



Parameterstudien als energetisch-wirtschaftliche Optimierungsmethode der Lebenszykluskosten

T. Hatt, M. Ploss, T. Roßkopf, C. Schneider

Energieinstitut Vorarlberg, Dornbirn, Österreich

ABSTRACT:

The general opinion prevails that energy efficiency measures in buildings are not cost-effective because they increase the construction costs and therefore the initial investment costs. However, for assessing the cost effectiveness of a measure, all costs within the whole life cycle have to be considered. For the comparison of the life cycle costs of only a few variants are already IT-tools available. But the number of variants that can be calculated with these tools are often limited, respectively it is very complex and time-consuming to calculate several variants (>10). The consideration of national funding models within these tools also only is possible to a limited extend.

Within the research project KliNaWo a method was developed at the energy institute of Vorarlberg to calculate the life cycle costs of thousands of variants and to consider all kinds of national funding models. The general approach is:

1. Determination of the varying parameters and their standards e.g. quality of the building envelope, heating system, size and quality of the windows
2. Automated energy demand calculation with the passive house planning package (PHPP, energy balance and planning tool for efficient buildings and refurbishments) as a validated calculation method in combination with VBA macros
3. Modular tender for estimating the costs of each varied component
4. Calculation of the life cycle costs of each variant in consideration of the funding
5. Interpretation and result presentation

In contrast to other optimization approaches all possible combinations are formed and interpreted according to the brute-force-method, i.e. all standards (i) of each parameter (n) are crossed with each other. The result is n^i variants and the advantage is to have all statistical information on the distribution of the different variants. The KliNaWo project had approximately 147,000 possible combinations. The calculation is guaranteed by the automatization of the Excel based PHPP, which calculates the energy balance in nearly real time.

The main result of this article is the presentation of a method for the energetic-economic optimisation of the life cycle costs of buildings based on multifactorial parameter variation. With this method the costs for initial investment, financing, funding, operation, maintenance and replacement are considered over the entire life cycle of a building and calculated for thousands of theoretical variants. The successful implementation of this method was shown in a first application within the research project KliNaWo where the most economic variant over the life cycle was found. By studying the whole parameter space and not only scattered variants it was shown, that the cost optimum is located on a very flat curve and therefore many variants can be considered as cost-effective. The method of life cycle consideration should be used more often in the planning of buildings in future, because it has proven to be useful.



1. EINFÜHRUNG

Es herrscht oft die Meinung, dass Energieeffizienzmaßnahmen bei Gebäuden unwirtschaftlich sind, weil sie am Beginn die Errichtungskosten und somit die Erstinvestitionskosten erhöhen. Bei der Kostenbetrachtung wird die Lebensphase nach Baufertigstellung oft nicht oder nur unzureichend berücksichtigt. Meist werden bei Bauprojekten nur die Investitionskosten der Errichtung des Gebäudes betrachtet und anhand dieser auf die Wirtschaftlichkeit eines Projekts geschlossen. Somit werden die Folgekosten nicht mit in die Betrachtung aufgenommen. Diese Folgekosten sind aber, je nach Variante stark unterschiedlich. Es sind Kosten wie Ersatzinvestitionen, Wartung, Betriebskosten für Heizung, Warmwasser, Hilfsstrom und Haushaltsstrom. Will man die Gesamtwirtschaftlichkeit einer Maßnahme beurteilen, sollte man sämtliche Kosten während des Lebenszyklus des Gebäudes berücksichtigen.

Kostenoptimale Lösungen sind laut der EU-Gebäuderichtlinie (Europäische Union, 2010) Lösungen, welche die niedrigsten Kapitalwerte über den Lebenszyklus des Gebäudes aufweisen. Zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit sollen also sämtliche Kostenkomponenten berücksichtigt werden wie es auch in anderen Studien wie in (Boermans et al., 2011; Hatt, 2012; Hofer & Herzog, 2011; Ploss et al., 2013) beschrieben ist.

In der Praxis stellt es sich oft so dar, dass die Planerin oder der Planer eine Variante ausarbeitet, einen Energieausweis berechnet, eventuell ein Bauteil optimiert um Kriterien zu erfüllen und eine Kostenermittlung durchführt. Auf eine monetäre Beurteilung der Energiekennwerte über den Lebenszyklus wird meist verzichtet, auch wenn dies aufbauend auf den Ergebnissen des Energieausweises ohne allzugroßen Aufwand möglich ist. Die Ermittlung der Investitionskosten verschiedener Varianten hingegen ist meist mit einem erhöhtem Aufwand verbunden, da verschiedene Preise am Markt nachgefragt werden müssen.

Für den Vergleich einiger weniger Varianten gibt es bereits EDV Hilfsmittel wie z.B. econ calc (Energieinstitut Vorarlberg, 2016), PHeco im PHPP (Passivhaus Institut, 2015) oder dynamische Simulationsprogramme wie z.B. EnergyPlus (U.S. Department of Energy, 2016), mit welchen die Lebenszykluskosten berechnet werden können. Oft ist hierbei die Anzahl der zu berechnenden Varianten stark beschränkt bzw. ist es sehr komplex und zeitaufwändig mehr als eine Handvoll Varianten zu berechnen. Auch die Berücksichtigung nationaler Fördermodelle ist mit den meisten dieser Programme nur bedingt möglich.

Damit man das Optimum, oder die Optima an Lösungen findet, welche zu den geringsten Lebenszykluskosten führen, muss oft eine Vielzahl an Varianten gerechnet werden, da sich die verschiedenen Parameter oft gegenseitig beeinflussen und dadurch nicht unabhängig sind. So kann in einem Neubau in Passivhausstandard mit einer sehr effizienten Hülle z.B. ein kleineres Heizsystem installiert werden als in einem unsanierten Altbau. Noch komplexer wird es diese Wechselwirkungen vorherzusagen, wenn zusätzlich die Betriebskosten berücksichtigt werden. Damit man diese Optima gezielt finden kann werden vor allem im Forschungsbereich die Energiebedarfs- und Lebenszykluskostenberechnungen meist in komplexen Studien automatisiert wie z.B. in Studien von (Wetter, 2004; Zhang, 2012) beschrieben ist.

Es stellt sich die Frage: Kann man mit einer Vielzahl von Planungsvarianten ein Gebäude über den Lebenszyklus energetisch und wirtschaftlich optimieren und dabei auf bestehende PHPP oder Energieausweisberechnungen zurückgreifen, damit der Eingabeaufwand begrenzt bleibt und das Verfahren so häufiger anwendbar ist?



2. METHODE

Im Rahmen des Forschungsprojekts KliNaWo „**Klimagerechter, Nachhaltiger Wohnbau**“, dessen Ergebnisse in dem Tagungsbeitrag „Energieeffizienz ist wirtschaftlich! Zwischenergebnisse des Vorarlberger Forschungsprojekts KliNaWo“ (Ploss & Hatt, 2016) präsentiert werden, wurde am Energieinstitut Vorarlberg (EIV) eine Methode entwickelt um die Lebenszykluskosten zigtausender Varianten zu berechnen und hierbei die verschiedensten nationalen Fördermodelle zu berücksichtigen. Die grobe Vorgehensweise hierbei ist wie auch in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** dargestellt:

- Entwurf, erste Voroptimierung und festlegen von Zielgrößen.
- Festlegen der zu variierenden Parameter und ihrer Niveaus z.B. Hüllqualität, Heizsystem, Fenstergröße und –qualität.
- Automatisierte Energiebedarfsberechnungen mit dem PHPP als validierten Rechenkern und VBA Makros.
- Modulare Ausschreibung zur Kostenermittlung jeder variierten Komponente.
- Berechnung der Lebenszykluskosten jeder Variante unter Berücksichtigung der Förderung, Wartung, Ersatzinvestitionen und des Restwertes...
- Auswertung und Ergebnisdarstellung.

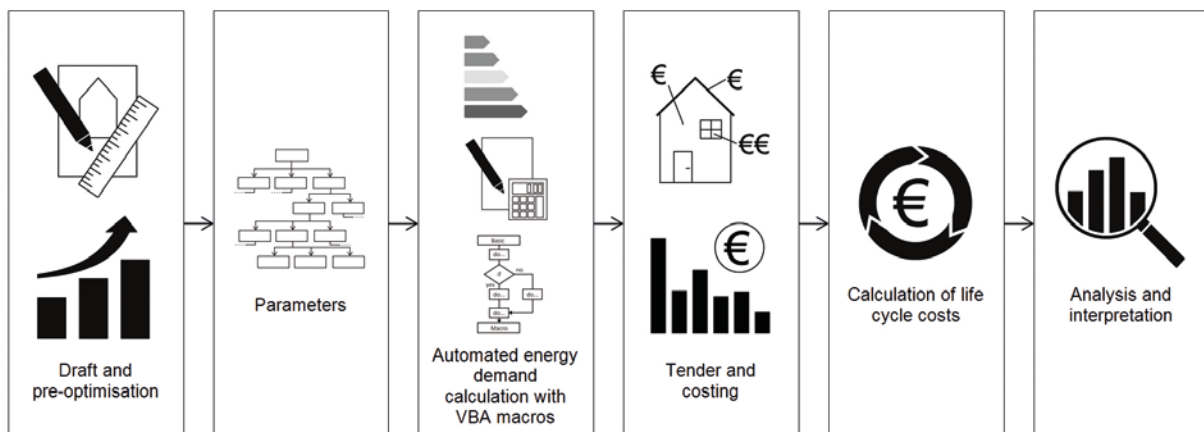


Abb. 1: Schematische Darstellung der Vorgehensweise zum Ermitteln der kostenoptimalen Lösung (Quelle: Eigene Darstellung).

Die einzelnen Punkte werden in den nachfolgenden Unterkapiteln genauer beschrieben.

2.1 ENTWURF, ERSTE VOROPTIMIERUNG UND FESTLEGEN VON ZIELGRÖßEN UND RANDBEDINGUNGEN

In einem ersten Schritt erfolgen die Definition und das Festlegen der Zielgrößen. Dies bedeutet, dass zwischen den Beteiligten beschlossen wird, welche Ergebnisse erreicht werden sollen, und nach welchen Kriterien optimiert werden soll. Ein Kriterium sind zum Beispiel die Lebenszykluskosten. Man kann beschließen, dass zu 100% nach diesen optimiert werden soll und dann die wirtschaftlichste Variante bauen. Es können aber auch mehrere Kriterien herangezogen werden, wie z.B. die Lebenszykluskosten und die Umweltauswirkung des Gebäudebetriebs. Somit kann dann aus den wirtschaftlichsten Varianten diejenige ausgewählt werden, welche z.B. das geringste globale Erwärmungspotenzial aufweist. Diese Festlegung zu Beginn des Projektes ist sinnvoll, damit alle Beteiligten dieselben Zielgrößen optimieren und es später im weiteren Projektfortschritt zu keinen Konflikten kommt. Im KliNaWo Projekt wurde beschlossen, dass das auszuwählende Projekt zuerst alle gesetzlichen Rahmenbedin-



gungen erfüllen muss, insbesondere die Anforderungen der Bautechnikverordnung Vorarlberg, und danach wurden als Zielgröße die Lebenszykluskosten ausgewählt. Ansonsten wurden bis auf Wohnungsanzahl und einige andere Parameter keine festen Werte angesetzt. Es sollte sich über die Lebenszykluskosten entscheiden, welche Variante am Schluss umgesetzt wird.

In einem nachfolgenden Schritt werden gemeinsam in Abstimmung mit den Beteiligten die Annahmen und Randbedingungen für die Berechnungen festgelegt. Diese sind unter anderem die Länge des Betrachtungszeitraums, Zinsniveau, Eigenkapital, anzusetzende Innenraumtemperaturen, anzusetzende Warmwassermenge, Haushaltsstrombedarf, Energietarife, Energiepreissteigerung und die Inflationsrate. Für die Ermittlung von Ersatzinvestitionen und Restwerten müssen für die einzelnen Bauteile Lebensdauern und für Wartungsarbeiten entsprechende Wartungsintervalle und -kosten festgelegt werden.

Nach der Definition der Zielgrößen oder parallel dazu erfolgt ein erster architektonischer Entwurf, welcher die Randbedingungen des Auftraggebers berücksichtigt. Dieser Entwurf wird dann, wie im Tagungsband in dem Beitrag "Energieeffizienz ist wirtschaftlich!" beschrieben, durch ein multidisziplinäres Planer Team voroptimiert. Die Optimierung erfolgt unter Berücksichtigung der Zielgrößen, aber ohne bereits hinterlegte Berechnungen.

2.2 FESTLEGEN DER ZU VARIIERENDEN PARAMETER UND IHRER NIVEAUS

Nachdem die Annahmen, Randbedingungen und der erste Entwurf festgelegt wurden, können die zu variierenden Parameter und ihre Niveaus definiert werden.

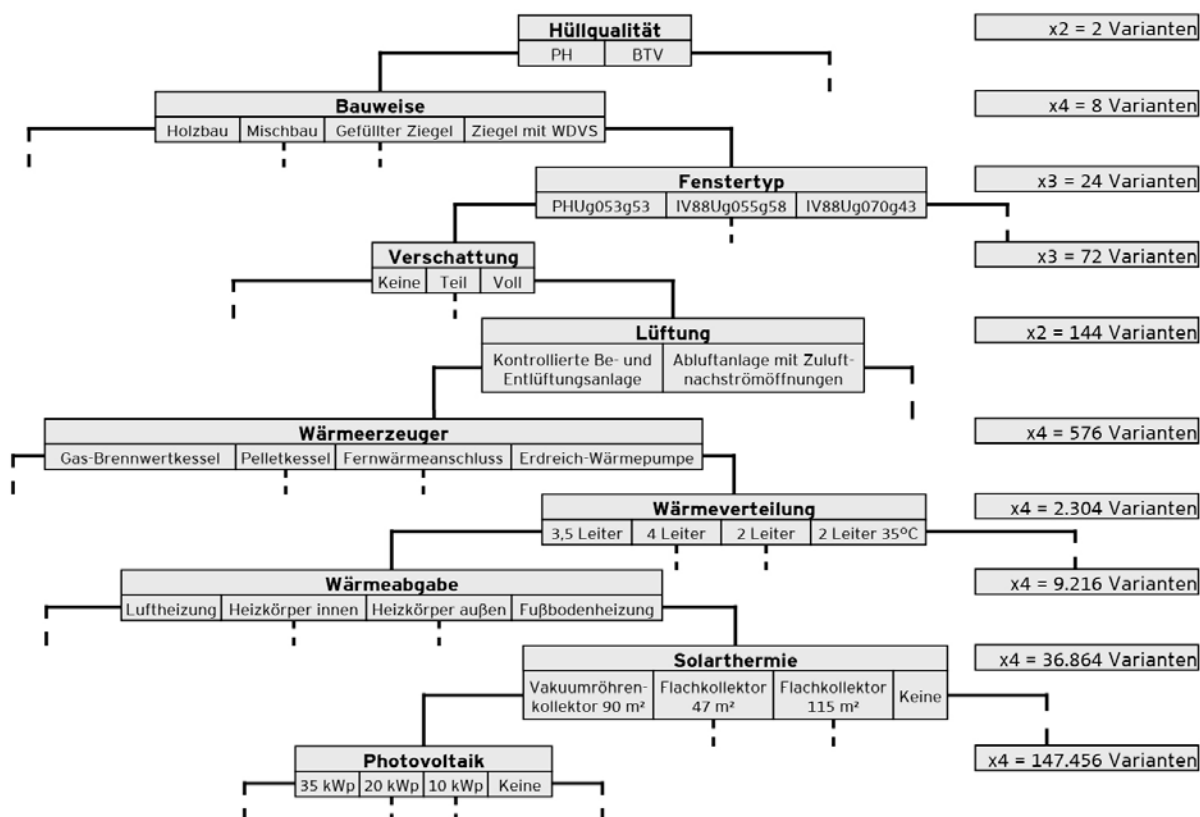


Abb. 2: Parameterbaum mit der Kombination aller möglichen Varianten nach der Brute-Force-Methode (Quelle: Eigene Darstellung).



Bei der Definition der Parameter ist darauf zu achten, welche Zielgröße optimiert werden soll. Sollen die Lebenszykluskosten berechnet und optimiert werden, macht es nur Sinn, Varianten zu berechnen, welche sich in ihrer Erstinvestition und in den Folgekosten unterscheiden. Alle Parameter die für das Bauvorhaben, egal in welcher Variante es ausgeführt wird, gleich bleiben, werden als konstant gesetzt und nicht variiert. Bei dem KliNaWo-Projekt wurden vor allem energetisch relevante Bauteile und die Haustechnik variiert sowie solche Bauteile, bei denen unterschiedliche Wartungs- und Instandhaltungskosten auftreten wie z.B. eine Holzfassade versus einer Putzfassade.

Es wurden, im Gegensatz zu anderen Optimierungsansätzen (Wetter, 2004), alle möglichen Kombinationen nach der Brute-Force-Methode gebildet und ausgewertet, d.h. alle Niveaus (i) aller Parameter (n) werden miteinander gekreuzt wie in Abb. 3 rechts dargestellt ist. Somit ergeben sich n^i Varianten, und der Vorteil, dass man sämtliche Informationen zur Verteilung und Streuung der Ergebnisse erhält. Bei einer herkömmlichen Optimierungsstrategie, welche in der Abbildung links dargestellt ist, werden die Parameter nacheinander und in wenigen Variationen untersucht. Hierbei bekommt man keine Aussage zur Ergebnisrelevanz aller Parameter und über den Unterschied zwischen den verschiedenen Varianten.

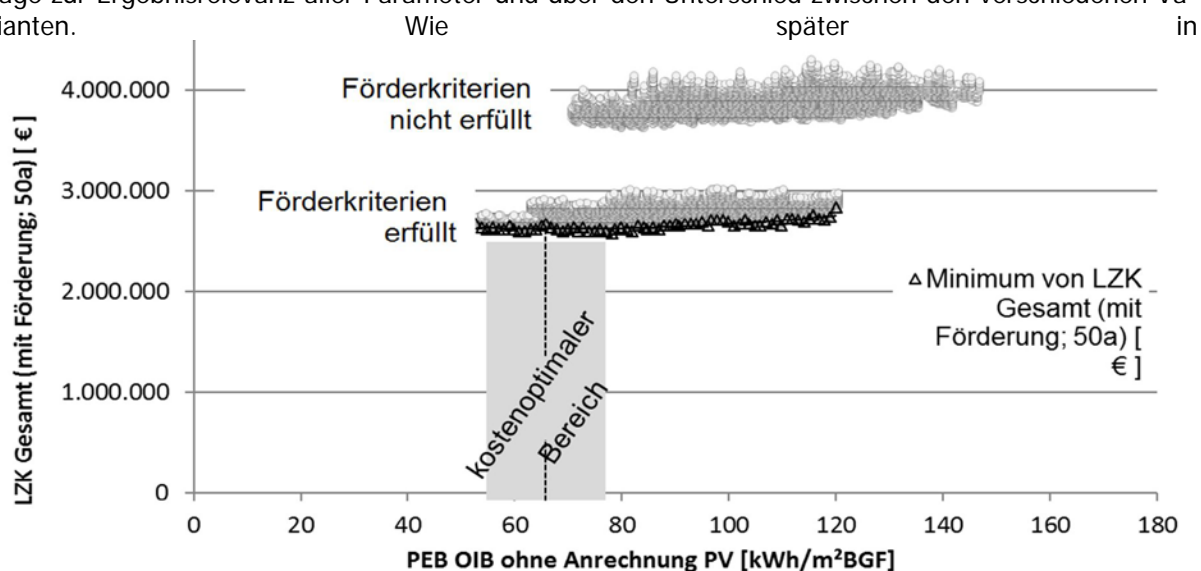


Abb. 5: Darstellung der Lebenszykluskosten aller Varianten aufgetragen über dem Primärenergiebedarf nach OIB RL-6 ohne Anrechnung des PV-Stromertrages (Quelle: Eigene Darstellung).

gezeigt wird, liegen die Optima oft sehr dicht beieinander und es gibt eine Vielzahl an Varianten die als gleichwertig gelten. Im KliNaWo Projekt ergaben sich rund 147.000 mögliche Kombinationen wie in Abb. 2 dargestellt ist. Sollen wesentlich mehr Varianten berechnet werden, kann es erforderlich sein mit Optimierungsverfahren die Anzahl zu reduzieren, damit die Dauer der Berechnungen begrenzt wird.

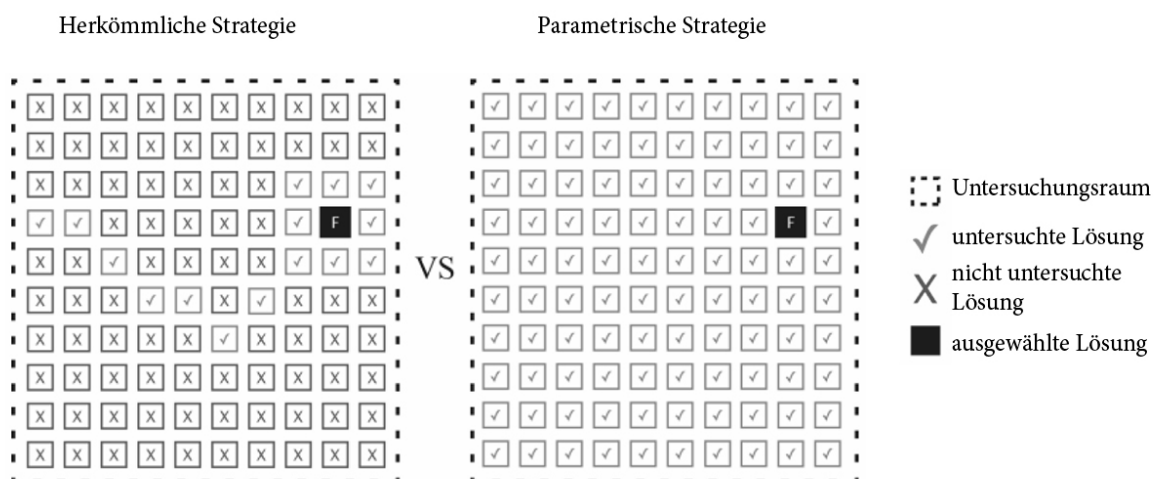


Abb. 3: Herkömmliche Optimierungsstrategie im Vergleich zum Parameter-Ansatz (Quelle: Eigene Darstellung aufbauend auf (Naboni et al., 2013)).

2.3 AUTOMATISIERTE ENERGIEBEDARFSBERECHNUNGEN

Eine Berechnung so vieler Varianten ist mit einem Standard-PC nur möglich, wenn die Berechnung pro Variante nur wenige Sekunden dauert. Dies wird im vorliegenden Modell durch die Verwendung des MS-Excel[®] basierten PHPPs (Passivhaus Institut, 2015) gewährleistet, welches Energiebilanzen in fast-Echtzeit berechnet. Die Berechnungen wurden durch ein am EIV programmiertes VBA-Macro automatisiert, indem die Eingabewerte jeder Variante aus einer Variantentabelle in das PHPP geschrieben werden und dann die Ergebnisse aus dem PHPP wieder zurück in die Variantentabelle geschrieben werden. Somit war es möglich, dass die KliNaWo Varianten in nur 2 Tagen Rechenzeit über ein Wochenende berechnet werden konnten. Dynamische Gebäudesimulationsprogramme, mit denen solche Studien oft durchgeführt werden, benötigen je nach Komplexität des Modells mehrere Stunden für nur eine Variante. Somit ist es auf einem Standard-PC nicht möglich in einem angemessenen Zeitrahmen tausende Varianten zu vergleichen. Hier wird dann oft auf cloudbasierte Lösungen zurückgegriffen wie in den Studien von (Long et al., 2014; Naboni et al., 2013) beschrieben ist oder es werden statistische Verfahren angewandt bei denen nicht alle Varianten berechnet werden müssen.

2.4 MODULARE AUSSCHREIBUNG ZUR KOSTENERMITTLUNG

Damit im nachfolgenden die Lebenszykluskosten berechnet werden können müssen für jeden Parameter und jedes Niveau die zugehörigen Kosten ermittelt und diese dann zugewiesen werden. Je nach Detaillierungsgrad und geforderter Genauigkeit der Ergebnisse, variiert auch die Komplexität der Kostenermittlung. Soll eine erste Abschätzung erfolgen, kann mit Richtwerten gerechnet werden, soll aber eine sehr genaue Betrachtung erfolgen, müssen die aktuellen Marktpreise abgefragt werden. Im KliNaWo Projekt wurde vom Projektpartner „Vorarlberger gemeinnützige Wohnungsbau- und Siedlungsgesellschaft“ VOGEWOSI eine modulare Ausschreibung aller möglicher Varianten durchgeführt, d.h. es wurden z.B. vier Bauweisen in zwei Energieniveaus ausgeschrieben. Somit konnten für alle variierten Parameter die momentan günstigsten realen Marktpreise aus den besten Angeboten ermittelt und aus diesen für jede Variante die Gesamtkosten (Kostengruppe 0-9) berechnet werden.



2.5 BERECHNUNG DER LEBENSZYKLUSKOSTEN

Mit der Lebenszykluskostenbetrachtung wird versucht ein Gebäude ganzheitlich während der gesamten Lebensdauer zu betrachten. Deshalb wird in dieser Studie eine Lebenszykluskostenbetrachtung durchgeführt um die Wirtschaftlichkeit einzelner Varianten miteinander zu vergleichen. Durch die Auswertung einzelner Parameter in Bezug auf die Kosten lassen sich auch Kostentreiber ermitteln. Es werden in Anlehnung an die (ÖNORM B 1801-4, 2014) und die (VDI 2067 Blatt 1, 2012) folgende Kostenbestandteile berücksichtigt: Gesamtkosten (KG 0-9); Finanzierungskosten (inkl. Förderungen, falls vorhanden); Energiekosten inkl. Grundgebühren; Wartungskosten; Instandsetzung und Restwerte.

Andere Folgekosten wie Verwaltung, Versicherung, Reinigung, Sicherheitsdienste, Gebäudedienste und auch der Abbruch werden in dieser Studie nicht berücksichtigt.

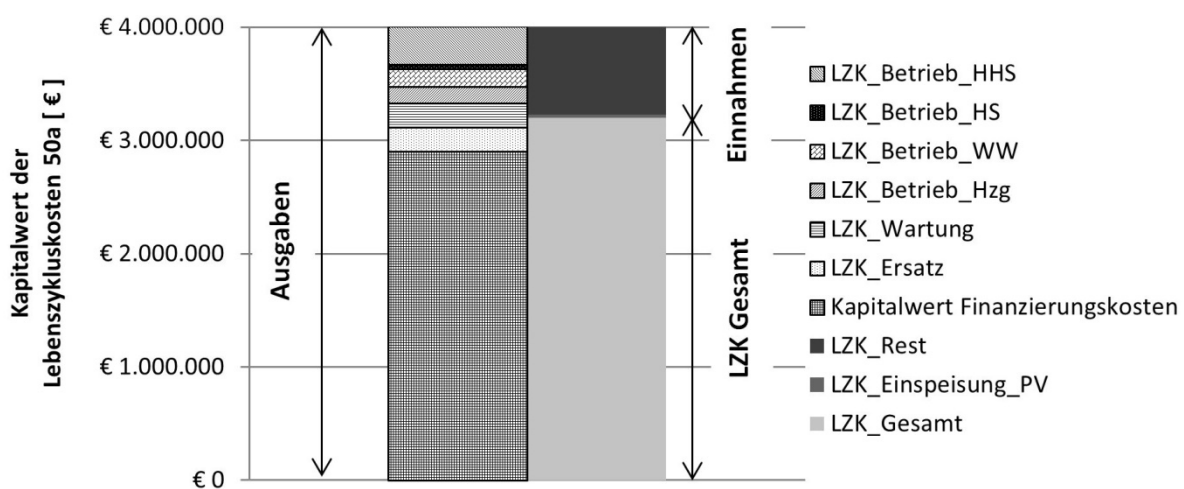


Abb. 4: Prinzipielle Darstellung der Lebenszykluskosten über den Mittelwert aller Varianten für die gemeinnützigen Bauträger unter Berücksichtigung der Förderung (Quelle: Eigene Darstellung).

Aus betriebswirtschaftlicher Sicht werden Kosten, die in unterschiedlichen Zeiträumen anfallen anders bewertet. Deshalb werden in der Studie alle berücksichtigten Kosten dynamisch als Kapitalwerte berechnet, d.h. auf einen Referenzzeitpunkt bezogen.

Abb. 4 ist eine prinzipielle Darstellung der Kapitalwerte über den Lebenszyklus der einzelnen Kostenkomponenten, die in der Studie berücksichtigt werden. Die gestapelte Säule auf der linken Seite enthält den Kapitalwert der Finanzierung, welcher sich aus den Investitionskosten und den Kreditkosten unter Berücksichtigung der Förderung ergibt. Auf diesen aufgesetzt kommen die Kapitalwerte der Folgekosten wie Ersatzinvestition, Wartung und Energiekosten für Heizung (Hzg), Warmwasser (WW), Hilfsstrom (HS) und Haushaltsstrom (HHS). Die rechte Säule beginnt dann von oben nach unten mit den „Gutschriften“ Restwert (Rest) und Einspeisevergütung aus PV-Erzeugung (Einspeisung_PV). Der nun verbleibende hellgraue Balken ist der Kapitalwert der Lebenszykluskosten (LZK_Gesamt) der betrachteten Variante. Anhand dieses Wertes können nun die Varianten untereinander verglichen und diejenige ausgewählt werden, welche die niedrigsten Lebenszykluskosten aufweisen.

Die Berechnung der Lebenszykluskosten und die Zusammenführung der Ergebnisse erfolgte in der Datenbank MS-Access[®] unter Berücksichtigung aller Randbedingungen. Die Höhe der Förderung, welche an die Energiekennwerte nach OIB-RL 6 (Österreichisches Institut für Bautechnik, 2011) geknüpft ist wurde in einem eigenen MS-Excel[®] Modul ermittelt und ebenfalls über ein VBA-Macro für jede Variante berechnet und danach in der Datenbank zusammengeführt. Die Lebenszykluskosten wurden für das KliNaWo-Projekt mit und ohne Rück-



sichtigung der Förderung berechnet, sowohl für gemeinnützige wie auch für private Bauträger.

2.6 ERGEBNISSE

Hauptergebnis welches in diesem Beitrag vorgestellt wird, ist die Methodik zur energetisch-wirtschaftlichen Optimierung der Lebenszykluskosten von Gebäuden anhand multifaktorieller Parametervariationen. Mit dieser Methode werden die Kosten der Erstinvestition, Finanzierung, Förderungen, Betrieb, Wartung, Ersatzinvestitionen und Restwerte über die betrachtete Lebensdauer eines Gebäudes berücksichtigt und für zigtausende Umsetzungsvarianten berechnet. Inhaltliche Ergebnisse zum KliNaWo Projekt sind im Tagungsbeitrag "Energieeffizienz ist wirtschaftlich!" (Ploss & Hatt, 2016) beschrieben.

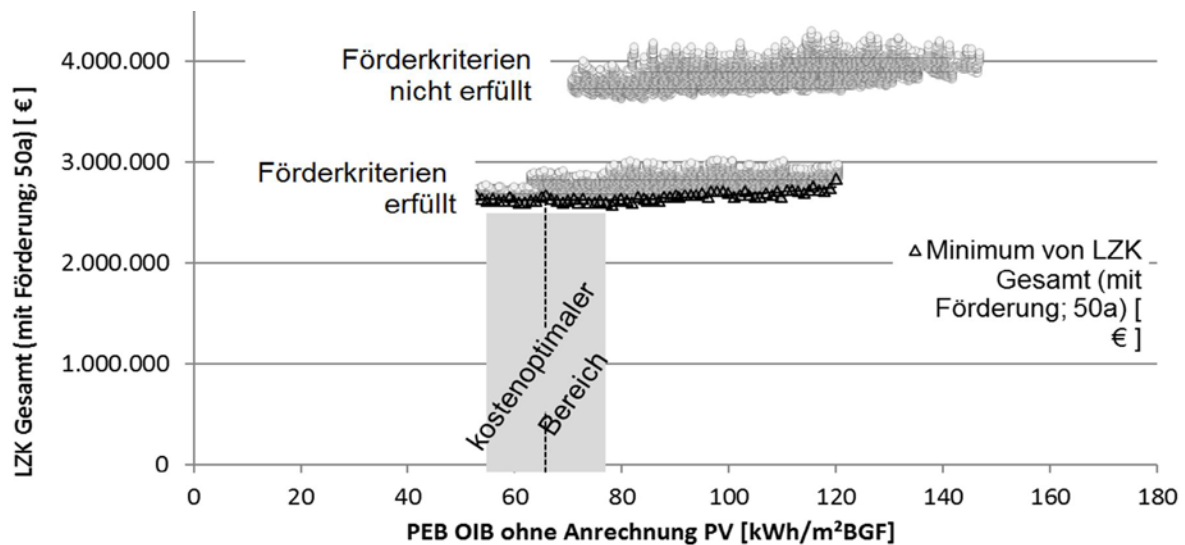


Abb. 5: Darstellung der Lebenszykluskosten aller Varianten aufgetragen über dem Primärenergiebedarf nach OIB RL-6 ohne Anrechnung des PV-Stromertrages (Quelle: Eigene Darstellung).

In Abb. 5 sind die Lebenszykluskosten aller untersuchten Varianten in Abhängigkeit zum Primärenergiebedarf dargestellt. Man kann erkennen, dass die Varianten in zwei Gruppen aufgeteilt sind welche sich im Primärenergiebedarf um ca. 20 kWh/(m²a) unterscheiden. Dies ist auf den Effekt der Förderung zurückzuführen. Somit kann mit dieser Methode die Energieeinsparung anhand von Förderungen gezeigt werden. Zum anderen kann man erkennen, dass der kostenoptimale Bereich sehr flach ausgeprägt ist und es deshalb eine Vielzahl auswählbare Varianten gibt und nicht „die“ wirtschaftlichste Variante.

Methodisch wurden die Ergebnisse in der Datenbank aufbereitet, gefiltert und gruppiert. Es wurde beispielsweise analysiert, welche Gemeinsamkeiten das wirtschaftlichste ein Prozent aller Fälle unter Berücksichtigung der Förderung aufweist. Hier wurde unter anderem gezeigt, dass alle Varianten innerhalb des wirtschaftlichsten Prozentes eine Hülle in Passivhausqualität besitzen.

3. DISKUSSION/SCHLUSSFOLGERUNG

In einer ersten Anwendung, im Rahmen des KliNaWo Projekts, wurde die Methode erfolgreich eingesetzt, und es konnten die über den Lebenszyklus wirtschaftlichsten Varianten gefunden werden. Durch die Untersuchung des gesamten Parameterraums und nicht nur einzelner Varianten wie in Abb. 1 dargestellt ist, wurde gezeigt, dass die Kostenoptima meist auf sehr flachen Kurven liegen, und deshalb viele Varianten als wirtschaftlich gesehen wer-



den können. Es können mit dieser Methode die unterschiedlichen Einflüsse von Fördermodellen auf die Lebenszykluskosten und die Energieeinsparung, sowie die CO₂ Reduktion untersucht werden. Ebenso kann dargestellt werden, inwieweit sich die wirtschaftlichsten von den unwirtschaftlichsten Projekten unterscheiden.

Momentan ist das Berechnungswerkzeug auf dem Entwicklungsstand eines Prototyps, und soll zukünftig in seiner Anwendbarkeit und Benutzerfreundlichkeit verbessert werden. Ein erhöhter Aufwand ist momentan noch die Ermittlung der Kostendaten für alle Komponenten, welche aber mit der zukünftigen Integration einer Kostendatenbank vereinfacht werden soll. Durch den modularen Aufbau können zukünftig auch andere Fördermodelle als das Vorarlberger integriert und somit eine universelle Anwendbarkeit garantiert werden. Die Methode der Lebenszykluskostenbetrachtung soll zukünftig vermehrt bei der Planung von Gebäuden zur Anwendung kommen, da sie sich unserer Meinung nach als nachhaltig erweist - weil sie auch die Folgekosten berücksichtigt. Somit kann gezeigt werden, dass leistbares Wohnen nicht nur mit der Errichtung eines Gebäudes zu tun hat, sondern auch mit dem Betrieb. Das Energieinstitut Vorarlberg beabsichtigt die Methode zukünftig in sein Beratungsprogramm aufzunehmen, und somit zu einer Verbreitung beizutragen. Wenn sich die Ergebnisse in den nächsten Jahren weiterhin als vielversprechend erweisen, sollte durchaus darüber nachgedacht werden, ob es nicht sinnvoll ist die Lebenszykluskosten als Förderkriterium einzuführen.



LITERATUR

- Boermans, T., Bettgenhäuser, K., Hermelink, A., Schimschar, S., und andere. (2011). "Cost optimal building performance requirements. Calculation methodology for reporting on national energy performance requirements on the basis of cost optimality within the framework of the EPBD." European Council for an Energy Efficient Economy, Sweden.
- Energieinstitut Vorarlberg. (2016). Kosten- und Wirtschaftlichkeitsrechner econ calc. Energieinstitut Vorarlberg, Dornbirn. <http://www.energieinstitut.at/unternehmen/werkzeugkasten/wirtschaftlichkeitsrechner-econ-calc/>
- Hatt, T. (2012). "El estándar 'Passivhaus' en el centro-sur de Chile: Un estudio Paramétrico multifactorial." Dissertation Universidad del Bio-Bio, Concepción.
- Hofer, G., & Herzog, B. (2011). "Planungsunterstützende Lebenszykluskostenanalyse für nachhaltige Gebäude." Tagungsband e-nova 2011, FH-Burgenland, Pinkafeld.
- Long, N. L., Ball, B. L., Fleming, K. A., & Macumber, D. L. (2014). Scaling Building Energy Modeling Horizontally in the Cloud with OpenStudio. NREL (National Renewable Energy Laboratory (NREL)).
- Naboni, E., Zhang, Y., Maccarini, A., Hirsch, E., & Lezzi, D. (2013). "Extending the use of parametric simulation in practice through a cloud based online service."
- ÖNORM B 1801-4. (2014). "ÖNORM B 1801-4: Bauprojekt- und Objektmanagement - Teil 4: Berechnung von Gebäudelebenszykluskosten." Austrian Standards.
- Österreichisches Institut für Bautechnik. (2011). OIB - Richtlinie 6 2011 Energieeinsparung und Wärmeschutz.
- Passivhaus Institut. (2015). PHPP 9.2 Passivhausprojektierungspaket. Passivhaus Institut, Darmstadt.
- Ploss, M., Brunn, M., Bachner, D., Leutgöb, K., & Jörg, B. (2013). Analyse des kostenoptimalen Anforderungsniveaus für Wohnungsneubauten in Vorarlberg. Energieinstitut Vorarlberg/e7 Energie Markt Analyse, Wien/Dornbirn, 134.
- Ploss, M., & Hatt, T. (2016). "Energieeffizienz ist wirtschaftlich! Zwischenergebnisse des Vorarlberger Forschungsprojekts KliNaWo." Tagungsband e-nova 2016, FH-Burgenland, Pinkafeld.
- U.S. Department of Energy. (2016). EnergyPlus Version 8.5.0. U.S. Department of Energy.
- VDI 2067 Blatt 1. (2012). "VDI 2067 Blatt 1 Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen Grundlagen und Kostenberechnung." Verein Deutscher Ingenieure.
- Wetter, M. (2004). "Simulation-Based Building Energy Optimization." University of California, Berkeley.
- Zhang, Y. (2012). "Use jEPlus as an efficient building design optimisation tool." London UK.

Kontakt Daten Autor(en):

Tobias Hatt
Stadtstrasse 33
6850 Dornbirn
Email: tobias.hatt@energieinstitut.at