

De-Risking Bericht 2025

Baubranche

Die Zukunft ist biobasiert?
Risikoeinschätzung für die Baubranche





TransBIB Boost. Industrial. Bioeconomy.

Für die biologische Transformation des deutschen Wirtschaftsstandortes kann die industrielle Bioökonomie entscheidende Beiträge leisten. Biobasierte und 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. TransBIB bündelt die Akteure, verknüpft ihre Kompetenzen und sorgt für einen umfassenden Wissenstransfer und -austausch in die Industrie, in die Gesellschaft und die Landesministerien.

Es sorgt für einen engen Austausch mit der Dialogplattform und stellt eine Reihe an Werkzeugen, Datenbanken und Unterstützungsleistungen 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 eine ambitionierte Strategie ausgearbeitet, den Zielen gerecht zu werden; seit diesem Jahr ist die Klimaneutralität bis 2045 in der deutschen Verfassung verankert. Mit der Hightech Agenda Deutschland aus dem Jahr 2025 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 gewährleis-

ten. Ein früher Einstieg kann dabei entscheidende Wettbewerbsvorteile sichern.

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 häufig energieintensiv und gehen mit massiven Eingriffen in natürliche Ökosysteme einher. Die Verbrennung fossiler Energieträger 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. Die Zukunft ist daher zwangsläufig biobasiert. ^{[1], [2], [3], [4], [5]}

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

„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.“ ^[6]



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. ^[7]

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

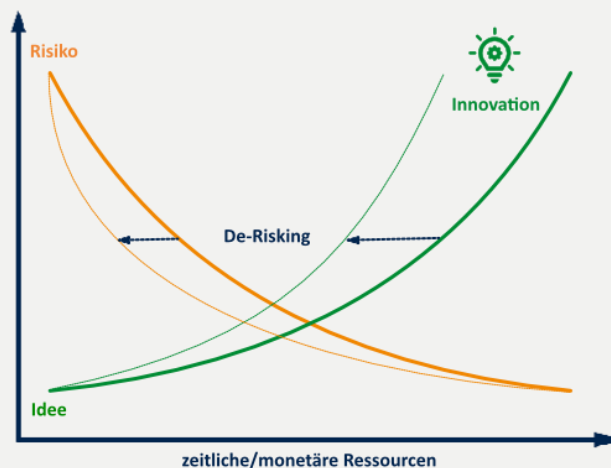
mensstrategie erfolgen. Zunächst gilt es, den IST-Zustand aufzunehmen - Wo steht mein Unternehmen aktuell? Anschließend hilft eine sorgfältige Marktanalyse inklusive der Beleuchtung innovativer Technologien, potentielle Entwicklungspfade zu skizzieren. Diese gilt es anschließend zu bewerten. Eine Basis 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 die Industrie, sich nachhaltig zukunftssicher aufzustellen.



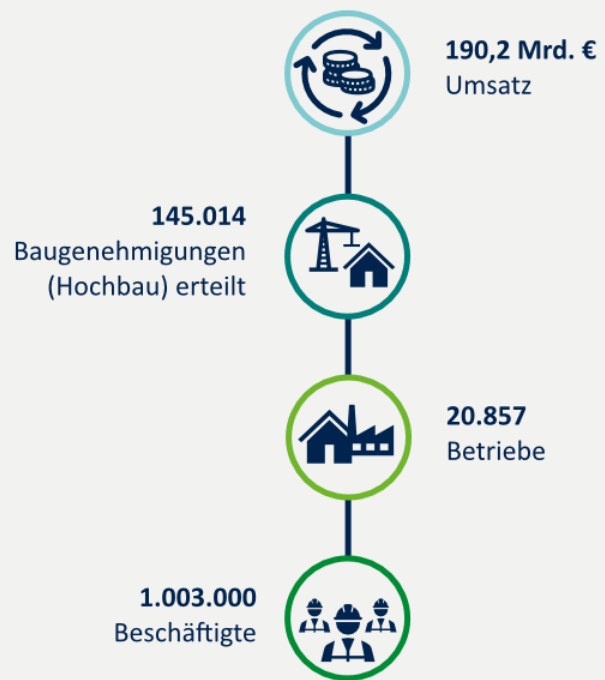
Risiko- und Innovationsentwicklung – insbesondere in frühen Phasen erfordern neue Technologien ein gezieltes Risikomanagement.

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. [8], [9]

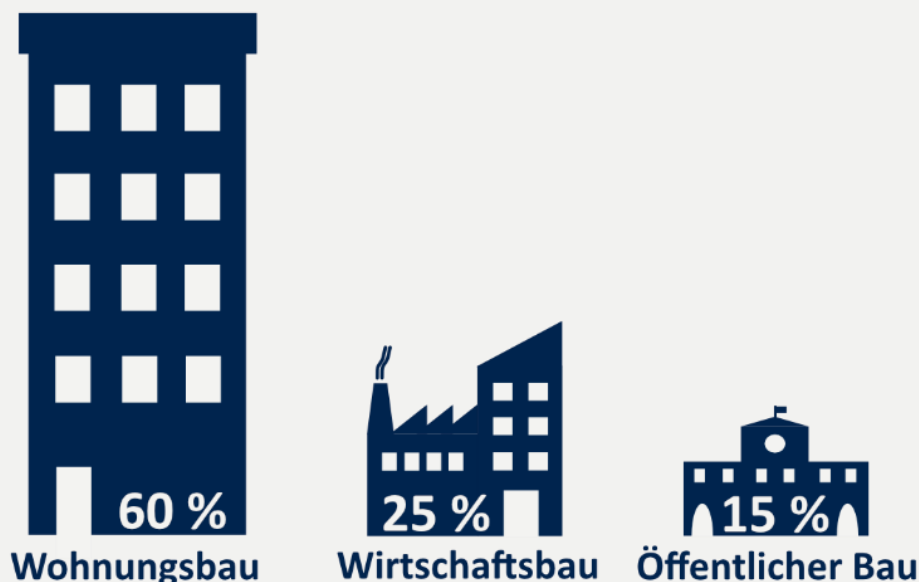
Die Ermittlung des Risikos einer biobasierten Technologie erfordert zunächst eine umfassende Betrachtung der entsprechenden Branche und des technologischen Standes. Anschließend erfolgt eine Analyse des Umfeldes anhand verschiedener externer Einflussfaktoren. Dazu wird die **PEST-Methode (Political, Economic, Social, Technological)** genutzt, welche die Betrachtung der genannten Einflussfaktoren beinhaltet. Von der umfassenderen PESTEL-Analyse (+ Ecological, Legal) wird in diesem Fall abgesehen, da ohnehin jegliche Aspekte aus ökologischer Sicht beleuchtet werden. 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 mit einzubinden. [10], [11], [12]

Die Baubranche: Daten, Fakten, Trends.

Die Baubranche sieht sich mit einer Vielzahl tiefgreifender Herausforderungen konfrontiert: hohe Baustoffpreise, anhaltender Fachkräftemangel, rückläufige Auftragszahlen, sowie die zunehmenden Anforderungen an Klimaschutz und Energiewende treffen auf bürokratische Hürden und uneinheitliche politische Rahmenbedingungen. Preisbereinigt ist das Bauvolumen mittlerweile das vierte Jahr in Folge rückläufig – besonders deutlich im Wohnungsbau, der bedeutendsten Bausparte. 2024 sank die Bauleistung erneut um fast 4 %, begleitet von einem spürbaren Anstieg der Insolvenzen im Baugewerbe. Es wird deutlich: Die Branche steht unter einem erheblichem Kosten- und Innovationsdruck. Ein Ausweg aus der Krise führt über strukturelle Erneuerung wie digitalisierte Prozesse, effiziente Abläufe und eine nachhaltige Bauweise. Dabei sei laut Wolfgang Schubert-Raab, Präsident des Zentralverbands Deutsches Baugewerbes, „ein politischer Neustart Bau unumgänglich“. ^{[13], [14], [15]}



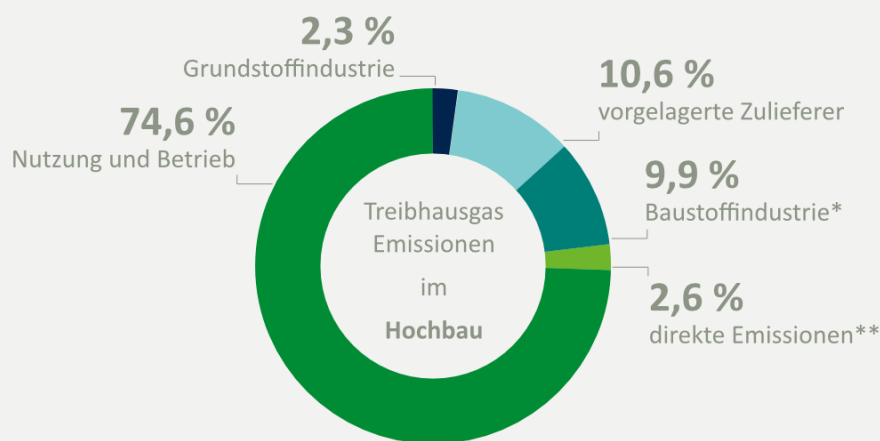
Umsatz, Baugenehmigungen, Betriebe und tätige Personen im deutschen Baugewerbe (Stand: 2024). ^[13]



Bauinvestitionen nach Bausparten: Wohnungsbau 60,5 %, Wirtschaftshochbau 19,5 %, Wirtschaftstiefbau 5,3 %, öffentlicher Hochbau 9,8 %, öffentlicher Tiefbau 4,9 % (Stand 2024). ^[13]

Dennoch: In Bezug auf das Thema Nachhaltigkeit gibt es Fortschritte. Inzwischen verfügen drei von vier Bauunternehmen über standardisierte ESG-Prozesse (*Environmental, Social, Governance*), also ein Rahmenwerk zur Bewertung der nachhaltigen Praxis von Unternehmen, was auf ein wachsendes Problembewusstsein und strukturelle Anpassungsbereitschaft hinweist. Diese ist dringend notwendig, denn der Bausektor zählt zu den zentralen Verursachern von Treibhausgasemissionen in Deutschland – rund 40 % entfallen auf Hochbauten. Nur ein Bruchteil dieser Emissionen lässt sich jedoch dem Bau selbst zurechnen.

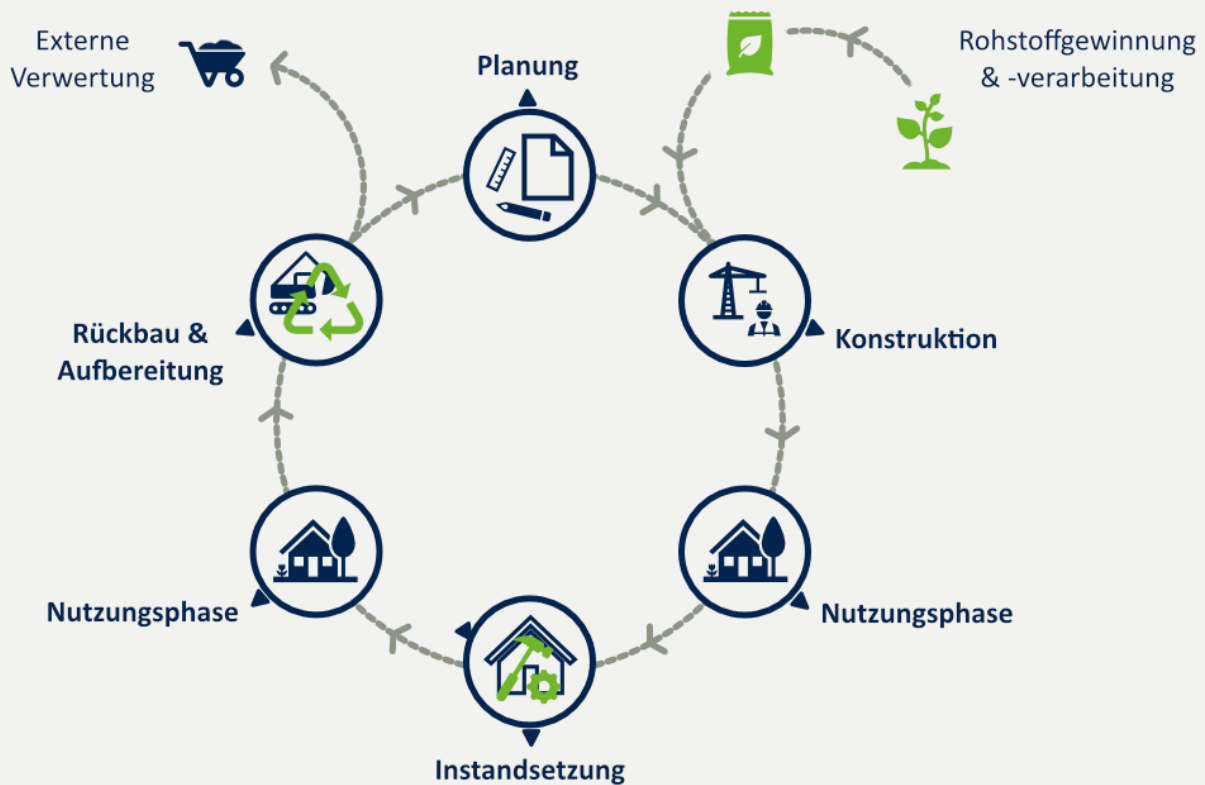
Weitere Teile entstehen in vor- und nachgelagerte Sektoren, insbesondere in Grundstoffindustrie und Baustoffproduktion, sowie in der Lieferkette. Den größten Beitrag verursachen jedoch Nutzung und Betrieb von Gebäuden. Für eine nachhaltige Transformation des Bauens reicht es daher nicht aus, nur an den Prozessen der Bauunternehmen selbst anzusetzen. Entscheidend sind zwei Fragen: **Wie** wird gebaut (Design und Funktionalität von Gebäuden) und **womit** wird gebaut (Wahl der Baustoffe, insbesondere in Hinblick auf die ökologische Qualität). ^{[16], [17]}



Treibhausgasemissionen in Errichtung und Nutzung von Hochbauten in CO₂-Äquivalenten, anteilige Verteilung in Prozent. *Baustoffindustrie und weitere Zulieferer **direkte Emissionen aus der Bauwirtschaft Hochbau ^[17]

Vor diesem Hintergrund wird deutlich: Die Bauwirtschaft ist ein vielschichtiger Sektor mit zahlreichen Akteur:innen entlang der gesamten Wertschöpfungskette. **Nachhaltiges Bauen** erfordert daher einen ganzheitlichen Ansatz, der den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes in den Blick nimmt – von der Materialgewinnung über die Errichtung bis hin zu Betrieb, Rückbau und Wiederverwertung. Es gilt, den Einsatz von Rohstoffen und Energie in allen Phasen umfassend zu bewerten und zu optimieren. Dabei können die Umweltwirkungen einzelner Bauprodukte erst im Gebäudekontext vollumfänglich beurteilt werden.

Einer Umstellung auf ökologisch nachhaltige Bauweisen wird häufig unterstellt mit erheblichen Mehrkosten einher zu gehen. Diese Annahme trifft jedoch nicht grundsätzlich zu – im Gegenteil: Ökologische Alternativen können in vielen Fällen wirtschaftlich mit der konventionellen Lösung konkurrieren. So können geringere Betriebs- und Instandhaltungskosten erzielt werden, sowie eine gesteigerte Nutzungsdauer. Langfristig können sich Investitionen in nachhaltige Bauweisen somit nicht nur ökologisch, sondern auch ökonomisch auszahlen. ^{[18], [19], [20]}



Lebenszyklus eines Gebäudes. Anknüpfungspunkte für eine ökologisch nachhaltige Bauweise in grün. ^{[20], [21]}

Eine nachhaltige Bauweise muss **ressourcen- und klimaschonend** und zugleich **wirtschaftlich tragfähig** sein. Konkret bedeutet das, den Stoffkreislauf nicht nur zu schließen, sondern möglichst effizient zu nutzen. Schon bei der Planung gilt es den gesamten Lebenszyklus mitzudenken und ebenso sich verändernde Gegebenheiten durch Folgen des Klimawandels, wie Stabilität auch in Extremwetterlagen.

Eine möglichst lange Nutzungsphase des Gebäudes sollte angestrebt werden und eine hohe Energieeffizienz gewährleistet sein. Die Abfallentstehung am Ende des Lebenszyklus sollte auf ein Minimum reduziert werden und Materialien bestenfalls rückgeführt und in Form von Sekundärstoffen erneut verwendet werden. Ein Rückbau sollte grundsätzlich möglich sein. ^[20]



Flächensuffizienz



Kreislauffähigkeit



Energieeffizienz



Verbrauch
Materialien



Auswahl
Materialien

Optimierung der ökologischen Nachhaltigkeit eines Gebäudeneubaus. Handlungsempfehlungen nach den Prinzipien des nachhaltigen Bauens (angepasst nach DGNB Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e. V.). ^[25]

Neubau

Insbesondere der Gebäudeneubau nach den Prinzipien des nachhaltigen Bauens bedarf einer gründlichen Planung. Bei der Wahl des Standortes stehen der Erhalt der Biodiversität und eine effiziente Flächennutzung im Fokus. Da Fläche eine begrenzte Ressource ist, sollte der Flächenverbrauch beim Neubau auf das notwendige Maß beschränkt werden, um die ökologischen Schutzfunktionen des Bodens zu erhalten. Ein sparsamer Umgang mit der Ressource Fläche trägt dazu bei, den Verlust von Naturräumen, landwirtschaftlich wertvollen Böden und wichtigen Klimaschutzleistungen zu vermeiden. Langfristig sieht die Bundesregierung eine Flächenkreislaufwirtschaft vor, so dass bis 2050 keine zusätzlichen Flächen für Siedlungs- und Verkehrszwecke in Anspruch genommen werden. Von Beginn an sollte die Konstruktion auf Zirkularität ausgelegt sein, so dass Rückbaubarkeit, Modularität und eine sortenreine Trennung ermöglicht werden. Ein Beispiel ist die Ständerbauweise, insbesondere der Holzrahmenbau. Es handelt sich um ein

flexibles Bausystem aus vorgefertigten Holzelementen. Die serielle Fertigung der Module erfolgt separat von der Baustelle in kontrollierter Umgebung und kann damit effizienter und nachhaltig gestaltet werden. Die einzelnen Module können bei Bedarf um- oder rückgebaut werden und der verwendete Baustoff Holz kann durch Recycling und Kaskadennutzung effizient genutzt werden. Auch die Energieeffizienz sollte bereits in der Gebäudeplanung mitgedacht und im Gebäudedesign berücksichtigt werden. Dabei bildet die Ökodesign-Richtlinie den Rechtsrahmen und sieht Mindesteffizienzanforderungen in der Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte vor. Der Materialeinsatz sollte auf ein Minimum reduziert werden und bei der Auswahl der Materialien auf biobasierte und bestenfalls regional verfügbare Baustoffe gesetzt werden. CO₂-intensive und schadstoffreiche Materialien und Prozesse gilt es zu vermeiden. Langlebige Holzprodukte speichern CO₂, was ebenfalls die Relevanz einer holzbasierten Bioökonomie unterstreicht. ^{[21],}

[22], [23], [24]



**Energetische
Sanierung**



Systemeffizienz



Energieversorgung



Instandhaltung



**Verhalten
Nutzende**

Optimierung der ökologischen Nachhaltigkeit des Betriebs bestehender Gebäude. Handlungsempfehlungen nach den Prinzipien des nachhaltigen Bauens (angepasst nach DGNB Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e. V.). ^[25]

Betrieb bestehender Gebäude

Im laufenden Gebäudebetrieb ist die Energieeffizienzsteigerung das zentrale Thema. So kann eine Optimierung der ökologischen Nachhaltigkeit über die Sanierung der Gebäudehülle in Form von Dämmung von Dach, Fassade und Fenstern erfolgen. Zu einer gesteigerten Systemeffizienz trägt die Modernisierung von Heizungs-, Lüftungs- und Klimaanlage bei.

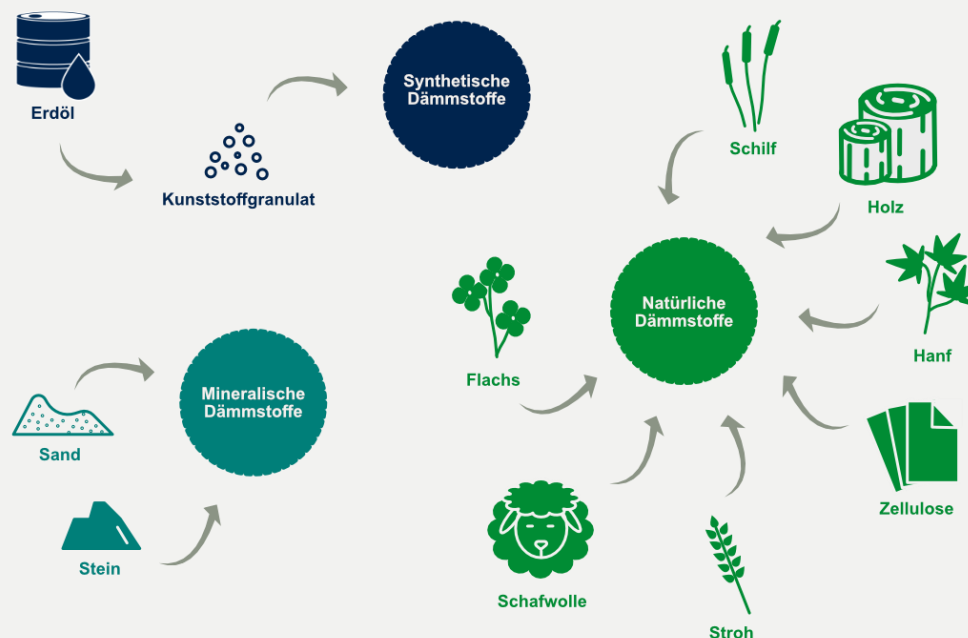
Beispielsweise können Wärmepumpen eine emissionsarme Temperaturregulation ermöglichen. Die Umstellung der Energieversorgung auf erneuerbare Energien wie Photovoltaik oder andere Formen der Eigenstromnutzung ist eine weitere Option. Letztlich trägt das Verhalten der Bewohner:innen maßgeblich zur Ressourcenschonung bei. Hier bieten sich Monitoringsysteme zur Auswertung der Verbrauchsdaten und Instandhaltung an. ^[21]

Biobasierter Dämmstoff für eine nachhaltige Zukunft?

Wie beschrieben, entsteht ein großer Teil der Emissionen in der Nutzungsphase von Gebäuden. Eine energieeffiziente Bauweise wirkt dem entgegen. Vereinfacht lässt sich sagen: aus sowohl ökonomischer als auch ökologischer Sicht ist die beste Energie jene, die nicht genutzt werden muss. Hier setzt die Gebäudedämmung an. Diese ist sowohl im **Neubau** als auch bei der **Sanierung** ein zentraler Hebel zur Steigerung der Energieeffizienz.

Dämmstoffe sind spezielle Baustoffe, die zur Wärme- und/oder Schalldämmung eingesetzt werden, wobei Wärmedämmstoffe durch ihre

geringe Wärmeleitfähigkeit Wärme- oder Kälteverlusten des Gebäudes vorbeugen. Als Dämmstoffe gelten Materialien, deren Wärmeleitfähigkeit kleiner ist als $0,1 \text{ W/mK}$ (Watt pro Meter mal Kelvin). Es wird zwischen drei Gruppen von Dämmstoffen unterschieden: synthetische, mineralische und biobasierte Dämmstoffe. Diese unterscheiden sich in ihrer Rohstoffbasis, den Verarbeitungseigenschaften und den geeigneten Anwendungsgebieten. Derzeit wird der Markt von synthetischen und mineralischen Materialien dominiert. [25], [26], [27]



Übersicht über verschiedene Dämmstoffgruppen und ihre Rohstoffbasis. [22]

Synthetische Dämmstoffe bestehen in der Regel aus Kunststoffen, die zu Hartschaumstoffen weiterveredelt werden. Am häufigsten kommen Polystyrol-Hartschaumstoffe zum Einsatz, insbesondere expandiertes Polystyrol (EPS), sowie extrudiertes Polystyrol (XPS) und Polyurethan-Hartschaumplatten (PUR). Ihr Einsatz ist mitunter aufgrund des niedrigen Preises sehr beliebt. Darüber hinaus weisen synthetische Dämmstoffe vorteilhafte technische Eigenschaften auf: sie sind leicht, robust, verrottungsfest und unempfindlich gegenüber Mikroorganismen. Jedoch weisen sie aufgrund ihres

Ausgangsstoffs Erdöl eine schlechte Ökobilanz auf: Es handelt sich dabei um eine knappe Ressource, die Herstellung benötigt viel Energie und die Entsorgung erfolgt thermisch, was zusätzliche Emissionen verursacht. Recycling der Dämmstoffe ist durch den Verbund mit anderen Baustoffen häufig nicht möglich. Zudem sind die synthetischen Schäume leicht entflammbar, weshalb der Zusatz von Flammenschutzmitteln notwendig ist. Diese sind oft bedenklich für die Gesundheit von Mensch und Natur, weshalb einige in der Vergangenheit bereits verboten wurden. [25]

Mineralische Dämmstoffe bestehen aus anorganischen Rohstoffen wie Sand, Kalk und Stein. Bei diesen Grundstoffen handelt es sich um nicht erneuerbare Ressourcen. Insbesondere für Sand besteht eine zunehmende Knappheit, was dazu führt, dass mit den aktuellen Praktiken der Bedarf an Grundstoffen langfristig nicht gedeckt werden kann. Ein bekanntes Beispiel ist Mineralwolle, zu der Glaswolle und Steinwolle zählen. Im festen Zustand sind diese Materialien durch ihre hohe Dichte gute Wärmeleiter, doch im Herstellungsprozess werden sie eingeschmolzen und in einem anschließenden Verfahren zerkleinert. Dabei entstehen

lockere Vliese, die große Mengen ruhender Luft einschließen, wodurch eine Dämmwirkung erzielt wird. Mineralische Dämmstoffe können eine Alternative zu synthetischen Varianten darstellen. Ein Recycling der Materialien ist grundsätzlich möglich, wird derzeit aber nur begrenzt umgesetzt. Zudem ist die Herstellung mineralischer Dämmstoffe sehr energieintensiv und erfordert zumeist den Zusatz von Bindemitteln, deren Herstellung ebenfalls mit einem hohen Energieaufwand einhergeht. Diese Bindemittel sind häufig synthetischer Natur und somit erdölbasiert und erschweren eine sortenreine Trennung. [25], [28], [29]

Nachhaltigkeitsaspekte rücken auch in der Baustoffindustrie zunehmend in den Fokus. Aufgrund des Klimawandels gewinnt neben dem klassischen Wärmeschutz in den Wintermonaten der Hitzeschutz im Sommer zunehmend an Bedeutung. Gleichzeitig wächst das Bewusstsein für das Thema **Wohngesundheit**. Diese Entwicklungen führen zu einer wachsenden Nachfrage an **alternativen Dämmmaterialien**.

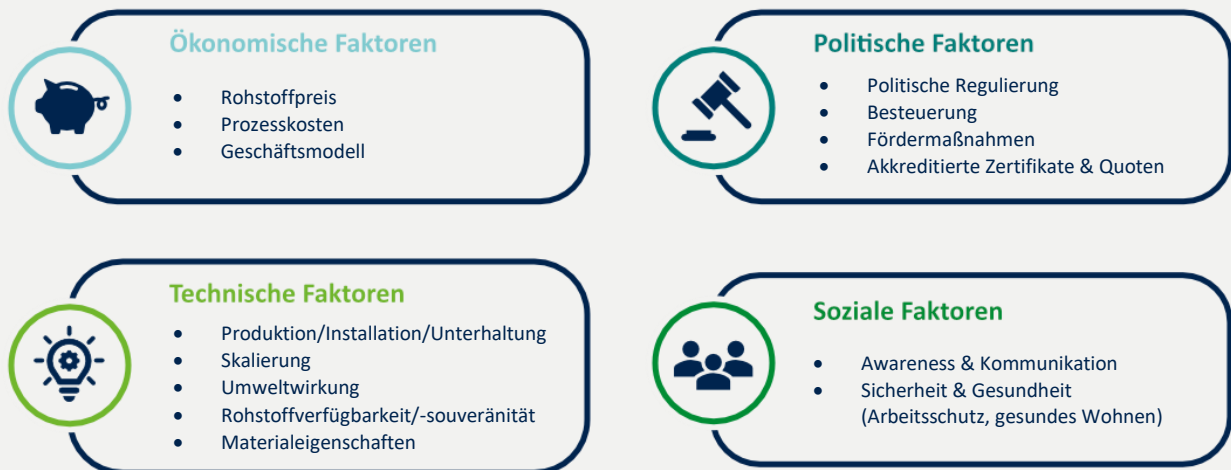
Biobasierte Dämmstoffe bestehen aus nachwachsenden Rohstoffen (NawaRo), weshalb sie auch unter dem Begriff „NawaRo-Dämmstoffe“ bekannt sind. Unter nachwachsenden Rohstoffen werden erneuerbare land- oder forstwirtschaftliche Produkte verstanden. Dazu zählen pflanzliche Dämmstoffe auf Basis von Holz, Kork, Hanf, Stroh, Flachs und Paludikulturen wie Schilf, Rohrkolben und Nasswiesengräser, sowie tierische Dämmstoffe beispielsweise auf Basis von Schafswolle. Es handelt sich um Produkte, die in Deutschland angebaut werden, die Regionalität der Rohstoffe ist somit gegeben. In einigen Fällen benötigen diese biobasierten Dämmstoffe Zusatzstoffe zum Schutz vor Brand, Feuchtigkeit oder Schädlingen. Häufig weisen sie jedoch einen weitaus geringeren Anteil synthetischer Zusatzstoffe auf oder kommen gänzlich ohne diese aus, was sie zu einer gesundheitsverträglichen Alternative macht. Die Materialien weisen positive bauphysikalische Eigenschaften auf. So zeigen sie eine gute Dämmleistung; ihre Wärmeleitfähigkeit liegt gängiger Weise zwischen 0,036 und 0,050 W/mK. Darüber hinaus besitzen sie eine gute Wärmespeicherkapazität, welche den sommerlichen Wärmeschutz ermöglicht. Durch

kapillare Faserstrukturen haben die natürlichen Dämmstoffe die Fähigkeit Luftfeuchtigkeit aufzunehmen und wieder abzugeben, wodurch sie zu einem ausgeglichenen Raumklima beitragen können. Zudem ist es häufig problemlos möglich, sie wiederzuverwenden, thermisch zu verwerten oder zu kompostieren, ohne dass negative Langzeitfolgen für Umwelt und Gesundheit zu erwarten sind. Dabei erfüllen Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen weitere Leistungen für das Ökosystem: ihr Anbau fördert die Biodiversität, kann die Bodenqualität verbessern und CO₂ in Böden und Pflanzen speichern. So unterstützt beispielsweise der Anbau von Paludikulturen den Erhalt von Mooren, welche eine enorme CO₂- und Stickstoffspeicherkapazität aufweisen und Lebensraum für diverse Lebewesen bieten. Biobasierte Dämmstoffe können grundsätzlich als Dämmmaterial für Decke, Dach, Boden, Innen- sowie Außenwände zum Einsatz kommen, wobei sie häufig für Innendämmung insbesondere in der Denkmalpflege genutzt werden. Sie sind je nach Anwendung in Form von Matten, Platten, Ballen, Flocken oder Spänen, sowie als Schütt- oder Einblasmaterialien erhältlich. [25], [29], [30]

Biobasierte Dämmstoffe können eine nachhaltige Alternative zu konventionellen Dämmmaterialien darstellen und kommen in der Industrie vereinzelt bereits zum Einsatz. Ob diese Technologie ihren Marktanteil vergrößern kann und damit in der breiten Masse Anwendung findet, hängt von verschiedenen Aspekten und Entwicklungen ab. Entscheidend ist, ob

biobasierte Dämmstoffe auch aus ökonomischer Sicht eine wettbewerbsfähige Option für Unternehmen darstellen. Unter welchen Rahmenbedingungen dies der Fall ist und welche zentralen **Einflussfaktoren** dabei eine Rolle spielen, wird im Folgenden näher untersucht.

[31], [32]



Zentrale Einflussfaktoren für die Marktdurchdringung biobasierter Dämmstoffe.

Ökonomische Faktoren


Rohstoffpreis. Bei der Bauindustrie handelt es sich um einen sehr preisgetriebenen Wirtschaftszweig, der häufig nur ein geringes Maß an Innovation aufweist. Bauprojekte werden in der Regel durch den Kostenfaktor bestimmt. [33], [34] Der Einsatz synthetischer Dämmstoffe auf Basis von Erdöl ist mitunter durch den erschwinglichen Preis attraktiv, wobei der derzeit geringe Rohölpreis das Preisniveau unten hält. Ein Preisanstieg beispielsweise mittels Zertifizierungsansätzen würde das ändern und den Bedarf alternativer Lösungen erfordern. [35], [36]

Biobasierte Dämmstoffe 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 ist eine enge Kopplung des Rohstoffpreises an die Entwicklung der Energiepreise zu beobachten. Die preiswertesten Dämmstoffe am deutschen Markt sind Zellulose, Holzfaser und Wiesengras als Einblasdämmstoffe. [37], [38]

Zu betonen ist jedoch: der Kostenanteil von Dämmarbeiten an Gesamtbauwerkskosten ist gering. Die Hauptkosten entfallen auf Personalkosten und Baustelleneinrichtung.

Prozesskosten. Die genannten Dämmstoffkategorien unterschieden sich nicht nur in ihrer Rohstoffbasis, sondern auch in ihrer Verarbeitung hin zum einsatzbereiten Dämmstoff. So



lassen sich die Fertigung und die Installation als Kostenherde identifizieren. Die Dämmstoffproduktion kann mit einem hohen Energieaufwand in Form von Strom und Prozesswärme einhergehen, was in hohen Energiekosten resultieren kann. Dies ist insbesondere bei mineralischen Dämmstoffen der Fall. Bislang unbekannte Materialien können neue Anforderungen in der Installation 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 entstehen somit weitere Kosten. ^{[25], [39], [40]}

Politische Faktoren

Politische Regulierung. Zunächst ist in Hinblick auf politische Einflussnahme auf die Wirtschaft zwischen Regulierung und Förderung zu unterscheiden. Mit ordnungspolitischen Maßnahmen (staatliche Regulierung wie Vorschriften und Normen) lässt sich das Verhalten von Unternehmen, Konsumierenden und Gesellschaft lenken. Über lange Zeit externalisierte Umweltkosten werden zunehmend nach Verursachendenprinzip umgelagert werden. Diese Kosten, die sich aus der staatlichen Regulierung ergeben, gilt es, durch gezielte Unternehmensstrategien präventiv zu vermeiden. ^[41]

Insbesondere für den Bausektor mit langjährigen Projekten und Bauvorhaben ist eine klare politische Linie relevant, um langfristige Planung zu ermöglichen. In Deutschland beschränken insbesondere Regularien des Brandschutzes die Verwendung biobasierter Dämmstoffe. Dabei ist eine große Herausforderung, dass an Materialien aus nachwachsenden Rohstoffen höhere Anforderungen gestellt werden als an konventionelle Dämmstoffe oder der Einsatz alternativer Materialien schlichtweg gar nicht berücksichtigt wird. Mit dem „Gebäudetyp E“ der Bundesregierung soll ein Modell geschaffen werden, Bauprojekte bürokratiearm und kostengünstig umzusetzen. Nachhaltiges Bauen findet im Entwurf zwar keine explizite Erwähnung, könnte aber vom

Geschäftsmodell. Allgemein ist der Bausektor konservativ geprägt und zeigt sich risikoavers. Die interne Struktur eines Unternehmens kann zu einem entscheidenden Einflussfaktor werden. Die Amortisationszeit ist ein wesentlicher Faktor für die Wirtschaftlichkeitsprüfung von Bauprojekten. Das zeigt sich besonders in Unternehmen mit mehreren Shareholdern, die in kurzen Zeiträumen Rendite anstreben. Unternehmen mit Mehrheitsaktionären, einem stabilen Vorstand und einer klaren Unternehmensstrategie hingegen, sind wahrscheinlicher dazu bereit eine langfristige Planung einzugehen und damit kreislaforientierte biobasierte Bauprojekte zu verwirklichen. ^[33]

Bürokratieabbau ebenfalls profitieren. Institutionen wie der Verband Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen e.V. (vdnr) setzen sich gezielt für eine Öffnung der Landesbauordnungen ein, um in Zukunft eine breite Anwendung biobasierter Dämmstoffe, insbesondere in Bezug auf brandschutztechnische Lösungen, zu ermöglichen. ^{[41], [42], [43]}

Besteuerung. Neben dem Rohölpreis an sich können auch eine Besteuerung fossiler Rohstoffe beziehungsweise die Kohlenstoffsteuer den Preis konventioneller Dämmstoffe 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. ^[44]

Fördermaßnahmen. Der 29. Subventionierungsbericht 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. So findet beispielsweise die Förderung von Energieeffizienz und Klimaschutz im Gebäudebereich Erwähnung. Der aktuelle Koalitionsvertrag lässt vermuten, dass weiterhin Förderungen im Klimaschutz vorgesehen sein

werden. 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. Ein weiterer wichtiger Punkt ist das staatliche *Procurement*, also die öffentliche Beschaffung. An Stellen, wo staatliche Einrichtungen, wie Behörden und Ministerien, bauen, sollten vorzugsweise nachhaltige Methoden, Rohstoffe, Produkte und Dienstleistungen gewählt werden. ^[45]

Jedoch sind auch klimaschädliche Subventionen derzeit noch Realität. Die Marktdurchdringung von nachwachsenden Rohstoffen ist in Deutschland nach wie vor begrenzt. Ihr Marktanteil ist mitunter aufgrund von Subvention traditioneller Baumaterialien gering. Beispielsweise lassen sich mit der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) auch Sanierungsvorhaben mit konventionellen Dämmstoffen fördern. ^[46]

Akkreditierte Zertifikate & Quoten. Es zeigt sich immer wieder, dass bürokratische Hürden insbesondere für kleine und mittelständische Unternehmen eine große Herausforderung

Technische Faktoren

Produktion/Installation/Unterhaltung. Neue Technologien können mit höheren Investitionen verbunden sein, 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 die Umweltkosten einspart.

Im Bausektor zeigt sich ein Mangel an technischem Wissen um biobasierte Materialien. Dieser zieht sich über verschiedene Instanzen darunter Architekt:innen und Bauplaner:innen, sowie Handwerker:innen und auch die Endnutzenden. Es mangelt an Wissen um die Vorteile der alternativen Materialien ebenso wie die

darstellen. Dies ist auch in der Kennzeichnung und Zertifizierung 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. Eine harmonisierte und glaubwürdige Kennzeichnung über die Umweltleistung nachwachsender Rohstoffe könnte Anreize für deren Verwendung schaffen. ^[47]

Ein etabliertes Zertifizierungssystem im Bauwesen ist die DGNB Zertifizierung der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen, welche erstmal 2009 am Markt angewandt wurde. Durch das System soll nachhaltiges Bauen praktisch anwendbar, messbar und somit vergleichbar gemacht werden. Die DGNB Zertifizierung gilt als globaler Maßstab für Nachhaltigkeit und bietet damit eine internationale Vergleichbarkeit. Durch zuverlässige Zertifizierungssysteme kann ökologische Nachhaltigkeit nach außen kommuniziert und als Wettbewerbsvorteil eingesetzt werden. ^[48]

ordnungsgemäße Verwendung. So bedarf die Installation neuer Dämmmaterialien qualifiziertes Personal. Neues Personal beziehungsweise Schulungen können zunächst Kosten verursachen. Mit der Etablierung der alternativen Materialien wird der Erfahrungsschatz im Umgang mit diesen jedoch wachsen und das Wissen um Prozessoptimierung steigen. Somit wird auf lange Sicht auch die Kosteneffizienz steigen und die Technologiesouveränität gesichert. ^[49]

Skalierung. Wichtige Aspekte in der Betrachtung biobasierter Dämmstoffe sind die Skalierbarkeit und Marktfähigkeit der Herstellung. Der Aufbau robuster Lieferketten ist entscheidend für die Zukunft der alternativen Baumaterialien. Aufgrund des geringen Marktanteils biobasierter Dämmstoffe sind die Kosten aktuell höher als bei konkurrierenden Materialien mit über Jahre optimierten Lieferketten. Wird das

Produktionsvolumen ausgeweitet, so können Kostenvorteile geltend gemacht werden. ^[42]

Insbesondere in konservativen, risikoaversen Branchen wie dem Bausektor, die neuen Technologien und Materialien üblicherweise skeptisch gegenüberstehen, profitieren die Produkte von Zertifizierung für eine erfolgreiche Skalierung und breite Markteinführung. ^{[33], [50]}

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 Dämmstoffe Umweltvorteile bieten können. So weisen insbesondere Dämmstoffe auf Basis von Holzfasern und Schilf eine deutlich geringere Umweltlast auf als ihre konventionellen Alternativen aus Steinwolle oder EPS. Biobasierte Materialien bieten dazu die Chance der regionalen Verwendung, um mögliche Umweltlasten durch Transporte zu vermeiden. ^{[30], [39]}

Mit Blick auf das Ziel einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft wird der Verbleib des verwendeten Produktes immer relevanter. Insbesondere in der Bauindustrie ist die Wiederverwendung von Materialien (gegebenenfalls in angepasster Konfiguration) wünschenswert, um Deponieabfälle zu reduzieren. 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 von Dämmstoffen erheblich beeinflussen kann. Derzeit werden Dämmstoffe am Ende ihres Lebenszyklus häufig verbrannt. Dabei zeigt EPS gegenüber biobasierten Alternativen eine hohe Umweltlast, bietet jedoch die kostengünstigste Entsorgung. ^{[39], [51]}

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 Rohstoff-Unabhängigkeit

wird unter anderem durch gezielte Fördermaßnahmen und technologische Innovationen gestärkt. Deutschland bietet sich wie bereits ausgeführt als Standort für eine Breite an Rohstoffen für den Einsatz als Dämmmaterialien an. ^[52]

Materialeigenschaften. Damit biobasierte Dämmmaterialien sich auf lange Sicht auf dem Markt behaupten können, dürfen ihre funktionellen Eigenschaften denen der konventionellen Dämmstoffe nicht nachstehen. Es gibt durchaus alternative Materialien, die in ihrer Leistung mit den konventionellen Dämmstoffen mithalten können oder diese sogar übersteigen. Es sind jedoch eine sorgfältige Auswahl geeigneter Ausgangsstoffe und gegebenenfalls Anpassungen in der Verwendung nötig, um die gewünschten Bedingungen zu erfüllen. Dazu muss das Wissen um die vorteilhaften Eigenschaften neuartiger biobasierter Materialien an die entsprechenden Akteur:innen getragen werden. Beispielsweise weisen hanfbasierte Dämmungen eine hervorragende Langlebigkeit auf. Insbesondere Holzfasern und Zellulosewatten weisen eine niedrige Wärmeleitfähigkeit und ein hohes Wärmespeichervermögen auf, was sie besonders leistungsfähige Dämmstoffe macht. ^{[42], [53]}

Häufig bestehen Unsicherheiten in Bezug auf die Langlebigkeit der alternativen Materialien. Häufig werden sie mit dem Risiko mikrobiellen Wachstums assoziiert. Naturdämmstoffe unterstützen allerdings den Feuchtigkeitsaustausch und können damit Schimmelbildung entgegenwirken. Eine sorgfältige Planung und Installation ist jedoch erforderlich, um Feuchtigkeitsschäden vorzubeugen. Gegebenenfalls ist auch die Zugabe von Schutzmitteln erforderlich, um die Langlebigkeit zu gewährleisten. Heutzutage gibt es auf dem Markt gesundheitlich unbedenkliche Varianten. ^{[40], [54]}

Das Brandverhalten biobasierter Dämmstoffe ist weniger erforscht als jenes der konventionellen Materialien. Die damit einhergehenden Unsicherheiten erschweren es den strengen Brandschutzvorschriften gerecht zu werden. Dennoch zeigen erste Studien, dass sie herkömmliche Materialien ersetzen können, ohne

dabei Einbußen im Brandschutz hinnehmen zu müssen. Die Eigenschaften lassen sich zudem durch den Einsatz zusätzlicher Wirkstoffe (ebenfalls biobasierter Natur) verbessern.

Soziale Faktoren

Awareness & Kommunikation. Das zunehmende Bewusstsein für Nachhaltigkeit in der Bevölkerung kommt der Nachfrage an biobasierten Produkten zugute. Das setzt derzeit jedoch weitestgehend eine individuelle Informationsbeschaffung und das Auseinandersetzen 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. ^{[57], [58]}

Die Baubranche ist durch vielschichtige Wertschöpfungsketten und diverse Stakeholder geprägt, weshalb dieses Bewusstsein verschiedene Ebenen erreichen muss. Insbesondere mangelndes Wissen unter Bauingenieur:innen und Architekt:innen und unzureichende Marketingmaßnahmen biobasierter Materialien stellen Hürden für die Verwendung dieser dar. Ein gesteigertes Bewusstsein für die Vorteile, die biobasierte Dämmstoffe mit sich bringen, kann die Wahrscheinlichkeit erhöhen, dass Auftragnehmer auf diese zurückgreifen. In einigen Unternehmen entlang der Wertschöpfungskette, insbesondere in Bezug auf den Rohstoff Holz ist dieses Bewusstsein schon seit einigen Jahren in erfolgreiche Praxis übergegangen, was sich beispielsweise im Holzrahmenbau zeigt. ^{[22], [49]}

Sicherheit und Gesundheit: Arbeitsschutz. Biobasierte Materialien sind in der Regel verträglich und gesundheitlich unbedenklich. Beispielsweise können sie deutlich hautfreundlicher in der Verarbeitung sein als konventionelle Alternativen. Zu beachten ist jedoch, dass es beispielsweise bei Zellulose, Hanf, Flachs

Darüber hinaus weisen Naturfasermaterialien im Brandfall in der Regel eine geringere Kohlenmonoxid-Entwicklung auf im Vergleich zu beispielsweise EPS. ^{[42], [54], [55], [56]}

und Baumwolle zu Staubbildung kommen kann, die sich schädlich auf die Atemwege auswirken kann. ^{[38], [54]}

Sicherheit und Gesundheit: Gesundes Wohnen. Von Bauprodukten können über die Nutzungsphase des Gebäudes Emissionen in Form organischer Verbindungen ausgehen. Diese flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) können die Raumluftqualität beeinträchtigen und negative Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und das Wohlbefinden mit sich bringen. Dabei verursachen verschiedene Bauproduktgruppen unterschiedliche VOC in unterschiedlichen Mengen. Als Grundlage für die gesundheitliche Bewertung von Bauproduktemissionen in Deutschland dient ein Bewertungsschema für VOC-Emissionen aus innenraumrelevanten Bauprodukten des Ausschusses zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten (AgBB). Aufgrund ihrer kohlenstoffbasierten chemischen Struktur weisen biobasierte Dämmstoffe ein erhöhtes Potenzial für VOC-Emissionen auf. In umfänglichen Versuchen zu den Emissionen verschiedener biobasierter Dämmstoffe konnte ein Großteil dieser jedoch als emissionsarm eingestuft werden, sodass keine Auswirkungen auf Gesundheit und Wohlbefinden zu erwarten sind. Produkte aus EPS weisen sehr niedrige Werte an VOC-Emissionen auf. ^{[54], [59], [60], [61], [62], [63]}

In Bezug auf das Raumklima haben natürliche Dämmstoffe den entscheidenden Vorteil, Feuchtigkeit aufnehmen und wieder abgeben zu können, ohne an Dämmwirkung zu verlieren. Dies fördert ein gesundes Raumklima. Zu beachten ist hier jedoch die richtige Installation zur Vermeidung von Feuchtigkeitsschäden und damit einhergehenden Schadstoffen mikrobiologischen Ursprungs wie beispielsweise Schimmelsporen. ^{[42], [53]}

Die Verwendung biobasierter Dämmstoffe 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 Dämmstoffe – Systematische Gegenüberstellung von Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken zur strategischen Bewertung der Materialien im industriellen Kontext.

Wie kann nachhaltige Transformation in meinem Unternehmen aussehen?

Praxisbeispiel: Einblicke in die Verwendung biobasierter Dämmstoffe im Wohnbauprojekt Paul & Rosa der Riedel Bau AG ^{[64], [65]}



Aufnahme des IST Zustandes

Die Frage, wie wir künftig bauen und wohnen wollen, ist von gesellschaftlicher, ökologischer und ökonomischer Bedeutung. Vor diesem Hintergrund haben sich die **Riedel Bau AG** und das **ASAP Institut für nachhaltige und klimagerechte Architektur Würzburg** zusammenschlossen, um im Rahmen des Wohnbauprojekts Paul & Rosa grundlegenden Fragen des nachhaltigen Bauens nachzugehen:

- Wie gelingt es uns, für die Zukunft emissionsarm zu bauen?
- Wie wollen wir in Zukunft wohnen und leben – individuell, gemeinschaftlich, flexibel?
- Was muss Architektur leisten, damit der Lebenszyklus eines Gebäudes optimiert wird?
- Wie bauen wir bewusst – und was bedeutet das überhaupt?

Das **Wohnbauprojekt Paul & Rosa** umfasst die Planung, den Bau und das Monitoring während der Nutzung zweier Forschungs-

gebäude (namentlich Paul und Rosa) und liefert praxisnahe Antworten auf diese Fragen. Als langfristig angelegtes Forschungsprojekt untersucht es neue Bauprozesse und nachhaltige Werkstoffe, sowie deren Verhalten über den gesamten Lebenszyklus hinweg.

Die Firma Riedel Bau ist ein familiengeführtes mittelständisches Bauunternehmen, entstanden aus dem klassischen Hochbau. Das Unternehmen ist sich seiner Verantwortung als Teil der Baubranche mit einem hohen Beitrag an CO₂-Emissionen bewusst und arbeitet aktiv daran, das eigene Wirtschaften möglichst nachhaltig zu gestalten. So wurde beim Neubau ihres Bürogebäudes auf eine nachhaltige Bauweise geachtet und auch in weiteren kleinen Projekten wurden erste Erfahrungen mit neuen Prozessen und Materialien gesammelt. Ein Projekt in dieser Größe und Komplexität gab es zuvor noch nicht, weshalb insbesondere in der Auswahl der Baumaterialien auf die Unterstützung durch das ASAP gesetzt wurde.



Marktscreening & Tech-Scouting

Die Auswahl der Materialien für die Dämmstoffe hat das ASAP durchgeführt und zu Beginn ergebnisoffen gestaltet. Es wurden sowohl bekannte Materialien, wie Holz und Stroh, also auch moderne und unkonventionellere Rohstoffe, wie Seegras, in Betracht gezogen.



Spezifische De-Risking Analyse

All diese Materialien wurden hinsichtlich ihrer Bauphysik verglichen und dementsprechend priorisiert. Die bauphysikalischen Eigenschaften wie der Dämmwert und die dadurch erforderliche Schichtdicke, sowie das

Feuchteverhalten sind entscheidend. Jedoch wurde im Laufe des Prozesses festgestellt, dass es für viele Materialien keine bauaufsichtlichen Zulassungen, beispielsweise in Bezug auf den Brandschutz, gab.

Damit sind einige Optionen aufgrund fehlender Zulassungen direkt ausgeschlossen worden. Es wurde sich somit nicht für den innovativsten Ansatz entschieden, sondern auf Altbewährtes



Integration biobasierter Lösung

Im Wohnbauprojekt Paul & Rosa werden unterschiedliche Bau- und Dämmkonzepte gezielt miteinander kombiniert, um die Praxisanwendung biobasierter Materialien unter realen Bedingungen zu untersuchen. Dadurch entsteht ein direkter Vergleich der Energieeffizienz, Klimabilanz und bauphysikalischen Leistungsfähigkeit verschiedener Konstruktionsweisen. Weitere wichtige Fragestellungen konnten mit dem tatsächlichen Bau geklärt werden: Besteht eine zuverlässige Lieferkette? Lassen sich die Materialien vernünftig einbauen? Sind sie auch für die Massenproduktion, also die serielle Fertigung, geeignet?

Das **Gebäude Paul** setzt im Erdgeschoss auf Holzelementfertigteile mit Zellulose-Dämmung, während im Obergeschoss Stroh als Dämmstoff zum Einsatz kommt.



Querschnitt der Außenwanddämmung des Gebäudes Paul. links: EG, rechts: OG.



Nachhaltige Transformation

Die beiden Gebäude Paul und Rosa sind fertiggestellt und die Mietenden können nun einziehen. Damit sind die Planungsphase und auch die Ausführung vollendet. Wird der eigentliche, nachhaltige Forschungsgedanke des Gebäudes betrachtet, so steht das Projekt jedoch noch am Anfang. Denn nun erproben die Mietenden inwieweit sich die verschiedenen bauphysikalischen Eigenschaften im Alltag auf die Wohnqualität auswirken und welchen Einfluss die tatsächlichen Nutzenden haben. Das

zurückgegriffen: die Verwendung von Holz und Stroh und der Einsatz zweier verschiedener Dämmsysteme in den Gebäuden Paul und Rosa.

Das **Gebäude Rosa** nutzt dagegen hochgedämmte Ziegelfertigteile, die einen etablierten, mineralischen Baustoff repräsentieren. Durch die Trennung des Holztragwerks von der Fassade konnte hier ein hoher Vorfertigungsgrad erreicht werden – ein Ansatz, der nicht nur die Bauzeit verkürzt, sondern auch die Präzision und Qualität der Ausführung verbessert.



Querschnitt der Außenwanddämmung des Gebäudes Rosa.

Die langfristige Beobachtung der verschiedenen Wand- und Dämmmaterialien liefert wertvolle Erkenntnisse darüber, wie sich die Baustoffe im Vergleich zu konventionellen Lösungen hinsichtlich Energieeffizienz, Raumklima und Langlebigkeit der Materialien verhalten. Diese Ergebnisse sind entscheidend, um das technische und wirtschaftliche Risiko der Materialien zu bewerten und deren Integration in künftige Bauprojekte zu unterstützen.

Unternehmen ist aktuell dabei, das sogenannte „Riedel Bau-System“ zu entwickeln, wobei das Thema Nachhaltigkeit einen hohen Stellenwert haben wird. Der Forschungsbau, bei dem die Wirtschaftlichkeit nicht an erster Stelle stand, soll dem Unternehmen somit durch den hohen Erkenntnisgewinn in weiteren Bauprojekten einen Nutzen bringen. So integriert das Unternehmen das Thema Nachhaltigkeit Stück für Stück in die eigene Unternehmensstrategie und kann dabei auch wirtschaftlich profitieren.

Und jetzt?

Dieser Bericht versteht sich als Impulsgeber für die nachhaltige Transformation innerhalb der Baubranche. 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 und wie das im Detail im eigenen Unternehmen aussehen könnte.

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

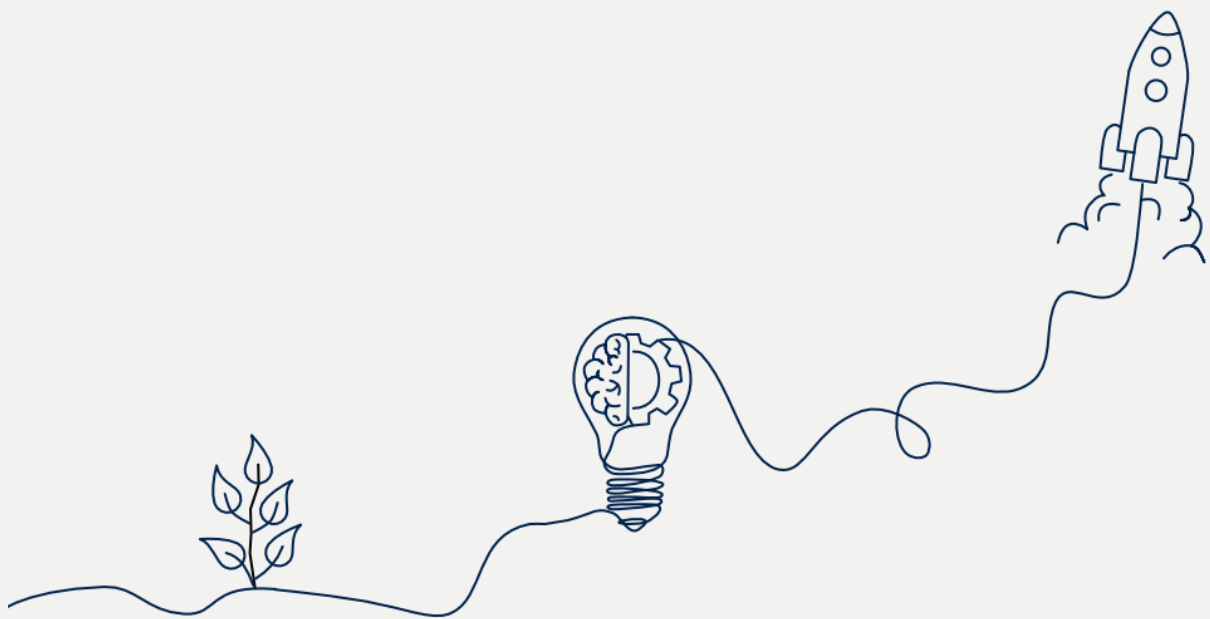
www.ite.uni-hannover.de



Riedel Bau AG

Silbersteinstraße 4
97424 Steinfurth

[Firmengruppe Riedel Bau | Bauunternehmen](#)



Literatur

- [1] 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>
- [2] 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
- [3] 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
- [4] 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/klimaschutz-plan-2050.html>
- [5] BMFTR, "Hightech Agenda Deutschland," Jul. 2025. Zugriff am: 27. Oktober 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.bmftr.bund.de/SharedDocs/Publikationen/DE/L/31881_Hightech_Agenda_Deutschland.pdf?__blob=publicationFile&v=14
- [6] Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL), "Nationale Bioökonomiestrategie: - Langfassung," Berlin/Bonn, 2020. Zugriff am: 17. März, 2025.
- [7] 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>
- [8] C. Kruse, I. Mecke und A. Räss, *Risikomanagement, wertschätzende Führung und digitales Recruiting*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2024.
- [9] K. Dindarian, *Unvorhergesehenes als Chance sehen – Black Swan*. Cham: Springer International Publishing, 2024.
- [10] T. Kaufmann, *Strategiewerkzeuge aus der Praxis*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2021.
- [11] 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
- [12] 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.
- [13] Bauinstitut für Bau-, Stadt-, und Raumforschung, "Strukturdaten zur Produktion und Beschäftigung im Baugewerbe: Berechnungen für das Jahr 2023," 2024.
- [14] Bauinstitut für Bau-, Stadt-, und Raumforschung, "Bericht zur Lage und Perspektive der Bauwirtschaft 2025," Mrz. 2025. Zugriff am: 08. April, 2025. [Online]. Verfügbar unter: Bericht zur Lage und Perspektive
- [15] Zentralverband Deutsches Baugewerbe ZDB, *Statement von Wolfgang Schubert-Raab, Präsident Zentralverband Deutsches Baugewerbe*, 06. Dezember, 2024. Zugriff am: 16. Mai, 2025.
- [16] bundesministerium für Bau-, Stadt- und Raumforschung, "Umweltfußabdruck von Gebäuden in Deutschland: Kurzstudie zu sektorübergreifenden Wirkungen des Handlungsfelds „Errichtung und Nutzung von Hochbauten“ auf Klima und Umwelt," Dez. 2020. Zugriff am: 06. Mai, 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/bbsr-online/2020/bbsr-online-17-2020-dl.pdf?__blob=publicationFile&v=3
- [17] PwC, "Die Bauindustrie in Krisenzeiten: Fortschritte bei ESG, Stillstand bei der Digitalisierung: Eine PwC-Studie zum Umgang der Baubranche mit den aktuellen Herausforderungen," Feb. 2024. Zugriff am: 16. Mai, 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.pwc.de/de/risk-regulatory/risk/pwc-bauindustrie-studie-2024.pdf>
- [18] J. Grossarth, *Bioökonomie und Zirkulärwirtschaft im Bauwesen*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2024.
- [19] Die Bundesregierung, "Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie: Weiterentwicklung 2025," 29. Januar, 2025. Zugriff am: 16. April, 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/992814/2335292/3add4e4d4eaf6bffe495c8fb27e7fa7/2025-02-17-dns-2025-data.pdf?download=1>
- [20] Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (BMI), "Leitfaden Nachhaltiges Bauen: Zukunftsfähiges Planen, Bauen und Betreiben von Gebäuden," Januar, 2019. Zugriff am: 16. April, 2025. [Online].

- Verfügbar unter: https://www.nachhaltigesbauen.de/fileadmin/pdf/Leitfaden_2019/BBSR_LFNB_D_190125.pdf
- [21] Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e. V. DGNB, "Klimapositiv: jetzt!: Wie jedes Gebäude einen Beitrag zum Klimaschutz leisten kann," 2020. Zugriff am: 16. Mai, 2025.
 - [22] acatech, "Holzbasierte Bioökonomie: Nachhaltig, zirkulär, klimaresilient," Nov. 2022.
 - [23] DESTATIS Statistisches Bundesamt. "Flächennutzung." Zugriff am: 27. Oktober 2025. [Online.] Verfügbar: https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Flaechennutzung/_inhalt.html
 - [24] BauNetz.de. "Modulbauweise." Zugriff am: 27. Oktober 2025. [Online.] Verfügbar: <https://www.baunetzwissen.de/nachhaltig-bauen/fachwissen/konstruktionen-elemente/modulbauweise-8030140>
 - [25] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), "Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen," 2024. Zugriff am: 16. Mai, 2025.
 - [26] D. Le Hung Anh und Z. Pásztor, "An overview of factors influencing thermal conductivity of building insulation materials," *Journal of Building Engineering*, Jg. 44, S. 102604, 2021, doi: 10.1016/j.jobbe.2021.102604.
 - [27] JRC Joint Research Centre, *Competitive landscape of the EU's insulation materials industry for energy-efficient buildings*, 2018. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.agendaconstructiilor.ro/files/files/kj1a28816enn.pdf>
 - [28] United Nations Environment Programme (UNEP), "Sand and sustainability: Finding new solutions for environmental governance of global sand resources.," Zugriff am: 27. Oktober 2025. [Online]. Verfügbar unter: <http://www.unepgrid.ch/>
 - [29] Z. Lu *et al.*, "Climate mitigation potential of biobased insulation materials: A comprehensive review and categorization," *Journal of Cleaner Production*, Jg. 470, S. 143356, 2024, doi: 10.1016/j.jclepro.2024.143356.
 - [30] L. Cosentino, J. Fernandes und R. Mateus, "A Review of Natural Bio-Based Insulation Materials," *Energies*, Jg. 16, Nr. 12, S. 4676, 2023, doi: 10.3390/en16124676.
 - [31] T. Moshood, G. Nawanir, F. Mahmud, F. Mohamad, M. Ahmad und A. Abdul Ghani, "Expanding Policy for Biodegradable Plastic Products and Market Dynamics of Bio-Based Plastics: Challenges and Opportunities," *Sustainability*, Jg. 13, Nr. 11, S. 6170, 2021. doi: 10.3390/su13116170. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/11/6170>
 - [32] N. Döhler, C. Wellenreuther und A. Wolf, "Market dynamics of biodegradable bio-based plastics: Projections and linkages to European policies," *EFB Bioeconomy Journal*, Jg. 2, S. 100028, 2022. doi: 10.1016/j.bioeco.2022.100028. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2667041022000064>
 - [33] B. Dams, D. Maskell, A. Shea, S. Allen, V. Cascione und P. Walker, "Upscaling bio-based construction: challenges and opportunities," *Building Research & Information*, Jg. 51, Nr. 7, S. 764–782, 2023, doi: 10.1080/09613218.2023.2204414.
 - [34] C. T. Koebel, A. P. McCoy, A. R. Sanderford, C. T. Franck und M. J. Keefe, "Diffusion of green building technologies in new housing construction," *Energy and Buildings*, Jg. 97, S. 175–185, 2015, doi: 10.1016/j.enbuild.2015.03.037.
 - [35] 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>
 - [36] 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/>
 - [37] Statistisches Bundesamt. "Veränderung der Preise für Rohholz aus Deutschland in den Jahren 2000 bis 2024 (gegenüber dem Vorjahr)." Zugriff am: 15. August 2025. [Online.] Verfügbar: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/255382/umfrage/preisentwicklung-fuer-rohholz-aus-deutschland/>
 - [38] Deutsche Umwelthilfe e. V., "Ökologisch und leistungsstark – Dämmen mit nachwachsenden Rohstoffen: Eine Broschüre für interessierte Praktiker*innen," 2020. Zugriff am: 07. Mai, 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.duh.de/fileadmin/user_upload/download/Projektinformation/Energieeffizienz/Gebaude/Praxisbroschue_NawaRo-Daemmstoffe_Web_2522020.pdf
 - [39] M. Schulte, I. Lewandowski, R. Pude und M. Wagner, "Comparative life cycle assessment of bio-based insulation materials: Environmental and economic performances," *GCB Bioenergy*, Jg. 13, Nr. 6, S. 979–998, 2021, doi: 10.1111/gcbb.12825.
 - [40] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), "MARKTÜBERSICHT: Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen," 2017. Zugriff am: 07. Mai, 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.fnr.de/fileadmin/allgemein/pdf/broschueren/Broschuere_Daemmstoffe_2016_web.pdf

-
- [41] 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/>
 - [42] S. Zerari, R. Franchino und N. Pisacane, "Industry Experts' Perspectives on the Difficulties and Opportunities of the Integration of Bio-Based Insulation Materials in the European Construction Sector," *Sustainability*, Jg. 16, Nr. 17, S. 7314, 2024, doi: 10.3390/su16177314.
 - [43] vdnr Verein Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen e.V. "Intelligent und verantwortungsvoll Bauen mit Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen." Zugriff am: 25. August 2025. [Online.] Verfügbar: <https://vdnr.net/>
 - [44] 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>
 - [45] Bundesministerium der Finanzen. "29. Subventionsbericht des Bundes: Bericht der Bundesregierung über die Entwicklung der Finanzhilfen des Bundes und der Steuervergünstigungen für die Jahre 2021 bis 2024." Zugriff am: 19. März, 2025. [Online.] Verfügbar: https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Downloads/Broschueren_Bestellservice/29-subventionsbericht.pdf?__blob=publicationFile&v=8
 - [46] Bundesamt für Wirtschaft und Klimaschutz, *Richtlinie für die Bundesförderung für effiziente Gebäude – Einzelmaßnahmen (BEG EM)*, 2023. Zugriff am: 25. August 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/beg_richtline_beg_em_20231221_PDF.html
 - [47] TÜV Rheinland. "Zertifizierungsprogramm Biobasierte Produkte." Zugriff am: 19. März, 2025. [Online.] Verfügbar: file:///C:/Users/Marie.Teichmann/Downloads/biobasierte_produkte_zertifizierungsprogramm.pdf
 - [48] DGNB Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen. "Das wichtigste zur DGNB Zertifizierung." Zugriff am: 25. August 2025. [Online.] Verfügbar: <https://www.dgnb.de/de/zertifizierung/das-wichtigste-zur-dgnb-zertifizierung>
 - [49] E. Markström, A. Bystedt, M. Fredriksson und D. Sandberg, "Use of bio-based building materials: perceptions of Swedish architects and contractors," in 2016. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2:1001602>
 - [50] A. T. Ramshankar, K. D. Farmer, A. K. Menon und J. F. Bozeman, "Scalability of hemp-based thermal insulation in the United States – A Monte Carlo-based techno-economic approach," *Journal of Cleaner Production*, Jg. 493, S. 144952, 2025, doi: 10.1016/j.jclepro.2025.144952.
 - [51] M. Halstenberg, *Studie Regelwerke des Normungs- und technischen Zulassungswesens anhand des Themenkomplexes Recyclingverfahren und Weiter-/Wiederverwendung von Bauprodukten und Baustoffen*, 2022. Zugriff am: 1. September 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.bauindustrie.de/fileadmin/bauindustrie.de/Media/Veroeffentlichungen/Wiederverwendung_Bauprodukte_Roadmap_Studie.pdf
 - [52] 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-zukunftsfahige-wirtschaft-sichert>
 - [53] S. Zerari, R. Franchino, N. Pisacane, C. Llatas und B. Soust-Verdaguer, "Addressing the Difficulties and Opportunities to Bridge the Integration Gaps of Bio-Based Insulation Materials in the European Construction Sector: A Systematic Literature Review," *Sustainability*, Jg. 16, Nr. 19, S. 8711, 2024, doi: 10.3390/su16198711.
 - [54] P. Raja *et al.*, "A Review of Sustainable Bio-Based Insulation Materials for Energy-Efficient Buildings," *Macro Materials & Eng.*, Jg. 308, Nr. 10, 2023, Art. Nr. 2300086, doi: 10.1002/mame.202300086.
 - [55] A. Khan, S. M. Rangappa, S. Siengchin und A. M. Asiri, *Biobased Composites: Processing, Characterization, Properties, and Applications*. John Wiley & Sons, 2021.
 - [56] C. Lafond und P. Blanchet, "Technical Performance Overview of Bio-Based Insulation Materials Compared to Expanded Polystyrene," *Buildings*, Jg. 10, Nr. 5, S. 81, 2020, doi: 10.3390/buildings10050081.
 - [57] 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
 - [58] 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
 - [59] C. Scherer, "VOC-Emissionen aus Dämmstoffen - Vergleich von herkömmlichen mit nachwachsenden Produkten," in 2011. [Online]. Verfügbar unter: <https://publica.fraunhofer.de/entities/publication/202c729d-3a50-4206-b316-dba14bc5689d/details>
-

-
- [60] D. Maskell *et al.*, "Properties of bio-based insulation materials and their potential impact on indoor air quality," (156-163 Pages / Academic Journal of Civil Engineering, Vol 33 No 2 (2015): Special Issue - ICBBM 2015) 1, Jg. 33, Nr. 2, S. 156–163, 2015. doi: 10.26168/icbbm2015.24. [Online]. Verfügbar unter: <https://journal.augc.asso.fr/index.php/ajce/article/view/1635>
 - [61] T. Adamová, J. Hradecký und M. Prajer, "VOC Emissions from Spruce Strands and Hemp Shive: In Search for a Low Emission Raw Material for Bio-Based Construction Materials," *Materials (Basel, Switzerland)*, Early Access. doi: 10.3390/ma12122026.
 - [62] AgBB, "Anforderungen an die Innenraumluftqualität in Gebäuden: Gesundheitliche Bewertung der Emissionen von flüchtigen organischen Verbindungen (VVOC, VOC und SVOC) aus Bauprodukten," Sep. 2024. Zugriff am: 1. September 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/4031/dokumente/agbb_bewertungsschema_2024.pdf
 - [63] S. Zerari und R. Franchino, "The potential impacts of using bio-based building materials on human health and wellbeing,"
 - [64] paulundrosa.de. "Ein Wohn- und Forschungsprojekt von Riedel Bau." [Online.] Verfügbar: <https://paulundrosa.de/>
 - [65] Dipl.-Ing. Sven Rückert (Riedel Bau AG), Prof. Martin Naumann (ASAP), *So gelingt nachhaltige Transformation – Best Practice von Riedel Bau.*
-