

# EFFIZIENZSTRATEGIEN FÜR GROßE, KOMMERZIELL GENUTZTE GEBÄUDE

Prof. Dr. Claus Kahlert  
ebök Institut für angewandte Effizienzforschung GmbH  
Schellingstraße 4/2, D-72072 Tübingen  
Tel. +49-7071 / 9394 0, Fax: DW -99  
E-Mail: claus.kahlert@eboek.de

## 1 Einleitung

Der Passivhaus-Standard wird auch bei Modernisierungen immer häufiger angestrebt und erreicht. Überwiegend geschieht dies allerdings im Wohnungsbau. Dagegen besitzen Passivhäuser im Bereich der kommerziellen Gebäude noch Seltenheitswert. Ein Grund hierfür mag sein, dass sich nur wenige kommerzielle Bauherrschaften einer nachhaltigen Bauweise verpflichtet fühlen. Die entscheidende Ursache liegt jedoch in einem methodischen Vakuum. Die Passivhaus-Kriterien sind so eng mit den Parametern des mitteleuropäischen Wohnungsbaus verknüpft, dass wohnähnliche Nutzungen wie Büros oder Schulen noch in dem Schema unter kommen; für großvolumige Hallen, die für Logistik, Lager oder Produktion genutzt werden, ist allerdings keines der gängigen Passivhaus-Kriterien ein ernsthaftes Planungsziel.

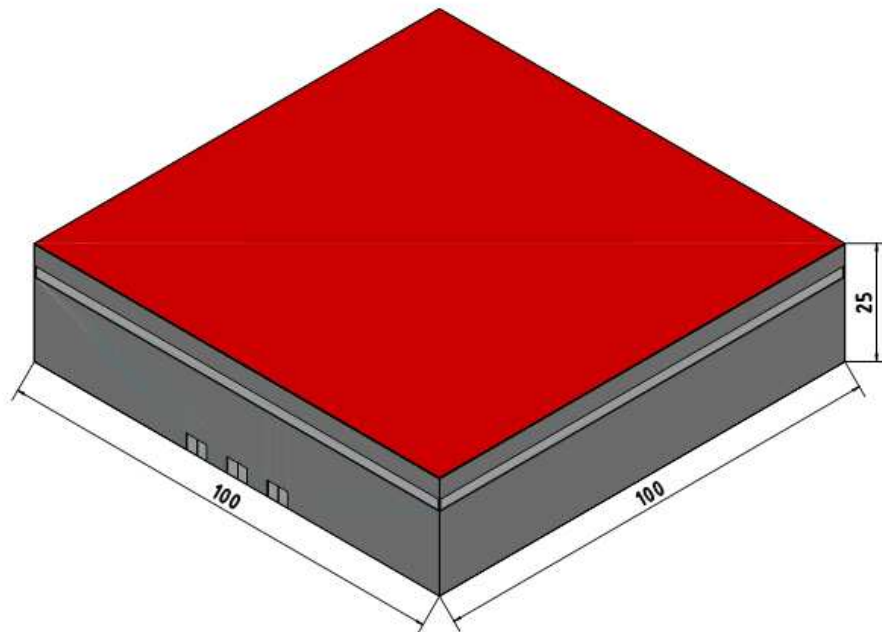


Abbildung. 1 – Eine Halle mit 10.000 qm als Beispiel für ein großes kommerzielles Gebäude

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

Formal ist es die „fehlende Fläche“ 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.<sup>1</sup>

Damit erhebt sich die Frage, wie sich auch für solche kommerziellen Gebäude Energieeffizienz bewerten lässt und welche Umsetzungsstrategie daraus resultiert.

Die erste und vielleicht wichtigste Frage vor einer Modernisierung sollte jedoch sein, ob das Gebäude zur vorgesehenen Nutzung passt und welche Optionen zur Geometrieänderung es bietet (Atrienbildung, Begradigung der Fassade, Verglasungsanteil, ...).

## 2 Effizienzkriterien und Strategien

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 eine Vielzahl von 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.

Für unsere Fragestellung, die Energieeffizienz bei der Modernisierung von Gebäuden, wollen wir ein paar vereinfachende Annahmen treffen.

- Die Betrachtung beschränkt sich auf Raumwärme. Andere Energieformen wie Kühlung oder Prozesswärme werden hier nicht explizit diskutiert.
- Als Ökoindikatoren werden nur die Primärenergie bzw. die CO<sub>2</sub> Emissionen aus dem Betrieb betrachtet.
- Der Betrachtungszeitraum sei ein Nutzungszyklus von *N* Jahren, nach dem die Modernisierungsmaßnahme vollständig abgeschlossen ist. Damit müssen keine Annahmen über den Restwert sowie die nächste Modernisierung getroffen werden. Für viele Branchen ist *N* = 30 eine vernünftige Annahme, dann fallen die steuerliche und betriebswirtschaftliche Abschreibung etwa zusammen.

<sup>1</sup> 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.

- 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 die Modernisierung und dem Heizwärmebedarf  $Q_H$  mit der Primärenergie-Aufwandszahl  $e_p$  nach der Modernisierung.

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.

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

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

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

Damit ergibt sich für die Gesamtkosten  $K_N$  nach  $N$  Jahren<sup>2</sup>:

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

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

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 geplanten Modernisierungsmaßnahmen bewerten und daraus Entscheidungsgrundlagen ableiten.

<sup>2</sup> 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“.

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

## 2.1 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 Investition<sup>3</sup>, 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 PU Dämmung (oder VIP) an einer Fassade bei der die Dämmstärke durch äußere Faktoren begrenzt ist.
- Eine tiefere Perimeterdämmung anstelle einer Dämmung der Bodenplatte, die bei Modernisierungen häufig sehr schwierig ist.
- ....

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.

## 2.2 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 zu minimieren.

Startpunkt ist eine nach Kapitel 0 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 die Modernisierung 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 offenen Fenstern.
4. ...

Ein idealisiertes Beispiel ist in Abbildung 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.

---

<sup>3</sup> 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.

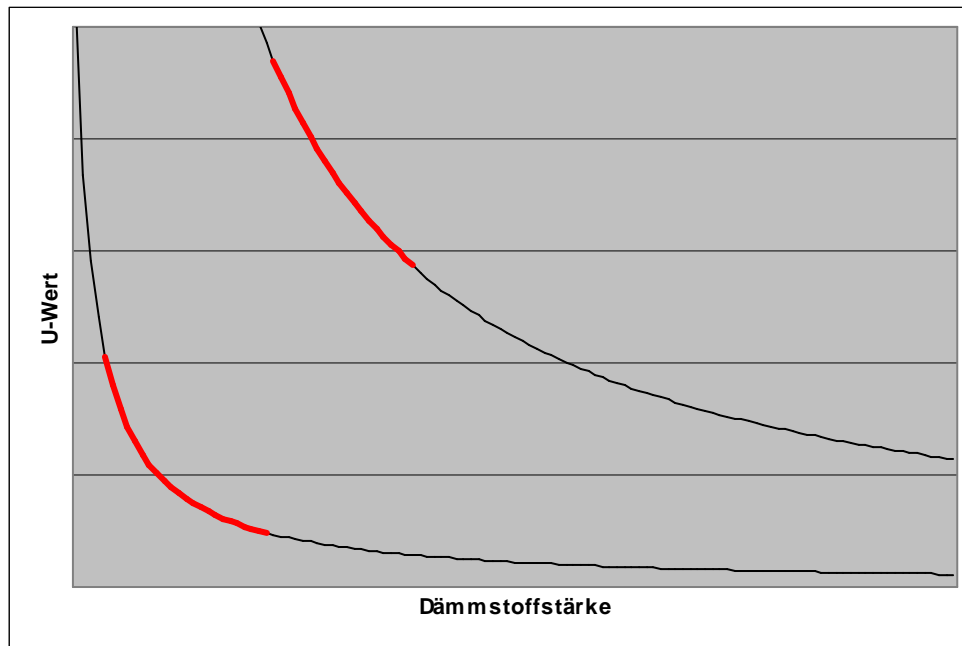


Abbildung. 2 – Schematische Darstellung der U-Werte von zwei opaken Bauteilen als Funktion der Dämmstoffstärke. Die hervorgehobenen Abschnitte der Hyperbeln repräsentieren „lohnende Verbesserungen“.

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

## 2.3 Optimierung des Lebenszyklus

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

### 2.3.1 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 gemäß Kapitel 0. Durch Variation aller verwendeten Qualitäten kann nun nach dem Optimum, den minimalen Lebenszyklus-Kosten, gesucht werden.

Die Suche lässt sich automatisieren, 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  $Q_F/Q_V$  und den daraus abgeleiteten Ausnutzungsgrad  $\eta_G$  für die Wärmegewinne erfolgt die Kopplung zwischen den Parametern. In der Nähe des Optimums kann  $\eta_G$  in guter Näherung als konstant angesehen werden. Damit separiert die Bilanz des Gesamtgebäudes in  $n$  Bauteil-Bilanzen, die sich einfach handhaben lassen. Damit wird die Optimierung zur Fleißaufgabe.

Als Beispiel sei wieder eine opake Wand diskutiert. Ihre Lebenszyklus-Kosten als Funktion der Dämmstoffstärke sind in Abbildung. und Abbildung. dargestellt.

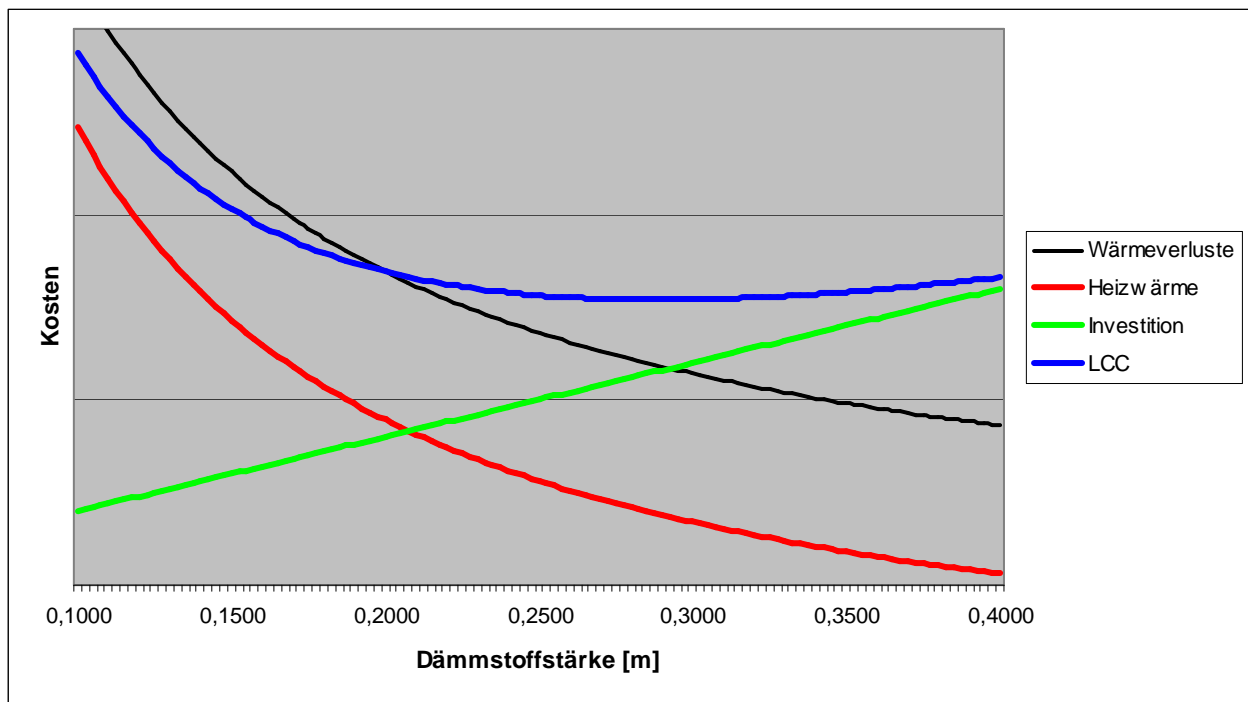


Abbildung. 3 – Schematische Darstellung der Lebenszyklus-Kosten einer Wand für den Fall „kleiner“ innerer Lasten.

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  $\lambda$  und Stärke  $D$  des Dämmstoffs sowie  $G_t$  Heizgradstunden am Standort, den nutzbaren Wärmegewinnen  $\eta_G \cdot q_F$ <sup>4</sup> 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:

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

mit der Lösung

<sup>4</sup> Die Verteilung der Gewinne auf einzelne Bauteile birgt eine gewisse Willkür, lässt sich aber konsistent gestalten.

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

Dies gilt unter der Voraussetzung, dass das Gebäude bei der optimalen Wärmedämmung noch geheizt werden muss. Viele Produktionsstätten und oder Rechenzentren haben 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. dargestellt.

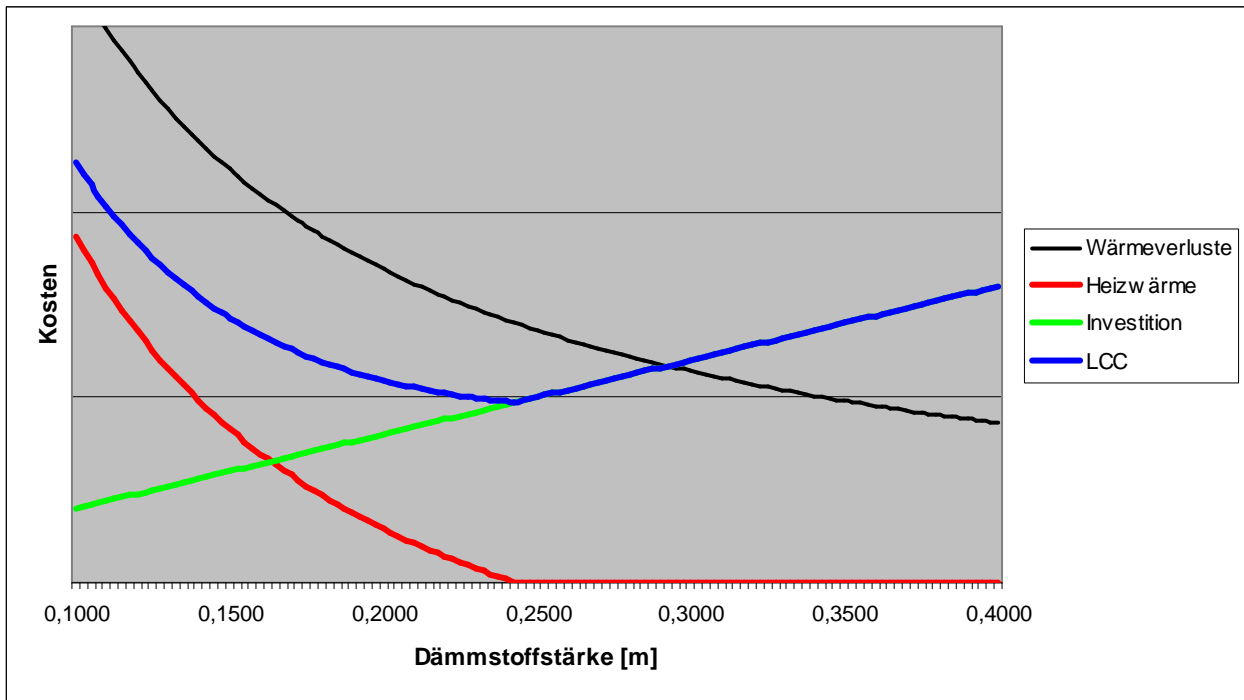


Abbildung. 4 – Schematische Darstellung der Lebenszyklus-Kosten einer Wand für den Fall „großer“ innerer Lasten.

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 Gut-schrift<sup>5</sup>. Die korrekten Betriebskosten haben deshalb die Form:

$$\bar{B}_0 = \text{Max}(B_0, 0)$$

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

$$B_0 = 0$$

mit der Lösung:

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

<sup>5</sup> Die Nutzung von Prozesswärme zu Heizzwecken an einem anderen Ort ist natürlich eine anlagentechnische Option.

### 2.3.2 Ergebnisse

Für das im Rahmen des EU Projekts HOLIWOOD entwickelte Holzbau-System wurde am Beispiel des Demonstrationsobjekts, dem Logistik-Zentrum der Eine Welt Handel AG in Niklasdorf, Steiermark eine vollständige LCA (12) und LCC (13) durchgeführt. Das Ergebnis der Bauteiloptimierung hängt dabei stark von der Kriterienauswahl ab. Während sich für die primärenergetische Optimierung ein

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

ergibt, kommt die wirtschaftliche Optimierung unter der Annahme von 30 Jahren Nutzungszeit, 5% kalkulatorischem Zins und 7% Energiepreissteigerung zu einem

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

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 0 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.

### 3 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. Dies setzt voraus, dass Bauherrschaft und Planer eine gemeinsame Sicht auf das Gebäude als langlebiges Investitionsgut entwickeln.

Die Vorgabe von konkreten Planungszielen 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. Bei Modernisierungen bergen fixe Planungsziele darüber hinaus die Gefahr, dass Schwierigkeiten wie denkmalgeschützte Fassaden oder Wärmebrücken an erdberührten Bauteilen durch unwirtschaftliche Maßnahmen kompensiert werden.

Der Ansatz, sich auf Modernisierungs-Maßnahmen 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 Modernisierung 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 drei zentrale Aussagen für Modernisierungen:

1. 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.
2. 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.
3. Wer die Lebenszyklus-Kosten minimiert, hat auch ab dem ersten Betriebsjahr die geringsten Kosten.

#### 4 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.

#### 5 Literatur

**PHPP 2007** (2007), Passivhaus Projektierungs Paket 2007, 7. Auflage, Passivhaus Institut Darmstadt.

**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.

**Frischknecht, R., N. Jungbluth, et al.** (2003), Overview and Methodology. Final report ecoinvent 2000 No. 1. Duebendorf, CH, Swiss Centre for Life Cycle Inventories. Available from: [http://www.ecoinvent.ch/download/01\\_OverviewAndMethodology.pdf](http://www.ecoinvent.ch/download/01_OverviewAndMethodology.pdf).

**Frischknecht, R., N. Jungbluth, et al.** (2004), Arbeitspapier: Qualitätsrichtlinien ecoinvent 2000. Dübendorf, CH, Swiss Centre for Life Cycle Inventories.

**Frischknecht, R., N. Jungbluth, et al.** (2005), The ecoinvent database: Overview and methodological framework, International Journal of Life Cycle Assessment 10(1): 3-9.

**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](http://www.ecoinvent.ch).

**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>

**ISO 14040** (2006). Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework, International Organisation for Standards, Geneva, available at <http://www.iso.org>.

**ISO 14044** (2006). Environmental Management - Life Cycle Assessment - Requirements and Guidelines, International Organisation for Standards, Geneva, available at <http://www.iso.org>.

**Herzog, K.** (2005), Lebenszykluskosten von Baukonstruktionen. Entwicklung eines Modells und einer Softwarekomponente zur ökonomischen Analyse und Nachhaltigkeitsbeurteilung von Gebäuden. Dissertation TU Darmstadt.

**Götze, U.** (2006), Investitionsrechnung. Modelle und Analysen zur Beurteilung von Investitionsvorhaben. Springer, Berlin.

**Caduff, M.** (2009), Deliverable Report D78: Life Cycle Assessment (LCA) of the developed products – Annex 3: LCA report on eco<sup>2</sup>building, EU Kommission, Brüssel

**Reiterer, D.** (2009), Life Cycle Kosten Analyse von Gewerbebauten anhand des eco<sup>2</sup>building Demonstrationsobjekts der Eine Welt Handel AG in Niklasdorf, Master Thesis FH Wiener Neustadt Campus Woieselburg.

## **Danksagung**

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