


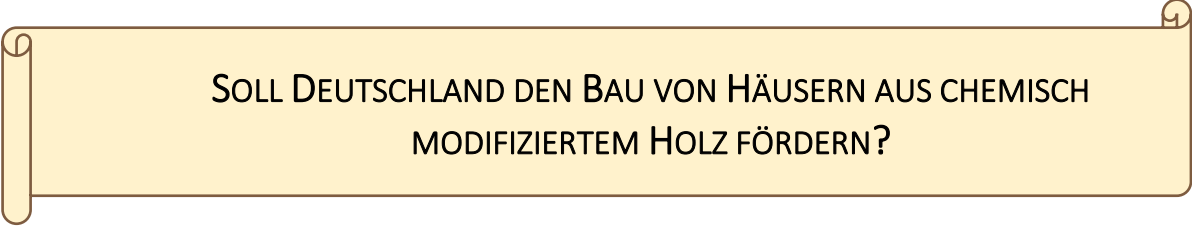
Einleitende Bemerkung

Das nachfolgende Unterrichtsmaterial wurde zu Lehrzwecken auf Basis der genannten Quellen von Annika Menke im Rahmen ihrer Masterarbeit an der Georg-August-Universität Göttingen erstellt; die Texte der Interessengruppen wurden nicht von diesen verfasst. Die Erstellung des Unterrichtsmaterials wurde von dem Fonds der chemischen Industrie gefördert.



Aufgabenstellung

Es soll eine Empfehlung für den Umgang mit der folgenden Fragestellung gegeben werden:



SOLL DEUTSCHLAND DEN BAU VON HÄUSERN AUS CHEMISCH
MODIFIZIERTEM HOLZ FÖRDERN?

Da die Entscheidung für die Antwort auf die Frage sehr weitreichend ist und viele Interessensgruppen betrifft, kann diese Frage nicht einfach von einer Einzelperson getroffen werden. Den Interessensgruppen sind unterschiedliche Aspekte wichtig, die für die Entscheidung relevant sind. Das **Umweltbundesamt** und die **Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe** legen dabei besonders Wert auf Umweltschutz. **Accoya** ist Produzent von chemisch modifiziertem Holz und **HeidelbergCement** produziert Zement, der wichtig für die Betonherstellung ist. Als Teil der Bauwirtschaft beschäftigt sich die **Bauindustrie** mit Bautechnik. Die **Abteilung Holzbiologie und Holzprodukte der Universität Göttingen** betreibt als Einrichtung der Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie Forschung zu chemisch modifiziertem Holz. Für die Beantwortung der Frage kommt jeweils ein Vertreter aller genannten Interessensgruppen in das Podium und diskutiert die Fragestellung mit den anderen Vertretern. Zwei ausgewählte Moderator*innen leiten die Podiumsdiskussion. Bevor die Diskussion beginnen kann müssen jedoch noch einige Aufgaben erledigt werden:

1. Lesen Sie den Einleitungstext zum Thema „chemisch modifiziertes Holz“ als Baumaterial, um sich einen Einblick in das Thema zu verschaffen.
2. Lesen Sie anschließend den Text ihrer zugelosten Interessensgruppe und stellen Sie Pro- und Contra-Argumente für die Förderung von chemisch modifiziertem Holz auf.
3. Treffen Sie sich mit Ihrer Interessengruppe und tauschen Sie ihre Argumente aus.
4. Beschreiben Sie ihre Position in zwei Sätzen und schreiben sie diese auf das Namensschild der Interessensgruppe. So sind Sie perfekt auf die Vorstellungsrunde der Podiumsdiskussion vorbereitet.

Einleitungstext

Kann chemisch modifiziertes Holz herkömmliche Baumaterialien ersetzen?

Der Bausektor ist für 38 % der globalen CO₂-Emissionen und 35 % der genutzten Energie verantwortlich (Global Alliance for buildings and construction, 2020). Um dem Klimawandel entgegen zu wirken, ist folglich ein großer Wandel im Bausektor notwendig. Holz könnte hierbei als Baustoff einen großen Beitrag leisten. Sowohl die Energie- als auch die Ressourceneffizienz machen den Baustoff Holz heute zu einem der bedeutendsten nachwachsenden Rohstoffe (Wiedemann & Woischnik, 2022), denn durch Einsparung von Energie und Ressourcen können auch die globalen CO₂-Emissionen gesenkt werden. Holz ist



Abbildung 1: Größtes Holzhaus der Welt 2019 (Novak).

leicht zu bearbeiten, hat gute mechanische Eigenschaften bei geringem Gewicht und hat vergleichsweise geringe Kosten bei der Gewinnung und Bereitstellung (Wiedemann & Woischnik, 2022, S. 20). Im Jahr 2019 wurde das momentan größte Holzhaus der Welt mit einer Höhe von mehr als 85 m und 18 Stockwerken fertiggestellt (siehe Abbildung 1). Mit einer Bruttogrundfläche von rund 11 500 m² bietet das Holzhaus Platz für Hotelzimmer, Wohnungen, Büros, ein Restaurant und vieles mehr (Baunetz, 2019). Das wohl spektakulärste Projekt für ein Holzhaus soll das Hochhaus aus Norwegen mit einer Höhe von 350 m um einiges überragen. Dieses soll 2041 in Tokio fertiggestellt werden (Linner, 2019).

Unbehandeltes Holz hat jedoch den Nachteil, dass es in zu nasser Umgebung aufquillt und es kann bei langanhaltender Feuchtigkeit zum Schimmelbefall des Holzes kommen. Auch UV-Strahlen können dem Holz schaden (Fuhrmann-Koch, 2003). Anstelle des Holzes werden oft energie- und ressourcenraubenden Metalle und Kunststoffe verwendet, um den Nachteilen des Holzes entgegenzuwirken. Es gibt jedoch die Möglichkeit die Resistenz und Stabilität des Holzes zu verbessern, indem das Holz chemisch modifiziert wird. Durch verschiedene Holzmodifikationen kann Holz als Werkstoff für unterschiedlichste Verwendungsgebiete geschaffen werden. Es kann beispielsweise Fensterglas aus Holz erstellt werden, welches eine bessere thermische Isolation bietet als herkömmliches Fensterglas. Inwiefern Holz in der Zukunft als Baustoff eingesetzt wird, hängt von vielen Entscheidungen unterschiedlichster Interessengruppen ab. Neben der Eignung des Holzes als Baustoff spielen auch ökonomische, ökologische und soziale Aspekte eine große Rolle.



Als Deutschlands zentrale Umweltbehörde kümmert sich das **Umweltbundesamt** seit 1974 um eine gesunde Umwelt, in der die Menschen geschützt vor schädlichen Umwelteinwirkungen leben können. Wir arbeiten daran, mögliche zukünftige Beeinträchtigungen des Menschen und der Umwelt rechtzeitig zu erkennen und suchen frühzeitig nach möglichen Lösungen für die auftretenden Umweltprobleme. Damit diese Probleme von allen Seiten beleuchtet werden können und gute Lösungen entwickelt werden können, arbeiten bei uns Expert*innen aus allen Bereichen des Umweltschutzes. Zu diesen Bereichen gehören neben der Biologie und der Chemie auch Ökonomie sowie Rechts- und Ingenieurwissenschaften (Umweltbundesamt, 2021).

Bei der Hausbauentscheidung spielt das Material eine wichtige Rolle. Es wird beim Holzbau weniger Material benötigt, da die Wärmedämmung von Holz sehr gut ist, was zusätzlich Heizkosten spart. Außerdem wird durch die Vorfertigung des Holzes in der Halle sehr viel Zeit beim Bau gespart, was die Baukosten senkt. Es muss jedoch bei einem Holzhaus zusätzlich für eine Lärmdämmung gesorgt werden, da Holzhäuser sehr hellhörig sind (Maestro Holzbau, 2021).

Bei der Herstellung von Holzprodukten entstehen unterschiedliche Emissionen. Hierbei machen Holzstäube und organische Stoffe den Hauptbestandteil aus. Entsprechende nachgeschaltete Minderungstechniken in den Produktionsanlagen tragen bei dem Produktionsprozess zu Verminderung der Emissionen bei. Das Bundesumweltamt trägt dazu bei, dass die Emissionen vermindert oder gar vermieden werden (Umweltbundesamt). CO₂-Emissionen sind bei der Herstellung von Holzprodukten vergleichsweise gering und während des Holzwachstums wird sogar CO₂ im Holz gespeichert, dass während der gesamten Nutzungsdauer des Holzes der Atmosphäre entzogen wird (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, 2022b). Jeder Kubikmeter Holz speichert dabei ca. 300 kg CO₂. Für ein Einfamilienhaus bedeutet das eine Speicherung von ca. 42 Tonnen CO₂. Es werden dabei zusätzlich 26 Tonnen CO₂-Emissionen vermieden, die bei einem Bau eines vergleichbaren Hauses aus Beton freigesetzt würden. Wenn man bis 2050 weiterbaut wie bisher, werden 70 Giga-Tonnen CO₂ freigesetzt. Bei dem Bau von 90 % der Gebäude aus Holz würden zwar auch CO₂-Emissionen entstehen, allerdings wäre so mehr CO₂ im Holz gespeichert, als beim Gebäudebau emittiert wird. (ZDF, 2022) CO₂ wirkt in der Atmosphäre als Treibhausgas und trägt zur Erwärmung der Erde bei. Grund dafür ist die Veränderung des Gleichgewichts von der auf die Erde einstrahlenden und ausstrahlenden Energie. Die Strahlung der Sonne wird von dem Erdboden und der Atmosphäre absorbiert. Die überschüssige Energie wird in Form von Wärmestrahlung wieder an den Weltraum abgegeben. Treibhausgase wie CO₂ verzögern den Prozess der Wärmeabgabe jedoch, indem sie einen Teil der Wärme absorbieren. (Irmer et al., 2010) Bei der Ansammlung von großen Mengen an CO₂, die beispielsweise bei der Produktion von Zement und anderen industriellen Verfahren entstehen, wird der Effekt verstärkt und es kommt zur Erderwärmung.

Der wichtigste Produzent für Holzwerkstoffe in Europa ist Deutschland (Umweltbundesamt). In einheimischen und nachhaltig bewirtschafteten Wäldern steht Holz in ausreichendem Maß zur Verfügung und ist vielseitig einsetzbar (Schütte, 2021). Der Waldbestand in Deutschland erstreckt sich über eine Fläche von mehr als 114 000 Quadratkilometern und bedeckt somit rund 30 % der gesamten Fläche von Deutschland (Statistisches Bundesamt, 2021). Wälder werden weniger intensiv genutzt als andere Flächen, wie Landwirtschaftsflächen oder gar Siedlungs- und Verkehrsflächen. Sie bieten daher einen vergleichsweise naturnahen Lebensraum für Pflanzen und Tiere. Auch der Mensch profitiert vom Wald durch nützliche Funktionen im Bereich der Ökologie, Ökonomie und Sozialem. Deswegen ist es wichtig den Wald durch eine Politik des nachhaltigen Wirtschaftens zu erhalten. (Statistisches Bundesamt, 2021) Bei einer großen Steigerung der Holzabbauquote, die beispielsweise durch vermehrten Holzbau gesteigert wird, könnten jedoch Holzimporte aus anderen Ländern erforderlich werden. Hierbei müssen jedoch bestimmte Qualitätsanforderungen an das Holz gestellt werden, sodass es nicht zur illegalen Abbau und Verkauf von Holz oder zur Zerstörung von Tropenholz kommt. Inwieweit der Import von Holz für den Bau von Holzhäusern erforderlich ist, hängt auch von dem Holzverbrauch in anderen Branchen ab (Wolf, 2020).

Wenn die Nutzung des verwendeten Holzes und Holzwerkstoffe beendet wird, werden diese meist auf Werkstoffhöfen gesammelt. Dieses sogenannte Altholz kann dann stofflich oder energetisch verwertet werden. Umweltfreundlicher hierbei ist jedoch die stoffliche Verwertung, bei der das Holz wiederverwendet werden kann. In welcher Form dies geschieht ist jedoch von der Art der Verunreinigungen im Holz abhängig. So können stark behandelte Hölzer je nach vorheriger Nutzung oft nicht hochwertig wiederverwendet werden. Diese können dann unter bestimmten Bedingungen energetisch verwertet werden. In entsprechend genehmigten Feuerungsanlagen werden die Altholzsortimente, die nicht stofflich verwertet werden können, verbrannt (Umweltbundesamt).



Die Abteilung **Holzbiologie und Holzprodukte** der Georg-August-Universität Göttingen ist eine Einrichtung der Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie. Dort wird in unterschiedlichen Arbeitsbereichen zu den Themen Massivholz und Holzwerkstoffe sowie Holzabbau, Holzschutz und Holzmodifizierung geforscht. Neben Grundlagenforschung zum Thema Holzmodifikation werden bei uns auch industrienähe Forschungstätigkeiten umgesetzt (Militz, 2022). Eine starke Forschungslandschaft wird auch von der Bundesregierung gefordert. Durch die Forschung und Innovation soll Wohlstand, Lebensqualität, sozialer Zusammenhalt und eine nachhaltige, fortschrittliche Gesellschaft generiert werden. Zentrale Zukunftsfelder sind unter anderem moderne Technologien für eine wettbewerbsfähige und klimaneutrale Industrie, Klima und Nachhaltigkeit (Bundesregierung, 2021). Durch unsere Forschung können auch wir innovative Beiträge zu den genannten Zukunftsfeldern leisten und somit zum Erreichen einer sozialen, nachhaltigen und fortschrittlichen Gesellschaft beitragen.

Bei dem Bau von Häusern kann der Rohstoff Holz nicht direkt anstelle von Beton oder Metallen eingesetzt werden. Ultraviolette Strahlen aus dem Sonnenlicht oder Auswaschung von Abbauprodukten durch Regen führen zu einer "Vergrauung" des Holzes. Auch das Quellen oder Schwinden des Holzes bei Änderungen der Feuchtigkeit oder die Angreifbarkeit durch Pilze bei monatelanger Befeuchtung können zu Problemen werden (Fuhrmann-Koch, 2003). Zudem ist Holz brennbar und es könnte zu Problemen beim Brand von Gebäuden kommen.

Nachteile beim Bauen mit Holz stellen das Quellen bei Feuchteaufnahme und Schwinden bei Feuchteabgabe des Holzes dar (Koenders et al., 2020). Das Quellen und Schwinden des Holzes bezieht sich auf die Eigenschaft des Holzes sich bei Kontakt mit Wasser auszudehnen oder zusammenzuziehen. Die Quellung (Ausdehnung) des Holzes wird durch die Einlagerung von Wasser zwischen den beiden Holzbestandteilen Cellulose-Mikrofibrillen und Hemicellulose-Lignin-Matrix verursacht. Die Wasserstoffbrückenbindungen, die sich zwischen den Hydroxylgruppen der beiden Holzbestandteile ausbilden, stabilisieren diesen Zustand. Durch den dadurch gewonnen Abstand zwischen Cellulose-Mikrofibrillen und Hemicellulose-Lignin-Matrix entsteht eine Ausdehnung des Holzes (Maaß et al., 2021). Beim Schwinden des Holzes lösen sich die Wassermoleküle zwischen den beiden Holzbestandteilen und der Abstand zwischen den Holzbestandteilen wird geringer, sodass das Holz schrumpft. Die Richtung des Quell- oder Schwindvorganges ist aufgrund der parallelen Anordnung der meisten Mikrofibrillen zur Baumachse unterschiedlich. So quillt Holz am stärksten in Richtung der Jahrringe (tangential) und weniger in Richtung der Holzstrahlen (radial). In Richtung der Fasern (longitudinal) ist mit Abstand am wenigsten Quellung und Schwinden beobachtbar (Prieto & Kiene, 2019). Eine Reduktion des Quellverhaltens von Holz kann durch das Einbringen und Fixieren von Dimethyloldihydroxyethylenharnstoff (DMDHEU) in die Zellwand erreicht werden. Bei dieser Art der chemischen Modifizierung werden DMDHEU-Monomere durch einen Vakuum-Druck-Imprägnierprozesses über ein wässriges Lösungssystem in die Zellwand des Holzes integriert. Anschließend erfolgt bei hoher Temperatur und unter Einwirkung des Katalysators Magnesiumchlorid (MgCl_2) eine Polykondensationsreaktion der DMDHEU-Monomere zu Polyamiden. Die Polyamide können die Holzbestandteile miteinander

vernetzen, indem sie mit den Hydroxylgruppen der Cellulose und Hemicellulose reagieren und sich eine Esterbindung ausbildet. Das Holz wird somit in seinem Zustand fixiert und Wassermoleküle können sich nicht so gut einlagern. Auch die Reduktion des Durchmessers der Zellwandporen ist ein Faktor, der das Quellen des Holzes vermindert, denn so können Wasser und andere Substanzen nur schlecht in die Zellwand eindringen (Maaß et al., 2021). Chemisch modifiziertes Holz ermöglicht durch sein verändertes Quellverhalten neue Anwendungen für einheimische Holzarten, die ursprünglich nicht witterungs- und feuchtigkeitsbeständig sind. Durch diese chemische Modifizierung ist das Holz durch den geringeren Feuchtigkeitsanteil weniger von Pilz- und Termitenbefall gefährdet. Anwendungsgebiete hierfür stellen beispielsweise Veranden, Fußböden, Fassadenverkleidungen, Fenster und Türen dar. Das chemisch modifizierte Holz kann nach der Holzmodifizierung auch Witterung und Feuchtigkeit standhalten (Potrykus & Milunov, 2013).

Ein weiterer Nachteil des Baustoffes Holz im Außenbereich ist die Vergrauung des Holzes bei Einwirken von Sonnenstrahlung. Besonders die energiereichen kurzwelligen ultravioletten Strahlen (UV-Strahlen) tragen einen großen Teil dazu bei. Das Holz altert bei großer Strahlungseinwirkung schneller und wird photochemisch abgebaut. Der Holzbestandteil Lignin wird dabei am meisten abgebaut, da dieser ein ausgeprägtes autooxidatives Verhalten aufweist und die UV-Strahlung am effektivsten absorbiert. Die Holzbestandteile Cellulose und Hemicellulose absorbieren UV-Strahlung weniger. Bei Sonneneinwirkung nimmt jedoch der Polymerisationsgrad der Cellulose ab und das Holz verliert an Zugfestigkeit (Volkmer, 2019).

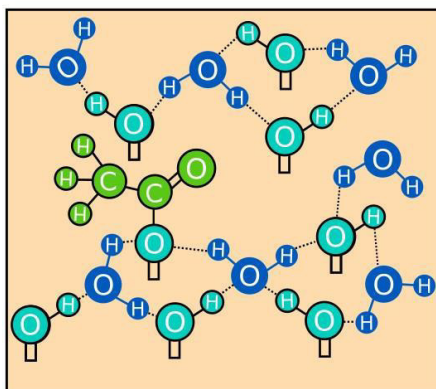
Beim Bauen mit Holz müssen, wie bei jedem anderen Vorhaben auch, baurechtliche und sicherheitstechnischen Aspekte in Betracht gezogen werden. Aufgrund der Brennbarkeit von Holz könnten brandschutzrechtliche Probleme entstehen, die gelöst werden müssen. Die Abteilung Holzbiologie und Holzprodukte betreibt deswegen wissenschaftliche Nachforschungen, um die Brennbarkeit von Holz zu reduzieren. Hierfür steht eine Prüfeinrichtung zur Analyse der Entzündbarkeit von Produkten bei direkter Flammeneinwirkung zur Verfügung, wodurch Entzündbarkeit und mögliche Folgen der Verbrennung, wie ein Abtropfen von brennendem Material, erforscht werden können (Militz). Eine Erhöhung der thermischen Stabilität des Holzes kann durch chemische Modifikation anhand der Sol-Gel-Technik ermöglicht werden. Bei dieser Technik werden unterschiedliche Silicium-Sauerstoff-Verbindungen durch Polykondensationsreaktionen an die Hydroxylgruppen des Holzes gebunden. Durch diese Art der chemischen Modifikation wird die thermische Zersetzung des Holzes und die vollständige Verbrennung der Holzmatrix verzögert. Dies liegt zum einen daran, dass die Zellwandbestandteile durch die Einbringung von SiO_2 -Gelen von Sauerstoff abgeschirmt werden, sodass die Verbrennung nicht gefördert wird. Zum anderen wird es den Zellwandbestandteilen erschwert als flüchtiger brennbarer Stoff zu entweichen (Lu et al., 2014).



Accoya-Holz ist ein chemisch modifiziertes Holz und zeichnet sich durch seine Kombination von Dauerhaftigkeit, Dimensionsstabilität und Vielseitigkeit aus. Der Rohstoff Holz wird von dem **Unternehmen Accoya** nachhaltig beschafft und die Produkte werden kohlenstoffarm hergestellt. Unser chemisch modifiziertes Accoya-Holz trägt aktiv zu einer zirkulären, biobasierten Wirtschaft bei. Auch im industriellen Maßstab ist so Leistungsfähigkeit und Nachhaltigkeit vereinbar (Accoya, 2022a). Doch wie wird das Holz durch Accoya genau modifiziert?

Cellulose ist ein wichtiger Bestandteil des Holzes, der viele Hydroxylgruppen an seiner Oberfläche aufweist. Da diese mit Wassermolekülen Wasserstoffbrückenbindungen eingehen können, kann Wasser sich an die Hydroxylgruppen anlagern, sodass das Holz auf makroskopischer Ebene quillt. Das Holz ist dann anfälliger für den Angriff biologischer Organismen. Beim Trocknen schrumpft das Holz jedoch wieder. Hemicellulose enthält von Natur aus nur wenige Acetylgruppen, die an die Hydroxylgruppen der Cellulose binden können (siehe Abbildung 2 (links)). Durch eine chemische Reaktion von Essigsäureanhydrid mit dem Holz bei hoher Temperatur, kann die Anzahl der feuchtigkeitsbeständige Acetylgruppen erhöht werden. Man nennt dies eine Acetylierung. Das Holz mit der Erhöhung der Anzahl der lipophilen Acetylgruppen ist das acetylierte Holz, welches Accoya verwendet (siehe Abbildung 2 (rechts)). Es zeichnet sich durch eine höhere Dimensionsstabilität und eine bessere Dauerhaftigkeit aus. Bei dem durch Acetylierung modifizierten Holz sind folglich die gleichen Bestandteile wie in natürlichem Holz vorhanden, jedoch in einem unterschiedlichen Verhältnis (Accoya, 2022b).

Holz vor der Acetylierung:



Holz nach der Acetylierung:

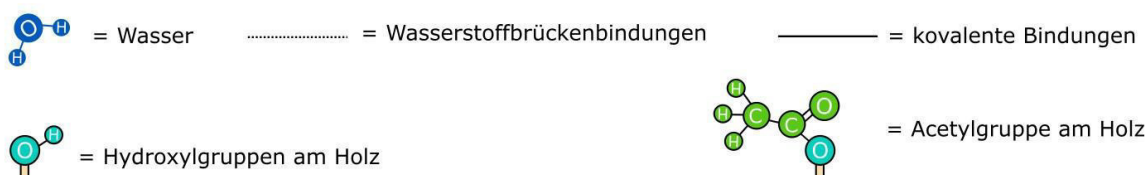
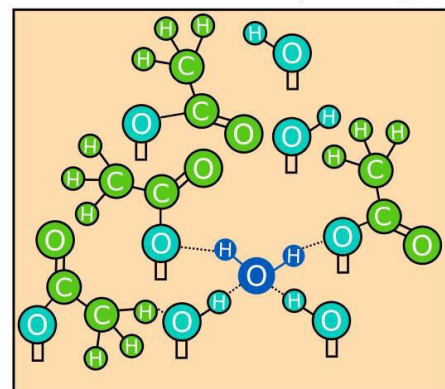


Abbildung 2: Holz vor der Acetylierung (links) und nach der Acetylierung (rechts) jeweils bei gleichen Umgebungsbedingungen (verändert nach Accoya, 2022b).

Chemisch gesehen wird bei der Acetylierung von Accoya das Wasserstoffatom der Hydroxylgruppe des Holzpolymers (Cellulose und Hemicellulosen) durch die Acetylgruppe des Essigsäureanhydrids ersetzt, wobei das gewünschte Accoya-Produkt und Essigsäure entstehen (siehe Abbildung 3).

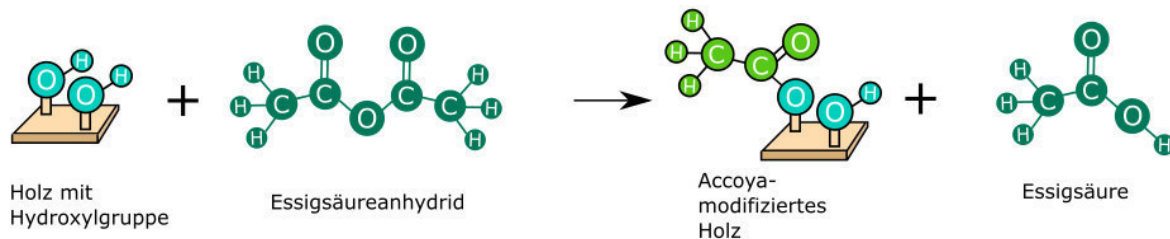


Abbildung 3: Reaktionsgleichung der Acetylierung von Holz (verändert nach HeHolz)

Aufgrund der Verwendung von natürlichen Chemikalien kann Accoya nach der Verwendung problemlos recycelt werden. Es ist sogar eine Wiederverwendung möglich und das Produkt kann zu 100 % biologisch abgebaut werden. (Accoya) Somit trägt Accoya auf unterschiedlichste Weisen zu den Nachhaltigkeitszielen bei, die von den vereinten Nationen gesetzt wurden, um die nachhaltige Entwicklung auf ökonomischer, sozialer sowie ökologischer Ebene zu sichern (Bundesregierung, 2022).

Die wichtigsten Beiträge zum Erreichen der Nachhaltigkeitsziele konzentrieren sich bei Accoya auf die Nachhaltigkeitsziele 9, 11, 12, 13 und 15 (siehe Abbildung 4). In diesen Bereichen kann unser Unternehmen den größten Einfluss ausüben. Abgesehen von diesen gezielten Bereichen steht die starke Nachhaltigkeitsleistung unseres Unternehmens und unserer Produkte auch im Einklang mit einer breiteren Gruppe von weiteren Nachhaltigkeitszielen (Accoya, 2022a).



Abbildung 4: Nachhaltigkeitsziele 9, 11, 12, 13 und 15. Bildquelle: Bundesumweltministeriums, 2022.



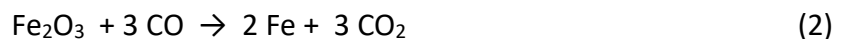
Die wachsende Weltbevölkerung steigert die Nachfrage nach Wohnraum, Mobilität und wirtschaftlicher Entwicklung um eine beachtliche Menge. Als größtes Bauunternehmen der Welt trägt **HeidelbergCement** seit 150 Jahren zum Fortschritt des Baus von Häusern, Verkehrswegen sowie Gewerbe- und Industrieanlagen bei (HeidelbergCement). Unser Kerngeschäft umfasst die Herstellung und den Vertrieb von Zement und Zuschlagstoffen – den beiden wesentlichen Rohstoffen von Beton. Zu den nachgelagerten Aktivitäten gehört vor allem die Produktion von Transportbeton, Asphalt und weiteren Bauprodukten (HeidelbergCement). Durch den Bau von Verkehrswegen helfen unsere Produkte den Menschen mobil zu sein und die Welt zu verbinden. Eine gute Infrastruktur benötigen auch Schulen und Krankenhäuser, dessen Bausubstanz unsere Baumaterialien bilden. Diese bieten den Menschen baulichen Schutz, sowohl in der Wohnung, bei der Arbeit als auch im öffentlichen Raum (HeidelbergCement).

Durch zahlreiche Innovationen und Projekte hat die Heidelberg Beton GmbH die Vielseitigkeit, Langlebigkeit und Wirtschaftlichkeit von Beton bewiesen (HeidelbergCement). Die Herstellung von Beton ist jedoch für etwa 8,6 % aller anthropogenen CO₂-Emissionen verantwortlich (Miller et al., 2016) und bei den energieintensiven Produktionsprozessen ist ein großer Anteil der Emissionen bislang unvermeidbar (Beumelburg & Plonsker, 2021). Als weltweit größtes Unternehmen der Zementindustrie haben wir deswegen eine enorme gesellschaftliche Verantwortung (Beumelburg & Plonsker, 2021). In unserem Unternehmen sind rund 53.000 Mitarbeiter an über 3.000 Standorten in mehr als 50 Ländern beschäftigt (HeidelbergCement, 2021). Um unseren langfristigen Unternehmenserfolg aufrecht zu halten braucht unsere Zukunft Kreativität und Lösungen, die halten. Wir sind die Grundlage für die Zukunft und liefern neue Lösungen, um das Material der Zukunft zu bauen. Durch unsere **Vision 2050** soll Beton zum nachhaltigsten Baustoff gemacht werden (HeidelbergCement, 2020).

2019 wurden in Deutschland 34 Millionen Tonnen Beton verbaut, wobei 20 Millionen Tonnen CO₂ emittiert wurden. Der weitaus größte Teil der Emissionen geht auf den Betonbestandteil Zement zurück. Pro produzierter Tonne Zement werden 600 kg CO₂ freigesetzt. Der Zement ist jedoch für die Betonherstellung jedoch von großer Bedeutung, da dieser den Sand, Wasser und Kies des Betons wie eine Art Kleber zusammenhält. Für die Herstellung des Zements werden zunächst Kalkstein, Sand und Ton bei mehr als 1400 °C gebrannt, um den Zementklinker herzustellen. Aufgrund des hohen Energieverbrauchs entsteht hierbei schon viel CO₂ (Witsch, 2020). Der Zementklinker besteht zum größten Teil aus Calciumoxid CaO (ca. 66,5 %). Der Ausgangsstoff für die Herstellung von Calciumoxid ist Calciumcarbonat CaCO₃, der sich in Form von Calcit in Kalkstein und Kreide befindet (Locher, 2000). Bei der Verbrennung von Calciumcarbonat CaCO₃ entsteht das für Zement benötigte Calciumoxid CaO, wobei CO₂ entsteht (Baumit, 2022):



Das Bindemittel Zement trägt zur Verbindung zwischen dem Beton und dem Betonstahl bei. Der Stahl ist Teil der Bewehrungstechnik und bietet dem Beton Stabilität. In Deutschland werden jährlich ca. 4 Mio. Tonnen Betonstahl produziert (Institut für Stahlbetonbewehrung, 2022). Bei der Produktion von Stahl wird sehr viel Energie benötigt. In einem Hochofen kann Eisenoxid aus Eisenerz mit Koks (Kohlenstoff) zu Eisen gebrannt werden. Dafür sind Temperaturen von ca. 993 °C notwendig, die in einem Hochofen erzeugt werden (Götze & Göbbels, 2017). Dort laufen viele chemische Prozesse ab, die für die Stahlgewinnung erforderlich sind. Bei der direkten Erzreduktion wird dabei Eisenoxid zu elementarem Eisen reduziert (Meyer & Horn, 2017):



Das gewonnene Roheisen enthält noch einen bestimmten Kohlenstoffanteil, der durch das Frischen (Entkohlung von Roheisen) gesenkt werden soll. Aus diesem Roheisen kann dann eine Stahlliegierung erzeugt werden, die je nach Verwendungszweck variiert. Bei Baustahl sind weniger als 0,4 % Kohlenstoff enthalten (Universität Freiburg).

Der gewonnene Stahl dient zur Stabilisierung von Stahlbetonbauteilen und hat bestimmte zweckabhängige Anforderungen an Zerrspannungen und andere Stabilitätsanforderungen. Auch Korrosion ist eine wichtige Anforderung an den Stahl. In den Betonbauteilen muss Stahl vor Korrosion geschützt werden, da dieser bei Kontakt mit Wasser rosten kann. Dies passiert, wenn sich in dem Wasser mit dem Sauerstoff aus der Luft in einer Reduktionsreaktion Hydroxid-Ionen bilden (Max-Planck-Gesellschaft, 2015):



Die Elektronen stammen hierbei aus dem Eisen im Stahl. Der Stahl kann negativ geladene Elektronen und Eisen-Ionen abgeben und diese fließen von der Stahloberfläche in das Porenwasser des Betons (baustoffwissen, 2020). Eisen wird dann zu Eisen-Ionen und zwei negativ geladenen Elektronen oxidiert:



Die Eisen-Ionen können dann mit den Hydroxid-Ionen aus dem Porenwasser zu Eisen(II)hydroxid reagieren (Max-Planck-Gesellschaft, 2015):



Nach weiteren Reaktionen mit Hydroxid-Ionen, Sauerstoff- und Wassermolekülen entsteht eine Mischung aus Eisen(III)hydroxid und Eisen(III)oxid (Max-Planck-Gesellschaft, 2015). Diese Mischung, der Rost, setzt sich auf der Oberfläche des Stahls ab und man spricht von Korrosion. Bei der Korrosion handelt es sich um eine elektrochemische Reaktion. Das Porenwasser dient hierbei als Elektrolyt. Das Eisen im Stahl wird oxidiert und nimmt somit die Funktion einer Anode ein. (baustoffwissen, 2020).

Bereits in mehreren aktuellen Projekten strebt Heidelbergcement bis 2030 eine CO₂-Reduktion von bis zu 10 Mio. Tonnen an. Im Juni 2021 wurde ein Projekt in Schweden angekündigt, bei dem das potenziell erste klimaneutrale Zementwerk gebaut werden soll. Dieses Zementwerk soll 1,8 Mio. Tonnen CO₂ abscheiden (Heidelbergcement, 2021). Bei diesen Projekten wird Kohlenstoff mit Hilfe von CCUS-Technologien (Carbon Capture Use and Storage) abgeschieden, genutzt und gespeichert. Die Speicherung kann hierbei beispielsweise in Form von Industrieerzeugnissen wie kohlensäurehaltigem Wasser, Brennstoffen auf Kohlenstoffbasis oder kohlenstoffhaltigen Chemikalien gespeichert werden. Den ersten Schritt der CCUS-Technologie stellt die Abscheidung von CO₂ aus den Industrieabgasen oder der Umgebungsluft dar. Hierfür werden meist Lösungs- und feste Sorptionsmittel verwendet. Der Kohlenstoff wird so entweder im flüssigen Lösungsmittel gelöst oder haftet an der Oberfläche des Sorptionsmittels. In dem darauffolgenden Erneuerungsprozess kann das abgeschiedene CO₂ für die Weiterverwendung wieder freigesetzt werden und der Filter für die Abscheidung des CO₂ somit wiederverwendet werden. Allerdings müssen für diesen Erneuerungsprozess hohe Temperaturen (80 - 800 °C) erzeugt werden, die somit wiederum zu einem Verbrauch an Energie führen. Zusätzliche Energie wird dann noch bei der Komprimierung, Reinigung und Weiterverarbeitung des CO₂ benötigt. Die Anwendungsmengen für das so gewonnene CO₂ sind begrenzt und oft wird das zunächst gespeicherte CO₂ bald wieder freigesetzt (Chalmin, 2020).



Auf Initiative der Bundesregierung wurde die **Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.** (FNR) 1993 ins Leben gerufen. Das Ziel dieser Initiative sollte es sein Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsprojekte im Bereich nachwachsender Rohstoffe zu koordinieren. So kann ein wirksamer und kontinuierlicher Beitrag für die Entwicklung und den Einsatz nachwachsender Rohstoffe geleistet werden (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, 2022c).

Im Bereich der Stadtentwicklung ist Holz ein ideales Material für die Nachverdichtung urbaner Räume. Eine Aufstockung auf bereits bestehende Gebäude ist aufgrund der Eigenschaften des verhältnismäßig leichten Materials Holz und den hohen Vorfertigungsgraden des Werkstoffes Holz gut realisierbar. Hohe Vorfertigungsgrade bedeutet, dass Holz schon in der Produktion so weit bearbeitet wird, dass es sich als Bauteil schnell einbauen lässt. Auch eine nachverdichtende Schließung von Lücken in der Stadtbebauung kann verhältnismäßig schnell fertiggestellt werden. Diese Art von Wohnraumerweiterung ist besonders in der Zeit des Zuzugs von Schutzsuchenden bedeutsam, da so in relativ kurzer Zeit zusätzlicher Wohnraum geschaffen werden kann (Schmidt, 2016).

Es lässt sich durch die schlanken Holzbauteile sogar 10 % mehr Wohnraum schaffen (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, 2022b). Moderne Holzhäuser benötigen bei einem trockenen Einbau und richtiger Konstruktion keinen chemischen Schutz und sind trotzdem pflegeleicht und langlebig (Dederich, 2021). Die Entsorgung des Naturbaustoffes Holz ist im Allgemeinen unproblematisch (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, 2022a).

Nicht nur technische Vorteile sind bei der Betrachtung des nachwachsenden Rohstoffes Holz zu beachten. Der Baustoff Holz bietet in vielerlei Hinsicht ein enormes Klimaschutzpotential (Wolf 2020). Durch die energetisch effiziente Herstellungsweise im Vergleich zu herkömmlichen Baustoffen werden CO₂-Emissionen eingespart. Das Holz speichert sogar zusätzlich Kohlenstoff aus der Atmosphäre, der bei der natürlichen Fotosynthese des Baumes im Holz angesammelt wird. Während des Fotosyntheseprozesses binden die Bäume mit Hilfe von solarer Energie und Wasser das Kohlenstoffdioxid aus der Atmosphäre und produzieren Glucose (siehe Abbildung 5). Diese dient zum Aufbau von Biomasse in Form von Holz. Das Holz speichert somit Kohlenstoffdioxid aus der Luft (Dederich, 2021).

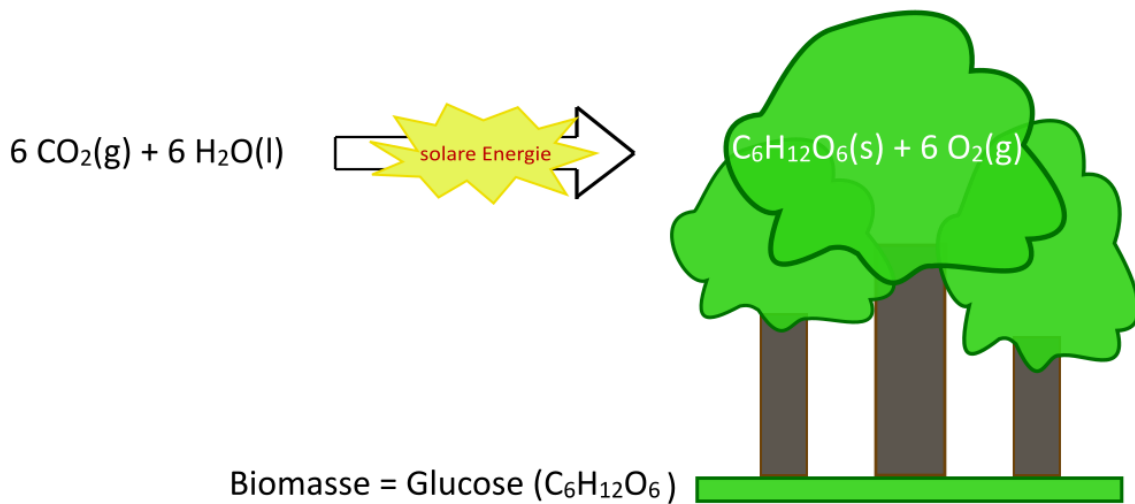
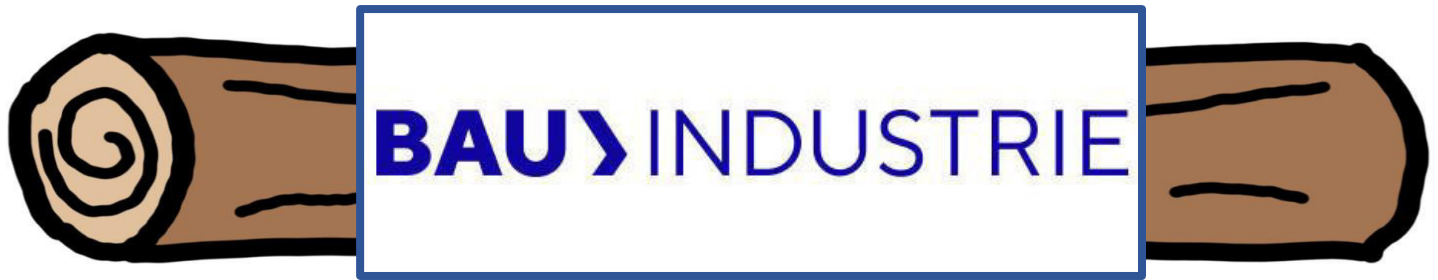


Abbildung 5: Reaktion von Kohlenstoffdioxid und Wasser zu Glucose und Sauerstoff (verändert nach Dederich, 2021)

Der natürliche Kreislauf beinhaltet ebenso das Binden von Kohlenstoffdioxid in Wasser und Boden, als auch die Abgabe von Kohlenstoffdioxid an die Atmosphäre. Es wird dabei natürlicherweise so viel Kohlenstoff abgegeben wie aufgenommen. Durch das Eingreifen der Menschen in diesen natürlichen Kreislauf, beispielsweise durch Brandrodung von Waldflächen oder dem Verbrennen fossiler Rohstoffe, gelangt jährlich mehr Kohlenstoffdioxid in die Atmosphäre. Besonders der Kohlenstoffdioxidanteil in der Atmosphäre verhindert die Wärmeabstrahlung der Erde (Irmer et al., 2010). Es kommt zur Erderwärmung, die verheerende Folgen mit sich trägt.



Als **Hauptverband der Deutschen Bauindustrie (HDB)** setzen wir uns gegenüber der Politik, Verwaltung und Gesellschaft für das Gesamtinteresse der Baubranche ein. Wir schaffen die Rahmenbedingungen für ein Deutschland das wettbewerbs- und zukunftsfähig ist (Hauptverband der Deutschen Bauindustrie [HDB], 2022c). Zu nachhaltigem Wirtschaften sind wir verpflichtet und betrachten hierfür Herstellungs-, Nutzungs- und Rückbauprozess, die für den Gesamtzyklus entscheidend sind. Dabei ist uns wichtig, dass die gebaute Umwelt lebenswert ist und ausreichend bezahlbarer Wohnraum zur Verfügung steht. Dabei soll möglichst ressourcensparend gearbeitet werden (HDB, 2022b).

Ein Musterbeispiel für nachhaltiges, zukunftsfähiges Bauen stellt das Holzhybrid-Hochhaus SKAIO in Heilbronn dar (siehe Abbildung 6). Mit einer Höhe von 35 Metern und 10 Stockwerken, handelt es sich um das erste in Deutschland gebaute Holzhochhaus. Auf einem Grundriss von gerade mal 23 mal 23 Metern werden 3300 m² Wohnfläche geschaffen. Dieses Modellprojekt in Heilbronn zeigt, wie leistungsfähig der moderne Holzbau ist und wie gut ökologische, verantwortungsvolle Stadtentwicklung funktionieren kann



Abbildung 6: Holzhybrid-Hochhaus SKAIO in Heilbronn (Borchardt, 2022).

(HDB, 2022a; Kling). Bis auf das Sockelgeschoss, das Treppenhaus und der Aluminiumfassade ist das Haus komplett aus Holz erbaut. Das Sockelgeschoss und Treppenhaus bestehen auf Grund brandschutzrechtlicher Verordnungen aus Stahlbeton. Die Fassade wurde aus Aluminium errichtet, da das Holz so besser geschützt werden kann und der Brandschutz gestärkt wird (HDB, 2022a). In dem Holzhochhaus sind 1500m³ Holz verbaut, die knapp 1500 Tonnen Kohlenstoffdioxid in Form von Holzpolymeren chemisch binden. Bei dem Holz handelt es sich um heimisches Fichtenholz aus nachhaltiger, zertifizierter Forstwirtschaft. Das gesamte verbaute Holz würde durchschnittlich in nur sieben Minuten in Deutschlands Wäldern nachwachsen. Es ist im Sinne einer Kreislaufwirtschaft gut in den Gesamtzyklus aus Herstellungs-, Nutzungs- und Rückbauprozessen zu integrieren. In der Bauphase können Energie- und Ressourcen gespart werden, indem das Holz exakt vorgefertigt wird. Die Bauzeit wird dadurch stark verkürzt. Während der Nutzungsphase sorgt das Holz für ein angenehmes Raumklima und isoliert besser als viele andere Baustoffe. Da alle Materialien sortenrein zurückgebaut werden können, ist das Haus sehr gut recyclebar und nachhaltig (HDB, 2022a; Kling). Das Modellprojekt SKAIO wurde mit Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung kofinanziert und 25 der 60 Wohnungen des Holzhochhauses sind öffentlich gefördert. So kann auch der stetig wachsenden Nachfrage nach günstigem Wohnraum gerecht

werden (HDB, 2022a). Holz als Rohstoff hat auch aus bautechnischer Sicht viele Vorteile. Bei gleicher Tragfähigkeit hat Holz ein geringeres Gewicht als Stahl. Auch die Druckfestigkeit von Holz ist beachtlich und kann mit der Druckfestigkeit von Beton mithalten (Maier, 2022). Durch intensive Forschung und neue Vorfertigungstechniken gelingt es Holz zu einem Material zu verarbeiten, das großen Belastungen standhält (HDB, 2022a). Daher sind wohl auch viele weitere Hochhäuser aus Holz geplant, wie beispielsweise das Roots in Hamburg, das eine Höhe von 65 Metern erreichen soll (Maier, 2022).

Literaturverzeichnis

- Accoya. *Ende der Lebensdauer*. <https://www.accoya.com/de/nachhaltigkeit/ende-der-lebensdauer/>
- Accoya. (2022a). *Holz für Höchstleistung und Nachhaltigkeit: Auf der ganzen Welt erprobt und getestet*. Accoya. <https://www.accoya.com/de/>
- Accoya. (2022b, 9. Mai). *Acetylierung: So entsteht Accoya*. <https://www.accoya.com/de/warum-accoya/>
- Baumit. (2022, 15. Mai). *Kalk & Zement | Baumit.at*. <https://baumit.at/unternehmen/kalk-zement>
- Baunetz. (2019). *Das höchste Holzhaus der Welt*. https://www.baunetz.de/meldungen/Meldungen-Hochhaus_in_Norwegen_von_Voll_Arkitekter_6945806.html
- baustoffwissen. (2020). *Korrosionsschutz für Stahlbewehrungen - baustoffwissen*. https://www.baustoffwissen.de/baustoffe/baustoffknowhow/forschung_technik_trends/korrosionsschutz-fuer-stahlbewehrungen/
- Beumelburg, C. & Plonsker, K. (2021). Verantwortung übernehmen. Chancen sichern.: Nachhaltigkeitsbericht 2020. <file:///C:/Users/annik/Downloads/heidelbergcement-nachhaltigkeitsbericht-2020.pdf>
- Bundesregierung. (2021). *Fortschritt durch Forschung*. <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/forschung/fortschritt-durch-forschung-1986628>
- Bundesregierung. (2022, 16. Mai). *Nachhaltigkeitsziele verständlich erklärt*. <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/nachhaltigkeitspolitik/nachhaltigkeitsziele-verstaendlich-erklaert-232174>
- Bundesumweltministeriums. (2022, 22. August). *17 Nachhaltigkeitsziele – SDGs*. <https://www.bmu.de/themen/nachhaltigkeit-digitalisierung/nachhaltigkeit/17-nachhaltigkeitsziele-sdgs>
- Chalmin, A. (2020). *CCUS: Kann abgeschiedener Kohlenstoff sinnvoll genutzt werden?* <https://www.boell.de/de/2020/07/30/ccus-kann-abgeschiedener-kohlenstoff-sinnvoll-genutzt-werden>
- Dederich, L. (2021). *Holzhauskonzepte*. https://www.fnr.de/fileadmin/allgemein/pdf/broschueren/Broschuere_Holzhauskonzepte_2020_RZ_web.pdf
- Fachagentur Nachhaltende Rohstoffe. (2022a). *Baustoffe*. <https://www.fnr.de/nachwachsende-rohstoffe/chemisch-technisch/baustoffe>
- Fachagentur Nachhaltende Rohstoffe. (2022b). *Holzbau*. <https://baustoffe.fnr.de/bauen/holzbau>
- Fachagentur Nachhaltende Rohstoffe. (2022c, 2. Mai). *Fachagentur Nachhaltende Rohstoffe*. <https://www.fnr.de/fnr-struktur-aufgaben-lage/fachagentur-nachwachsende-rohstoffe-fnr>
- Fuhrmann-Koch, M. (2003). *Chemisch modifiziertes Holz: Widerstandsfähig gegen Regen und UV-Strahlen*. <https://idw-online.de/de/news63761>
- Global Alliance for buildings and construction (2020). *2020 Global status report for buildings and construction*.
- Götze, J. & Göbbels, M. (2017). *Einführung in die Angewandte Mineralogie*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-50265-5>
- Hauptverband der Deutschen Bauindustrie. (2022a, 12. August). *Holz als Baustoff ist gelebter Klimaschutz*. <https://www.bauindustrie.de/best-practice/holzhybrid-hochhaus-skaio>
- Hauptverband der Deutschen Bauindustrie. (2022b, 12. August). *Umwelt und Bautechnik*. <https://www.bauindustrie.de/themen/umwelt-und-bautechnik>
- Hauptverband der Deutschen Bauindustrie. (2022c, 12. August). *Verband*. <https://www.bauindustrie.de/verband>
- HeHolz. *Über Accoya Holz*. <http://www.heholz.at/accoya/about.html>
- Heidelbergcement. *Beton und Fließestrich*. <https://www.heidelbergcement.de/de/beton>
- Heidelbergcement. *Über HeidelbergCement*. <https://www.heidelbergcement.com/de>
- Heidelbergcement. *Wer wir sind, wofür wir stehen*. <https://www.heidelbergcement.com/de/unternehmen>
- Heidelbergcement. (2020). *Nachhaltigkeitsbericht*. <https://www.heidelbergcement.com/de/nachhaltigkeitsbericht>
- Heidelbergcement. (2021). *Vorstandsvorsitzender von HeidelbergCement betont Fokus auf CCU/S beim Staatsbesuch des deutschen Bundespräsidenten in Norwegen*. <https://www.heidelbergcement.com/de/pi-08-11-2021>
- Institut für Stahlbetonbewehrung. (2022, 16. Mai). *Betonstahlhersteller*. <https://www.isb-ev.de/mitglieder/betonstahlhersteller/>
- Irmer, E., Keinhenn, R., Sternberg, M. & Töhl-Borstorf, J. (Hrsg.). (2010). *Elemente Chemie* (1. Aufl.). Ernst Klett Verlag.
- Kling, I. *SKAIO: Deutschlands erstes Holz-Hybrid-Hochhaus*. <https://www.holzbauoffensivebw.de/de/frontend/product/detail?productId=4>
- Koenders, E., Weise, K. & Vogt, O. (Hrsg.). (2020). *Werkstoffe im Bauwesen*. Springer Fachmedien Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-32216-8>
- Linner, A. (2019). *Die 7 spektakulärsten Holzhochhäuser der Welt*. <https://wohnglueck.de/artikel/spektakulaere-holzhochhaeuser-15161>
- Locher, F. W. (2000). *Zement: Grundlagen der Herstellung und Verwendung*. Verlag Bau+Technik. <https://books.google.de/books?hl=de&lr=&id=tP53DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA17&dq=Grundlagen+der+Her>

- stellung+und+Verwendung&ots=0kcrfKtzpZ&sig=DZcXAwkdPbU423rMfEfus_LLPCI#v=onepage&q=Grundlagen%20der%20Herstellung%20und%20Verwendung&f=false
- Lu, Y., Feng, M. & Zhan, H. (2014). Preparation of SiO₂–wood composites by an ultrasonic-assisted sol–gel technique. *Cellulose*, 21(6), 4393–4403. <https://doi.org/10.1007/s10570-014-0437-6>
- Maaß, M.-C., Völker, F., Emmerich, L., Militz, H. & Waitz, T. (2021). Chemically modified wood – sustainable and climate-friendly – a promising material for a better future? Recent research approaches in school. *CHEMKON*, 28(4), 162–171. <https://doi.org/10.1002/ckon.202100021>
- Maestro Holzbau. (2021). *Holzhaus vs. Massivhaus: Was ist besser, wie soll man wählen?* <https://maestroholzbau.de/blog/holzhaus-vs-massivhaus/#:~:text=Niedrigere%20Baukosten%20beim%20Holzhaus&text=Ziegel%2C%20Zement%20und%20Beton%20werden,Kosten%20f%C3%BCr%20das%20Material%20niedriger.>
- Maier, S. (2022, 12. August). *Hochhäuser in Holzbauweise bauen | Projekte, Bilder.* <https://www.holzbauwelt.de/objektypen/holzhochhaeuser.html>
- Max-Planck-Gesellschaft. (2015). *Korrosion – verletzlicher Stahl.* <https://www.max-wissen.de/max-media/korrosion-verletzlicher-stahl-max-planck-cinema/>
- Meyer, M. & Horn, M. (2017). *Herstellen von Stählen.* <https://docplayer.org/75101354-Herstellen-von-staehlen.html>
- Militz, H. *Brandschutz: Neues Forschungsfeld Brandschutzchemikalien und Aufbau entsprechender Analysekapazitäten.* <https://www.uni-goettingen.de/de/brandschutz/635597.html>
- Militz, H. (2022). *Holzforschung für Wissenschaft und Praxis.* <https://www.uni-goettingen.de/de/67096.html>
- Miller, S. A., Horvath, A. & Monteiro, P. J. M. (2016). Readily implementable techniques can cut annual CO₂ emissions from the production of concrete by over 20%. *Environmental Research Letters*, 11(7), 74029. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/7/074029>
- Novak, A. *Nachhaltige Architektur baut auf Holzbau.* <https://www.wohnen-und-gesellschaft.de/de-de/politik-und-wohnen/holz-statt-beton>
- Potrykus, A. & Milunov, M. (2013). *Determination of the Best Available Techniques for preservation of wood and wood products in Germany considering cross-media environmental impacts.* Umweltbundesamt.
- Prieto, J. & Kiene, J. (2019). *Holzbeschichtung: Chemie und Praxis* (2. Aufl.). *Farbe und Lack Bibliothek.* Vincentz.
- Schmidt, C. (2016). *HolzbauPlus Bundeswettbewerb.* <https://www.holzbauplus-wettbewerb.info/fileadmin/allgemein/pdf/Brosch.HolzbauPlus-2016-web.pdf>
- Schütte, A. (2021). *Wohnen und Leben mit Holz: Einfluss von Holzemissionen auf die Wohngesundheit.* https://www.fnr.de/fileadmin/allgemein/pdf/broschueren/Broschuere_VOC_bf_final.pdf
- Statistisches Bundesamt (2021). *Umweltökonomische Gesamtrechnungen: Waldgesamtrechnung.* https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/UGR/landwirtschaft-wald/Publikationen/Downloads/waldgesamtrechnung-tabellenband-pdf-5852102.pdf?__blob=publicationFile
- Umweltbundesamt. *Holzindustrie.* <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaftskonsum/industriestrukturen/holz-zellstoff-papierindustrie/holzindustrie>
- Umweltbundesamt. (2021). *Wer wir sind.* <https://www.umweltbundesamt.de/das-uba/wer-wir-sind>
- Universität Freiburg. *Chemie der Metalle.* http://ruby.chemie.uni-freiburg.de/Vorlesung/metalle_feconi_gruppe.html
- Volkmer, T. (2019). *Holzfassaden: Witterung und Schutzmaßnahmen–Möglichkeiten und Grenzen im Überblick.* https://www.forum-holzbau.ch/pdf/32_ebh2019_volkmer.pdf
- Wiedemann, P. & Woischnik, B. (2022). *Wald und Holz: Herausforderungen und Perspektiven.*
- Witsch, K. (2020). *Klimakiller Beton: So will die deutsche Zementindustrie CO₂-neutral werden: Die Baubranche ist einer der größten CO₂-Emittenten der Welt. Jetzt legt die deutsche Zementindustrie einen Plan vor: Bis 2050 will sie klimaneutral werden.* *Handelsblatt.* <https://www.handelsblatt.com/unternehmen/energie/klimaschutz-klimakiller-beton-so-will-die-deutsche-zementindustrie-co2-neutral-werden-/26652040.html>
- Wolf, T. (2020). *Potenziale von Bauen mit Holz: Erweiterung der Datengrundlage zur Verfügbarkeit von Holz als Baustoff zum Einsatz im Holzbau sowie vergleichende Ökobilanzierung von Häusern in Massiv und Erweiterung der Datengrundlage zur Verfügbarkeit von Holz als Baustoff zum Einsatz im Holzbau sowie vergleichende Ökobilanzierung von Häusern in Massiv- und Holzbauweise.* *Umweltbundesamt.*
- ZDF. (2022). *Sackgasse Beton: Die Suche nach Alternativen – Leschs Kosmos.* <https://www.youtube.com/watch?v=8GkYKyf-7Ds>

6.1.2 Kärtchen für die Losung der Gruppe



Umweltbundesamt



Abteilung Holzbiologie und Holzprodukte
der Universität Göttingen



Accoya



HeidelbergerCement




Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe



Bauindustrie

6.1.3 Namenskartchen für die Interessengruppen

	<p>Abteilung Holzbiologie und Holzprodukte:</p> <div data-bbox="630 1417 794 1675"></div> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>
---	--



Umweltbundesamt:





Accoya:





HeidelbergCement:





Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.:





Bauindustrie: