die Entwicklung innovativer Materialien ab, die gleichzeitig biobasiert und wiederverwendbar sind (Vitrimere), um einen niedrigen CO₂-Fussabdruck und eine zirkuläre Verwendung zu ermöglichen. Die Rohstoffe sollen am Markt verfügbar sein und eine einfache Formulierung und Verarbeitung erlauben. Das neue Material könnte auch innovative Produktdesigns und Lebenszyklusmodelle inspirieren, die zu einer zirkulären, CO₂-neutralen Duroplast-Wirtschaft führen.

Schlüsselwörter:

→ Duroplaste, Recycling, Biokunststoff, Dekarbonisierung, Kreislaufwirtschaft