

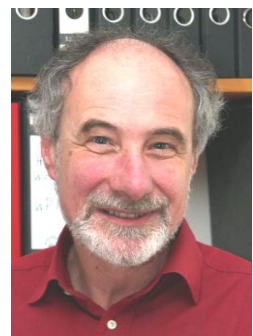
eco²building – Energieeffizienz und Ökonomie in Holz für Industrie und Gewerbe

eco²building – energy-efficiency and economy in wood for industrial and commercial buildings

eco²building – Efficiency et économie d'énergie par le bois dans l'industrie et l'artisanat

eco²building – Efficienza energetica ed economia in legno per l'industria e l'artigianato

Dr. Claus Kahlert
Prof.
ebök Institut für
angewandte Effizienzforschung
Tübingen, Deutschland



eco²building – Energieeffizienz und Ökonomie in Holz für Industrie und Gewerbe

1. Zusammenfassung

Im Rahmen des EU Projekts HOLIWOOD entstand ein Holzbausystem, das die Vorteile des Holzbaus weiter entwickelt und optimale Lebenszyklus-Bilanzen sowohl in wirtschaftlicher als auch in ökologischer Sicht bietet. Die Voraussetzung hierfür ist eine bewusste Planung, die auf Langfristigkeit angelegt ist.

2. Einleitung

Annähernd die Hälfte des Neubau-Volumens in der EU sind Gewerbebauten. Bei ihrer Errichtung werden häufig nur die minimalen gesetzlichen Anforderungen an den baulichen Wärmeschutz eingehalten, da, entgegen aller ökonomischen Vernunft, das Gebot der **Kostenminimierung** verkürzt und auf die **Investition** übertragen wird. Damit sind auf lange Zeit hohe Betriebs- und Instandhaltungskosten vorprogrammiert.

Wie jede andere wesentliche betriebliche Investition, so lassen sich auch Gebäude nur über eine Lebenszyklusbetrachtung bewerten. Aufgrund ihrer Langlebigkeit und der damit verbundenen Unsicherheiten, sollten immer mehrere Szenarien – z.B. mit hohen und geringen Preissteigerungen oder mit Veränderungen der Mindeststandards als Entscheidungsgrundlagen herangezogen werden.

In den letzten Jahren beteiligen sich immer mehr Unternehmen an einem Öko-Audit-Verfahren, um daraus Handlungsanweisungen für konkrete Verbesserungen abzuleiten. Das stoffliche Inventar der Gebäude ebenso wie ihr Betrieb sind dabei von hoher Bedeutung.

3. Das eco²building Holzbausystem

Das eco²building Holzbausystem entstand als eine von drei Produktlinien im Rahmen des EU Projekts HOLIWOOD, dessen Konsortium 18 Partnern aus 9 Ländern umfasste.

Das Entwicklungsziel war eine Synthese aus architektonischer Qualität, Funktionalität und Komfort der Arbeitsplätze auf höchstem ökologischem und ökonomischem Niveau. Weitere, für den wirtschaftlichen Erfolg entscheidende Entwicklungsziele, waren hohe Flexibilität sowie kurze Planungs- und Errichtungszeiten. Hierfür bietet der elementierte Holzbau sehr gute Voraussetzungen.

Die Konstruktionsprinzipien des Bausystems sind in Abbildung 1 bis Abbildung 3 dargestellt.

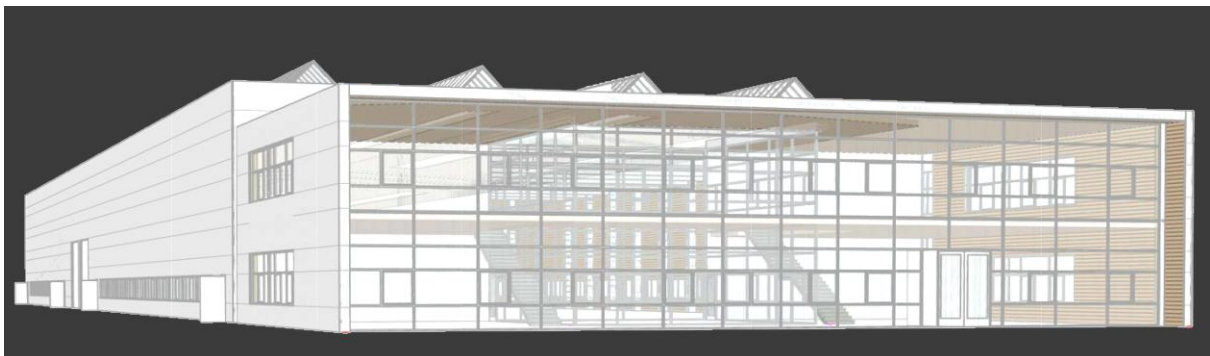


Abbildung 1: Beispiel einer eco²building Halle mit Kopfbau



Abbildung 2: Innenansicht mit Tragstruktur und Oberlichtern

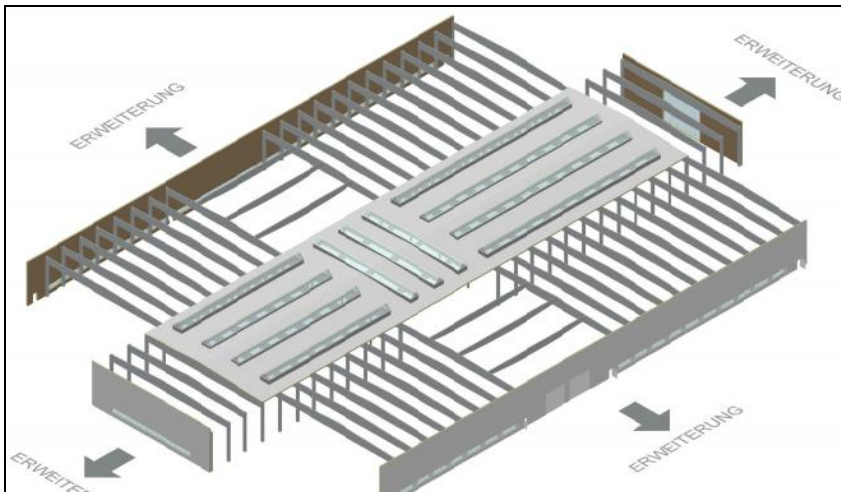


Abbildung 3: Schema der Erweiterung

Der visuelle Komfort wurde mittels Tageslicht-Simulationen optimiert

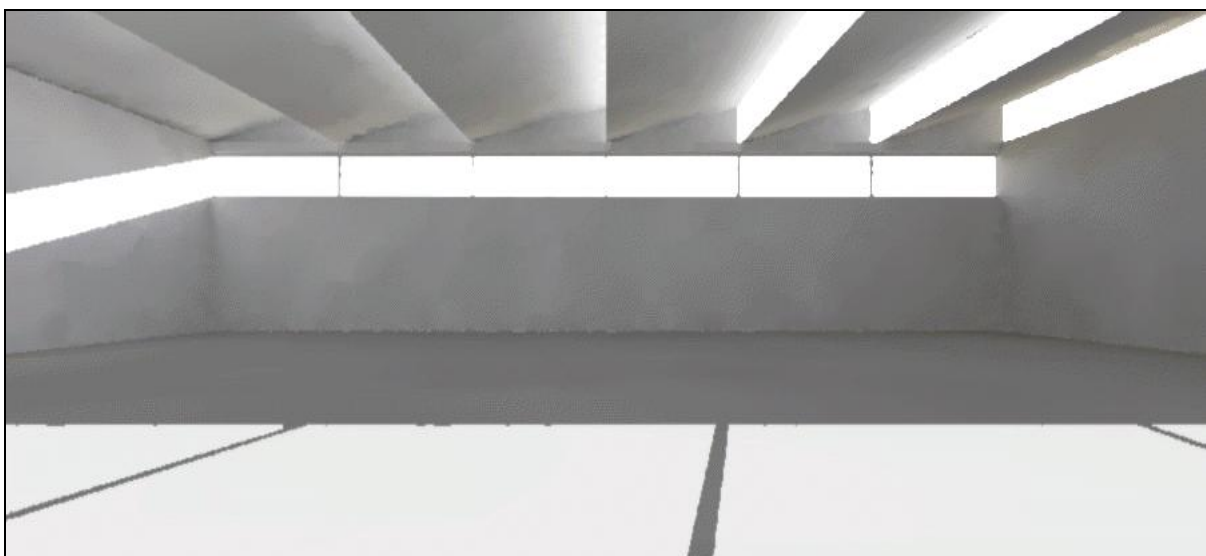


Abbildung 4: Tageslicht-Simulation für einen Kombination von Fensterbändern und Oberlichtern

Die zentrale Entwicklung, neben dem Bausystem besteht aus einem Software-Tool, dem Konfigurator, das während des gesamten Planungsprozesses neben einer 3D Visualisierung die Preise, Energiebilanzen und das gesamte stoffliche Inventar einer Halle mitführt.

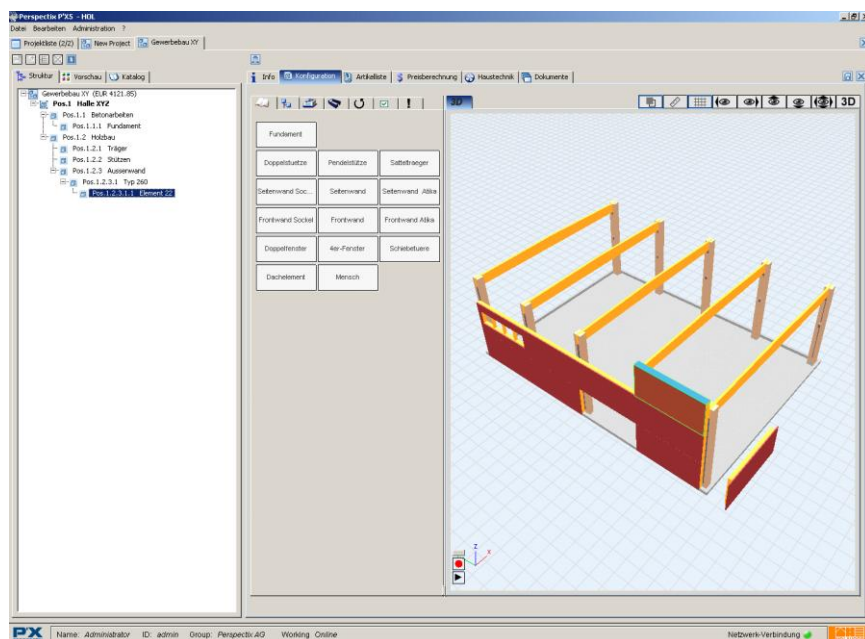


Abbildung 5: Screenshot des Konfigurators P'X5-D2C

4. Energieeffizienz von Hallen

Der Passivhaus-Standard ist im Wohnungsbau ein zuverlässige Richtschnur für höchste Energieeffizienz. Seine Kriterien sind jedoch so eng mit den Parametern der mitteleuropäischen Wohnnutzung verknüpft, dass sie sich nicht unmittelbar auf Gewerbebauten übertragen lassen.

Als Beispiel möge eine Halle dienen, wie sie in Abbildung 1 dargestellt ist. Ihre Kennwerte sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Trotz des sehr geringen A/V-Verhältnisses und des Einsatzes von Passivhaus-Komponenten, besitzt die Halle einen „sehr schlechten“ Heizwärme-Kennwert und zwischen der Heizlast und der mit der Lüftung einbringbaren Heizleistung liegt mehr als ein Faktor 100.

Tabelle 1: Kennwerte Beispielhalle, bestimmt nach PHPP (1)

Nutzfläche	10.000 m ²
Volumen	250.000 m ³
Fensterfläche	1.476 m ²
U _{Wand/Dach}	0,166 W/(m ² K)
U _{Fenster}	1,43 W/(m ² K)
A/V	0,12 m ⁻¹
Luftdichtheit n ₅₀	0,6 h ⁻¹
Personenbelegung	200 m ² p.c.
Interne Wärmequellen	2,1 W/m ²
Kennwert Heizwärme	57,7 kWh/(m ² a)
Kennwert Heizlast	25,3 W/m ²
davon über Frischluft verfügbar	0,2 W/m ²

Formal ist es die „fehlende Energiebezugsfläche“ der Halle, die den Kennwert Heizwärme nach oben treibt, der Hauptgrund für das Verfehlen der Passivhaus-Kriterien ist allerdings, dass die bei der Bildung dieser Kriterien unterstellten Zusammenhänge zwischen Volumen, Nutzfläche, Belegungsdichte, solaren und inneren Gewinnen hier nicht gegeben sind. Der Flächenbezug drängt sich im Wohnungsbau als Metrik auf. Es handelt sich dabei aber um einen sozialen Faktor, keine physikalische Gesetzmäßigkeit.¹

Damit erhebt sich die Frage, wie sich auch für kommerzielle Gebäude, mit einer Vielzahl von Nutzungen und Geometrien, Energieeffizienz bewerten lässt und welche Umsetzungsstrategie daraus resultiert.

Effizienz ist das Verhältnis von Nutzen zu Aufwand. Der Nutzen eines hellen und angenehm temperierten Arbeitsplatzes mit guter Luftqualität an 250 Tagen im Jahr erfordert zahlreiche Ressourcen zu unterschiedlichen Zeitpunkten. Die vollständige Erfassung aller von einem Gebäude verbrauchten Ressourcen ist mittels **Life Cycle Assessment (LCA)** planerisch möglich, s. z.B. (2-9). Die damit verbrauchten finanziellen Ressourcen (Kosten), beschreibt die **Life Cycle Cost Methode (LCC)** (10). Solche Verfahren sind heute noch so aufwendig, dass sie im Wohnungsbau nicht routinemäßig eingesetzt werden können. Für große Bauvorhaben, aber auch für Bausysteme mit erheblichen Stückzahlen, sind sie jedoch das Mittel der Wahl. So hat der Konfigurator für das eco²building System alle Konstruktionen hinterlegt und umgeht damit die methodische Schwierigkeit, dass LCAs gegenüber einer planerischen Verfeinerung wenig robust sind.

Mit den vom Konfigurator gelieferten Eigenschaften (Investition, Kosten, Ökoindikatoren für Errichtung und Betrieb) ist die Optimierung des Lebenszyklus eine „reine Fleißaufgabe“, die sich in der Praxis jedoch als schwierig erweisen kann. Deshalb sollen hier die methodischen Grundlagen sowie gute Startpunkte für die planerische Optimierung aufgezeigt werden.

Für unsere Fragestellung, die Energieeffizienz von Gewerbebauten, wollen wir ein paar Annahmen treffen, welche die Darstellung vereinfachen.²

- Die Betrachtung konzentriert sich auf Raumwärme. Andere Energieformen wie Kühlung oder Prozesswärme werden hier nicht explizit diskutiert.
- Als Ökoindikatoren werden nur die Primärenergie bzw. die CO₂ Emissionen aus Errichtung und Betrieb betrachtet.
- Der Betrachtungszeitraum sei ein Nutzungszyklus von N Jahren, nach dem das Gebäude vollständig abgeschrieben ist. Damit müssen keine Annahmen über den Restwert sowie den nächste Nutzungszyklus nach einer Modernisierung getroffen werden. Für viele Branchen ist $N = 30$ eine vernünftige Annahme, dann fallen die steuerliche und betriebswirtschaftliche Abschreibung etwa zusammen.
- Die Heizung hat einen typischen Nutzungszyklus von 15 Jahren, eine grundsätzliche Änderung des Systems nach dieser Zeit nehmen wir nicht an.
- Zur Modellierung des Heizwärmebedarfs wird das Passivhaus-Projektierungs-Paket (PHPP) eingesetzt.
- Die LCC wird nach der Kapitalwert-Methode (11) mit festen Zinsen und Energie-Preissteigerung über den gesamten Betrachtungszeitraum berechnet.

Damit ergibt sich für den Primärenergieeinsatz K_{pN} über die Nutzungszeit

$$K_{pN} = I_p + N \cdot Q_H \cdot e_p$$

mit dem Primärenergieaufwand I_p für das stoffliche Inventar und dem Heizwärmebedarf Q_H mit der Primärenergie-Aufwandszahl e_p .

¹ Andere Geometrie-Metriken, wie ein Volumenbezug oder ein vom Hüllflächen zu Nutzflächen Verhältnis abhängiger Grenzwert, können z.T. befriedigendere Ergebnisse liefern, setzen jedoch andere Filter.

² Die Methode der LCA/LCC Optimierung lässt sich auch in voller Allgemeinheit formulieren.

Für die LCC sind die Formeln ein wenig komplizierter, da die Energiepreissteigerung p und der kalkulatorische Zinssatz p' berücksichtigt werden müssen.

Die Lebenszyklus-Kosten setzen sich zusammen aus Abschreibung (A_k), Zinsen (Z_k) und Betriebskosten (B_k) im Jahr k . Die Betriebskosten setzen sich ihrerseits natürlich wieder aus Abschreibung, Zinsen und Wartung für Heizung und Lüftung sowie den Kosten für Brennstoff und Strom zusammen.

$$A_k = \frac{I}{N} \left(1 + p' \right)^k$$

$$Z_k = I \left(1 - \frac{k-1}{N} \right) p' \left(1 + p' \right)^k$$

$$B_k = B_0 \left(\frac{1+p}{1+p'} \right)^k$$

Damit ergibt sich für die Gesamtkosten K_N nach N Jahren³:

$$K_N = \sum_{k=1}^N (A_k + Z_k + B_k)$$

$$K_N = I + B_0 \underbrace{\frac{1+p}{p-p'} \left[\left(\frac{1+p}{1+p'} \right)^N - 1 \right]}_{N \cdot F_N}$$

Dabei ist F_N der Barwertfaktor, der für $p > p'$ größer als 1 wird, für $p < p'$ kleiner als 1 und für $p = p'$ den Wert 1 hat.

Als Eigenheit der Kapitalwertmethode liefern Zinsen und Abschreibung gerade wieder die Investition, dieses Ergebnis ist unabhängig von der Art der Finanzierung (Fremd- oder Eigenfinanzierung).

Auf der Basis der Ressourcenverbrauchs lassen sich nun alle Bauteile bewerten und daraus Entscheidungsgrundlagen ableiten.

Häufig müssen Entscheidungen jedoch anhand bestimmter Vorgaben getroffen werden, daraus ergeben sich dann unterschiedliche Vorgehensweisen.

4.1. Standardisierte Zielwerte

Wenn das Planungsziel in Form des Heizwärmebedarfs schon festliegt, weil z.B. ein Nachweis für eine Förderung erbracht werden muss, reduziert sich die (methodische) Schwierigkeit erheblich, da der Energieeinsatz und die Kosten für den Betrieb fixiert sind. Die Optimierungsaufgabe konzentriert sich auf die Investition⁴, also darauf, die vorgegebene energetische Qualität mit möglichst geringem Aufwand zu erreichen.

In der Praxis bedeutet dies, eine Planung, die das vorgegebene Ziel erreicht, daraufhin zu untersuchen, ob Leistungen und Qualitäten so verlagert werden können, dass die Gesamtinvestition geringer wird. Beispiele dafür sind

- Eine verstärkte Wärmedämmung im Dach anstelle einer teuren 3-Scheiben Verglasung.
- Eine tiefere Perimeterdämmung anstelle einer Dämmung unter der Bodenplatte.
- ...

³ Hierbei handelt es sich um den Barwert der Kosten. Der Einfachheit halber und weil keine Verwechslung entstehen kann, bleiben wir bei der einfachen Bezeichnung „Kosten“.

⁴ Wir benutzen hier die Terminologie der finanziellen Bewertung, da sich diese in der Praxis häufig als entscheidend herausstellt. Alle Argumente lassen sich jedoch 1:1 in die Terminologie der LCA übersetzen.

Solche Verfahren gehören heute zum üblichen Planungskanon. Für ihre Anwendung sollte jedoch sichergestellt sein, dass das gesetzte Planungsziel der Aufgabe angemessen ist und eine effiziente Lösung darstellt.

4.2. Umgang mit begrenzten Ressourcen

Ein weiterer, häufig anzutreffender Planungsansatz kehrt die Prämisse aus den vorangegangenen Abschnitt um. Wenn die Investition festgelegt wird, besteht die Optimierungsaufgabe darin, die Betriebskosten mit den vorhandenen Mitteln zu minimieren.

Startpunkt ist eine nach Kapitel 4.1 optimierte Planung. In den meisten Fällen wird es sich hierbei (leider) um den gesetzlich geforderten Mindeststandard handeln. Wenn das vorhandene Budget die dort ausgewiesenen Investitionen übersteigt, können die verbleibenden Mittel für eine gezielte Verringerung der Betriebskosten eingesetzt werden. (Übersteigen die kalkulierten Investitionen das Budget, so ist das Bauvorhaben nicht durchführbar.)

Die Optimierungsaufgabe liegt jetzt darin, mit jedem investierten Euro möglichst große Einsparungen bei den Betriebskosten („Rendite“) zu erreichen. Dies erfordert zwei Planungsschritte: (1) Die Auswahl der Maßnahme, welche in ihrer Qualität verbessert wird und (2) die Festlegung des Umfangs der Qualitätsverbesserung. Da auch andere Maßnahmen um die vorhandenen Mittel konkurrieren, entsteht so eine Prioritätenliste etwa der folgenden Form:

1. Verbesserung der Wärmedämmung im Dach um 10 cm.
2. Verbesserung der Dämmqualität auf der Südfassade auf WLG035.
3. Einsatz verbesserter Glas-Abstandhalter bei allen öffnenbaren Fenstern.
4. ...

Ein idealisiertes Beispiel ist in Abbildung 6 dargestellt. Die U-Wert-Hyperbel liefert das typische Verhalten fast aller Maßnahmen ab. Wo ihr Verlauf steil ist, kann mit geringem Aufwand eine große Wirkung erzielt werden. Entlang der Hyperbel werden weitere Verbesserungen an diesem Bauteil weniger profitabel, so dass es attraktiver wird, sich einer anderen Maßnahme zuzuwenden.



Abbildung 6: Schematische Darstellung der U-Werte von zwei opaken Bauteilen als Funktion der Dämmstoffstärke. Die hervorgehobenen Abschnitte der Hyperbeln repräsentieren „lohnende Verbesserungen“

In der Praxis werden die „Renditen“ verschiedener Maßnahmen oft vergleichbar sein, womit diese „parallel“ und nicht streng „sequentiell“ verlaufen.

4.3. Optimierung des Lebenszyklus

Die optimale Wirtschaftlichkeit einer Baumaßnahme, die geringsten Lebenszyklus-Kosten, können dann erreicht werden, wenn sie explizit zur Planungsaufgabe gemacht werden!

4.3.1. Methode und Vorgehen

Wenn die notwendigen (schwierigen) Vorarbeiten, das Erstellen einer LCA und LCC mit anpassbaren Parametern, erledigt sind, ist die Optimierung in der Praxis eine überschaubare Aufgabe. Hierzu muss PHPP (oder ein anderes Werkzeug, das den Heizwärmebedarf zuverlässig ermittelt) mit der Datenbank gekoppelt werden, die Preise und Ökoindikatoren des stofflichen Inventars enthält. Dies liefert die notwendigen Daten für die Lebenszyklus-Kosten. Durch Variation aller verwendeten Qualitäten kann nun nach dem Optimum, den minimalen Lebenszyklus-Kosten, gesucht werden.

Die Suche lässt sich automatisieren, wie es im Konfigurator des eco²building Systems geschehen ist, hier sollen jedoch die einzelnen Schritte beschrieben werden. Die allgemeine Fragestellung ist das Auffinden des globalen Minimums einer skalaren Funktion in einem n-dimensionalen Raum. In der Praxis lassen sich jedoch sehr schnell gute Ergebnisse erzielen, wenn für jeden Parameter, der eine bauphysikalische Qualität darstellt, das lokale Minimum bestimmt wird.

Der Grund hierfür liegt in der Struktur des PHPP-Bilanzierungsmodells, dieses ist weitgehend linear, lediglich über den Quotienten q_F/q_V (das Gewinn-Verlust-Verhältnis) und den daraus abgeleiteten Ausnutzungsgrad η_G für die Wärmegewinne erfolgt die Kopplung zwischen den Parametern. In der Nähe des Optimums kann η_G in guter Näherung als konstant angesehen werden. Damit separiert die Bilanz des Gesamtgebäudes in n Bauteil-Bilanzen, die sich einfach handhaben lassen.

Der Übergang von einer Gebäude-Bilanz zu Bauteil-Bilanzen ist ein wichtiger Schritt zur methodischen Vereinfachung. Im Konfigurator für das eco²building, wo die relevanten Informationen zu allen Bauteilen hinterlegt sind, wird jedoch das n-dimensionale Problem gelöst.

Als Beispiel sei wieder ein opakes Wandelement diskutiert. Seine idealisierten Lebenszyklus-Kosten als Funktion der Dämmstoffstärke sind in Abbildung 7 und Abbildung 8 dargestellt.

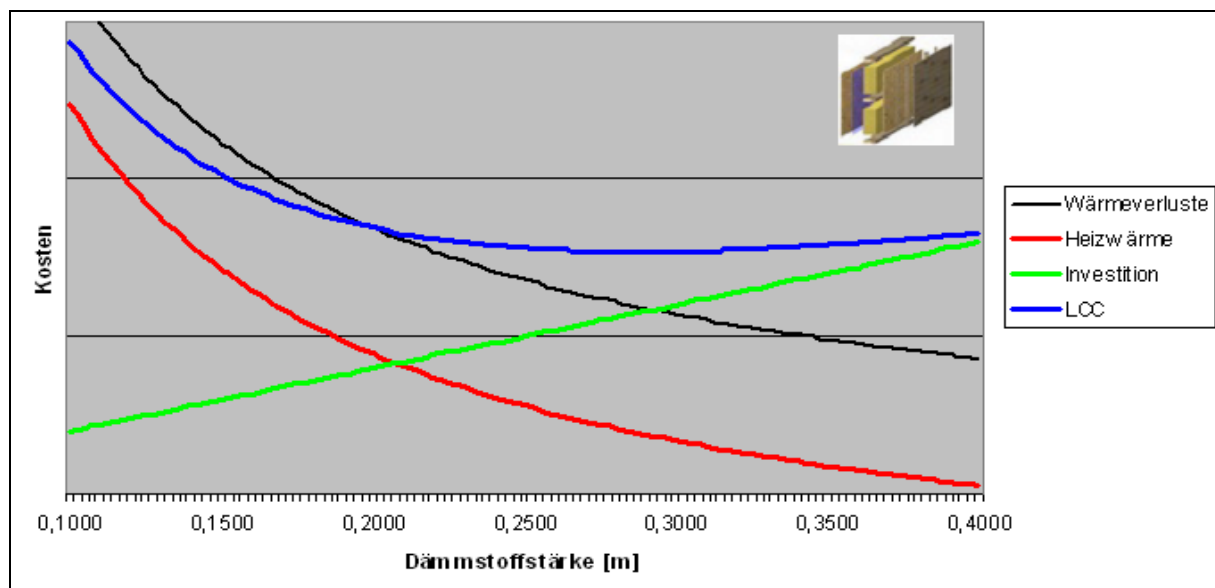


Abbildung 7: Schematische Darstellung der Lebenszyklus-Kosten eines Wandelements für den Fall „kleiner“ innerer Lasten

Die Heizkosten ergeben sich aus den Wärmeverlusten abzüglich der nutzbaren freien Wärme, sie besitzen die Form einer Hyperbel. Damit folgt für die Betriebskosten B_0 des ersten Jahrs:

$$B_0 = \left(\frac{\lambda}{D} G_t - \eta_G \cdot q_F \right) P_0$$

Mit der spezifischen Leitfähigkeit λ und Stärke D des Dämmstoffs sowie G_t Heizgradstunden am Standort, den nutzbaren Wärmegewinnen $\eta_G \cdot q_F$ und einem spezifischen Wärmepreis P_0 im ersten Jahr.

Dagegen steigen die kapitalgebundenen Kosten linear mit der Dämmstoffstärke.

$$A_N + Z_N = I \cdot D + S$$

Wobei I die spezifische Investition in den Dämmstoff darstellt und S einen Sockelbetrag. Für die optimale Dämmstoffstärke D^* ergibt sich damit die Bedingung:

$$\frac{d}{dD} \left(I \cdot D + S + N \cdot F_N \left(\frac{\lambda}{D} G_t - \eta_G q_F \right) P_0 \right) \bigg|_{D=D^*} = 0$$

mit der Lösung

$$D^* = \sqrt{\frac{\lambda \cdot G_t \cdot P_0 \cdot N \cdot F_N}{I}}$$

Dies gilt unter der Voraussetzung, dass das Gebäude bei der optimalen Wärmedämmung noch geheizt werden muss. Viele Produktionsstätten oder Rechenzentren besitzen jedoch so hohe innere Lasten, dass sie ganzjährig Kühlung benötigen. Dazwischen liegen die Fälle mit hohen inneren Lasten, die bei hinreichend gutem Wärmeschutz auf eine Heizung verzichten können. Diese Situation ist in Abbildung 8 dargestellt.

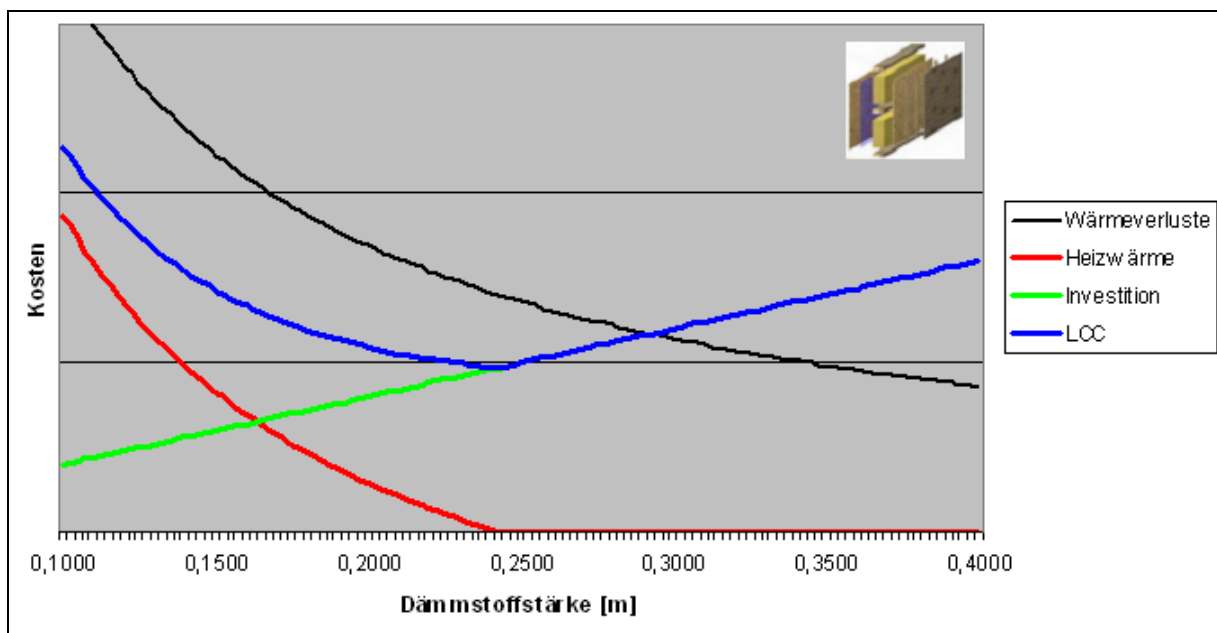


Abbildung 8: Schematische Darstellung der Lebenszyklus-Kosten eines Wandelements für den Fall „großer“ innerer Lasten

⁵ Die Verteilung der Gewinne auf einzelne Bauteile birgt eine gewisse Willkür, lässt sich aber konsistent gestalten.

Wenn keine Heizenergie mehr benötigt wird, verschwinden die Betriebskosten für Heizung (damit u.U. auch die Investition für ein eigenes System) – sie führen jedoch zu keiner Gutschrift⁶. Die korrekten Betriebskosten haben deshalb die Form:

$$\overline{B}_0 = \text{Max}(\text{€}_0, 0)$$

Dann ergibt sich im Fall hoher innerer Lasten für die optimale Dämmstärke die Bedingung:

$$B_0 = 0$$

mit der Lösung:

$$D^{**} = \frac{\lambda \cdot G_t}{\eta_G \cdot q_F}$$

5. Ergebnisse und Umsetzung

Für das stoffliche Inventar eines eco²building Wand- oder Deckenelements liefert die primärenergetische Optimierung:

$$U_{opt}(\text{Energie}) = 0,08 \frac{W}{m^2 K}$$

Die wirtschaftliche Optimierung unter der Annahme von 30 Jahren Nutzungszeit, 5% kalkulatorischem Zins und 7% Energiepreissteigerung führt dagegen auf:

$$U_{opt}(\text{Barwert}) = 0,17 \frac{W}{m^2 K}$$

Diese Ergebnisse sind unabhängig von der Nutzung der Gebäude und den damit verbundenen inneren Wärmequellen – wenn diese nur hinreichend klein sind, verschieben die inneren Quellen nicht die Lage des Optimums. Für große Quellen mit

$$\eta_G \cdot q_F \geq \sqrt{\frac{P_0 \cdot F_N}{I \cdot \lambda \cdot G_t}}$$

wird das Optimum allerdings zu größeren U-Werten verschoben. Für die Beispielhalle aus Kapitel 4 verschwindet der Heizwärmebedarf etwa bei 30 W/qm innerer Last. Hieraus erwächst eine weitere Unsicherheit, da die langfristige Perspektive der Nutzung, und die dabei verwendete Technologie nur schwer zu planen sind.

Noch im Rahmen des HOLIWOOD Projekts entstand das Logistik-Zentrum der Eine Welt Handel AG in Niklasdorf, Steiermark als Demonstrationsobjekt. Die vollständige LCA (12) und LCC (13) bestätigt die getroffenen Designentscheidungen weitgehend.

⁶ Die Nutzung von Prozesswärme zu Heizzwecken an einem anderen Ort ist natürlich eine anlagentechnische Option.

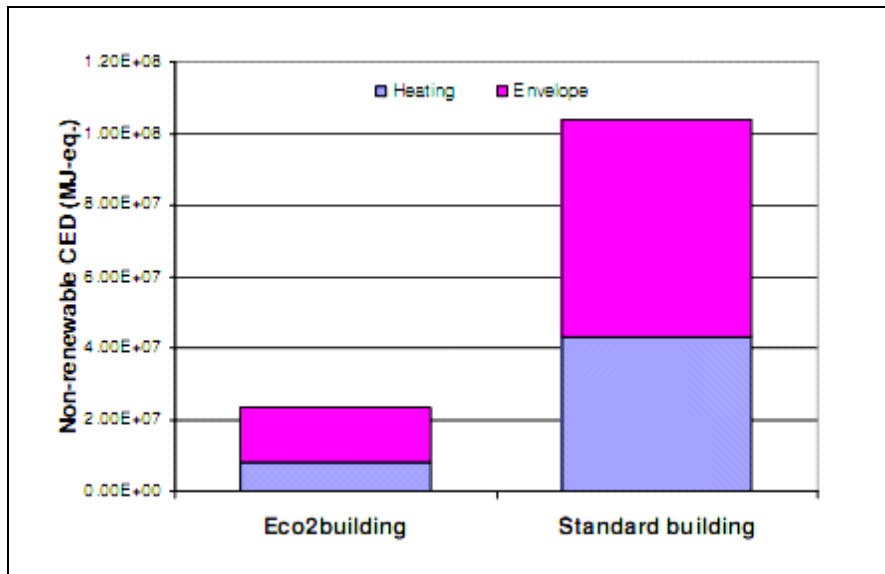


Abbildung 9: Vergleich der Primärenergiebilanz (nicht erneuerbar) für ein eco²building und eine konventionelle Halle gleicher Nutzung, aus (12)

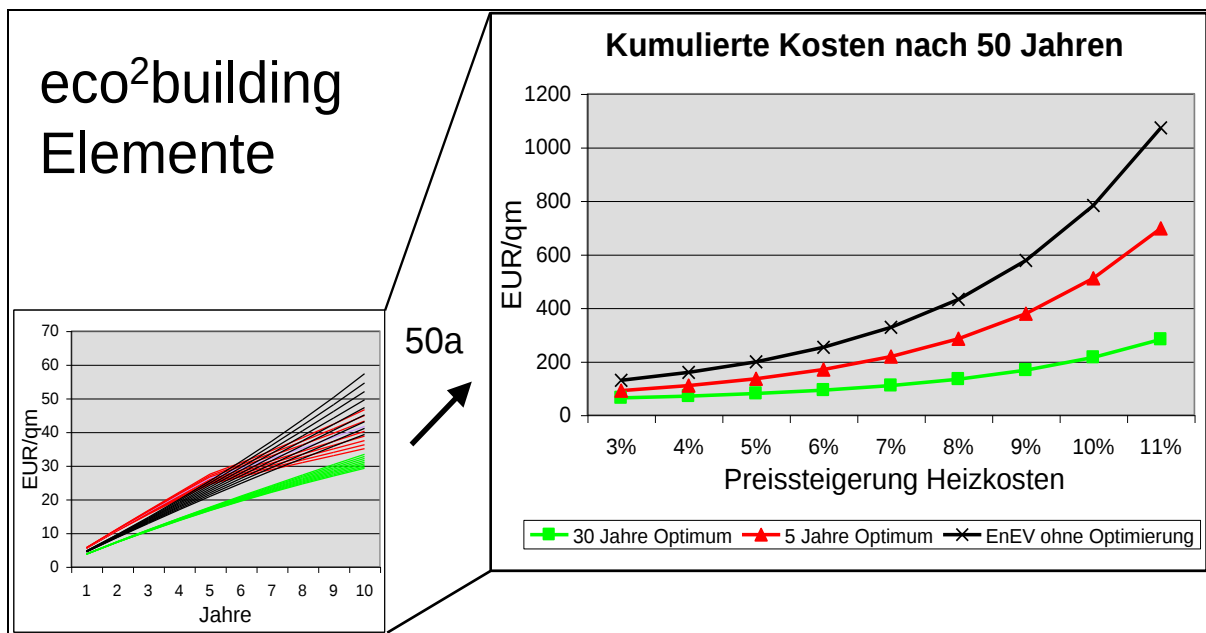


Abbildung 10: Szenarienentwicklung für unterschiedliche Preissteigerungsraten der Heizkosten

Die LCA Bilanzen zeigen die klare Überlegenheit des eco²building Systems sowohl bei der Errichtung wie auch im Betrieb.

Interessant ist dabei auch, dass, schon bei heutigen Energiepreisen, eine auf langfristige Nutzung optimierte Konstruktion ab dem ersten Betriebsjahr sowohl dem Mindeststandard als auch der auf kurzfristige Rentabilität optimierten Gebäudehülle überlegen ist. Der Grund für das relativ schlechte Abschneiden des letztgenannten Ansatzes sind die hohen jährlichen Abschreibungen, die bei einer kurzen Nutzungszeit anfallen.

6. Diskussion

Die Kosten für Energie gewinnen auch im kommerziellen Bereich an Bedeutung, deshalb ist es wichtig, dass der Aspekt Ressourcenverbrauch bei Neubau und Modernisierung planerisch systematisch behandelt wird. Hierfür sind LCA und LCC die adäquaten Werkzeuge. Damit die Ergebnisse dieser Untersuchungen auch entscheidungsrelevant werden, ist es jedoch notwendig, dass Bauherrschaft und Planer eine gemeinsame Sicht auf das Gebäude als langlebiges Investitionsgut entwickeln.

Aus Sicht der LCA ist ein Holzbau der ideale Startpunkt für ein Gebäude, da er die Syntheseleistung der Natur würdigt und das im Holz gebundene CO₂ auf lange Frist weiterhin fixiert. Damit dieser Vorteil auch während der Nutzungsphase erhalten bleibt, bedarf es auch eines energieeffizienten Betriebs.

Die Vorgabe von konkreten Planungszielen für den Heizwärmebedarf ist der einfachste Weg zu einem für alle Parteien gelungenen Projekt. Voraussetzung hierfür ist allerdings, dass man sich methodisch auf sicherem Grund bewegt. Das Planungsziel XYZ-Passivhaus ist eine leere Worthülse, da XYZ-Passivhäuser nicht definiert sind. Fixe Planungsziele bergen darüber hinaus die Gefahr, dass Schwierigkeiten wie mangelnder Platz durch Baugrenzen oder Wärmebrücken zu anschließenden Bestandsbauten durch unwirtschaftliche Maßnahmen kompensiert werden.

Der Ansatz, sich auf diejenigen Verbesserungen gegenüber dem Mindeststandard mit dem größten Effekt auf die Betriebskosten zu konzentrieren, ist weit verbreitet, glänzt er doch, für sich betrachtet, durch eine „hohe Wirtschaftlichkeit“ mit kurzen Amortisationszeiten. Besonders im öffentlichen Bereich hört man häufig das Argument: „Mit dem Geld für eine hochwertige Ausführung können wir drei weitere Objekte nach bewährtem Standard sanieren.“ Der Effekt sind jedoch vier Gebäude, die für die nächsten etwa 30 Jahre hohe Kosten verursachen. Die entscheidende Frage ist nicht die nach der Rentabilität einer Einzelmaßnahme, sondern ob das gesamte Gebäude wirtschaftlich betrieben werden kann.

Das wirtschaftliche und ökologische Optimum stellt sich nicht zufällig ein, es will geplant werden. Hierfür ist eine angemessene Investition notwendig – wird zu wenig investiert, dominieren die Betriebskosten, wird zu viel investiert, lassen sich Zins und Abschreibung auch nicht durch verschwindende Betriebskosten schön rechnen.

Unsere Untersuchungen führen auf vier zentrale Aussagen für Bauaufgaben:

1. Errichtung und Betrieb tragen in optimierten Gebäuden gleichberechtigt zur Lebenszyklus-Bilanz bei. Für eine fundierte Entscheidungsfindung müssen beide berücksichtigt werden.
2. Schwierigkeiten und daraus resultierende „suboptimale“ Lösungen, die nicht das Niveau der anderen Bauteile aufweisen, können als solche akzeptiert werden, da sie unter den gegebenen Bedingungen die beste Lösung darstellen. Dies hat keine Auswirkungen auf die optimale Gestaltung der anderen Maßnahmen. Kompensationen zum Erreichen eines Energiekennwerts oder eines mittleren U-Werts sind in diesem Kontext kontraproduktiv.
3. Das wirtschaftliche und das ökologische Optimum ergeben gemeinsam eine Entscheidungsgrundlage. Da die Minima sehr flach sind, finden sich oft gute und baupraktisch umsetzbare Kompromisse zwischen den exakt errechneten Punkten. Zur Risikobewertung können auch Szenarienrechnungen durch Variation von kalkulatorischem Zins und Teuerungsrate sinnvoll sein.
4. Wer die Lebenszyklus-Kosten minimiert, hat auch ab dem ersten Betriebsjahr die geringsten Kosten.

7. Ausblick

Ab 2019 sollen nach einem Beschluss des EU Parlaments (20090422IPR54280) alle neu errichteten (und grundlegend modernisierten?) Gebäude einen Null-Energie-Standard erfüllen, "where, as a result of the very high level of energy efficiency of the building, the overall annual primary energy consumption is equal to or less than the energy production from renewable energy sources on site". Auch wenn die technischen Regeln hierfür noch nicht vorliegen, ist klar, dass es sich um eine bilanzielle Null-Energie handeln wird, bei der Gutschriften für regenerative Energieerzeugung (Strom) den Primärenergiebedarf aus dem Betrieb des Gebäudes kompensieren.

Dies wirft eine Reihe sehr interessanter technischer, organisatorischer und Bewertungs-Fragen auf, die in den kommenden neun Jahren geklärt werden müssen. Bei der Planung und dem Betrieb von Gebäuden rückt mit der Verpflichtung zur Nutzung regenerativer Energien die Investitionsphase noch weiter in den Vordergrund. Ein niedriger Energiekennwert wird zwar eine notwendige Bedingung dafür sein, dass auf einem Grundstück genügend regenerative Energie für eine ausgeglichene Bilanz geerntet werden kann. Er wird aber kein Entscheidungskriterium mehr darstellen.

Entscheidungen werden zukünftig zunehmend anhand der Lebenszyklus-Bilanzen getroffen. Für die Zukunft bedarf es deshalb alltagstauglicher Methoden und Entscheidungsträger, die mit langen Zeithorizonten umgehen können.

8. Danksagung

Diese Arbeit wurde von der EU im Rahmen des Projekts HOLIWOOD unter der Projekt Nummer NMP2-CT-2005-011799 unterstützt.

9. Literatur

- [1] PHPP 2007 (2007), Passivhaus Projektierungs Paket 2007, 7. Auflage, Passivhaus Institut Darmstadt.
- [2] Baumann, H. and A.-M. Tillman (2004), The Hitch Hiker's Guide to LCA – An orientation in life cycle assessment methodology and application., Studentliteratur, Chalmers University.
- [3] Frischknecht, R., N. Jungbluth, et al. (2003), Overview and Methodology. Finalreport ecoinvent 2000 No. 1. Dübendorf, CH, Swiss Centre for Life Cycle Inventories. Available from: http://www.ecoinvent.ch/download/01_OverviewAndMethodology.pdf.
- [4] Frischknecht, R., N. Jungbluth, et al. (2004), Arbeitspapier: Qualitätsrichtlinien ecoinvent 2000. Dübendorf, CH, Swiss Centre for Life Cycle Inventories.
- [5] Frischknecht, R., N. Jungbluth, et al. (2005), The ecoinvent database: Overview and methodological framework, International Journal of Life Cycle Assessment 10(1): 3-9.
- [6] Frischknecht, R., N. Jungbluth, et al. (2003), Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods. Final report ecoinvent 2000 No.3. Dübendorf, Switzerland, Swiss Centre for Life Cycle Inventories: Online version under: www.ecoinvent.ch.
- [7] Guinée, J. B. (2002), Handbook on Life Cycle Assessment, Operational Guide to the ISO Standards. Part 1 to 3. Online-Version (not printable!) at: <http://www.leidenuniv.nl/cml/ssp/projects/lca2/lca2.html>
- [8] ISO 14040 (2006). Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework, International Organisation for Standards, Geneva, available at <http://www.iso.org>.
- [9] ISO 14044 (2006). Environmental Management - Life Cycle Assessment - Requirements and Guidelines, International Organisation for Standards, Geneva, available at <http://www.iso.org>.
- [10] Herzog, K. (2005), Lebenszykluskosten von Baukonstruktionen. Entwicklung eines Modells und einer Softwarekomponente zur ökonomischen Analyse und Nachhaltigkeitsbeurteilung von Gebäuden. Dissertation TU Darmstadt.
- [11] Götze, U. (2006), Investitionsrechnung. Modelle und Analysen zur Beurteilung von Investitionsvorhaben. Springer, Berlin.
- [12] Caduff, M. (2009), Deliverable Report D78: Life Cycle Assessment (LCA) of the developed products – Annex 3: LCA report on eco²building, EU Kommission, Brüssel
- [13] Reiterer, D. (2009), Life Cycle Kosten Analyse von Gewerbebauten anhand des eco²building Demonstrationsobjekts der Eine Welt Handel AG in Niklasdorf, Master Thesis FH Wiener Neustadt Campus Woieselburg.