

KREISLAUFWIRTSCHAFT UND KLEBTECHNIK

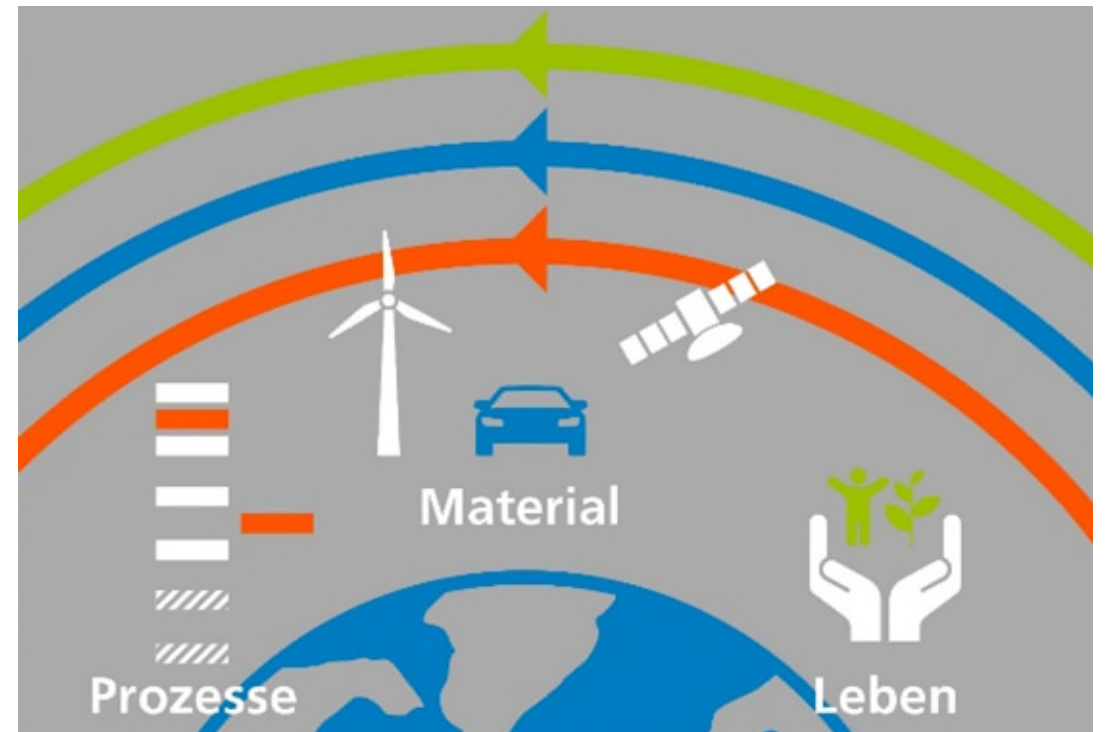
Eine Studie des Fraunhofer IFAM

Dr. Katharina Haag | Fraunhofer IFAM

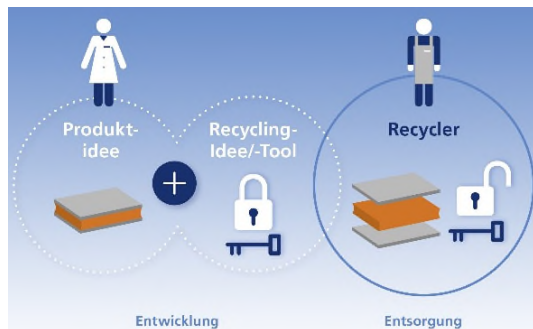
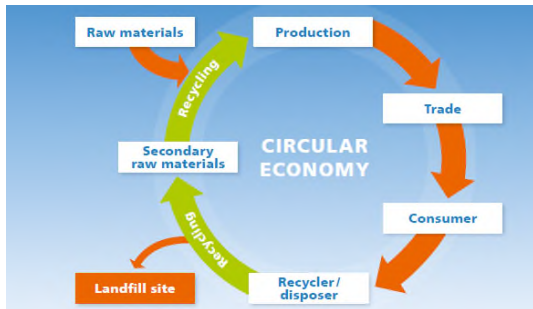
1.12.2020



Polymeric 4.0 Coffee Lectures – von Greentech bis Medtech



AGENDA



- Kurze Vorstellung Fraunhofer IFAM
- Kreislaufwirtschaft und Klebtechnik
- Klebtechnik und Ressourceneffizienz
- Lösbare Klebverbindungen – Status quo und Zukunftsvisionen
- Strategien für eine kreislaufwirtschaftswirksame Klebtechnik

Forschen für die Praxis – Die Fraunhofer-Gesellschaft

- Anwendungsorientierte Forschung zum unmittelbaren Nutzen für die Wirtschaft und zum Vorteil für die Gesellschaft
- 74 Institute und Forschungseinrichtungen
- Mehr als 28 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter
- Forschungsvolumen: 2,8 Milliarden Euro, davon rund 2,3 Milliarden Euro im Leistungsbereich Vertragsforschung
 - Über 70 % dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet Fraunhofer mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten
 - Knapp 30 % werden von Bund und Ländern als Grundfinanzierung beigesteuert



»Fraunhofer-Linien«

Die Fraunhofer-Gesellschaft

Fraunhofer-Gesellschaft

- Gegründet 1949
- 74 Institute
- 28 000 MA
- FuE-Volumen
2,8 Mrd. Euro



Fraunhofer IFAM

- Gegründet 1968, seit
1974 bei Fraunhofer
- **Bremen,**
weitere Standorte in Dresden, Stade,
Wolfsburg und Braunschweig
sowie ein Testzentrum für maritime
Technologien auf Helgoland
- Rund 700 MA
- Gesamthaushalt 2019
56,6 Mio. Euro

Fraunhofer IFAM in Bremen



Foto: © Fraunhofer IFAM/Peter Sondermann

Fraunhofer IFAM – forschen, entwickeln, anwenden



- Wurde 1968 gegründet und ist seit 1974 Mitglied der Fraunhofer-Gesellschaft
- Ist eine international bedeutende materialwissenschaftliche Forschungseinrichtung auf den Gebieten Klebtechnik, Oberflächen, Formgebung und Funktionswerkstoffe
- Definiert für sich als zentrale Leitlinien:
 - Wissenschaftliche Exzellenz
 - Starke Anwendungsorientierung mit messbarem Kundennutzen
 - Qualitätsmanagement
 - Hohe Verantwortung gegenüber unseren Mitarbeitern und der Gesellschaft

Fraunhofer IFAM – Standorte

Institutsleitung
Prof. Dr.-Ing. habil. Matthias Busse
Prof. Dr. Bernd Mayer



Bremen: Hauptstandort



Institutsteil Dresden: Pulvermetallurgie



Stade: Automatisierung und Produktionstechnik
Forschungszentrum CFK Nord



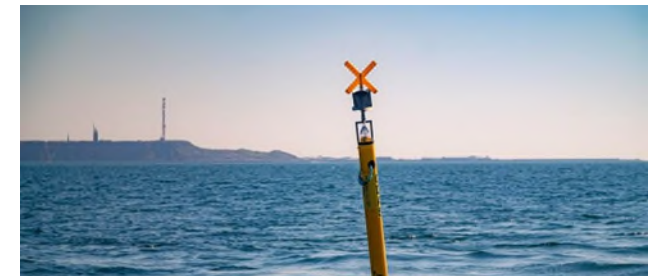
Braunschweig: Fraunhofer-Projektzentrum
für Energiespeicher und Systeme ZESS

© HDR GmbH



Wolfsburg: Fraunhofer-Projektzentrum Wolfsburg
Leichtbau und Elektromobilität

© OHLF/Wecke



Helgoland: Testzentrum für maritime
Technologien

Fraunhofer IFAM – Klebtechnik und Oberflächen

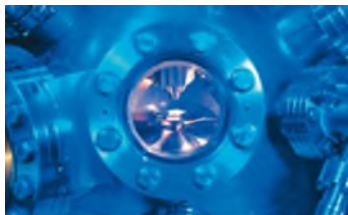


Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung für die Anwendungsgebiete:

Kleben, Oberflächentechnik, Automatisierung und Digitalisierung...

Entwicklungsschwerpunkte:

- Materialien
- Fertigungsintegration
- Schnelle Prozesse, Automatisierung, Digitalisierung
- Zuverlässigkeit und Qualität



Fraunhofer IFAM – Formgebung und Funktionswerkstoffe



Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung für die Anwendungsgebiete:

Formgebung, Funktionswerkstoffe, Smart Systems, Elektromobilität...

Entwicklungsschwerpunkte:

- Materialien
- Fertigung von Präzisionsbauteilen und Komponenten
- Fertigungsintegration, Funktionalisierung
- Smart Systems, Elektromobilität

Kreislaufwirtschaft und Klebtechnik – eine umfangreiche Studie eines interdisziplinären Autorenteam



Dipl.-Phys. Kai Brune
Abteilung Qualitätssicherung und Cyber-Physische Systeme



Prof. Dr. Andreas Hartwig
Abteilung Klebstoffe und Polymerchemie



Dr. Stefan Dieckhoff
Abteilung Adhäsions- und Grenzflächenforschung



Dr. Welch Leite Cavalcanti
Abteilung Adhäsions- und Grenzflächenforschung



Dr. Holger Fricke
Abteilung Klebtechnische Fertigung



Prof. Dr. Bernd Mayer
Leitung Fraunhofer IFAM –
Bereich Klebtechnik und Oberflächen



Prof. Dr. Andreas Groß
Abteilung Weiterbildung und Technologietransfer



Dr. Michael Noeske
Abteilung Adhäsions- und Grenzflächenforschung



Dr.-Ing. Katharina Haag
Abteilung Polymere Werkstoffe und Bauweisen



Dr. Ralph Wilken
Abteilung Plasmatechnik und Oberflächen

[Link zum kostenlosen Download](#)

MOTIVATION: Einsatzbereiche und Mengen

Zahlen und Fakten (Stand 2018)

- 1.137.000 Jahrestonnen Kleb- und Dichtstoffe
- 1.055 m² Klebebänder
- Umsatz: rd. 4 Mrd. €
- indirekt generierte Wertschöpfung: ca. 450 Mrd. €

Quelle: Industrieverband Klebstoffe e.V. - IVK



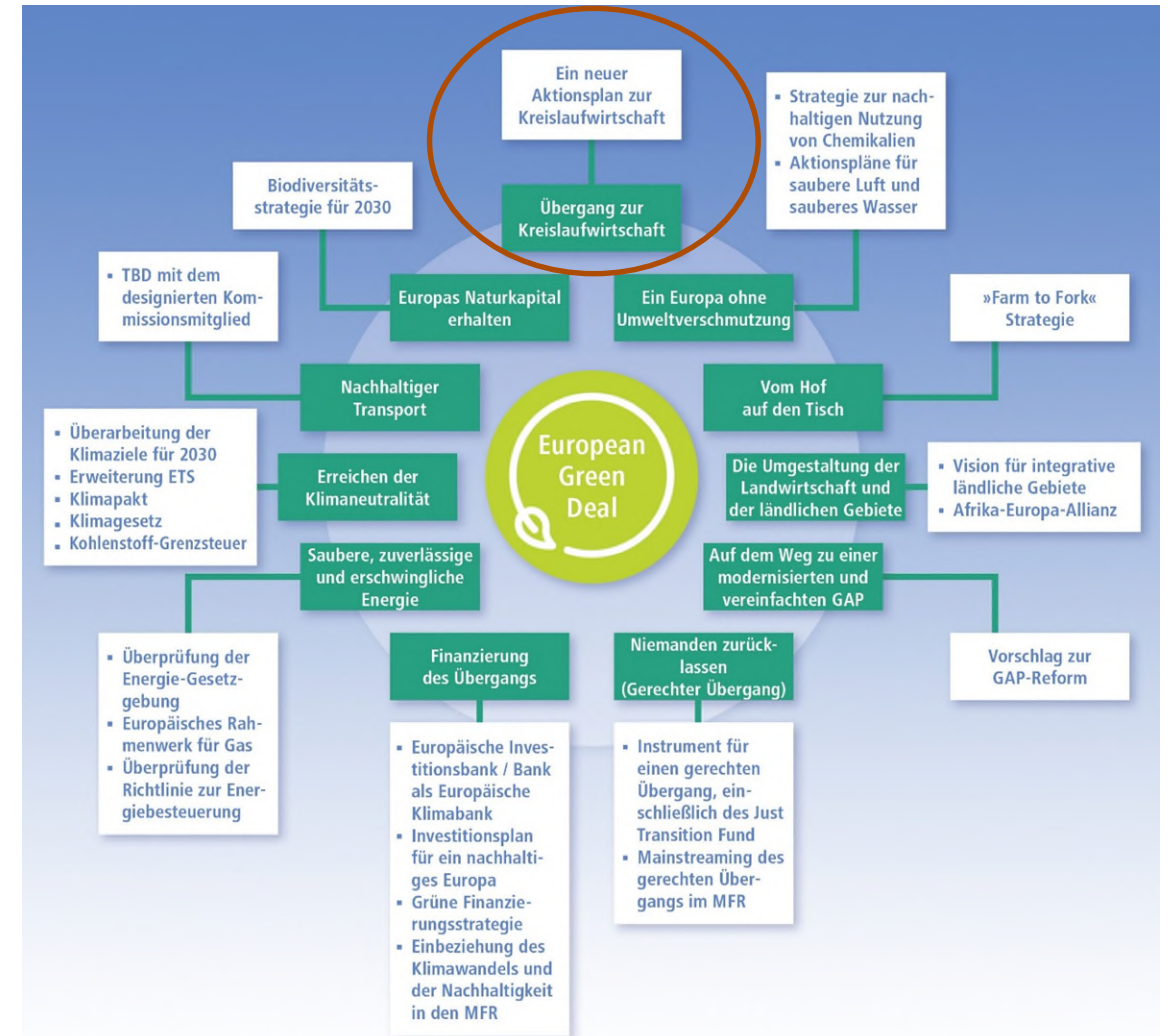
Quelle: Fraunhofer IFAM

MOTIVATION: Gesetzgebung und Gesellschaft

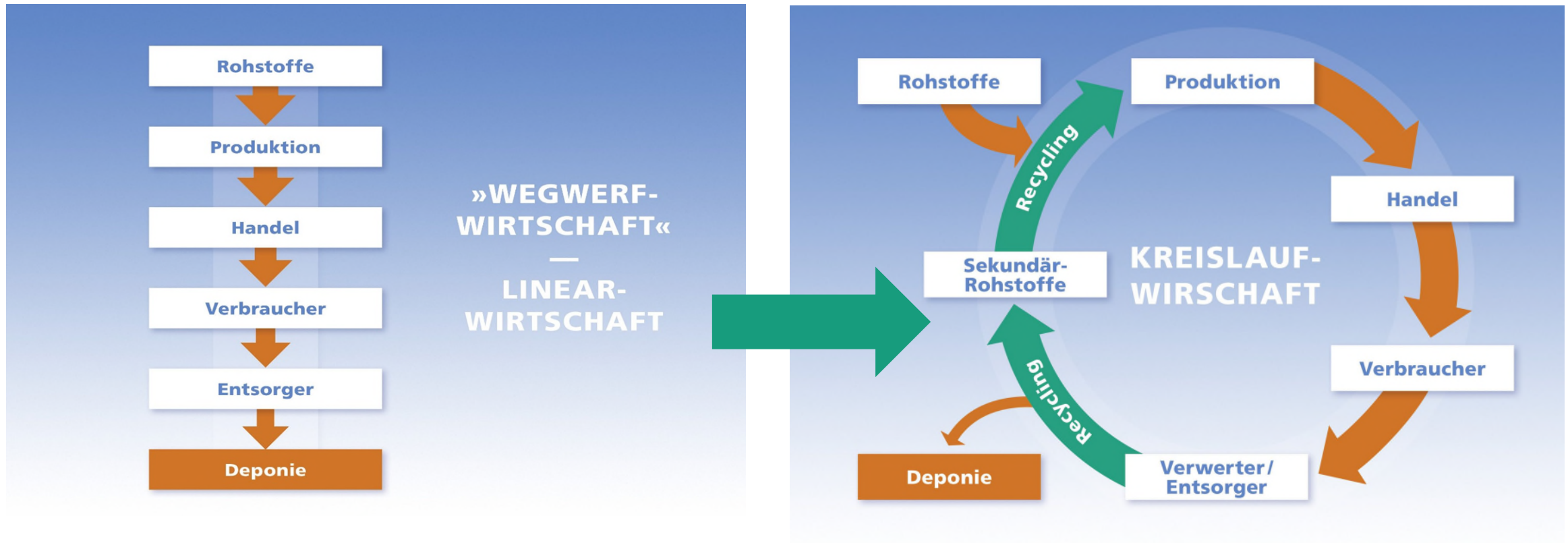
European Green Deal und Kreislaufwirtschaft

➔ Aktionsplan der Europäischen Union

➔ Positionierung der Klebtechnik:
Chancen, Risiken und Möglichkeiten



Von der Linearwirtschaft zur Kreislaufwirtschaft



➔ Klebtechnik im Spannungsfeld zwischen Kreislaufwirtschaft und Ökobilanzwirksamkeit

Kreislaufwirtschaft, Ökodesign und Ressourceneffizienz

- Beim Ökodesign sind bereits in Design und Produktentwicklung die Umweltauswirkungen über den gesamten Produktlebenszyklus einschließlich Entsorgung („End of Life“) zu betrachten.
- Ökodesign ist ein Mittel zur Realisierung von Kreislaufwirtschaft.
- Die Designphase bestimmt maßgeblich über Umweltwirkungen und Ressourcenverbrauch.



Ganzheitliche Betrachtung der Klebtechnik:

Kreislaufwirtschaft

Ökobilanzwirksamkeit



Quelle: www.continental.com



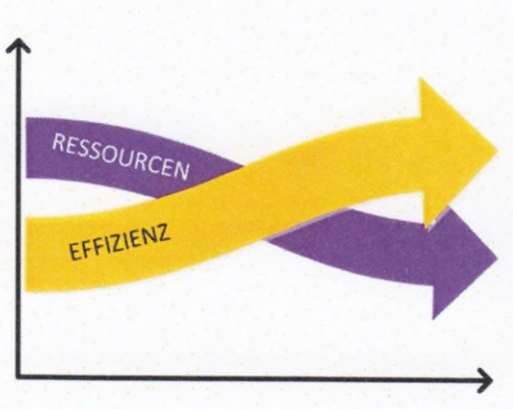
Quelle: Fraunhofer IFAM



Quelle: Koelnmesse

Kreislaufwirtschaft, Ökodesign und Ressourceneffizienz

Ressourceneffizienz:



Quelle: www.en-optimim.de

Verhältnis eines bestimmten Nutzens (z.B. eines gegenständlichen Produktes) zu dem dafür erforderlichen Einsatz an natürlichen Ressourcen.

Je geringer der dafür nötige Input an natürlichen Ressourcen und je höher der Nutzen des Produktes, desto höher die Ressourceneffizienz.

(Quelle: Kosmol, J.; Kanthak, J.; Herrmann, F.; Golde, M.; Alsleben, C.; Penn-Bressel, G.; Schmitz, N.; Gromke U.: Glossar zum Ressourcenschutz. Umweltbundesamt Dessau: Umweltbundesamt, 2012, S. 23)

Ressourceneffizienz =

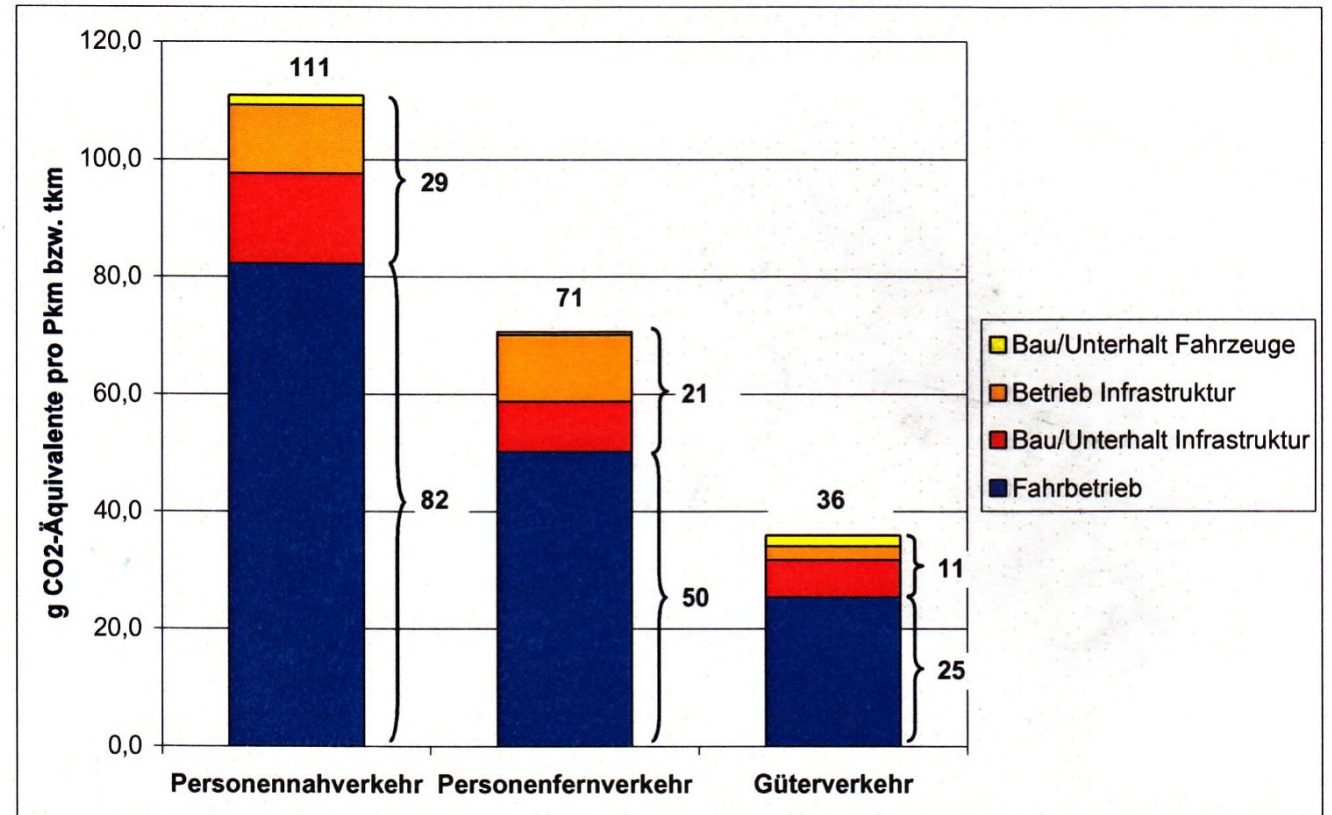
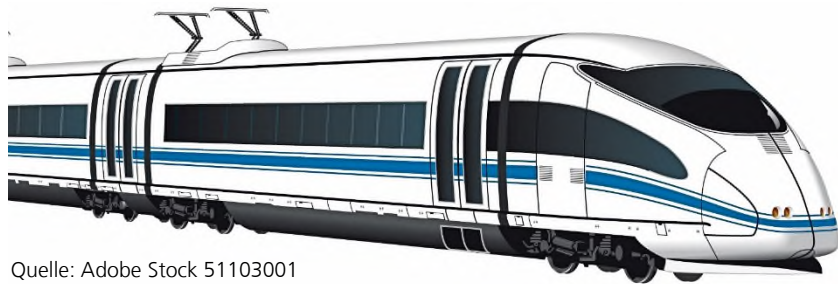
Nutzen (Produkt, Funktion, funktionelle Einheit)

Aufwand (Einsatz natürlicher Ressourcen)



**Ganzheitliche Betrachtung einschließlich des Energieaufwands:
Herstellung + Nutzung + Entsorgung („End of Life“)**

Ressourceneffizienz am Beispiel Schienenfahrzeugbau



Spezifische CO₂-Äquivalent-Emissionen pro Personen- bzw. Tonnenkilometer Schienenverkehr

Ressourceneffizienz am Beispiel Schienenfahrzeugbau



Quelle: Stadler rail AG, Bussnang, Schweiz



Quelle: Stadler rail AG,
Bussnang, Schweiz

Bedeutung der Werkstoffe:

Werkstoffeigenschaften -> Produkteigenschaften

RegioShuttle – Leichtbau aus Stahl und GFK

Bedeutung der Verbindungstechnik:

Ermöglicht optimale Werkstoffnutzung

RegioShuttle – Einsatz von GFK im Außenbereich:

Leichtbau durch Klebtechnik

Kreislaufwirtschaft & Ökodesign – Rolle der Klebtechnik



Klebtechnik steht nicht im Widerspruch zu Kreislaufwirtschaft und Ökodesign/ Ökobilanzwirksamkeit:

- Technische Klebverbindungen werden aus Produktsicherheitsgründen auf eine hohe Beständigkeit ausgelegt.
- Demontage für die Kreislaufwirtschaft notwendig → Trennung unterschiedlicher Materialien und deren Wiederverwendung auf möglichst hoher Wertschöpfungsstufe

Ziel:

Konzeptionierung geklebter Produkte in Richtung „**kontrollierter Langlebigkeit**“:
Kontrolle der Produktintegrität + Kontrolle der Werkstofftrennung

↓
Produktsicherheit

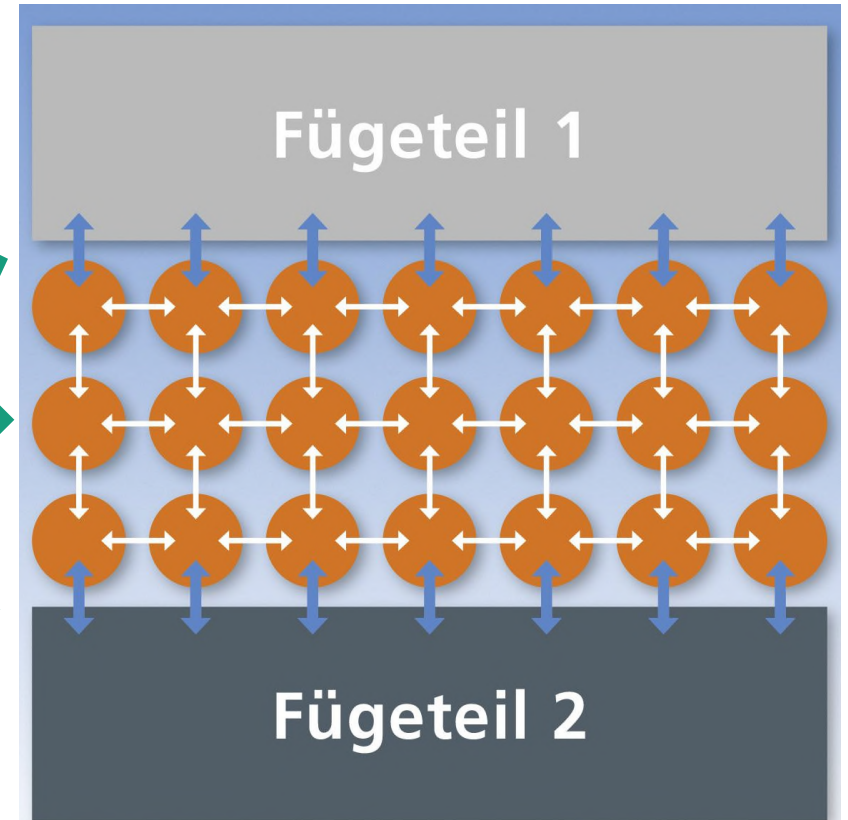
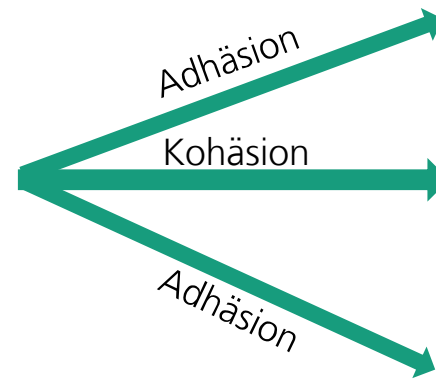
+

↓
Kreislaufwirtschaft

Kreislaufwirtschaft & Ökodesign – Rolle der Klebtechnik

Ganzheitliche Lebenszyklusbetrachtung incl. "End of Life"-Szenarien: „kontrollierte Langlebigkeit“

Realisierung: „kontrollierte Langlebigkeit“



Im Sinne der „kontrollierten Langlebigkeit“ geklebter Produkte wird bei deren Trennung das kohäsive Klebstoffversagen favorisiert.

Quelle: Fraunhofer IFAM

Lösbare Klebverbindungen – Status quo und Zukunftsvisionen

Stand der Technik: Auch nicht lösbare Klebverbindungen lassen sich trennen.

- **Mischung verschiedenster Altprodukte**

→ Schreddern mit anschließender Trennung der Fragmente

➔ Geringe Qualität des Rezyklats



- **Hohe Stückzahl gleichartiger Produkte**

→ Demontagelinie für automatisierte Zerlegung und sortenreine Sortierung

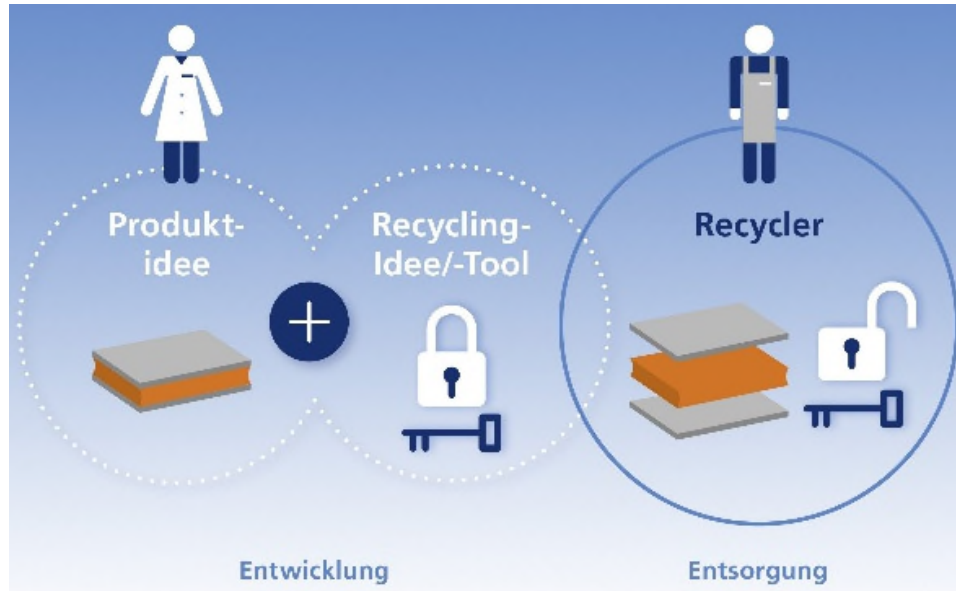
➔ Extremlösung, nur für wenige Produkte sinnvoll



Quelle: Adobe Stock 210571790

➔ Das **gezielte Debonding** ist eine Voraussetzung für Reparatur, Rückbau und Recycling.

Lösbare Klebverbindungen – Status quo und Zukunftsvisionen



- Anwender, Reparateure und Recycler müssen über die seitens des Klebstoffherstellers vorgesehene Demontagemöglichkeit informiert sein (Recycling, Reparatur).
- Demontagestrategien sollten auf lokalen Auslösern basieren.

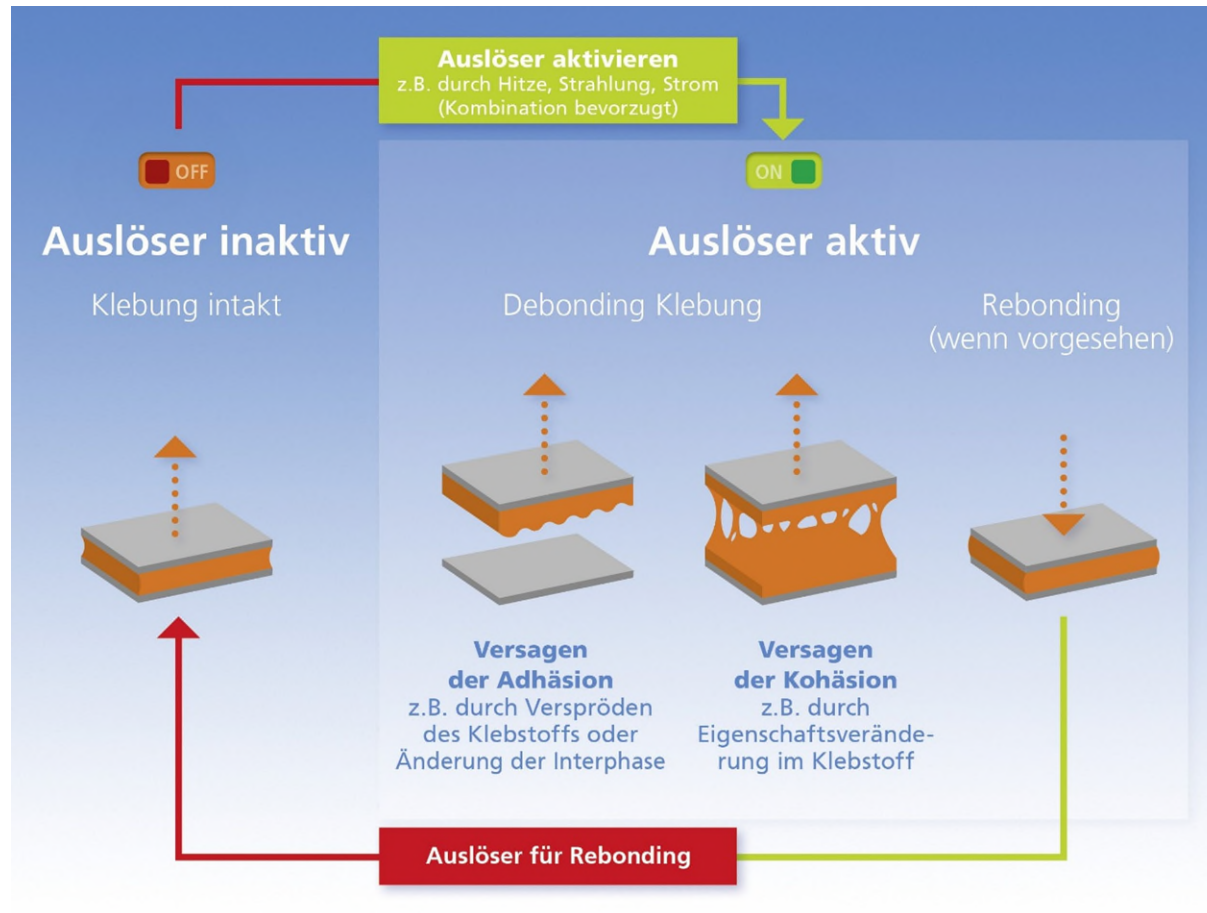
 **Das Trennen der Klebverbindung muss nicht immer sinnvoll sein:**

Ausschlusskriterien Debonding:

- hoher Ressourcenverbrauch
- Einsatz gefährlicher Komponenten im Klebstoff oder beim Löseprozess
- Sicherheitsreduzierung der Klebverbindung

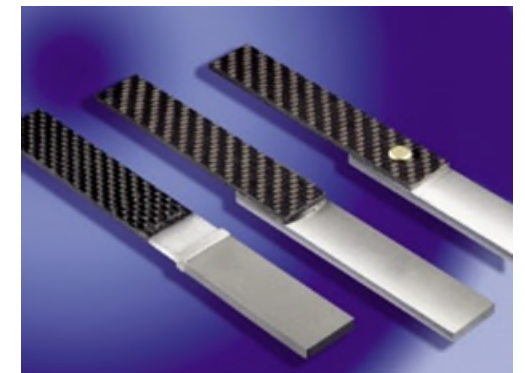


Lösbare Klebverbindungen – Status quo und Zukunftsvisionen



➔ Lösen einer Klebverbindung über einen Trigger, der in der Produktlebenszyklusphase „Nutzung“ nicht auftritt.

➔ Recycling des Klebstoffs selbst hat keinen ökologischen Impact: Rückgewinnung der Fügeteile steht im Focus



Quelle: Fraunhofer IFAM

Lösbare Klebverbindungen – Status quo und Zukunftsvisionen

Demontage-Enabler: konstruktive Maßnahmen und Demontagehilfsmittel ausschlaggebend.

Demontageoption	Art der Bauteile	Kommentar
Zerstückeln	<ul style="list-style-type: none">• Vielzahl an Bauteilgeometrien• Kleine Bauteilmaße• Hohe Stückzahlen	Serientauglich, im Einsatz
Mechanisches Lösen der Klebverbindung	<ul style="list-style-type: none">• Große Bauteilmaße• Hohes Eigengewicht der material-sortenreinen Komponenten	Forschungsbedarf: Automatisierung in der Großserienproduktion
Lösen durch Wärmeeintrag		Eigenständiges Demontagemittel, kann aber auch mit mechanischem Lösen kombiniert werden
Lösen durch gezielten medialen Einfluss		Ebenfalls mit mechanischem Lösen kombinierbar



Das Kleben bietet einen Ansatzpunkt zum Lösen des Materialverbundes.

Lösbare Klebverbindungen – Status quo und Zukunftsvisionen

Produktdesign

Klebtechnik kann als **„Enabler“ des Leichtbaus** angesehen werden:

- Klebtechnische Realisierung gezielter Strukturen, z.B. geklebte Versteifungselemente wie Rippen
- Multimaterialbauweise durch klebtechnisches Fügen von unterschiedlichen Leichtbauwerkstoffen
- Differentialbauweise → Reparaturfähigkeit
→ Designanpassungen

Individualisierung von Produkten je nach Kundenwunsch kann ohne Aufbau einer komplett neuen Produktlinie in der bestehenden Prozesskette vorgenommen werden

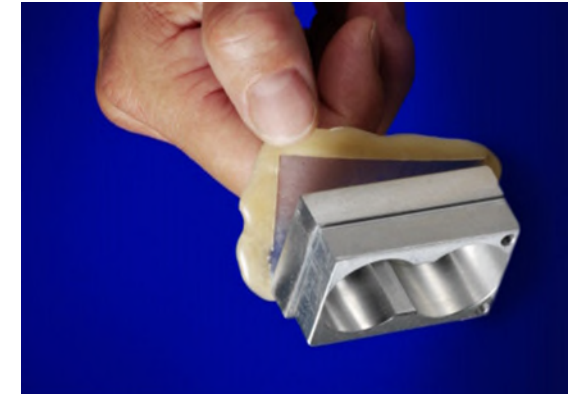


Quelle: Adobe Stock

Lösbare Klebverbindungen – Status quo und Zukunftsvisionen

Demontagegerechtes Design

- Produktsicherheit + Kreislaufwirtschaftswirksamkeit
→ vertieftes Verständnis der vorliegenden Lastfälle und den klebgerechten Umgang (z.B. Zugänglichkeit der Klebung für Spaltungsreagenzien/ Strahlung)
- konstruktive Elemente zur Steuerung der Demontage
- gezieltes Einbringen von Schälkräften in der Demontage (Schälkräfte im Produktlebenszyklus „Nutzung“ vermeiden)



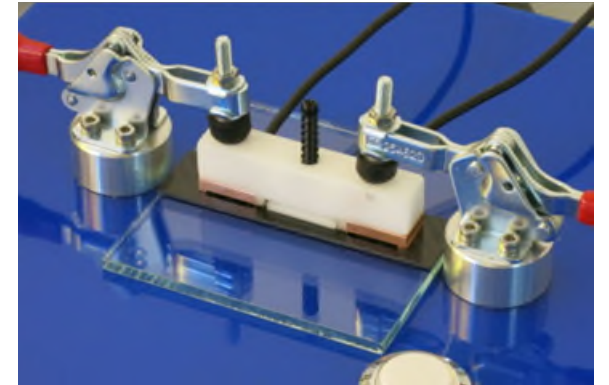
Quelle: Fraunhofer IFAM

➔ Im demontagegerechten Produktdesign sind die Demontageauslöser integriert, sind aber während der Produktlebenszyklusphase „Nutzung“ definitiv wirkungslos.

Lösbare Klebverbindungen – Status quo und Zukunftsvisionen

Lösen von Klebverbindungen / Hauptfunktion der Lastübertragung

- **E-FAST-Methode** stellt ein zum Lösen von Klebverbindungen mit der Hauptfunktion der Lastübertragung denkbares Verfahren dar.
- **Elektrochemisches Trennen:** Bei metallischen Fügeteilen bei Klebverbindungen mit lastübertragender Hauptfunktion.
- **Trennen mit überhitztem Wasserdampf:** Das Trennen lastübertragender Klebungen mit überhitztem Wasserdampf scheint ebenfalls ein hohes Potenzial zu haben.



Quelle: Fraunhofer IFAM

Lösen von Klebverbindungen / ohne Hauptfunktion der Lastübertragung

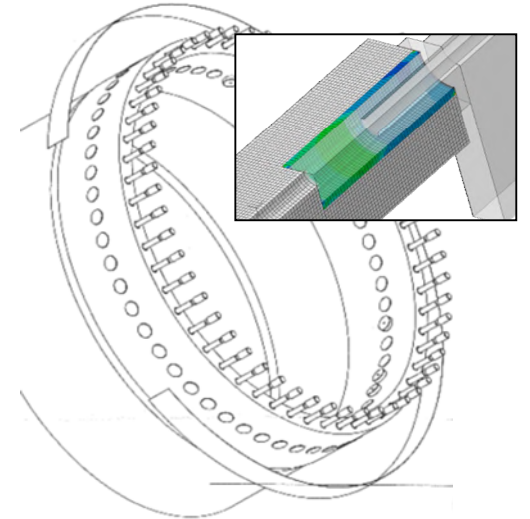
- **Große Rührreaktoren:** Bei Klebungen ohne Lastübertragung z.B. Weichverpackungen
- **Wasserlösliche / quellbare Klebstoffe (ggf. + Enzyme, gekapselte Aktivsubstanzen):** aktiv werden der Substanzen, wenn die Klebschicht genügend Wasser aufgenommen hat; Trennung von Schichten aus verschiedenen Kunststoffen oder zwischen Kunststoffen und Aluminium.



Strategien für eine kreislaufwirtschaftswirksame Klebtechnik

Auslegung und Klebstoffapplikation

- Ein klebtechnisches „Over-Engineering“ wird durch die Definition realistischer **Anforderungsprofile** (Lastenhefte) vermieden.
- Die Optimierung der **Alterungsbeständigkeit** von Klebungen verlängert die Produktlebenszyklusphase „Nutzung“.
- Die auf Klebstoff und Produkthanforderungen abgestimmte **Applikationstechnik** vermeidet Überdimensionierungen von Klebflächen und Klebfugen.



Quelle: Fraunhofer IFAM / Christof Nagel



Quelle: Adobe Stock 194875330

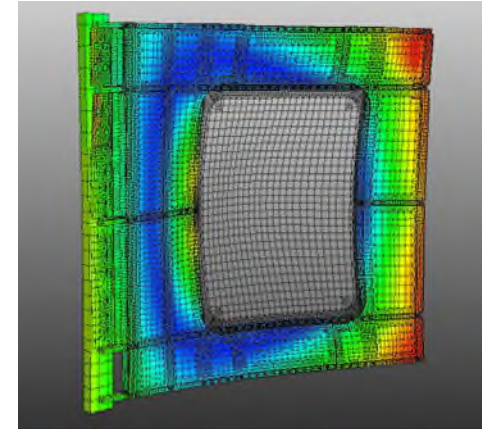
Gradierte Klebfugen

- Bei gradierten Klebfugen: Bruch der Klebung systematisch adhäsiv an einer Seite
- Bereits umgesetzt für doppelseitige Klebebänder mit beidseitig unterschiedlicher Haftung
- Übertragung auf flüssige Klebstoffe → Forschungsbedarf

Strategien für eine kreislaufwirtschaftswirksame Klebtechnik

Simulation zur Reduzierung des experimentellen Aufwands

- Reduzierung Experimental-Aufwand mit Hilfe digitaler Werkstoff-Modelle bis hin zu Lebensdauervoraussagen
- Kürzere Produktentwicklungszyklen durch validierte Modelle
- schnellere Aufnahme neuer, kreislaufwirtschaftskompatibler Werkstoffe und Bauweisen durch validierte Modelle



Quelle: Fraunhofer IFAM

Langzeitüberwachung von Klebungen mittels Structural Health Monitoring - SHM

- SHM: kontinuierliche oder periodische Methode zur Überwachung von Strukturen

(Quelle: DGZfP)

- Permanente Integration von Sensoren in die zu überwachende Struktur



- Reduktion von Wartungskosten
- Ressourcenschonender Austausch von Verschleißteilen
- Deutlicher Sicherheitsgewinn

Strategien für eine kreislaufwirtschaftswirksame Klebtechnik

Verknüpfung der Entwicklung kreislaufwirtschaftsgerecht geklebter Produkte mit der Digitalisierung (Daten)

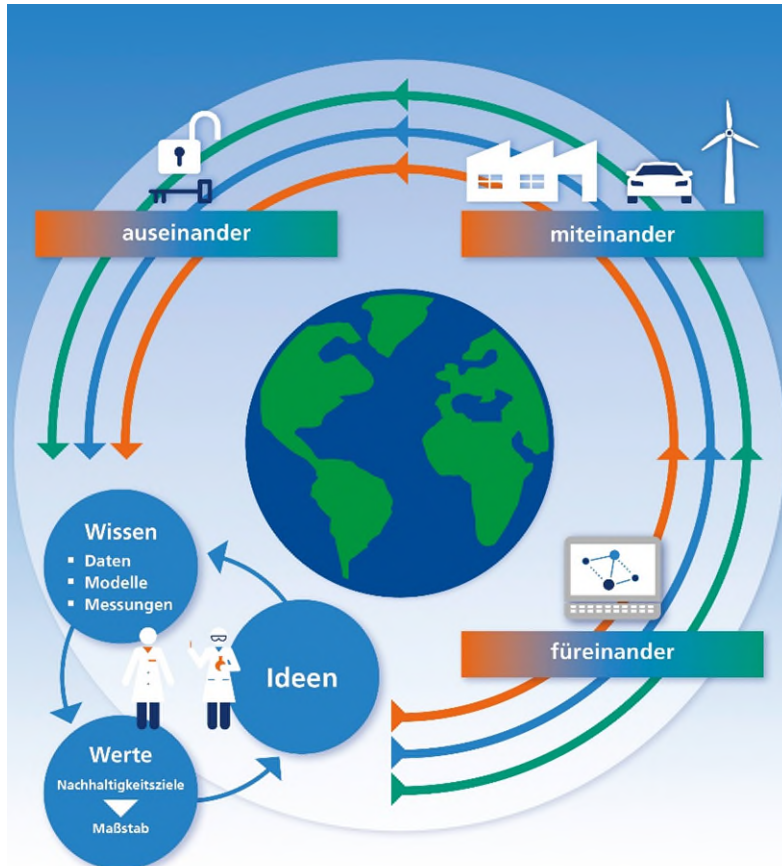
- Entwicklung einer gemeinsamen Sprache für den Datenaustausch
- Gemeinsame Sprache: technisch wie regulatorisch → **standardisierte Ontologien**



Digitalisierung hilft, bestehende Informationsdefizite auch für die Klebtechnik zu überwinden:

- Zuverlässigere Basis für Entscheidungen
- Mögliche Entstehung neuer Märkte auch für die Klebtechnik
- Selektive (hersteller- und produktbezogene) Zugangsmöglichkeit dieser Daten: z.B. gezielte Angaben der Produkthersteller zu Recycling und Demontage

Ausblick: Kreislaufwirtschaft & Klebtechnik



Quelle: Fraunhofer IFAM

- Werkstoffe werden im 21. Jahrhundert über ihre materielle Präsenz oder räumliche Anordnung zusätzlich in Verbindung mit ihren (Meta-)Daten unter Einbeziehung von „End of Life“-Szenarien sichtbar.
 - Ganzheitliche Betrachtung: Materialien werden zukünftig untrennbar mit Daten über alle Produktlebenszyklusphasen in Zusammenhang gestellt
- ➔ ökonomischer Wert dieser Zusammenhänge > Materialwert

Die Klebtechnik besitzt das technologische und ökologische Leistungsvermögen und somit das Potenzial zur führenden Verbindungstechnik des 21. Jahrhunderts.



Weitere Informationen zur Kreislaufwirtschaft und Klebtechnik:
Werfen Sie einen Blick in die komplette Studie



Kontakt:

Dr. Katharina Haag

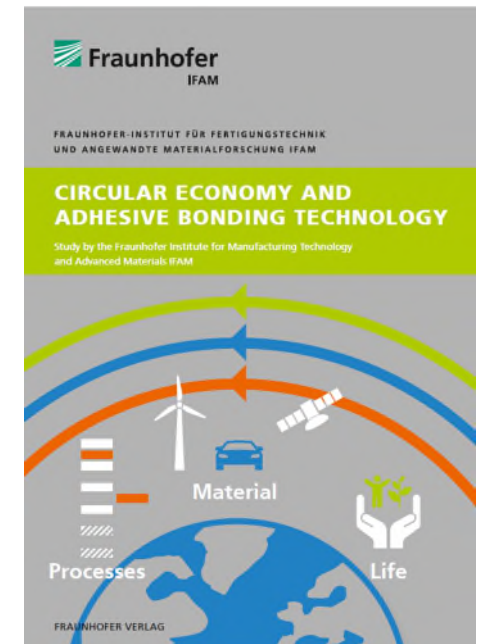
Fraunhofer IFAM

Wiener Straße 12 | 28359 Bremen | Germany

Katharina.Haag@ifam.fraunhofer.de

Phone: +49 421 2246 7643

www.ifam.fraunhofer.de



DOI: 10.24406/iml-n-603186