

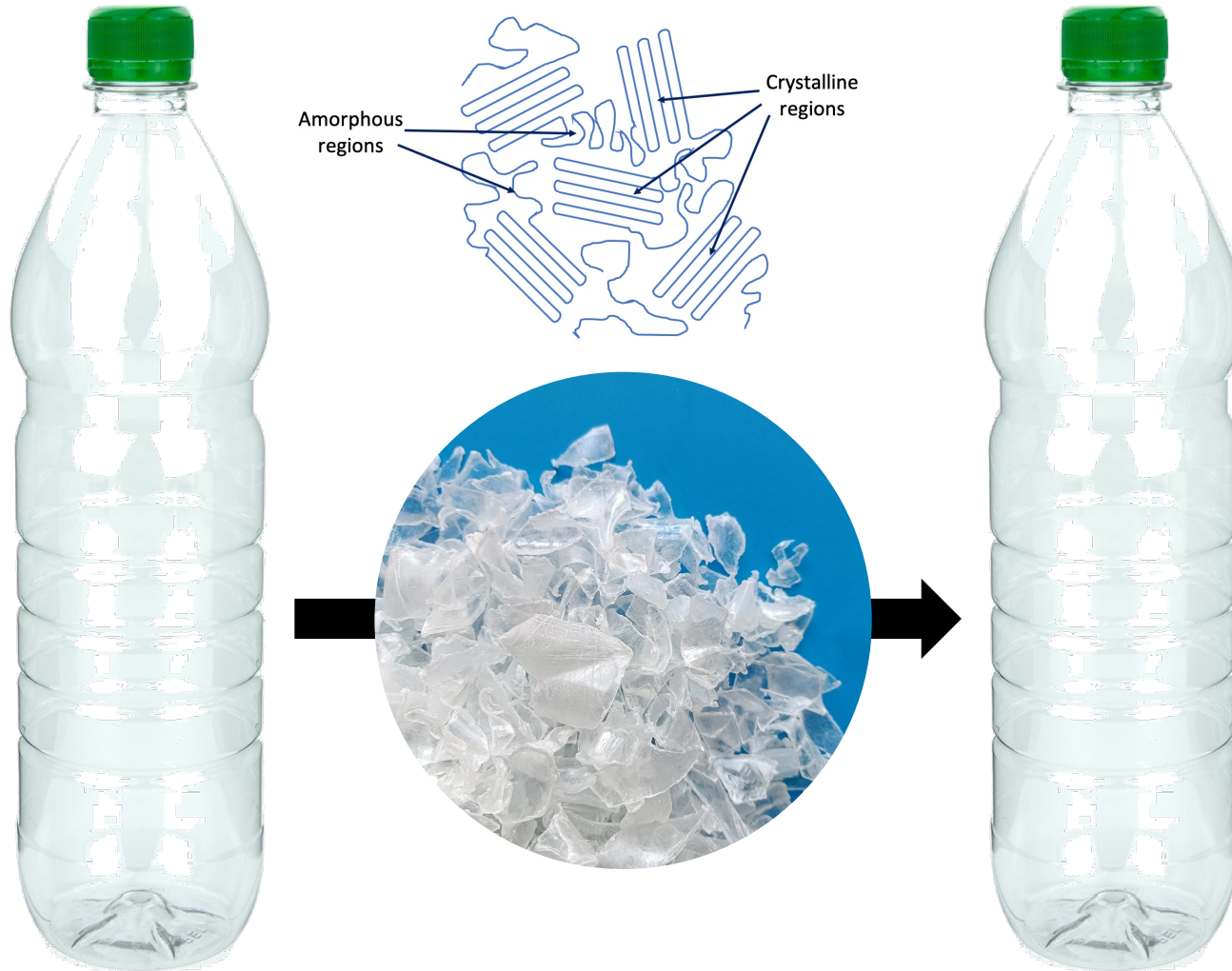


Windenergietage 2023 – Forum 25

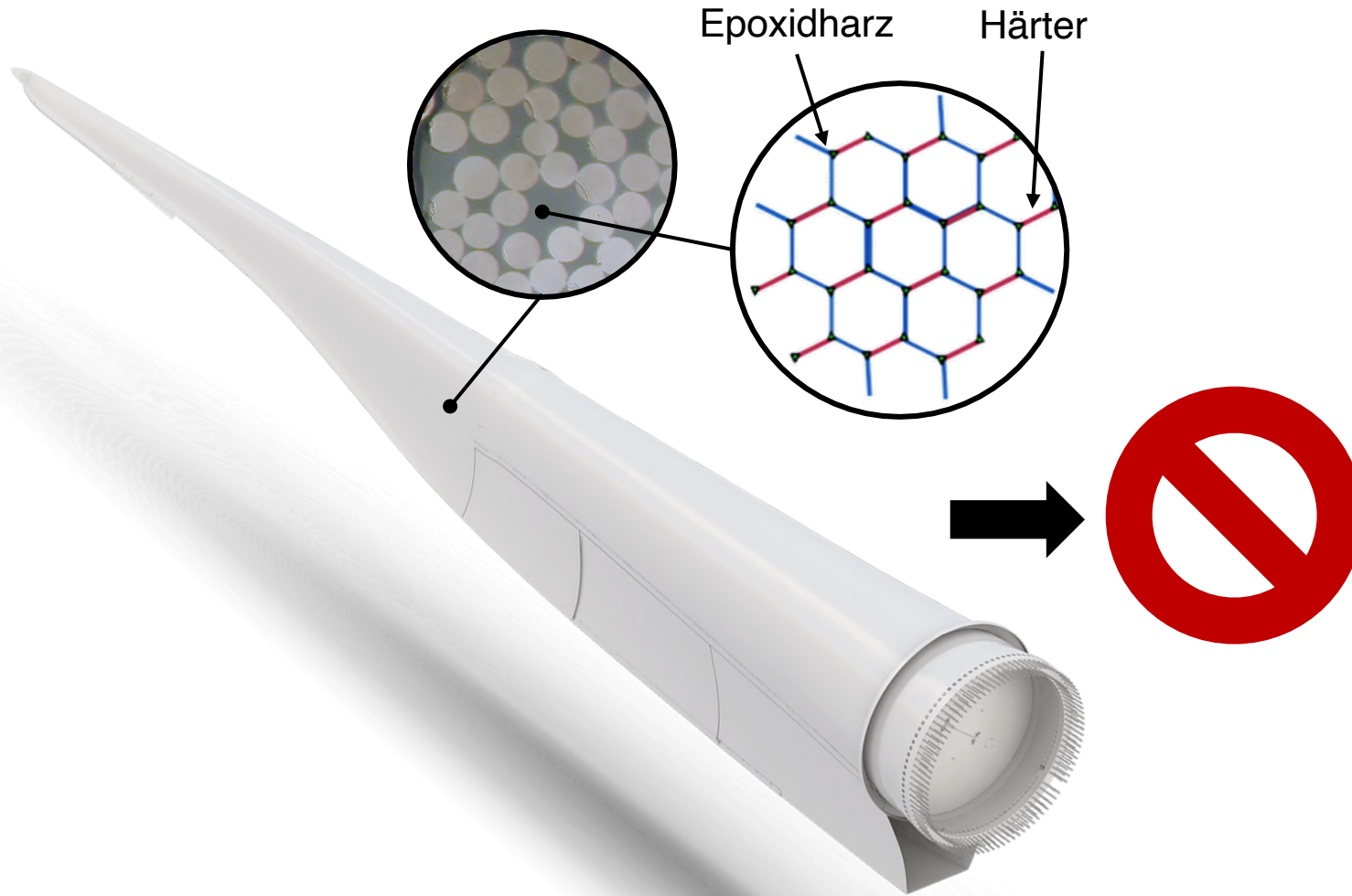
KI und Digitalisierung in der Windkraft

“Next Generation Recyclable Rotorblades”

Primäres Recycling – Thermoplast



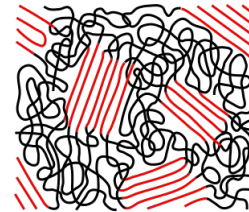
Primäres Recycling – Duroplast



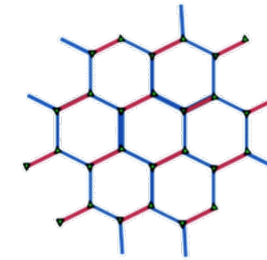
Vernetzte Tatsachen



Herstellung

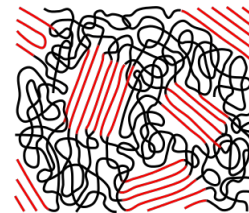


Hohe Temperaturen
Hohe Drücke

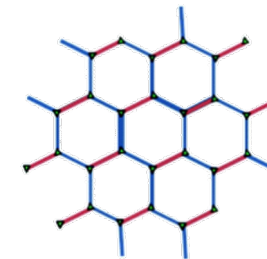


Chemische Reaktion
Infiltration der Fasern

Betrieb

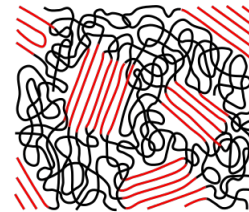


Kriechneigung
Geringe Steifigkeit

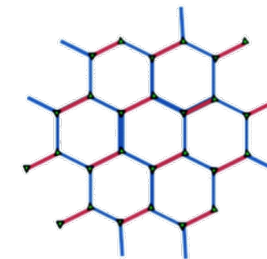


Ermüdungsresistent
Hochsteif

Effizienz



Begrenzte Rotorblattlänge

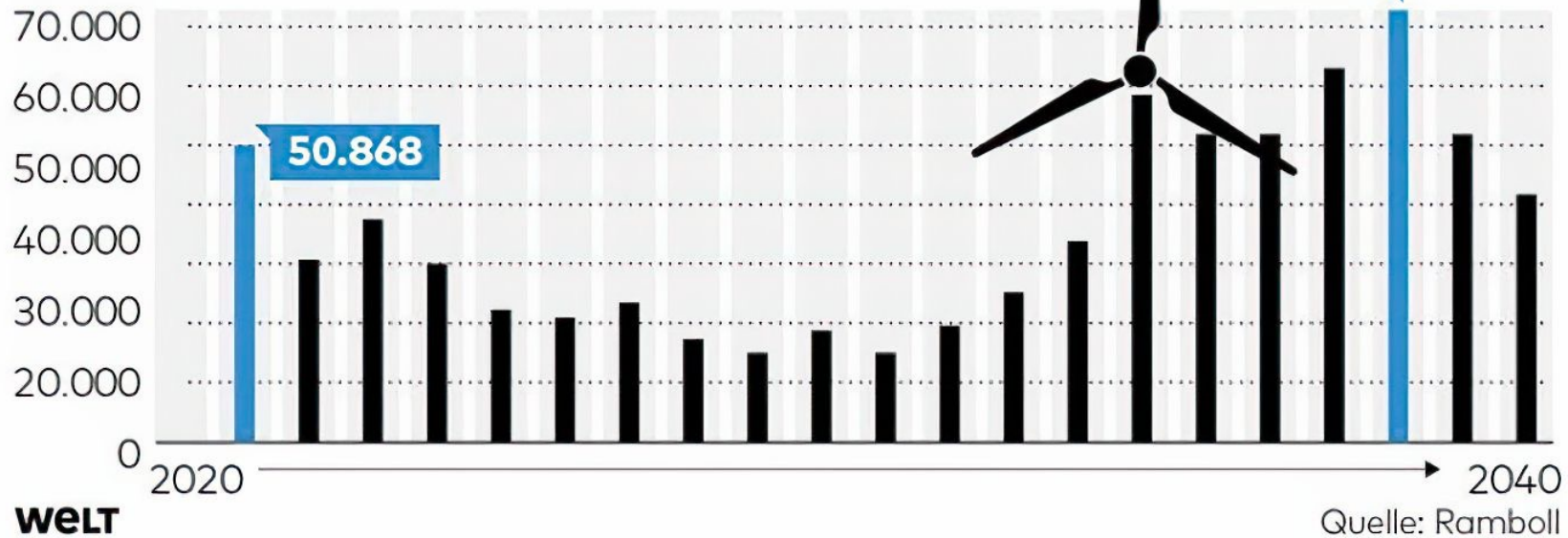


Einsatz bei hohen
Trägheitsmomenten

Der Elefant im Raum

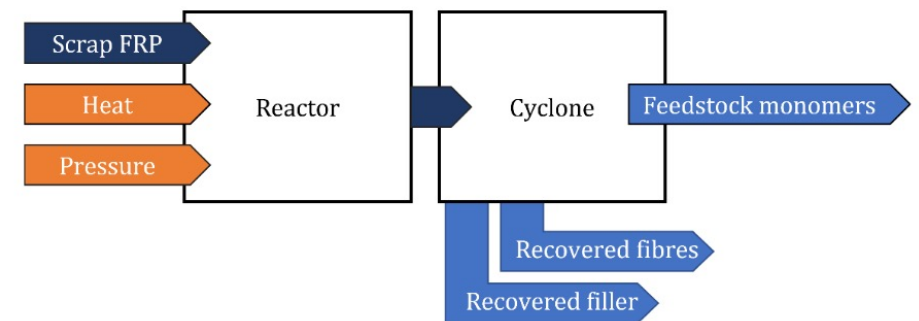
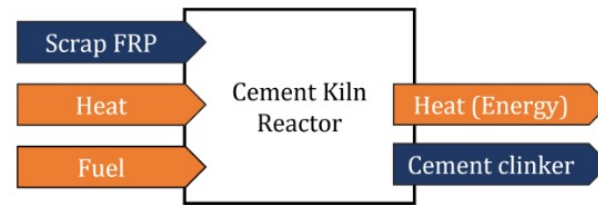
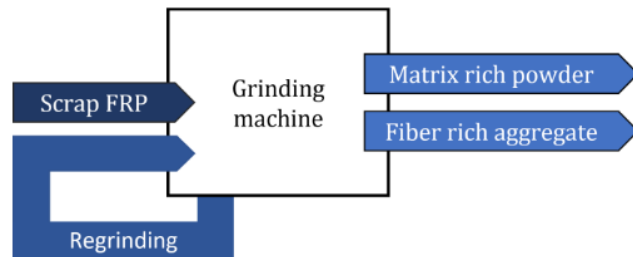
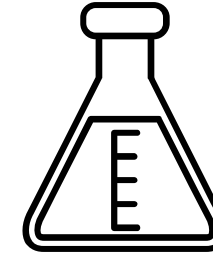
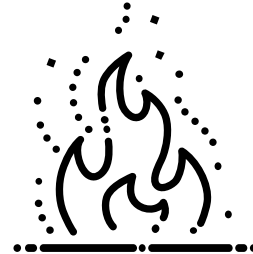
Abfall durch Rotorblätter

Prognose für Verbundwerkstoffe aus glasfaserverstärktem Kunststoff
in Tonnen



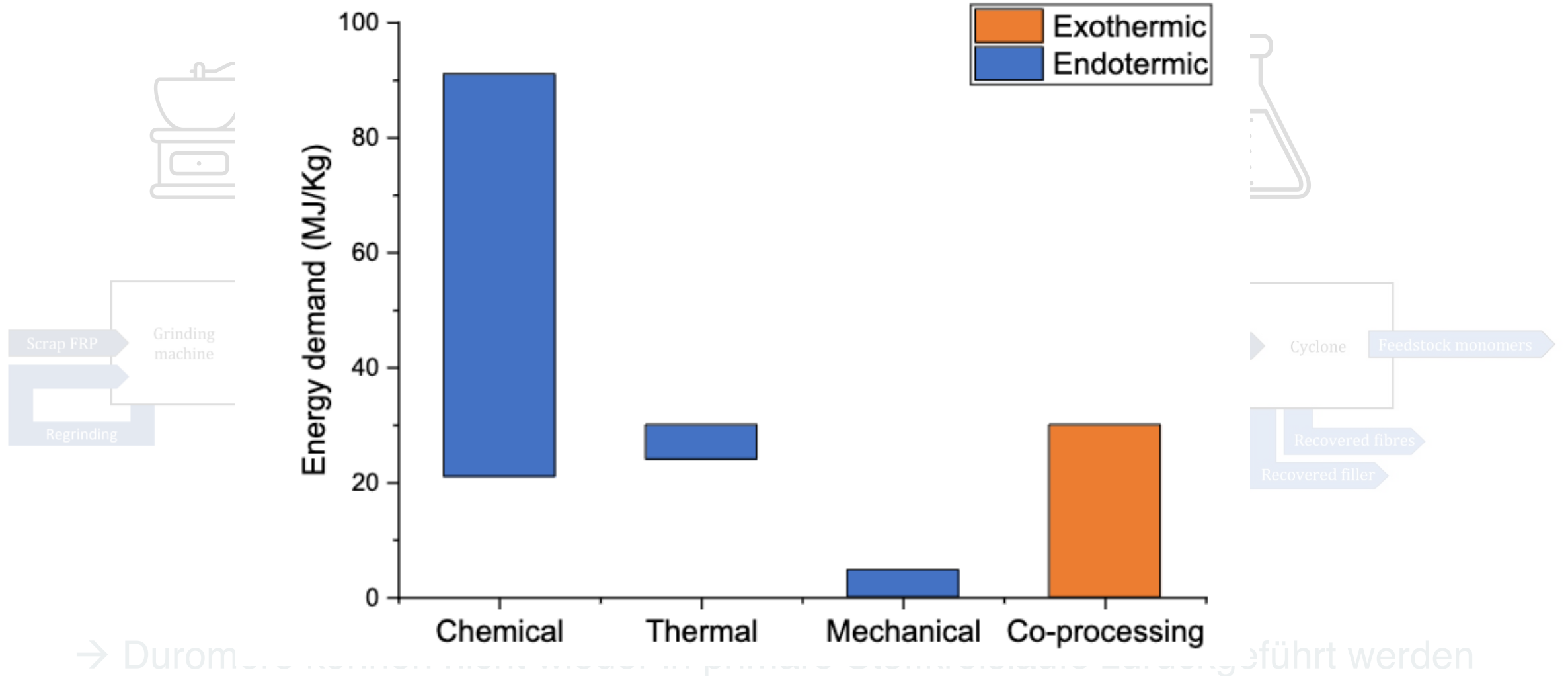
→ Recyclingfähige, duromere Verbundwerkstoffe nötig!

Recyclingfähigkeit duromerer Polymere



→ Duromere können nicht wieder in primäre Stoffkreisläufe zurückgeführt werden

Recyclingfähigkeit duromerer Polymere



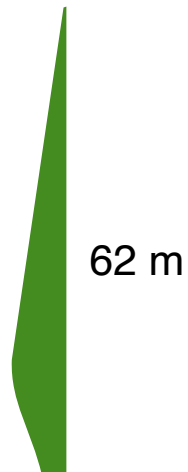
→ Durom... führt werden

Nachhaltige Matrices im Rotorblatt

2018: **ARKEMA** *Elium Resin*

Thermoplastisches Acrylharz

- ⊖ Thermoplastische Matrix
- ⊖ Schlechte Reproduzierbarkeit



62 m

2019:  *Recyclamine*

ADITYA BIRLA GROUP

Spaltbares Epoxidharz („RecyclableBlade“)

- ⊖ Thermoplast nach Spaltung
- ⊖ Schlechte Reproduzierbarkeit



81 m

Konventionell: Nicht rezyklierbares

Epoxidharz

(z.B. Westlake Epoxy RIMR135)

- ⊖ Erdölbasierte Bausteine
- ⊖ Nicht primär rezyklierbar



115 m

Nachhaltige Matrices im Rotorblatt

2018: **ARKEMA** *Elium Resin*

Thermoplastisches Acrylharz

2019:  *Recyclamine*

Spaltbares Epoxidharz („RecyclableBlade“)

Konventionell: Nicht rezyklierbares Epoxidharz (z.B. Westlake Epoxy RIMR135)

- ⊖ Thermoplastische Matrix
- ⊖ Schlechte Reproduzierbarkeit
- ⊖ Thermoplast nach Spaltung
- ⊖ Schlechte Reproduzierbarkeit
- ⊖ Erdölbasierte Bausteine
- ⊖ Nicht primär rezyklierbar

Momentan keine primäre Wiederverwertung duroplastischer Matrices möglich!



62 m



81 m



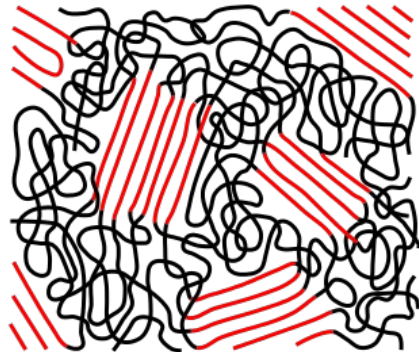
115 m

Recyclingfähige duromere für high-performance Anwendungen

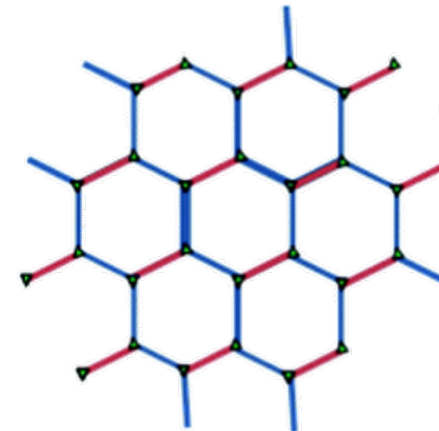


“Entwicklung vitrimerer Matrices für Glasfaser-Kunststoff-Verbunde und deren Übertragbarkeit in primäre Recyclingkreisläufe für den Anwendungsfall des Rotorblattes mittels digitaler Methoden”

**Recyclingfähigkeit
Thermoplast**



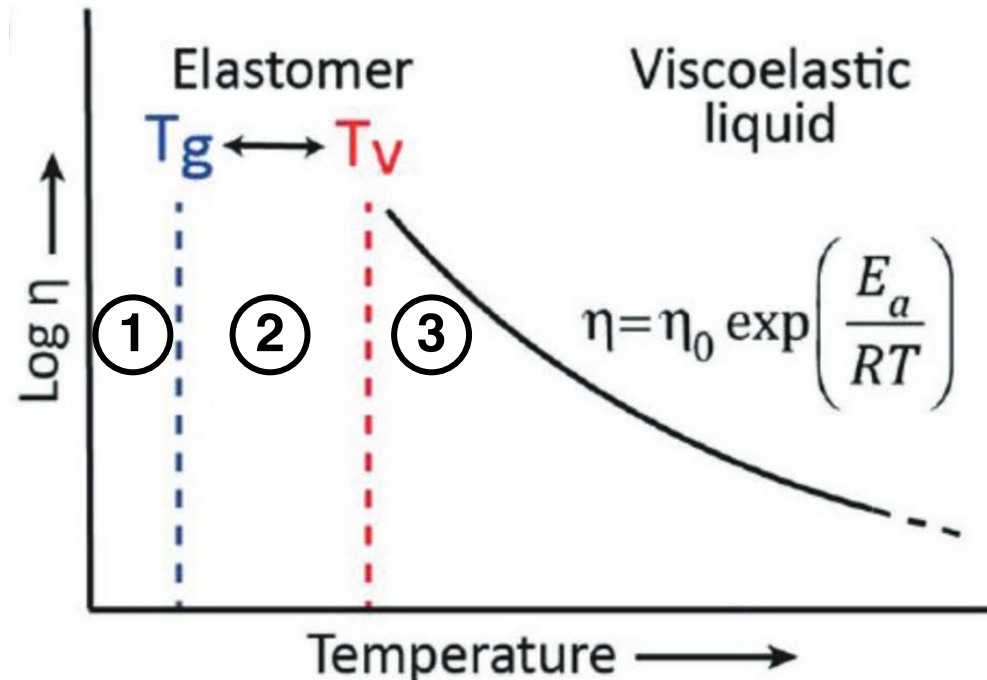
**Performance
Duroplast**



“Vitrimer”

Vitrimere

Grundsatz: “Fließfähigkeit durch schnelle kovalente Austauschreaktionen”



1) $T > T_g$

- T_g abhängig von generellem molekularem Design
- Austauschreaktionen noch nicht gestartet ($E > E_a$)

2) $T_g < T < T_v$

- Gummielastisches Verhalten
- Mobilisierung duroplastischer Ketten

3) $T < T_v$

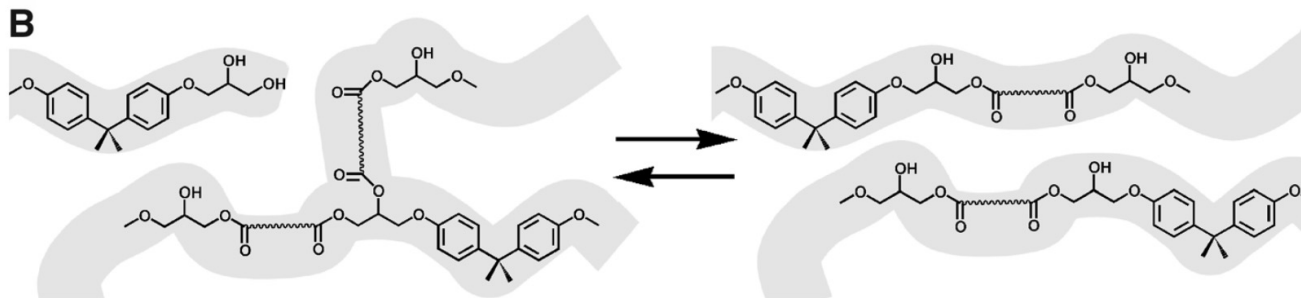
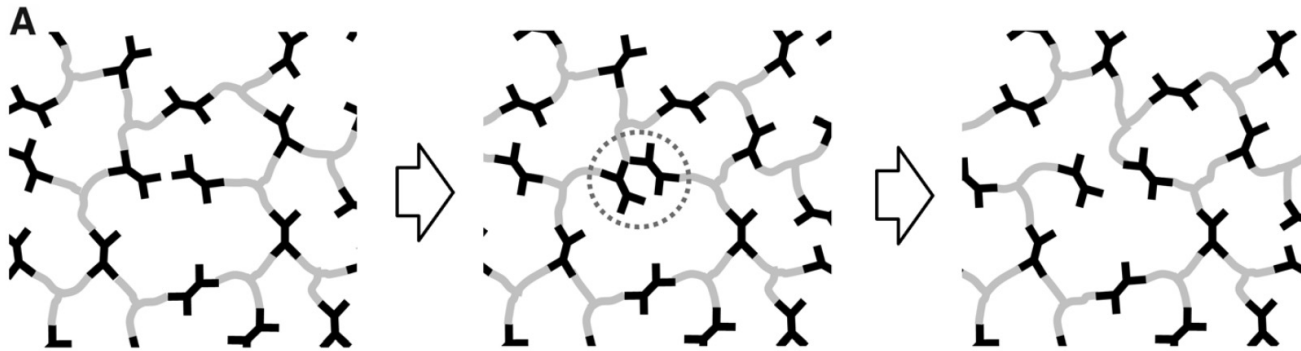
- Kov. Austauschreaktionen bei konstanter Netzwerkdicke
- Topologie-Gefriertemperatur T_v
- Deformation analog Thermoplast
- Stabilität analog Duroplast

Vitrimere

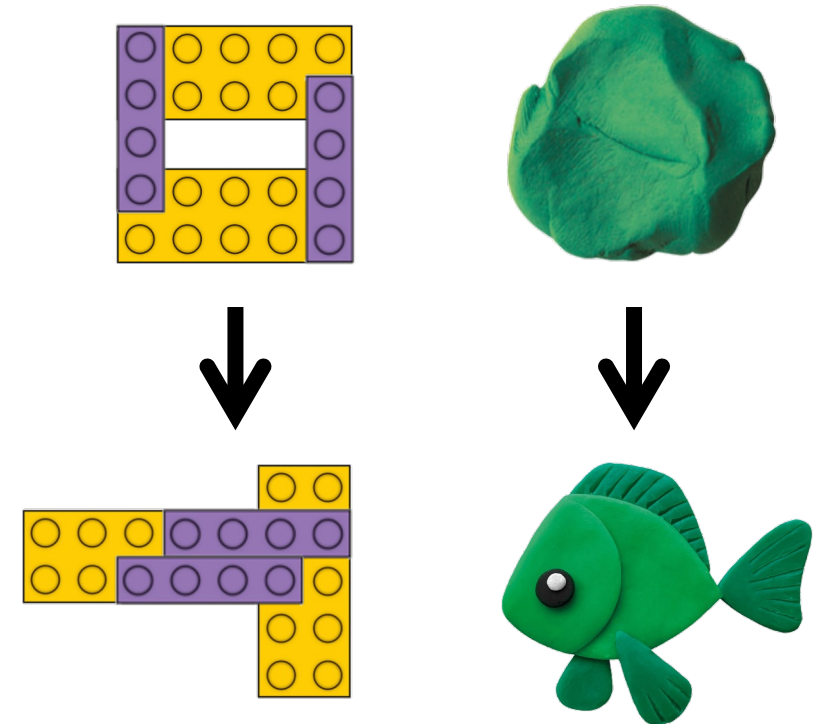
Beispiel: "Transesterifizierungsreaktionen zwischen Carboxylsäuren und Epoxiden"

$T < T_v$

Chemie



Anwendung (abstrahiert):



Implementierung digitaler Methoden in Forschungsentwicklungen

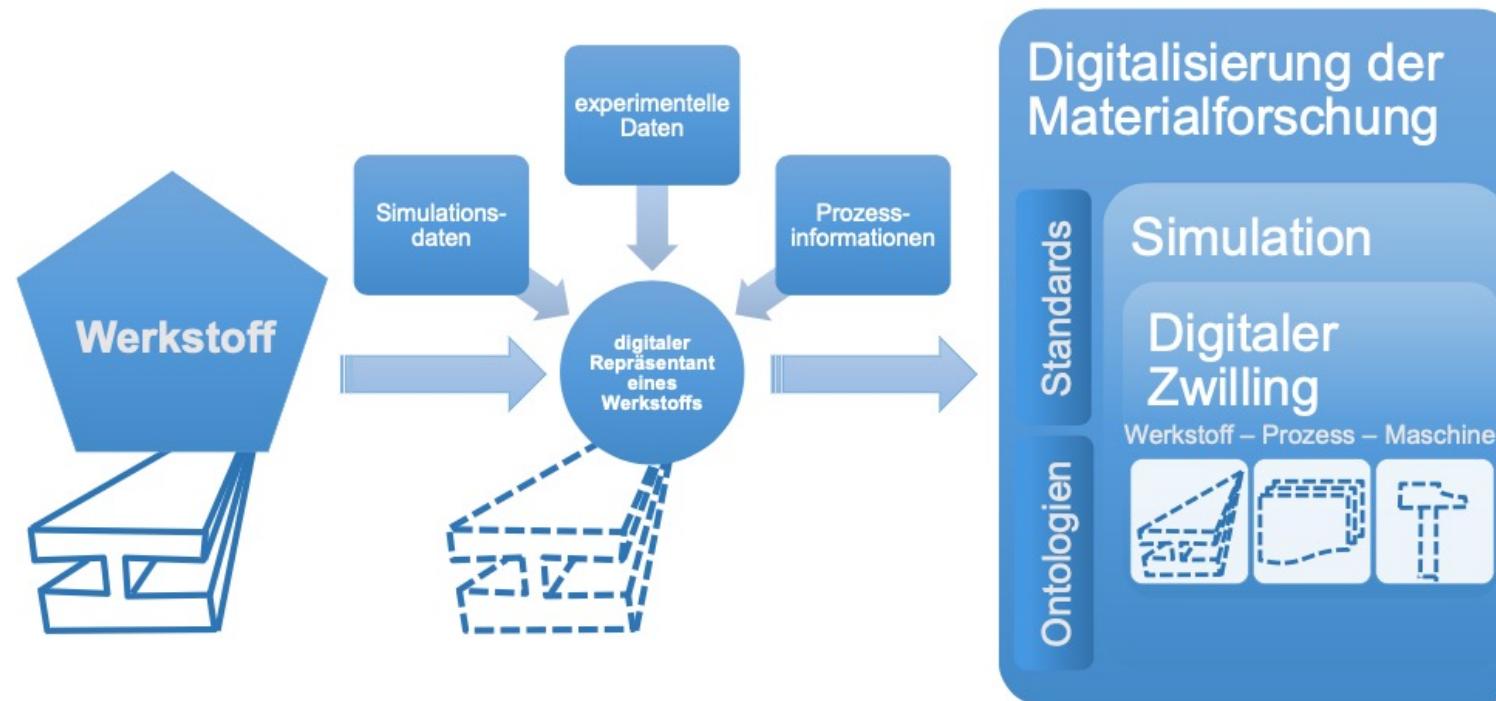
"vitrimers" "composite" "fiberglass" "epoxy"

Ungefähr 436 Ergebnisse (0,06 Sek.)

[HTML] Study into the Mechanical Properties of a New Aeronautic-Grade Epoxy Based Carbon-Fiber-Reinforced **Vitrimer**
 C Builes Cárdenas, V Gayraud, ME Rodríguez, J Costa... - Polymers, 2022 - mdpi.com
 ... a **glass-fiber-reinforced vitrimer** based on diglycidyl ether of bisphenol A (DGEBA) **epoxy** ...
 In this paper, we focus on **composite** properties: details of the **vitrimer** formulation and its ...

Junge Forschung

- Kaum Daten vorhanden
- Unterstützung durch digitale Methoden



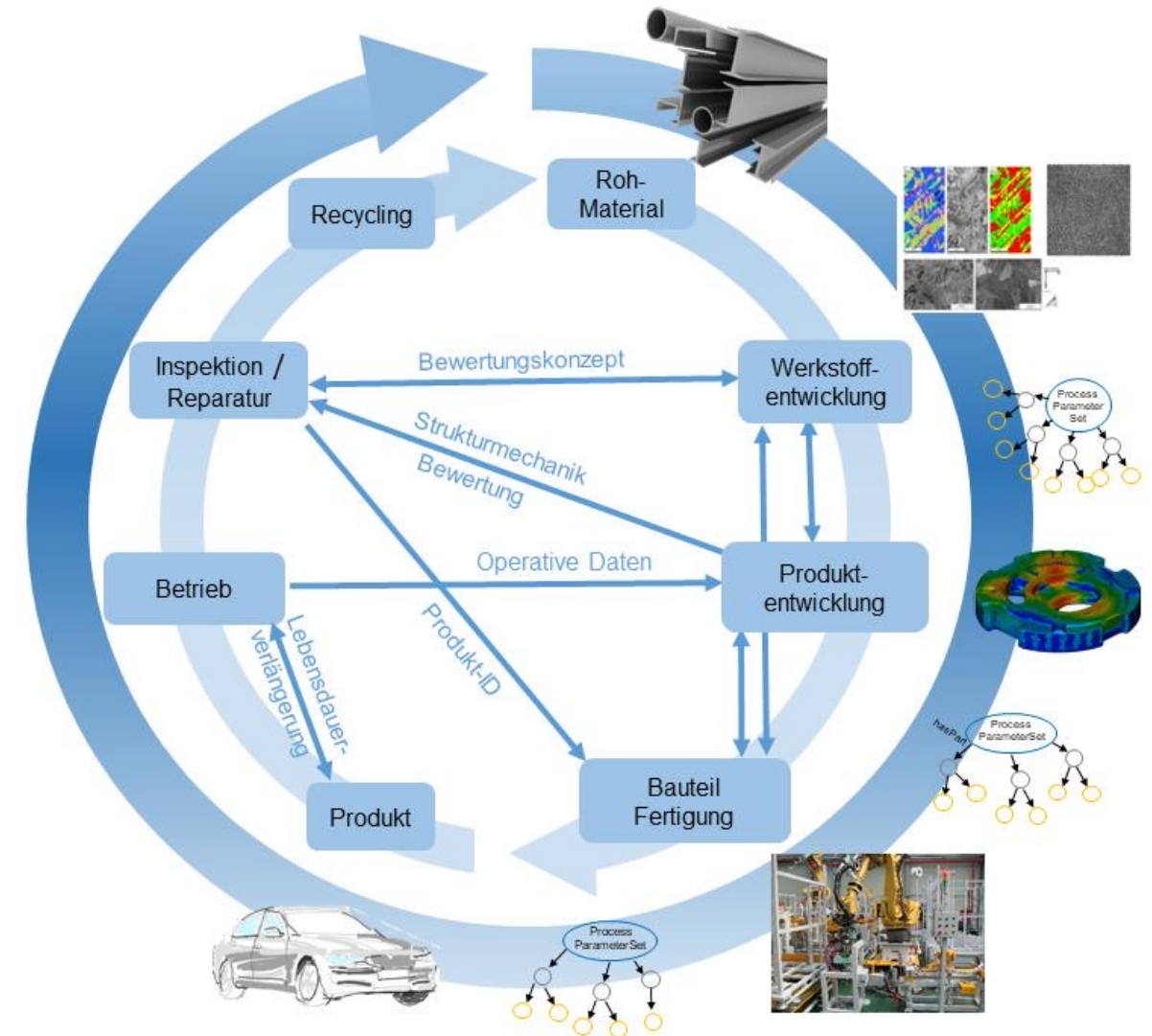
Mehrwert durch Verwendung von Materialdaten

- Materialinformationen während des Prozesses
- Einsparung von **Materialqualifikationen**
- Verbesserte **Materialausnutzung**
- Senkung der **Entwicklungskosten**
- Beschleunigte **Produktentwicklung**
- Bessere **Nutzbarkeit** der Komponenten
- **Mehrwert** durch Materialdaten

→ **Garantiert technologische Unabhängigkeit**

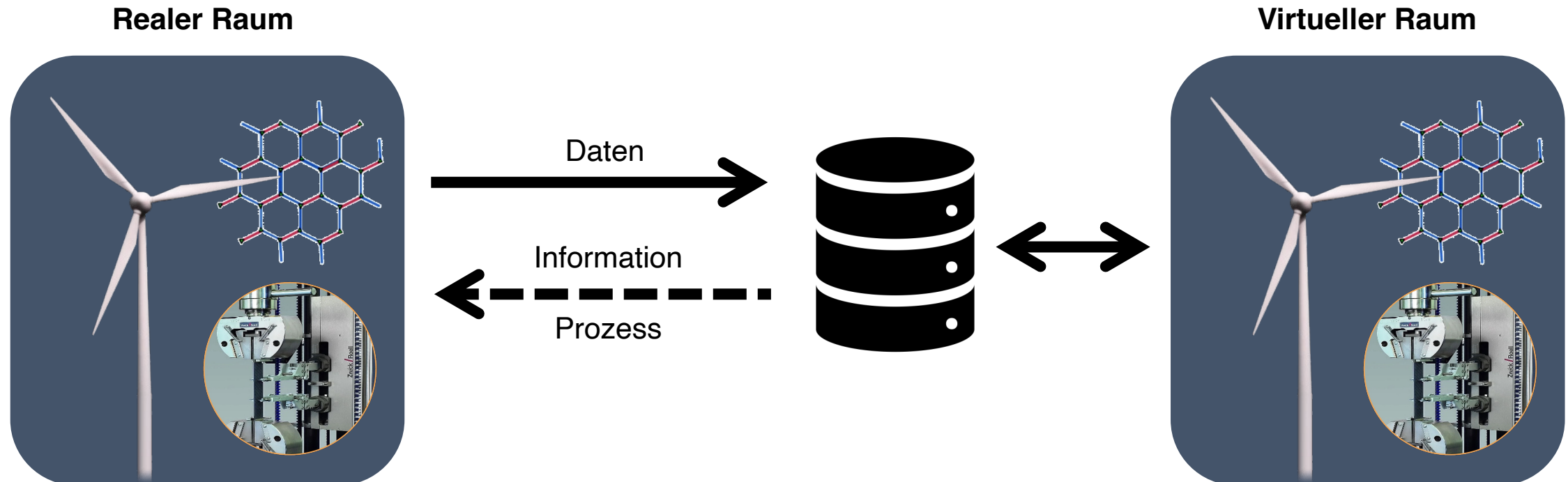
→ **Erhöht die Wettbewerbsfähigkeit**

→ **Ermöglicht Design für Kreislaufwirtschaft**

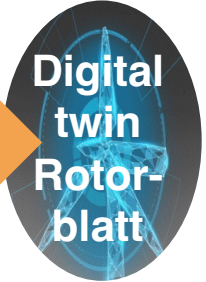
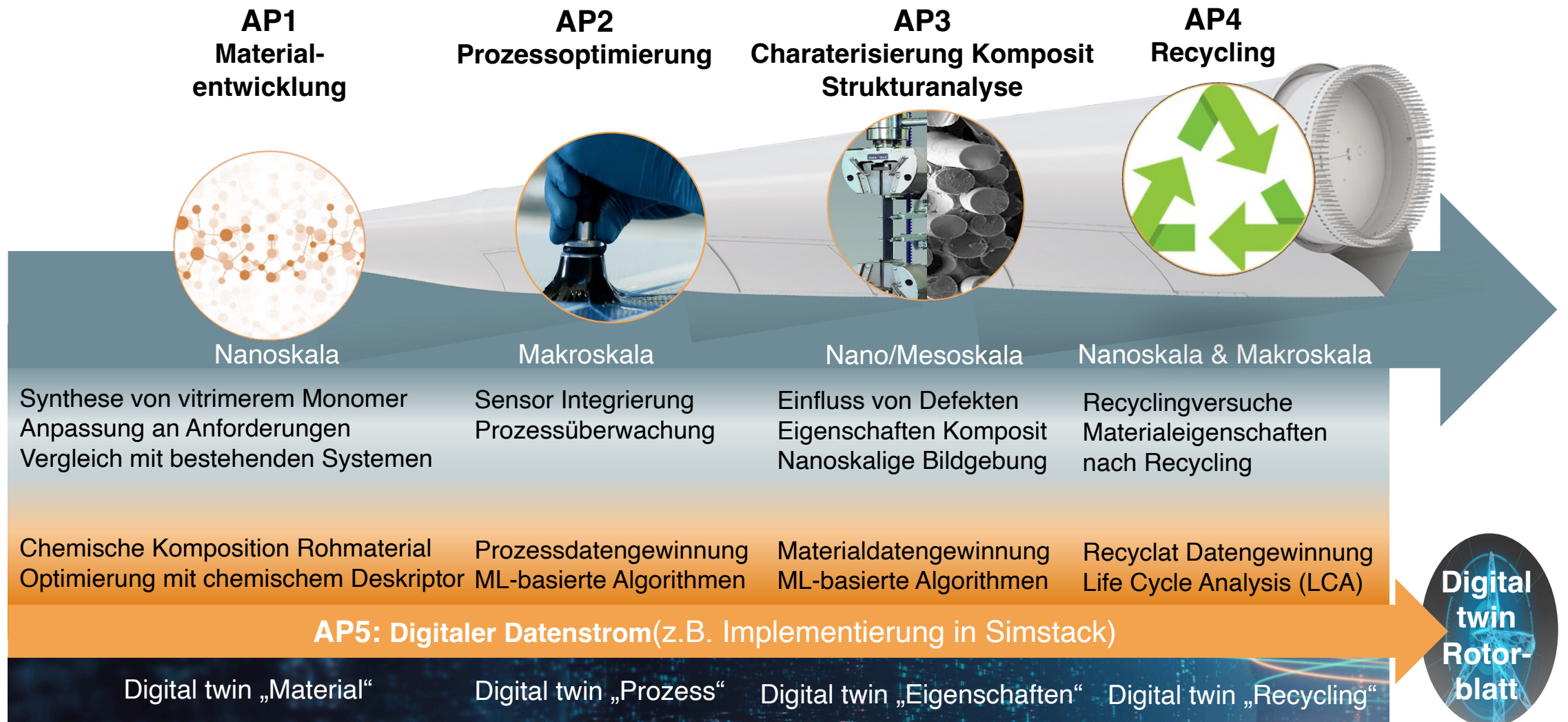


Digitale Zwillinge

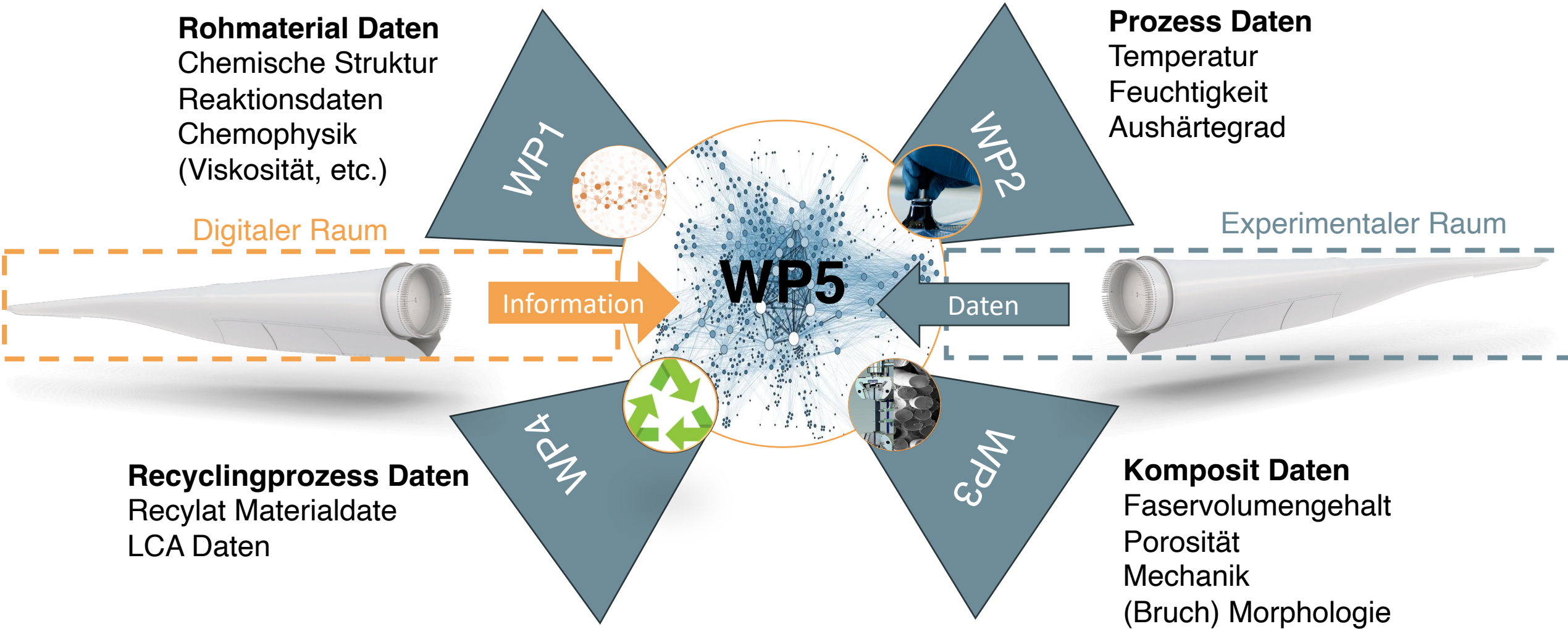
„Ein **Digitaler Zwilling** ist ein virtuelles Modell eines Prozesses, eines Produkts oder einer Dienstleistung, für dessen Erstellung mit Sensoren ermittelte Echtzeitdaten im Internet der Dinge (Industrie 4.0) durch künstliche Intelligenz und Softwareanalyse verarbeitet werden.“



Arbeitsplan & Methoden



Überblick



Die Förderaufrufe sind offen....

...ist es auch die Windkraftindustrie?



Fakt: Maximal 3x rezyklierbar
→ Lebensdauer von wenigen Wochen



Annahme: maximal 3x rezyklierbar
→ Lebensdauer von 1 Jahrhundert!

→ Massive Einsparung
von GFK-Abfall!

