

Bauen mit Holz als aktiver Klimaschutz

Lange Zeit beschränkte sich die Baustoffkunde ausschließlich auf das Aufzählen der stofflichen, physikalischen und chemischen Eigenschaften der Materialien, Aspekte wie Gesundheit, Komfort, Umweltbelastung und Umweltfolgen spielten dagegen keine Rolle. Erst in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts wurde allmählich ein Zusammenhang zwischen Umwelt- und Gesundheitsschäden und den Aktivitäten der Baustoffindustrie hergestellt. In den 1960er- und 70er-Jahren kam es zu Gesundheitsskandalen im Zusammenhang mit Asbest (Zuschlagstoff in Putzen und Platten), Formaldehyd (Spanplattenkleber) und Pentachlorphenol (Holzgiftmittel). Die Schwefeldioxidproduktion bei Verbrennungsprozessen wurde in den 1970er-Jahren als Ursache des Waldsterbens (>Saurer Regen<) erkannt und das wachsende Ozonloch entstand als Folge der Freisetzung von Fluorchlorkohlenwasserstoff (FCKW) aus Treibmitteln, unter anderem für geschäumte synthetische Baudämmstoffe. Die finanziellen Folgen dieser gesundheitlichen Schädigungen und Umweltzerstörungen schreckten langfristig die politischen Institutionen und Behörden auf und führten in Deutschland und Teilen Europas zu einer Veränderung der wissenschaftlichen, politischen und juristischen Rahmenbedingungen.

Die Baustoffe

In der Diskussion über die >richtige< Energie, die sich in Deutschland aus der Anti-Atomkraft-Bewegung entwickelte, ergab sich schnell die Unterscheidung in nicht erneuerbare und erneuerbare Energie. Im Baubereich konnte sich diese Erkenntnis allerdings bis heute nicht durchsetzen. Hier ist das Stoffverständnis weiterhin von den naturwissenschaftlichen Denkstrukturen des 19. Jahrhunderts geprägt, die Einteilung orientiert sich an der Gliederung der Chemie in anorganische und organische Stoffe. Ob die Quelle

des Kohlenstoffs eine nachwachsende oder eine endliche Ressource ist, bleibt dabei unberücksichtigt. Eine alternative Einteilung, die die Stoffherkunft einbezieht, wäre die in mineralische, vegetabile/pflanzliche, animalische und synthetische Baustoffe,¹ wobei die pflanzlichen Stoffe erneuerbaren und die synthetischen nicht erneuerbaren Kohlenstoff enthalten. Die synthetischen Materialien nehmen dabei eine Zwitterstellung zwischen mineralischen und vegetabilen Stoffen ein, da ihre Ausgangsstoffe zwar ursprünglich pflanzlicher Herkunft sind, sie über Jahrtausende aber tief greifende Veränderungen erfahren haben und zu Kohle, Erdgas oder Erdöl umgewandelt wurden. Mit der drohenden Ressourcenknappheit bekommt diese Stoffgliederung eine weitreichende Bedeutung.

Baustoffe aus fossilen und nachwachsenden Rohstoffen

Am Beispiel der organischen Baustoffe sollen die spezifischen Stoffeigenschaften und fundamentalen Unterschiede von nicht erneuerbarem und erneuerbarem Kohlenstoff unter ökologischen Gesichtspunkten erläutert werden.

Kunststoffe erobern seit über 100 Jahren immer mehr Lebensbereiche, da sie in eng fokussierten Nutzungsspektren eindeutige Vorteile gegenüber anderen Materialgruppen aufweisen. Unterschiedliche Mischungsformulierungen verleihen dem Material extrem unterschiedliche Eigenschaften, die zum Beispiel von sehr geringem bis zu sehr hohem Gewicht, von resistent gegen Fäulnis bis zu verrottungsfähig, von hart bis weich und von hoch elastisch bis zu reißfähig reichen können. Der in Jahrtausenden entstandene und abgelagerte Kohlenstoff wird durch die Nutzung der fossilen Rohstoffe heute freigesetzt und ergibt durch die Anreicherung in der Atmosphäre das Phänomen des Treibhauseffekts. Auffallend ist dabei immer die extreme Dauerhaftigkeit der künstlich gebildeten Stoffe, die den Abbau und die Wiedereingliederung in das Ökosystem erschwert. Die Haltbarkeit entsteht in vielen

Fällen durch toxische Einzelsubstanzen (Weichmacher, UV-Stabilisatoren etc.), die bei ihrer irgendwann erfolgenden Freisetzung Ökosystem (Erde, Wasser, Luft) und Biosystem (Plankton, Fisch, Mensch) vergiften.

Pflanzen dagegen verwandeln durch Photosynthese das Kohlendioxid aus der Luft mithilfe der Energie des Sonnenlichts in Saccharide. Diese Grundsubstanz wird unter anderem in Zellulose umgebaut, eine Aufbaubestandteil für die Faser- beziehungsweise Holzbildung. Dabei wird der für den Menschen lebensnotwendige Sauerstoff freigesetzt.

Da der Kohlenstoff im Holz beziehungsweise in den daraus hergestellten Bauprodukten gebunden ist, wird ein Gebäude aus Holzprodukten auch Kohlendioxid-speicher genannt.

Die geringe Umweltbelastung von nachwachsenden Rohstoffen drückt sich im geringen Primärenergieaufwand beziehungsweise geringen Ausstoß an Klimagasen bei der Herstellung eines Bauteils aus. Die Kohlendioxidakkumulation in der Herstellungsphase, ausgewiesen in Form der Kohlendioxidgutschrift, neutralisiert sich in der Entsorgungsphase des Bauprodukts.

Zurichtungsgrad

Ein weiterer Aspekt, der das Verständnis für die Eigenschaften von Baustoffen vertieft, ist der Zurichtungsgrad. Darunter versteht man den Aufwand für die Herstellung eines Baumaterials und den Grad der Umwandlung der Ausgangsstoffe, der von naturbelassen bis zur strukturellen Veränderung reichen kann. Die Analyse des technischen Zurichtungsgrads eines Bauprodukts enthält auch Hinweise auf seinen Denaturierungsgrad. Dabei ist zu berücksichtigen, dass im Baubereich eine hohe Haltbarkeit ein wesentliches Qualitätsmerkmal darstellt. Ein natürliches Produkt wie Lehm löst sich bei dauernder Feuchtigkeit auf, das Brennen des Lehms zu Ziegel verbessert jedoch die Haltbarkeit. Durch

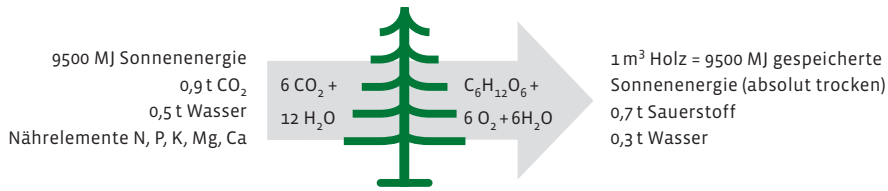
Sintern wird der Ziegel zu einem Klinker und damit frostfest, aber auch vollständig wasserdicht, sodass ein Feuchte-transport nicht mehr möglich ist. Wird Kalk bei bis zu 850 Grad Celsius gebrannt, entsteht ein lufthärtendes Bindemittel, das sehr gute Eigenschaften bezüglich des Feuchteausgleichs aufweist. Durch Vermischen von Kalk mit Hydraulikfaktoren und Brennen bei 1500 Grad Celsius entsteht Zement. Dieser erhärtet sogar unter Wasser, besitzt aber nicht mehr die Fähigkeit, Feuchte auszugleichen.

Der Zurichtungsgrad hat auch Auswirkungen auf die Gesundheitsrisiken, die von einem Stoff ausgehen können. Während Lehm für die Haut sehr gut verträglich ist, wirken gebrannter Kalk und stärker noch Zement ätzend. Zudem beeinflusst der technische Zurichtungsgrad in vielen Fällen auch die Wiedereingliederung eines Baustoffs in den Materialkreislauf. Je höher der Zurichtungsgrad, desto geringer die Möglichkeit des schnellen, problemlosen Abbaus.

Lebenszyklusbetrachtung und Ökobilanz

Um die komplexen Umwelteinflüsse bei der Baustoffproduktion und deren Verwendung zu erfassen, ist es notwendig, die in anderen Bereichen bekannte Methode der Lebenszyklusbetrachtung auch auf Bauprodukte anzuwenden. Die dabei zu berücksichtigenden Prozesse gliedern sich in die drei Phasen Stoffbildung (Gewinnung, Herstellung), Stoffgebrauch (Verarbeitung, Nutzung) und Stoffauflösung (Abbruch, Beseitigung/Rückführung). Die Lebenszyklusbetrachtung verdeutlicht die Folgen von Produktprozessen, auch wenn diese in der Dauer generationenübergreifend sind, das heißt in eine Zukunft von 50 oder 100 Jahren reichen.

Die Gliederung in Baustoffe mit nicht erneuerbarem und erneuerbarem Kohlenstoff, der Zurichtungsgrad und die Lebenszyklusbetrachtung finden sich heute in der Ökobilanzierung wieder.



Die Ökobilanzierung (Life Cycle Assessment – LCA) berücksichtigt als ganzheitlicher Ansatz den gesamten Lebenszyklus eines Baustoffs einschließlich damit verbundenem Ressourcenverbrauch und den Umweltfolgen und bewertet seine Umweltwirkungen.

Während bisher meist nur die direkten Auswirkungen der Herstellung bezogen auf Standort oder Nutzung betrachtet und möglichst minimal gehalten werden, versucht die Methode der Ökobilanz, auch Problemverlagerungen an andere Orte oder in andere Umweltmedien zu berücksichtigen und zu reduzieren. Dieser Ansatz schließt den gesamten Lebenszyklus ein, also neben der Herstellung auch die Nutzung und die Entsorgung des Produkts – von der Wiege bis zur Bahre (cradle to grave).²

Das Ende des Lebenszyklus (End of Life – EOL) eines Materials beziehungsweise Bauprodukts hat einen wesentlichen Einfluss auf die Ergebnisse der Ökobilanz. Bauprodukte mit einem Heizwert dürfen nicht deponiert werden, sie werden entweder direkt weiterverwertet oder der thermischen Verwertung zugeführt, also verbrannt. Angerechnet werden dabei in der Ökobilanz die Wärmenutzung und die Erzeugung von elektrischem Strom durch Kraft-Wärme-Kopplung, durch die andere fossile Energieträger substituiert werden.

Energie und Entropie

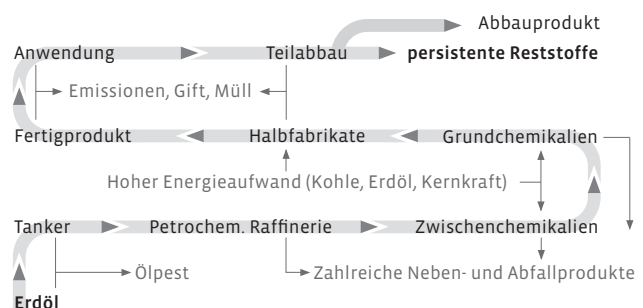
Bei jedem Verwertungsprozess, der das Bauteil zerstört und entweder auf bestimmte Rohstoffe zurückführt (beispielsweise Schreddern von Beton) oder zur Energiegewinnung nutzt (zum Beispiel thermische Verwertung), geht der Teil der Energie, der für die technische Zurichtung des Grundstoffs eingesetzt wurde, unwiederbringlich verloren. Dieser Energieaufwand aus dem Herstellungsprozess wird kumulierter Energieverbrauch (KEV) genannt. Er ist bei Produkten mit hohem Zurichtungsgrad im

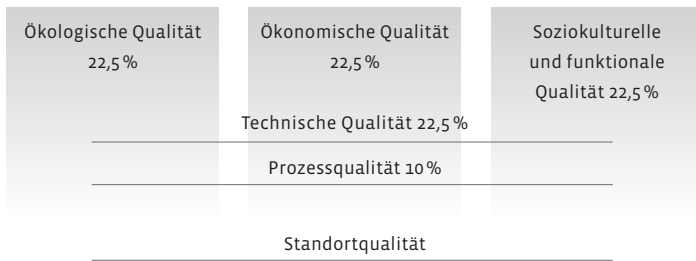
Verhältnis zum Heizwert groß. Bei gleicher Gewichtsmenge Dämmstoff haben Bauprodukte aus fossilen Rohstoffen einen geringen Heizwert und einen hohen KEV, solche aus nachwachsenden Rohstoffen dagegen einen hohen Heizwert und einen niedrigen KEV.³

Um diese Verhältnisse exakter zu verstehen, muss man sich nicht nur mit den Energie-, sondern auch mit den Entropieprozessen auseinandersetzen. Entropie ist ein Maß für die gegebene Unordnung in einem System. Bei der Herstellung eines synthetischen Dämmstoffs aus einem Liter Erdöl steigt durch viele energieaufwendige Prozesse das Maß an Ordnung und die Entropie nimmt ab. Beim Verbrennen wird diese Ordnung zerstört, die Entropie nimmt dabei wieder zu. »Die zwangsweise Ordnung der Kunstharzmoleküle wird erkaufte mit einer Zunahme an Unordnung im Rest der Welt, welche in ihrem Ausmaß die erzwungene Ordnung um ein Vielfaches übersteigt.«⁴

Der Entropiepfad pflanzlicher Stoffproduktion verläuft grundsätzlich anders. Bei einem Dämmstoff aus nachwachsenden Rohstoffen, zum Beispiel Flachs, erfolgt die Zunahme an Ordnung beim Wachstum der Pflanze mittels Sonnenenergie durch Photosynthese, bei der aus Wasser und einfachen »unordentlichen« Gasen wie Kohlendioxid hochkomplexe Moleküle entstehen. Die Einstrahlung der Sonne – eine Energiequelle außerhalb unseres Planeten – ermöglicht den Substanzaufbau und damit die höhere Stoffordnung ohne zusätzlichen fossilen Energieeinsatz. Die so erreichte Ordnung benötigt nur einen geringen zusätzlichen Einsatz von Energie und Stoffen, um daraus einen Dämmstoff zu machen. Da die Pflanzen den Kohlenstoff, den sie zum Substanzaufbau benötigt, aus dem globalen Kohlenstoffreservoir entnehmen, findet beim Substanzabbau am Ende des Lebenszyklus keine Zunahme des Treibhauseffekts statt.

Fossile Rohstoffchemie, unterbrochener Kreislauf





Zertifizierungssystem des Bundes –
BNB und DGNB

Die Ökobilanz in der Gebäudebewertung

Im Zertifizierungssystem für Gebäude des Bundes, dem Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB), sowie beim DGNB Zertifikat der Deutschen Gesellschaft Nachhaltiges Bauen wird im Kriterienblock ›Ökologische Qualität‹ die Durchführung einer Ökobilanz gefordert. Diese berechnet sowohl die Ressourceninanspruchnahme als auch die Umweltwirkungen durch Bau und Betrieb des Gebäudes.

Ein wesentlicher Teil der Ökobilanz besteht in der Bewertung des eingesetzten Materials im Hinblick auf seine Umwelteinflüsse. Auf Basis der Materialeigenschaften, der Lebensdauer, den Instandsetzungsintervallen und den Rückbauszenarien lassen sich vergleichbare Aussagen zu verschiedenen Materialien, Bauprodukten oder Gebäudekonzepten treffen. Das Bundesministerium für Verkehr, Bauen und Stadtplanung (BMVBS) stellt zur Durchführung der Berechnung eine öffentliche Datenbank mit Ökobilanzmodulen zur Verfügung, die Ökobau.dat.

Fünf Gebäude

Für eine vergleichende Ökobilanzierung wurden fünf Gebäude ausgewählt, die in vielen Bauteilen nachwachsende Rohstoffe einsetzen. Das Ziel bestand darin, neben dem physischen Gebäudemodell auch ein digitales Informationsmodell mit der exakten Beschreibung des Aufbaus aller Bauteile, der Mengenermittlung und der Lagezuordnung zu formulieren. Dieses Informationsmodell stellte die Grundlage dar für die Berechnung der Herstellungskosten, des Energiebedarfs, der Lebenszykluskosten und der Ökobilanz. Die hier durchgeführten Ökobilanzierungen bedienen sich der Datenbank Ökobau.dat als Basisinformation. Die Modellierung und Berechnung der Objekte wurde mit der Software LEGEP durchgeführt. Zu jedem Gebäude wurde zusätzlich eine ›Standardausführung‹ mit konventionellen Bauprodukten, die weitgehend

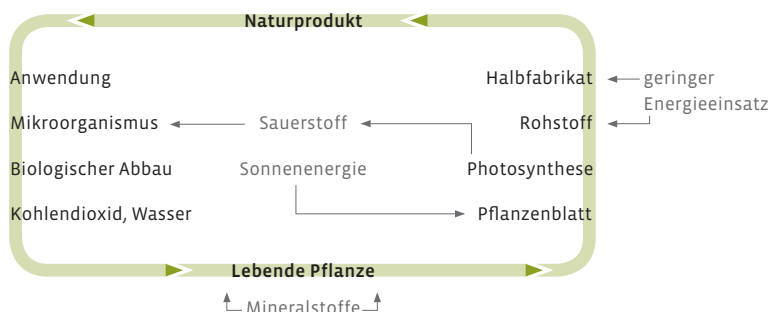
aus nicht nachwachsenden, das heißt aus mineralischen, metallischen und synthetischen Rohstoffen bestehen, modelliert. Diese ist in Raum, Fläche und Gestalt identisch mit dem realen Gebäude und erfüllt auch die gleichen energetischen Zielwerte. Die Bauteile wurden aus dem Elementkatalog der LEGEP-Datenbank entnommen und entsprechen im Aufbau und in der Materialwahl vielen bereits bilanzierten Gebäuden. Die Modellierung dieser ›zweieigenen Zwillinge‹ macht die Unterschiede verschiedener Konstruktionsweisen deutlich.

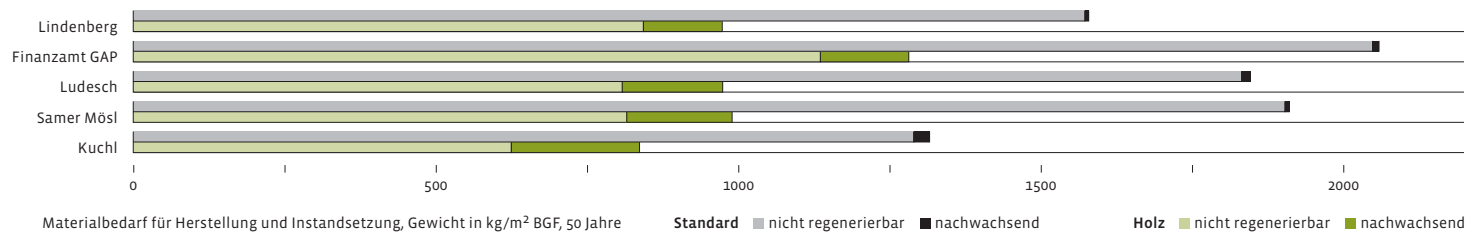
Bei den folgenden Auswertungen für die Ökobilanz werden die Gebäude ab der Unterkante Bodenplatte des Erdgeschosses berechnet. Vorhandene Keller- und Gründungsbauteile (Gemeindezentrum Ludesch, Finanzamt Garmisch-Partenkirchen, Passivwohnhaus Samer Mösl) werden nicht mit bilanziert. Diese Bauteile (Fundamente, Rüttelstampfsäulen, Bohrfundamente, Voll- oder Teilunterkellerung) haben erfahrungsgemäß einen verzerrenden Einfluss auf das Ergebnis bezüglich der Funktion des Gebäudes und seiner Materialqualität.

Materialwahl

Für diese Untersuchung wurden nur Gebäude ausgewählt, bei denen Holz auch die primäre Tragkonstruktion bildet. Werden nachwachsende Rohstoffe nur punktuell am Gebäude eingesetzt, zum Beispiel in der Fassade, im Fußboden oder in der Dachdämmung, so zeigen sich in der Ökobilanz keine signifikanten Unterschiede zu konventionellen Gebäuden, da die verwendeten Mengen an nachwachsenden Rohstoffen zu gering sind. Erst die Ausführung der Primärkonstruktion, also der tragenden Bauteile der Außen- und Innenwände, der Decken und des Dachs aus Holz oder Holzwerkstoffen führt zu einem sichtbar unterschiedlichen Ergebnis. Die Auswertung der unterschiedlichen Materialinhalte unterscheidet die Baustoffgruppen nicht erneuerbare Rohstoffe (mine-

Pflanzenchemie, geschlossener Kreislauf





ralisch, metallisch, synthetisch) und nachwachsende Rohstoffe (Holz, Pflanzen- und Tierfasern). Die Bezugsgröße ist wegen der besseren Vergleichbarkeit der Objekte 1 Quadratmeter Brutto-Grundfläche (BGF) über Terrain, die Einheit ist Kilogramm. Deutlich zu erkennen ist, dass die Gebäude aus nachwachsenden Rohstoffen 50–65 Prozent des Gewichts der konventionell gebauten Gebäude erreichen. Weiterhin zeigt das Ergebnis den sehr geringen Anteil an nachwachsenden Rohstoffen bei konventioneller Bauweise von 0,5–1 Prozent des Gesamtgewichts des Gebäudes. In Gebäuden mit hohem Anteil an nachwachsenden Rohstoffen erreichen diese bis zu 18 Prozent des Gesamtgewichts. Diese geringen Anteile trotz der fast ausschließlichen Verwendung von Holz liegen am hohen Gewicht der mineralischen Baustoffe. Die Bodenplatten der Holzgebäude bestehen aus Beton und wiegen so viel wie zwei Holzdecken mit Bodenaufbau. Die untersuchten Gebäude weisen meist zwei Geschosse auf, der Einfluss der mineralischen Bodenplatte relativiert sich erst bei mehrgeschossigen Gebäuden in Holzbauweise.

Ökobilanz

Die Ökobilanz von Gebäuden besteht aus zwei Teilen: einer Energie- und Stoffflussbilanz mit Nachweisen der Ressourcen (inklusive Materialliste) und der Primärenergie (nicht erneuerbar und erneuerbar) sowie einer Wirkungsbilanz mit den fünf Indikatoren Treibhaus-, Ozonschichtabbau-, Sommersmog-, Versauerungs- und Überdüngungspotenzial.

Die folgenden Abbildungen stellen alle Gebäude im Vergleich dar. Die Bezugsgröße ist entsprechend dem Zertifizierungssystem 1 Quadratmeter Nettogrundfläche (NGF) pro Jahr. Ausgewertet wird nur das Gebäude über einen Betrachtungszeitraum von 50 Jahren mit den Phasen Herstellung, Instandsetzung und Entsorgung. Die Versorgung mit Energie wird dagegen nicht berück-

sichtigt, da bei beiden Gebäudevarianten die gleichen Leistungskennzahlen beim Energiebedarf vorausgesetzt werden.

Jeder Indikator spricht ein anderes Problemfeld an, deshalb darf es nicht verwundern, wenn sich die Ergebnisse nicht linear entwickeln, das heißt ein Gebäudetyp nicht bei allen Indikatoren gleich gut abschneidet.

– Primärenergie nicht erneuerbar (Abb. S. 26)

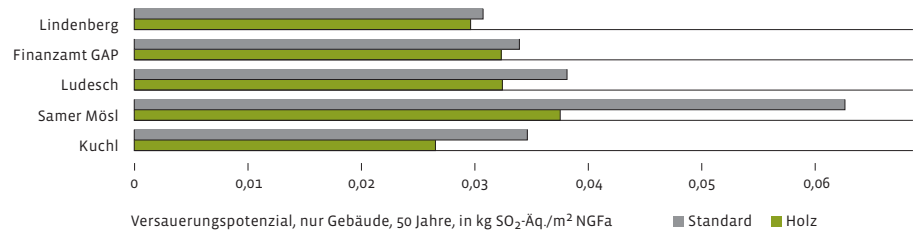
Der nicht erneuerbare Primärenergieverbrauch summiert den Einsatz von endlichen abiotischen energetischen Ressourcen wie Stein- und Braunkohle, Erdöl, Erdgas und Uran. Kohle wird hauptsächlich zur Energieerzeugung verwendet, die Nutzung von Uran bezieht sich ausschließlich auf die Energieerzeugung in Atomkraftwerken. Erdgas und Erdöl kommen im Wesentlichen zur Energieerzeugung zum Einsatz, sind aber auch ein stofflicher Bestandteil von Kunststoffen.

Alle Holzgebäude erreichen bei der nicht erneuerbaren Primärenergie geringere Werte als die Standardgebäude. Der Unterschied beträgt 10–20 Prozent. Dies liegt an den relativ hohen Werten der nicht erneuerbaren Primärenergie für den Kubikmeter trockenes Holz in der Ökobilanzdatenbank. Dadurch entstehen geringere Unterschiede zu den konventionell gebauten Gebäuden, als die Materialmenge erwarten ließe.

– Primärenergie erneuerbar (Abb. S. 26)

Der erneuerbare Primärenergieverbrauch umfasst die eingesetzte Energie aus Biomasse, Wasserkraft, Windkraft, Solarenergie und Geothermie.

Alle Gebäude mit einem hohen Anteil nachwachsender Baustoffe weisen auch hohe Anteile von erneuerbarer Primärenergie auf. Es werden fünf- bis achtmal höhere Werte als bei den konventionell gebauten Gebäuden erreicht. Der hohe Anteil an erneuerbarer



Primärenergie resultiert aus dem im Material enthaltenen Heizwert der nachwachsenden Rohstoffe, den die obige Grafik gesondert ausweist. Der pflanzliche Kohlenstoff belastet die Atmosphäre nicht, wenn er verbrannt oder auf natürliche Weise abgebaut wird.

– Treibhauspotenzial

Das Treibhauspotenzial (Global Warming Potential – GWP) beschreibt den anthropogenen (durch den Menschen verursachten) Anteil an der Erwärmung des Erdklimas. Es wird als Kohlendioxid-Äquivalent (CO₂-Äquivalent) angegeben. Um die Verweildauer der Klimagase in der Atmosphäre mitzuberücksichtigen, wird immer auch ein Integrationszeitraum mit angegeben, zum Beispiel GWP 100 für 100 Jahre.

Der Indikator Treibhauspotenzial ist nicht geeignet, um eine Aussage über die Menge des gespeicherten Kohlendioxids durch die nachwachsenden Baustoffe im Gebäude während der Nutzungsphase zu treffen, da der Kohlendioxidsspeicher am Ende des Lebenszyklus thermisch verwertet wird. Trotz dieses vorgegebenen Entsorgungsszenarios wird die Entlastungsfunktion des Holzbaus für die Atmosphäre mit Reduktionspotenzialen von 36 – 71 Prozent gegenüber der Standardbauweise deutlich.

– Versauerungspotenzial

Das Versauerungspotenzial wird als Schwefeldioxid-Äquivalent (SO₂-Äquivalent) angegeben. Der Effekt der Versauerung des Regens, also die Verringerung des pH-Werts, entsteht durch Umwandlung von Luftschadstoffen in Säuren.

Die Holzgebäude leisten hierbei eine wesentliche Entlastung, da vor allem die Primärkonstruktion bezüglich des Versauerungspotenzials wesentlich geringere Werte aufweist als die mineralischen Konstruktionen. Die Entlastung liegt für das gesamte Gebäude über den Betrachtungszeitraum zwischen 15 und 30 Prozent.

Ein neuer Ansatz:

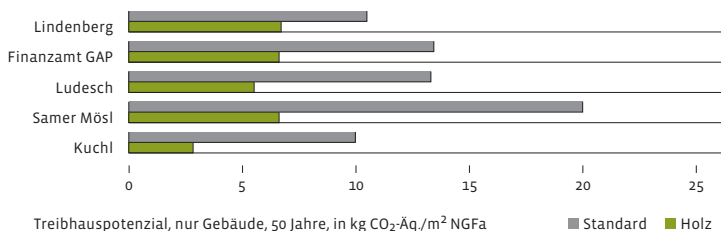
Einbezug des Nachwuchspotenzials des Waldes

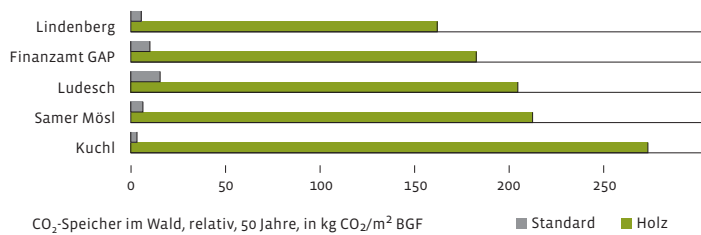
Zwei Aspekte von Holz und Holzprodukten im Bauwesen müssen besonders berücksichtigt werden:⁵ Die Ökobilanz zeigt zwar in der Herstellungsphase die Fähigkeit von Holz als Kohlendioxidsspeicher auf, da sie zwischen fossilem und regenerierbarem Kohlenstoff aber keinen Unterschied macht, wird die Entlastungsfunktion für das Klima nicht deutlich. Des Weiteren bezieht sich die Ökobilanz für ein Gebäude mit ihrer Systemgrenze auf das gebaute Objekt, weshalb ein wesentliches Qualitätskennzeichen der nachwachsenden Rohstoffe nicht aufgezeigt werden kann: ihr Nachwuchspotenzial.

Jeder genutzte Stamm schafft Platz für neue Bäume und vermehrt den Kohlenstoffspeicher. Die Evidenz des Unterschieds zwischen Bauprodukten mit fossilem, mineralischem oder metallischem Rohstoffhintergrund und einem Rohstoffkonzept mit nachwachsenden Materialien erfährt in der normierten Zahlenwelt der üblichen Ökobilanzindikatoren bisher keine Berücksichtigung.

Die bisher bestehende Gleichbehandlung der beiden unterschiedlichen Rohstofftypen in der Ökobilanzierung soll in Zukunft durch die Berechnung und Angabe des Nachwuchspotenzials ergänzt werden. Hierzu ist die Einführung des Nachwuchspotenzials als »pädagogische Wirkungskategorie« geplant. Als Indikator dient das Umweltentlastungspotenzial des nachwachsenden Waldes, ausgedrückt in Kohlenstoff (C) und Sauerstoff (O₂).

Je nach Menge der im Gebäude verbauten nachwachsenden Rohstoffe wird eine entsprechende Fläche im Wald geerntet. Auf dieser Fläche wächst in dem Betrachtungszeitraum von 50 Jahren die gleiche Menge nach und bildet in dieser Zeit einen entsprechenden Kohlenstoffspeicher aus, der die Atmosphäre von der angezeigten Menge an Kohlendioxid entlastet. Der Unterschied





zwischen den Gebäudekonzepten wird damit noch einmal deutlicher als bisher in der Ökobilanz anhand des Indikators Treibhauspotenzial dargestellt. Je nach Größe des Objekts werden unterschiedliche Mengen an Material benötigt. Einen relativen Vergleich erlaubt die Auswertung nach der Bezugsgröße Kohlendioxid (in Kilogramm) pro Quadratmeter Bruttogrundfläche (BGF).

Substitution als Einsparpotenzial

Die Darstellung der einzelnen Ökobilanzindikatoren gibt einen Hinweis auf mögliche Vermeidungen und damit Entlastungen für das Ökosystem durch eine veränderte Materialwahl. Der umfassende Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen kann endliche Ressourcen ersetzen.

Die Abbildung unten zeigt, wie die Menge des fossilen Kohlenstoffs, die eingespart werden kann, allmählich ansteigt (dunkel grüne Fläche entspricht Substitution). Voraussetzung dafür ist der Einsatz der nachwachsenden pflanzlichen Kohlenstoffe (grasgrüne Fläche >Wald<) und den daraus erzeugten Bauprodukten (lindgrüne Fläche >Produkte<) im Bausektor. Der Zeithorizont umfasst zwei Wachstumsphasen des Waldes von insgesamt 160 Jahren. Zum Einsatz kommt die Biomasse dabei als Ersatz für fossile Brennstoffe ebenso wie für Produkte aus nicht erneuerbaren Rohstoffen.

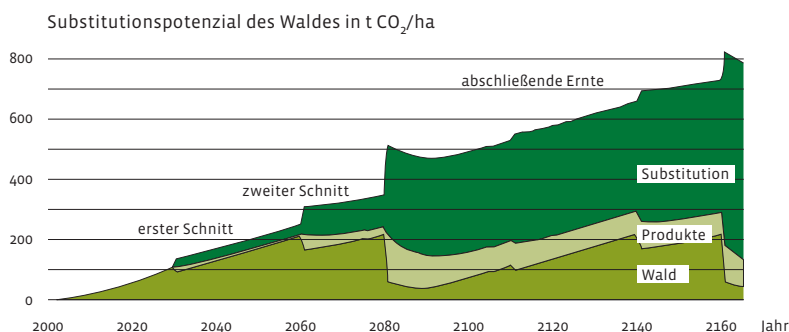
Für die Gebäude wurde eine separate Untersuchung dazu durchgeführt, welche Entlastung der Ökosysteme sich durch den Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen bei der Primärkonstruktion von Außen- und Innenwänden, Decken und Dach realisieren ließ. Die Abbildung oben führt die Mengen und Prozentanteile der Entlastung bei einzelnen Ökobilanzindikatoren für das Gemeindezentrum in Ludesch auf. Die Größenordnung macht die hohen Potenziale deutlich, die ohne Einbußen an Funktionalität oder Sicherheit bei solchen Objekten realisierbar sind.

Einerseits wird die Umwelt durch das realisierte Gebäude entlastet. Das drückt die Ökobilanz aus. Andererseits wächst auf der frei gewordenen Waldfläche neues Holz heran, das zukünftig weitere nicht erneuerbare Ressourcen ersetzen kann. Das wird durch das Substitutionspotenzial ausgedrückt. Um besondere Entlastungspotenziale für die Umwelt in der Ökobilanz auszuweisen, hat die europäische Normung für die Nachhaltigkeit von Gebäuden neben den drei Lebenszyklusphasen A = Herstellung, B = Nutzung, C = End of Life ein viertes Modul D eingeführt, das die Potenziale angibt, die die Systemgrenze der drei Phasen A–C überschreiten. Hier wird beispielsweise das Recyclingpotenzial von Metallen aufgeführt, das die Herstellungsaufwendungen für das Primärmaterial um bis zu 90 Prozent reduziert.

Für Bauprodukte aus nachwachsenden Rohstoffen in einem Gebäude kann das Substitutionspotenzial beispielsweise für tragende Bauteile aus nicht erneuerbaren Ressourcen berechnet werden. Aus der Analyse des Gemeindezentrums Ludesch lassen sich mögliche Substitutionspotenziale für den Einsatz von 1 Kilogramm nachwachsendem Rohstoff berechnen (Tabelle S. 25 Mitte).

Fazit

Die Vergleiche zwischen Gebäuden in konventioneller Bauweise, die zahlreiche Bauprodukte aus endlichen Ressourcen enthalten, und Gebäuden mit einem hohen Anteil an Bauprodukten aus nachwachsenden Rohstoffen haben die erheblichen Entlastungspotenziale aufgezeigt, die letztere Bauweise für das Ökosystem bietet. Ein Großteil der heute üblichen Bauaufgaben vom Wohn- bis zum Gewerbebau lässt sich mit Bauteilen aus nachwachsenden Rohstoffen umsetzen. Bei den gezeigten Objekten wurden Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen von der Tragkonstruktion in Außen- und Innenwänden, Decken, Stützen und Dächern über Fassadenverkleidung, Sonnenschutz und Dämmung bis hin



zum Innenausbau eingesetzt. Das Forschungsprojekt zur Ermittlung der Nachwuchspotenziale hat sich zum Ziel gesetzt, das Besondere der Produktgruppe der nachwachsenden Rohstoffe durch eine vergleichende Ökobilanz noch besser herauszuarbeiten. Sie unterscheidet sich von allen anderen Baustoffen durch das Nachwuchspotenzial der eingesetzten Rohstoffe, das sich jedoch nur durch Bewirtschaftung von Wald und Feldern realisieren lässt. Gleichzeitig ist heute zu betonen, dass Nachhaltigkeit in der Land- und Forstwirtschaft nicht unter dem Diktat der Profit-

maximierung stehen darf, die sich durch die erkennbaren Folgen von Monokultur, Pestizid- und Düngereinsatz sowie Gentechnik bereits als kurzlebiger Irrtum erwiesen hat. Eine nachhaltige Bewirtschaftung behält immer die Vorteile für die nächste Generation im Auge. Die wirtschaftliche Nutzung ist jedoch nur möglich, wenn eine Nachfrage besteht. Deshalb ist es ein wichtiges Ziel, die Nachfrage für Bauprodukte aus nachwachsenden Rohstoffen zu sichern und zu erweitern.

■ Holger König

Gemeindezentrum Ludesch:

Einsparungen bei der Primärkonstruktion durch Materialwechsel Standard – Holz

Indikator	Einheit	Menge Primärkonstruktion Objekt Standard	Menge Primärkonstruktion Objekt Holz	Einsparung Aufwendung = Umweltentlastung	
Masse	kg	1 936 619	209 779	1 726 831	89 %
Primärenergie nicht erneuerbar	kWh	796 419	-233 886	1 030 305	129 %
Treibhauspotenzial	kg CO ₂ -Äq	337 016	-82 381	419 397	124 %
Versauerungspotenzial	kg SO ₂ -Äq	690	360	330	48 %

Zukünftiges Substitutionspotenzial durch Errichtung der Primärkonstruktion mittels nachwachsender Rohstoffe

Eingesetzte Menge Holz in der Primärkonstruktion des Gemeindezentrums Ludesch: 238 263 kg
Durch Ernte frei werdende Waldfläche: 307 195 m²

Indikator	Ersparte Aufwendung = Umweltentlastung	Substitutionspotenzial pro kg eingesetzter nachwachsender Rohstoffe
Primärenergie nicht erneuerbar	1 030 305 kWh	4,324 kWh
Treibhauspotenzial	419 397 kg CO ₂ -Äq	1,760 kg CO ₂ -Äq
Versauerungspotenzial	330 kg SO ₂ -Äq	0,0014 SO ₂ -Äq

Nachwuchspotenzial des Waldes bedeutet zukünftiges Substitutionspotenzial für nicht erneuerbare Ressourcen.

Umweltentlastung durch ersparte Aufwendung und zukünftiges Substitutionspotenzial

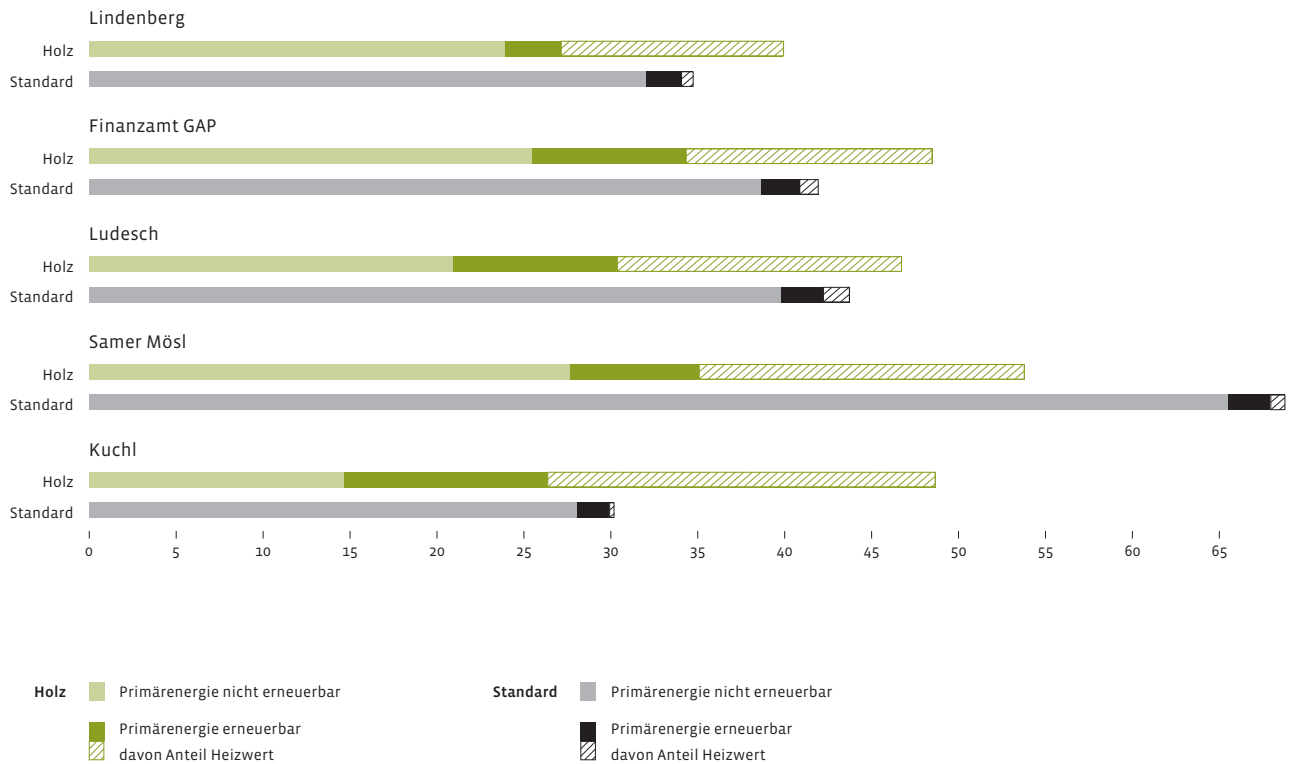
Indikator	Ersparte Aufwendung = Umweltentlastung	Substitutionspotenzial pro kg eingesetzter nachwachsender Rohstoffe	Gesamtreduktion im Vergleich mit einem Standardgebäude
Primärenergie nicht erneuerbar	1 030 305 kWh	1 030 305 kWh	258 %
Treibhauspotenzial	419 397 kg CO ₂ -Äq	419 397 kg CO ₂ -Äq	248 %
Versauerungspotenzial	330 kg SO ₂ -Äq	330 kg SO ₂ -Äq	96 %

CO₂-Äq Kohlendioxid-Äquivalent
SO₂-Äq Schwefeldioxid-Äquivalent

Die Erarbeitung der Grundlagen dieses Beitrags wurde gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU), Osnabrück.

Primärenergievergleich

Vergleich des Primärenergieverbrauchs für die Herstellung, Instandsetzung und Entsorgung zwischen Holz- und Standardbauweise (Jeweils berechnet in einem Betrachtungszeitraum von 50 Jahren in kWh pro m² Nettogrundfläche und Jahr)



Primärenergie nicht erneuerbar:
Summiert den Primärenergieverbrauch von endlichen energetischen Ressourcen für ein Gebäude mit dem Betrachtungszeitraum von 50 Jahren für die Phasen Herstellung, Instandsetzung und Entsorgung in kWh pro m² Nettogrundfläche und Jahr.

Primärenergie erneuerbar:
Summiert den Primärenergieverbrauch von erneuerbaren, energetischen Ressourcen für ein Gebäude mit dem Betrachtungszeitraum von 50 Jahren für die Phasen Herstellung, Instandsetzung und Entsorgung in kWh pro m² Nettogrundfläche und Jahr.

Standard:
Bezeichnet die Bauweise mit konventionellen Bauprodukten aus weitgehend nicht nachwachsenden Rohstoffen (mineralisch, metallisch, synthetisch).

Holz:
Bezeichnet die Bauweise der fünf hier dokumentierten Gebäuden, bei denen Holz für die primäre Tragkonstruktion und zahlreiche andere Bauteile eingesetzt wurde.

Heizwert:
Die bei der Verbrennung eines Stoffs maximal nutzbare Wärmemenge. Ein Teil der erneuerbaren Primärenergie besteht aus dem Heizwert der Materialien.

Klima- und Umweltentlastung am Beispiel der fünf untersuchten Gebäude

Neue Werkstätten der Lebenshilfe, Lindenberg Gewerbebau (S. 28)	Finanzamt Garmisch-Partenkirchen Bürogebäude (S. 30)	Gemeindezentrum Ludesch Verwaltung, Bibliothek, Versammlungsraum (S. 32)	Passivwohnhaus Samer Mösl, Salzburg Mehrfamilien- Wohngebäude (S. 36)	Campus Kuchl, Fachhochschule Salzburg Hörsaalgebäude (S. 38)
--	---	--	---	---

Klimaentlastung durch reduziertes Treibhauspotenzial der Gebäude aus Holz gegenüber Gebäude in Standardbauweise

36 %	50 %	58,4 %	59,6 %	71 %
------	------	--------	--------	------

Umweltentlastung durch Verwendung von Holz für die Primärkonstruktion und die dadurch ermöglichte zukünftige Substitution nicht erneuerbarer Rohstoffe

Tatsächlich verwendete Holzmenge

517 956 kg	549 430 kg	238 263 kg	642 875 kg	254 557 kg
------------	------------	------------	------------	------------

Substitution Primärenergiebedarf nicht erneuerbar

2 227 211 kWh	2 362 549 kWh	1 030 305 kWh	2 779 792 kWh	1 100 704 kWh
---------------	---------------	---------------	---------------	---------------

Substitution Treibhauspotenzial

911 602 kg CO ₂	966 997 kg CO ₂	419 397 kg CO ₂	1 131 460 kg CO ₂	448 020 kg CO ₂
----------------------------	----------------------------	----------------------------	------------------------------	----------------------------

Substitution Versauerungspotenzial

725 kg SO ₂	769 kg SO ₂	330 kg SO ₂	900 kg SO ₂	356 kWh
------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	---------

Baujahr 2005	Baujahr 2011	Baujahr 2005	Baujahr 2006	Baujahr 2009
2 Geschosse	2 Geschosse, z.T. UG	2 Geschosse + UG	3 Geschosse + UG/TG	3 Geschosse (KG Bestand)
5247 m ² BGF	6001 m ² BGF	3582 m ² BGF	6955 m ² BGF	1474 m ² BGF
-	4835 m ² BGF ohne UG	2064 m ² BGF ohne UG	6152 m ² BGF ohne UG	-
4623 m ² NGF	5370 m ² NGF	3079 m ² NGF	5669 m ² NGF	1209 m ² NGF
-	4318 m ² NGF ohne UG	1811 m ² NGF ohne UG	4950 m ² NGF ohne UG	-
4290,2 m ² beheizte NGF	5133 m ² beheizte NGF	2742 m ² beheizte NGF	4760 m ² beheizte NGF	1209 m ² beheizte NGF
25 160 m ³ umbauter Raum	21 948 m ³ umbauter Raum	9946 m ³ umbauter Raum	21 482 m ³ umbauter Raum	5782 m ³ umbauter Raum
-	17 640 m ³ BRI ohne UG	5895 m ³ BRI ohne UG	19 072 m ³ BRI ohne UG	-
0,044 m ³ Holzverbrauch/m ³ BRI ohne UG	0,063 m ³ Holzverbrauch/m ³ BRI ohne UG	0,093 m ³ Holzverbrauch/m ³ BRI ohne UG	0,086 m ³ Holzverbrauch/m ³ BRI ohne UG	0,085 m ³ Holzverbrauch/m ³ BRI ohne UG
0,211 m ³ Holzverbrauch/m ² BGF ohne UG	0,231 m ³ Holzverbrauch/m ² BGF ohne UG	0,266 m ³ Holzverbrauch/m ² BGF ohne UG	0,27 m ³ Holzverbrauch/m ² BGF ohne UG	0,332 m ³ Holzverbrauch/m ² BGF ohne UG

BGF Bruttogrundfläche

NGF Nettogrundfläche

BRI Bruttorauminhalt