

# adhäsion **KLEBEN+ DICHTEN**

Das Fachmagazin für industrielle Kleb- und Dichttechnik

## **Marktübersicht**

Reaktionsklebstoffe für die Elektronik

## **Kleb- und Dichtstoffe**

Heterogene Herausforderungen beim Sandwich-Kleben

## **Anwendungen**

Epoxidharze biologischen Ursprungs schonen Ressourcen

Kleben in der Elektronikfertigung

**Effiziente Technologie für langlebige Displays**



# Klebtechnik im Kontext der Ökobilanz-Wirksamkeit und Kreislaufwirtschaft

Der Green Deal der EU-Kommission umfasst den Aktionsplan Kreislaufwirtschaft, der den Übergang von der Linearwirtschaft (auch „Wegwerf-Wirtschaft“ genannt) zur Kreislaufwirtschaft beschreibt. Häufig wird der Begriff „Kreislaufwirtschaft“ fälschlicherweise nur auf Recycling reduziert. Der Aktionsplan betrachtet den Produktlebenszyklus ganzheitlich und bewertet ihn hinsichtlich seiner Ressourceneffizienz insgesamt. Die EU-Abfallrahmenrichtlinie und das EU-Katalogisierungssystem mit den neun R-Strategien dienen als Wegweiser für die Kreislaufwirtschaft und stellen einen Bezug zwischen Ökodesign und Kreislaufwirtschaft her. In diesem Kontext leistet die Klebtechnik herausragende Beiträge und ermöglicht es, Verbindungen wieder zu trennen, ohne dem Recycling entgegenzuwirken.

Andreas Groß

Zentraler Bestandteil des Aktionsplans Kreislaufwirtschaft ist die EU-Abfallrahmenrichtlinie [1] (Bild 1). Sie umfasst folgende drei Schwerpunkte: An oberster Stelle steht die „Vermeidung von Abfall“. Dann folgt die „Verwertung von Abfall“.

Am Schluss steht die „Beseitigung von Abfall“. Auf dieser Basis ist die EU-Abfallrahmenrichtlinie hierarchisch in fünf Stufen gegliedert (Bild 1), wobei „Recycling“ erst an dritter Stelle steht. Schon jetzt wird deutlich, dass entgegen der öf-

fentlichen Wahrnehmung und der politischen Bewertung „Recycling“ nicht oberste Priorität hat [2], [3].

## Klebtechnik und R-Strategien

Das Kerngerüst der Überführung einer Linearwirtschaft hin zu einer Kreislaufwirtschaft folgt den drei hierarchisch aufgebauten Leitprinzipien

1. Intelligenterer Produktverwendung und -herstellung zur Verringerung des Rohstoffverbrauchs,
2. Verlängerung der Lebensdauer des Produkts und seiner Teile, um Rohstoffe im Wirtschaftssystem zu halten und
3. nützliche Anwendung von Materialien zur Gewinnung von Sekundärrohstoffen.

Es gliedert sich auf dieser Basis in die sogenannten neun R-Strategien – R1-reuse, R2-rethink, R3-reduce, R4-reuse, R5-repair, R6-refurbish, R7-remanufacture, R8-repurpose und R9-recycle – auf (Bild 2). Das heißt, die Transformation

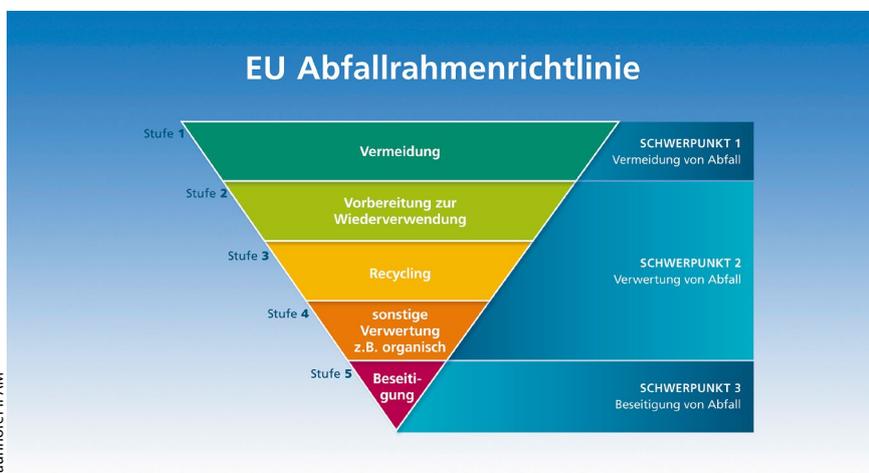


Bild 1 Abfallhierarchie der EU.

in Richtung Kreislaufwirtschaft umfasst somit nicht nur weit mehr als das Einzelelement „R9-recycling“. „Recycling“ steht auch an letzter Stelle. Die anderen R-Strategieelemente sind dem Recycling übergeordnet [4].

● **R1-refuse (verweigern)**

R1-refuse ist ein übergeordnetes, umfassendes und technologieunspezifisches R-Strategieelement. Der Produktnutzen kann auch anderweitig erfüllt werden, für Verbraucherinnen und Verbraucher ist das Produkt also nicht notwendig, und sie können darauf verzichten.

● **R2-rethink**

Das Umdenken (rethink) fängt im Kopf an. In der Kreislaufwirtschaft geht es grundsätzlich darum, nicht nur bewusst beim Kauf, sondern auch bei der Nutzung zu konsumieren. Wenn ein Gebrauchsgerät regelmäßig durch Instandhaltung, Reinigung und Pflege gewartet wird, kann dessen Haltbarkeit (Langzeitbeständigkeit) deutlich erhöht werden. Die Verbesserung der Langlebigkeit von Produkten zum Erhalt der Rohstoffe innerhalb des Kreislaufsystems gehört im Sinne des Strategieelements R2-rethink, also der längeren Produktnutzung, mit zu den wirksamsten Ökodesignstrategien.

Durch die Langzeitbeständigkeit von Klebungen verlängert sich für geklebte Produkte die Produktlebenszyklusphase „Nutzung“. So steigt die Lebensdauer eines Autos stetig [5]. Die Gesamtfahrleistung eines ICE bei einer projektierten Lebensdauer von 20 Jahren und einer Jahresfahrleistung von 500.000 km beträgt 20 Mio. km. Flugzeuge fliegen bis zu 30 Jahren und werden dafür regelmäßig überwacht und instandgesetzt [6], [7].

In Windenergieanlagen sind auf Grund der hohen Rotationsgeschwindigkeiten von bis zu 390 km/h die Vorderkanten der Rotorblätter hohen Abrasionsbelastungen ausgesetzt. Die daraus sich ergebenden Reparaturen der massiven Laminatschädigungen, insbesondere im Bereich der Vorderkanten, müssen möglichst schnell erfolgen, um die aus den Beschädigungen entstehenden Verwirbelungen und die daraus resultierende aerodynamische Verschlechterung, die letztlich einen Verlust an Energieausbeute erzeugt, zu minimieren. Daher wird bereits bei der Rotorblatfertigung eine Schutzschicht auf die besonders beanspruchten Vorderkanten geklebt, um auch unter den extremen Offshore-



**Bild 2** Die R-Strategien im Kontext EU-Abfallrahmenrichtlinie und Kreislaufwirtschaft.

Bedingungen eine dauerhaft glatte Oberfläche zu garantieren. Diese erforderliche Oberflächenglätte können andere Verbindungsverfahren nicht realisieren. Schrauben und Nieten sind aufgrund von Schäden am Rotorblatt-Laminat und den durch Spannungsspitzen verursachten Verringerungen der mechanischen Belastbarkeit des Rotorblatts unpassend. Die Köpfe der Schrauben und Nieten verursachen zudem erhebliche Verwirbelungen, die die Energieausbeute reduzieren. Die beschriebenen Klebungen stellen somit nicht nur die projektierte Energieausbeute sicher. Sie verhindern ebenfalls den sonst aus der Laminatschädigung entstehenden Eintrag von Mikroplastik in die Umwelt. Die gemäß R2-rethink geforderte Langlebigkeit ist in vielen Strukturen geklebter Produkte nachgewiesen. Aus ganzheitlicher Sicht ermöglicht das Kleben somit Bau- und Konstruktionsprinzipien mit deutlich verbesserten Ökobilanzen.

Darüber hinaus verlängert sich die Produktlebenszyklusphase „Nutzung“ durch die kontinuierliche Verbesserung der Alterungsbeständigkeit durch den Einsatz optimierter Oberflächenbehandlungsverfahren. Diese verbessern als essenzieller Langzeitbeständigkeitsfaktor die Adhäsion zwischen den Fügeflächen und dem jeweiligen Klebstoff [8][9][10][11].

● **R3-reduce**

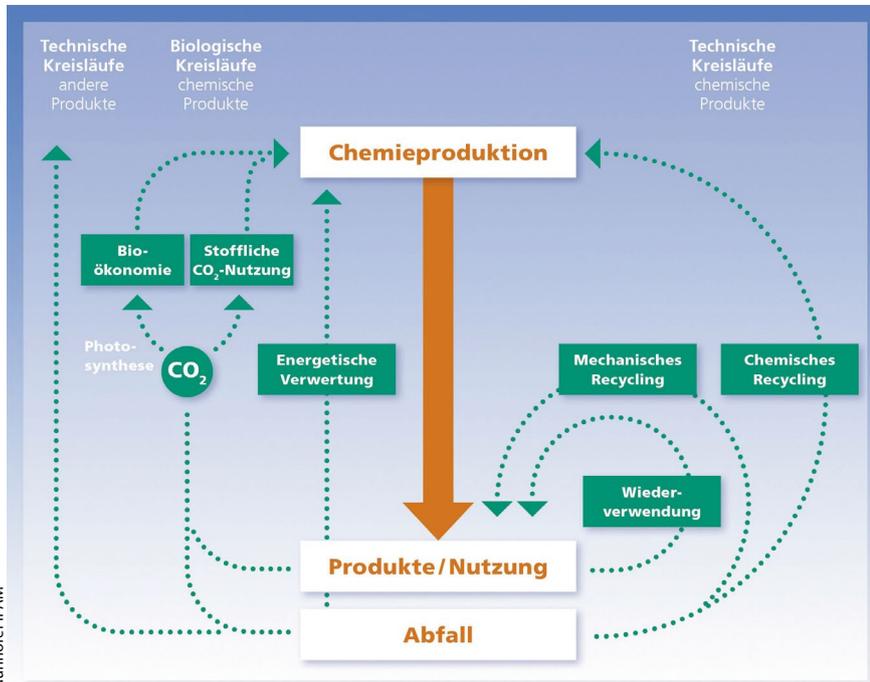
Die Leichtbauweise besteht darin, langfristig die gleiche Funktionalität mit weniger Material zu erzielen. Damit zählt sie zweifelsohne zu den wirksamsten Ökodesignstrategien zur Vermeidung von Abfall und zur Energieeinsparung in der Produktlebenszyklusphase „Nutzung“ [12]. Die Klebtechnik ist auf Grund ihres einzigartigen Potenzials, alle Werkstoffe mit sich und anderen langzeitbeständig und sicher zu verbinden und dabei gleichzeitig Werkstoffeigenschaften im Produkt zu



**Bild 3** Reparieren als ressourcenschonendes R-Strategieelement.



**Bild 4** Reparatur einer defekten Autoscheibe.



**Bild 5** Recycling im Kontext Kreislaufwirtschaft.

erhalten, eine der wichtigsten Füge-technologien zur Umsetzung sowohl des konstruktiven als auch werkstofflichen Leichtbaus [13], [14]. Sie stellt demzufolge eine Schlüsseltechnologie auch für die Kreislaufwirtschaft dar.

Klebstoffe sind bei der Miniaturisierung (zum Beispiel in der Elektronikfertigung) auf Grund ständig steigender Funktionalitäten, die immer kleinere Dimensionen erfordern, zwingend erforderlich und ideal geeignet, auch auf kleinstem Raum verschiedenste Werkstoffe unter Erhalt ihrer Eigenschaften schnell und ebenfalls sicher sowie langzeitbeständig zu verbinden [15], [16].

Die Klebstoffe ermöglichen bei der Miniaturisierung jedoch im Sinne der Produktlebensdauererweiterung zusätzlich das werkstoffgerechte, hochpräzise Fügen von Miniaturbauteilen [17]: Fixieren von Spulen, Abdichten von Gehäusen, Einsatz als Chipvergussmassen im Hochzuverlässigkeitsbereich zum Schutz feiner Chipstrukturen und Drähte vor mechanischen Belastungen wie Vibrationen und Temperaturschwankungen und Umwelteinflüssen wie Feuchtigkeit und Korrosion. Dies kann mit anderen Füge-techniken nur mit deutlich höherem Aufwand oder gar nicht realisiert werden [18], [19].

● **R4-reuse, R5-repair, R6-refurbish, R7-remanufacture, R8-repurpose**

Im Zusammenhang dieser dem 2. Leitprinzip „Verlängerung der Lebensdauer des Produkts und seiner Teile“ zugeordneten R-Strategieelemente wird der Schwerpunkt hier auf R5-repair gelegt. Kleben ist bereits heute, auch bei nicht geklebten Produkten, das am häufigsten eingesetzte Reparaturverfahren und bewirkt, dass ein Produkt länger verwendet und dadurch Rohstoffe länger im Kreislauf gehalten werden (Bild 3). Viele Reparaturen im privaten, handwerklichen und industriellen Bereich wäre ohne Kleben nicht denkbar.

Im berufsmäßigen Einsatz wird klebtechnisch nach detailliert ausgearbeiteten Reparaturanweisungen verfahren. Bereits seit Jahrzehnten werden in Verkehrsmitteln – das Auto ist nur ein Beispiel (Bild 4) – defekte Scheiben entfernt und neue Scheiben eingeklebt. Der Scheibenausbau ist bereits in der Konstruktion berücksichtigt. Diese Reparatur wird in allen Autowerkstätten nach vorgegebenen, erprobten Verfahren durchgeführt.

Auch Displayscheiben von Mobiltelefonen lassen sich oft mittels Reparaturkits austauschen. Im Internet gibt es für nahezu jeden Telefentyp Reparaturanweisungen, so dass auch der versierte Laie viele Reparaturen – einschließlich des Lösen der Klebverbindungen – selbstständig ausführen kann.

Die angeführten Beispiele sind grundsätzlich auf nahezu alle anderen klebtechnischen Anwendungsbereiche wie Schiffbau, Optik, (Zahn-)Medizin, Medizintechnik, Haushaltsgeräte, Akustikindustrie, Schuh- und Sportartikelindustrie und viele mehr übertragbar.

● **Einschub: nichtlösbare Verbindungstechniken – ein mögliches Missverständnis auch für die Kreislaufwirtschaft und die R-Strategieelemente R4 bis R9**

Das Kleben wird technisch korrekt den „nichtlösbaren“ Verbindungstechniken zugeordnet [20, 21]. Diese richtige Zuordnung wird aber landläufig und auch auf politischer Entscheidungsebene in der landläufigen wie politischen Bewertung der Klebtechnik grundsätzlich und insbesondere im ökologischen Kontext völlig falsch verstanden. Dieses falsche Verständnis führt zu der ebenso falschen Bewertung, dass „nichtlösbare“ Verbindungen (wie das Kleben) auf Grund ihrer scheinbaren Nicht-Trennbarkeit die

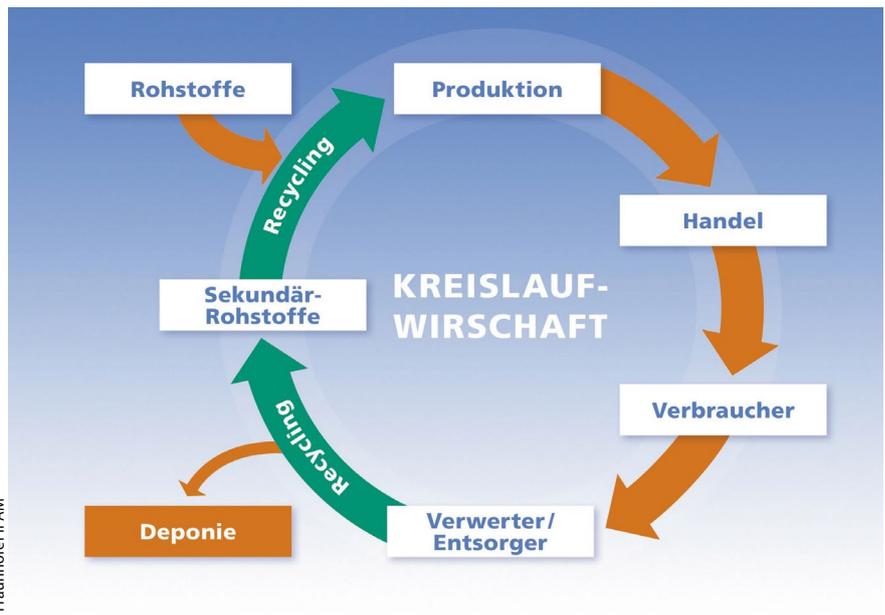
R-Strategieelemente R4-reuse, R5-repair, R6-refurbish, R7-remanufacture, R8-repurpose und insbesondere R9-recycle erschweren beziehungsweise verhindern. Grundsätzlich – und damit auch für die Klebtechnik – gilt: Jede, sowohl die mit „lösbaren“ [20] als auch die mit „nichtlösbaren“ Verbindungstechniken [21] hergestellte Verbindung kann auch wieder gelöst werden [22]. Der Unterschied zwischen beiden Verbindungstechniken besteht lediglich darin, dass bei den „lösbaren“ die Fügepartner durch den Trennprozess keine (in der Regel geometrische) Beschädigung erleiden und als Fügepartner nach dem Trennprozess für neue Produktherstellungen erneut eingesetzt werden können. Bei mit „unlösbaren“ Verbindungstechniken [21] hergestellten Produkten werden ein oder beide Fügepartner (in der Regel geometrisch) durch den Trennvorgang beschädigt. Bei Reparaturen (R5-repair), bei denen einer der beiden Fügepartner defekt ist, sind Klebungen deshalb so zu designen, dass die getrennte Klebverbindung mit oder ohne restlichen Klebstoff auf der Seite des funktionsfähigen, geometrisch nicht beschädigten Fügepartners mit Hilfe eines geeigneten Klebstoffs direkt wieder repariert und so der defekte Fügepartner ausgetauscht werden kann (Bild 4). Bei reinen Demontageaufgaben im Rahmen einer Reparatur ist dafür zu sorgen, dass beide Fügepartner bei der Trennung nicht beschädigt und (mit und ohne restlichen Klebstoff auf den Fügeflächen) mit Hilfe eines geeigneten Klebstoffs wieder direkt miteinander verbunden werden können.

Beiden Verbindungsarten ist gemein, dass die grundsätzliche Recyclingfähigkeit nicht von der gewählten Verbindungstechnik, sondern von den gewählten Materialeigenschaften der Fügepartner-Werkstoffe abhängt. Dies gilt sowohl für „lösbare“ als auch für „nichtlösbare“ Verbindungstechniken im Zusammenhang mit dem Strategieelement R9-recycle.

Die Trennprozesse geklebter Produkte wurden dazu 2020 eigens in der DIN/TS 54405:2020-12 [23] zusammenfassend veröffentlicht. Das Dokument stellt dem Anwender schon jetzt eine Leitlinie zum Trennen geklebter Verbindungen zur Verfügung und wird Gegenstand eines aktuellen Projekts [24] derzeit in eine ISO-Norm überführt.

● **R9-recycle**

Weder das innovativste Produktdesign noch eine optimierte Produktherstellung



© Fraunhofer IFAM

**Bild 6** Reduzierung der Kreislaufwirtschaft/Klebtechnik auf R9-Recycle.



© Fraunhofer IFAM

**Bild 7** 9 R statt nur R9: R-Strategien statt nur Recycling.

und -nutzung können in der Regel verhindern, dass Produkte oder Produktteile nach einer möglichst langen Produktlebenszyklusphase „Nutzung“ zu Abfall werden. Der Grund dafür besteht darin, dass ab einer gewissen Nutzungsdauer der Aufwand für die Strategieelemente R4 bis R8 zu hoch wird. Das hat auf Grund zusätzlichen Verbrauchs an Materialien und Energie ökonomische und – noch mehr – ökologische Gründe.

Die Aufgabe besteht folglich darin, möglichst viele der im Produkt enthaltenen

Ressourcen zurückzugewinnen. Hierbei hat sich folgende Hierarchie entwickelt:

- Stoffliche Verwertung (Materialrecycling)
- Energetische Verwertung (Verbrennung)
- Entsorgung (Deponie)

Bei der stofflichen Verwertung wird zwischen mechanischem und chemischem Recycling unterschieden (Bild 5).

Beim mechanischen Recycling stellt nach einem möglichst optimalen Sortierprozess das Trennen der in einem Pro-



**Bild 8** „Verifizierte Langlebigkeit“: untrennbare Verknüpfung von Produktsicherheit und Ökobilanzwirksamkeit.



**Bild 9** „Verifizierte Langlebigkeit“: Leistungen der Klebtechnik.

dukt enthaltenen Materialien heute eine Schlüsselaufgabe in allen Recyclingprozessen dar. Nahezu alle Produkte des täglichen Lebens bestehen heute aus einer Kombination unterschiedlichster Materialien. Hierbei erfährt das Kleben auf Grund seiner herausragenden Eigenschaft, alle Werkstoffe unter Erhalt ihrer Eigenschaften langzeitbeständig und sicher fügen zu können, eine immer größere Bedeutung. Unabhängig davon, welches Fügeverfahren auch immer eingesetzt wird, schon beim Design des Verbundes muss das Trennen für die Produktlebenszyklusphase „End of Life“ berücksichtigt werden. Dazu ist eine genaue Kenntnis des Recyclingprozesses der designten Produkte erforderlich, da in den Recyclingprozessen jeweils spezifische Sortier- und Trennprozesse integriert sind. Sind diese Anforderungen bekannt, können für alle Füge-

verfahren, das heißt auch für das Kleben, entwickelt werden. Beim chemischen Recycling werden, um durch Zuführung von Energie in Form erhöhter Temperatur und Druck die in den Materialien enthaltenen Kohlenwasserstoffe zurückzugewinnen, verschiedene Verfahren eingesetzt [25]. Diese Verfahren reichen von der Solvolyse homogener, sortenreiner Abfälle über die Pyrolyse definierter Abfallgemische bis hin zur Gasifikation breiter Abfallsortimente. Ob gefügte, aus unterschiedlichen Kunststoffen bestehende Produkte vorher getrennt werden müssen, kann nur bei Kenntnis des spezifischen chemischen Recyclingprozesses gesagt werden. Jedoch sollten auch hier anhaftende Klebstoffreste auf Grund der geringen Menge und ihrer chemischen Zusammensetzung keine Probleme bereiten.

Die verbleibenden Klebstoffreste werden in vielen Recyclinganlagen dem energetischen Recycling zugeführt. Ein Materialrecycling des Klebstoffs macht auf Grund der geringen Menge und der Heterogenität der eingesetzten Stoffe weder ökologischen noch ökonomischen Sinn. Die meisten Klebstoffe lassen sich sehr effektiv verbrennen, so dass der letzte Schritt in der Abfallverwertung, die Deponie, für verwendete Klebstoffe nicht relevant ist.

**Zusammenfassung und Ausblick**

Das übergeordnete Ziel einer Kreislaufwirtschaft, das heißt die Optimierung der Ökobilanzwirksamkeit, besteht darin, Wertstoffe so lange wie möglich im Wirtschaftskreislauf zu halten. Aus diesem Grund darf die Kreislaufwirtschaft nicht, wie es leider allzu häufig geschieht und in *Bild 6* dargestellt ist, auf das Thema „Recycling“ reduziert werden. In gleicher Weise darf auch die Klebtechnik nicht auf das Thema „Recycling“ reduziert werden [26]. R9-recycle ist lediglich ein R-Strategieelement. Der Einsatz der Klebtechnik ist grundsätzlich über die Produktlebenszyklusphasen „Entwicklung“, „Nutzung“ und „End of Life“ vor dem Hintergrund ihrer technologischen und ökologischen Leistungsfähigkeit bezogen auf die R-Strategieelemente R2 bis R9 ganzheitlich im Sinne der „Ökobilanzwirksamkeit“ zu bewerten (*Bild 7*). Diese Ökobilanzwirksamkeit impliziert die „Verifizierte Langlebigkeit“ [27], das heißt die untrennbare Verknüpfung von gesetzlich geforderter Produktsicherheit [28] und die erforderliche Ökobilanzeffizienz im Sinne der Kreislaufwirtschaft (*Bild 8*), zur Grundlage geklebter Produkte zu machen. Im Bereich „Produktsicherheit“ gilt, dass die dem Anwender zur Verfügung stehenden Kleb- und Dichtstoffe Hochleistungsprodukte sind, die, wenn sie fachgerecht schon bei der Entwicklung und in der Herstellung geklebter Produkte fachgerecht eingesetzt werden, zu einer Null-Fehler-Anwendung führen. Letzteres wird – inzwischen weltweit – durch qualitätssichernde Anwenderstandards [29][30][31] und durch personalzertifizierende, produktneutrale, branchen- und hierarchieübergreifende Klebpersonal-Qualifizierungen [32][33][34] unterstützt. Hinsichtlich der Ökobilanz gilt, dass die Klebtechnik – wie dargestellt eine im Sinne der Krei-



## Studie des Fraunhofer IFAM zur Bedeutung der Klebtechnik für die Kreislaufwirtschaft

Die Studie „Kreislaufwirtschaft und Klebtechnik“ des Fraunhofer IFAM beschreibt branchenübergreifend und umfassend die Rolle der Klebtechnik im Kontext der Kreislaufwirtschaft sowie Ökobilanzen und ordnet diese in die politischen Rahmenbedingungen aus globaler und europäischer Sicht ein. Damit greift die Studie die in diversen Industriezweigen steigende Bedeutung von Materialentwicklungen und Verbindungstechnologien zur Schonung von Ressourcen und zur Vermeidung einer Linearwirtschaft auf.

laufwirtschaft und Ökobilanzwirksamkeit hocheffektive Verbindungstechnik ist [35]. Ausgewählte F&E-Bereiche für ein ökobilanziell effizientes und kreislaufwirtschaftsgerechtes Produktdesign stellen zum Beispiel Konstruktionsmethoden mit dem Ziel eines demontagefreundlichen Designs dar. Dafür ist die Produktlebenszyklusphase „End of Life“ (Entsorgung) bereits in der Entwicklung geklebter Produkte als fester Bestandteil zu integrieren, jedoch im Sinne der oben genannten „Verifizierten Langlebigkeit“, das heißt ohne Beeinträchtigung der Produktsicherheit. Ein weiteres Thema in diesem Kontext ist beispielsweise das gezielte Debonding als Voraussetzung für Reparatur, Demontage und Recycling.

Hinsichtlich der klebtechnischen Anwendungsmethoden stellen die Bemessung von Klebverbindungen und der Klebstoffauftrag exemplarische F&E-Bereiche dar. Hierbei geht es um die Erstellung realistischer Anforderungsprofile (Spezifikationen) zum Beispiel mit der Vorgabe, „Over-Engineering“ zu vermeiden. Die Alterungsbeständigkeit geklebter Verbindungen sowie auf den Klebstoff und auf das Anforderungsprofil abgestimmte Auftragstechniken zählen ebenfalls dazu.

Das gezielte Debonding als Voraussetzung für Reparatur, Demontage und Recycling stellt auch im Zusammenhang bei der Entwicklung von Kleb- und Dichtstoffen einen Schwerpunkt dar. Weitere Schwer-

punkte sind auf die Entwicklung von Klebstoff-Rohstoffen aus Polymerzyklaten, auf das Auffangen (Binden) von Kohlendioxid, auf Klebstoffe mit hoher Kompatibilität zu den Substratmaterialien und auf die stärkere Nutzung nachwachsender Rohstoffe in Klebstoffen, sowohl für nicht reaktive als auch für reaktive Klebstoffe, zu legen.

Letztlich wird die Digitalisierung den Einsatz der Klebtechnik bei der Überwindung bestehender Informationsdefizite unterstützen und computerunterstützte Simulationen führen zur Reduzierung experimentellen Aufwands (Stichwort: digitaler Zwilling). Die digitalisierte Langzeitüberwachung von Klebverbindungen durch Structural Health Monitoring (SHM) ist ein weiteres Schwerpunktbeispiel.

Der Einsatz der Klebtechnik wird sich im 21. Jahrhundert auf Grund der zunehmenden Werkstoffvielfalt und der gleichzeitig zunehmenden Notwendigkeit der Differenzialbauweise (Multimaterialverbunde) verstärken (müssen). Die dazu notwendigen technologischen und ökologischen Voraussetzungen sind technologieimmanent und alle beteiligten „Kleb-Partner“ haben ihre Innovationsfähigkeit bereits in der Vergangenheit zur Genüge unter Beweis gestellt, so dass es überhaupt keine Zweifel daran gibt, das nicht auch in der Zukunft zu tun.

Die „Verifizierte Langlebigkeit“ (Bild 9) stellt dafür die inhaltliche Basis dar. //

## Literaturhinweise

- [1] Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz – KrWG), § 6 / <https://www.gesetze-im-internet.de/krwg/6.html>, aufgerufen am 01.02.2024
- [2] Groß, A.: Kontrollierte Langlebigkeit – eine Vision für die Klebtechnik im 21. Jahrhundert. In: Dichtungstechnik Jahrbuch (2023); K.-F. Berger, S. Kiefer (Hrsg.); ISGATEC GmbH; Mannheim, S. 208-251,
- [3] Mayer, B., Groß, A.: Weitere für die Verbindungstechnik, „Kleben“ relevante Gesetzgebung im Rahmen der Kreislaufwirtschaftsstrategie der Europäischen Union. In: Kreislaufwirtschaft und Klebtechnik – eine Studie des Fraunhofer IFAM, Fraunhofer Verlag: Stuttgart, 2020, S. 87-99
- [4] Groß, A.: 9 R statt R 9. In: Tagungsband 21. Bremer Klebtage (Fraunhofer IFAM Hrsg.), 2023, Eigendruck
- [5] Engel, B.: Werden Autos bald für die Ewigkeit gebaut? In: PS Welt 2018, <https://www.welt.de/motor/article181378662/Werden-Autos-bald-fuer-die-Ewigkeit-gebaut.html>, aufgerufen am 01.02.2024
- [6] Wille, W.: Dreimal bis zur Sonne. In: Frankfurter Allgemeine, 2005, <https://www.faz.net/aktuell/technik-motor/technik/ice-dreimal-bis-zur-sonne-1231182.html>, aufgerufen am 01.02.2024
- [7] Farwer, L.: Lebensdauer eines Flugzeugs – Infos zu Verschleiß und Haltbarkeit. In: Focus online, 2018, [https://praxistipps.focus.de/lebensdauer-eines-flugzeugs-infos-zu-verschleiss-und-haltbarkeit\\_97834](https://praxistipps.focus.de/lebensdauer-eines-flugzeugs-infos-zu-verschleiss-und-haltbarkeit_97834), aufgerufen am 01.02.2024
- [8] Wilken, R., Gleich, H.: Kunststoffe richtig vorbehandeln Teil 1. In: adhäsion KLEBEN + DICHTEN 2016, 11, S. 26-31
- [9] Wilken, R., Gleich, H., Kunststoffe richtig vorbehandeln Teil 2. In: adhäsion KLEBEN + DICHTEN 2016, 12, S. 28-33
- [10] Comyn, J.: Surface treatment and analysis for adhesive bonding. In: International Journal of Adhesion and Adhesives 1990, 10/3, S. 161-165, [https://doi.org/10.1016/0143-7496\(90\)90099-J](https://doi.org/10.1016/0143-7496(90)90099-J), aufgerufen am 01.02.2024
- [11] Lommatzsch, U., Thiel, K., Noeske, M., Ihde, J., Wilken, R.: Solutions for lightweight construction and CO2 footprint reduction by analysis of surfaces exposed to laser and plasma treatment. In: Abstracts of Papers of The American Chemical Society 258 (2019) / Meeting Abstract 245, ACS Fall National Meeting and Exposition (August 25-29, 2019), San Diego, USA

[12] Skov Hansen, P. M., Andersen, F., Madsen, K., Rames, M., Hanswen, B. S. S., Viegand, J., Fischer, C., Graulich, K., Kemna, R., Maier, E., Couveeé, H., van den Boorn, R., van Holsteijn, R., Kemna, D., van Elsborg, M., Wesselman, P.: Preparatory the Ecodesign and Energy Labelling Working Plan 2020 - 2024 / Task 2 Identification of Product Groups and Horizontal Initiatives – Final. In: ©European Union, April 2021, S. 29, [https://drive.google.com/file/d/1oLmBDyg\\_E6GBDi-Hu-RiUy-1U3pW-UCgA/view](https://drive.google.com/file/d/1oLmBDyg_E6GBDi-Hu-RiUy-1U3pW-UCgA/view), aufgerufen am 01.02.2024

[13] Heller, T., Kaiser, H.-J., Kern, A., Tschersich, H.-J.: Moderne hochfeste Stähle im Nutzfahrzeug- und Mobilkranbau. In: ATZ – Automobiltechnische Zeitschrift 1998, 100, S. 664-668

[14] Lutz, A., Symietz, D.: Gleiche Strukturfestigkeit trotz dünnerer Bleche, Kleben von hochfestem Stahl. In: adhäsion KLEBEN + DICHTEN 2008 (10), 52, 14-18

[15] Pfeiffer, J.: Zeitreise: Vom Alleskleber zum Multitalent. In: Konstruktionspraxis, 2015, <https://www.konstruktionspraxis.vogel.de/zeitreise-vom-alleskleber-zum-multitalent-a-502008/>, aufgerufen am 01.02.2024

[16] Mayer, B., Groß, A.: Neue Produkthanforderungen – die Rolle der Verbindungstechnik „Kleben“. In: Kreislaufwirtschaft und Klebtechnik – eine Studie des Fraunhofer IFAM, Fraunhofer Verlag: Stuttgart, 2020, S. 26-28

[17] Schröter, A.: Kleben in der Elektronik – Aktuelle Trends, <https://evertiq.de/news/6385>, aufgerufen am 01.02.2024

[18] Mayer, B., Groß, A.: Energieverbrauch und Materialeffizienz/Ressourceneffizienz. In: Kreislaufwirtschaft und Klebtechnik – eine Studie des Fraunhofer IFAM, Fraunhofer Verlag: Stuttgart, 2020, S. 100-117

[19] Richter, B.: Hightech-Klebstoffe von heute machen Hightech-Fahrzeuge von morgen möglich. In: Konstruktionspraxis, 2016, <https://www.konstruktionspraxis.vogel.de/hightech-klebstoffe-von-heute-machen-hightech-fahrzeuge-von-morgen-moeglich-a-549129/>, aufgerufen am 01.02.2024

[20] Bassing, M.: Lösbare Verbindungen. <https://www.metallbau-stahlbau.net/loesbare-verbinding>, aufgerufen am 01.02.2024

[21] Bassing, M.: Unlösable Verbindungen. <https://www.metallbau-stahlbau.net/unloesbare-verbinding>, aufgerufen am 01.02.2024

[22] Mayer, B., Groß, A.: Nichtlösable Verbindungstechniken – ein mögliches Missverständnis, auch für die Kreislaufwirtschaft. In: Kreislaufwirtschaft und Klebtechnik – eine Studie des Fraunhofer IFAM, Fraunhofer-Verlag: Stuttgart, 2020, S. 118-121

[23] DIN/TS 54405-04/2021, Konstruktionsklebstoffe – Leitlinie zum Trennen und Rückgewinnen aus geklebten Verbindungen, Beuth-Verlag Berlin, 2021

[24] ISO/AWI 21037, Adhesives – Guideline für separating adhesively bonded joints enabling repair and improving recycling, in Vorbereitung

[25] Mayer, B.; Groß, A.: Strategien für die Klebtechnik zur Unterstützung von Kreislaufwirtschaft und Ökodesign/Einleitung. In: Kreislaufwirtschaft und Klebtechnik – eine Studie des Fraunhofer IFAM, Fraunhofer Verlag: Stuttgart, 2020, S. 250-256

[26] Mayer, B. Groß, A.: Klebtechnik und Recycling. In: Kreislaufwirtschaft und Klebtechnik – eine Studie des Fraunhofer IFAM, Fraunhofer Verlag: Stuttgart, 2020, S. 229-234

[27] Mayer, B., Groß, A.: Future perspective: Controlled longevity – linking product safety and eco-balance effectiveness when adhesive bonding technology is used – The ecological potential of adhesive bonding technology. In: Adhesive Bonding Technology in the 21st Century – Synergy of Technological and Ecological Potentials, (FEICA / Fraunhofer IFAM Hrsg.), 2022, S. 55-57

[28] Produktsicherheitsgesetz (ProdSG) / Product Safety Act – Gesetz über die Bereitstellung von Produkten auf dem Markt. Letzte Neufassung vom 08.11.2011, BGBl., S. 2178, ber. 2012, S. 131 // Directive 2001/95/EC of the European Parliament and the Council of 03 December 2001 on general product safety, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=celex%3A32001L0095>, aufgerufen am 01.02.2024

[29] Mayer, B., Groß, A.: Kleben – aber sicher: die Entwicklung und Umsetzung von Qualitätsnormen zur Gewährleistung sicheren Klebens. In: Kreislaufwirtschaft und Klebtechnik – eine Studie des Fraunhofer IFAM, Fraunhofer Verlag: Stuttgart, 2020, S. 58-67

[30] Groß, A.: Klebtechnische Qualitätssicherung – DIN-Normen inzwischen international. In: Dichtungstechnik Jahrbuch 2025; K.-F. Berger, S. Kiefer (Hrsg.); ISGATEC GmbH; Mannheim, 2025, S. 224-234

[31] Groß, A., Meiß, E., Stein, F.: DIN-Normen werden international. In: adhäsion KLEBEN + DICHTEN 2023, 9, S. 19 - 25

[32] Richtlinie DVS/EWF 3309 Europäischer Klebfachingenieur, DVS Media, Düsseldorf, 2019 / Guideline for European Adhesive Engineer (EAE) an European Adhesive Specialist (EAS) EWF-662r0-19, EWF Management Team, Porto Salvo, Portugal

[33] Richtlinie DVS/EWF 3305 Europäischer Klebpraktiker, DVS Media, Düsseldorf, 2019 / European Adhesive Bonder (EAB) EWF-5152r2-19, EWF Management Team, Porto Salvo, Portugal

[34] Groß, A., Meiß, E.: Wissen und verstehen, was man tut – Das Potenzial der Klebtechnik und die Notwendigkeit der Qualitätssicherung.

In: Dichtungstechnik Jahrbuch 2019; K.-F. Berger, S. Kiefer (Hrsg.); ISGATEC GmbH; Mannheim, 2019, S. 367-374

[35] Mayer, B., Groß, A.: The ecological potential of adhesive bonding technology. In: Adhesive Bonding Technology in the 21st Century – Synergy of Technological and Ecological Potentials, (FEICA / Fraunhofer IFAM Hrsg.), 2022, S. 39-52

## Der Autor | Kontakt

**Prof. Dr. Andreas Groß**, Leiter Weiterbildung und Technologietransfer, Fraunhofer IFAM

**Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM**

Wiener Straße 12

28359 Bremen

[info@ifam.fraunhofer.de](mailto:info@ifam.fraunhofer.de)

[www.ifam.fraunhofer.de](http://www.ifam.fraunhofer.de)



Ökobilanz



Markus Buckner, Stefan Lindner: Edelstahl hat bessere Ökobilanz als Aluminium. <https://sn.pub/hyt107>