

Positionspapier zur Klassifizierung von Klebstoffen und Dichtstoffen als ADVANCED MATERIALS

Inhalt

0	Vorbemerkung: Definition „Advanced Materials“
1	Die Bedeutung von Werkstoffen, einschließlich „Advanced Materials“, im 21. Jahrhundert
2	Die Bedeutung von Werkstoffverbunden im 21. Jahrhundert
3	Die Bedeutung der Verbindungstechnologien für Werkstoffe, einschließlich „Advanced Materials“, im 21. Jahrhundert
3.1	Der vorherrschende systemische Grundfehler
3.2	Steigende Anforderungen an die Verbindungstechnik: Erhalt der Werkstoffeigenschaften im Werkstoffverbund
3.3	Einsatz von Kleb- und Dichtstoffen: Klebtechnik als verbindungstechnische Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts
3.4	Beispiele für den erforderlichen Einsatz von Kleb- und Dichtstoffen
3.4.1	Vorbemerkung zu den folgenden Beispielen
3.4.2	Klebstoffe und Leichtbau
3.4.3	Klebstoffe und Miniaturisierung
3.4.4	Klebstoffe und Energiewende
3.4.5	Klebstoffe und alternative Energiequellen
3.4.6	Klebstoffe und Kreislaufwirtschaft
4	Kleb- und Dichtstoffe: ihre Bedeutung als „Advanced Materials“
5	Zusammenfassung
6	Ausblick
7	Quellen
8	Anhang
8.1	Fraunhofer-Gesellschaft
8.2	Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung – Fraunhofer IFAM

0 Vorbemerkung: Definition „Advanced Materials“

Es gibt weder bei ISO noch bei CEN eine klare Definition von „Advanced Materials“. Die Europäische Kommission beschreibt in ihrer Mitteilung COM/2024/98 final „Advanced Materials for Industrial Leadership“ den Begriff zwar inhaltlich präzise, aber nicht als separate Definition und verweist auf die OECD-Definition.

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52024DC0098>

Die OECD definiert „Advanced Materials“ in einer “working description on advanced materials” wie folgt:

“Advanced materials are understood as materials that are rationally designed to have (i) new or enhanced properties, and/or (ii) targeted or enhanced structural features with the objective to achieve specific or improved functional performance. This includes both new emerging manufactured materials (high tech materials), and materials that are manufactured from traditional materials (low tech materials).”

[https://one.oecd.org/document/ENV/CBC/MONO\(2022\)29/en/pdf](https://one.oecd.org/document/ENV/CBC/MONO(2022)29/en/pdf)

1 Die Bedeutung von Werkstoffen, einschließlich „Advanced Materials“, im 21. Jahrhundert

Die Neu- und Weiterentwicklung von Materialien ist zwingend erforderlich, weil die Anforderungen an Produkte im 21. Jahrhundert kontinuierlich steigen. Beispiele steigender Produktanforderungen sind Leichtbau, Miniaturisierung, Produktlebenszeitverlängerung, Reparierbarkeit, Qualitätsverbesserung, Designanforderungen, Abfallvermeidung u.v.m.

Wie diese Beispiele steigender Produktanforderungen verdeutlichen, liegt die Innovation darin, diese zu erfüllen. Folglich ist es die Aufgabe der im Produkt verwendeten Materialien, einschließlich „Advanced Materials“, diesen innovationsgetriebenen Anforderungen gerecht zu werden. Genauer gesagt sind es die *Eigenschaften* der verwendeten Materialien, die die innovativen Produktanforderungen erfüllen, insbesondere die Eigenschaften der „Advanced Materials“.

Um der neuen Herausforderung zu begegnen, hat die Vielfalt der Materialien in verschiedenen Klassen (wie Metalle, Kunststoffe, Gläser, Keramiken) in den letzten Jahrzehnten stetig zugenommen. Folglich ist die Werkstoffvielfalt ein Kennzeichen des 21. Jahrhunderts.

2 Die Bedeutung von Werkstoffverbunden im 21. Jahrhundert

Die Produkte des 21. Jahrhunderts werden größtenteils aus Werkstoffverbunden bestehen, d. h. aus einer Kombination verschiedener Materialien. Dieser Technologietrend spiegelt die Tatsache wider, dass ein einzelner Werkstoff – sei er nun „konventionell“ oder „advanced“, „Hightech“ oder „Lowtech“ – in der Regel nicht in der Lage ist, die oben beschriebenen komplexen, innovationsgetriebenen Anforderungen allein zu erfüllen. Dies gilt auch für Werkstoffe, die bereits über neue oder verbesserte Eigenschaften, strukturelle Merkmale und/oder funktionale Leistungen verfügen. Die Realisierung gegenständlicher, neuer Produkte allein durch die Verwendung von Monomaterialien ist realitätsfern, da dies auch enorme einschränkende Auswirkungen auf die Innovation und damit auf ein nachhaltiges Wirtschaftswachstum hätte.

3 Die Bedeutung der Verbindungstechnologien für Werkstoffe, einschließlich „Advanced Materials“, im 21. Jahrhundert

3.1 Der vorherrschende systemische Grundfehler

Vor diesem Hintergrund sind die Entwicklung, Förderung und Unterstützung von Werkstoffen kein Selbstzweck. Vielmehr ist es das erklärte Ziel, technologische, wirtschaftliche und ökologische Innovationen zu ermöglichen, die ohne diese Werkstoffe nicht möglich wären.

Derzeit herrscht jedoch noch immer der systemische Fehler vor, sich ausschließlich auf die Materialentwicklung zu fokussieren. So richtig und notwendig die Förderung der Materialentwicklung – und damit auch die Entwicklung von „Advanced Materials“ – auch zweifellos ist, so ist sie doch nur eine Seite der Medaille.

Die andere Seite der Medaille, wenn das eigentliche Ziel der tatsächlichen Nutzung des „Advanced Materials-Potenzials“ für Produktinnovationen genutzt werden soll, besteht darin, Materialentwicklung und entwickelte Materialien in direktem Zusammenhang mit der dafür geeigneten Verbindungstechnik gleichwertig zu betrachten. Um das oben genannte, angestrebte Ziel zu erreichen, sind Materialentwicklungen und geeignete Verbindungstechniken voneinander abhängig. Wie diese „Eignung“ in Bezug auf die Verbindungstechnik zu verstehen ist, wird im Folgenden erläutert und begründet. Auf jeden Fall ist klar, dass ohne dieses verknüpfte Denken über Materialien *und* Verbindungstechnologien die Entwicklung, Unterstützung und Förderung von Materialien, einschließlich „Advanced Materials“, nutzloser Selbstzweck blieben.

3.2 Steigende Anforderungen an die Verbindungstechnik: Erhalt der Werkstoffeigenschaften im Werkstoffverbund

Die Notwendigkeit, Werkstoffe für ein Endprodukt miteinander zu verbinden, bedeutet, dass ein Werkstoff – selbst ein „Advanced Material“ – nur dann zu einem produktiven, wirtschaftlich und ökologisch nutzbaren und letztlich innovativen Werkstoff werden kann, wenn er mit anderen Werkstoffen, einschließlich der „Non-Advanced Materials“, verbunden werden kann. Diese Verbindung muss langfristig stabil und sicher sein und gleichzeitig gewährleisten, dass die besonderen Eigenschaften der verwendeten Materialien nicht verloren gehen und dass diese Eigenschaften in ihrer Wechselwirkung das Anforderungsprofil des jeweiligen Endprodukts erfüllen.

Daher besteht die generische Aufgabe der Verbindungstechnik in erster Linie darin, sowohl gleiche als auch verschiedene Werkstoffe miteinander zu verbinden. Daraus ergeben sich zwei Schlussfolgerungen für Verbindungstechnologien:

1. In dem Maße, wie die Anforderungen an Produkte und damit an die einzusetzenden Werkstoffe wachsen, steigen parallel die Anforderungen an die Verbindungstechnik.
2. Die Entwicklung von „Advanced Materials“ muss *grundsätzlich und stets* mit der Entwicklung von Verbindungstechnologien einhergehen, deren „Eignung“ auch den Erhalt der Werkstoffeigenschaften umfasst. Ohne diese verbindungstechnischen Merkmale können die Werkstoffe die Anforderungen des Produktprofils nicht erfüllen und das Endprodukt kann nicht die gewünschte Innovation liefern.

3.3 Einsatz von Kleb- und Dichtstoffen: Klebtechnik als verbindungstechnische Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts

Diese gestiegenen Anforderungen an die Verbindungstechnik haben dazu geführt, dass Kleb- und Dichtstoffe eine Schlüsselrolle spielen: Schon heute sind diese aus unserem Alltag nicht mehr wegzudenken, da sie die oben genannten Anforderungen längst erfüllen.

In diesem Zusammenhang bietet der Einsatz von Kleb- und Dichtstoffen das für das 21. Jahrhundert erforderliche Innovationspotenzial. Die Klebtechnik ist die einzige und vielseitigste Verbindungstechnik, mit der sich ALLE Werkstoffe in zahlreichen Kombinationen dauerhaft, stabil und sicher untereinander verbinden lassen und dabei gleichzeitig *die Eigenschaften der zu verbindenden Werkstoffe erhalten bleiben*. Konkret bedeutet dies, dass Kleben die einzige Verbindungstechnik ist, die Veränderungen der Werkstoffeigenschaften durch Materialschädigungen wie Bohrlöcher, wie sie beim Schrauben, Nieten oder Nageln erforderlich sind, und strukturelle Schwächungen durch thermische Belastungen, wie sie beim Schweißen oder Löten auftreten, vermeidet.

Darüber hinaus können Kleb- und Dichtstoffe verwendet werden, um zusätzliche Funktionen in das Produkt zu integrieren.

Genau diese einzigartigen Eigenschaften von Kleb- und Dichtstoffen bieten ein enormes Potenzial für zukünftige Innovationen. Aus rein technologischer Sicht ist dieses Potenzial noch lange nicht ausgeschöpft. Die Technologie hat daher eine glänzende Zukunft vor sich und ist zweifellos unverzichtbar für das 21. Jahrhundert in Bezug auf Technologie und Innovation. Tatsächlich sind Kleb- und Dichtstoffe bereits heute „Advanced Materials“.

Das Innovationspotenzial wird durch die chemische Vielfalt und Vielseitigkeit von Kleb- und Dichtstoffen weiter erhöht, die nahezu unbegrenzte Möglichkeiten bieten, zusätzliche Funktionen in den Kleb- und Dichtstoff und damit in den Materialverbund zu integrieren, die oft über das reine Verbinden und den Erhalt der Werkstoffeigenschaften hinausgehen. Zu diesen integrierten Zusatzfunktionen gehören beispielsweise thermische und elektrische Leitfähigkeit oder Isolierung. Klebstoffe können auch als Barriere-Materialien für Wasserdampf, Weichmacher und andere Medien dienen.

Die stoffschlüssige Verbindungstechnik Kleben führt zu kombinierten Eigenschaftsprofilen des Werkstoffverbunds, die mit keiner anderen Verbindungstechnik erreicht werden können.

Darüber hinaus spielt die klebstoff-spezifische Applikationstechnik in diesem Innovationskontext eine äußerst wichtige Rolle. Klebstoffe können in extrem geringen Mengen, beispielsweise in Sprüh- oder Tropfanwendungen, aber auch in beträchtlichen Mengen, beispielsweise als Spaltfüller oder Vergussmassen, aufgetragen werden. Moderne, teilweise robotergestützte Applikationstechniken ermöglichen definierte Auftragsgewichte mit geringen Schwankungsgrenzen und Auftragsgeschwindigkeiten von bis zu 1000 m/min in kontinuierlichen Laminier-Prozessen.

Die physikalische Vielfalt der Klebstoff-Darreichungsformen und -Technologien schränkt den Einsatz von Klebstoffen in keiner Weise ein. Es kommt lediglich darauf an, die richtige Klebtechnik auszuwählen, um unter Hitze, Kälte, Druck, hoher Luftfeuchtigkeit, unter Wasser,

unter Schutzatmosphäre etc. sicher und beständig Werkstoffe so zu fügen, dass deren Eigenschaften vollumfänglich erhalten bleiben.

Der Einsatz von Kleb- und Dichtstoffen erfüllt die genannten Anforderungen und ermöglicht unter technologischen, ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten innovative, zukunftsorientierte Bau- und Fertigungsweisen für das 21. Jahrhundert.

3.4 Beispiele für den erforderlichen Einsatz von Kleb- und Dichtstoffen

3.4.1 Vorbemerkung zu den folgenden Beispielen

Die folgenden Beispiele – die sicherlich nur einige wenige sind und keinen Anspruch auf Vollständigkeit erheben – veranschaulichen die Notwendigkeit, „Werkstoffe“ und „Verbindungstechnik“ immer gemeinsam zu denken, wenn das Innovationspotenzial des Endprodukts optimal ausgeschöpft werden soll. Wenn Leichtbauwerkstoffe im Leichtbau eingesetzt werden, müssen die „Leichtbaueigenschaften“ des Werkstoffs so weit wie möglich genutzt werden. Andernfalls ist eine optimale Leichtbauinnovation nicht möglich. Wenn aufgrund zunehmender Funktionalitäten immer kleinere Abmessungen eines (elektronischen) Bauteils realisiert werden sollen, muss die Verbindungstechnik diesen kleinsten Abmessungen gewachsen sein. Andernfalls können solche innovativen Funktionserweiterungen nicht optimal realisiert werden. Werkstoffe und Verbindungstechnik müssen ebenfalls den Anforderungen der Energiewende gerecht werden. Ohne diese Voraussetzung ist Innovation in der Energiewende nicht im gewünschten Umfang möglich. Dies gilt auch für die Energieerzeugung aus alternativen Energiequellen.

3.4.2 Klebstoffe und Leichtbau

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“. Die Klebtechnik ist auf Grund ihres einzigartigen Potenzials, alle Werkstoffe – also auch die Leichtbauwerkstoffe – mit sich und anderen Werkstoffen langzeitbeständig und sicher zu verbinden und dabei gleichzeitig die (Leichtbau-)Werkstoffeigenschaften im Produkt zu erhalten, eine der wichtigsten Fügetechnologien zur Umsetzung sowohl des konstruktiven als auch werkstofflichen Leichtbaus. Klebstoffe und Dichtstoffe sind daher in diesem Zusammenhang Innovationsbeschleuniger.

Die Klebtechnik ist daher auch eine Schlüsseltechnologie für die Kreislaufwirtschaft.

3.4.3 Klebstoffe und Miniaturisierung

In der Elektronikfertigung, bei der auf Grund ständig steigender Funktionalitäten kleinere Dimensionen erforderlich sind, sind Klebstoffe ideal geeignet, auch auf kleinstem Raum verschiedenste Werkstoffe unter Erhalt ihrer Eigenschaften schnell und ebenfalls sicher sowie im Sinne der Produktlebensdauerverlängerung langzeitbeständig zu verbinden. Die Klebstoffe ermöglichen bei der Miniaturisierung zusätzlich das werkstoffgerechte, hochpräzise Fügen von Miniaturbauteilen: Fixieren von Spulen, Abdichten von Gehäusen, Einsatz als Chip-Vergussmassen im Hochzuverlässigkeitsbereich zum Schutz feiner Chipstrukturen und Drähte vor mechanischen Belastungen wie Vibrationen und Temperaturschwankungen und Umwelteinflüssen wie Feuchtigkeit und Korrosion. Auch hier sind es ausschließlich Kleb- und Dichtstoffe, die die gewünschte Innovation optimal erfüllen. Mit anderen Verbindungstechniken ist dies nur mit deutlich höherem Aufwand oder gar nicht zu erreichen.

3.4.4 Klebstoffe und Energiewende

Kleben ist ein wichtiger „Enabler“ für die angestrebte Energiewende. Die Rotorblätter der Windenergieanlagen sind rein geklebte Konstruktionen aus glasfaserverstärkten Kunststoffen, dem sog. GFK. Bei den hohen mechanischen und abrasiven Belastungen in der Nutzungsphase mit Rotationsgeschwindigkeiten von bis zu 390 km/h würde jede andere Verbindungstechnik die Energieausbeute derartig minimieren, so dass Windenergie nicht mehr wirtschaftlich wäre: Schweißen als Verbindungstechnik scheidet aus. Das eingesetzte GFK ist nicht schweißfähig. Verschraubungen – dito Nieten oder Nageln – der Rotorblatthalbschalen scheiden ebenfalls aus. Diese punktuellen Verbindungstechniken würden in der Nutzung an den Verbindungspunkten, wo das GFK durch „Löcher“ zerstört werden müsste, hohe Spannungen erzeugen. Die Rotorblattwände müssten zum erforderlichen Abbau dieser Spannungen stark verdickt werden. Die Konstruktion wäre damit viel zu schwer und daher zur Energieerzeugung viel zu ineffizient. Zusätzlich wird, um die hohen Abrasionsbelastungen abzumildern, bereits bei der Rotorblatffertigung eine Schutzschicht auf die besonders beanspruchten Vorderkanten geklebt. Die so klebtechnisch geschützten Oberflächen erzeugen für die extremen Offshore-Bedingungen dauerhaft eine glatte und damit aerodynamisch günstige Oberfläche.

Der Einsatz der Klebtechnik optimiert nicht nur den Energieertrag. Kleb- und Dichtstoffe machen diese Innovation der ökologischen Energieerzeugung überhaupt erst wirtschaftlich rentabel.

3.4.5 Klebstoffe und alternative Energiequellen

Die Entwicklung alternativer Energiequellen ohne Klebtechnik ist nach heutigem Stand der Technik undenkbar. Für die Elektromobilität werden Kleb- und Dichtstoffe für die Montage der Magnetkerne, zum Abdichten der Batteriezellen und zum Wärmemanagement der Batterien notwendigerweise eingesetzt. Auch Brennstoffzellen müssen hermetisch abgedichtet und die Bipolar-Platten langzeitbeständig und sicher verbunden werden.

Diese Innovation wird durch Kleb- und Dichtstoffe erreicht.

3.4.6 Klebstoffe und Kreislaufwirtschaft

Die Verbindungstechnik Kleben, d.h. der Einsatz von Kleb- und Dichtstoffen, unterstützt die Kreislaufwirtschaft. Sie ist nicht ihr Gegner.

Das übergeordnete Ziel einer Kreislaufwirtschaft besteht in der Entkopplung von Wirtschaftswachstum und Ressourcenverbrauch. Der EU-Aktionsplan Kreislaufwirtschaft beschreibt hierfür den Übergang von der Linearwirtschaft (auch „Wegwerf-Wirtschaft“ genannt) in eine Kreislaufwirtschaft. Leider wird sowohl in der landläufigen Betrachtung als auch in der politischen Bewertung der Begriff „Kreislaufwirtschaft“ fälschlicherweise allzu oft nur auf das Thema „Recycling“ reduziert. „Kreislaufwirtschaft“ wird unsachgemäß als „Recyclingwirtschaft“ verstanden. Der fundamentale Fehler dieser inhaltlich falschen Verständnisreduzierung dabei besteht darin, dass der Aktionsplan Kreislaufwirtschaft einen weit umfassenderen Umfang vorgibt und sich bewusst nicht auf ein Einzelelement wie z.B. das Recycling fokussiert. Im Gegenteil, der Aktionsplan Kreislaufwirtschaft betrachtet den Produktlebenszyklus ganzheitlich und bewertet ihn hinsichtlich seiner Ressourceneffizienz insgesamt. Im Sinne dieser geforderten ganzheitlichen Bewertung dienen sowohl die EU-Abfallrahmenrichtlinie mit ihrer fünfstufigen Abfallhierarchie als auch das Katalogisierungssystem der EU-Kommission mit seinen neun R-Strategien (R9 – Recycling

steht dabei an letzter Stelle!) als Wegweiser für die Kreislaufwirtschaft. EU-Abfallrahmenrichtlinie und die dazugehörigen R-Strategien, deren Bedeutungsrangfolge kommissionsseitig verbindlich vorgegeben ist, stellen auf diese Weise einen Bezug zwischen Ökodesign und Kreislaufwirtschaft her.

In diesem Zusammenhang leistet die Klebtechnik herausragende, unverzichtbare und innovative Beiträge, die bei ihrer technologischen, gesellschaftlichen und politischen Einordnung berücksichtigt werden müssen.

Die Klebtechnik steht nicht im Widerspruch zum Recycling.

Das Kleben wird technisch korrekt den „nichtlösbaren“ Verbindungstechniken zugeordnet. (Quellen: M. Bassing, Lösbare Verbindungen. <https://www.metallbau-stahlbau.net/loesbare-verbinding>, Zugriff 31.08.2025) / M. Bassing, Lösbare Verbindungen. <https://www.metallbau-stahlbau.net/unloesbare-verbinding>, Zugriff 31.08.2025). Diese technologisch richtige Zuordnung wird aber in der landläufigen wie politischen Bewertung der Klebtechnik allgemein – und insbesondere bei ökologischen Betrachtungen – falsch verstanden. Dieses falsche Verständnis führt logischerweise zu der ebenso falschen Bewertung, dass „nichtlösbare“ Verbindungen wie z.B. das Kleben auf Grund ihrer scheinbaren Nicht-Trennbarkeit das Recycling erschweren bzw. verhindern.

Grundsätzlich – und damit auch für die Klebtechnik – gilt: Jede, sowohl die mit „lösbaren“ als auch die mit „nichtlösbaren“ Verbindungstechniken hergestellte Verbindung kann auch wieder gelöst werden. Der Unterschied zwischen beiden Verbindungstechniken besteht lediglich darin, dass bei den „lösbaren Verbindungstechniken“ die Fügepartner durch den Trennprozess keine (i.d.R. geometrische) Beschädigung erleiden und als Fügepartner nach dem Trennprozess für neue Produktherstellungen erneut eingesetzt werden können. Bei mit „unlösbaren“ Verbindungstechniken hergestellten Produkten werden oft ein oder beide Fügepartner (i.d.R. geometrisch) durch den Trennvorgang beschädigt oder kontaminiert. Trotzdem ist durch ein gezieltes Produktdesign und die Wahl geeigneter Trennprozesse auch bei geklebten Produkten eine Reparatur bzw. ein Recycling trotz Einsatz von Klebstoffen und Dichtstoffen sehr wohl möglich.

Die Trennprozesse geklebter Produkte wurden dazu 2020 eigens in der DIN/TS 54405:2020-12 (Quelle: DIN/TS 54405-04, Construction adhesives – Guideline for separation and recycling of adhesives and substrates from bonded joints, DIN Media Berlin, 2021) zusammenfassend veröffentlicht. Das Dokument stellt dem Anwender schon jetzt eine Leitlinie zum Lösen geklebter Verbindungen zur Verfügung und wird in einem aktuellen Projekt derzeit in eine ISO-Norm überführt (Quelle: ISO/AWI 21037, Adhesives – Guideline for separating adhesively bonded joints enabling repair and improving recycling, current ISO project).

4 Kleb- und Dichtstoffe: ihre Bedeutung als „Advanced Materials“

Kleb- und Dichtstoffe im Verbund stellen im verfestigten Zustand, d.h. wenn sie zwischen den Fügepartnern ausgehärtet bzw. abgebunden ihre Verbindungsfunktion erfüllen, einen „*Werkstoff zwischen den Werkstoffen*“ dar. Ihre im Klebprozess zwischen den Fügepartnern jeweils

entstandenen Eigenschaften und strukturellen Merkmale ermöglichen die zu erreichenden spezifischen Funktionsleistungen des Endprodukts.

Aus diesem Grund sind Kleb- und Dichtstoffe nicht nur genauso wichtig wie die „Advanced Materials“ selbst. Sie erfüllen auch denselben Innovationsgrad, da sie die innovationsrelevanten Eigenschaften der „Advanced Materials“ im Endprodukt bewahren. Aus diesem Grund und aufgrund des beschriebenen Innovationspotenzials der chemischen Vielseitigkeit (Kapitel 3.2) müssen Klebstoffe und Dichtstoffe ebenfalls als „Advanced Materials“ eingestuft werden.

Jedoch müssen Kleb- und Dichtstoffe schon in ihrem Ausgangszustand, d. h. in ihrem chemisch unausgehärteten bzw. physikalisch nicht abgebundenen Zustand, als „Advanced Materials“ eingestuft werden. Erst die Verfestigung des Klebstoffs während des Klebprozesses führt dann zu dem innovationsfördernden „Werkstoff zwischen Werkstoffen“ als Verbindungselement.

Da in Materialverbunden „Advanced Materials“ ihre besonderen Eigenschaften in einem Produkt nur dann entfalten können, wenn sie in der Weise miteinander und/oder mit anderen Werkstoffen verbunden werden, dass die leistungsorientierte Kombination der Werkstoffeigenschaften dem Gesamtanforderungsprofil entspricht, ist dies aus den oben genannten Gründen in den meisten Fällen nur mit Hilfe der Klebtechnik möglich.

Die Verbindungstechnik Kleben wird im Gegensatz zu den „homogen stoffschlüssigen“ Verbindungstechniken Schweißen und Löten technologisch korrekt als „heterogen stoffschlüssige“ Verbindungstechnik eingeordnet. Die „Heterogenität“ des Stoffschlusses resultiert aus der Besonderheit, dass die Verbindungselemente Klebstoff und Dichtstoff nach ihrer Verfestigung (Abbindung/Aushärtung) aus gesonderten und i.d.R. polymeren Werkstoffen bestehen, die materialtechnisch vom zu verbindenden Werkstoff zu unterscheiden sind.

Die Erarbeitung und Verwendung sogenannter „Materialkarten“ in der FEA (finite elements analysis) bzw. im CAE-Prozess (computer aided engineering) ist ein untrüglicher Indikator dafür, dass abgebundene bzw. ausgehärtete Klebstoffe anwenderseitig längst als eigenständige „Advanced Materials“ betrachtet werden und der Modellierung und Auslegung des „Werkstoffs zwischen den Werkstoffen“ und den dabei entstehenden Grenzflächen zu den Substraten bereits Rechnung getragen wird.

Da die Klebstoffe nach ihrer Verfestigung, d.h. nach ihrer Aushärtung bzw. Abbindung eine heterogene stoffschlüssige Verbindung der Fügeteile erzeugen, erfüllt der verfestigte Klebstoff als „Werkstoff zwischen den Werkstoffen“ aufgrund seines auf die jeweilige Anwendung speziell ausgerichteten Designs die zu Anfang genannte OECD-Definition von „Advanced Materials“ (*“...rationally designed to have (i) new or enhanced properties, and/or (ii) targeted or enhanced structural features with the objective to achieve specific or improved functional performance...”*)

Kleb- und Dichtstoffe stellen somit das innovative, speziell designte Verbindungselement „Advanced Materials“ dar – werkstoffeigenschaftserhaltend und sowohl die jeweiligen Verbundmaterialien und deren Eigenschaften als auch die Anforderungen an die Materialverbindung berücksichtigend.

5 Zusammenfassung

- Aufgrund steigender Produktanforderungen ist die Neu- und Weiterentwicklung von Werkstoffen, einschließlich „Advanced Materials“, unbedingt erforderlich.
- Werkstoffentwicklung ergibt technologisch, ökonomisch und ökologisch nur dann Sinn, wenn Werkstoffe *und* Verbindungstechniken gleichwertig und im gegenseitigen Kontext, d.h. voneinander abhängig, betrachtet werden.
- Das Anforderungsspektrum an eine Verbindungstechnik erweitert sich: Es geht nicht mehr um das reine Verbinden von Werkstoffen und Bauteilen. Die Verbindungstechnik im 21. Jahrhundert muss zusätzlich die Eigenschaften der eingesetzten Werkstoffe im Produkt erhalten und möglichst Synergien durch Materialkombinationen erzeugen.
- Die sichere und langfristig stabile Verbindung von Werkstoffen *unter Beibehaltung ihrer oft hochspezialisierten Eigenschaften* ist das Alleinstellungsmerkmal der Verbindungstechnik „Kleben“ und unterscheidet sie von anderen Verbindungstechniken. Dies ist der entscheidende Grund für das Innovationspotenzial der Kleb- und Dichttechnik, d. h. der Verwendung von Kleb- und Dichtstoffen als innovative Werkstoffe. Kleb- und Dichtstoffe sind speziell auf die jeweiligen zu verbindenden Werkstoffe abgestimmte „Advanced Materials“.
- Vor diesem Hintergrund nimmt im Vergleich der Verbindungstechniken die heterogenstoffschlüssige Verbindungstechnik Kleben mit den durch Abbindung/Aushärtung entstehenden Hochleistungswerkstoffen Klebstoff und Dichtstoff für das 21. Jahrhundert technologisch, ökonomisch und ökologisch eine innovative Schlüsselstellung ein.
- Ihre Einstufung als „Advanced Materials“ gilt sowohl in ihrem unausgehärteten/nicht-abgebundenem Ausgangszustand, d. h. *vor dem* Auftragen auf die zu verbindenden Teile, als auch in ihrer ausgehärteten/abgebundenen Form *nach dem* Auftragen zwischen den zu verbindenden Teilen.
- Die zunehmende Komplexität der Produktanforderungen führt zu einer untrennbaren Verbindung von Werkstoffen *und der* Verbindungstechnik. Aufgrund des einzigartigen Verbindungspotenzials der Klebtechnik müssen ebenfalls Klebstoffe und Dichtstoffe als „Advanced Materials“ eingestuft werden.
- Ohne den gleichberechtigten Status von Kleb- und Dichtstoffen als „Advanced Materials“, sowohl vor als auch nach ihrer Anwendung, macht die Entwicklung von „Advanced Materials“ technologisch, wirtschaftlich und ökologisch keinen Sinn.
- Kleb- und Dichtstoffe sind somit ebenfalls in die Gruppe der „Advanced Materials“ einzuordnen!

6 Ausblick

Europa hat immer noch die unangefochtene Weltmarktführerschaft in der Klebtechnik und Dichttechnik, also beim Einsatz von Kleb- und Dichtstoffen. Innovationen beim Einsatz von Kleb- und Dichtstoffen kommen größtenteils aus Europa. Diese Führungsposition muss gehalten und ausgebaut werden. Das ist besonders wichtig, weil es viele Bereiche gibt, in denen Europa seine technologische Führungsrolle verloren hat und weiterhin verliert, was zu wirtschaftlichen Nachteilen und Abhängigkeiten führt.

Wenn es Europa also nicht gelingt, seine führende Position in der Klebtechnik zu halten und wenn möglich auszubauen, wird die Entwicklung in diesem Bereich anderswo auf der Welt

stattfinden. Die USA und China sind in dieser Hinsicht sicherlich die ersten Länder, die in den Sinn kommen. Wie in vielen anderen Technologiebereichen würde Europa dann auch in diesem Bereich seine Führungsrolle aufgeben und bald hinter der Entwicklung dieses zukunftssträchtigen Bereichs der Klebstoff- und Dichtstoffanwendung hinterherhinken.

Diese Gefahr steigt, wenn Kleb- und Dichtstoffe nicht als „Advanced Materials“ behandelt und als solche klassifiziert werden. Kleb- und Dichtstoffe sind „speziell entwickelte Werkstoffe zwischen den Werkstoffen im Verbund“ und müssen daher in die Gruppe der „Advanced Materials“ eingestuft werden. Selbst in ihrem unausgehärteten/nicht-abgebundenen Ausgangszustand müssen sie mit dem gleichen technologischen und strategischen Fokus behandelt werden wie alle anderen „Advanced Materials“ auch.

Ohne diese Gleichberechtigung laufen aktuelle und zukünftige „Advanced Materials“ Gefahr, ihr unbestritten großes Potenzial bei der Entwicklung neuer, innovativer Produkte in Zukunft nur begrenzt ausschöpfen zu können.

7 Quellen

B. Mayer, A. Groß (Ed.) In Kreislaufwirtschaft und Klebtechnik – Eine Studie des Fraunhofer IFAM, Fraunhofer Verlag: Stuttgart (Deutschland), **2020**, DOI: 10.24406/ifam-n-603186

B. Mayer, A. Groß In Adhesive Bonding Technology in the 21st Century – Synergy of Technological und Ecological Potentials, (FEICA / Fraunhofer IFAM Ed.), **2022**

P. M. Skov Hansen, F. Andersen, K. Madsen, M. Rames, B. S. S. Hanswen, J. Viegand, C. Fischer, K. Graulich, R. Kemna, E. Maier, H. Couvéée, R. van den Boorn, R. van Holsteijn, D. Kemna, M. van Elsborg, P. Wesselman; Preparatory study for the Ecodesign and Energy Labelling Working Plan 2020 - 2024 / Task 2 Identification of Product Groups and Horizontal Initiatives – Final, ©European Union, April **2021**, p. 29,
https://drive.google.com/file/d/1oLmBDyq_E6GBDi-Hu-RiUy1U3pW-UCgA/view (Accessed 31.08.2025)

A. Groß, adhesion 4, **2024**, p. 28 -34, Circular Economy, Life Cycle Assessments Effectiveness and Adhesive Bonding Technology.

8 Anhang

8.1 Fraunhofer-Gesellschaft

Die Fraunhofer-Gesellschaft mit rd. 32 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern an 75 Instituten und selbstständigen Forschungseinrichtungen und einem jährlichen Finanzvolumen von 3,6 Mrd. € ist eine der weltweit führenden Organisationen für anwendungsorientierte Forschung. Im Innovationsprozess spielt sie eine zentrale Rolle – mit Forschungsschwerpunkten in zukunftsrelevanten Schlüsseltechnologien und dem Transfer von Forschungsergebnissen in die Industrie zur Stärkung des Wirtschaftsstandorts. zum Wohle der Gesellschaft nimmt sie als „Adapter“ zwischen erkenntnisorientierter Grundlagenforschung und ergebnisorientierter Integration von Forschung und Entwicklung in die Wirtschaft eine einzigartige Position im Wissenschafts- und Innovationssystem ein. Das zentrale Geschäftsmodell der Fraunhofer-

Gesellschaft ist daher die Vertragsforschung. Folglich ist der hohe Anteil an Wirtschaftserträgen das entscheidende Fraunhofer-Alleinstellungsmerkmal und gleichzeitig der Garant ist für die enge Zusammenarbeit mit Wirtschaft und Industrie und die stetige Marktorientierung der Fraunhofer-Forschung.

([Homepage Fraunhofer-Gesellschaft](#))

8.2 Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung – Fraunhofer IFAM

Das Fraunhofer IFAM ist mit seinen Arbeitsgebieten Klebtechnik, Oberflächen, Formgebung und Funktionswerkstoffen und seinen rd. 700 Mitarbeitern das fünftgrößte Institut der Fraunhofer-Gesellschaft. Auf dem Gebiet der »Verbindungstechnik Kleben« ist Fraunhofer IFAM das international führende unabhängige Forschungsinstitut. Seit über 50 Jahren arbeiten hoch qualifizierte, multidisziplinär aufgestellte Teams anbieterunabhängig an der Weiterentwicklung dieser facettenreichen Füge-technik. Die langjährige Erfahrung, die hohe Diversifizierung der in diesem Bereich tätigen über 200 Mitarbeiter und die umfassende apparative Ausstattung ermöglichen eine zügige und hoch qualitative Bearbeitung von Dienstleistungen sowie von Forschungs- und Entwicklungsaufträgen, von eintägigen Beratungen bis zur detaillierten Gestaltung und praktischen Umsetzung geprüfter Fertigungskonzepte. Das Fraunhofer IFAM ist als weltweit einzige unabhängige F&E-Einrichtung in der Lage, für alle Branchen (Mobilität, Energie, Luftfahrt, maritime Technologien sowie Medizintechnik und Life Sciences, Maschinen- und Anlagenbau, Elektronik und Elektrotechnik, Schiff- und Schienenfahrzeugbau und Verpackungsindustrie und Bauwesen) die gesamte Prozesskette Kleben – von der ersten Idee bis zur funktionierenden Umsetzung in der Fertigung – einschließlich Polymerentwicklung, Entwicklung angepasster Oberflächenbehandlungsverfahren, Qualitätssicherungskonzepten etc. abzubilden.

([Fraunhofer IFAM / English](#) / [Adhesive Bonding](#))

Fraunhofer IFAM ist zudem Begründer und weltweiter Marktführer der produktneutralen, überbetrieblichen, branchenunabhängigen und personalzertifizierenden Qualifizierung betrieblicher Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter im Bereich der Klebtechnik. Gleichzeitig ist Fraunhofer IFAM Leitinstitut der Qualitätssicherungsstandardisierung auf ISO-, CEN- und DIN-Ebene und hat die klebtechnischen QS-Normen zu internationalen Industriestandards entwickelt. Aktuelle Normungsprojekte thematisieren auf Basis der Kreislaufwirtschaft und der EU-Abfallrahmenrichtlinie einschließlich der kommissionsseitig vorgegebenen R-Strategien die technologisch-ökologische Nachhaltigkeitsbewertung geklebter Produkte.

(www.kleben-in-bremen.com)

Bremen, im September 2025

Prof. Dr. Andreas Groß

Fraunhofer IFAM

Abteilungsleiter "Weiterbildung und Technologietransfer"

Wiener Straße 12 / D-28359 Bremen

andreas.gross@ifam.fraunhofer.de

[Prof. Dr. Andreas Groß](#)