

# **VERGLEICH DER KOSTEN UND UMWELTWIRKUNGEN VERSCHIEDENER DÄMMSTANDARDS AM BEISPIEL EINES NEUBAUQUARTIERS**

**Heidi HOTTENROTH<sup>1</sup>, Ingela TIETZE<sup>2</sup>**

## **Einleitung**

Beim Neubau von Mehrfamilienhäusern oder ganzen Quartieren stellt sich die Frage, wie die Wärmeversorgung sowohl treibhausgasneutral als auch kosteneffizient realisiert werden kann. Auf Ebene von Mehrfamilienhäusern und mehr noch auf Quartiersebene sind Nahwärmekonzepte mit verschiedenen Wärmequellen eine Option. Außerdem stellt sich (noch) die Frage, mit welchem Dämmstandard gebaut wird und wie sich die Umweltwirkungen verändern.

Antworten auf diese Fragen liefert das Life Cycle Assessment (LCA) in Verbindung mit Energiesystemmodellen, die die Einsatz- und Ausbauplanung für eine vorgegebene zeitlich aufgelöste Wärmenachfrage unter Optimierung der Kosten, Klima- und Umweltwirkungen berechnen können.

## **Methoden**

Für die Analyse wurde das Tool LAEND [1], [2] eingesetzt, das Energiesystemmodellierung und LCA integriert und eine mehrkriterielle Optimierung von Energiesystemen ermöglicht. Es werden neben den Kosten auch Treibhausgasemissionen sowie weitere Umweltwirkungen wie Luft- und Wasserschadstoffe, Landnutzung und Ressourcenverbrauch berücksichtigt. Die Bewertung umfasst sowohl die Nutzungsphase der Energieanlagen als auch die Anlagenherstellung. Das lineare Optimierungsmodell verwendet ein mehrkriterielles Ziel, das als gewichtete Summe aus 16 Umweltindikatoren des EU Environmental Footprint [3], [4] und den Kosten gebildet wird. Für die langfristige Ausbau- und Einsatzplanung wird ein myopischer Optimierungsansatz gewählt.

Die mehrkriterielle Optimierung wurde exemplarisch für die Wärmeversorgung eines Neubauquartiers in Konstanz durchgeführt (ca. 15.000 m<sup>2</sup> Nutzfläche Wohnen, ca. 1.000 m<sup>2</sup> Gewerbe). Dabei wurden zwei verschiedene (deutsche) Effizienzhausstandards<sup>3</sup> (EH40: 37 kWh/m<sup>2</sup>a, EH55: 48 kWh/m<sup>2</sup>a) und entsprechende Wärmebedarfe (EH40: 571 MWh/a, EH55: 741 MWh/a) für einen Zeithorizont von 20 Jahren betrachtet. Die installierten Leistungen für die Wärmeerzeugung wurden für zwei verschiedene Lastprofile optimiert. Der zusätzliche Dämmaufwand für den EH40-Standard wurde ex-post hinsichtlich Materialbedarf und Kosten bilanziert. Aus den Annahmen für die Hüllfläche plus Dachfläche der Gebäude ergibt sich ein zusätzlicher Dämmaufwand bei EH40-Standard von ca. 44 t expandiertes Polystyrol (EPS), welcher mit zusätzlichen Kosten von ca. 1 Mio. Euro verbunden ist. Auf Basis einer Dämmlebensdauer von 50 Jahren wurden Umweltwirkungen und Kosten anteilig auf die Ergebnisse des 20-jährigen Modellzeitraums aufaddiert.

## **Ergebnisse**

Der Vergleich der Energiesystemkonfigurationen für die Effizienzhausstandards EH40 und EH55 zeigt, dass sich unter Berücksichtigung der Kosten für zusätzliche Wärmedämmung beim EH40-Standard lediglich geringe Unterschiede in den Gesamtkosten für Wärmeinfrastruktur und Betrieb über einen Zeitraum von 20 Jahren ergeben. Der höhere Dämmstandard verursacht leichte Mehrkosten (EH40:

---

<sup>1</sup> Hochschule Pforzheim – Institut für Industrial Ecology, Tiefenbronner Str. 65, DE 75175 Pforzheim, +49 7231 286403, heidi.hottenroth@hs-pforzheim.de, hs-pforzheim.de/inec

<sup>2</sup> Hochschule Pforzheim – Institut für Industrial Ecology, Tiefenbronner Str. 65, DE 75175 Pforzheim, +49 7231 286200, ingela.tietze@hs-pforzheim.de, hs-pforzheim.de/inec

<sup>3</sup> Effizienzhaus-40/55-Standard: Das Gebäude darf höchstens 40 bzw. 55 % des Primärenergiebedarfs und des Transmissionswärmeverlusts eines Referenzgebäudes gemäß Gebäudeenergiegesetz (GEG) aufweisen.

2,57E06 €, EH55: 2,42E06 €). Betrachtet man ausschließlich die Investitionskosten, führt die Umsetzung des EH40-Standards zu deutlich höheren Kosten im Vergleich zu EH55, wobei der Großteil dieser Mehrkosten auf die zusätzliche Dämmung zurückzuführen ist. Doch diese werden durch Einsparungen im Betrieb nahezu ausgeglichen. Im Gegenzug sind die variablen Betriebskosten beim EH55-Standard signifikant höher.

Die Analyse der aggregierten Umweltwirkungen auf Basis des Environmental Footprint verdeutlicht die ökologischen Vorteile des höheren Dämmstandards. Der relative Beitrag der zusätzlichen Dämmung zu den Gesamtumweltwirkungen ist hierbei gering, sodass die Umweltentlastung durch EH40 klar überwiegt. Trotz der Berücksichtigung eines zunehmend erneuerbar erzeugten Strommixes über die Zeit, führt der Netzstrombezug (für Wärmepumpen und Elektrowärme) zu den größten Umweltwirkungen, gefolgt von den Photovoltaik-Anlagen.

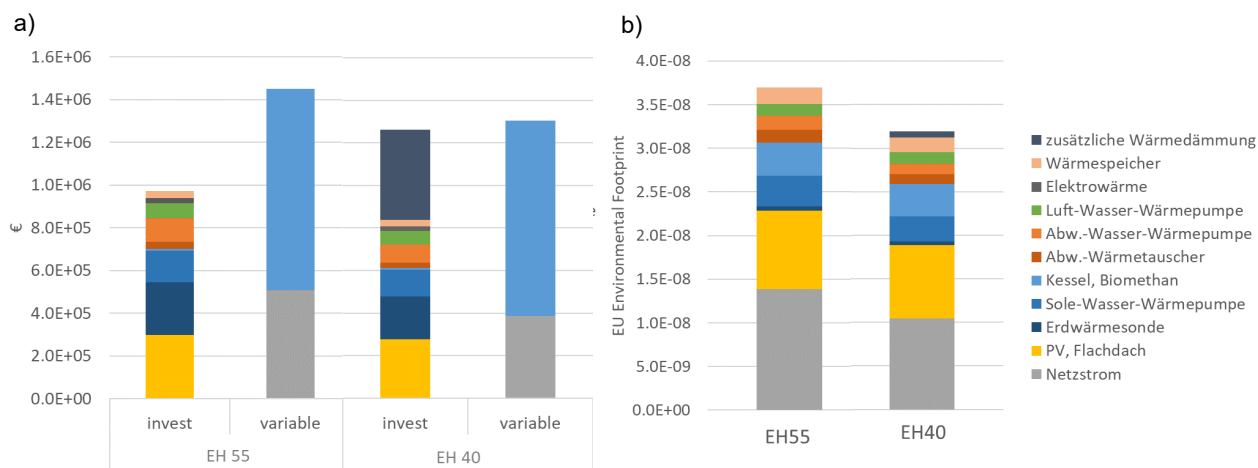


Abbildung 1: a) (Netto-)Kosten (zu derzeitigen Preisen) für die Wärmeerzeugung über 20 Jahre eines Neubauquartiers für verschiedene Dämmstandards b) Lebenszyklusbasierte Umweltwirkungen (EF) der Wärmeerzeugung über 20 Jahre eines Neubauquartiers für verschiedene Dämmstandards

## Schlussfolgerungen

Isoliert betrachtet sind die Investitionskosten für den EH40-Standard signifikant höher. Eine langfristige Betrachtung relativiert diese Mehrkosten jedoch, da Betriebskosteneinsparungen über die Zeit einen Ausgleich schaffen. Die Ergebnisse verdeutlichen einen Zielkonflikt zwischen Kostenminimierung und der Reduktion von Umweltwirkungen. In der hier vorliegenden Analyse wurden die Kosten- und Umweltwirkungen der zusätzlichen Wärmedämmung ex-post zu den Modellergebnissen addiert. Für zukünftige Untersuchungen empfiehlt sich die Integration der Wärmedämmung als Entscheidungsvariable im Energiesystemmodell, um Zielkonflikte systematisch adressieren zu können. Hierfür sind präzisere Daten zu den Materialmengen und Kosten der Dämmung sowie eine Berücksichtigung weiterer Unterschiede zwischen den Dämmstandards erforderlich. Da ein höherer Dämmstandard aus ökologischer Sicht Vorteile bietet, sollten Maßnahmen zur Senkung der Dämmkosten ergriffen werden, um das Potenzial voll auszuschöpfen.

## Referenzen

- [1] I. Tietze, L. Lazar, H. Hottenroth, und S. Lewerenz, „LAEND: A Model for Multi-Objective Investment Optimisation of Residential Quarters Considering Costs and Environmental Impacts“, *Energies*, Bd. 13, Nr. 3, S. 614–637, 2020, doi: 10.3390/en13030614.
- [2] L. Lazar, D. Birnkammer, und H. Hottenroth, *LAEND*. (2024). python. Zugriffen: 2. August 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://github.com/inecmod/LAEND>
- [3] S. Sala, A. Cerutti, R. Pant, und Publications Office of the European Union, „Development of a weighting approach for the Environmental Footprint“, Luxembourg, Jan. 2018. doi: 10.2760/945290.
- [4] S. Fazio u. a., „Supporting information to the characterisation factors of recommended EF Life Cycle Impact Assessment methods, version 2, from ILCD to EF 3.0“, Jan. 2018. doi: 10.2760/002447.