

De-Risking Bericht 2026

Automobilbranche

Die Zukunft ist biobasiert?

Risikoeinschätzung für die Automobilbranche





TransBIB Boost. Industrial. Bioeconomy.

Für die biologische Transformation des deutschen Wirtschaftsstandortes kann die industrielle Bioökonomie vielversprechende Beiträge leisten. Biobasierte und klimafreundlichere bis klimaneutrale Produkte, nachhaltige Prozesse und kreislaufgeführte Ressourcenströme müssen schnell und beispielgebend in die industrielle Anwendung gebracht werden. Bereits jetzt gibt es bundesweit zahlreiche Initiativen und Akteure in Beispiel- und Modellregionen, die auf Basis biobasierter Ressourcen neue Wertschöpfungsnetze erschließen und profitable Wertschöpfungsketten realisiert haben. TransBIB bündelt die Akteure, verknüpft ihre Kompetenzen und sorgt für einen umfassenden Wissensaustausch unter den Stakeholdern aus Wirtschaft, Wissenschaft, Ministerien und Gesellschaft.

Zudem gelingt der erfolgreiche Transfer von Wissen und Technologien in die Wirtschaft und Gesellschaft, womit gesellschaftliche Bedarfe der Zukunft gedeckt werden und die Industrie neueste Erkenntnisse in ihre Produktion zum Wohle aller integrieren und ihre Wettbewerbsfähigkeit stärken kann. TransBIB sorgt für einen engen Austausch mit der Dialogplattform Industrielle Bioökonomie des BMWF und stellt zahlreiche Instrumente für eine flächendeckende Beschleunigung der biologischen Transformation von Wirtschaft und Gesellschaft zur Verfügung.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Zeit für den Ressourcenwandel.

Mit dem Europäischen Green Deal haben sich 27 Mitgliedsstaaten der EU das Ziel gesetzt, bis 2050 klimaneutral zu werden. Auch die Bundesregierung hat in der 19. Legislaturperiode mit der Novelle des Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG, § 3 Abs. 2) im Jahr 2021 die Klimaneutralität bis 2045 fest verankert. Mit der Hightech Agenda Deutschland (HTAD) aus dem Jahr 2025 und den kürzlich vorgestellten Roadmaps für die Schlüsseltechnologien sollen durch gezielte Investitionen in Zukunftstechnologien (u. a. Künstliche Intelligenz und Biotechnologie) die Innovations- und Wirtschaftskraft Deutschlands gestärkt werden. Denn die aktuelle Geschwindigkeit der nachhaltigen Transformation reicht nicht aus, um die festgelegten Klimaziele zu erreichen. Fossile Rohstoffe wie Erdöl, Erdgas und Kohle bilden derzeit noch die zentralen Energieträger der Weltwirtschaft. Ein Wandel hin zu biobasierten und somit erneuerbaren Rohstoffen ist dringend erforderlich, um langfristige Zukunftssicherheit der Industrie zu gewährleisten. Ein früher Einstieg kann dabei entscheidende Wettbewerbsvorteile sichern. Mit der HTAD rückt der Regierung die Ziele Technologie- und Ressourcen-Souveränität stärker in den Vordergrund, um die Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands zu sichern. ^{[1], [2], [3]}

Die Bioökonomie bietet einen vielversprechenden Ansatz, den genannten Herausforderungen wirksam zu begegnen. In der Nationalen Bioökonomiestrategie der deutschen Bundesregierung aus dem Jahr 2020 wird diese wie folgt beschrieben:

Insbesondere Erdöl deckt weiterhin den Großteil des globalen Primär-Energiebedarfes. Die Rohstoffe bestehen aus organischen Kohlenstoffverbindungen, die über Millionen von Jahren aus Pflanzen (Kohle) und Tieren (Erdgas, Erdöl) entstanden sind. Sie liefern damit neben ihrer Nutzung als Energieträger essentielle Ausgangsstoffe für zahlreiche Industriezweige. Allerdings sind die Gewinnung und Verarbeitung fossiler Rohstoffe äußerst energieintensiv und gehen mit massiven Eingriffen in natürliche Ökosysteme einher. Die Verarbeitung fossiler Rohstoffe und insbesondere deren Verbrennung setzt klimaschädliches CO₂ frei und trägt maßgeblich zur globalen Erwärmung bei. Darüber hinaus sind diese nicht erneuerbaren Rohstoffe nur in begrenztem Maß in der Welt vorhanden. In der Vergangenheit zeigte sich eine enge Kopplung von Wirtschaftswachstum und dem Ausstoß von CO₂-Emissionen. Für die nachhaltige Transformation der Wirtschaft und anhaltenden Wohlstand ist eine Entkopplung dringend ratsam. Diesen Weg bestreiten bereits heute einige Volkswirtschaften, mitunter zeigt sich im Mittel ein Trend der Entkopplung für die Europäische Union. ^{[2], [3], [4], [5], [6], [7], [8]}

„Die Bioökonomie umfasst die Erzeugung, Erschließung und Nutzung biologischer Ressourcen, Prozesse und Systeme, um Produkte, Verfahren und Dienstleistungen in allen wirtschaftlichen Sektoren im Rahmen eines zukunftsfähigen Wirtschaftssystems bereitzustellen.“ ^[9]



Nachhaltige Transformation. Aber wie?

Für Industrieunternehmen bietet die Nutzung biobasierter Ressourcen weit mehr als nur eine Alternative zu fossilen Rohstoffen. Sie eröffnet Zugang zu erneuerbaren Rohstoffquellen, kann den ökologischen Fußabdruck reduzieren und die Wettbewerbsfähigkeit in einem Markt, der zunehmend von Nachhaltigkeitsanforderungen geprägt ist, stärken. Unternehmen, die frühzeitig auf biobasierte Lösungen setzen,

können nicht nur regulatorische Vorgaben besser erfüllen, sondern auch neue Geschäftsfelder erschließen und sich als Innovationstreiber positionieren.

Doch wie lässt sich der Wandel hin zu biobasierten Rohstoffen gezielt gestalten, um zukunftssicheren Erfolg zu ermöglichen?



Der Weg zur nachhaltigen Transformation - Essentielle Schritte zur erfolgreichen Implementierung nachhaltiger Produkte und Prozesse.

Zahlreiche Studien und Best-Practice-Beispiele belegen den positiven Einfluss biobasierter Innovationen auf die Performance von Unternehmen. Dennoch birgt die Umstellung insbesondere für vorwiegend fossilbasierte Industrien Risiken. Der Wandel erfordert häufig den Erwerb neuer Kompetenzen und kann mit Investitionskosten verbunden sein. Gerade kleine und mittelständische Unternehmen stellt dies vor große Herausforderungen. ^[10]

Um einen erfolgreichen Transformationsprozess zu realisieren, sollten ein strukturiertes Vorgehen und bestenfalls die ganzheitliche Integration nachhaltiger Ziele in die Unterneh-

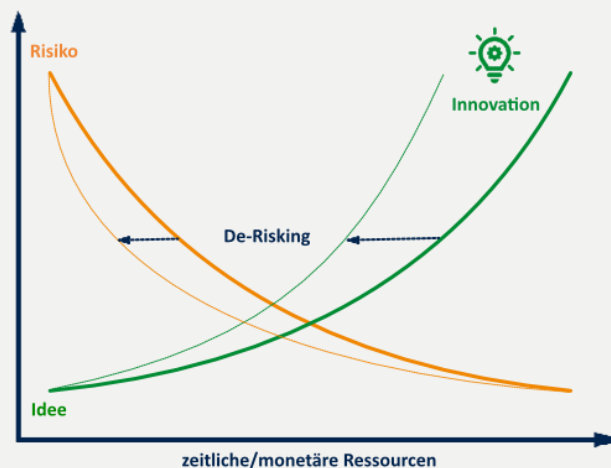
mensstrategie erfolgen. Zunächst gilt es, den IST-Zustand aufzunehmen - Wo steht mein Unternehmen aktuell? Anschließend hilft eine sorgfältige Marktanalyse inklusive der Beleuchtung innovativer Technologien, potentielle Entwicklungspfade zu skizzieren. Diese gilt es anschließend zu bewerten. Eine Basis dafür soll der vorliegende De-Risking Bericht schaffen. Herausforderungen im Transformations-Prozess sollen durch die Analyse potentieller Risiken frühzeitig erkannt werden, um geeignete Maßnahmen zu ergreifen. Dies ermöglicht einen niedrigschwelligen und risikoarmen Einstieg in die nachhaltige Transformation.

Die Methodik.

Der vorliegende Bericht soll branchenspezifisch den aktuellen Wissenstand biobasierten Ressourceneinsatzes einfangen und Trends in der Marktentwicklung aufzeigen. Durch eine detaillierte Analyse innovativer Technologien und bestehender Herausforderungen werden Chancen und Risiken für eine biobasierte Ausrichtung aufgezeigt. Als Resultat werden somit

potentielle Wege einer nachhaltigen Transformation skizziert.

Damit dient der Bericht als Orientierungshilfe für Unternehmen, seien es Automobilbauer oder -zulieferer, sich nachhaltig zukunftssicher aufzustellen.



Risiko- und Innovationsentwicklung – insbesondere in frühen Phasen erfordern neue Technologien ein gezieltes Risikomanagement.

De-Risking gewinnt in einem zunehmend dynamischen und globalisierten Umfeld an entscheidender Bedeutung. Es ermöglicht Unternehmen, Risiken neuer Ideen frühzeitig zu minimieren, bevor erhebliche monetäre und zeitliche Investitionen getätigt werden. Besonders in der Anfangsphase ist die Unsicherheit über den Erfolg neuer Technologien oder Produktentwicklungen hoch. Zahlreiche unbekannte Variablen – insbesondere in dynamischen Märkten – erhöhen das Risiko. Während dieses im weiteren Entwicklungsverlauf abnimmt, bleibt das potentielle Scheitern zu einem fortgeschrittenen Zeitpunkt dennoch mit erheblichen finanziellen Verlusten verbunden. Ein strategisches Risikomanagement ist daher von hoher ökonomischer Relevanz. Ziel des De-Risking ist es, das Anfangsrisiko gezielt zu reduzieren, den Entwicklungsprozess effizienter zu gestalten und die Markteinführung neuer Innovationen zu beschleunigen. ^{[11], [12]}

Die Ermittlung des Risikos einer biobasierten Technologie erfordert zunächst eine umfassende Betrachtung der entsprechenden Branche und des technologischen Standes. Anschließend erfolgt eine Analyse des Umfeldes anhand verschiedener externer Einflussfaktoren. Dazu wird die **PEST-Methode (Political, Economic, Social, Technological)** genutzt, welche die Betrachtung der genannten Einflussfaktoren beinhaltet. Rechtliche Aspekte werden unter politischen und ökonomischen Einflussfaktoren mit aufgeführt. Die gewonnenen Erkenntnisse werden zusammengeführt und in Form einer **SWOT-Matrix** transparent aufgezeigt. Somit besteht eine fundierte Basis die entsprechende biobasierte Technologie in die eigene Unternehmensstrategie einzubinden.

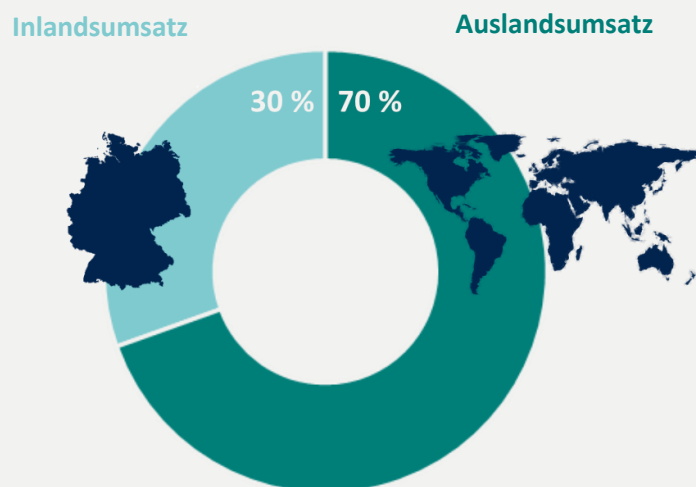
^{[13], [14], [15]}

Die Automobilbranche: Daten, Fakten, Trends.

Die deutsche Automobil- und Zulieferindustrie steht spürbar unter Druck. Mit vielen Jahren starken Wachstums seit Beginn des 21. Jahrhunderts profitierte der Standort von dem profitablen Geschäftsmodell deutscher Automobilkonzerne, welches auf das Bespielen weltweiter Märkte und eine starke Stellung im Premiumsegment abzielt. Dieses Modell machte es möglich, teure bis sehr teure Fahrzeuge mit guten Margen in Deutschland zu bauen und global zu verkaufen. Mittlerweile ist diese Erfolgsgeschichte ins Stocken geraten. Grund dafür sind globale Wettbewerber, insbesondere chinesische Unternehmen, die auch im Premiumbereich, insbesondere im Segment elektrischen Antriebs, angreifen. Dem Markteintritt für globale Wettbewerber wurde insbesondere durch den Technologiewandel hin zu Elektroantrieben die Tür geöffnet. Hinzu kommen politische Spannungen, wie beispielsweise die verschärften Zollpolitiken verschiedener Länder sowie die globalen Verwerfungen einschließlich dem erschwerten Zugang zu fossilen Ressourcen. Insgesamt zeigt sich, dass die Produktion in Deutschland und die Wettbewerbsfähigkeit stark gelitten haben. Der langfristige Ausblick für die produzierende Industrie und den Wirtschaftsstandort Deutschland haben sich deutlich verdunkelt.^{[16], [17]}



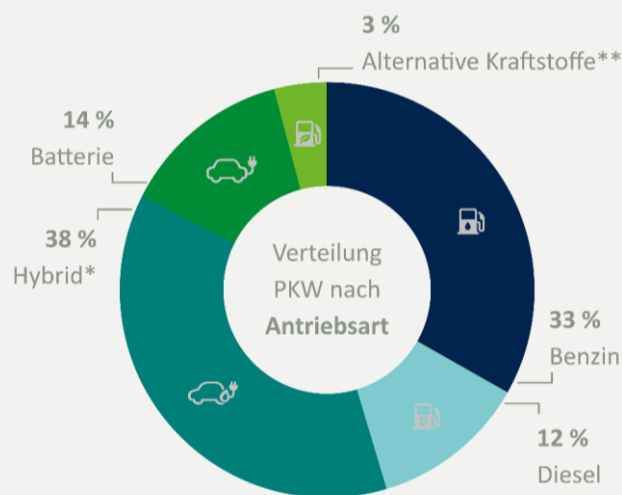
Umsatz, produzierte Personenkraftwagen (PKW), Unternehmen und tätige Personen in der deutschen Automobilbranche (Stand: 2025).^{[18], [19]}



Verteilung des Inlands- und Auslandsumsatzes der deutschen Automobilindustrie (Stand: 2025).^[18]

Neben der ohnehin angespannten wirtschaftlichen Lage wächst der regulatorische Handlungsdruck auf die Automobilindustrie. Nachhaltigkeit hat in den vergangenen Jahren deutlich an gesellschaftlicher und politischer Bedeutung gewonnen, was sich unter anderem in den Zielen des europäischen *Green Deals* widerspiegelt – etwa einer Emissionsminderung von mindestens 55 % (gegenüber 1990) bis 2030 und dem Ziel der Klimaneutralität bis 2050. Diese Vorgaben betreffen die Industrie unmittelbar und erfordern sowohl den verstärkten Einsatz erneuerbarer Energien als auch eine grundlegende Transformation hin zu nachhaltigem Wirtschaften. Ein tatsächlicher Wandel lässt in einigen Sektoren allerdings auf sich warten. Während die Treibhausgasemissionen in Deutschland seit 1990 insgesamt gesunken sind, zeigt der Verkehrssektor

weiterhin steigende Werte. Effizienzgewinne durch bessere Motoren, Abgasreinigung und alternative Kraftstoffe werden durch das steigende Verkehrsaufkommen und Fahrzeuggewicht mehr als kompensiert. Technische Optimierung adressierte in der Vergangenheit Sicherheit, Geschwindigkeit, sowie Komfort und Luxus – weniger jedoch ökologische Entlastungen. Damit bleibt der Verkehrsbereich eine große Herausforderung, insbesondere da aus Politik und Wirtschaft Forderungen gestellt werden, strikte Auflagen an die deutsche Automobilbranche zu flexibilisieren (wie das Aufweichen des EU-Verbrennerverbots). Zugleich stellt die Industrie einen zentralen Hebel für die Erreichung der Klimaziele. Die wirtschaftlichen Kosten des Nichthandelns werden die Kosten rechtzeitiger Klimaschutzmaßnahmen langfristig deutlich übersteigen (*Stern Review*).^[20]



Verteilung neu zugelassener PKW in der EU nach Antriebsart (Stand: 2024). *umfasst Hybrid und Plug-in-Hybrid
 **Erdgas, LPG, Ethanol, Brennstoffzellen^[21]

Ein klarer Trend zeigt sich in der Entwicklung der Antriebstechnologien: Zwar stellen Fahrzeuge mit Benzin-, Diesel- oder Hybridantrieb weiterhin den Großteil an PKW-Neuzulassungen in Europa, der Anteil alternativer Antriebe ist jedoch in den vergangenen Jahren gewachsen. Insbesondere batterieelektrische Fahrzeuge sowie der Einsatz alternativer Kraftstoffe bieten das Potenzial, die CO₂-Emissionen im Fahrzeugbetrieb zu senken. Für eine ganzheitliche Bewertung der CO₂-Bilanz eines Fahrzeugs ist die Betrachtung des gesamten Lebenszyklus von Bedeutung. Dies beginnt mit der

Rohstoffherzeugung und Fahrzeugproduktion, umschließt die Nutzungsphase und endet in der End-of-Life-Phase. Diese umfasst die Entsorgung des Altfahrzeugs beziehungsweise das Recycling einzelner Fahrzeugkomponenten. Ein Großteil der CO₂-Emissionen ist der Nutzungsphase des Fahrzeugs zuzuschreiben. Das Entlastungspotential durch Elektrifizierung (unter der Annahme, dass die Stromerzeugung langfristig emissionsarm erfolgen kann) verlagert den Fokus jedoch zunehmend von der Nutzungsphase auf die zuvor und anschließend verursachten Umweltauswirkungen.^{[21], [22]}

In der Produktions- und der End-of-Life-Phase sind die verwendeten Materialien von entscheidender Bedeutung. Welche Materialien in welchem Maß verwendet werden und wie sie verarbeitet werden zeigt Auswirkungen auf die CO₂-Bilanz des Fahrzeugs.

Gerade in Deutschland spielen hierbei die überwiegend mittelständisch geprägten Zulieferunternehmen eine zentrale Rolle, da sie einen erheblichen Teil der industriellen Wertschöpfung der Automobilbranche erbringen. Nach Angaben des Verbands der Automobilindustrie (VDA) entfallen rund 70 % der Wertschöpfung eines Fahrzeugs auf Zulieferunternehmen. Sie sind damit entscheidende Akteure

in der nachhaltigen Transformation der Automobilindustrie. Wichtige Ansatzpunkte liegen sowohl in einer energie- und ressourceneffizienten Produktion als auch in der bewussten Auswahl geeigneter Rohstoffe. Vor diesem Hintergrund rücken alternative, ressourcenschonende Werkstoffe sowie funktions- und materialoptimierte Produktkonzepte zunehmend in den Fokus von Forschung und Industrie.

Gleichzeitig kann eine Diversifizierung der Rohstoffquellen dazu beitragen, Abhängigkeiten von fossilen und importierten Ressourcen zu verringern und die Resilienz sowie Wettbewerbsfähigkeit des Wirtschaftsstandorts Deutschland langfristig zu stärken. ^[23]



Lebenszyklus eines Fahrzeugs. Anknüpfungspunkte für eine ökologisch nachhaltige Implementierungen in grün. ^[22]

Automobile bestehen zu weiten Teilen aus Stahl, Aluminium und Kunststoff. Stahl, Aluminium und andere Metalle finden Verwendung im Fahrgestell und in der Karosserie. Kunststoffe werden beispielsweise für den Innenraum, Sitze, Stoßfänger, Außenbereich und elektrische Komponenten verwendet. Auch Glas und Gummi bilden wesentliche Fahrzeugkomponenten. So bestehen beispielsweise Windschutzscheiben aus Verbundglas mit einer Kunststoffschicht, um einer Zersplitterung entgegenzuwirken. Kautschuk findet in den Autoreifen, sowie in Dichtungen und Schläuchen Verwendung.

Die in Fahrzeugen verbauten Materialien müssen hohen technischen und funktionalen Anforderungen gerecht werden. So muss eine ausreichende Stabilität und damit Sicherheit der Fahrenden nachgewiesen werden und zugleich eine Langlebigkeit bei ständiger mechanischer und klimatischer Belastung gewährleistet sein. Zudem sollen optische Qualitätsansprüche, und Komfort erfüllt sein. Kraftfahrzeuge sind komplexe Produkte, in denen eine

Vielzahl unterschiedlicher Werkstoffe gezielt miteinander kombiniert wird. ^{[23], [24]}

Um den zunehmend strengeren Vorschriften hinsichtlich des Kraftstoffverbrauchs und Emissionsausstoßes zu begegnen, gewinnt der Einsatz alternativer Materialien und Bauweisen im Automobilbau an Bedeutung. Ein geringes Fahrzeuggewicht wird von Herstellern als zentraler Faktor nachhaltiger Mobilität angesehen, da es sowohl den Kraftstoffverbrauch als auch CO₂-Emissionen reduziert. Auch mit Blick auf das höhere Gewicht von Elektrofahrzeugen gewinnt Leichtbau an Bedeutung. Der Leichtbau stellt einen strategischen Ansatz zur Verringerung des Gesamtgewichts von Fahrzeugen dar, ohne Sicherheit, Funktionalität oder Komfort zu beeinträchtigen. Vor diesem Hintergrund kommen Kunststoffe und Verbundwerkstoffe, insbesondere Faserverbundwerkstoffe, verstärkt zum Einsatz. Es handelt sich um Werkstoffe, die aus zwei oder mehr verbundenen Materialien bestehen und im Vergleich zu konventionellen Metallbauteilen Gewichtsreduktionen bis zu 50 % ermöglichen. ^{[25], [26]}

Biobasierte Materialien für das Automobil der Zukunft?

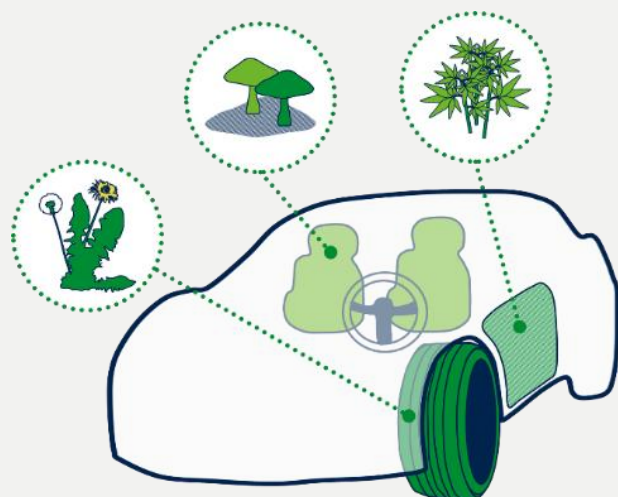
Die industrielle Fertigung einer Vielzahl technischer Materialien basiert bislang auf der Nutzung fossiler Rohstoffe, insbesondere Erdöl. Diese Ressourcen sind jedoch endlich und ihre Förderung sowie Verarbeitung gehen mit erheblichen Treibhausgasemissionen einher. Als vielversprechende Alternative gelten biobasierte Materialien, die aus nachwachsenden, biogenen Ressourcen gewonnen werden. Als Rohstoffquellen für die Herstellung biobasierter Materialien dienen Stärke und Cellulose reiche Pflanzen wie Zuckerrübe und -rohr, Mais, Weizen oder Kartoffeln sowie Ölpflanzen wie Rizinus, Soja und Raps. Auch tierische Rohstoffe, etwa Wolle oder Ledernebenprodukte, sowie Rest- und Nebenströme aus Landwirtschaft und Industrie können im Sinne einer Kreislaufwirtschaft genutzt werden. Bodenunabhängige Rohstoffe, die aus der Kultivierung von Mikroalgen, Bakterien, Pilzen und Hefen entstehen, eröffnen zusätzliche Potenziale für die Herstellung biobasierter Materialien in unterschiedlichen Anwendungsbereichen. [27], [28]

Auch in der Automobilindustrie finden biobasierte Materialien zunehmend Anwendung. Aufgrund der hohen Anforderungen an Stabilität, Sicherheit und Dauerhaftigkeit kommen insbesondere Bioverbundwerkstoffe zum Einsatz. Faserverbundwerkstoffe bestehen aus einer polymeren Matrix und einer Verstärkungs-komponente in Form von Fasern. Durch das Zusammenwirken beider Komponenten weisen sie in der Regel höhere Steifigkeiten und Festigkeiten auf als die jeweiligen Einzelmaterialien. [29]

Von Bioverbundwerkstoffen ist die Rede, wenn mindestens eine der beiden Hauptkomponenten biobasiert ist. Dies kann entweder eine biobasierte Polymermatrix oder eine Verstärkung durch Naturfasern betreffen. In naturfaserverstärkten Kunststoffen werden vor allem Flachs- und Hanffasern eingesetzt. Eine weitere Werkstoffgruppe stellen Holz-Polymer-Werkstoffe (*Wood-Plastic-Composites*, WPC) dar. Diese bestehen aus variablen Anteilen an Holzmehl oder Holzfasern, thermoplastischen Kunststoffen sowie Additiven. Als Holzkomponente dienen überwiegend Nebenprodukte der Holzwerkstoffindustrie, insbesondere kostengünstiges Holzmehl. Im Automobilbereich spielen WPC bislang eine untergeordnete Rolle. [30]

Neben der Verarbeitung zu Kompositen finden biobasierte Materialien auch in der direkten Verarbeitung Einsatz. Dies bietet sich insbesondere in Anwendungsbereichen mit geringeren mechanischen Anforderungen an, beispielsweise im Fahrzeuginnenraum, wo Textilien oder Kunststoffbauteile mit geringerer mechanischer Beanspruchung Verwendung finden.

Bereits heute existieren verschiedene Best-Practice-Beispiele für den erfolgreichen Einsatz biobasierter Materialien in der Automobilindustrie. Eine Auswahl an Materialien auf pflanzlicher und mikrobieller Rohstoffbasis mit unterschiedlichen Anwendungsbereichen wird im vorliegenden Bericht vorgestellt. [31], [32], [33]



Biobasierte Materialien können eine nachhaltige Alternative zu einer konventionellen Produktion darstellen und kommen in der Industrie bereits erfolgreich zum Einsatz. Ob diese Produkte ihren Marktanteil vergrößern können und damit in der breiten Masse Anwendung finden, hängt von verschiedenen Aspekten und Entwicklungen ab. Entscheidend ist, ob biobasierte Materialien auch aus ökonomischer Sicht eine wettbewerbsfähige Option für Unter-

nehmen darstellen. Dazu zählt auch die Diskussion, inwieweit eine reine Substitution überhaupt erstrebenswert ist, oder ob nicht vielmehr biobasierte Produkte mit funktionellem Mehrwert die geeignetere Option sind, um einer breiteren Diffusion dieser Produkte zum Erfolg zu verhelfen. Unter welchen Rahmenbedingungen dies der Fall ist und welche zentralen **Einflussfaktoren** dabei eine Rolle spielen, wird im Folgenden näher untersucht.



Zentrale Einflussfaktoren für die Marktdurchdringung biobasierter Materialien.

Ökonomische Faktoren

Rohstoffpreis: Der Einsatz konventioneller Materialien auf Basis von Erdöl ist mitunter durch den erschwinglichen Preis attraktiv, wobei ein geringer Rohölpreis das Preisniveau unten hält. Ein Preisanstieg beispielsweise mittels Zertifizierungsansätzen würde das ändern und den Bedarf alternativer Lösungen erfordern. Darüber hinaus zeigt sich eine enge Kopplung des Ölpreises an die geopolitische Lage, was eine starke Preisvolatilität mit sich bringt. So haben sich jüngste Krisen, wie der Angriffskrieg auf die Ukraine oder Konflikte im Nahen Osten, die beispielsweise zu Stau in der Straße von Hormus führten, auch in Deutschland bemerkbar gemacht. Um sich unabhängiger von Preisen und der Verfügbarkeit von Rohöl aufzustellen, sind alternative Rohstoffe und Technologien ein entscheidender Hebel. ^{[34], [35]}

Biobasierte Materialien und Verbundwerkstoffe aus nachwachsenden Materialien können eine erdölunabhängige Alternative darstellen. Der Preis nachwachsender Rohstoffe aus der Land- und Forstwirtschaft wird von zahlreichen agrarökonomischen Faktoren beeinflusst und zeigte sich in der Vergangenheit sehr volatil. So spielen die Entwicklung des Klimas in Anbauregionen, die Preisentwicklung von Saatgut und Dünger, sowie potentieller Arbeitskräftemangel und potentielle Produktivitätssteigerung im Anbau eine wichtige Rolle. Auf der anderen Seite kann die regionale Beschaffung durch den gezielten Anbau des Rohstoffs in Nähe der Produktionsstätte einen Wettbewerbsvorteil schaffen. Zudem besteht eine enge Kopplung des Rohstoffpreises an die Entwicklung der Energiepreise. ^{[36], [37]}

Prozesskosten: Die vorgestellten biobasierten Materialien unterschieden sich nicht nur in ihrer Rohstoffbasis, sondern erfordern auch eine unterschiedliche Verarbeitung hin zum Einsatz im Automobil.

Einige Materialien, insbesondere biobasierte Kunststoffe bieten sogenannte „Drop-in“-Lösungen, welche die gleiche chemische Struktur wie das fossilbasierte Pendant haben und industriell gleichbehandelt werden können. Bislang unbekannte Materialien können aber auch neue Anforderungen in der Prozessführung mit sich bringen, was einen zusätzlichen Schulungsbedarf des entsprechenden Personals und gegebenenfalls spezielle technische Ausstattung erfordert. Durch einen erhöhten Personalaufwand und Investitionen in neues Inventar (*Capital Expenditures*, CAPEX) entstehen somit weitere Kosten (und dies in einem Umfeld, in dem seit Jahren abgeschriebene Anlagen genutzt werden). Qualifizierteres Personal und CAPEX dienen jedoch auch langfristigem

Wachstum und Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens. ^[38]

Wettbewerbsdruck: Die deutsche Automobilindustrie profitierte über Jahrzehnte von ihrer starken Position im Premiumsegment und den damit verbundenen hohen Margen. Mit der zunehmenden Intensivierung des globalen Wettbewerbs, insbesondere durch aufstrebende Hersteller aus China, gerät dieses Geschäftsmodell zunehmend unter Druck. Der wachsende Preiswettbewerb zwingt deutsche Automobilhersteller dazu, ihre Wertschöpfungsstrukturen noch deutlicher konsequenter an ökonomischen Kriterien auszurichten. Potentiale junger biobasierter Technologien könnten dabei in den Hintergrund rücken. Gleichzeitig können diese jedoch einen entscheidenden Wettbewerbsvorteil bieten („Game Changer“). Es sind bereits einige [erfolgreiche Anwendungen](#), in denen der Einsatz biobasierter Ressourcen als entscheidendes Alleinstellungsmerkmal genutzt wird, auf dem Markt. ^[16]

Politische Faktoren

Politische Regulierung: Zunächst ist in Hinblick auf politische Einflussnahme auf die Wirtschaft zwischen Regulierung und Förderung zu unterscheiden. Mit ordnungspolitischen Instrumenten und prozesstechnischen Maßnahmen lässt sich das Verhalten von Unternehmen, Konsumierenden und Gesellschaft lenken. So werden beispielsweise lange Zeit externalisierte Umweltkosten zunehmend nach Verursachendenprinzip umgelagert. Diese Kosten, die sich aus der staatlichen Regulierung ergeben, gilt es, durch gezielte Unternehmensstrategien präventiv zu vermeiden. ^[39]

Regulatorische Rahmenbedingungen wurden als wichtige Faktoren identifiziert, die die Innovationsaktivitäten von Unternehmen und Branchen beeinflussen. Entsprechend agieren die jeweiligen Branchenvertretungen, wie beispielsweise CLEPA, welcher weltweit führende Zulieferer, nationale Fachverbände und europäische Branchenverbände der Automobil-

zulieferer vereint und deren Interessen auf europäischer Ebene vertritt. ^{[40], [41]}

Ein Beispiel für staatliche Regulierung im Automobilsektor ist die Verordnung über CO₂-Flottenziele für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge, welche Automobilhersteller verpflichtet, die durchschnittlichen spezifischen CO₂-Emissionen pro gefahrenen Kilometer der in Europa neu zugelassenen Fahrzeuge über die Zeit abzusenken. Somit soll die Transformation gezielt in Richtung Elektrifizierung gesteuert werden. Solch eine staatliche Einflussnahme ist in Zukunft auch über die Nutzungsphase hinaus, beispielsweise für die Materialauswahl, zu erwarten. ^[42]

Besteuerung: Neben dem Rohölpreis an sich können auch eine Besteuerung fossiler Rohstoffe beziehungsweise die Kohlenstoffsteuer den Preis konventioneller Materialien in die Höhe treiben. Ein stetiger Preisanstieg ist durch das Brennstoffemissionshandelsgesetz (BEHG)

bis 2026 festgelegt. Ab dem Jahr 2027 ist eine freie Preisbildung im Rahmen des europäischen Emissionshandels vorgesehen. ^[43]

Fördermaßnahmen: Der 30. Subventionsberichtsbericht des Bundes sieht zudem vor, nachhaltiges Wirtschaftswachstum durch gezielte Incentivierung zu stärken. Diese staatlichen Anreize können als Finanzhilfen direkt fließen oder indirekt in Form von Steuervergünstigungen. Die deutsche Subventionspolitik ist stark durch die Klima- und Umweltpolitik geprägt, insbesondere im Bereich der direkten Förderung. Eine explizite Förderung biobasierter Materialien im Verkehrswesen wird nicht benannt, jedoch werden biobasierte Verfahren und Materialien weiterhin unter dem Förderprogramm „Industrielle Bioökonomie“ unterstützt, sowie in einem von Finnland, Estland und Deutschland initiierten IPCEI (*Important Projects of Common European Interest*) für Biotechnologie. Die Hightech Agenda Deutschland versteht sich als Innovationsoffensive der Bundesregierung und betont insbesondere die Förderung der Biotechnologie zur Etablierung nachhaltiger Produkte und Verfahren. Im Klimaschutzplan 2050 ist angekündigt, dass die ökonomischen Anreize zur Vermeidung von Umweltbelastung und zur Umstellung auf eine nachhaltige Produktions- und Konsumweise ausgeweitet werden sollen. ^{[2], [44], [45]}

Akkreditierte Zertifikate: Bürokratische Hürden können insbesondere für kleine und

Technische Faktoren

Produktion: Neue Technologien verursachen in der Regel höhere Investitionen, da sie entweder neue Prozessschritte in bestehende Linien integrieren oder gänzlich neue Produktionslinien für neue Produkte vorsehen. Diese Umstellung ist mit einem entsprechenden Aufwand verbunden, der mit der Optimierung ehemaliger Produktionsprozesse im Sinne eines integrierten Umweltschutzes einhergeht und damit sogenannte Umweltkosten (wie Kosten, welche mit Entsorgung oder *end of pipe* Technologien verbunden sind) einspart.

mittelständische Unternehmen eine große Herausforderung darstellen. Dies ist auch in der Kennzeichnung und Zertifizierung biobasierter Materialien und Prozesse festzustellen. Dabei spielen sie eine entscheidende Rolle bei der Bewertung und Kommunikation der Nachhaltigkeit von Produkten und Dienstleistungen. Das Zertifizierungssystem biobasierter Produkte ist komplex, es bestehen Parallelstrukturen und mangelnde Transparenz und es existiert eine Vielzahl verschiedener Labels. Durch die Einführung der europäischen EmpCo-Richtlinie (*Empowering Consumers*) soll mehr Transparenz geschaffen werden. Ab dem 27. September 2026 gelten damit neue und deutlich strengere Regeln für die Nachhaltigkeitskommunikation. Vage Aussagen und selbsterstellte Labels werden künftig verboten sein. ^{[46], [47]}

Derzeit existieren keine Umwelt-Labels, die sich explizit auf biobasierte Automobilkomponenten beziehen. Etablierte Zertifizierungssysteme wie die IAF 16949 für die Zulieferkette der Automobilindustrie beschränken sich auf Qualitätsstandards und Prozessoptimierung, nicht auf ökologische Aspekte. Ansätze zur einheitlichen Einordnung biobasierter Materialien bietet die Bestimmung an biobasiertem Kohlenstoff. ^{[24], [46], [48]}

Durch zuverlässige Zertifizierungssysteme kann ökologische Nachhaltigkeit wirkungsvoll nach außen kommuniziert und als Wettbewerbsvorteil eingesetzt werden.

Neues Personal beziehungsweise Personalschulungen verursachen in der Regel Kosten. Mit der Etablierung alternativer Materialien wird der Erfahrungsschatz im Umgang mit diesen jedoch wachsen und das Wissen um Prozessoptimierung steigen. Somit werden sich diese Kosten durch gesteigerte Effizienz und die gewonnene Technologiesouveränität aus zahlen.

Skalierung: Wichtige Aspekte in der Betrachtung biobasierter Materialien sind die Skalierbarkeit der Herstellung und die daraus

erwachsene Wettbewerbsfähigkeit. Der Aufbau robuster Lieferketten ist entscheidend für die Zukunft alternativer Materialien. Aufgrund des derzeit geringen Marktanteils sind die Kosten aktuell höher als bei konkurrierenden Materialien mit über Jahre optimierten Lieferketten. Wird das Produktionsvolumen ausgeweitet, so können Kostenvorteile geltend gemacht werden.

Umweltwirkung: Um die Umweltwirkung von Prozessen und Produkten zu quantifizieren eignet sich eine Ökobilanz über den gesamten oder Teile des Lebenszyklus. Zahlreiche dieser sogenannten Lebenszyklusanalysen (*Life Cycle Analysis*, LCA) zeigen, dass biobasierte Materialien und Technologien Umweltvorteile bieten können. So können beispielsweise biobasierte Kompositmaterialien wie naturfaserverstärkten Kunststoffe die CO₂-Bilanz im Vergleich zu konventionellen Verbundwerkstoffen senken. Insbesondere der Einsatz von Flachs- und Hanffasern zeigt ein hohes Potential zur CO₂-Reduktion. Biobasierte Materialien bieten dazu die Chance der regionalen Verwendung, um mögliche Umweltlasten durch Transporte zu vermeiden. [38], [49], [50]

Mit Blick auf das Ziel einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft wird der Verbleib des Fahrzeuges am Ende des Lebenszyklus immer relevanter. Insbesondere seit Einführung der europäischen Altfahrzeug-Richtlinie (*End-of-Life Vehicles Directive*) ist die Förderung des Recyclings, der Wiederverwendung und Verwertung von Altfahrzeugen von zentraler Bedeutung. Die verschiedenen *End-of-Life*-Optionen müssen schon zu Beginn der Planung Berücksichtigung finden, da das Entsorgungssystem einen entscheidenden Faktor darstellt, der die ökologische und ökonomische Gesamtleistung des eingesetzten Materials erheblich beeinflussen kann. [50]

Soziale Faktoren

Awareness & Kommunikation: Das zunehmende Bewusstsein für Nachhaltigkeit in der Bevölkerung kommt der Nachfrage an

Rohstoffverfügbarkeit und -souveränität: Wird auf natürliche Ressourcen zurückgegriffen, so müssen potentielle Schwankungen der Rohstoffqualität mitgedacht werden. Zudem spielt das Thema Rohstoffsoveränität insbesondere in Zeiten globaler Verwerfungen eine zentrale Rolle. Die deutsche Rohstoffunabhängigkeit wird unter anderem durch gezielte Fördermaßnahmen und technologische Innovationen gestärkt. Deutschland bietet sich als Standort für eine Breite an Rohstoffen für den Ersatz konventioneller Materialien an. [51]

Materialeigenschaften: Damit biobasierte Materialien sich auf lange Sicht auf dem Markt behaupten können, dürfen ihre funktionellen Eigenschaften denen der konventionellen Produkte nicht nachstehen. Insbesondere Verbundwerkstoffe bieten aufgrund ihrer Festigkeit großes Potenzial für den Einsatz in der Automobilproduktion. Flachs und Hanf weisen die höchste Festigkeit auf, wobei Jute und Bambus als Faserbestandteile geringere Werte erzielen. Für biobasierte Kunststoffe gibt es bereits Lösungen die den technischen Parametern konventioneller Kunststoffe nichts nachstehen und auf die gleiche Weise verarbeitet werden können. [29], [30], [52]

Grundsätzlich ist jedoch zu beachten, eine sorgfältige Auswahl geeigneter Ausgangsstoffe zu treffen und gegebenenfalls Anpassungen in der Verwendung vorzunehmen, um die gewünschten Anforderungen an das entsprechende Material zu erfüllen. Letztlich ist festzuhalten, dass es zukünftig weniger um reine *Drop-In*-Betrachtungen gehen muss, sondern vielmehr um biobasierte Materialien mit funktionellem Mehrwert. Schon deshalb, um das mögliche Dilemma der Konkurrenz um Nahrungsmittel zu vermeiden („Teller/Tank“).

biobasierten Produkten zugute. Das setzt derzeit jedoch weitestgehend eine individuelle Informationsbeschaffung und das Auseinander-

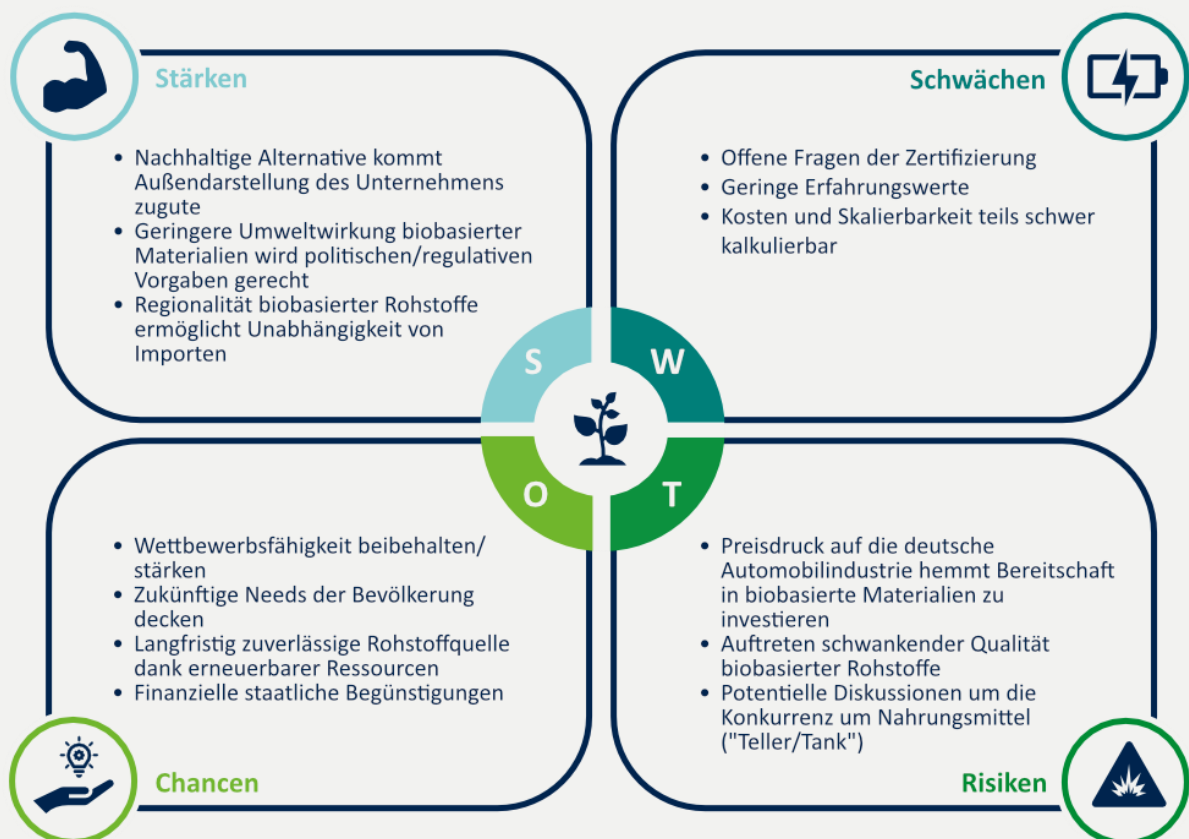
setzen mit der Problematik des Klimawandels voraus. Das Schließen von Informationslücken der breiten Öffentlichkeit kann das Nachhaltigkeitsbewusstsein fördern. Dies findet vermehrt auch in der Politik Beachtung, was sich in Form von zahlreichen Strategiepapieren zu der Relevanz des gesellschaftlichen Dialogs und zunehmenden Infoveranstaltungen im Kontext der Bioökonomie zeigt. Zunehmende gesellschaftliche Trends in Richtung des „all natural“-Gedankens führen zu Bedarfsveränderungen und veränderten Markterfordernissen. [53], [54]

Parallel dazu gewinnt die transparente Kommunikation von Umweltwirkungen an Bedeutung. Regulatorische Vorgaben wie die EmpCo oder die CSRD (*Corporate Sustainability Reporting Directive*) verpflichten Unternehmen zu einer nachvollziehbaren und standardisierten Berichterstattung über ihre ökologischen und sozialen Auswirkungen. Insbesondere die CSRD etabliert umfassende Offenlegungspflichten und erhöht so die Relevanz nachhaltigkeitsbezogener Unternehmenskommunikation.

SWOT-Betrachtung

Die Verwendung biobasierter Materialien weist diverse Stärken (**Strength**), aber auch einige Schwächen (**Weakness**) auf. Die systematische Analyse der relevanten Einflussfaktoren und die Betrachtung verschiedener Szenarien und aktueller Entwicklungstrends ermöglichen die Einschätzung von Chancen (**Opportunity**) und Risiken (**Threat**), die mit der weiteren Entwicklung und industriellen Implementierung dieser Materialien verbunden sind. In Form

einer SWOT-Matrix werden diese transparent aufgezeigt. Sie dient als Basis für die Ableitung der Hauptherausforderungen, denen sich Unternehmen potentiell konfrontiert sehen werden. Durch das frühzeitige Erkennen dieser, kann mit einer angepassten strategischen Planung reagiert werden. Unternehmen können damit ihre Anpassungsfähigkeit gegenüber zukünftigen Veränderungen erhöhen.



SWOT-Analyse biobasierter Materialien in der Automobilindustrie – Systematische Gegenüberstellung von Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken zur strategischen Bewertung der Materialien im industriellen Kontext.

Erfolgreiche Anwendungen - Best Practice

Beispiel Bioconcept-Car

Ein Beispiel dafür, dass biobasierte Materialien keinesfalls mit einem Leistungsverlust einhergehen müssen, sind die Bioconcept-Cars des deutschen Motorsportteams Four Motors. Dieses testet seit 2003 nachhaltige Innovationen für den Renneinsatz auf der Nordschleife des Nürburgrings.

Die Entwicklung der Materialien erfolgt mit Partnern aus Forschung und Industrie. So lieferte beispielsweise das Institut für Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe (IfBB) Leichtbauteile aus nachwachsenden Rohstoffen, darunter biobasierte Werkstoffe ohne Verstärkungsfasern als auch Verbundwerkstoffe mit biobasierter Matrix oder Verstärkungskomponenten.

Beispielsweise bieten biobasierte Verbundwerkstoffe aus Flachsfasern eine nachhaltige Alternative zu den gewöhnlich im Leichtbau verwendeten Glas- und Kohlefasern zum Einsatz in der Fahrzeug-Karosserie.^[29]



Pflanzliche Kautschukalternativen

Ein weiteres Beispiel für biobasierte Innovationen in der Automobilindustrie ist die Nutzung von Naturkautschuk aus Löwenzahn für die Reifenproduktion durch Continental. Seit 2011 erforscht das Unternehmen gemeinsam mit Partnern die industrielle Gewinnung von Kautschuk aus dem Russischen Löwenzahn (*Taraxacum kok-saghyz*) als alternative Rohstoffquelle. Im Gegensatz zum klassischen Kautschukbaum, der ausschließlich in tropischen Regionen wächst, kann Löwenzahn auch in gemäßigten Klimazonen wie Europa oder Nordamerika angebaut werden. Dies eröffnet die Möglichkeit regionaler Anbau- und Verarbeitungsstrukturen und kann Transportwege sowie Abhängigkeiten von globalen Lieferketten reduzieren.

Ein erster Praxiseinsatz findet sich bereits im Fahrradbereich: Mit dem 2018 vorgestellten „Urban Taraxagum“ brachte Continental den weltweit ersten Serienreifen mit einem Laufstreifen aus reinem Löwenzahn-Kautschuk auf den Markt.

Im Forschungszentrum Taraxagum Lab in Anklam (Mecklenburg-Vorpommern, D) wird die gesamte Wertschöpfungskette untersucht – von Züchtung und Anbau bis hin zur Kautschukgewinnung. Ziel ist es unter anderem, den Kautschukgehalt der Pflanze weiter zu steigern und eine wirtschaftliche Nutzung zu ermöglichen. Material- und Reifentests zeigen, dass Löwenzahn-Kautschuk vergleichbare technische Eigenschaften wie herkömmlicher Naturkautschuk aufweist. Damit kann der biobasierte Rohstoff perspektivisch einen relevanten Beitrag zu einer nachhaltigeren und resilienteren Reifenproduktion leisten.^[28]



Pflanzliche Lederalternativen

Ein Beispiel für innovative, biobasierte Materialien mit Anwendung im Fahrzeuginnenraum liefert das junge Unternehmen Revol-Tech mit seiner Lederalternative LOVR™. Unter dem Leitmotiv „*Turning plants into materials for a circular future*“ entwickelt das Unternehmen Hochleistungswerkstoffe auf Basis von Hanfresten, die als Nebenprodukt der industriellen Hanfverarbeitung anfallen. Das Material ist sowohl biologisch abbaubar als auch recycelbar und folgt damit konsequent den Prinzipien der Kreislaufwirtschaft. Hanf bietet ökologische Vorteile wie einen geringen Wasserbedarf, den Verzicht auf Pestizide sowie eine hohe CO₂-Bindung und trägt zugleich zur Verbesserung der Bodengesundheit bei.

Neben der nachhaltigen Rohstoffbasis erfüllt LOVR™ auch anspruchsvolle technische Anforderungen:

Es zeichnet sich durch hohe Abriebfestigkeit, Hitze- und Zugbeständigkeit sowie eine lange Lebensdauer aus. Damit eignet sich das Material auch für stark beanspruchte Anwendungen. Unterschiedliche Oberflächenstrukturen, Farben und Verarbeitungsoptionen ermöglichen zudem vielfältige Designlösungen. LOVR™ zeigt damit exemplarisch, wie biobasierte Materialien ökologische Vorteile mit funktionaler Leistungsfähigkeit und gestalterischer Qualität verbinden können. ^[27]



Und jetzt?

Dieser Bericht versteht sich als Impulsgeber für die nachhaltige Transformation innerhalb der Automobilindustrie. Beleuchtet wurden der aktuelle Stand der Branche, mögliche Zukunftsperspektiven, sowie potentielle Stolperfallen auf dem Weg der Ressourcenwende. Exemplarisch wurde veranschaulicht, welche Vorteile eine Umstellung auf eine biobasierte Rohstoffbasis mit sich bringen kann.

Jetzt liegt es an Ihnen: Nutzen Sie die Chance, gestalten Sie den Wandel aktiv mit und erobern Sie die Märkte der Zukunft!

TransBIB begleitet Ihren De-Risking- & Transformationsprozess!



Nutzen Sie eines unserer zahlreichen Angebote!



TransBIB-Unternehmensanalyse: Transformationsstrategien für biobasiertes Wirtschaften

Wir bieten eine fundierte Analyse der Potentiale Ihres Unternehmens, entwickeln gemeinsam geeignete Technologie- und Implementierungs-Ansätze für biobasierte Prozesse und Produkte und unterstützen Sie so in Ihrer Zukunftsfähigkeit!

[Mehr erfahren](#)



TransBIB Kompetenzpool: Ihre Anlaufstelle für Unterstützung

Sie suchen passende Unterstützung für Ihr Projekt? Der TransBIB Kompetenzpool bündelt vielfältige Kompetenzen aus der Bioökonomie – offen für alle! TransBIB kontaktieren und gemeinsam die richtige Ansprechperson finden.

[Mehr erfahren!](#)



TransBIB-Newsletter:

Erhalten Sie einen Überblick über aktuelle und gelaufene Projekte, Veranstaltungen und Neuigkeiten. Melden Sie sich jetzt für unseren TransBIB-Newsletter an.

[Hier anmelden.](#)



Leibniz
Universität
Hannover

Autor: innen

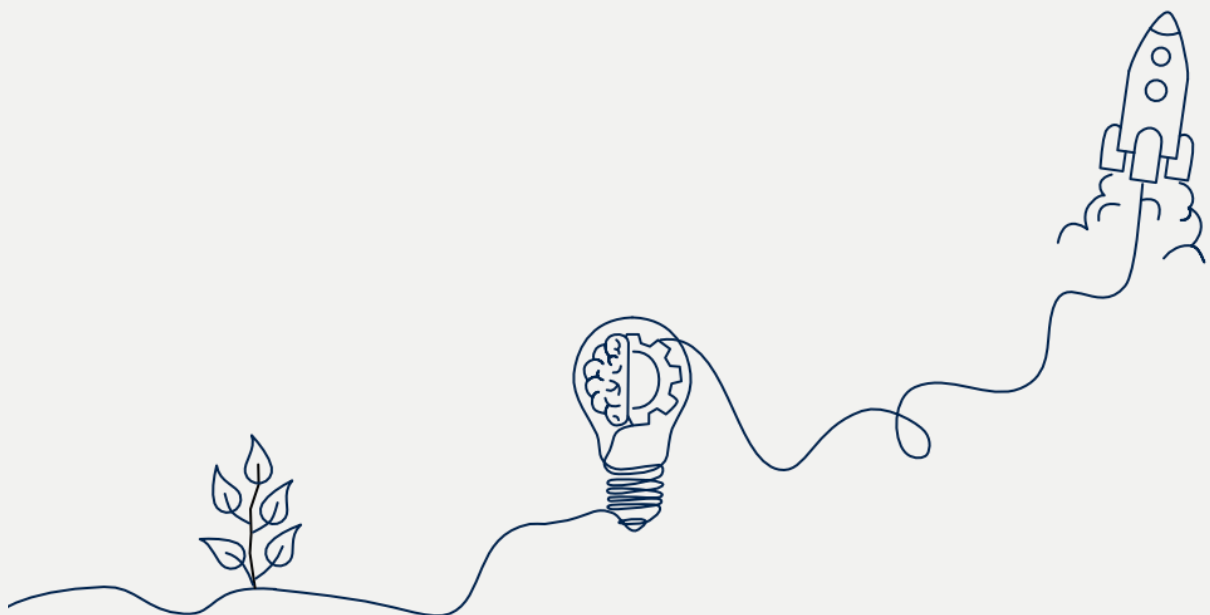
Marie Teichmann, M. Sc.
Dr.-Ing. Henning Lucas
Prof. Dr. rer. nat. Stefanie Heiden

ITE - Institut für Innovations-Forschung, Technologie-Management & Entrepreneurship

Naturwissenschaftliche Fakultät
Leibniz Universität Hannover (LUH)
Nienburger Straße 17
30167 Hannover

transbib@ite.uni-hannover.de

www.ite.uni-hannover.de



Literatur

- [1] Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt, *Bundesregierung: Roadmaps der Hightech Agenda Deutschland starten in die Umsetzung mit Wirtschaft, Wissenschaft und Ländern* (Pressemitteilung: 30/2026), 2026. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bmfr.bund.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2026/05/200526-HTAD.html>
- [2] BMFTR, "Hightech Agenda Deutschland," Jul. 2025. Zugriff am: 27. Oktober 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.bmfr.bund.de/SharedDocs/Publikationen/DE/L/31881_Hightech_Agenda_Deutschland.pdf?__blob=publicationFile&v=14
- [3] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB), "Klimaschutzplan 2050: Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung," Nov. 2016. Zugriff am: 01. April, 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Industrie/klimaschutzplan-2050.html>
- [4] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV), "Resortbericht zur Nachhaltigkeit," Feb. 2025. Zugriff am: 01. April, 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/975274/2335800/1ac7a595fad4f4ddb68f649c48aa3a37/2025-02-20-bmuv-nachhaltigkeitsbericht-2025-data.pdf?download=1>
- [5] Umweltbundesamt, "Die Nutzung natürlicher Ressourcen: Ressourcenbericht für Deutschland 2022," Nov. 2022. Zugriff am: 01. April, 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/fb_die_nutzung_natuerlicher_ressourcen_2022.pdf
- [6] M. Kircher, "Warum müssen wir auf fossile Rohstoffe verzichten?," *Zirkuläre Bioökonomie*, S. 9–11, 2023. doi: 10.1007/978-3-658-41556-3_3. [Online]. Verfügbar unter: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-658-41556-3_3
- [7] Bundesamt für Justiz und Bundesministerium für Justiz und für Verbraucherschutz, *Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG)*. Zugriff am: 29. Januar 2026. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.gesetze-im-internet.de/ksg/BJNR251310019.html>
- [8] Siddharth Singh. "The relationship between growth in GDP and CO2 has loosened; it needs to be cut completely." Zugriff am: 26. Juni 2026. [Online.] Verfügbar: <https://www.iea.org/commentaries/the-relationship-between-growth-in-gdp-and-co2-has-loosened-it-needs-to-be-cut-completely>
- [9] Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL), "Nationale Bioökonomiestrategie: - Langfassung," Berlin/Bonn, 2020. Zugriff am: 17. März, 2025.
- [10] F. Calza, A. Parmentola und I. Tutore, "Types of Green Innovations: Ways of Implementation in a Non-Green Industry," *Sustainability*, Jg. 9, Nr. 8, S. 1301, 2017. doi: 10.3390/su9081301. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.mdpi.com/2071-1050/9/8/1301>
- [11] C. Kruse, I. Mecke und A. Räss, *Risikomanagement, wertschätzende Führung und digitales Recruiting*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2024.
- [12] K. Dindarian, *Unvorhergesehenes als Chance sehen – Black Swan*. Cham: Springer International Publishing, 2024.
- [13] T. Kaufmann, *Strategiewerkzeuge aus der Praxis*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2021.
- [14] S. Petković und T. Heupel, "Management Basics: Unternehmerische Fragestellungen," *Management Basics*, S. 3–8, 2020. doi: 10.1007/978-3-658-11229-5_1. [Online]. Verfügbar unter: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-658-11229-5_1
- [15] F. N. Puglieri *et al.*, "Strategic planning oriented to circular business models: A decision framework to promote sustainable development," *Bus Strat Env*, Jg. 31, Nr. 7, S. 3254–3273, 2022, doi: 10.1002/bse.3074.
- [16] Thomas Puls, "Die Automobilindustrie im Jahr 2024: Globale Trends stellen das erfolgreiche Geschäftsmodell der deutschen Autoindustrie vor Herausforderungen," 2024. Zugriff am: 28. Januar 2026. [Online]. Verfügbar unter: https://www.iwkoeln.de/fileadmin/user_upload/Studien/Report/PDF/2024/IW-Report_2024-Automobilindustrie.pdf
- [17] EY Corporate Solutions GmbH & Co. KG, *Gewinneinbruch in der weltweiten Autoindustrie*. Zugriff am: 28. Januar 2026. [Online]. Verfügbar unter: https://www.ey.com/de_de/newsroom/2025/12/ey-automotive-bilanzen-q3-2025
- [18] Verband der Automobilindustrie e.V. (VDA). "Zahlen und Daten: Angaben zu Forschungsausgaben, Umsätzen und Beschäftigten in der Automobilwirtschaft." Zugriff am: 28. Januar 2026. [Online.] Verfügbar: <https://www.vda.de/de/aktuelles/zahlen-und-daten/jahreszahlen/allgemeines>
- [19] DESTATIS Statistisches Bundesamt. "GENESIS-Online: Die Datenbank des Statistischen Bundesamtes." Zugriff am: 28. Januar 2026. [Online.] Verfügbar: <https://www-genesis.destatis.de/datenbank/online>

-
- [20] N. Stern, "Stern review: the economics of climate change," *ETDEWEB*, 2006. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.osti.gov/etdeweb/biblio/20838308>
 - [21] statista. "Verbrenner dominieren weiter den Pkw-Markt in der EU: Anteil der neu zugelassenen Pkw in der EU nach Antriebsart." Zugriff am: 28. Januar 2026. [Online.] Verfügbar: <https://de.statista.com/info-grafik/35598/anteil-der-neu-zugelassenen-pkw-in-der-eu-nach-antriebsart/>
 - [22] Verband der Automobilindustrie e.V. (VDA). "Dekarbonisierung des Lebenszyklus eines Pkws." Zugriff am: 28. Januar 2026. [Online.] Verfügbar: <https://www.vda.de/de/themen/klima-umwelt-nachhaltigkeit/dekarbonisierung-des-lebenszyklus-eines-pkws>
 - [23] B. Ildefonso und D. Storer, "State-of-the-art Analysis on Alternative Materials for the Automotive Industry," *Transportation Research Procedia*, S. 1560–1567, 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146523009225>
 - [24] S. Wurster und L. Ladu, "Bio-Based Products in the Automotive Industry: The Need for Ecolabels, Standards, and Regulations," *Sustainability*, 2020. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/4/1623>
 - [25] F. Czerwinski, "Current Trends in Automotive Lightweighting Strategies and Materials," *Materials*, 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.mdpi.com/1996-1944/14/21/6631>
 - [26] L. Yan und H. Xu, "Lightweight composite materials in automotive engineering: State-of-the-art and future trends," *Alexandria Engineering Journal*, S. 1–10, 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110016824015886>
 - [27] IfBB, Institute for Bioplastics and Biocomposites. "Biopolymers facts and statistics 2020." Zugriff am: 17. März, 2025. [Online.] Verfügbar: https://www.ifbb-hannover.de/files/IfBB/downloads/faltblaetter_broschueren/f+s/Biopolymers-Facts-Statistics-2020.pdf
 - [28] L. Yang *et al.*, "Shifting from fossil-based economy to bio-based economy: Status quo, challenges, and prospects," *Energy*, Jg. 228, S. 120533, 2021. doi: 10.1016/j.energy.2021.120533. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544221007829>
 - [29] A. E. Pokharel, "Biobased Polymer Composites: A Review," *Journal of Composites Science*, 2022. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.mdpi.com/2504-477X/6/9/255>
 - [30] Dipl.-Phys. Michael Carus und Dipl.-Ing. Dr. Asta Partanen, "Bioverbundwerkstoffe: Naturfaserverstärkte Kunststoffe (NFK) und Holz-Polymer-Werkstoffe (WPC)," 2019. [Online]. Verfügbar unter: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.fnr.de/fileadmin/allgemein/pdf/broschueren/Bioverbundwerkstoffe_2019_Web.pdf
 - [31] Revoltech GmbH. "revoltech: Turning plants into materials for a circular future." Zugriff am: 3. März 2026. [Online.] Verfügbar: <https://www.revoltech.com/>
 - [32] Continental Reifen Deutschland GmbH. "Verantwortliche Beschaffung: Kautschuk aus Löwenzahn: Taraxagum." Zugriff am: 3. März 2026. [Online.] Verfügbar: <https://www.continental-tires.com/de/about/sustainability/activities-and-initiatives/design-and-sourcing/taraxagum/>
 - [33] Four Motors. "Bioconcept-Cars: Das schnellste Testlabor der Welt auf der härtesten Rennstrecke der Welt." Zugriff am: 30. März 2026. [Online.] Verfügbar: <https://www.fourmotors.com/bioconcept-cars/saeulen-der-nachhaltigkeit/bio-leichtbau/>
 - [34] OPEC Organization of the Petroleum Exporting Countries. "2025 World Oil Outlook 2050." Zugriff am: 25. August 2025. [Online.] Verfügbar: <https://publications.opec.org/woo/chapter/142/2638>
 - [35] Statistisches Bundesamt. "Preisentwicklung ausgewählter OPEC-Rohöle in den Jahren 1960 bis 2025 (in US-Dollar je Barrel)." Zugriff am: 25. August 2025. [Online.] Verfügbar: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/810/umfrage/rohloelpreisentwicklung-opec-seit-1960/>
 - [36] Statistisches Bundesamt. "Monatliche Entwicklung der Einfuhrpreise von Mais in Deutschland von Januar 2021 bis Januar 2025 (Indexjahr 2021 = 100)." Zugriff am: 17. März, 2025. [Online.] Verfügbar: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1360167/umfrage/monat-entwicklung-einfuhrpreise-mais-deutschland/>
 - [37] Statistisches Bundesamt. "Entwicklung der Erzeugerpreise von Zuckerrüben in Deutschland in den Jahren 2000 bis 2024 (gegenüber dem Vorjahr)." Zugriff am: 17. März, 2025. [Online.] Verfügbar: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/385836/umfrage/entwicklung-der-erzeugerpreise-von-zuckerrueben-in-deutschland/>
 - [38] P. Bos, L. Ritzen, S. van Dam, R. Balkenende und C. Bakker, "Bio-Based Plastics in Product Design: The State of the Art and Challenges to Overcome," *Sustainability*, Jg. 16, Nr. 8, S. 3295, 2024. doi: 10.3390/su16083295. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/8/3295>
 - [39] bpb Bundeszentrale für politische Bildung. "Das Lexikon der Wirtschaft." Zugriff am: 27. Mai, 2025. [Online.] Verfügbar: <https://www.bpb.de/kurz-knapp/lexika/lexikon-der-wirtschaft/20504/regulierung/>
-

-
- [40] K. Blind, "The influence of regulations on innovation: A quantitative assessment for OECD countries," *Research Policy*, 2012. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004873331100165X>
 - [41] CLEPA. "CLEPA European association of Automotive Suppliers." Zugriff am: 24. Februar 2026. [Online.] Verfügbar: <https://www.clepa.eu/about/>
 - [42] Europäischen Parlament und europäischer Rat, *Festsetzung von CO2-Emissionsnormen für neue Personenkraftwagen und für neue leichte Nutzfahrzeuge: 2019/631*. Zugriff am: 30. März 2026. [Online]. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/de/TXT/?uri=CELEX%3A02019R0631-20250101>
 - [43] Bundesamt für Justiz, *Gesetz über einen nationalen Zertifikatehandel für Brennstoffemissionen (Brennstoffemissionshandelsgesetz - BEHG)*. Zugriff am: 17. März, 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.gesetze-im-internet.de/behg/BJNR272800019.html>
 - [44] Bundesministerium der Finanzen, "30. Subventionsbericht des Bundes," 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Downloads/Broschueren_Bestellservice/30-subventionsbericht.pdf?__blob=publicationFile&v=5
 - [45] Boston Consulting Group (BCG), UnternehmerTUM, "Wachstumspfade für Deutschland: Roadmap zur wettbewerbsfähigen Hightech-Nation," Feb. 2026.
 - [46] TÜV Rheinland. "Zertifizierungsprogramm Biobasierte Produkte." Zugriff am: 19. März, 2025. [Online.] Verfügbar: file:///C:/Users/Marie.Teichmann/Downloads/biobasierte_produkte_zertifizierungsprogramm.pdf
 - [47] Europäisches Parlament und europäischer Rat, *Richtlinie (EU) 2024/825 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 28. Februar 2024 zur Änderung der Richtlinien 2005/29/EG und 2011/83/EU hinsichtlich der Stärkung der Verbraucher für den ökologischen Wandel durch besseren Schutz gegen unlautere Praktiken und durch bessere Informationen*, 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2024/825/oj?locale=de>
 - [48] TÜV Nord. "IATF 16949 Zertifizierung." Zugriff am: 2. März 2026. [Online.] Verfügbar: <https://www.tuev-nord.de/de/dienstleistungen/auditierung-und-zertifizierung/iatf-16949-zertifizierung/>
 - [49] Perera, C. R. et al., "Life Cycle Assessment (LCA) of Bio-Based Polymers vs. Conventional Plastics in Automotive Engineering," *Journal of Research Technology & Engineering*, 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.researchgate.net/profile/Chamath-Perera-7/publication/396419416_Life_Cycle_Assessment_LCA_of_Bio-Based_Polymers_vs_Conventional_Plastics_in_Automotive_Engineering/links/68ea33edffdca73694b6f424/Life-Cycle-Assessment-LCA-of-Bio-Based-Polymers-vs-Conventional-Plastics-in-Automotive-Engineering.pdf
 - [50] A. e. a. Seile, "Reducing Global Warming Potential Impact of Bio-Based Composites Based of LCA," *Fibers*, 2022. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.mdpi.com/2079-6439/10/9/79>
 - [51] BDI Bundesverband der Deutschen Industrie e. V., "Wege aus der Abhängigkeit: Wie Deutschland die Rohstoffe für eine zukunftsfähige Wirtschaft sichert," 2024. Zugriff am: 23. Mai, 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://bdi.eu/publikation/news/wege-aus-der-abhaengigkeit-wie-deutschland-die-rohstoffe-fuer-eine-zukunftsaehige-wirtschaft-sichert>
 - [52] H. e. a. Vieyra, "Engineering, Recyclable, and Biodegradable Plastics in the Automotive Industry: A Review,"
 - [53] Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), "Bioökonomie als gesellschaftlicher Wandel: Konzept zur Förderung sozial- und wirtschaftswissenschaftlicher Forschung für die Bioökonomie," Februar, 2025. Zugriff am: 19. März, 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.bmbf.de/SharedDocs/Publikationen/DE/7/24072_Biooekonomie_als_gesellschaftlicher_Wandel.pdf?__blob=publicationFile&v=4
 - [54] O. Klein, D. Trebing und C. Tamásy, "Bioökonomie als gesellschaftlicher Wandel," *Bioökonomie und regionaler Strukturwandel*, S. 239–249, 2024. doi: 10.1007/978-3-658-42358-2_11. [Online]. Verfügbar unter: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-658-42358-2_11
 - [55] Europäisches Parlament und europäischer Rat,
-