

# Ökologische Konstruktion in Passivhäusern, Neubau und Sanierung

Thomas Zelger

## Faktor 10 durch ökologische Konstruktionen?

Das Passivhaus hat uns ca. 90 % Einsparungen an Heizwärmebedarf und Umweltbelastungen gebracht. Das bedeutet, dass sich die Umweltbelastungen beim Betrieb eines Gebäudes um den Faktor 10 verringert haben. Weiteres Reduktionspotential liegt in einer ökologischen Bauweise, die auch ökologische Eigenschaften von Gebäudeerrichtung, -nutzung, -instandhaltung und -rückbau berücksichtigt.

Das Bauwesen hat sehr hohe Stoffflüsse zur Folge. Obwohl durch die Bautätigkeit ein riesiges Zwischenlager an Stoffen aufgebaut wird, kommen dennoch ca. ein Viertel der jährlich anfallenden Abfälle aus dem Bauwesen (ohne Berücksichtigung des Bodenaushubs). Bauen und Wohnen verursacht einen hohen Energieverbrauch und auch hohe Schadstoffemissionen, insbesondere bei der Benutzung. Neue Bau- und Bauhilfsstoffe haben auch eine Zunahme an toxischen Bauhilfsstoffen, (z.B. Polyurethanschäume) gebracht. Bedauerlicherweise ist die Lebenserwartung von neuen Baukonstruktionen oft kürzer als die bei alte und bewährten Bauweisen. Welche Maßnahmen führen nun zu einer nachhaltigen Bau- und Wohnweise? Besonders hohe Wirkungen auf eine ökologische Wende könnten folgende Maßnahmen haben:

- Die Weiternutzung und Adaptierung von bestehenden Gebäuden und den Baustoffen, aus denen sie bestehen;
- Vermeidung von ökologisch oder toxikologisch problematischen Inhaltsstoffen, Produktionsverfahren etc.;
- Auswahl von Produkten, bei denen das Störfallrisiko minimiert ist;
- Nutzung von erneuerbaren Materialien, von Recyclingmaterialien und von regional verfügbaren Rohstoffen und Baustoffen;
- Gut trennbare Konstruktionen;
- Vermeidung von Verpackungen.

Ist der Faktor 10 auch durch ökologische Bauweise möglich? Können wir auch in diesem Bereich die Umweltbelastungen so drastisch reduzieren? Die Einsparungen gegenüber ungünstigen konventionellen Bauweisen zeigt Abbildung 1 anhand einiger ökologischer Kriterien.

Hier ist erkennbar, dass beim Treibhauseffekt und beim Primärenergiebedarf beträchtliche Reduktionen möglich sind. Ebenso können die Schadstoffemissionen durch geeignete Auswahl insbesondere der Oberflächenbauteile stark verringert werden, aber auch bei den Kriterien Trennbarkeit/Wiederverwendung sowie Transporte und Behaglichkeitskriterien, wie z.B. Schallschutz und wirksame Speichermasse, und vor allem in der Erhöhung der Nutzungsdauer liegen große Reduktionspotentiale.

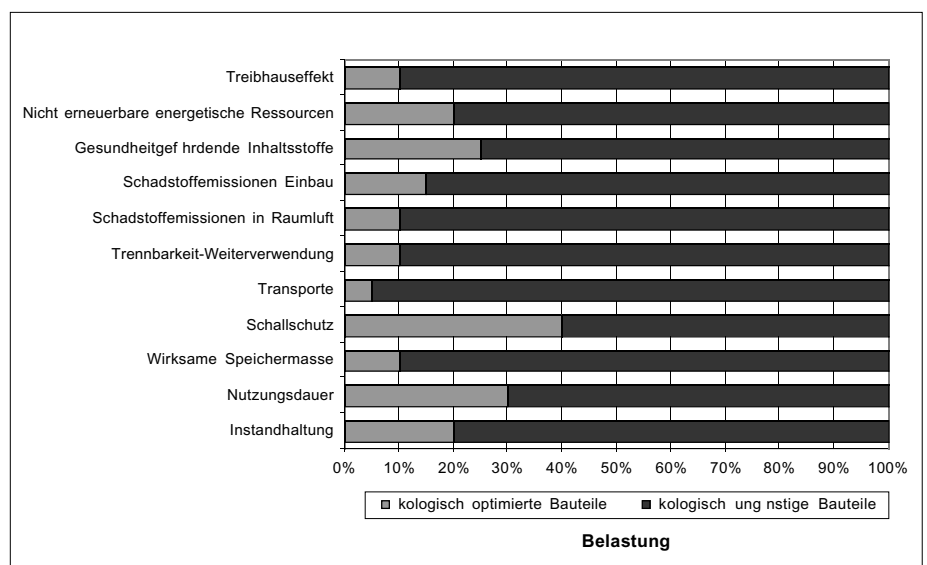


Abb. 1: Faktor 10 durch ökologische Bauweise?

## Ökologische Bewertung

### Methoden zur Ökologischen Bewertung von Gebäuden: Ökobilanzen und Lebenszyklusanalyse

Zur Beurteilung der Umweltauswirkungen von Gebäuden dienen Ökobilanzen. Lebenszyklusanalysen sind Ökobilanzen, die den gesamten Lebenszyklus von Gebäuden berücksichtigen: Rohstoffgewinnung, Produktion, Transport, Einbau der Baustoffe, die Nutzung, Instandhaltung, Umnutzung, Sanierung des Gebäudes, Rückbau und Weiterverwertung sowie -verwendung. (Abb. 2)

Als Schutzziele von Ökobilanzen gelten die menschliche Gesundheit, die Umwelt und die natürlichen Ressourcen. Durch Bauen und Wohnen soll die menschliche Gesundheit nicht geschädigt und nach Möglichkeit sogar gefördert werden. Das gilt nicht nur für den Bewohner, sondern auch für Verarbeiter und Personen, die in der Nähe eines Produktionswerkes wohnen, oder auch zum Beispiel für den Landwirt, der nachwachsende Rohstoffe erzeugt. Die Bewertung kann z.B. durch die sogenannten „Dadies“ erfolgen. Dabei wird bewertet, ob die Emission bestimmter Substanzen beispielsweise die Lebenszeit verkürzt

oder eine Belastung durch chronische Krankheiten wie z.B. Asthma verursacht.

Die ökologische Gesundheit ist mindestens ebenso wichtig. Denn das menschliche Überleben ist auf eine nachhaltige Nutzung der Natur angewiesen: Aus diesem Grunde muss die Vielfältigkeit ökologischer Systeme gefördert werden. Beispielsweise soll die Artenvielfalt erhalten bleiben, die Versauerung der Böden muss vermieden werden.

Als drittes zentrales Schutzziel gilt es die Bewahrung der Ressourcen,

damit diese auch zukünftigen Generationen noch zur Verfügung stehen. Das betrifft insbesondere Metalle, aber auch primärenergetische Ressourcen wie Rohöl und Erdgas.

Ziel von Ökobilanzen ist es zu beurteilen, inwieweit ein Gebäude oder ein Bauteil diesen Schutzzielen entspricht. Dafür ist es zunächst notwendig, den Bewertungsgegenstand, die Dienstleistung genau zu definieren. Die Dienstleistung des Gebäudes ist z.B. der Schutz vor der Witterung oder Lärm einer viel befahrenen Straße, oder die Einhaltung von einer Mindesttemperatur von 20 °C und einer maximalen von 26 °C. Bauteile tragen zur Gebäudedienstleistung in unterschiedlichen Ausmaß dazu bei, z.B. durch den Wärmeschutz oder der speicherwirksamen Massen. Neben der ökologischen Wertigkeit Durch diese Dienstleistungen unterscheiden sich Bauteile voneinander. Diese Dienstleistung muss mit einer Bezugseinheit ausgedrückt werden. Sehr häufig ist die Bezugseinheit in Gebäuden 1 m<sup>2</sup> Wohnnutzfläche, z.B. beim Heizwärmebedarf. Es ist aber auch denkbar den Wohnraum für eine Person einzubeziehen, denn ein Haus, in dem sehr viele Leute wohnen können, bringt natürlich eine höhere Dienstleistung als eine Einfamilienvilla, in der zwei Personen wohnen. Es ist ökologischer, dieses Wohnvolumen 10 Leuten zur Verfügung zu stellen, da dieselbe Infrastruktur (Heizsystem, Außenmauern etc.) bereitgestellt werden muss als nur für 2 Personen. Bleibt man bei der Bezugseinheit m<sup>2</sup> Wohnnutzfläche, wird nicht berücksichtigt, dass diese zwei Bewohner der Einfamilienvilla durch die hohe m<sup>2</sup> Zahl eine höhere ökologische Belastung produzieren

Eine weitere Bezugseinheit, auf die ich mich hauptsächlich bei der Bauteilbewertung beziehen werde, ist 1 m<sup>2</sup> Bauteil. D.h. wir berücksichtigen lediglich den m<sup>2</sup> Bauteil, vernachlässigen die ganzen Anschlussproblematiken oder führen diese nur qualitativ aus. Die Problematik der Vergleichbarkeit ökologischer Belastungen pro m<sup>2</sup> Bauteil liegt in den unterschiedlichen Dienstleistungen der Bauteile. Beispielsweise ist bei einer Massivwand aus Beton üblicherweise ein sehr guter Schallschutz zu erwarten, bei einer einschaligen Leichtbauwand ist er wesentlich geringer; oder die wirksamen Speichermassen unterscheiden sich stark und damit der Einfluss auf die thermische Behaglichkeit. Das muss man natürlich immer berücksichtigen, wenn man die ökologische Bewertung dieser Bauteile interpretiert.



Abb. 2: Ökobilanz Gebäude

Die Vorgehensweise in der Ökobilanzierung ist durch SETAC und ISO 14040ff normiert worden. Die einzelnen Schritte sind:

- Zieldefinition (Funktionseinheit, Dienstleistung, Systemgrenzen)
- Sachbilanz (z.B. kg Kohlendioxid, Anzahl Personenkilometer)
- Wirkbilanz (z.B. Treibhauseffekt in kg CO<sub>2</sub>-Äquivalenten, kg Sondermüll)
- Bewertung (z.B. Expertenpanel, hochaggregierende quantitative Verfahren wie z.B. Umweltbelastungspunkte)

In der Zieldefinition werden neben der genauen Definition von Ziel und Zweck der Studie die Bezugseinheit (Dienstleistung, Funktionseinheit) und die Systemgrenzen (Ort, Zeit, bewertete Lebensphasen) festgelegt. Gemäß dieser Zielvorgaben werden in der Sachbilanz alle Daten gesammelt. Dabei werden alle Prozessschritte über den betrachteten Lebenszyklus aufgelistet. All diese Prozessschritte kosten Rohstoffe, Energie, Umwelt und Flächen. Auf der Output-Seite finden in all diesen Prozessen Emissionen in die Luft, ins Wasser und in den Boden statt. Diese Emissionen können gemessen und den Prozessen z.B. für Bauteilherstellung in Form von Gramm CO<sub>2</sub> oder anderem zugeordnet werden.

Die Daten (Beispiel: kg Methan-Emissionen) werden im Zuge der Wirkbilanz bestimmten Wirkungen zugeordnet (Beispiel: Treibhauspotential) und mit Gewichtungsfaktoren versehen. Das Ergebnis sind unterschiedliche Wirkbilanzen, z.B. Treibhauseffekt oder Kilogramm Sondermüll für eine bestimmte Dienstleistung z.B. für einen m<sup>2</sup> Bauteil, der bestimmte Anforderungen an den U-Wert und an den Schallschutz erfüllen muss. Als letztes können die Ergebnisse der Wirkbilanz noch einer Bewertung zugeführt werden, indem ihre Auswirkungen untereinander gewichtet werden. Das bedeutet, die Wirkungen müssen in wichtiger/unwichtiger oder besser/schlechter eingeteilt werden. Für diese Gewichtung liegt noch kein allgemein akzeptierter Ansatz vor, daher ist diese meist sehr umstritten.

Die Kriterien sind teilweise quantitativ, z.B. ist der Treibhauseffekt in Zahlen ausdrückbar. Insbesondere in der toxikologischen Bewertung gibt es auch semiquantitative Kriterien, d.h. es gibt Grenzwerte, aber auch toxikologische Studien zu Migration von Schadstoffen, die schlussendlich qualitativ zusammengefasst werden müssen; und es gibt rein qualitative Bewertungsmethoden. Die Bewertung kann stark verdichtet werden, dabei gehen aber viele Informationen zugunsten einer einzelnen Zahl verloren.

Die Kriterien sind teilweise quantitativ, z.B. ist der Treibhauseffekt in Zahlen ausdrückbar. Insbesondere in der toxikologischen Bewertung gibt es auch semiquantitative Kriterien, d.h. es gibt Grenzwerte, aber auch toxikologische Studien zu Migration von Schadstoffen, die schlussendlich qualitativ zusammengefasst werden müssen; und es gibt rein qualitative Bewertungsmethoden. Die Bewertung kann stark verdichtet werden, dabei gehen aber viele Informationen zugunsten einer einzelnen Zahl verloren.

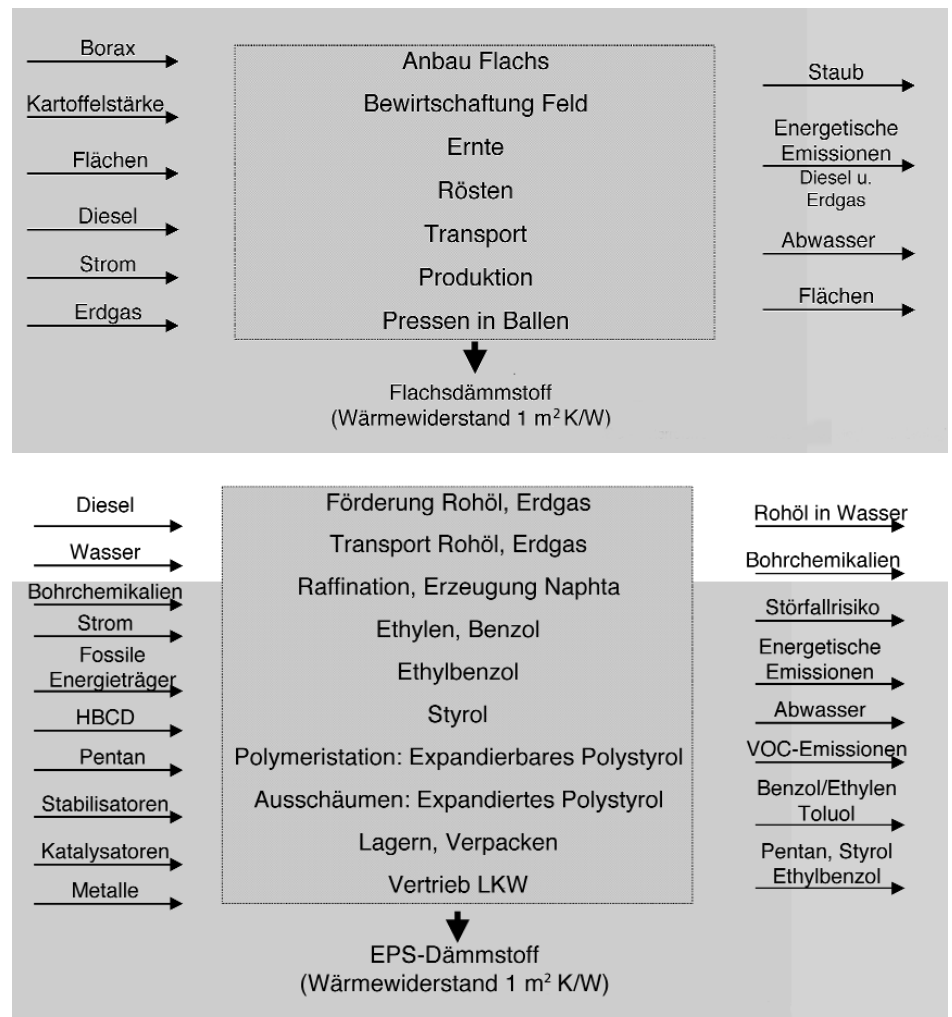


Abb. 3 + 4: schematische Darstellung der Sachbilanzen von Flachs (oben) und EPS (unten)

### Ökologische Bewertung von Flachs- und EPS-Dämmstoff: ein Beispiel

Die Methode der Ökobilanz wird im Folgenden am Beispiel von zwei Dämmstoffen, einem Flachs- und einem EPS-Dämmstoff, verdeutlicht. Dämmstoffe sind für Passivhäuser wegen der hohen Bedeutung des Wärmeschutzes sehr wichtig. Abbildung 3 und 4 stellen schematisch die Sachbilanzen der beiden Dämmstoffe dar.

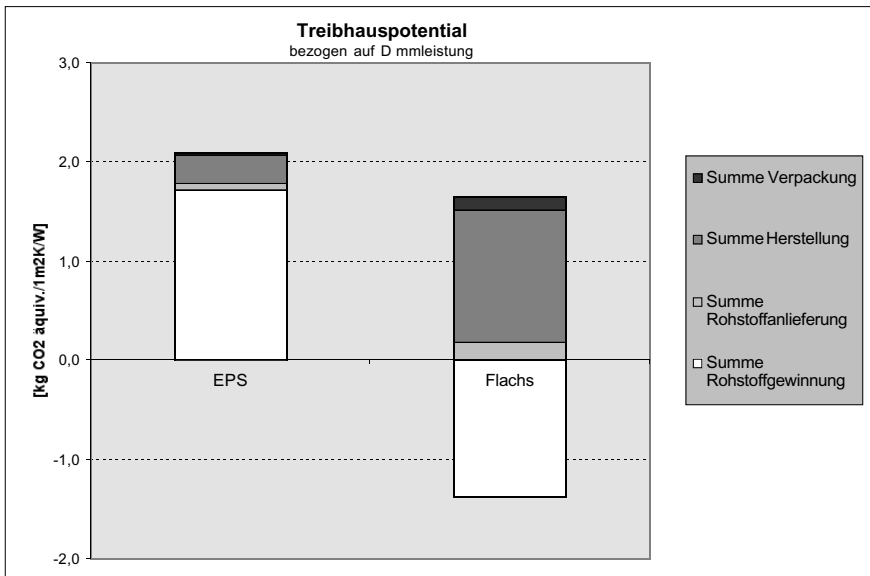


Abb. 4: Vergleich Treibhauspotential Flachs/EPS

Die Abbildung 4 zeigt einen Vergleich zwischen Flachs und EPS für das Treibhauspotential. EPS hat eine sehr niedrige Dichte, ist also sehr ressourceneffizient. Es muss aber mit einem sehr viel höheren Energieaufwand als Flachs produziert werden. Auch die Rohstoffbereitstellung, d.h. die Herstellung des Styrols erfordert einen sehr hohen Energieeinsatz und setzt auch sehr viele Emissionen frei, ist allerdings schon sehr gut optimiert. So werden z.B. in der chemischen Industrie Abfallstoffe wieder als Energieträger genutzt. Beim Flachs ist das Treibhauspotential der Rohstoffgewinnung negativ. Das ist dadurch möglich, dass die Pflanze während ihres Wachstums CO<sub>2</sub> bindet und daher dem anthropogenen Treibhauseffekt entgegenwirkt, d.h. ein negatives Treibhauspotential hat. Bei der Produktion weist Flachs deutlich höhere Werte auf, insbesondere durch den Stromaufwand, der hier als europäischer Strommix gerechnet wurde, d.h. mit einem hohen Anteil an kalorischen Kraftwerken und daher einer hohen Umweltbelastung. Der Unterschied zwischen EPS und Flachs in der Umweltkategorie Treibhauspotential beträgt einen Faktor 10. Für die meisten anderen Kategorien ist er geringer bis deutlich geringer. Wir müssen aber auch eine Reihe von qualitativen Kriterien berücksichtigen, die auszugswise in der Tabelle Abb. 5 dargestellt sind.

Kriterium	Flachs (Tragstruktur Holz, HWL verputzt)	EPS (WDVS)
Rohstoffe/Energieträger	Erneuerbar, regional verfügbar/großteils nicht erneuerbare Energieträger (Strommix!)	Nicht erneuerbar, große Transportdistanzen/nicht erneuerbare Energieträger
Produktionsprozeß	Mechanische Bearbeitung	Komplexer, vielstufiger Produktionsprozeß, sicherheitsoptimiert
Gesundheitsgefährdung Herstellung	Borax	Benzol, Styrol
Ökotoxikologische Risiken	Biologischer Anbau keine, ansonsten Herbizide	Tankerunfälle und -reinigung, Sommersmog durch Pentanemission
Einbau	Eigenes Tragsystem, Putzträger, geringe Staubbelastung möglich, bei Vorfertigung Aufwand beschränkbar	Kleber, einfache Anwendung
Nutzung	Emissionsfrei, guter Schallschutz	Anfänglich geringe Styrolemissionen möglich, feuchtebeständig
Trennbarkeit/ Weiterverwendung	Leichte Trennbarkeit und weiterverwendbar	Schwer trennbar, Fraktionen teilweise recycelbar

Abb. 5 : Qualitative Kriterien Flachs/EPS

Eine Vielzahl von Kriterien ist in der ökologischen, aber auch in der Gesamtbetrachtung eines Baustoffes zu berücksichtigen. Die Beschränkung auf wenige quantitative Kennzahlen ist daher nicht empfehlenswert.

### Ökologische Bewertung von Bauteilen

Im ökologischen Bauteilkatalog des IBO wurden jeweils drei Profile für einen Bauteil erstellt: das ökologische, das baubiologische und das bauphysikalische Profil. Im ökologischen Profil werden Fragen beantwortet, wie zum Beispiel: Wie bilanzieren Bau- oder Bauhilfsstoffe über den gesamten Lebenszyklus?, Wie sind Bauteile dimensioniert? Wie lang können sie genutzt werden? Wie können sie repariert, instandgehalten, getrennt und wiederverwendet werden? Besonders interessant ist die Dimensionierung: Bauteilschichten können sehr energieaufwendig produziert werden, wie beispielsweise eine PE-Dampfbremse. Die PE-Dampfbremse wird allerdings nur in sehr kleinen Mengen eingesetzt, sodass die Verwendung vor allem bei guter Trennbarkeit gesamt gesehen ökologisch sinnvoll sein kann.

Das baubiologische Profil umfasst die Wechselwirkung zwischen Nutzer und Bauwerk. Hier geht es bei-

spielsweise um Schadstoffemissionen in die Raumluft, um das Raumklima, den thermischen Komfort, die Raumakustik etc.

Das bautechnische Profil beschreibt die Gefahren von Verarbeitungsmängeln, Anschlussproblematik, Schadensanfälligkeit und Sicherheit der Konstruktion.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist, dass das Flächenverhältnis der Bauteile zueinander bei sehr großen kompakten Gebäuden oder sehr kleinen Einfamilienhäusern grundsätzlich anders ist. (Abb. 6) Bei großen Gebäuden haben die Innenbauteile den größten Flächenanteil, bei kleinen Einfamilienhäusern sind die Außenbauteile sehr wichtig, denn dort machen Außenwände, Dach, Kellergeschossdecke etwa zwei Drittel der Gesamtflächen aus. Bei der Planung eines großen Geschosswohnbaus als ökologisches Passivhaus ist es also trotzdem von besonderer Bedeutung, die Innenbauteile zu optimieren. Beim Einfamilienhaus hingegen muss das Hauptaugenmerk auf die Verbesserung der Außenbauteile gelegt werden.

Auch die Baustoffauswahl hat einen sehr großen Einfluss, denn die einzelnen Produkte können sich je nach Hersteller deutlich voneinander unterscheiden, weil vielleicht das Produktionsverfahren anders ist oder weil ein anderer Energieträger eingesetzt wird. Hilfen sind Positivlisten, Negativlisten und ökologische Prüfzeichen, etwa das IBO-Prüfzeichen und das gerade in Entwicklung befindliche europäische Prüfzeichen ecoNcert, das vom IBO gemeinsam mit deutschen Instituten entwickelt wird.

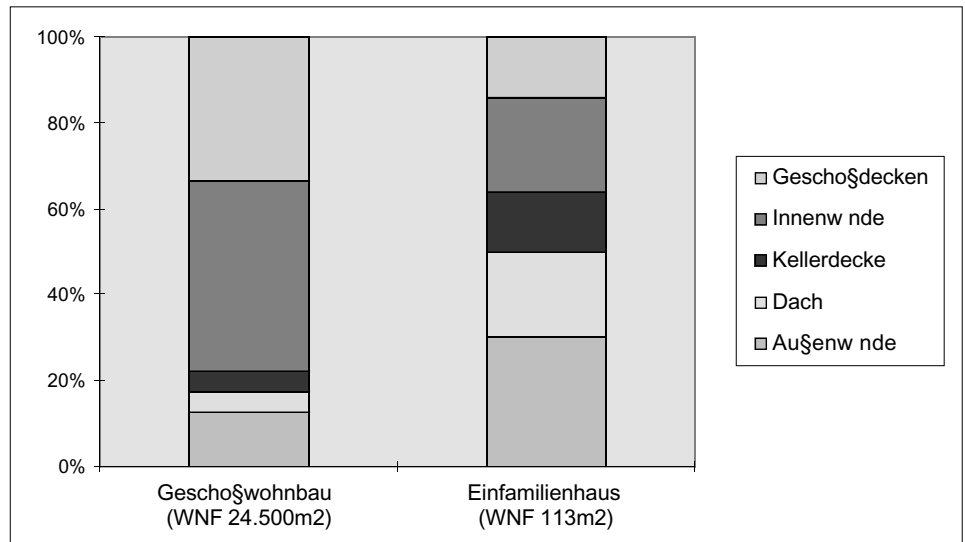


Abb. 6: Gebäude: Anteil der Bauflächen

## Ökologische Optimierung von Bauteilen anhand von Beispielen

Passivhäuser unterscheiden sich von konventionellen Gebäuden aus bauökologischer Sicht (ökologische Qualität der Materialien und der Zusammenfügung zum Gebäude) im Prinzip nur in den folgenden Punkten:

- Die Dämmstoffstärken sind deutlich höher (bauliche Seite, Haustechnik).
- Die Anforderungen an die Luftdichtheit sind sehr hoch.
- Passivhäuser müssen eine Lüftungsanlage mit hocheffizienter Wärmerückgewinnung besitzen.

Einige ökologische Aspekte von Dämmstoffen und Abdichtungen möchte ich Ihnen im Folgenden vorstellen, bevor wir anhand einiger Bauteile das ökologische Optimierungspotential betrachten.

### Exkurs Dämmstoffe: Funktion und Wirkung von Dämmstoffen

Die Vorteile der erhöhten Dämmstoffstärke im Passivhaus, aber nicht nur im Passivhaus, sind die Verminderung des Heizenergiebedarfes, behagliche Oberflächentemperaturen, Vermeidung von bauphysikalischen Schäden, Verkleinerung des Wärmereizers oder gar Wegfall eines eigenen Heizsystems. Allerdings entstehen auch höhere Aufwände bei der Herstellung und Errichtung der (dickeren) Dämmung. Diese Umweltbelastungen kann man den Vorteilen der Dämmung, insbesondere der Heizenergieeinsparung, gegenüberstellen und darauf beruhend eine ökologische Amortisationszeit ausrechnen. Auf der einen Seite stehen die Umweltbelastungen, die durch die Erzeugung von 40 cm Dämmstoff entstehen, auf der anderen Seite die Entlastung durch die zusätzliche Einsparung von Heizenergie. Diese Beiträge werden dann über eine gewisse Nutzungszeit angesetzt, in unserem Beispiel für 80 Jahre.

Die entscheidende Frage ist, bei welcher Dämmstoffdicke liegt das Optimum zwischen Einsparung und zusätzlicher Belastung?

Die optimale Dämmstoffdicke kann immer nur für ein bestimmtes Heizsystem, einen bestimmten Dämmstoff und eine bestimmte Umweltkategorie angegeben werden. Generell kann man sagen, dass die opti-



von Steinwolle. Für eine hinterlüftete Konstruktion kann ein sehr leichter Glaswollgedämmstoff eingesetzt werden, Fassadendämmplatten hingegen sind sehr dicht und schlagen daher mit höherem Gewicht für die Erreichung eines gewissen Wärmewiderstandes zu Buche. Insgesamt kann man sagen, dass Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen zumeist sehr günstig abschneiden – wenn auch mit Ausnahmen. Die Optimierungspotentiale einer Reihe von Dämmstoffen, insbesondere von nachwachsenden Rohstoffen, z. B. Verringerungen des Energieaufwandes bei der Produktion, sind außerdem noch lange nicht ausgereizt. Umweltbelastungen schwanken stark von Hersteller zu Hersteller wegen unterschiedlicher Produktionsweisen. Nicht verwendet werden sollten HFKW-geschäumte XPS-Platten. Andere aufwendig hergestellte Dämmstoffe, wie beispielsweise Polyurethan mit seiner problematischen Herstellung, oder CO<sub>2</sub> geschäumte XPS-Platten sollten nur für Spezialanwendungen eingesetzt werden.

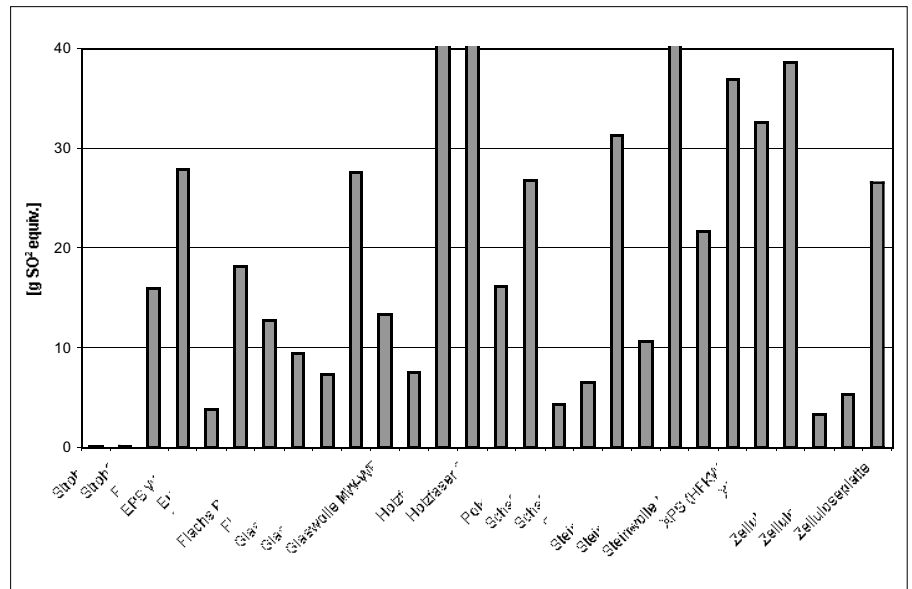


Abb. 8: Dämmstoffvergleich Versauerung

### Exkurs Abdichtung

Abdichtungen werden meistens nicht beachtet, zu Unrecht. Beispiel Verklebung: Zur Folienverklebung wird meistens ein Polyurethan(PU)-Kleber eingesetzt. Die Herstellung von Polyurethan ist komplex und vielstufig. Dabei entstehen problematische Zwischenprodukte wie das hochgiftige Phosgen, Chlor und Isocyanate. Erst nach Aushärtung ist der Klebstoff unbedenklich.

Beispiel Silikon: Das Produkt ist in der Nutzungsphase toxikologisch unbedenklich, bei der Herstellung entstehen aber problematische Zwischenprodukte, beispielsweise Siliziumhalogene. Alternativen dazu sind beispielsweise eine Konstruktion ohne Folien mithilfe guter Handwerker und guter Detailplanung oder der Einsatz naturnaher Kleber oder Dichtungsmassen, die allerdings erst seit kurzem auf dem Markt sind und deren Gebrauchstauglichkeit sicher noch genauer hinterfragt werden muss.

### Außenwände

Wichtige Einflussgrößen zur ökologischen Bewertung von Außenwänden sind neben der Ökologie der eingesetzten Baustoffe:

- das Dämmsystem: Ist die Dämmung mechanisch befestigt oder verklebt, ist sie hinterlüftet oder nicht – das wirkt sich stark auf die ökologische Wertigkeit aus.
- die Bauweise: massiv oder leicht oder gemischt?
- die inneren Schichten: Auswirkungen auf das Raumklima (Speichermassen, Feuchtepufferung) und auf die Bearbeitbarkeit.
- die äußeren Schichten: Sind sie partiell reparierbar oder muss bei Schäden die gesamte äußere Schicht abgetragen werden? ist die äußere Schicht von der Primärkonstruktion trennbar?

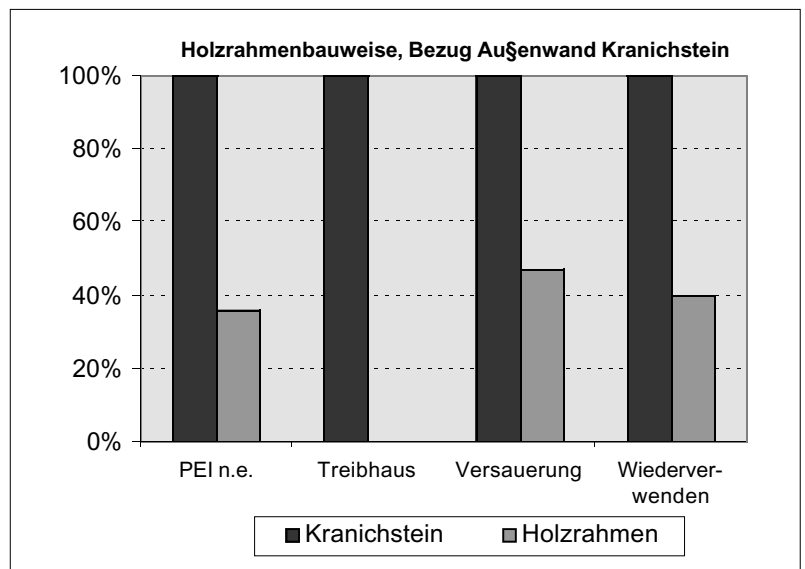


Abb. 9: Vergleich einer Kalksandsteinmauer mit einem Holzrahmenbau

Als Vergleichskonstruktion haben wir den Außenwandbauteil aus dem Passivhaus in Kranichstein, genommen das quasi die Mutter aller Passivhäuser darstellt (Abb. 9). Dabei handelt es sich um ein Kalksand-

steinmauerwerk, das mit EPS verputzt ist, also um einen klassischen Aufbau. Da der Kalksandstein ja einige sehr gute ökologische und auch bauphysikalische Eigenschaften hat, haben wir ihn beibehalten und eine hinterlüftete Konstruktion mit Zelluloseflocken mit Lärchenschalung vorgesetzt. Diese Veränderung hat relativ hohe Einsparungen von 30 - 50 % bei den hier ausgewählten Umweltwirkungen zur Folge, beim Treibhauseffekt sogar einen negativen Beitrag durch das eingesetzte Holz. Vorteile dieser Konstruktion sind gute bauphysikalische Kennwerte des Kalksandsteines (Schallschutz, wirksame Speichermassen), die Emissionsfreiheit gegenüber der EPS-Fassade, die Trennbarkeit der vorgesetzten Fassade mit Zellulosefaserflocken und die leichte Reparierbarkeit der äußeren Wetterschicht aus Lärchenschalung. Zusätzlich werden erneuerbare Baustoffe verwendet. Nachteilig ist die Staubbelastung beim Einblasen der Zellulose. D.h.: wenn wir die ursprüngliche Außenwand optimieren wollen, können wir sehr gut auf hinterlüftete Konstruktionen zurückgreifen.

Wenn der Kalksandstein durch eine außen verputzte Holzrahmenbauweise (innen Gipsfaserplatten) ersetzt wird, können wir noch weitere Einsparungen erzielen, allerdings nicht mehr in so großem Ausmaß wie durch die hinterlüftete Konstruktion. Außerdem handeln wir uns bei einer einschaligen Leichtbauweise natürlich auch einige Nachteile ein, beispielsweise ist der Luftschallschutz gering, die wirksame Speichermasse ist gering und gerade für die Luftdichtigkeit ist natürlich eine solide Planung und Ausführung notwendig, die ohne Verklebung nicht auskommt. Holzschutzmittel sind durch vorbeugenden Holzschutz vermeidbar, ebenfalls Emissionen an die Raumluft bei entsprechender Auswahl der Innenschicht. Diese Nachteile der Leichtbaukonstruktion lassen sich natürlich verbessern, z. B. wenn wir innen einen Lehmputz verwenden. Dadurch erzielen wir eine relativ gute Speichermassenwirkung und darüber hinaus verbessert sich auch der Schallschutz ein wenig. D.h. wir können auch durch eine Holzrahmenbauweise bei den hier gewählten Umweltwirkungen gegenüber konventionellen Systemen wie etwa Krachstein deutlich Umweltbelastungen einsparen.

Auch bei Massivbaustoffen sind Verbesserungen möglich. Zum Beispiel wurden bei einem Dachbodenausbau die Vollziegel der alten Attikamauer wiederverwendet und damit Umweltbelastungen eingespart. Eine andere gute Möglichkeit ist die Wiederverwertung von Ziegelsplitt als Recyclingmaterial für die Herstellung von Speicherziegel, der aus Recyclingziegelsplitt mit Beton gebunden ist. So werden bereits vorhandene Ressourcen weiter genutzt. Bei ökologischen Bewertungen schneiden Massivbaustoffe meistens ein bisschen schlechter als Leichtbauweisen ab. Andererseits weisen Massivbaustoffe eine Reihe von wohnhygienischen und auch von bauphysikalischen Vorteilen auf, wie beispielsweise hohe Speichermasse, hohen Luftschallschutz, Nichtbrennbarkeit, Feuchteunempfindlichkeit, die Luftdichtigkeit ist im Vergleich zu Leichtbauweisen leichter erreichbar.

## Dächer

Ansatzpunkte für ökologische Verbesserungen bei Dächern sind

- die Form: Steildach oder Flachdach,
- die Dacheindeckung: Bleche oder mineralische Materialien sind lokal reparierbar
- die Bauweise: massiv oder leicht
- die inneren Schichten für das Raumklima und die Bearbeitbarkeit
- die Materialien: Herstellung und Wiederverwertbarkeit

Als Beispiele habe ich 3 Dächer ausgewählt:

Die erste Konstruktion ist ein Steildach in Leichtbauweise mit Dachziegeln, Sparren als Tragsystem und dazwischen Dämmung.

Die zweite Konstruktion ist ein Steildach massiv ausgeführt, d.h. auf der Stahlbetonplatte sind Doppel-T-Träger anstelle der Sparren aufgelegt mit dazwischenliegender Dämmung, die ebenfalls mit Ziegel eingedeckt sind.

Als dritte Konstruktion haben wir ein Flachdach in Massivbauweise mit Korkdämmung oben und Kieseindeckung ausgewählt.

Alle diese drei Konstruktionen erreichen einen U-Wert von  $0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Wie groß sind die Umweltbelastungen, die durch die Herstellung dieser unterschiedlichen Bauteile entstehen? In Abbildung 10 sind die Umweltbelastungen anhand von Treibhauspotential und Versauerung dargestellt. Das Treibhauspotential ist für das leichte Steildach negativ wegen der Kohlendioxidspeicherung durch das Holz. Aber auch die beiden massiven Konstruktionen unterscheiden sich relativ stark voneinander aufgrund der Abdich-



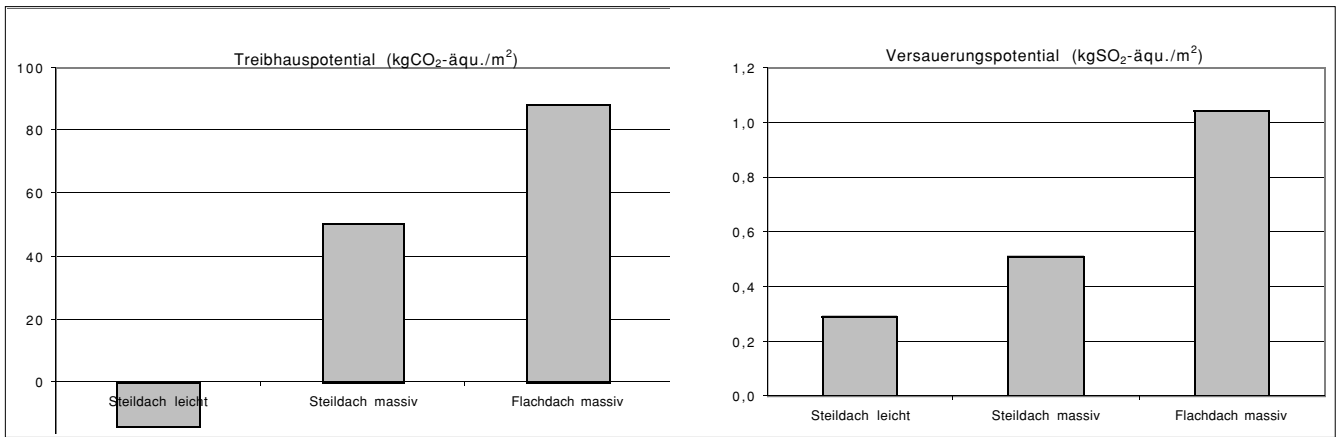


Abb. 10: Vergleich Steildach/Flachdach

tungen: Für ein Flachdach werden sehr aufwendige Abdichtungen benötigt, dasselbe gilt für die Dampfbremse, eine Aludampfbremse. Die Abdichtung hält nur ca. 50 Jahre und muss danach relativ aufwendig erneuert werden.

Beim Steildach wird die Ziegeleindeckung ebenfalls nach 50 Jahren erneuert.

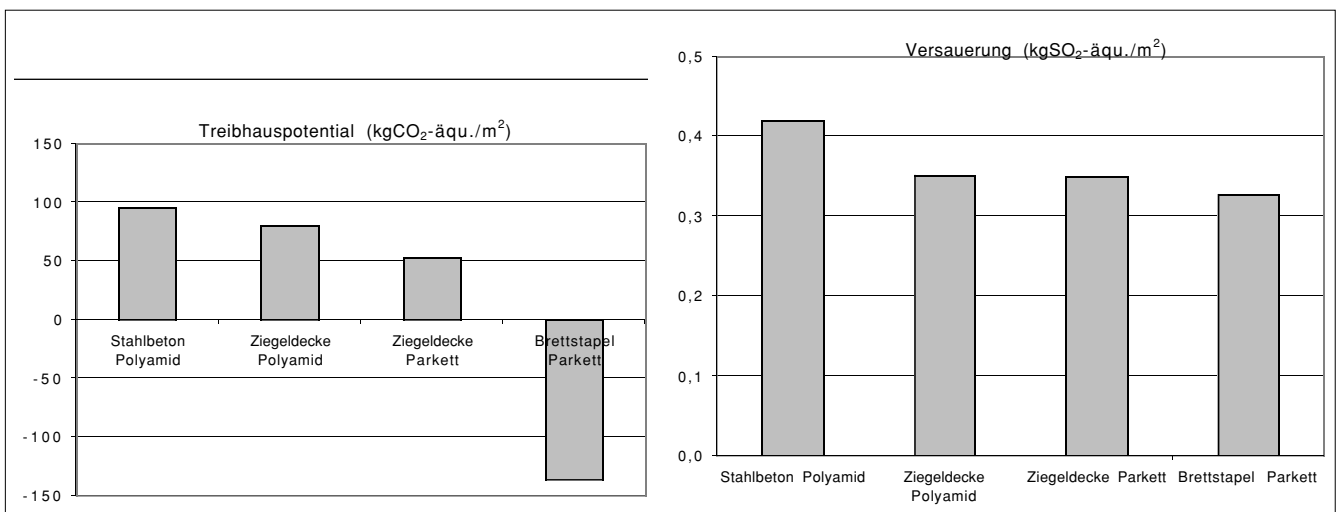
Die Frage ist aus ökologischer Sicht daher nicht nur, baue ich ein Leicht- oder ein Massivdach, sondern ob es ein Steil- oder ein Flachdach sein soll. In anderen Worten: besser ableiten als abdichten. Ein Flachdach erzeugt also durch die Abdichtungen und einige andere Faktoren sehr hohe Belastungen. Das soll jetzt nicht heißen, dass man keine Flachdächer mehr ausführen soll, es wäre allerdings möglich, sie anders zu konstruieren. Wenn man aber ein Flachdach in dieser konventionellen Weise konstruiert, sollte man in anderen Bauteilen umso mehr an ökologischen Belastungen einsparen. Wir wollen ja das gesamte Gebäude optimieren, d.h. wir können uns auch Schwachstellen leisten, wenn wir an anderen Stellen verstärkt Verbesserungen anstreben.

### Geschoßdecken

Die Geschoßdecken haben gerade bei sehr großen Gebäuden wegen ihres hohen Flächenanteils einen großen Einfluss auf die ökologische Qualität des Gebäudes. Wichtige Einflussgrößen auf die ökologische Wertigkeit sind:

- die Bauweise:  
massiv oder leicht
- der Fußbodenaufbau:  
trocken oder nass
- die Bodenbeläge:  
mechanische oder chemische Verbindung, lokal reparierbar, leicht austauschbar, Beanspruchbarkeit, Nutzungsdauer, Reinigung, Schadstoffemissionen, Behaglichkeit/Haptik
- Äußere Schichten:  
Raumklima

Abb. 11: 4 Geschossdecken im Vergleich



In Abb 11 sind 4 unterschiedliche Konstruktionen dargestellt:

1. eine Stahlbetondecke mit Estrich und Polyamid-Teppich.
2. die Stahlbetondecke wird durch eine Ziegeldecke ersetzt.
3. Zusätzlich wird der Polyamid-Teppich durch einen Parkettboden ersetzt.
4. Als Primärkonstruktion wird eine Brettstapeldecke eingesetzt.

Das Treibhauspotential reagiert relativ sensibel auf Änderungen des Fußbodenbelages. Es ergeben sich deutliche Einsparungen durch die Verwendung von Holz bei der Brettstapeldecke, wobei diese Brettstapeldecke mit Holz gedübelt ist und nicht genagelt oder mit Polyurethan (PU) verklebt.

Beim Versauerungspotential sind die Unterschiede relativ gering.

Neben den ökologischen Kennwerten muss eine Reihe weiterer wichtiger Kriterien bewertet werden: So ist ein Teppichboden fußwärmer als ein Parkettboden, dieser ist üblicherweise höher beanspruchbar und hat eine deutlich höhere Lebensdauer in Abhängigkeit der Oberflächenbehandlung; aus den Teppichen können Schadstoffemissionen aus dem Kleber oder aus dem Schaumstoff an die Raumluft abgegeben werden, ähnliches gilt für bestimmte Parkettöle und -versiegelungen. Die Bewertung muss besonders in diesem Fall anhand konkreter Produkte erfolgen, zu stark sind die Unterschiede innerhalb einzelner Fußbodenbeläge.

Auch der Schallschutz der 4 Konstruktionen oder die wirksame Speichermasse unterscheidet sich wesentlich voneinander. Beim Einsatz einer Brettstapeldecke ist es beispielsweise deutlich schwieriger, einen akzeptablen Trittschallschutz zu erreichen als bei einer Stahlbetondecke.

Die Einstufung der einzelnen Geschoßdecken hängt also stark von den Rahmenbedingungen und Anforderungen ab. Jedenfalls sind die Unterschiede bei den ökologischen Kennwerten so groß, dass die Planung auch darauf auszurichten ist.

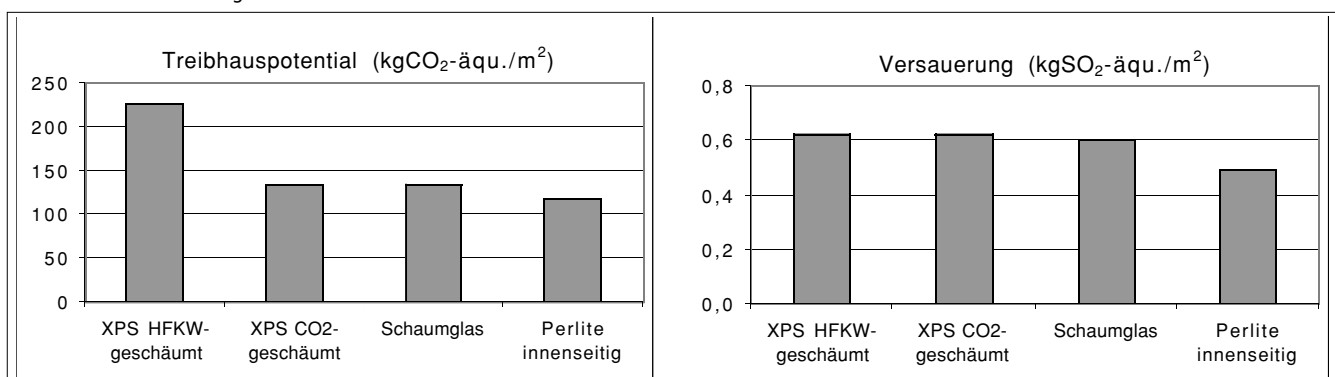
### Bodenplatte

Als wichtige Einflussfaktoren können genannt werden:

- die Dämmanordnung: innen- oder außenseitig
- die Bauweise der Wände: leicht oder massiv
- die Fundamentierung: Streifenfundamente oder Platte
- die Abdichtung: Betonqualität/Anstriche/Folien

Wir haben 4 unterschiedliche Aufbauten für eine Fundamentplatte gewählt. Eine Dämmung unterhalb der Fundamentplatte ist bauphysikalisch von Vorteil, da müssen allerdings ökologisch bedenklichere Dämmstoffe eingesetzt werden. Hierfür wurden 3 unterschiedliche Dämmstoffe ausgewählt, Extrudiertes polystyrol (XPS) HFKW-geschäumt, XPS CO<sub>2</sub>-geschäumt und Schaumglas. Die vierte Konstruktion ist ein alternativer Aufbau mit einer innenseitigen Dämmung aus Perliten. In Abb. 12 sind die ökologischen Auswirkungen auf 2 ökologische Kennwerte dargestellt. Durch die Vermeidung HFKW-geschäumter Platten ist eine sehr große Einsparung des Treibhauspotentials erzielbar. Der Dämmstoff kann also einen hohen Einfluss auf die Bauteilqualität haben, trotz der sehr aufwendigen Bauweise mit Folienabdichtungen, Stahlbeton etc. Bei der Versauerung sind die Unterschiede deutlich geringer, durch den Einsatz von Perliten können ca. 20 % eingespart werden, da die Perlitedämmung eine deutlich geringere Umweltbelastung hat als die außenseitig eingesetzten Dämmstoffe.

Abb. 12: 4 Bodenplatten/Fundamente im Vergleich



## Fenster

Fenster haben im Passivhaus eine besondere Bedeutung, da sehr hohe bauphysikalische Anforderungen an Verglasung und Rahmen gestellt werden.

Aus ökologischer Sicht können unter anderem folgende wesentliche Einflussgrößen identifiziert werden:

- Primärmaterial: Holz, PVC, Aluminium, Polyurethan
- Dämmung: Konzept, Material und Anordnung, Trennbarkeit
- Wetterschutz: Anstriche/Verblechung etc.
- Fenstertyp: Fixverglasungen, Dreh-Kipp, Auswirkung auf Rahmenanteil, Beschläge
- Raumklima: Schadstoffemissionen

Als anschauliches Beispiel haben wir einen gerade neu entwickelten Vollholzrahmen aus Vorarlberg einem klassischen Passivhaus-Fenster gegenübergestellt. Das klassische Passivhausfenster ist ein Holzfenster mit einem Polyurethankern, wogegen der Vollholzrahmen keine Dämmung aufweist.

Das Treibhauspotential ist durch den Holzanteil (Kohlenstoffspeicherung) negativ, durch den Polyurethankern wird es doch deutlich erhöht, ist aber immer noch negativ (Abb.13). Die Versauerung ist für beide Fenstertypen annähernd gleich, allerdings nicht so stark wie in anderen Beispielen. Wir müssen aber auch qualitative Kriterien miteinbeziehen: Vorteile der Vollholzlösung sind beispielsweise die ausschließliche Verwendung eines regional verfügbaren Rohstoffs, geringere Schadensanfälligkeit durch homogenen Aufbau und gute Weiterverwertbarkeit als Rohstoff für Holzwerkstoffe usw.

Ein Vorteil bei Passivhaus-tauglichen Fensterrahmen mit Polyurethankern ist zumeist ein verbesserter Wär-

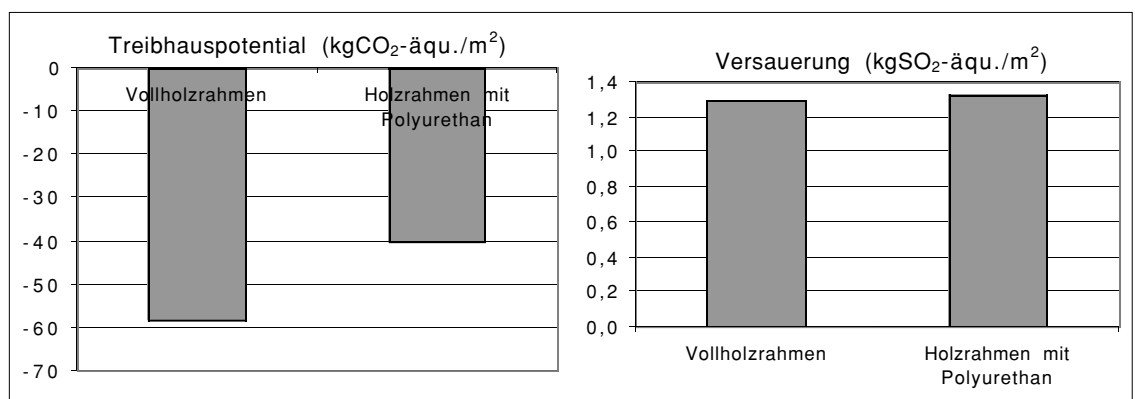


Abb. 13: 2 Fenstertypen im Vergleich

meschutz. Es handelt sich allerdings um eine Verbundkonstruktion, die schlecht trennbar ist und daher schwierig weiterverwendet werden kann. Der Dämmstoff Polyurethan ist in seiner hochkomplexen, vielstufigen Herstellung mit einer Reihe von toxikologisch sehr problematischen Zwischenprodukten verbunden. Es handelt sich um sicherheitsoptimierte Produktionsverfahren, die allerdings wegen der problematischen Zwischenprodukte im Fall von Störfällen mit einem hohen Risikopotential verbunden sein können.

## Schlussfolgerung

Ist Faktor 10 durch bauökologisch intelligente Bauweise möglich? Für einige Bauteile ist Faktor 10 in wichtigen Umweltkategorien erreichbar. Auch für bestimmte Bauteilschichten sind derartige Einsparungen möglich, beispielsweise kann für einen bestimmten vorgegebenen Wärmewiderstand Faktor 10 zwischen ungünstiger und ökologisch optimierter Konstruktion erreicht werden. Bezogen auf den gesamten Bauteil und alle quantitativen und qualitativen Bewertungskriterien reduzieren sich allerdings die möglichen Einsparungen auf Faktor 2 - 5. Durch eine ökologisch optimierte Bauweise könnten wir also gegenüber einer ökologisch ungünstigen Bauweise 50 - 80 % an Umweltbelastungen heute und für die Zukunft einsparen. Dieses beachtliche Potential müssen wir nutzen. Wir sollten den erfolgreichen Weg des Passivhauses konsequent weitergehen, indem wir auf ökologisch optimierte Baustoffe, Bauteile und Gebäude setzen.

## Diskussion

### Frage:

Wie kann man die CO<sub>2</sub>-Konzentration negativ rechnen, denn CO<sub>2</sub> geht ja nicht verloren, sondern es bleibt ja da, wird entweder verbrannt oder wird zu Erdöl? Also ich verstehe das immer noch nicht warum das negativ gerechnet wird.

### Zelger:

Das wird deswegen negativ gerechnet, weil durch das Wachstum der Pflanzen CO<sub>2</sub> der Atmosphäre entzogen wird, d.h. es wird weniger. Lassen Sie mich das anhand von Flachsdämmstoff verdeutlichen. Das Kohlendioxid wird während des Wachstums als Kohlenstoff im Flachs gebunden, d.h. es wird der Atmosphäre entzogen. Die Flachsdämmung wird in ein Gebäude eingebaut, das 100 Jahre genutzt wird, dann rückgebaut, und da gut trennbar im neuerrichteten Gebäude wieder für weitere 100 Jahre eingebaut wird. Danach wird es verbrannt und erst dann wird der Kohlenstoff als Kohlendioxid in die Atmosphäre emittiert. Und das in einer Zeit, wo die wesentlichen Erdöl- und Erdgasquellen schon versiegt sind. Durch diese Kohlendioxidspeicherung erhalten wir für die Dämmstoff-Nutzungsdauer eine Entlastung, wobei der Temperaturanstieg gerade wegen seiner Geschwindigkeit große Probleme für die Anpassung von Pflanzen und Tieren bringt. Auf die Ewigkeit bezogen wird dieser negative CO<sub>2</sub>-Beitrag natürlich wieder neutralisiert, aber es ist ja besonders wichtig, wenn das Treibhauspotential für mindestens 100 Jahre oder länger verringert wird, gerade in dieser nächsten besonders kritischen Zeit. Es ist halt ein Unterschied, wenn Sie Holz als Brennholz nutzen, dann geht das CO<sub>2</sub> sofort in die Luft hinauf, aber wenn es im Baustoff gespeichert ist, habe ich für diese 100 Jahre einen negativen Beitrag für diese CO<sub>2</sub>-Bilanz von diesem Baustoff. Wichtig ist, dass wir jetzt negatives Treibhauspotential erzeugen, denn in den nächsten 100 Jahren werden wir besonders mit dem Treibhauseffekt Probleme haben. Die negative Bilanzierung entspricht also auch einer sehr vorsorgeorientierten ökologischen Bewertung. Wir führen gerade ein Forschungsprojekt durch, wo wir versuchen, eine wissenschaftliche Basis für einen möglichst realitätsnahen Wert für die CO<sub>2</sub>-Speicherung zu erarbeiten.

Aus diesem Grund haben wir auch das CO<sub>2</sub> nicht angerechnet, das durch die Verbrennung z.B. vom EPS entsteht. Bei einer CO<sub>2</sub>-neutralen Bilanzierung von erneuerbaren Rohstoffen müsste beispielsweise dem EPS auch der Treibhauseffekt bei der Verbrennung angelastet werden. Auch wenn wir noch nicht wissen, wie lange der fossile Kohlenstoff im EPS verbleibt.

### Frage:

Die ökologische Amortisationszeit der Dämmstärken ist natürlich abhängig vom Heizsystem. Was ist aber, wenn ich das beste Heizsystem verwende, also das ökologischste, also keine Heizung, erhöht sich dann die Amortisation der Dämmstärke wieder?

### Zelger:

Wenn ich keine Heizung habe, dann habe ich auch keine Amortisation, da ich nicht die Umweltbelastungen durch den Dämmstoff den Umweltbelastungen durch die Beheizung gegenüberstellen kann. Allerdings können Sie ein Gebäude ohne Heizung in unseren Breiten sicherlich nur mit hohen Dämmstoffstärken zusammenbringen und am vernünftigsten mit einem ökologisch günstigen Dämmsystem.

### Frage:

Zur negativen Berechnung vielleicht noch eine weitere Frage. Was ist, wenn ich jetzt z.B. Holz wiederverwende, kann ich es dann ein zweites Mal negativ berechnen oder muss ich's dann Null rechnen und bin damit eigentlich schlechter als wenn ich ein neues Holz verwende?

### Zelger:

Das kann ich nicht ein zweites Mal rechnen, weil die Pflanze entzieht der Atmosphäre nur einmal das CO<sub>2</sub> und das bleibt dann halt solange gespeichert bis es durch Verbrennung oder aus irgendeinen anderen Grund wieder in die Atmosphäre gesetzt wird. Das ist ein Problem, denn am besten wäre es, entsprechend der Kohlenstoff-Speicherdauer den jeweiligen Produkten den negativen CO<sub>2</sub>-Effekt zuzuordnen. Das können wir jetzt allerdings nicht wissen. Bei der Weiterverwendung sind allerdings alle anderen Umweltkategorien und der Treibhauseffekt durch die Herstellung viel niedriger oder annähernd Null.