

Innovation & Kosteneffizienz: Kostenoptimale Gebäude- standards für groß- volumige Wohngebäude

Inno-Cost

W. Hüttler,
J. Rammerstorfer,
D. Bachner

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

14/2015

Impressum:

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Leiter: DI Michael Paula

Liste sowie Downloadmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter
<http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

Innovation & Kosteneffizienz: Kostenoptimale Gebäudestandards für großvolumige Wohngebäude

Inno-Cost

DI Walter Hüttler, DI (FH) Johannes Rammerstorfer,
Daniela Bachner, MSc
e7 Energie Markt Analyse GmbH

Wien, Mai 2014

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms



im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

Vorwort

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm *Haus der Zukunft* des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie.

Die Intention des Programms ist, die technologischen Voraussetzungen für zukünftige Gebäude zu schaffen. Zukünftige Gebäude sollen höchste Energieeffizienz aufweisen und kostengünstig zu einem Mehr an Lebensqualität beitragen. Manche werden es schaffen, in Summe mehr Energie zu erzeugen als sie verbrauchen („Haus der Zukunft Plus“). Innovationen im Bereich der zukunftsorientierten Bauweise werden eingeleitet und ihre Markteinführung und -verbreitung forciert. Die Ergebnisse werden in Form von Pilot- oder Demonstrationsprojekten umgesetzt, um die Sichtbarkeit von neuen Technologien und Konzepten zu gewährleisten.

Das Programm *Haus der Zukunft Plus* verfolgt nicht nur den Anspruch, besonders innovative und richtungsweisende Projekte zu initiieren und zu finanzieren, sondern auch die Ergebnisse offensiv zu verbreiten. Daher werden sie in der Schriftenreihe publiziert und elektronisch über das Internet unter der Webadresse www.HAUSderZukunft.at Interessierten öffentlich zugänglich gemacht.

DI Michael Paula
Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	10
Abstract	14
1 Einleitung.....	17
2 Aufgabenstellung und Ziele	17
2.1 Relevanz für das Programm Haus der Zukunft	19
2.1.1 Einpassung in das Programm.....	19
2.1.2 Beitrag zum Gesamtziel des Programms.....	19
2.1.3 Einbeziehung der Zielgruppen und Berücksichtigung ihrer Bedürfnisse	19
2.1.4 Beschreibung der Umsetzungs-Potenziale für die Projektergebnisse	20
3 Grundlagen und Methoden	21
3.1 Bestehende Analysen von Niedrigenergie- und Passivhaus-Wohnhausanlagen	22
3.1.1 Energieverbrauch der verfügbaren Gebäude.....	23
3.1.2 Kosten.....	25
3.1.3 Überblick über innovative Technologien	28
3.1.4 Zusammenfassung.....	29
3.2 Kostenoptimalität: Methode und Vorarbeiten	30
3.2.1 Europäische Gebäuderichtlinie 2010/31/EU	30
3.2.2 Methodischer Rahmen	30
3.2.3 Kostenoptimalität in der Praxis	31
3.2.4 Nationaler Plan.....	32
3.2.5 Ausblick Kostenoptimalität.....	33
3.3 Untersuchungsrahmen und Datenerhebung	34
3.3.1 Untersuchungsrahmen	34
3.3.2 Datenerhebung.....	34
3.3.3 Plausibilisierung der Daten	36
3.3.4 Bereinigung von Kosten- und Verbrauchsdaten.....	36
3.4 Kostenoptimalitätsmethode.....	39
3.5 Definitionen.....	40
4 Ergebnisse	41
4.1 Beschreibung der Stichprobe und Repräsentativität	42
4.2 Energieverbrauch	49
4.3 Laufende Kosten.....	55

4.3.1	Energiekosten	55
4.3.2	Wartungskosten	57
4.3.3	Laufende Kosten insgesamt	58
4.4	Baukosten.....	60
4.5	Gesamtkostenbetrachtung von innovativen Baustandards.....	64
4.5.1	Kostenoptimum als Extremwert einer polynomischen Funktion	64
4.5.2	Kostenoptimum auf Basis von HWB-Klassen	66
4.6	Kostenoptimale Baustandards auf Basis von Bedarfs- und Verbrauchswerten	69
4.6.1	Referenzgebäude.....	69
4.6.2	Methode und Rahmenbedingungen.....	70
4.6.3	Variantenfestlegung	71
4.6.4	Inputdaten für Lebenszykluskostenberechnung.....	74
4.6.5	Berechnungsergebnisse.....	77
4.6.6	Sensitivitätsanalyse	81
4.6.7	Schlussfolgerungen.....	82
5	Diskussion der Ergebnisse und Schlussfolgerungen	85
6	Ausblick und Empfehlungen	91
7	Literaturverzeichnis	92
8	Abbildungen	96
9	Tabellen	98
10	Formeln	98
11	Anhang.....	99

Kurzfassung

Ausgangssituation/Motivation

Seit der Neufassung der Europäischen Gebäuderichtlinie 2010/31/EU stellt die Kosteneffizienz einen zentralen Aspekt in der Festlegung der energietechnischen Anforderungen an die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden dar. Mitgliedsstaaten sollen ihre Mindeststandards an die thermische Qualität der Gebäudehülle und der Haustechnik so festlegen, dass sich aus der Betrachtung der Errichtungs- und Betriebskosten über die wirtschaftliche Gebäudelebensdauer ein Kostenoptimum ergibt. In Hinblick auf die Verpflichtung ab 2021 alle neuen Gebäude als nearly Zero-Energy Buildings (nZEB) zu errichten, sind Kosteneffizienz und Leistbarkeit auch für innovative Gebäudekonzepte ein zentrales Thema. Umso überraschender ist es deshalb, dass umfassende betriebswirtschaftliche Analysen über den Lebenszyklus von besonders energieeffizienten Gebäuden bisher nur in Teilaspekten durchgeführt wurden und bis dato keine Untersuchungen vorliegen, die die Wirtschaftlichkeit innovativer Gebäude auf Basis gemessener Daten aus dem Betrieb auf breiterer Basis untersucht haben.

Inhalte und Zielsetzungen

Zentrale Zielsetzung des Projekts ist die Untersuchung innovativer Gebäudekonzepte hinsichtlich ihrer betriebswirtschaftlichen Aspekte über den gesamten Lebenszyklus. Für ein repräsentatives Sample, bestehend aus rund 100 energieeffizienten großvolumigen Wohngebäuden, wurden die Lebenszykluskosten auf Basis gemessener Daten für Energieverbrauch und Kosten aus dem laufenden Betrieb ermittelt und ausgewertet. Die Berechnungsergebnisse bilden die Grundlage für eine qualifizierte Einschätzung der Kosteneffizienz innovativer Gebäudekonzepte, liefern Hinweise auf die erforderlichen Randbedingungen für die weitere Marktdiffusion innovativer Baustandards und zeigen weiteren Forschungsbedarf auf. Daneben bieten die Ergebnisse eine Orientierung für Wohnbauträger bei der konkreten Planung und Umsetzung von zukünftigen innovativen Projekten im Neubau und der Sanierung.

Methodische Vorgehensweise

Für die Ermittlung der Lebenszykluskosten wurden Energieverbrauchs- und Kostendaten von großvolumigen energieeffizienten Wohngebäuden (Neubau und Sanierung) aus dem laufenden Betrieb bei den Wohnbauträgern erhoben. In Betracht gezogen wurden Gebäude mit einem berechneten Heizwärmebedarf kleiner gleich $50 \text{ kWh/m}^2\text{a}$. Die Erhebung erfolgte mittels einer dafür entwickelten Erhebungsmatrix in Kooperation mit dem Österreichischen Verband Gemeinnütziger Bauvereinigungen (gbv-Verband). Erhoben wurden neben den Basisdaten des jeweiligen Gebäudes, Daten zur technischen Ausstattung, der Energieverbrauch und die Energiekosten, Erträge aus Solaranlagen, Hilfsstromverbrauch, sowie Wartungs- und Errichtungskosten für Neubau oder Sanierung. Die Plausibilisierung der Daten erfolgte für die einzelnen Objekte bei den jeweiligen Bauträgern. Die Datenerhebung stellte sowohl für die Unternehmen selbst als auch für das Projektteam einen

sehr großen Aufwand dar, da bis dato nur bei ganz wenigen Unternehmen ein standardisiertes Energieverbrauchs- und Kostenmonitoringsystem eingesetzt wird.

Die erhobenen Gebäudedaten repräsentieren ein Sample von rund 100 Objekten, für die plausible Datensätze für gemessene Energieverbräuche über mehrere Betriebsjahre sowie Kostendaten dokumentiert sind. Der überwiegende Anteil der Objekte wurde im Zeitraum von 2006 bis 2010 fertiggestellt (neu gebaut oder saniert). Erfasst wurden Objekte von fast allen Bundesländern (außer Burgenland). Auch was das A/V-Verhältnis und die Anzahl der Wohneinheiten pro Gebäude betrifft, repräsentiert das Sample die gesamte Bandbreite des großvolumigen Wohnbaus in Österreich.

Der gemessene Energieverbrauch wurde getrennt nach Energieverbrauch für Heizung und für Warmwasser betrachtet und nach HWB-Kategorien gegliedert. Der tatsächliche Verbrauch wurde außerdem den Heizwärmebedarfskennwerten der Objekte gegenübergestellt. Die Erträge der Solaranlagen wurden in die Energieverbrauchsanalyse ebenfalls einbezogen.

Die erhobenen Kostendaten für Energie und Wartung wurden ausgewertet und für die unterschiedlichen Energieträger jeweils Benchmarks gebildet. Die Baukosten wurden index-, garagen-, wohnungsgrößen- und standortbereinigt. Die Grundlage für die Berechnung der Lebenszykluskosten der Objekte bildeten die Gesamtkosten, bestehend aus den bereinigten Errichtungskosten und den laufenden Kosten.

Für die untersuchten Objekte wurde eine Lebenszykluskostenbetrachtung nach der dynamischen Barwertmethode auf Basis der realen Gesamtkosten durchgeführt. Für die Ermittlung des Kostenoptimums wurden zwei unterschiedliche Verfahren angewendet. Beim ersten Verfahren wurde das Kostenoptimum als Extremwert einer polynomischen Funktion ermittelt. Im zweiten Verfahren wurden HWB-Klassen gebildet. In beiden Fällen kam die dynamische Barwertmethode zum Einsatz. Mehrere Szenarien mit unterschiedlichen Nebenbedingungen wurden berechnet.

Schließlich wurde eine Kostenoptimalitätsberechnung nach den methodischen Vorgaben der EU (Delegierte Verordnung 244/2012) für unterschiedliche energietechnische Gebäudestandards durchgeführt. Dazu wurde ein typisches Referenzgebäude bestimmt, Varianten für Gebäudehülle und Haustechnik entwickelt sowie Nebenbedingungen und Parameter für die Sensitivitätsanalyse festgelegt. Neben der ermittelten Energiebedarfswerte nach der Energieausweismethode wurde als Vergleich auch der Energieverbrauch basierend auf dem Trendmodell, das anhand der im Projekt erhobenen Verbrauchsdaten bestimmt wurde, verwendet.

Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Die Untersuchung zeigt einen deutlichen Zusammenhang zwischen dem gemessenen Energieverbrauch der Objekte und der zugehörigen HWB-Klasse. Innovative Niedrigstenergie- und Passivhäuser haben im Durchschnitt auch in der Praxis einen geringeren Energieverbrauch als Objekte mit HWB 50. Die Trendlinie zwischen HWB 50 und

HWB 10 (geplant) ergibt eine Verringerung des durchschnittlichen gemessenen Heizenergieverbrauchs um den Faktor 2 (von rund 60 auf rund 30 kWh/m²a).

Die Verbrauchswerte weisen jedoch eine hohe Streuung innerhalb der einzelnen HWB-Klassen auf. Sowohl bei den Niedrigenergiegebäuden als auch bei den Objekten in Niedrigstenergie- und Passivhausstandard gibt es eine große Bandbreite der gemessenen Energieverbräuche. Der Faktor zwischen dem niedrigsten und höchsten Wert einer HWB-Gruppe liegt durchschnittlich bei 3.

Auch die erhobenen Energietarife der einzelnen Objekte unterliegen einer großen Bandbreite und haben damit einen markanten Einfluss auf die Energiekosten. Neben den Energiekosten stellen Wartungskosten einen wichtigen Kostenfaktor dar. Hier zeigt sich ein erhebliches Potential für Kostenreduktionen. Tendenziell werden niedrige Energiekosten bei besonders energieeffizienten Gebäuden durch höhere Wartungskosten und Stromkosten für den Betrieb der Lüftung kompensiert.

Über den Betrachtungszeitraum von 30 Jahren zeigt die Kostenoptimalitätsberechnung sehr geringe Kostendifferenzen zwischen den unterschiedlichen energietechnischen Standards und bestätigt die Ergebnisse anderer Studien. Die derzeitigen Anforderungen der Bauordnung liegen zwar bereits im kostenoptimalen Bereich, eine moderate Verschärfung der Anforderungen in Richtung Kostenoptimum ist aber möglich und anzustreben.

Innovative Baustandards sind nur dann kosteneffizient, wenn im Betrieb die prognostizierten Verbrauchswerte auch tatsächlich eingehalten werden und der Aufwand für die Wartung der haustechnischen Anlagen kostenoptimiert erfolgt. Die Einhaltung der geplanten Energiebedarfswerte ist in der Praxis insbesondere von der Qualitätssicherung im gesamten Planungs-, Errichtungs- und Inbetriebnahmeprozess sowie vom NutzerInnenverhalten abhängig.

Generelle Aussagen über die Wirtschaftlichkeit von Baustandards sind auf Basis der Daten einzelner Objekte aufgrund der erheblichen Streuung der erhobenen Daten jedenfalls zu hinterfragen.

Für die weitere Verbreitung innovativer Gebäudetechnologien sind zusätzliche Impulse im Bereich der Qualitätssicherung über den gesamten Planungs-, Errichtungs- und Inbetriebnahmeprozess sowie der Betriebsoptimierung zu setzen. Unter dieser Voraussetzung erscheinen moderate Verschärfungen der bestehenden Bauordnung im Hinblick auf die Ziele im Jahr 2020 auch aus wirtschaftlicher Sicht gerechtfertigt.

Kostengünstige Lösungen für ein kontinuierliches und standardisiertes Energieverbrauchs- und Kostenmonitoring stellen für die Qualitätssicherung einen zentralen Aspekt dar.

Die Ergebnisse geben Orientierung, wie die weitere Verbreitung von innovativen Baustandards gefördert werden soll. Zukünftige Förderinstrumente sollten wesentlich stärker auf die Qualitätssicherung ausgerichtet sein und kontinuierliches Energieverbrauchsmonitoring – zumindest bei großvolumigen Gebäuden – als verpflichtendes Element der Qualitätssicherung als Fördervoraussetzung verankern.

Ausblick

In die Untersuchung sind Daten von innovativen bestehenden Gebäuden, also Niedrigenergie- und Passivhäuser der ersten Generation, eingeflossen. Die Gebäude und Gebäudetechnik sind also bereits 5 bis 10 Jahre alt. In der Zwischenzeit haben ein kontinuierlicher Wissenszuwachs und technologische Weiterentwicklung, insbesondere von kostengünstigeren Lösungen, stattgefunden. Daher erscheint eine laufende Erweiterung der Datenbasis mit Daten von neuen Gebäuden sinnvoll.

Die Qualitätssicherung spielt für die Verbreitung innovativer Technologien eine zentrale Rolle. Das zentrale Werkzeug der Qualitätssicherung ist ein detailliertes Energieverbrauchs- und Kostenmonitoring.

Vor diesem Hintergrund sollte einerseits im Bereich standardisierter und kostengünstiger Monitoringlösungen ein Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkt gesetzt werden. Andererseits sollten ein detailliertes Energieverbrauchs- und Kostenmonitoring als auch eine betriebswirtschaftliche Auswertung in zukünftigen Pilot- und Demonstrationsprojekten Kernthemen darstellen.

Abstract

Starting point/Motivation

With the recast of the EPBD of 2010 (European Performance of Buildings Directive, 2010/31/EU) cost efficiency has become a key aspect for the definition of minimum energy performance requirements of buildings. EU Member States shall set their minimum requirements for the thermal quality of the building envelope and the technical building systems in such a way that construction and operation cost of buildings is cost-optimal over the estimated economic lifetime.

With regard to the requirement that all new buildings have to meet nearly zero-energy standard from 2021 onwards, cost efficiency and affordability of innovative building concepts become key topics. Surprisingly economic analyses over the whole life-cycle of energy-efficient buildings have been performed only partially. To date no broadly based studies which analyse cost efficiency of innovative building concepts on the basis of measured data exist.

Contents and Objectives

The main objective of this project is to analyse innovative building concepts with regard to their economic performance over the life-cycle of the building. The life-cycle cost of a representative sample are calculated and evaluated for the first time. The sample consists of about 100 large energy-efficient residential buildings. The analysis is based on measured consumption data and cost of the operated buildings

The calculation results form the basis for the assessment of the cost efficiency of innovative building concepts, and present evidence for needed framework conditions for a further market diffusion of innovative building standards and reveal fields where further research is needed. For builders the results shall provide orientation for the actual planning and realisation of future innovative projects.

Methods

A survey gathering energy consumption and cost data of large energy-efficient residential buildings (new and existing) has been carried out with builders. Operated buildings that feature a heating demand of less or equal 50 kWh/m²a were taken into account. This data built the basis for the life-cycle cost analysis. The survey, for which a new questionnaire has been developed, was conducted in cooperation with the Austrian Federation of Limited-profit Housing Associations (gbv).

The data collection contained building data, data about the technical building systems, energy consumption and energy cost, solar yield of the solar thermal system, auxiliary energy, as well as cost for maintenance and for construction of new construction or renovation. The gathered data for each object was validated and cleansed. The effort for collecting the data was far greater than expected both for the companies and for the project

team, because currently only a few builders have implemented standardised monitoring systems for energy consumption and costs.

The gathered data represents a sample of about 100 objects, for which plausible data sets for measured energy consumption for several years of operation and cost data are available. Most of the objects have been finished between 2006 and 2010 (either newly constructed or renovated). The sample includes objects from all states except Burgenland. Regarding the A/V ratio and the number of housing units per building the sample represents the whole range of large volume residential buildings in Austria.

The measured energy consumption data was divided into energy consumption for heating and for domestic hot water and was clustered according to heating demand categories. The correlation between actual consumption and heating demand of the buildings was assessed. The yields of the solar thermal systems were also taken into consideration as part of the assessment of energy consumption.

The gathered cost data for energy and maintenance was analysed and benchmarked for the individual energy carriers. Cost data for construction cleansed in several steps. Total cost consisting of cleansed construction cost and running cost built the basis for the life-cycle cost analysis.

The net present value method was chosen for the life-cycle cost analysis of the total cost. Total cost was established by means of two different procedures. In procedure 1 the cost optimal level was derived from the extreme of a polynomial function while in procedure 2 the cost optimal level was derived from heating demand categories. Several scenarios with different framework conditions were calculated to achieve durable results.

Finally, the cost-optimality calculation was conducted according to the methodological framework of the EU (Delegated Act 244/2012) for different energy-efficiency standards. A typical reference building was determined, 13 variants for the building envelope and the building systems were defined and framework conditions set. The energy demand was calculated according to the method of the energy performance certificate. Additionally the trend model found in the evaluation of surveyed data was used to calculate energy consumption was used as a comparative analysis.

Results

The analysis reveals a distinct correlation between the measured energy consumption and the respective heating demand category. In average innovative nearly zero-energy buildings feature a lower energy consumption in reality compared to buildings with HD 50. The trend line between HD 50 and HD 10 (planned) reveals a reduction of the average measured heat energy consumption by a factor of 2 (from 60 to about 30 kWh/m²a).

Within the specific heating demand categories the energy consumption of buildings scatters significantly. For both low-energy and nearly zero-energy buildings the measured energy consumption data displays a broad range. The lowest and the highest value of a HD category differ in average by a factor of 3.

Surveyed energy tariffs of individual objects vary tremendously and therefore have a large impact on energy cost. Besides energy cost also maintenance cost are an important cost factor. Maintenance cost imply a considerable potential for cost reduction. There is a tendency that lower energy cost are compensated by higher maintenance cost and electricity cost for the ventilation system in particularly energy-efficient buildings.

The cost optimality calculation for a period of 30 years results in minor cost differences between different energy-efficiency standards. This result is in line with other studies. Current minimum energy performance requirements are located in the cost-optimal level. However a moderate strengthening of the requirements towards the cost optimum is feasible.

Innovative building standards can only be cost efficient if the proposed heating demand levels are reached in practice and if maintenance of the building technology is provided at optimal cost. The compliance of energy consumption with energy demand levels depends on several parameters, which are: Validity of the calculation, quality assurance over the whole planning, construction and commissioning process as well as user behaviour.

Due to the significant scattering of data it is questionable to draw general conclusions for the profitability of building standards on the basis of data of individual objects.

For a further propagation of innovative building concepts additional impulses for quality assurance over the whole planning, construction and commissioning process as well as during operation are necessary. A moderate tightening of the current minimum energy performance requirements with respect to the 2020 goals is feasible also from the economic point of view. Affordable solutions for a continuous and standardised energy consumption and cost monitoring systems are an important aspect of quality assurance.

The results are a guide to define which incentive systems will facilitate the further propagation of innovative building standards best. Future incentive systems should be strongly oriented on quality assurance and should require continuous energy monitoring systems as a mandatory element for the eligibility for funding.

Prospects / Suggestions for future research

The analysis contains data of existing innovative buildings with an age of 5 to 10 years, which belong to the “first generation” of low-energy and nearly zero-energy buildings. In the meantime additional know-how was gathered and technological development, especially with respect to cost-efficient solutions, has taken place. Therefore an ongoing data analysis with data from new buildings is essential.

Quality assurance plays a key role for the propagation of innovative technologies. The central tool of quality assurance is a detailed energy consumption and cost monitoring.

Research and development activities should therefore focus on standardised and affordable monitoring solutions on the one hand. On the other hand detailed energy consumption and cost monitoring systems together with an economic assessment should be applied in future pilot- and demonstration projects.

1 Einleitung

Die Neufassung der Europäischen Gebäuderichtlinie 2010/31/EU stellt einen markanten Punkt in der Diskussion rund um Wirtschaftlichkeit energieeffizienter Gebäudekonzepte dar. Mitgliedsstaaten sind verpflichtet, ihre Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden so festzulegen, dass sich aus der Betrachtung der Errichtungs- und Betriebskosten über den Gebäudelebenszyklus ein Kostenoptimum ergibt. Weiter sieht die Richtlinie vor, dass alle neuen Gebäude, die ab 2021 in der EU errichtet werden als nearly Zero Energy Buildings (nZEB) auszuführen sind. Die Kosteneffizienz von Gebäuden ist somit zu einem zentralen Thema geworden.

In der laufenden Diskussion um leistbares Wohnen werden zunehmend auch die bestehenden bau- und energietechnischen Anforderungen als vermeintliche Kostentreiber ausfindig gemacht. Eine weitere Verschärfung der Anforderungen – wie im Nationalen Plan vorgesehen – wird aus der Perspektive des leistbaren Wohnens kritisch gesehen.

Trotz lebhafter Diskussionen über Kosteneffizienz und Leistbarkeit ist eine belastbare Datengrundlage derzeit nicht vorhanden. Zu diesen Themen gibt es im österreichischen Expertenbereich bisher nur wenige Studien und diese behandeln meist nur Teilaspekte. Breit angelegte Auswertungen von Energieverbräuchen und Investitions- und Betriebskosten fehlen für energieeffiziente Wohngebäude fast völlig.

2 Aufgabenstellung und Ziele

Inhalt dieses Projekts ist die Untersuchung innovativer großvolumiger Wohngebäude hinsichtlich ihrer betriebswirtschaftlichen Aspekte über den gesamten Lebenszyklus. Anhand von realen Kosten- und Verbrauchsdaten von großvolumigen Niedrigstenergie- und Passivwohnhäusern sollen weitere Erfahrungen und Grundlagen für die Ermittlung kostenoptimaler Baustandards gewonnen werden.

Ein zentrales Ziel des Projekts stellt die Identifikation von zentralen Bedingungen für die weitere Marktdiffusion von innovativen Baustandards, über die Anwendung in Pilotprojekten hinausgehend, dar.

Die Ergebnisse sollen insbesondere auch den Wohnbauträgern als Orientierung für die Umsetzung von zukünftigen innovativen Projekten dienen.

Die Ergebnisse der Lebenszykluskostenbetrachtung und der Kostenoptimalitätsberechnung sollen als Grundlage für die nationale Umsetzung der Neufassung der EU-Gebäuderichtlinie 2010 dienen sowie einen Beitrag für die Diskussion „Innovative Baustandards vs. leistbares Wohnen“ liefern.

Die Ergebnisse liefern eine strategische Orientierung für die Forschungs- und Technologieentwicklung mit Fokus auf kosteneffiziente technische und organisatorische Lösungen.

Darüber hinaus werden Schlussfolgerungen für die Weiterentwicklung von baurechtlichen Standards sowie von Förder- und sonstigen Anreizinstrumenten für die weitere Verbreitung von innovativen Baustandards gezogen.

2.1 Relevanz für das Programm Haus der Zukunft

Nachfolgend wird beschrieben, welchen Beitrag das Projekt in Hinblick auf die Zielsetzungen von Haus der Zukunft liefert.

2.1.1 Einpassung in das Programm

Das Projekt liefert eine umfassende Bestandsaufnahme und Analyse zur Wirtschaftlichkeit innovativer Gebäudekonzepte. Im Sample der untersuchten Objekte befinden sich auch mehrere Haus der Zukunft Pilot- und Demoprojekte. Wissen, das bisher bei einzelnen Wohnbauträgern vorhanden war, wurde im Zuge des Projekts gesammelt und systematisch ausgewertet. Daraus abgeleitete Ergebnisse liefern einen wichtigen Beitrag für die weitere Marktdiffusion innovativer Gebäudekonzepte und die kosteneffiziente Erreichung von nearly zero-energy buildings aber auch für die weitere strategische Ausrichtung zukünftiger Pilot- und Demoprojekte in Richtung verstärkter Qualitätssicherung.

Die Ergebnisse sollen aber ebenso eine Grundlage für ein vereinfachtes praxistaugliches Modell zur Berechnung von Lebenszykluskosten von energierelevanten Baukomponenten in großvolumigen Wohngebäuden darstellen und damit betriebswirtschaftliche Auswertungen von Gebäudedaten erleichtern.

2.1.2 Beitrag zum Gesamtziel des Programms

Die Analyse bestehender innovativer Gebäude hinsichtlich ihrer betriebswirtschaftlichen Aspekte über den Gebäudelebenszyklus liefert einen wichtigen Beitrag zur Diskussion über die Wirtschaftlichkeit innovativer Gebäudekonzepte und für die Marktdurchdringung wirtschaftlich umsetzbarer, innovativer technischer und organisatorischer Lösungen. In diesem Sinn tragen die Ergebnisse zur Etablierung eines CO₂-neutralen Gebäudesektors bei.

Darüber hinaus wurden Empfehlungen für den Forschungs- und Entwicklungsbedarf sowie für zukünftige angemessene Förderinstrumentarien erarbeitet.

2.1.3 Einbeziehung der Zielgruppen und Berücksichtigung ihrer Bedürfnisse

Durch die Zusammenarbeit mit dem Österreichischen Verband Gemeinnütziger Bauvereinigungen (gbv-Verband) wird die Erarbeitung praxisrelevanter Ergebnisse sichergestellt und diese in gbv-internen Schulungen verbreitet.

Daneben werden die Vernetzung und der Wissenstransfer zwischen den einzelnen Wohnbauträgern sowohl auf nationaler aber auch auf internationaler Ebene gefördert.

Die genannten Empfehlungen für eine verstärkte Qualitätssicherung über die gesamte Gebäudelebensdauer gewährleistet nicht nur Energieeinsparungen sondern auch eine Steigerung der Kosteneffizienz, was auch den NutzerInnen zugutekommt.

2.1.4 Beschreibung der Umsetzungs-Potenziale für die Projektergebnisse

Innovative Gebäudekonzepte sind unter bestimmten Voraussetzungen bereits jetzt kosteneffizient. Die Erfahrungen einzelner Unternehmen zeigen außerdem, dass der standardisierte Einsatz von Energieverbrauchs- und Kostenmonitoring in großvolumigen Wohngebäuden eine wesentliche Grundlage für die laufende Optimierung der Gebäude darstellt. Einer breiten Umsetzung am Wohnimmobilienmarkt stehen derzeit mangelndes Wissen seitens der Wohnbauträger sowie der Mangel an kostengünstigen Monitoringlösungen gegenüber. Diese Schwierigkeiten können durch Information und gezielte Ausrichtung der Anreiz- und Förderinstrumente problemlos beseitigt werden.

3 Grundlagen und Methoden

Kapitel 3 fasst bisherige Auswertungen von Niedrigenergie- und Passivwohnhäusern zusammen und erläutert die Kostenoptimalitätsmethode. Neben dem gesetzlichen Rahmen und der Beschreibung der Methode selbst, enthält dieses Kapitel auch Beispiele zur Anwendung der Kostenoptimalitätsmethode in der Praxis und Informationen über die Umsetzung der Anforderung in anderen EU Mitgliedsstaaten.

Darüber hinaus wird in Kapitel 3 der methodische Zugang, der in diesem Projekt zur Anwendung kam, beschrieben. Details zum Untersuchungsrahmen und der Datenerhebung, der Plausibilisierung und Bereinigung der Daten sowie die Schwierigkeiten bei der Datenerhebung dieses Projekts werden dargestellt.

3.1 Bestehende Analysen von Niedrigstenergie- und Passivhaus-Wohnhausanlagen

Mehrfamilienhäuser werden zunehmend in Niedrigstenergie- oder Passivhausbauweise ausgeführt. Um das in den umgesetzten Projekten erworbene Know How zu verbreiten, wurden in den vergangenen Jahren zahlreiche Beispielprojekte wissenschaftlich begleitet, analysiert und die Ergebnisse veröffentlicht.

Im Hinblick auf die zunehmende öffentliche Diskussion über die Wirtschaftlichkeit energieeffizienter Mehrfamilienwohngebäude und die Höhe des tatsächlichen Energieverbrauchs, ist eine umfassende, wissenschaftlich fundierte Betrachtung dieser Themen von enormer Bedeutung.

Unter anderem wurden über folgende umgesetzte Projekte detaillierte Daten zu Teilaspekten wie Baukosten, Betriebs- und Wartungskosten, Gegenüberstellung des berechneten Energiebedarfs und des tatsächlichen Energieverbrauchs oder der Nutzerzufriedenheit, etc. veröffentlicht:

- CEPHEUS-Projekte in Österreich
- Utendorfgasse 7, 1140 Wien, PH
- Roschégasse 20/Pantucekgasse 1, 1110 Wien, PH
- Dreherstraße 66, 1110 Wien, PH
- Dreherstraße, 1110 Wien, NEH
- Mühlweg, Fritz-Kandl-Gasse 1, 1210 Wien, PH
- Molkereistraße 1, 1020 Wien, PH
- Anton-Heger-Platz 4, 1230 Wien, PH
- Schellenseegasse 5, 1230 Wien, PH
- Esslinger Hauptstraße 17, 1220 Wien, PH
- Kammelweg 10, 1210 Wien, PH
- Thürnlhofstraße 12, 1110 Wien, NEH
- Rudolf-Pöch-Gasse 1B, 1140 Wien, NEH
- Welingergasse 3, 1230 Wien, NEH
- Erlaaer Straße 67, 1230 Wien, NEH
- Esslinger Hauptstraße 15, 1220 Wien, NEH
- Rautenstrauchgasse 7/ Sedlitzkygasse 3-5, 1110 Wien, NEH
- Lodenareal, Innsbruck, PH
- Sandgrubenweg, Bregenz, PH

Für bisherige Demonstrationsprojekte im Rahmen des Programms Haus der Zukunft ist in der Regel ein ausführliches Monitoring durchgeführt worden, wobei der Fokus auf der detaillierten energietechnischen Vermessung und der sozialwissenschaftlichen Begleitforschung gelegen ist. Kostendaten sind nicht erhoben worden (Wagner et al., 2008a) oder haben sich auf die Angabe der gesamten Bauwerks- und/oder „Investitionskosten“ (Wagner et al., 2010), im Einzelfall auf Angabe der Mehrkosten (Wagner et al., 2008b) beschränkt. Auch in der zusammenfassenden Darstellung umgesetzter HdZ-

Demonstrationsgebäude (wobei die Wohnbauten Rochégasse, Utendorfgasse, Mühlweg, Dreherstraße und die Sanierung in der Makartstraße dargestellt sind) liegt der Fokus ausschließlich auf Messmonitoring und Nutzerzufriedenheit (Wagner et al., 2009). Die weitreichende Thematik der Bewirtschaftungskosten bleibt auch in dieser Evaluierung bis auf einen Hinweis auf „hohe Kosten durch Filterwechsel“ bei einzelnen Lüftungsanlagen ausgespart. In jüngster Zeit wurde dem Aspekt der Gesamtkosten und Wirtschaftlichkeit höhere Aufmerksamkeit gewidmet, was zum Beispiel durch ein detailliertes Kostenmonitoring im Rahmen der Haus der Zukunft Leitprojekte zum Ausdruck kommt.

3.1.1 Energieverbrauch der verfügbaren Gebäude

Die energietechnische Qualität von Gebäuden lässt sich anhand der im Energieausweis dargestellten Energiekennzahlen bestimmen und mit anderen Gebäuden vergleichen. In Tabelle 1 werden für einige Gebäude der berechnete Heizwärmebedarf, der gemessene Heizwärmeverbrauch sowie der klimabereinigte Heizwärmeverbrauch gegenübergestellt.

Tabelle 1: Gegenüberstellung des Heizwärmebedarfes und -verbrauches ausgewählter Passivhäuser; Quellen: Schöberl und Hofer (2012), ^a Wagner et al. (2012), ^b Stampfl et al. (2013)

Projekt (Gebäudequalität)	Berechneter Heizwärmebedarf [kWh/m ² _{TFAA}]	Gemessener Heizwärmeverbrauch [kWh/m ² _{TFAA}]			
		1. Messjahr		2. Messjahr	
			Klimabereinigt		Klimabereinigt
Utendorfgasse 7, 1140 Wien (PH)	15,0	15,5	12,9	-	-
Roschégasse 20/Pantucekgasse 1, 1110 Wien (PH)	13,0	16,8	15,3	-	-
Dreherstraße, 1110 Wien (PH)	11,0	15,2	13,2	12,6	10,3
Mühlweg, 1210 Wien (PH)	13,1	14,4	15,5	17,0	18,4
Molkereistraße, 1020 Wien (PH)	8,6	17,4	14,0	16,8	15,0
Lodenareal, Innsbruck (PH)	14,5	17,59 ^a	13,59 ^a	16,26 ^a	14,55 ^a
Sandgrubenweg, Bregenz (PH)	9,03 ^b (BGF)	39,9 ^b	-	-	-

Während Tabelle 1 Daten aus bisher veröffentlichten Studien präsentiert, zeigt Tabelle 2 die Ergebnisse der Auswertung von zwei Passivhäusern durch Schöberl & Pöll GmbH. Die Daten sind pro Quadratmeter Energiebezugsfläche nach PHPP angegeben. Verbrauchsdaten sind nicht bereinigt.

Tabelle 2: Auswertung Heizwärmebedarf und –verbrauch zweier Passivhäuser; Quelle: Schöberl & Pöll, 07.03.2014

Objekt	WE	Fertigstellung	Berechneter Heizwärmebedarf exkl. Verteilverluste [kWh/m ² _{EBFA}]	Gemessener Heizwärmeverbrauch [kWh/m ² _{EBFA}]
Kandelgasse Straßentrakt (PH)	25	2007	15	15
Kandelgasse Hoftrakt (PH)	48	2008	11	
Eurogate Bauplatz 2, Baukörper 1 (PH)	58	2012	14	23,4 (inkl. Verteilverluste)
Eurogate Bauplatz 2, Baukörper 2 (PH)	52	2012	15	

3.1.1.1 Klima- und Temperaturbereinigung

Detaillierte Evaluierungsstudien für einzelne Objekte enthalten üblicherweise eine Klima- und Temperaturbereinigung für die ermittelten Verbrauchsdaten. Um wetterbedingte Unterschiede des Jahrestemperaturverlaufes auszublenden, wird der gemessene Heizwärmeverbrauch mit den Heizgradtagen des Betrachtungsjahres auf den Standardklimasatz bereinigt.

Bei der Temperaturbereinigung werden die tatsächlichen Raumtemperaturen ermittelt und der gemessene Verbrauch auf den Planungswert von 20 °C umgerechnet. Dieses Verfahren ist angemessen, um den Vergleich zwischen Planung und Betrieb anstellen zu können. Im Rahmen dieses Projekts wurde auf eine Klima- und Temperaturbereinigung verzichtet (siehe Kapitel 3.3.4).

3.1.1.2 Interpretation

Es zeigt sich, dass der Heizwärmeverbrauch bei einem Großteil der Projekte dem Heizwärmebedarf, der im Vorfeld projektiert wurde, sehr gut entspricht. Einzelne Überschreitungen der Grenzwerte für den HWB treten auf, was meist auf Wetterbedingungen und/oder höhere Raumtemperaturen zurückzuführen ist. So beträgt beispielsweise die Abweichung zwischen berechnetem Bedarf und gemessenem, klimabereinigtem Verbrauch beim Passivhaus Molkereistraße 5,4 kWh/m²_{TFA}a. Einzig die gemessenen Heizwärmeverbräuche des Projektes Sandgrubenweg in Bregenz weichen mit einer Differenz von 30,87 kWh/m²_{BGFA} massiv vom projektierten Heizwärmebedarf ab. Als

mögliche Ursachen für diese große Abweichung werden vom Energieinstitut Vorarlberg in einer Stellungnahme die fehlende Qualitätssicherung der Energiebedarfsberechnung mit PHPP, fehlerhafte oder fehlende Einregulierung der Lüftung sowie der Heizung genannt.

Die Ergebnisse stimmen gut mit jenen aus dem Projekt Nachhaltigkeits-Monitoring ausgewählter Passivhaus-Wohnanlagen in Wien, kurz NaMAP, von Treberspurg et al. (2009) überein, das bis auf wenige Ausnahmen ebenfalls nur geringe Differenzen zwischen dem berechneten Heizwärmebedarf und dem tatsächlichen Heizwärmeverbrauch aufzeigen konnte.

3.1.2 Kosten

Die in Tabelle 3 dargestellten Kosten stammen aus dem Endbericht des Projektes „Vergleichende Analyse von Errichtungs- und Bewirtschaftungskosten großvolumiger Wohngebäude in Passivhaus- und Niedrigenergiehausqualität in Wien“ der Forschungsgesellschaft für Wohnen, Bauen und Planen, Wien (FGW) von August 2009. Das Projekt hatte sowohl eine vergleichende Baukostenanalyse als auch eine Mehrkostenanalyse der Passivhausprojekte zum Ziel. Die Daten über die Baukosten stammen in erster Linie von den Bauträgern und der Förderungsstelle sowie im Fall der Bewirtschaftungskosten von den Hausverwaltungen und den Bauträgern.

Tabelle 3: Errichtungskosten ausgewählter Passiv- und Niedrigenergiehäuser in Wien; Quelle: Schuster et al. (2009)

	Objekt	WE	Fertigstellung	Errichtungskosten indexiert [$\text{€}/\text{m}^2_{\text{NF}}$]
Passivhaus	Anton-Heger-Platz 4, 1230	15	2005	1.848
	Schellenseegasse 5, 1230	22	2008	1.711
	Dreher Straße 66, 1110	27	2007	1.455
	Utendorfgasse 7, 1140 Wien	39	2006	1.636
	Esslinger Hauptstraße 17, 1220	46	2006	1.596
	Kammelweg 10, 1210	87	2007	1.566
	Pantucek-/Roschégasse 20, 1110	114	2006	1.621
	Molkereistraße 1-2, 1020	133	2005	1.508
Niedrigenergiehaus	Welingergasse 33, 1230	13+1	2008	1.730
	Erlaaer Straße 67, 1230	30	2006	1.514
	Esslinger Hauptstraße 15, 1220	40	2009	1.745
	Rudolf-Pöch-Gasse, 1140	97	2007	1.565
	Rautenstrauchgasse 7/Sedlitzkygasse 3-5, 1110	106+1	2007	1.415
	Dreherstraße 66, 1110	111	2007	1.413
	Thürnlhofstraße 12, 1110	138	2007	1.440

Die Errichtungskosten der einzelnen Projekte wurden mithilfe des Baukostenindex für Wohnungs- und Siedlungsbau auf den Vergleichsmonat Juni 2009 umgerechnet, um die Kosten von Projekten mit unterschiedlichen Fertigstellungsdaten vergleichen zu können.

Die durchschnittlichen Mehrkosten der Errichtung von Passivhäusern im Vergleich zu Niedrigenergiehäusern liegen bei 4,65 Prozent. Im Einzelfall können die Mehrkosten bis zu 12 Prozent betragen.

Anzumerken ist, dass die beiden Niedrigenergiegebäude Welingerstraße 33 und Esslinger Hauptstraße 15 auffallend hohe Errichtungskosten aufweisen. Dadurch werden die Durchschnittskosten der Niedrigenergiegebäude erhöht und die Differenz zwischen Passiv- und Niedrigenergiehäusern gesenkt. Werden diese beiden Gebäude aus der Analyse entfernt, ergibt sich die Kostendifferenz zwischen Passiv- und Niedrigenergiehäusern auf 10,1 Prozent.

Werden die Errichtungskosten wiederum nach der Anzahl der Wohneinheiten je Gebäude bzw. der Fläche gewichtet, ergeben sich Mehrkosten des Passivhauses von 7,3 Prozent. Die Größe des Gebäudes hat einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss auf die Mehrkosten. Dementsprechend ist das Ergebnis der Mehrkostenbetrachtung davon abhängig, ob der Durchschnitt über die Errichtungskosten aller Gebäude gebildet wird, oder ob die Gebäude nach Größe kategorisiert und jeweils nur eine Größenklasse verglichen wird.

Im Vergleich dazu wird in der Studie „Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit“ des Österreichischen Verbandes Gemeinnütziger Bauvereinigungen (Bauer, 2013) eine Baukostendifferenz zwischen Niedrigenergie- und Passivwohnhäusern von $110 \text{ €/m}^2_{\text{NF}}$ oder 7 Prozent ermittelt. Die „Analyse des kostenoptimalen Energieniveaus für Wohnungsneubauten in Vorarlberg“ des Energieinstitutes Vorarlberg in Kooperation mit e7 Energie Markt Analyse GmbH (Ploss et al., 2013) bestimmt die Mehrkosten für Mehrfamilienhäuser in Passivhausqualität im Vergleich zu Niedrigenergiegebäuden mit 6,2 bis 8,8 Prozent in Abhängigkeit von der Gebäudegröße, dem verwendeten Energieträger und der Installation einer Solaranlage. Zusammen mit den Ergebnissen aus dieser Untersuchung (sh. Kapitel 4.4), die ebenfalls in dieser Größenordnung liegen, kann mittlerweile von einer gut abgesicherten Datenbasis hinsichtlich der durchschnittlichen Mehrkosten von großvolumigen Wohngebäuden in Passivhausstandard ausgegangen werden.

Gründe für die Mehrkosten beim Passivhaus liegen einerseits in den bautechnischen Anforderungen des Passivhauses (Dämmung, Fenster, Luftdichtigkeit, etc.), unterschiedlicher technischer Ausstattung (insbesondere Lüftungsanlagen), aber auch unterschiedlichen Gegebenheiten am Standort.

Aufgrund zu geringer Datengrundlagen konnte ein durchgängiger Betriebskostenvergleich im Projekt der FGW nicht erstellt werden. Im „Betriebskosten- und Wartungskostenvergleich zwischen Passivhäusern und Niedrigenergiehäusern“ von Schöberl und Hofer (2012) wird diese Themenstellung jedoch auf Basis tatsächlicher Verbrauchsdaten und Betriebskosten erarbeitet und in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4: Mehrfamilienhäuser - Gegenüberstellung der Betriebskosten von Passiv- und Niedrigenergiehäusern. Kostenangaben pro m² Wohnnutzfläche exkl. USt.; Quelle: Schöberl und Hofer (2012)

Mehrfamilienhäuser	Niedrigenergiehaus	Passivhaus
	Euro/m².a	Euro/m².a
Raumheizung	2,90	0,90
Wartung Lüftungsanlage (exkl. Brandschutzklappen)	0,25	0,40
Strom Lüftungsanlage	0,45	0,80
Ablesung und Abrechnung der Heizkosten	0,50	-
Rauchfangkehrer	0,10	-
Summe	4,20	2,10
	100%	50%
Einsparung Passivhaus gegenüber Niedrigenergiehaus	2,10 Euro/m².a	
	50 %	

Die durchschnittlichen Betriebskosten in Mehrfamilienhäusern werden mit 4,20 €/m²_{WNFA} im Niedrigenergiehaus und 2,10 €/m²_{WNFA} im Passivhaus ermittelt. Eine Einsparung von 2,10 €/m²_{WNFA} oder 50 % der Betriebskosten ist im Passivhaus gegenüber einem Niedrigenergiehaus möglich, wobei die Einsparung bei der Raumheizung die größte Auswirkung hat. Höhere laufende Kosten für die Lüftungsanlage im Passivhaus stehen Einsparungen durch das Wegfallen von Kosten für die Ablesung und Abrechnung von Heizkosten sowie Rauchfangkehrerkosten gegenüber.

3.1.3 Überblick über innovative Technologien

Da vor allem die Haustechnik in Passivhäusern ein Grund für die Mehrkosten im Vergleich zu Niedrigenergiehäusern darstellt, werden in neuen Projekten zunehmend alternative Haustechnikkonzepte getestet. Einige Beispiele dafür sind

- Zwei- statt Vierleiternetz

Konventionelle Leiternetze versorgen das Gebäude ausgehend vom Wärmespeicher mit jeweils einer Vor- und Rücklaufleitung für Heizungswarmwasser sowie einer Vor- und Rücklaufleitung für Brauchwarmwasser. Das System besteht also aus vier Versorgungsleitungen. Bei Zweileiternetzen wird die Wärmeversorgung der einzelnen Nutzungseinheiten mit nur einer Vor- und einer Rücklaufleitung bewerkstelligt. In der Nutzungseinheit befindet sich eine Übergabestation, wo mittels Wärmetauscher Wärme an das Brauchwasser und das Heizungssystem abgegeben wird.

- Solaranlage zur Heizungsunterstützung (1000 m²) im Lodenareal

Die Solaranlage wird im Anwendungsbeispiel nicht nur für die Erwärmung des Brauchwarmwassers verwendet, sondern auch für die Heizungsunterstützung. Es wird eine größere Kollektorfläche eingesetzt. Dadurch kann speziell in der Übergangszeit der konventionelle Energieeinsatz der Heizungszentrale reduziert werden.

- Kaskadenlüftungskonzepte zur Reduktion des Luftvolumenstroms der Wohnraumlüftung.

Ein Kaskadenlüftungskonzept unterscheidet sich von einem konventionellen dadurch, dass die Zuluft ausschließlich in Schlafzimmern eingebracht wird, in den Wohnräumen überströmt und in Küche und Bad/WC abgesaugt wird. Der Volumenstrom sowie die Anzahl an Zuluftleitungen wird reduziert, ohne wesentliche Verschlechterung der Luftqualität.

Wie sich diese Systeme im Detail auf den Energieverbrauch und die Kosten auswirken, kann derzeit aufgrund mangelnder Daten für eine größere Anzahl von Objekten noch nicht mit Sicherheit bewertet werden und bedarf weiterer Untersuchungen.

3.1.4 Zusammenfassung

Die energietechnische Betrachtung bestehender Niedrigenergie- und Passivhäuser zeigt, dass in den meisten Gebäuden die Energieverbräuche mit den projektierten Energiebedarfswerten gut übereinstimmen. Kleinere Abweichungen lassen sich aufgrund von Wetterbedingungen und höheren Raumtemperaturen erklären, große Abweichungen gibt es nur in wenigen Fällen.

Die Analyse der Mehrkosten für die Errichtung von Passivhäusern bestätigt die Ergebnisse früherer Berichte. Sie betragen je nach Betrachtungsweise zwischen 4,65 und 12 Prozent. Die Mehrkosten hängen jedoch stark von der in die Betrachtung aufgenommenen Gebäudeauswahl ab, bzw. ob nach Gebäudegröße gewichtet wird oder Ausreißer entfernt werden.

Im Bereich der Betriebskostenanalyse gibt es bisher nur wenige Datenquellen. Es zeigt sich aber, dass im optimalen Fall das Passivhauskonzept die Betriebskosten im Vergleich zu einem Niedrigenergiegebäude halbieren kann.

Die Anwendung neuer Technologien kann weitere Einsparungen bringen und/oder die Errichtungskosten senken, was zu einer weiteren Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit von Niedrigstenergiegebäudekonzepten führen wird.

3.2 Kostenoptimalität: Methode und Vorarbeiten

Die Europäische Union verfolgt das Ziel, die Abhängigkeit von Importen fossiler Energieträger sowie die Treibhausgasemissionen zu reduzieren. Dies soll durch die Senkung des Energieverbrauchs und die verstärkte Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen unter anderem im Gebäudesektor erreicht werden. Der Energieverbrauch im Gebäudesektor ist der größte und somit wichtigste in der EU und schlägt mit 40% des gesamten Endenergiebedarfs zu buche.

3.2.1 Europäische Gebäuderichtlinie 2010/31/EU

Die Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. Mai 2010 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden bildet die Grundlage für die Festlegung der nationalen Mindestanforderungsniveaus an die Energieeffizienz von neuen Gebäuden und bestehenden, die einer größeren Renovierung unterzogen werden. Ziel ist die stärkere Verbreitung energieeffizienter Gebäude bis 2020.

Die Mitgliedstaaten sollen unter anderem die jährliche Gesamtenergieeffizienz von Wohn- und Nichtwohngebäuden nach einer einheitlichen Methode berechnen, Energieausweise für Gebäude erstellen und die Nutzung alternativer Energieversorgungssysteme prüfen.

Artikel 5 der Richtlinie fordert, dass sich die nationalen Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz des Gebäudes, das heißt an die thermische Qualität der Gebäudehülle sowie der haustechnischen Anlagen) am jeweiligen Kostenoptimum orientieren sollen. Die festgelegten Mindestanforderungen sind regelmäßig im Abstand von maximal fünf Jahren zu überprüfen und Maßnahmen zur Anpassung der Mindestanforderungen an die kostenoptimalen Niveaus sind vorzusehen. Über die Berechnungen und die Maßnahmen müssen die Mitgliedsstaaten der Kommission Bericht erstatten.

3.2.2 Methodischer Rahmen

Die Delegierte Verordnung Nr. 244/2012 der Kommission sowie die dazugehörigen Leitlinien 2012/C 115/01 stellen den Rahmen für die Vergleichsmethode zur Berechnung kostenoptimaler Niveaus von Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz von neuen und bestehenden Gebäuden und Gebäudekomponenten wie in der Europäischen Gebäuderichtlinie gefordert, dar.

Für die Berechnung werden die typischen Gebäudekategorien des jeweiligen Mitgliedsstaates herangezogen und für unterschiedliche energietechnische Qualitäten die Kostenoptima ermittelt. Berücksichtigt werden hierfür die Kostenkategorien Anfangsinvestition, Wartungs- und Instandhaltungskosten, Energiekosten und falls zutreffend Entsorgungskosten.

Neben den Kosten stellen die Lebensdauern des Gebäudes bzw. der Anlagentechnik, Primärenergiefaktoren, der Abzinsungsfaktor sowie die zukünftige Energiepreisentwicklung wichtige Berechnungsparameter dar.

Basierend auf der Kostenoptimalitätsberechnung für das jeweilige Land sollen die Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden in den Mitgliedsstaaten so festgelegt bzw. angepasst werden, dass sie über den Lebenszyklus betrachtet um nicht mehr als 15 Prozent vom kostenoptimalen Niveau abweicht. Die Ziffern 1 bis 6 stellen in Abbildung 1 unterschiedliche energietechnische Niveaus dar.

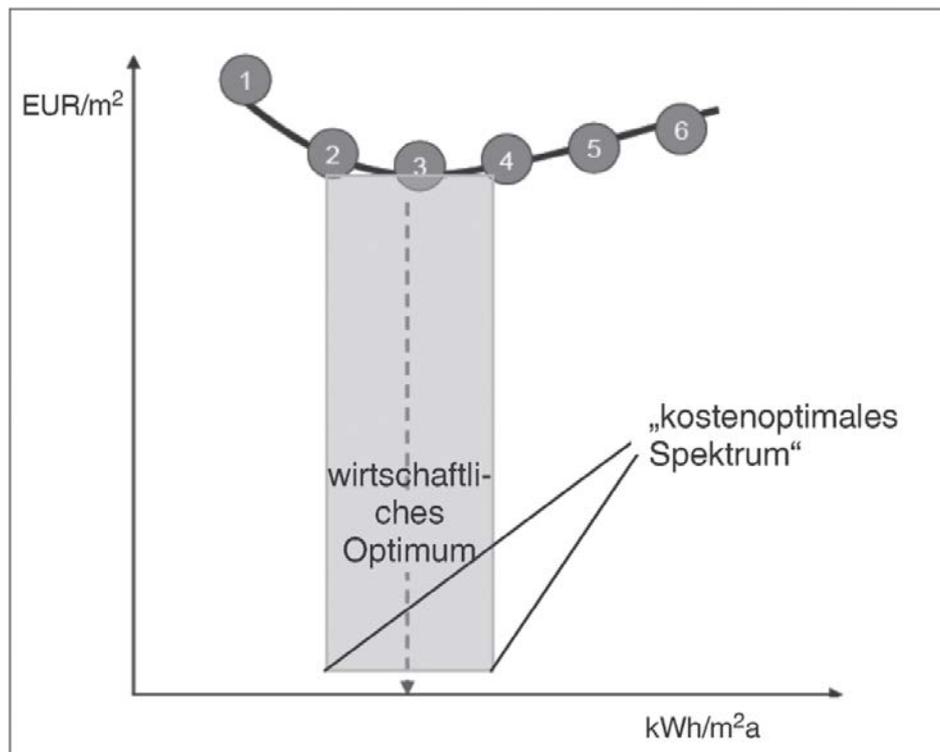


Abbildung 1: Kostenoptimales Spektrum; Quelle: Leitlinien zur delegierten Verordnung (EU) Nr. 244/2012 (Europäische Kommission, 2012)

3.2.3 Kostenoptimalität in der Praxis

e7 hat bereits mehrjährige Erfahrung mit der Berechnung der Kostenoptimalität von Gebäuden und untersuchte 2012 die Anforderungsniveaus für Wohngebäude hinsichtlich ihrer Kostenoptimalität. Die Ergebnisse wurden im Forschungsbericht „Analyse des kostenoptimalen Anforderungsniveaus für Wohnungsneubauten“ von Leutgöb et al. (2012) veröffentlicht. Zentrales Ergebnis der Studie ist, dass die Kostenunterschiede zwischen den einzelnen untersuchten Gebäudequalitäten über den gesamten Betrachtungszeitraum sehr gering sind und daher die Verschärfung des Anforderungsniveaus bis hin zur HWB-Linie 10 (siehe Tabelle 5) ohne wesentliche Gesamtkostensteigerungen über den Lebenszyklus möglich ist.

e7 war 2013 am Forschungsprojekt „Implementing the cost-optimal methodology in EU countries – Lessons learned from three case studies“ von Atanasiu et al. (2013),

herausgegeben vom Building Performance Institute Europe (BPIE), beteiligt. Dabei wurde die bisherige Umsetzung der Kostenoptimalitätsberechnung in den Mitgliedsstaaten anhand von den drei Beispielen Österreich, Deutschland und Polen untersucht.

Zuletzt untersuchte e7 gemeinsam mit dem Energieinstitut Vorarlberg die Kostenoptimalität der Anforderungsniveaus für Wohnungsneubauten in Vorarlberg, siehe Ploss et al. (2013). Ziel war die Prüfung der Anforderungsniveaus unter Berücksichtigung regionaler Preisniveaus. Es zeigte sich auch in dieser Untersuchung, dass das Kostenoptimum bei jenen Gebäudevarianten mit sehr hohen energietechnischen Anforderungen liegt.

Die Sensitivitätsanalyse zeigte, dass die Nebenbedingungen und getätigten Annahmen geringe Auswirkungen auf die Berechnungsergebnisse haben. Ein entscheidendes Kriterium für die Belastbarkeit der Berechnungsergebnisse ist aber der tatsächliche Energieverbrauch des Gebäudes. Laut Ploss (2013, Seite 12) ist die „Voraussetzung für die Wirtschaftlichkeit hocheffizienter Gebäude, dass die tatsächlichen Verbräuche den vorausgerechneten Werten entsprechen“.

3.2.4 Nationaler Plan

Im Zuge der Umsetzung der Europäischen Gebäuderichtlinie ist jeder Mitgliedsstaat dazu aufgefordert, das Energieniveau für Niedrigstenergiegebäude festzulegen und seine Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden unter Berücksichtigung der kostenoptimalen Niveaus bis 2020 daran anzupassen. Dazu erstellten die Mitgliedsstaaten sogenannte Nationale Pläne. Der österreichische Nationale Plan (Österreichisches Institut für Bautechnik, 2012), sieht eine schrittweise Anpassung der Anforderungen an den Heizwärmebedarf HWB, den Gesamtenergieeffizienz-Faktor fGEE, den Primärenergiebedarf PEB und die Treibhausgasemissionen jeweils inklusive Haushaltsstrom vor. Die Anforderungen an den HWB unterscheiden sich je nachdem ob erneuerbare Energieträger eingesetzt werden oder nicht. Derzeit liegt der nationale Plan nur für Wohngebäude vor. Nichtwohngebäude folgen.

Der Plan sieht eine schrittweise Herabsetzung der Anforderung an den Primärenergiebedarf von $190 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGF}\cdot\text{a}}$ im Jahr 2014 bis auf 160 im Jahr 2020 für Neubauten (beispielhaft dargestellt in Tabelle 5) respektive 230 bis 200 $\text{kWh/m}^2_{\text{BGF}\cdot\text{a}}$ für bestehende Gebäude, die einer größeren Renovierung unterzogen werden, vor.

Tabelle 5: Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz von Wohngebäuden - Neubau bis 2020; Quelle: Österreichisches Institut für Bautechnik (2012)

Kennzahl	2014	2016	2018	2020
$\text{HWB}_{\text{max,SK}}$ [kWh/m ² _{BGF} ·a]	16x(1+3,0/lc)	14x(1+3,0/lc)	12x(1+3,0/lc)	10x(1+3,0/lc)
$\text{HWB}_{\text{max,SK}}$ Erneuerbaren [kWh/m ² _{BGF} ·a]	mit	16x(1+3,0/lc)	16x(1+3,0/lc)	16x(1+3,0/lc)
fGEE [-]	0,90	0,85	0,80	0,75

PEB _{max,SK} [kWh/m ² _{BGFA}]	190	180	170	160
CO _{2max,SK} [kg/m ² _{BGFA}]	30	28	26	24

Die nationalen Pläne der anderen Mitgliedsstaaten sehen ebenfalls eine schrittweise Anpassung der Anforderungsniveaus in Verbindung mit Maßnahmen zur Verbreitung von Niedrigstenergiegebäuden, wie beispielsweise Informationsmaßnahmen, Ausbildung und Training oder Finanzierungsinstrumente vor. Beispielhaft werden die Anpassungen für einige Mitgliedsstaaten nachfolgend dargestellt.

Deutschland plant eine Erhöhung der derzeitigen energietechnischen Mindestanforderungen für neue Wohn- und Nichtwohngebäude im Mittel von jeweils 12,5 Prozent für die Jahre 2014 und 2016. Die energietechnischen Anforderungen eines Niedrigstenergiegebäudes laut EU-Gebäuderichtlinie wurden noch nicht definiert. Dies wird rechtzeitig vor dem Jahr 2019 umgesetzt.

Großbritannien hat festgelegt, dass ab 2016 sämtliche neue öffentliche Bauten und ab 2019 alle neuen Wohngebäude CO₂-neutral betrieben werden sollen und dies den europäischen Anforderungen an Niedrigstenergiegebäude entspricht. Zwischenziele für 2015 werden bei Bedarf festgelegt.

Dänemark legt eine Reduktion des Energieverbrauches von Gebäuden von 25 Prozent ab 2010, weiteren 25 Prozent ab 2015 und nochmaligen 25 Prozent ab 2020 auf Basis des Anforderungsniveaus von 2006 fest. Die Reduktion von 75 Prozent gegenüber dem Anforderungsniveau 2006 bildet für Dänemark das Niedrigstenergieniveau, dies entspricht einem maximalen Endenergiebedarf für Wohngebäude von 20 kWh/m²_{TFAA} und 25 kWh/m²_{TFAA} für Nichtwohngebäude.

Zypern hat das Primärenergieniveau für Niedrigstenergiegebäude mit 180 kWh/m²a für Wohngebäude und 210 kWh/m²a für Nichtwohngebäude inkl. Haushaltsstrombedarf festgelegt. Zusätzlich wird eine Mindestdeckung des Primärenergiebedarfs durch erneuerbare Energieträger von 25 Prozent vorgeschrieben. Ein sechsstufiger Maßnahmenplan zur Erhöhung der Anzahl von Niedrigstenergiegebäuden wurde ausgearbeitet.

3.2.5 Ausblick Kostenoptimalität

Sowohl der österreichische als auch der deutsche Bericht über die Kostenoptimalität der energietechnischen Mindestanforderungen an Gebäude legt nahe, dass die gesetzlichen Anforderungen bereits jetzt annähernd kostenoptimal sind. Bis zur nächsten Überprüfung werden daher nur die bereits geplanten Anpassungen der Mindestanforderungen ohne zusätzliche Änderungen durchgeführt.

3.3 Untersuchungsrahmen und Datenerhebung

Die Festlegung des Untersuchungsrahmens sowie die Erhebung der Daten bei österreichischen Bauträgern erfolgte in enger Zusammenarbeit mit dem gbv-Verband. Die erhobenen Daten mussten im Anschluss auf ihre Plausibilität geprüft, bereinigt und teilweise ergänzt werden.

3.3.1 Untersuchungsrahmen

Die Erhebung umfasst großvolumige Wohngebäude (Neubau und Sanierung) und wurde eingegrenzt auf Objekte mit berechnetem HWB von $\leq 50 \text{ kWh/m}^2\text{a}$. Damit repräsentieren die Gebäude das Spektrum vom Niedrigenergiestandard über den Niedrigstenergiestandard bis zum Passivhaus. Eine weitere Vorgabe für die Erhebung war, dass für die betreffenden Objekte Verbrauchs- und Betriebskostendaten über mehrere Jahre zur Verfügung stehen. In der Praxis hat sich gezeigt, dass Daten über zumindest 2 bis 3 Betriebsjahre erforderlich sind, um „Ausreißer“ aus dem ersten Betriebsjahr, unterschiedliche Leerstandsdaten oder klimabedingte Schwankungen auszugleichen. Innovative Gebäude aus der neuesten Generation sind daher nicht in dem Sample vertreten. Die weitaus überwiegende Zahl der betrachteten Objekte wurde im Zeitraum 2006 bis 2010 fertiggestellt bzw. saniert.

3.3.2 Datenerhebung

Für die Datenerhebung wurde in Zusammenarbeit mit dem gbv-Verband ein Erhebungsbogen erarbeitet, mit dem die folgenden Daten direkt bei den Wohnbauträgern abgefragt wurden:

- Basisdaten zum Gebäude (Postleitzahl, BGF, NF, HWB, Anzahl Aufzüge, Anzahl der Wohneinheiten, A/V-Verhältnis, Anzahl der Geschoße)
- Technische Ausstattung (Angaben u.a. zu Heizungs- und Lüftungsanlage, Solaranlage, nachträgliche Wärmedämmung, Fenstertausch etc.)
- Energieverbrauch und Energiekosten, aufgeschlüsselt nach Wärmebereitstellung für Warmwasser und Raumwärme
- Erträge aus Solaranlage, Verbrauch an Hilfsstrom für Pumpen und Lüftung
- Kosten für Inspektion und Wartung von haustechnischen Anlagen
- Neubau-Errichtungskosten (aufgeschlüsselt nach Gesamtbaukosten, reine Baukosten und Kosten für Garagen)

Die Datenerhebung erfolgte ab Anfang April 2012 direkt über den Verband der gemeinnützigen Bauvereinigungen (gbv-Verband), indem die Fragebögen an alle rund 200 Mitgliedsunternehmen elektronisch versendet wurden. Die Unternehmen waren aufgefordert,

Daten für mehrere Objekte (Neubau und Sanierung) aus unterschiedlichen Bauperioden, insbesondere auch Objekte im Niedrigstenergie- und Passivhausstandard elektronisch zu übermitteln. Die Rückmeldung der Unternehmen erfolgte wiederum direkt an den gbv-Verband, wo die Daten anonymisiert wurden. Die anonymisierten Datensätze für Objekte mit einem HWB kleiner gleich $50 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ wurden an e7 für die Plausibilitätsprüfung übermittelt.

An der verbandsweiten Erhebung haben sich insgesamt 52 gemeinnützige Bauvereinigungen von gesamt 191 Mitgliedern des gbv-Verbandes beteiligt und Daten für 321 Objekte gemeldet. Davon wurden nach Plausibilisierung schließlich 124 Datensätze für dieses Projekt verwendet. Jährlich werden etwa 15.000 Wohnungen von gemeinnützigen Wohnbauträgern errichtet (gbv-Verband, 2014). Auf den gesamten Betrachtungszeitraum hochgerechnet ergibt sich eine Summe von etwa 150.000 Wohneinheiten. In den betrachteten Objekten befinden sich gesamt 6.724 Wohneinheiten. Dies stellt einen Anteil von 4,5 % dar.

Gebäude mit HWB größer $50 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ wurden in diesem Projekt nicht berücksichtigt, wurden aber in der Auswertung des gbv-Verbands berücksichtigt (Bauer, 2013). Um die Datenbasis zu erhöhen wurden zusätzlich auch gewerbliche Bauträger kontaktiert. Die Bereitschaft zur Zusammenarbeit war hier jedoch deutlich geringer, so dass auf diesem Weg die Datenbasis nur um vier Objekte verbreitert werden konnte. In Summe wurden Daten von 128 Objekten mit $\text{HWB} \leq 50 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ erhoben und sind in dieses Projekt eingeflossen.

Die Erhebung der Daten war für die meisten Unternehmen mit einem großen Aufwand verbunden, da nur wenige Wohnbauträger über eine Energiebuchhaltung oder ähnliche Systeme verfügen, in denen die jährlichen Verbräuche objektweise dokumentiert sind. So mussten die Energieverbrauchsdaten und Energiekosten zumeist aus den jährlichen Heizkostenabrechnungen entnommen werden. Bei zentralen Energieversorgungsanlagen mit Einzellieferverträgen wurden die Verbrauchswerte bei den Energielieferanten bzw. über die Abrechnungsunternehmen erhoben. Für Wohnungen mit individueller Energieversorgung, die bei älteren Objekten aber nicht im Neubau anzutreffen sind, konnten keine Verbrauchsdaten erhoben werden.

Die Qualität der übermittelten Daten war nicht nur von der individuellen Kooperationsgemeinschaft seitens der Bauträger, sondern auch von installierten Messgeräten abhängig. Für einige Objekte sind bestimmte Aussagen nicht möglich, da bereits rein technisch nicht ausreichend Daten erfasst werden können. Lücken haben sich v.a. bei den folgenden Positionen gezeigt, da diese Daten entweder gar nicht oder nicht gesondert erfasst werden konnten:

- Der Energieverbrauch für die Warmwasserbereitung ist oft nicht vom Heizenergieverbrauch trennbar. Manchmal wird der Wärmeverbrauch für Warmwasser und Heizung bereits von den Lieferanten oder den Bauträgern in einem bestimmten Verhältnis (z. B. 30 % Energieverbrauch zur Warmwasserbereitung und 70 % Heizenergieverbrauch) aufgeteilt. Es war nicht immer ersichtlich ob es sich um

Messwerte oder Schätzwerte handelt. Dasselbe gilt auch für die Kosten. Dieser Punkt verursachte einen erheblichen Aufwand bei der Plausibilisierung der Daten.

- Die Wartungskosten für einzelne Haustechnikelemente konnten häufig nicht angegeben werden, ebenso der Hilfsstromverbrauch sowie die Kosten für Hilfsstrom.
- Der Endenergiebedarf (EEB) bzw. Heizenergiebedarf (HEB) wäre an sich der geeignete Indikator, um gemessene Verbrauchsdaten den berechneten Werten gegenüberzustellen. Der EEB wird in älteren Energieausweisen, die nicht der OIB Richtlinie 2007 entsprechen, nicht ausgewiesen. In der Auswertung erfolgte daher nur eine Kategorisierung der Objekte nach dem Heizwärmebedarf (HWB).

3.3.3 Plausibilisierung der Daten

Die erste Sichtung der übermittelten Daten warf zu fast jedem Datensatz Fragen auf, insbesondere zur Abgrenzung des Energieverbrauchs bzw. der Kosten für Raumwärme und Warmwasser. In vielen Fällen war zunächst nicht klar ersichtlich, ob die Kosten und Verbrauchsangaben zur Heizenergie ohne Warmwasserbereitung oder inklusive Warmwasserbereitung angegeben waren. Die offenen Fragen zu den einzelnen Objekten wurden mit Unterstützung des gbv-Verbands an die jeweiligen Bauträger übermittelt, in fast allen Fällen musste jedoch noch telefonisch nachgefragt werden. Oft waren von den zuständigen Personen bei den Wohnbauträgern zusätzliche Recherchen notwendig, bis – nach längeren Wartezeiten und weiteren Telefonaten alle Fragen im Detail geklärt werden konnten. Die objektweisen Plausibilitätschecks und Nachfragen verursachten einen erheblichen zusätzlichen zeitlichen Aufwand.

3.3.4 Bereinigung von Kosten- und Verbrauchsdaten

Die plausibilisierten Daten wurden vor der Auswertung mehreren Bereinigungsritten unterzogen, um eine bessere Vergleichbarkeit zwischen den Objekten zu erzielen. Die Bereinigungsritte und Methoden sind in den folgenden Abschnitten beschrieben. Eine Bereinigung nach tatsächlichen Raumtemperaturen wurde nicht durchgeführt, da diese nicht erhoben werden konnten. Aufgrund der großen Anzahl der Objekte und der vielen unterschiedlichen Standorte wurde auch keine Klimabereinigung durchgeführt. Die Auswirkung von jährlich unterschiedlichen klimatischen Bedingungen auf die Energieverbräuche für Raumwärme wird jedoch dadurch gemildert, dass im Durchschnitt Daten für 3,5 Jahre pro Objekt verfügbar waren und die Werte gemittelt wurden.

3.3.4.1 Bereinigung der Baukosten

Erhoben wurden die Gesamtbaukosten (nach § 13 (2) 1. und 3. WGG (Wohnungsgemeinnützigkeitsgesetz) bzw. § 1 und 4 ERVO (Entgeltrichtlinienverordnung)). Darin enthalten sind die gesamten Herstellungskosten inklusive Bauverwaltung, Planung, Bauaufsicht und Finanzierungskosten, jedoch exklusive Grundkosten und Kosten für die

Aufschließung. Getrennt erhoben wurden außerdem die reinen Baukosten sowie die Kosten für Garagen.

Baukosten werden von unterschiedlichsten Faktoren beeinflusst. Durch mehrere Bereinigungsschritte wurde versucht die Vergleichbarkeit der untersuchten Objekte zu erhöhen. Folgende Bereinigungsschritte wurden durchgeführt (detaillierte Beschreibung siehe Kapitel 4.4 Baukosten):

- Bereinigung nach dem Baupreisindex
- Abzug der Garagenkosten
- Bereinigung abhängig von der Wohnungsgröße
- Bereinigung um regional unterschiedliche Preisniveaus

3.3.4.2 Energiekostenbereinigung

Die Energiekosten zur Wärmebereitstellung für Warmwasser und Raumwärme sind vom Energieverbrauch und vom jeweiligen Energietarif abhängig. Der Energieverbrauch zur Wärmebereitstellung wurde über mehrere Jahre erhoben und für die weiteren Auswertungen der Durchschnittswert aller erhobenen Jahre verwendet. Um beim Vergleich der Energiekosten die regional unterschiedlichen Energietarife sowie unterschiedliche Energiepreise für verschiedene Energieträger auszuklammern, wurde in einem weiteren Auswertungsschritt für alle Gebäude ein einheitlicher Energietarif verwendet. Es handelt sich dabei um den Mittelwert der erhobenen Energietarife von 8 Eurocent/kWh.

3.3.4.3 Ergänzung von fehlenden Angaben, Annahmen

Vereinzelte Daten nicht angegeben und konnten auch im Zuge der Plausibilisierung mit den Bauträgern nicht erhoben werden. Dies betrifft v.a. die bereitgestellte Energie der Solarthermieanlage, die Kosten für den Hilfsstrom für die Lüftungsanlage und die Wartungskosten für die Lüftungsanlage und Heizungsanlage. In diesen Fällen wurde auf Annahmen zurückgegriffen:

Bei einigen Objekten, bei denen der Energieverbrauch zur Warmwasserbereitung nicht getrennt vom Energieverbrauch zur Raumwärmebereitstellung gemessen wurde, wurde dieser Wert mit $20,4 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGF}}$ angenommen (basiert auf dem Warmwasserbedarf lt. Energieausweis von $12,78 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGF}}$ und einer angenommenen Energieaufwandszahl von 1,6). Auf Basis dieser Annahme konnten auch diese Objekte in der Auswertung berücksichtigt werden.

Falls die bereitgestellte Energie der Solarthermieanlage nicht erfasst werden konnte, wurde angenommen, dass pro Quadratmeter installierter Solarthermiefläche 350 kWh Wärme

(entspricht dem Mindestenergieertrag bei reiner Warmwasserbereitung lt. Förderbestimmung des Landes Steiermark) bereitgestellt werden.

Wenn nur der Hilfsstromverbrauch für Lüftungsanlagen angegeben wurde, jedoch nicht die Energiekosten, wurden die Kosten geschätzt. Der angenommene Energietarif für den Hilfsstrom ist der Mittelwert der erhobenen Stromtarife 17,6 Cent/kWh.

Der Hilfsstromverbrauch von Lüftungsanlagen wurde nur für wenige Gebäude zur Verfügung gestellt. Falls der Hilfsstromverbrauch nicht gemessen wurde, wurde ein konstanter Stromverbrauch von 3,5 kWh/m² Nutzfläche und Jahr angenommen (Annahme eines ganzjährigen Betriebs mit 0,4-fachem Luftwechsel, spezifische Leistungsaufnahme 0,4 W/(m³/h).

Die Wartungskosten der Lüftungsanlage wurden, falls sie nicht erfasst werden konnten, mit 1,1 €/m² Nutzfläche und Jahr (Mittelwert der erhobenen Wartungskosten für die Lüftung im Rahmen dieser Untersuchung) angenommen (siehe Abbildung 22).

Die Wartungskosten für Heizungsanlagen wurden mit 0,8 €/m²_{NFA} angesetzt. Dies entspricht dem Mittelwert der erhobenen Daten (siehe Abbildung 22).

3.4 Kostenoptimalitätsmethode

Die Kostenoptimalitätsberechnung in Kapitel 4.6 wurde in Anlehnung an die Delegierte Verordnung (EU) Nr. 244/2012 der Europäischen Kommission für unterschiedliche energietechnische Gebäudestandards durchgeführt. Dazu wurde ein typisches Referenzgebäude bestimmt, Varianten für Gebäudehülle und Haustechnik entwickelt sowie Nebenbedingungen und Parameter für die Sensitivitätsanalyse festgelegt. Die detaillierte Beschreibung der Methode ist in Kapitel 4.6 dargestellt.

3.5 Definitionen

Die nachfolgenden Definitionen der Bedarfskennzahlen und Energieeffizienzklassen stammen aus der ÖNORM B 8110-1, die Flächendefinitionen aus der ÖNORM B 1800.

- HWB** Der Heizwärmebedarf beschreibt die Wärmemenge, die den konditionierten Räumen zugeführt werden muss, um deren vorgegebene Solltemperatur einzuhalten.
- EEB** Der Endenergiebedarf ist jene Energiemenge, die dem Heizsystem und allen anderen energietechnischen Systemen zugeführt werden muss, um den Heizwärmebedarf, den Warmwasserwärmebedarf, den Kühlbedarf, den Beleuchtungsenergiebedarf und den Haushaltsstrombedarf bzw. Betriebsstrombedarf decken zu können. Er wird an der Systemgrenze des betrachteten Gebäudes errechnet.
- PH** Ein Gebäude wird als Passivhaus bezeichnet, wenn bestimmte energietechnische Grenzwerte eingehalten werden. Es stellt besonders hohe Anforderungen an die Gebäudehülle (U-Werte, Luftdichtheit und Wärmebrückenfreiheit). Der Heizwärmebedarf eines Passivhauses ist $\leq 15 \text{ kWh/m}^2_{\text{EBFA}}$ nach PHPP, dies entspricht etwa $10 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$ nach OIB. Die Heizlast liegt bei maximal 10 W/m^2 . Der maximal zulässige Primärenergiebedarf nach PHPP darf $120 \text{ kWh/m}^2_{\text{EBFA}}$ nicht überschreiten (Passipedia, 2014).
- NstEH** Als Niedrigstenergiehaus werden Gebäude mit einer hocheffizienten Gebäudehülle bezeichnet, deren Heizwärmebedarf in Abhängigkeit der charakteristischen Länge l_c den maximalen Wert $HWB_{\text{BGF},\text{nstE-WG,RK}} \leq 10 \times (1 + 3/lc)$ nicht überschreitet.
- NEH** Als Niedrigenergiehaus werden Gebäude mit einer hocheffizienten Gebäudehülle bezeichnet, deren Heizwärmebedarf in Abhängigkeit der charakteristischen Länge l_c den maximalen Wert $HWB_{\text{BGF},\text{nE-WG,RK}} \leq 17 \times (1 + 2,5/lc)$ nicht überschreitet.
- BGF** Bruttogrundfläche_{konditioniert} ist die Summe aller Grundrissebenen eines Gebäudes gemäß ÖNORM B 1800, die konditioniert sind.
- NF** Nutzfläche ist jene Fläche gemäß ÖNORM B 1800, die dem Verwendungszweck des Bauwerks dient. Sie setzt sich aus Haupt- und Nebennutzflächen zusammen.

4 Ergebnisse

Kapitel 4 enthält die Projektergebnisse. Im ersten Abschnitt wird die Stichprobe nach verschiedenen Aspekten ihrer Zusammensetzung ausgewertet. Daran anschließend werden die Daten zu den gemessenen Energieverbräuchen analysiert. Der dritte und vierte Teil dieses Kapitels beschäftigen sich mit der Auswertung und der Bildung von Benchmarks der laufenden Kosten und der Errichtungskosten sowie der Ermittlung der Gesamtkosten. Abschnitt 5 enthält die Gesamtkostenbetrachtung auf Basis einer Kapitalwertberechnung. Die Ergebnisse der Kostenoptimalitätsberechnung folgen im letzten Abschnitt dieses Kapitels.

4.1 Beschreibung der Stichprobe und Repräsentativität

Insgesamt wurden Daten von 128 Objekten mit 6.724 Wohnungen und einer gesamten Nutzfläche von 437.356 m² erhoben. Diese befinden sich in acht der neun österreichischen Bundesländer. Einzig aus dem Burgenland wurden keine Daten übermittelt. Die Verteilung der Objekte entspricht etwa der Größe bzw. der Bautätigkeit der Bundesländer, lediglich die Steiermark ist im Vergleich zu Oberösterreich und Niederösterreich in geringerem Maß repräsentiert (Abbildung 2).

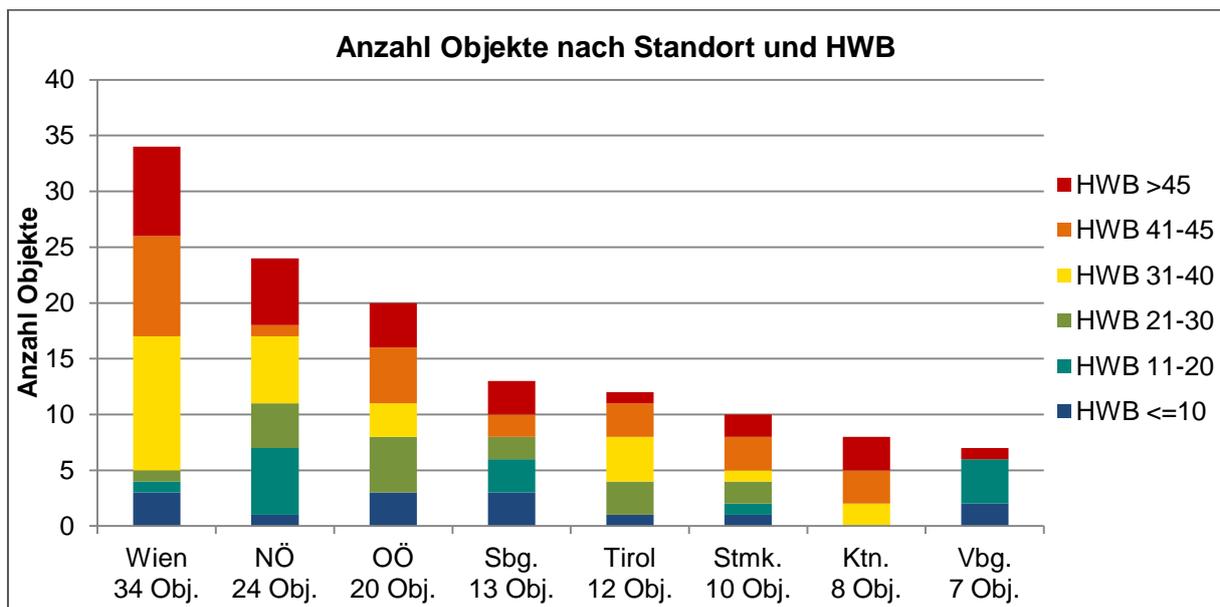


Abbildung 2: Regionale Verteilung der betrachteten Objekte

Die untersuchten Objekte weisen eine Kompaktheit auf (Abbildung 3), die mittels A/V-Verhältnis (Oberflächen- zu Volumen- Verhältnis) dargestellt wird, im Bereich von 0,24 1/m bis 0,89 1/m auf. Im Mittel liegen die 128 Objekte bei einem A/V-Verhältnis von 0,42 1/m. Die gezeigte Verteilung entspricht nicht ganz dem derzeitigen Gesamtbestand der gemeinnützigen Bauvereinigungen, die in dieser Untersuchung herangezogenen Gebäude weisen eine höhere Kompaktheit auf. Ein Grund dafür liegt darin, dass die kompakte Bauweise Voraussetzung für Gebäude mit hohem energietechnischen Standard darstellt.

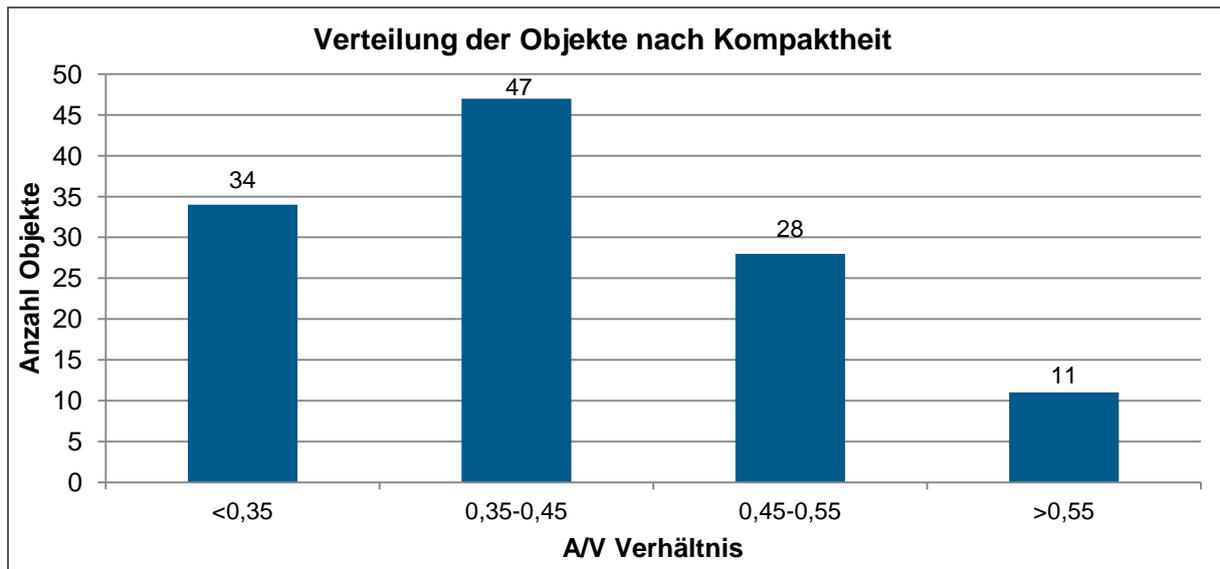


Abbildung 3: Anzahl der betrachteten Objekte nach Kompaktheit

Des Weiteren sind in der Stichprobe eher größere Bauvorhaben enthalten, welche zwangsläufig eine hohe Kompaktheit aufweisen. Es werden 18 Objekte mit mehr als 100 Wohneinheiten untersucht und 7 Objekte mit weniger als 10 Wohneinheiten (Abbildung 4). Der Mittelwert beträgt 52,5 Wohneinheiten pro Objekt.

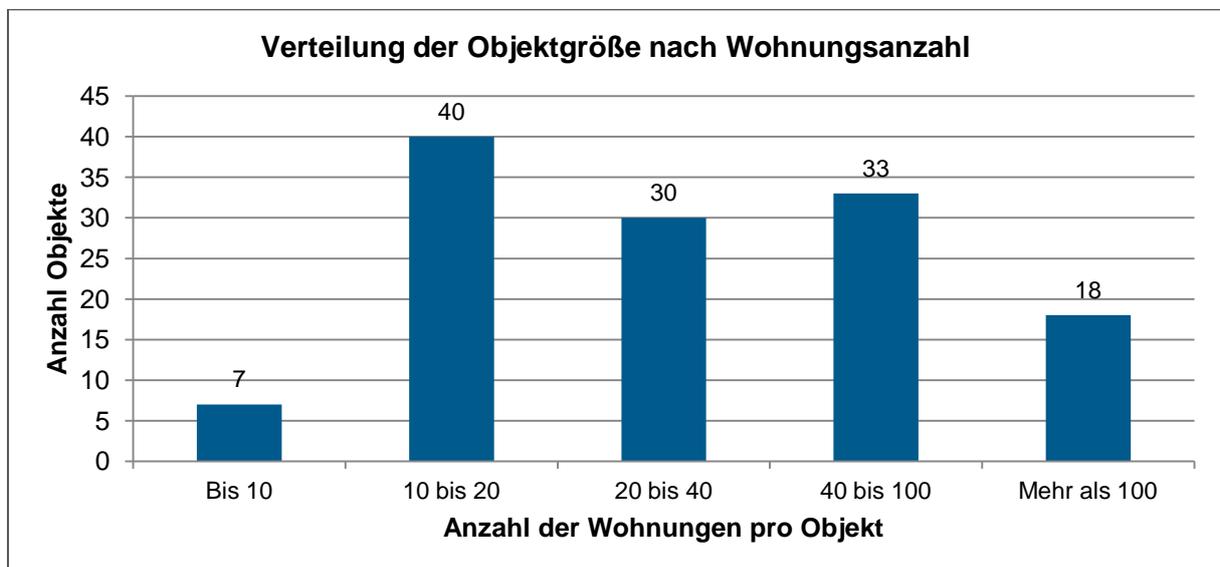


Abbildung 4: Verteilung der erhobenen Objekte nach Anzahl der Wohneinheiten pro Objekt

Auch die Nutzflächen der einzelnen Objekte unterliegen einer großen Bandbreite (Abbildung 5). Das kleinste Objekt weist eine Nutzfläche von 420 m² auf, das größte Objekt eine Nutzfläche von rund 26.000 m². Die Nutzfläche pro Wohnung beträgt im Durchschnitt über alle 6.724 betrachteten Wohneinheiten 75,3 m².

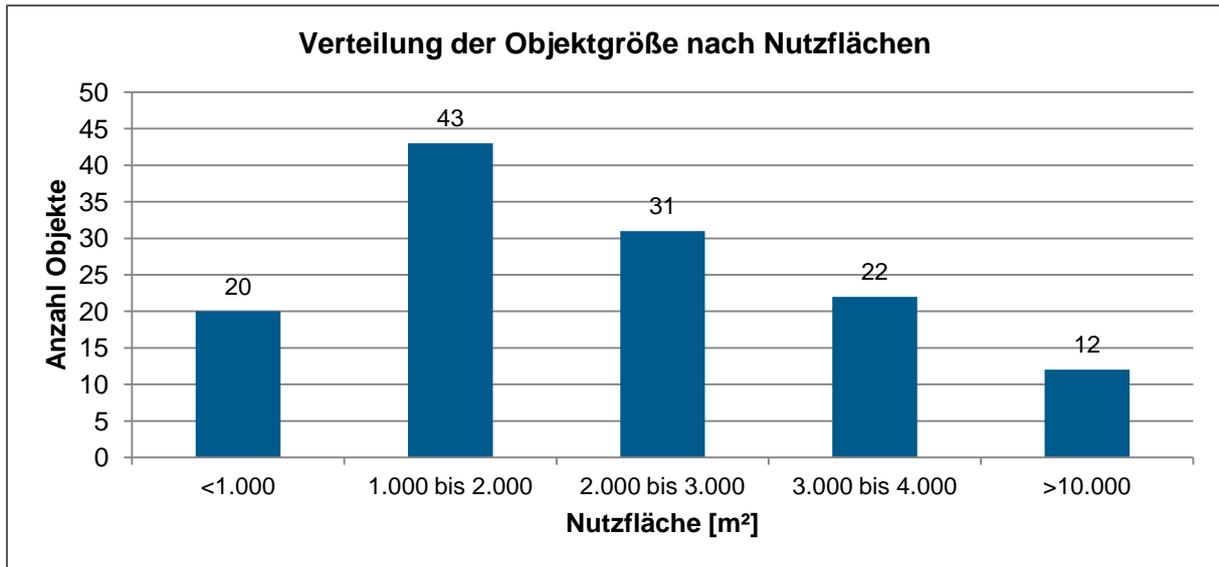


Abbildung 5: Verteilung der erhobenen Objekte nach Größe der Nutzfläche

Im Zuge der Auswertung ist auch das Heizungssystem relevant. Handelt es sich um Objekte mit dezentralem Heizsystem (wie z. B. Gasetagenheizungen), können keine Daten zu Heizenergieverbrauch und Heizenergiekosten erhoben werden, da der Bauträger nicht über die Abrechnungen verfügt. Etwa 84 % der betrachteten Objekte verfügen über ein zentrales Heizungssystem (Abbildung 6). Besonders ältere Gebäude sind meistens dezentral beheizt.

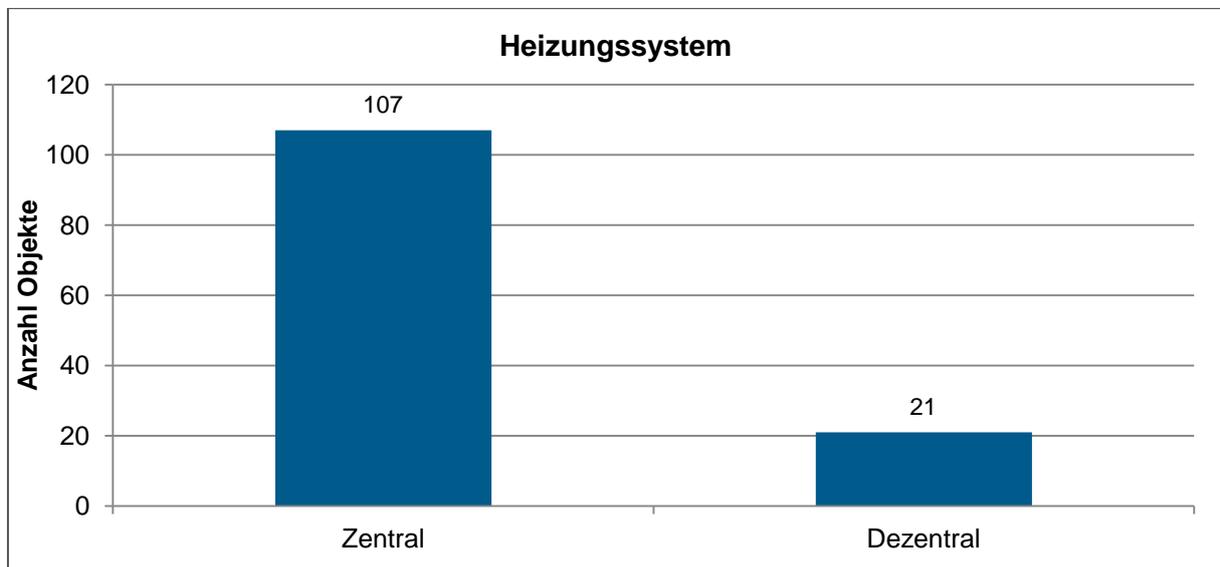


Abbildung 6: Anzahl der Objekte mit zentralen und dezentralen Heizsystem

Es werden sowohl neu gebaute, als auch sanierte Objekte betrachtet. Das Verhältnis ist etwa 40 % Sanierung und 60 % Neubau (Abbildung 7). In Österreich werden jährlich etwa gleich viele Gebäude saniert wie neu gebaut. Von den neu gebauten Objekten, die im Jahr 2006 oder danach errichtet worden sind, wurden die Gesamtbaukosten erhoben. Gesamtbaukosten für Gebäude die vor 2006 errichtet wurden, stehen nicht zur Verfügung.

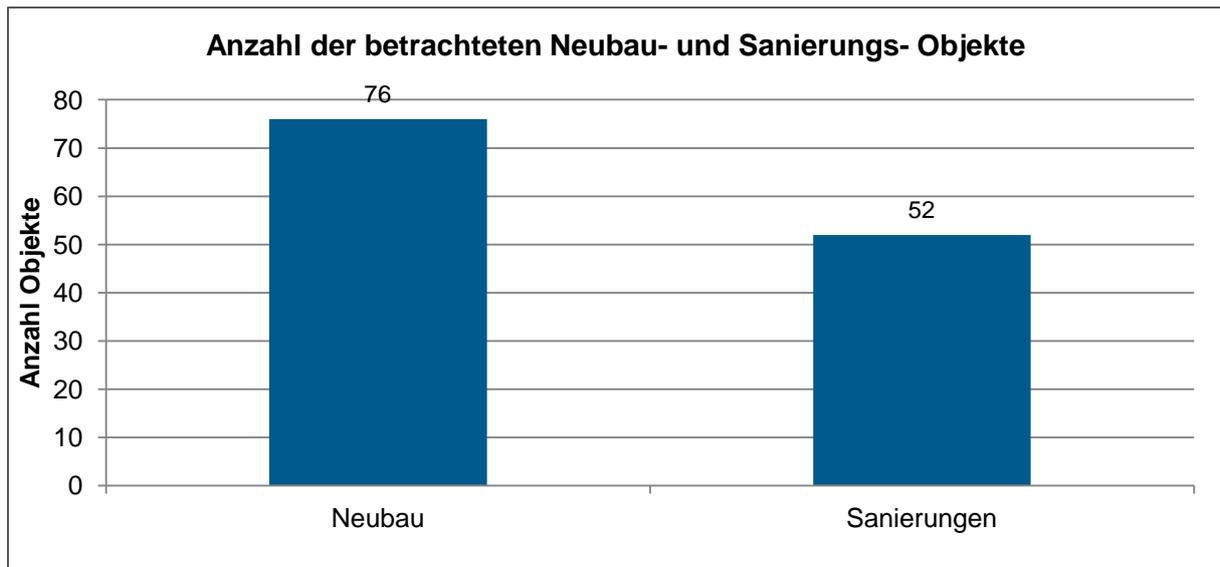


Abbildung 7: Anzahl der Objekte die neu errichtet wurden und Anzahl der alten Objekte die saniert wurden

Gesamt werden 76 neue und 52 sanierte Objekte betrachtet. Ein deutliches HWB-Gefälle ist sowohl bei der Anzahl der Objekte als auch bei der Art (Neubau oder Sanierung) zu erkennen (Abbildung 8). In den HWB-Bereichen $\leq 30 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$ sind gesamt 46 Objekte enthalten. In den HWB-Bereichen zwischen 30 und $50 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$ werden hingegen 82 Objekte betrachtet. Während in den niedrigen HWB-Bereichen $\leq 30 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$ 76 % Neubauobjekte zu finden sind, sind die Objekte im HWB-Bereich zwischen 30 und $50 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$ annähernd gleichmäßig zwischen Sanierung und Neubau verteilt.

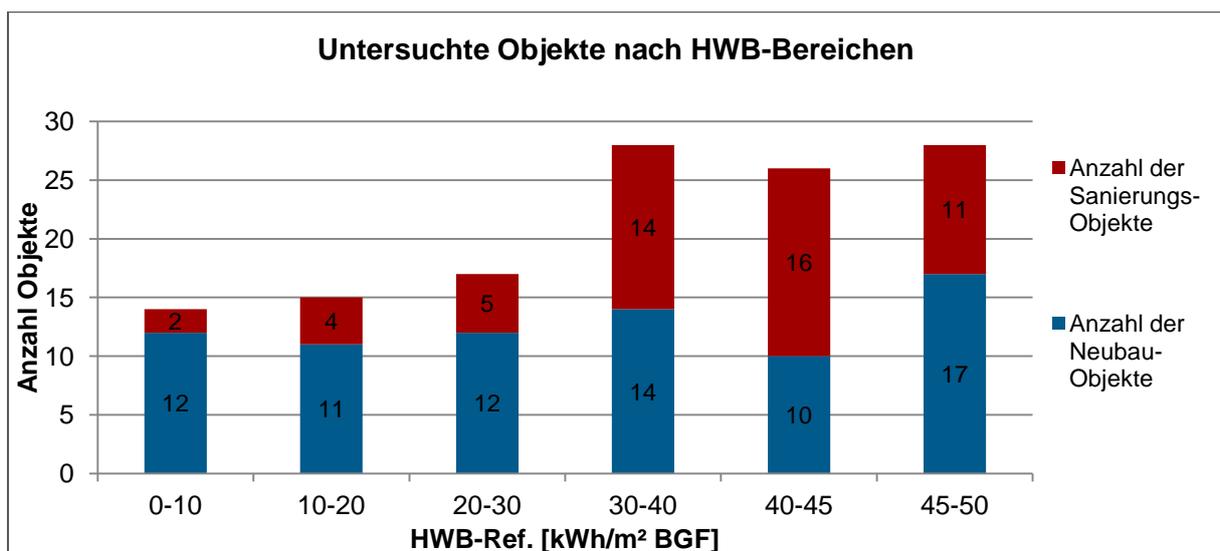


Abbildung 8: Anzahl der Objekte (Neubau und Sanierung) nach HWB-Bereich. 128 Objekte, 76 Neubau, 52 Sanierung

Der überwiegende Anteil der untersuchten Objekte (69) liegt in der Fertigstellungsperiode 2006-2010, da eine Nutzungsphase der Gebäude von zumindest 2 bis 3 Jahren ein wichtiges Kriterium für die Datenerhebung war. Aus diesem Grund sind Objekte der allerneuesten Generation kaum in dem Sample vertreten. Nur 13 der 128 Objekte wurden nach 2010 fertiggestellt (Abbildung 9). 29 Objekte stammen aus dem Zeitraum 2001-2005 und 17 wurden bereits vor 2001 fertiggestellt.

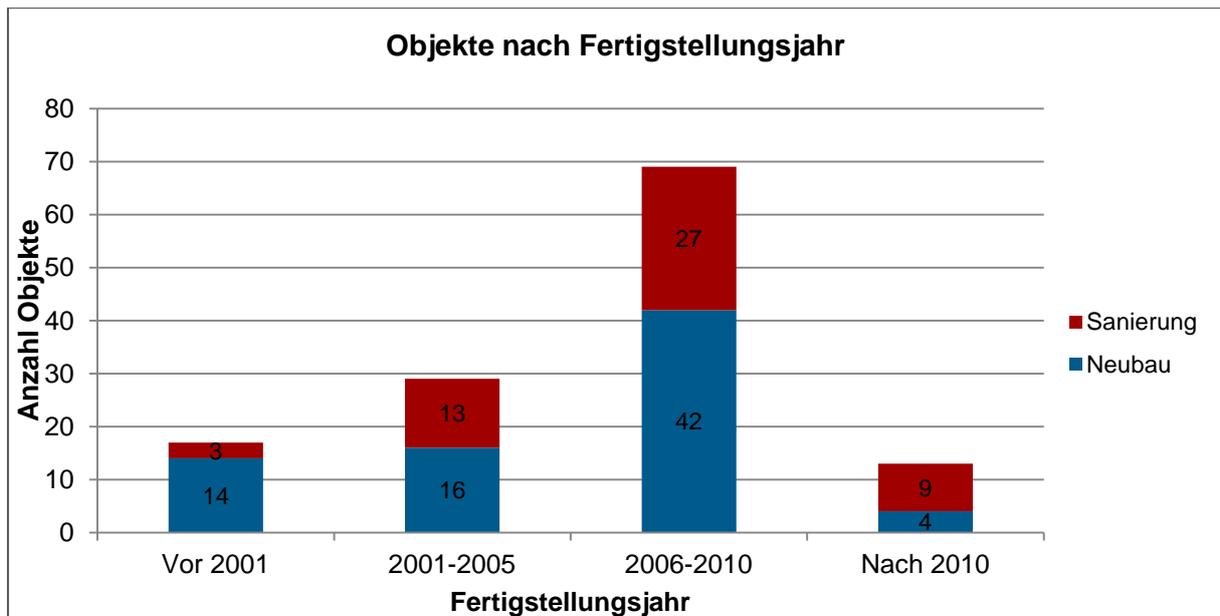


Abbildung 9: Anzahl der Objekte (Neubau und Sanierung) nach Fertigstellungs- bzw. Sanierungsjahr. 76 Neubau, 52 Sanierung

Der Fertigstellungszeitpunkt hat deutlichen Einfluss auf die energietechnische Qualität der Gebäudehülle (Abbildung 10). Bei den Objekten mit Fertigstellung vor 2001 sind keine Gebäude mit einem $\text{HWB} \leq 30 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$ enthalten. Mehr als 50 % der Objekte in dieser Altersklasse weisen einen $\text{HWB} > 45 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$ auf. Im Fertigstellungszeitraum 2001-2005 wurden auch erste Niedrigstenergie- und Passivhäuser errichtet. Von den 69 Objekten aus dem Zeitraum 2006-2010 haben etwa 50 % einen $\text{HWB} \leq 30 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$. 11 Objekte weisen einen $\text{HWB} \leq 10 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$ auf, hier kann von „Passivhausstandard“ gesprochen werden, wenngleich auch nicht alle Objekte nach PHPP gerechnet wurden oder PH-zertifiziert wurden (was jedoch auch nicht für alle Objekte auf der Passivhausdatenbank der Fall ist). Die Verteilung innerhalb der Altersklasse zeigt eine deutliche Steigerung der Hüllenqualität im Vergleich zu den Altersklassen vor 2006. In der Altersklasse nach 2010 haben wiederum etwa 50 % der Objekte einen $\text{HWB} \leq 30 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$.

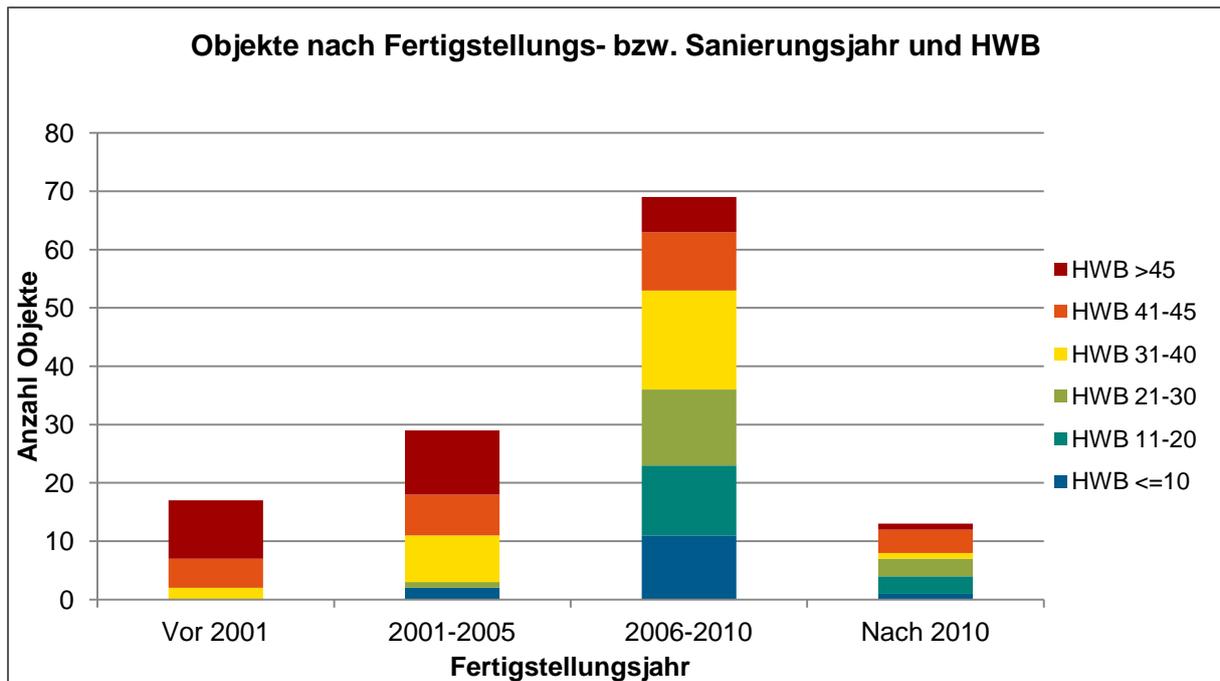


Abbildung 10: Anzahl der Objekte (Neubau und Sanierung) nach Fertigstellungs- bzw. Sanierungsjahr, farblich nach HWB gegliedert

Werden ausschließlich jene Objekte betrachtet, die neu errichtet wurden (Abbildung 11), ist in den Altersklassen vor 2001 und 2001-2005 kaum ein Unterschied zur Gesamtdarstellung (Abbildung 10) auszumachen. Ab der Altersklasse 2006-2010 verschiebt sich die Verteilung der Hüllqualität hin zu niedrigeren HWBs. Etwa 66 % der Objekte weisen einen $HWB \leq 30 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$ auf. Die nach 2010 neu errichteten Gebäude sind ausschließlich solche mit $HWB \leq 30 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$.

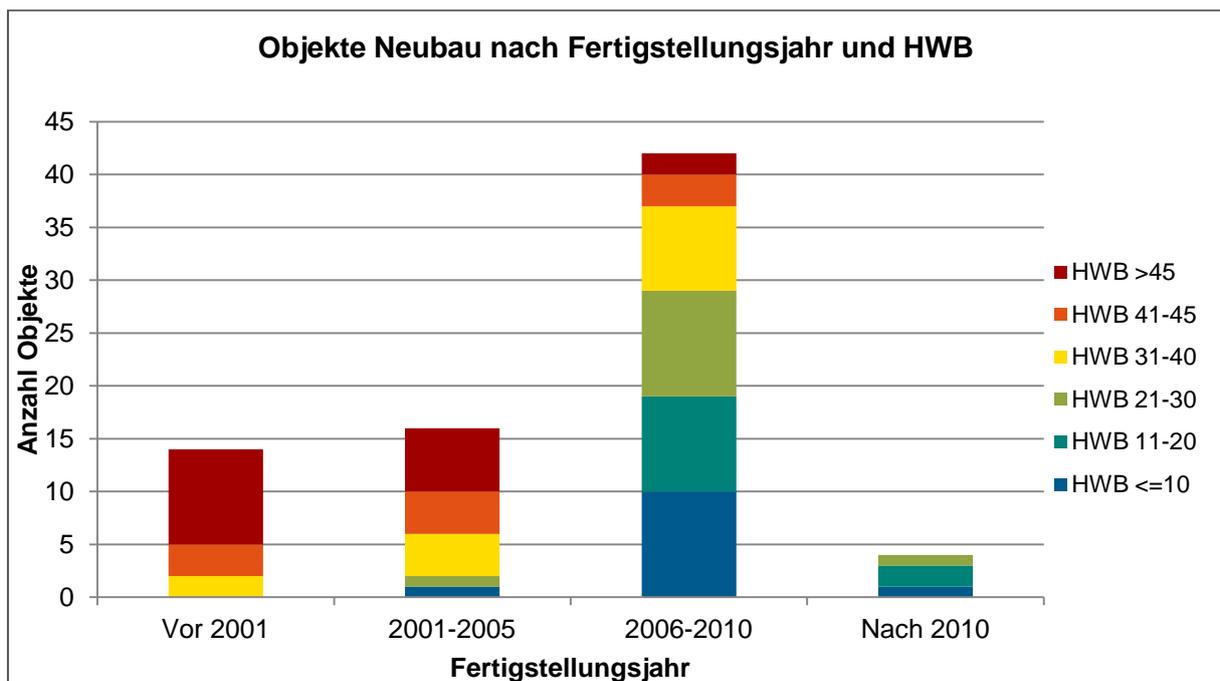


Abbildung 11: Anzahl der Neubau-Objekte nach Fertigstellungsjahr, farblich nach HWB gegliedert.

Im Gegensatz zu den neu errichteten Objekten weisen sanierte Objekte (Abbildung 12) häufiger HWBs $> 30 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$ auf. Die HWBs der drei Objekte, die vor 2001 saniert wurden, sind höher als $40 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$. Knapp 26 % der Sanierungsobjekte des Zeitraumes 2006-2010 haben HWBs $\leq 30 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$. 17 der 27 Objekte dieser Altersklasse weisen einen HWB zwischen 31 und $50 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$ auf. Der größte Cluster der Sanierungsobjekte, die nach 2010 fertiggestellt wurden, hat einen HWB zwischen 41 und $45 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$.

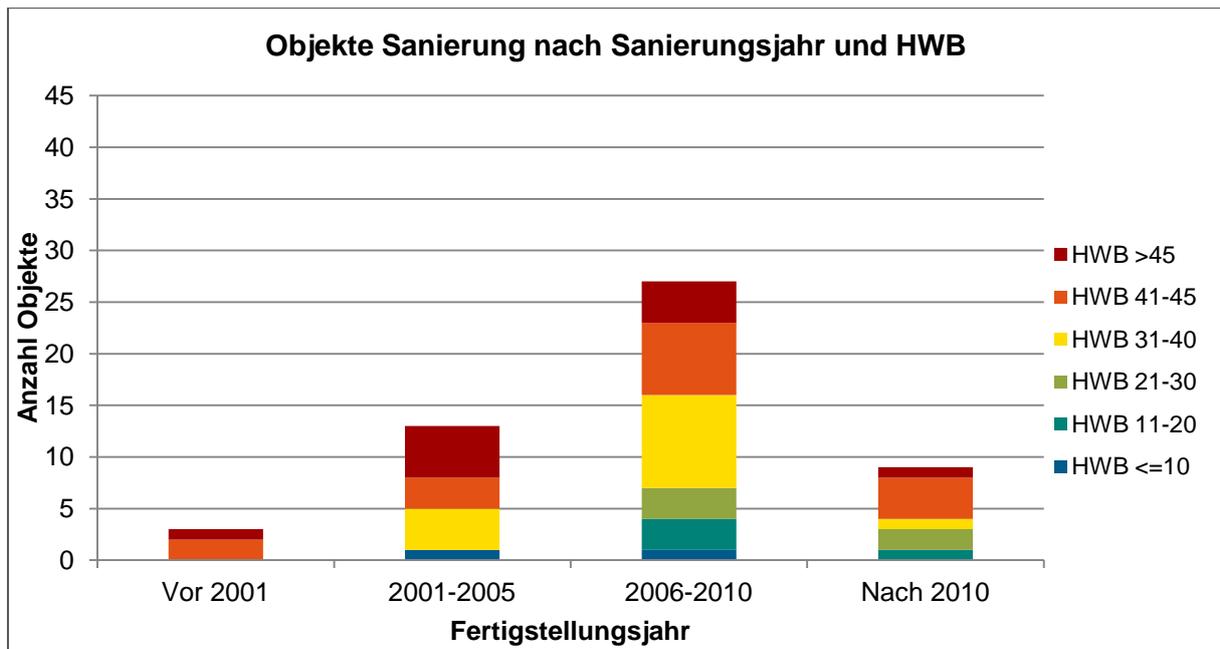


Abbildung 12: Anzahl der Sanierungs-Objekte nach Sanierungsjahr, farblich nach HWB gegliedert.

Im Bereich der Niedrigstenergie- und Passivhäuser (HWB kleiner $20 \text{ kWh/m}^2_{\text{a}}$) sind überwiegend Objekte im Sample enthalten, die sich auch auf der internationalen Passivhaus-Datenbank (<http://www.passivhausdatenbank.at>) wiederfinden (z.B. Sanierungen Rankweil-Schleipweg, Makartstraße und Dieselweg, Neubauten Lodenareal, Samer Mösl, Utendorfsgasse, Dreherstraße etc.).

4.2 Energieverbrauch

In diesem Kapitel wird der gemessene Energieverbrauch von 91 großvolumigen Wohngebäuden analysiert und den Planwerten für die untersuchten Gebäude gegenübergestellt. Spezifische Energieverbrauchs- oder Bedarfswerte sind in den folgenden Darstellungen immer auf die Bruttogrundfläche (BGF) bezogen.

Bei den realen Heizenergieverbräuchen handelt es sich um Durchschnittswerte der Jahre 2007 bis 2012. Insgesamt wurden plausible Heizenergieverbräuche von 322 Objekt-Heizjahren ermittelt. Nicht bei allen angegebenen Verbräuchen wurden Heizenergieverbrauch für Raumwärme und Warmwasser getrennt voneinander angegeben. In diesen Fällen wurde der Heizenergieverbrauch für Warmwasser mit 20,4 kWh/m²a angesetzt (siehe Kapitel 3.3.4.3). Der Einfluss der in den Messjahren vorliegenden Klimabedingungen, das Nutzerverhalten bzw. die tatsächlichen Raumlufttemperaturen in den Wohneinheiten sowie eventuelle Leerstände wurden nicht berücksichtigt.

Als Indikator für die energietechnische Gebäudequalität wird der Heizwärmebedarf (Nutzenergie) für den Referenzstandort lt. Energieausweis herangezogen. Methodisch richtig wäre die Verwendung des im Energieausweis ausgewiesenen Heizenergiebedarfs, welcher neben dem Nutzenergiebedarf auch die Erzeugungs- und Verteilverluste des Heizsystems enthält. Anhand erster Auswertungen zeigte sich jedoch, dass die Korrelation zwischen tatsächlichem Verbrauch und dem HWB höher ist als gegenüber dem Heizenergiebedarf. Eine Ursache für die Abweichung könnte die mangelhafte Eingabe des Heizsystems in der Energieausweisberechnung darstellen, da zu Beginn der Energieausweiserstellung größerer Wert auf die Eingabe der thermischen Gebäudehülle gelegt wurde und der Heiztechnikbedarf oft nur mit Default-Werten berechnet wurde. Ein weiterer Grund für die Verwendung des HWB als Indikator stellt die Tatsache dar, dass dieser für alle betrachteten Gebäude zur Verfügung stand. Der Heizenergiebedarf bzw. Endenergiebedarf wurde erst mit der Einführung der OIB RL6 ab dem Jahr 2007 ausgewiesen.

An dieser Stelle sei nochmals darauf hingewiesen, dass bei der folgenden Auswertung der HWB_{Ref} als Indikator zur Clusterung der untersuchten Gebäude nach deren energietechnischer Qualität herangezogen wird. Der direkte Vergleich von HWB und realem Heizenergieverbrauch ist nicht zulässig.

Der spezifische Heizenergieverbrauch (HEV) (exkl. Warmwasser) in Abhängigkeit des HWB für den Referenzstandort für 91 Objekte ist in Abbildung 13 dargestellt. Farblich getrennt dargestellt sind Gebäude mit Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung, welche bis zu einem HWB von 30 kWh/m²a ausgeführt sind (24 Objekte). Die Kernaussage dieser Grafik ist, dass der reale Heizenergieverbrauch, auch bei einer lt. Energieausweis gleichen energietechnischen Gebäudequalität, einer sehr großen Bandbreite unterliegt. Natürlich ist der reale Verbrauch abhängig von der Effizienz der eingesetzten Haustechnik, dass der Verbrauch jedoch unter oder über dem berechneten Bedarf liegen kann, ist zu einem großen Teil der Nutzungsintensität geschuldet. Die lineare Trendlinie aus den Gesamtdaten zeigt

jedoch eine klare Abhängigkeit der gemessenen Heizenergieverbräuche von den geplanten Qualitäten, d.h. Objekte in den niedrigeren HWB-Klassen weisen auch in der Praxis einen geringeren Heizenergieverbrauch auf (im Durchschnitt Faktor 2). Bei Betrachtung einzelner Objekte zeigen sich erhebliche Abweichungen nach oben und unten, daher erscheint für gesicherte Aussagen über die durchschnittliche Performance von Gebäuden in der täglichen Praxis die Betrachtung eines größeren Samples jedenfalls erforderlich.

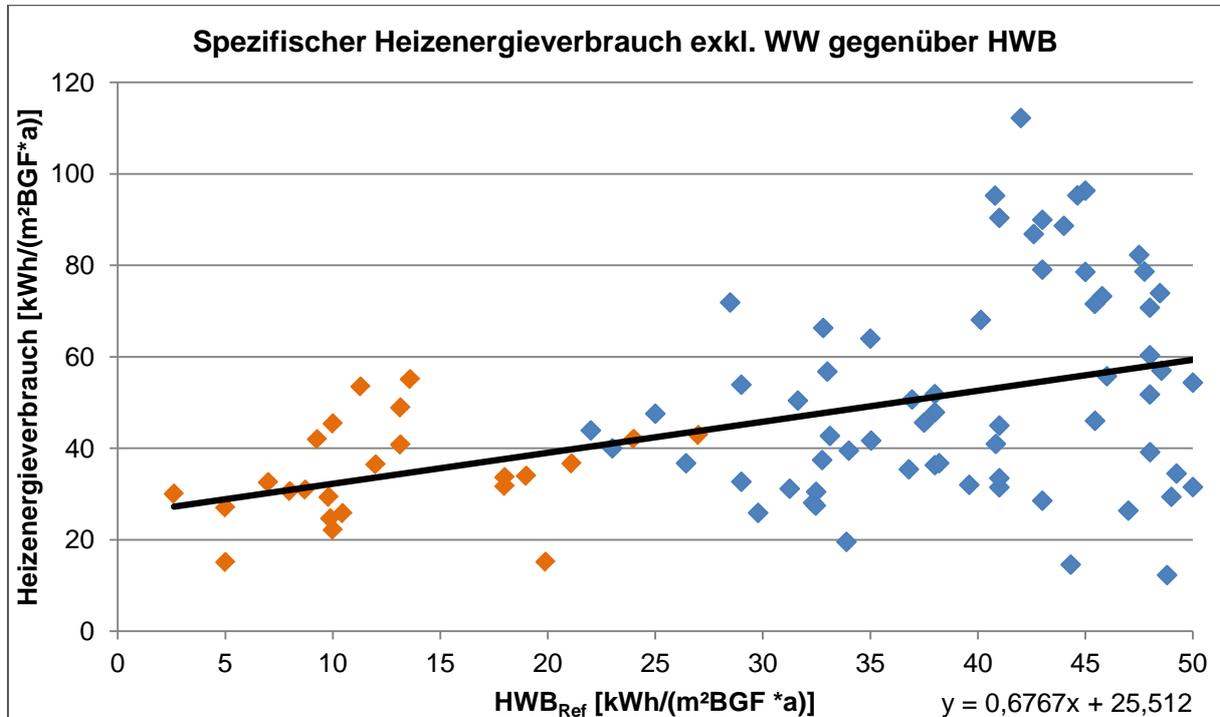


Abbildung 13: Spezifischer Heizenergieverbrauch (exkl. Warmwasser) gegenüber HWB; 91 Objekte, 24 Objekte mit Wohnraumlüftung mit WRG (rote Markierung)

In Abbildung 14 sind die Mittelwerte und die Streuung von HWB und HEV für einzelne HWB Kategorien dargestellt. Der HWB_{Ref} als Indikator wird in 5 Klassen zu Schritten von je 10 kWh/m²a dargestellt. Der Mittelwert wurde aus den flächenspezifischen Verbrauchs- und Bedarfswerten der einzelnen Objekte gebildet. Es ist ersichtlich, dass bei effizienten HWB-Klassen die Differenz des mittleren HEV gegenüber dem mittleren HWB größer ist als bei Gebäuden mit HWB 30 bis 50 kWh/m²a. Daraus kann abgeleitet werden, dass bei effizienten Gebäuden neben dem erhöhten Nutzenergiebedarf aufgrund hoher Raumlufttemperaturen¹ oder häufiger Fensterlüftung trotz kontrollierter Wohnraumlüftung auch die Verluste der Wärmeerzeugungs- und Verteilungsanlagen einen Anteil am Mehrverbrauch haben. Dies bedeutet, dass bei einzelnen Gebäuden die Zielvorgaben aus der Planung im laufenden Betrieb nicht eingehalten werden können und Potenzial zur Effizienzsteigerung vorliegt.

¹ Monitoringberichte von Haus der Zukunft Demonstrationsgebäuden belegen häufig gemessene Raumlufttemperaturen bei Wohnnutzung von über 23°C (Quellen z.B. Wagner et al. (2008a), Wagner et al. (2008b), Wagner et al. (2009) oder Wagner et al. (2010))

Grund dafür können mangelnde Qualitätssicherung bei Bauausführung und Inbetriebnahme sowie fehlende Optimierung im laufenden Betrieb sein.

Auch wird in der Abbildung ersichtlich, dass der Heizenergieverbrauch bei Gebäuden mit höherem HWB einer größeren Bandbreite unterliegt. Der höchste gemessene Heizenergieverbrauch liegt bei rund 110 kWh/m²a, der geringste bei knapp unter 20 kWh/m²a.

Der mittlere HWB_{Ref} gebildet aus den spez. Werten aller 91 Objekte liegt bei 32,6 kWh/m²a, der mittlere Heizenergieverbrauch bei 47,7 kWh/m²a. Das Verhältnis der beiden Werte beträgt 1,46. Diese Zahl könnte auch als mittlere Energieaufwandszahl interpretiert werden.

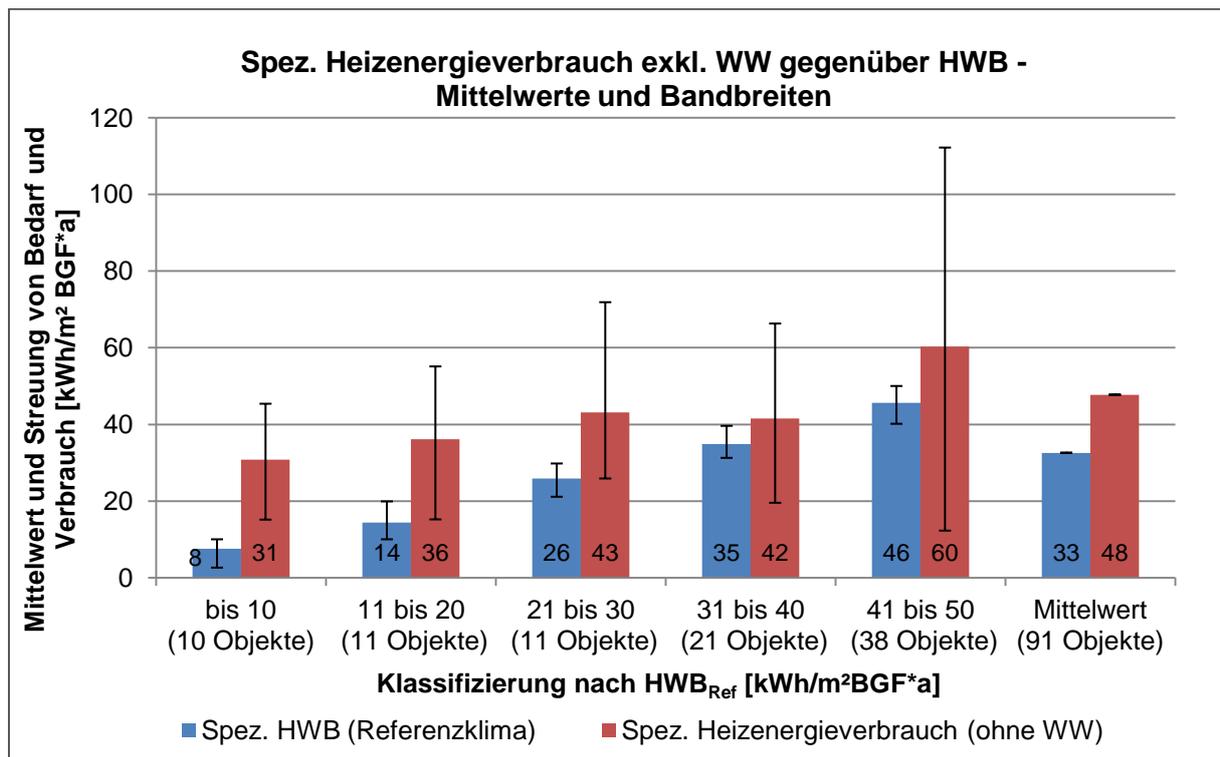


Abbildung 14: HEV gegenüber HWB, Darstellung des Mittelwerts aus den flächenspezifischen Werten der einzelnen Objekte

Werden die Durchschnittswerte als gewichtetes arithmetisches Mittel gebildet, so ergeben sich geringfügig andere Resultate. Bei dieser Methode wird der durchschnittliche HEV aus der Division der Summe aller Gesamtheizenergieverbräuche der betrachteten Objekte durch die gesamte Bruttogrundfläche (BGF) berechnet. Dadurch beeinflussen größere Gebäude den Durchschnitt stärker als kleine Gebäude. Die Ergebnisse für die einzelnen HWB-Kategorien nach dieser Methode (Abbildung 15) unterscheiden sich bei HWBs bis 30 kWh/m²a nur geringfügig gegenüber der in Abbildung 14 dargestellten Auswertung. Im Bereich zwischen 30 bis 50 kWh/m²a liegt der durchschnittliche HEV jedoch niedriger. Daraus resultiert, dass größere Gebäude in dem genannten HWB-Bereich einen niedrigeren spezifischen HEV aufweisen als kleinere. Die Grundaussage bleibt jedoch gleich, bei besonders effizient geplanten Gebäuden (HWB kleiner 30) sind die Differenzen des

gemessenen Verbrauchs gegenüber dem HWB größer als bei Gebäuden mit HWB von 30 bis 50 kWh/m²a.

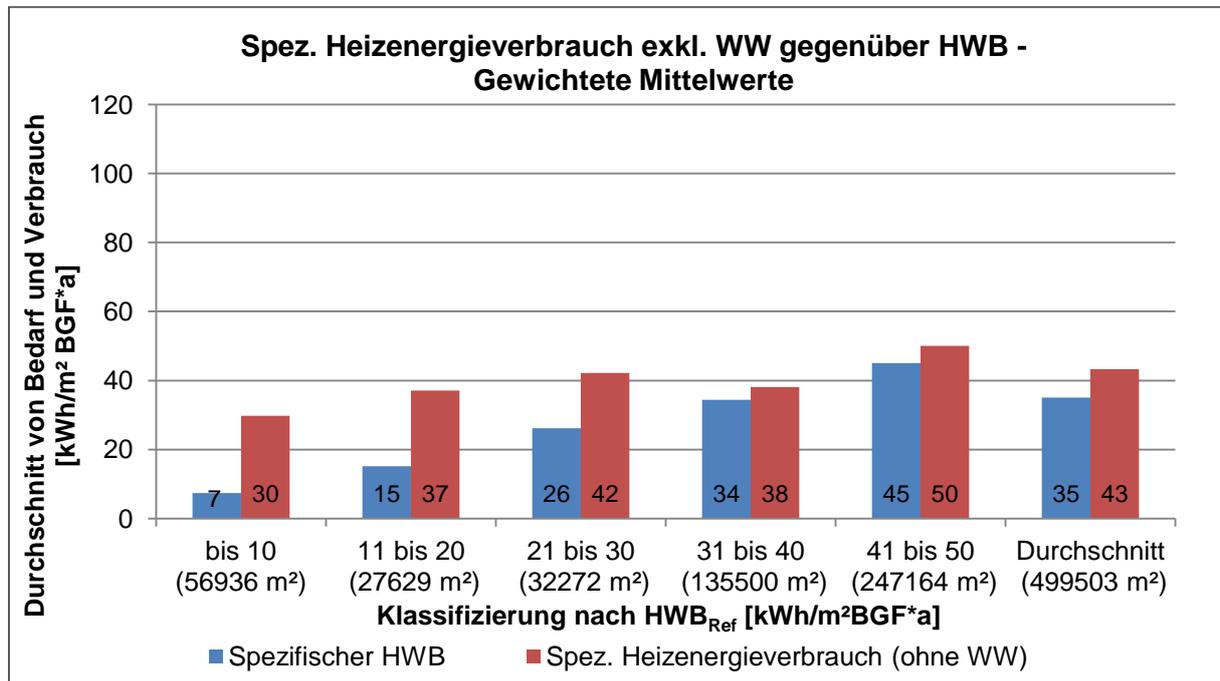


Abbildung 15: HEV gegenüber HWB, Darstellung des gewichteten Mittelwerts (Durchschnitt über alle Flächen)

Die Gegenüberstellung der beiden Auswertungen zeigt auch, dass in Abhängigkeit von der gewählten Methode – in dem Fall die Art der Durchschnittsbildung – unterschiedliche Ergebnisse generiert werden.

Wird in der Darstellung des HEV exkl. WW gegenüber dem HWB zwischen Neubau und Sanierungsobjekten unterschieden (Abbildung 16), so zeigt sich zunächst kein grundsätzlich unterschiedliches Bild. Die Werte und Bandbreiten liegen sowohl für die Neubau- als auch für die Sanierungsobjekte in ähnlichen Größenordnungen. Interessanterweise liegt die Trendlinie bei der Sanierung im Bereich der hocheffizienten Objekte sogar unter jener der Neubauten. Dies ist durch zwei hochwertige Sanierungen in der Makartstraße und am Dieselweg erklärbar, allerdings ist die Anzahl der Sanierungsobjekte im HWB-Bereich kleiner 20 kWh/m²a doch sehr gering, so dass keine generelle Aussage aus diesem Befund getätigt werden kann.

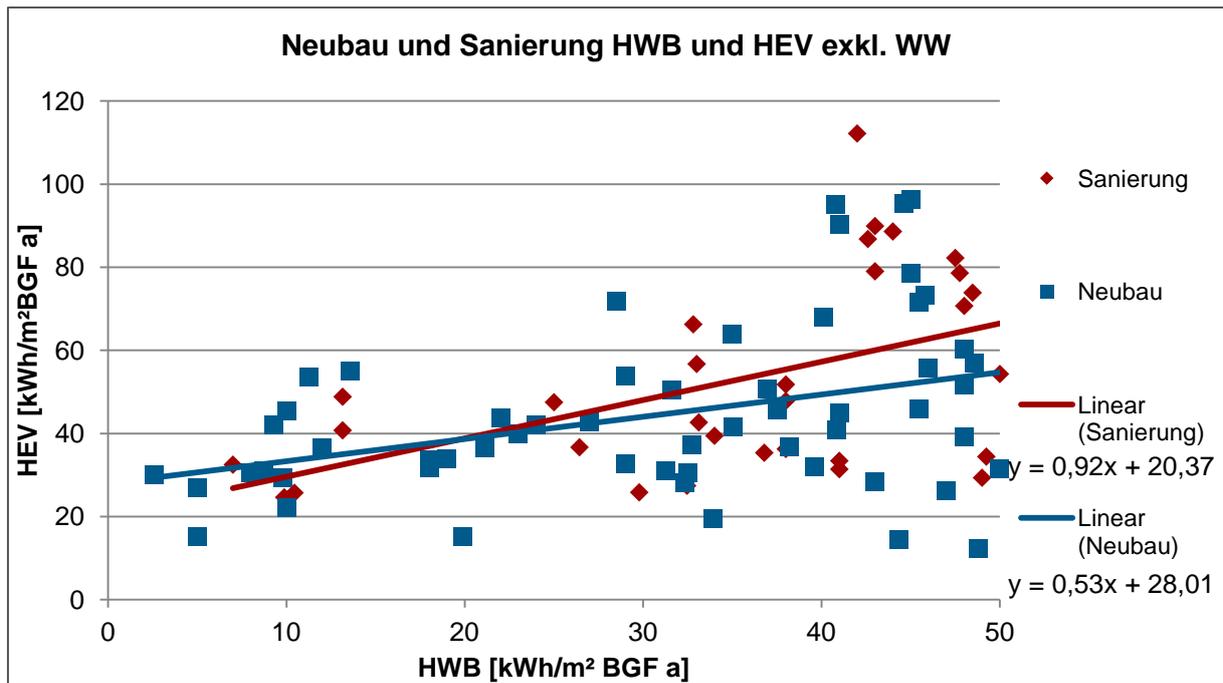
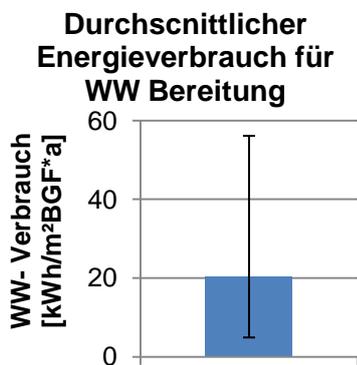


Abbildung 16: Gemessener Heizenergieverbrauch (exkl. Warmwasser) gegenüber errechnetem Heizwärmebedarf, farblich getrennt nach Sanierung (32 Objekte) und Neubau (59 Objekte)



Der durchschnittliche Heizenergieverbrauch zur Erwärmung des Warmwassers beträgt 20,2 kWh/m²a (Abbildung 17). Der WW-Verbrauch wurde für 31 Objekte angegeben. Der Höchstwert des flächenspezifischen WW-Verbrauchs mit rund 56 kWh/m²a tritt bei einem sanierten Gebäude auf, dies entspricht einem Mehrverbrauch gegenüber dem Durchschnitt um Faktor 3. Der niedrigste Verbrauch wurde mit rund 5 kWh/m²a angegeben.

Abbildung 17: Durchschnittlicher Energieverbrauch für WW

Bei rund einem Drittel der Gebäude wird die Warmwasserbereitung zum Teil durch solarthermische Anlagen gedeckt. Solaranlagen sind überwiegend bei Gebäuden mit einem HWB kleiner 20 kWh/m²a ausgeführt (Abbildung 18). Die Solaranlagen wurden im Bereich von 0,6 bis 5,2 m² Kollektorfläche pro Wohneinheit errichtet. Eine Senkung des Heizenergieverbrauchs für Raumwärme und Warmwasserbereitung durch den Ertrag aus den solarthermischen Anlagen ist bei Gebäuden mit einem HWB kleiner 20 ersichtlich. Der positive Einfluss der Solaranlage auf den Energieverbrauch bei Gebäuden in den höheren HWB-Klassen ist jedoch nicht erkennbar. Der durchschnittliche Energieertrag der solarthermischen Anlagen (18 Objekte) im Jahr 2011 liegt bei 390 kWh/m² Kollektorfläche. Für die Betrachtungen von Objekten ohne Angabe des Ertrags wurde ein spez. Energieertrag von 350 kWh/m² Kollektorfläche angenommen (siehe Kapitel 3.3.4.3).

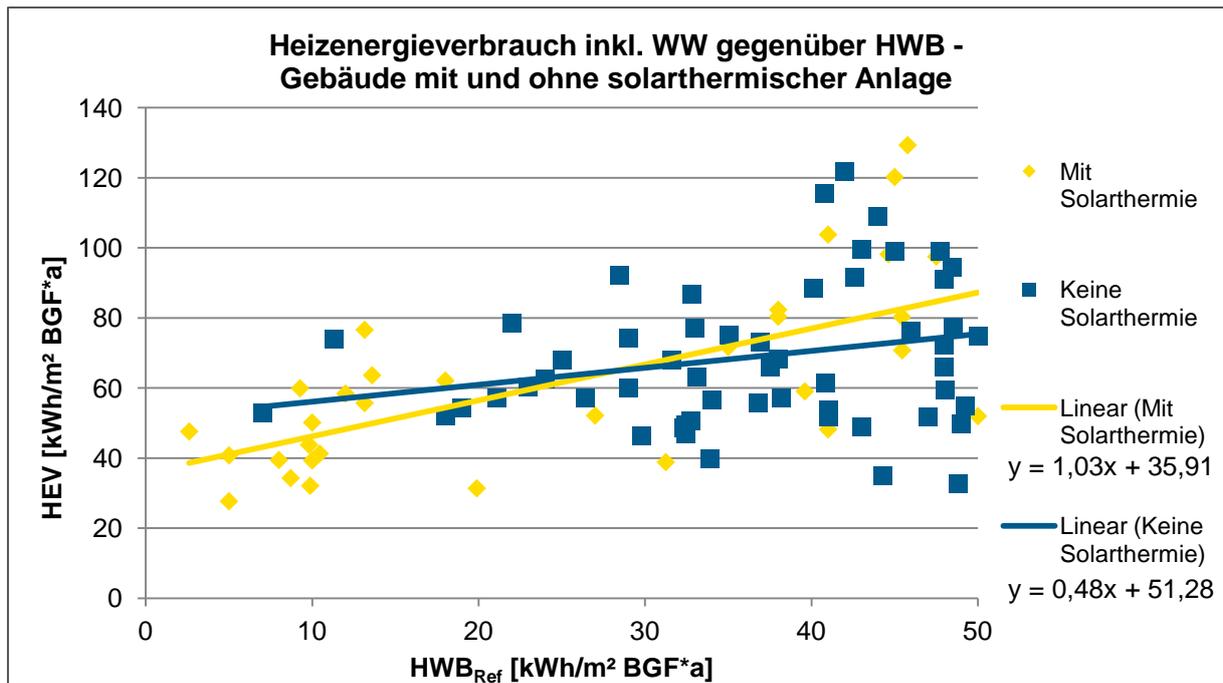


Abbildung 18: Heizenergieverbrauch (inkl. Warmwasser) gegenüber Heizwärmebedarf, 58 Objekte ohne Solarthermieanlage, 33 Objekte mit Solarthermieanlage

Aussagen zum Hilfsstromverbrauch von Lüftungsanlagen können aufgrund der geringen Stichprobe nicht getätigt werden. Für weitere Auswertung wird bei zentralen Anlagen ein Verbrauch von $3,5 \text{ kWh/m}^2_{\text{NFa}}$ angenommen (siehe Kapitel 3.3.4.3).

4.3 Laufende Kosten

Die laufenden bzw. betriebsgebundenen Kosten, die in der folgenden Auswertung berücksichtigt werden, setzen sich aus den Kosten für Energieverbrauch (Heizung und Warmwasser) sowie den Wartungskosten für die haustechnischen Anlagen zusammen. Spezifische Energiekosten sind in den folgenden Darstellungen auf die Nutzfläche (NF) bezogen.

4.3.1 Energiekosten

In Abbildung 19 sind die berechneten Energietarife für ausgewählte Energieträger und für den gesamt verfügbaren Datensatz dargestellt.

Die mittleren auf das Jahr 2011 aufgezinnten Heizenergiekosten wurden durch die durchschnittlichen Jahresheizenergieverbräuche dividiert, um die Kosten pro kWh zu erhalten. Die reale Energiepreissteigerung wurde mit 3 % angenommen. Bei den Energietarifen handelt es sich um Mischtarife, es wurde nicht zwischen Fixpreis und Arbeitspreis unterschieden.

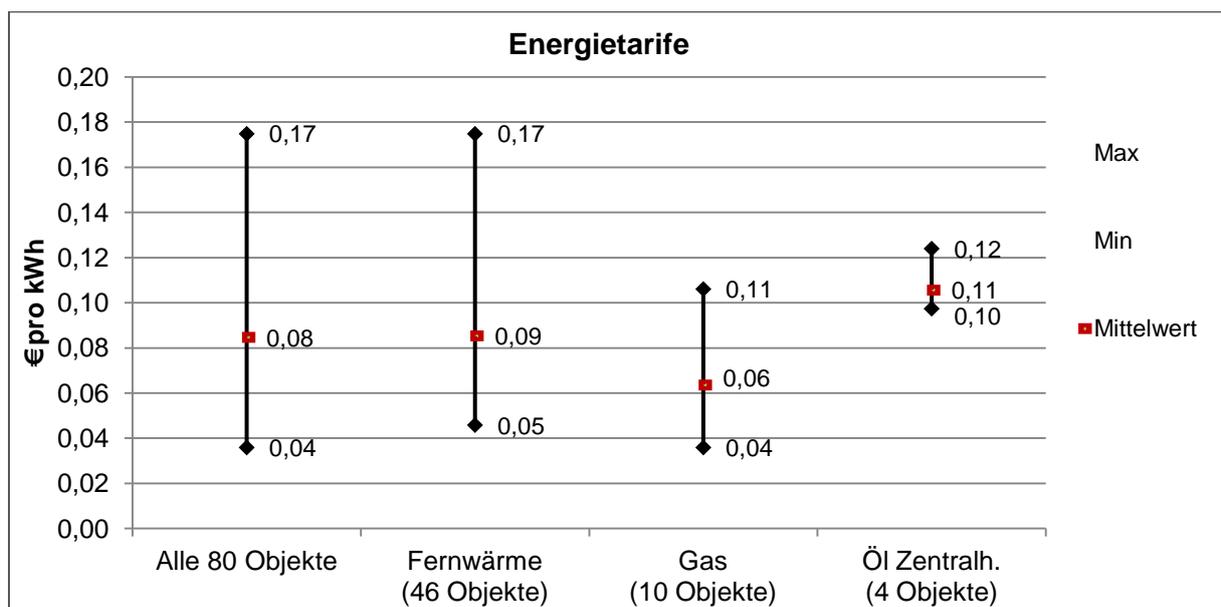


Abbildung 19: Errechnete Energietarife aus den erhobenen Datensätzen, Darstellung ausgewählter Energieträger

Die erhobenen Energietarife unterliegen einer großen Bandbreite. Die größten Unterschiede ergeben sich bei Fernwärmeversorgung, hier können sogar in der selben Region starke Schwankungen auftreten. In wenigen Fällen kann die Höhe des Energietarifs dadurch beeinflusst sein, dass Kosten für Serviceleistungen des EVUs, wie z.B. Wartungsarbeiten an der Wärmeversorgungsanlage, im Zuge der Energiekostenabrechnung mit verrechnet werden. Dies war für das Projektteam nicht ersichtlich und konnte auch nach Rückfragen bei den Baurägern nicht zur Gänze geklärt werden.

Die Energiekosten werden nicht nur durch die energietechnische Qualität und den effizienten Betrieb des Gebäudes beeinflusst. Der mit dem Energieversorger vereinbarte Tarif bzw. die Wahl des Energieträgers ist ebenso ausschlaggebend. Dies wird in Abbildung 20 dargestellt, in der der aufsteigend sortierte spez. HEV exkl. WW den auf m^2 Nutzfläche bezogenen Jahresheizenergiekosten gegenübergestellt ist. Wie aus der Grafik ersichtlich ist, müssen Gebäude mit geringem Energieverbrauch nicht zwangsläufig auch geringe Heizkosten haben, im Gegenteil: bei den Objekten mit an sich geringem Energieverbrauch (im Bereich bis HEV $40 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{a}$) zeigen sich häufiger und überraschend hohe Abweichungen bei den tatsächlichen Energiekosten.

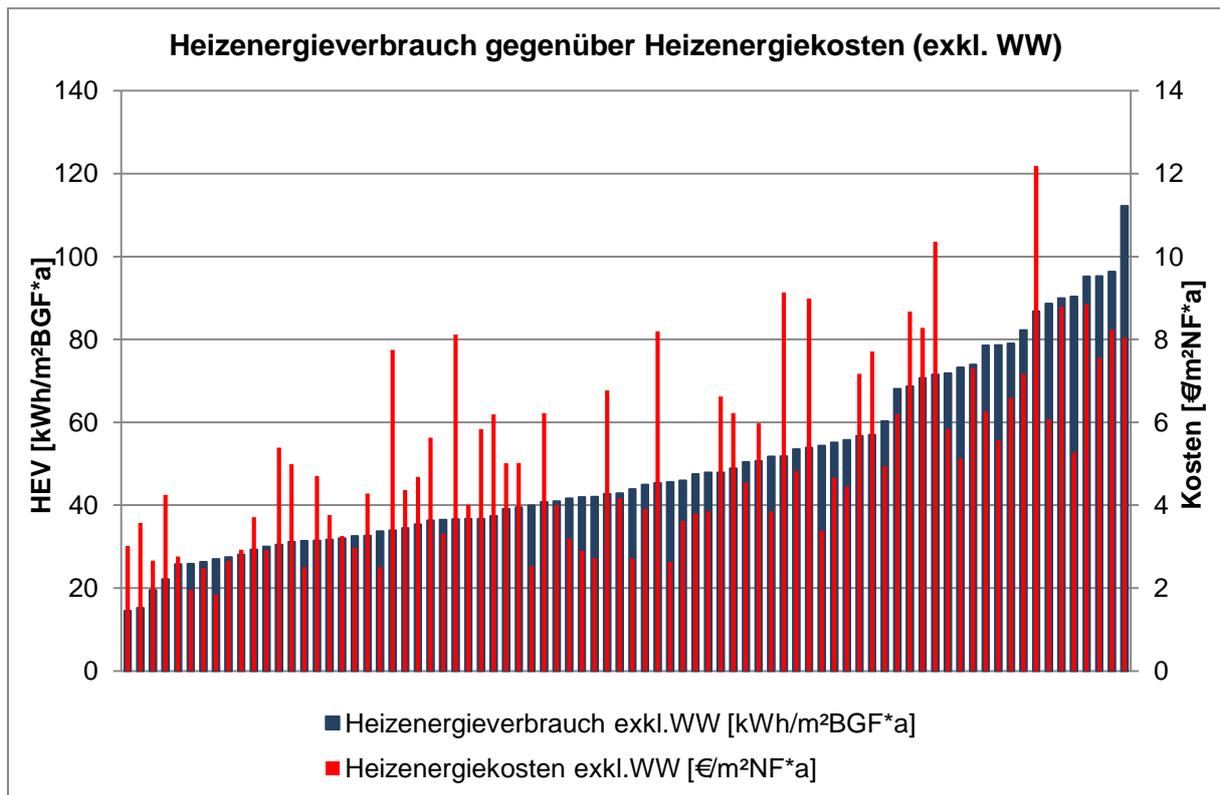


Abbildung 20: Vergleich Heizenergieverbrauch und Heizenergiekosten, Aufsteigend nach HEV, 80 Objekte

Da bei folgenden Auswertungen kein Energieträgervergleich durchgeführt werden soll, sondern der Einfluss der energietechnische Qualität des Gebäudes auf die Kosten im Fokus steht, wird im weiteren Verlauf mit einem konstanten Tarif für Wärmeenergie von 8 Cent/kWh (Mittelwert aller verfügbaren Energietarife) gerechnet. Abbildung 21 zeigt die jährlichen Energiekosten für Raumwärme und Warmwasser der einzelnen Objekte bei konstantem Tarif.

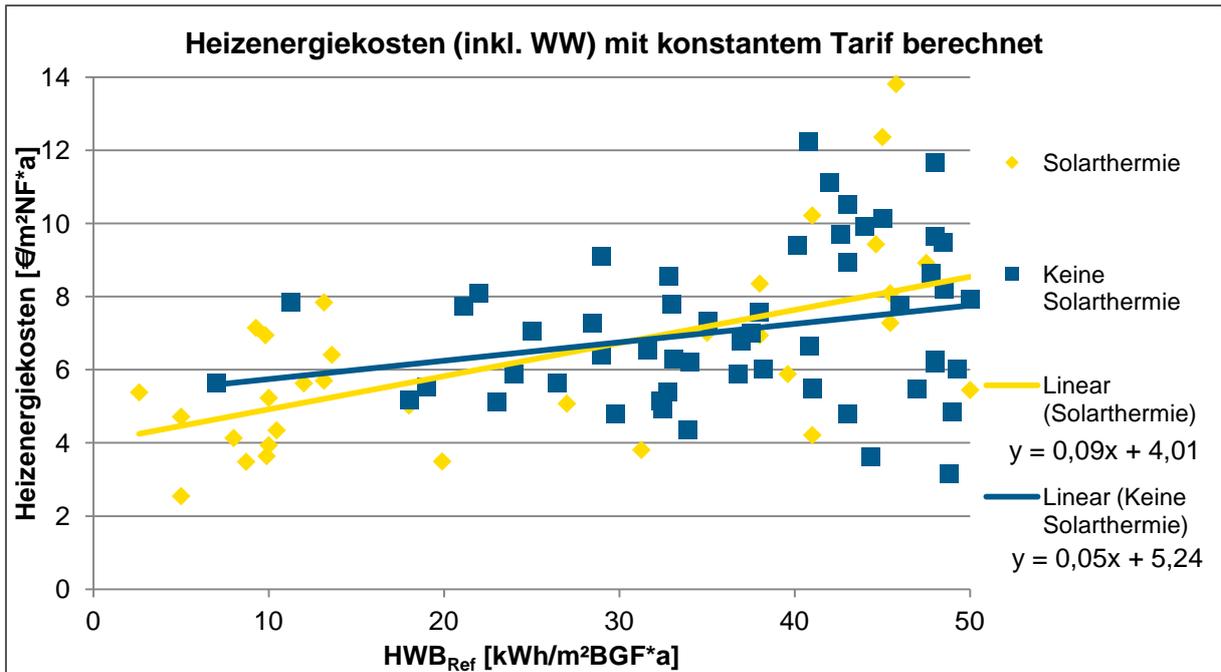


Abbildung 21: Heizenergiekosten (inkl. WW) bei konst. Tarif, 33 Objekte mit und 58 Objekte ohne Solarthermie

4.3.2 Wartungskosten

Die spezifischen Wartungskosten für einzelne haustechnische Anlagen sind Abbildung 22 dargestellt. Interne Leistungen der Hausverwaltung sind nicht enthalten, diese waren nicht Teil der Erhebung. Der genaue Umfang der jeweiligen Serviceleistung wurde ebenfalls nicht im Detail betrachtet, der Vergleich einzelner Objekte kann somit nur unter Vorbehalt getätigt werden. Dies stellt auch einen Grund für die Streuung der Wartungskosten dar.

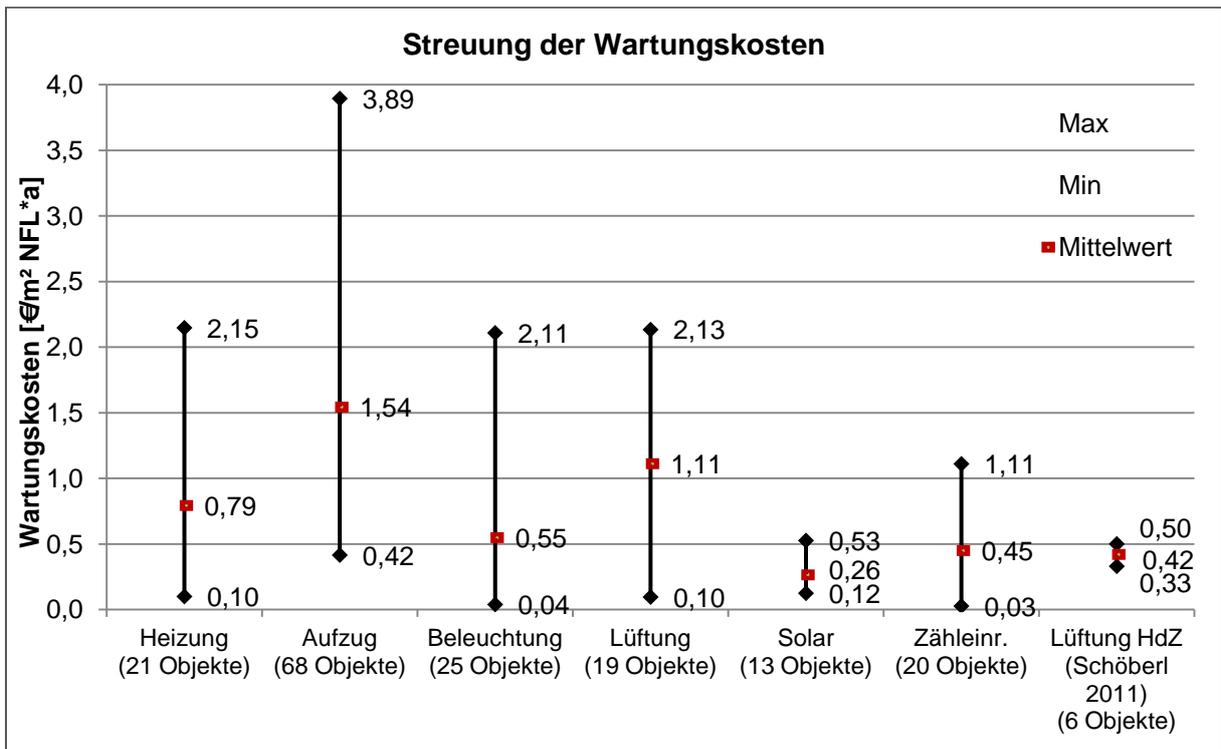


Abbildung 22: Bandbreite und Mittelwert der erhobenen Wartungskosten

Der Mittelwert für die Wartung der Lüftungsanlage liegt bei 1,1 €/m²_{NF} und Jahr. Dies stellt gegenüber einer 2011 erschienen Studie (Schöberl, 2011) einen sehr hohen Wert dar. In dieser Studie wurden die Serviceleistungen bei 6 Objekten analysiert und die Wartungsverträge optimiert. Dies zeigt ein erhebliches Potenzial für mögliche Kostenreduktion auf.

Die Aussagekraft von flächenspezifischen Wartungskosten für Aufzüge ist nur begrenzt, da es starke Unterschiede gibt, welche Nutzfläche von einem Aufzug erschlossen wird. Die jährlichen Wartungskosten pro Aufzug unterliegen jedoch auch einer großen Bandbreite, Die Kosten reichen von rund 500 bis zu 7.200 EUR pro Aufzug.

Für die weiteren Betrachtungen werden bei fehlenden Angaben für das jeweilige Objekt die dargestellten Mittelwerte herangezogen.

4.3.3 Laufende Kosten insgesamt

In Abbildung 23 ist eine Gesamtbetrachtung der jährlichen laufenden Kosten, die vom energietechnischen Standard des Gebäudes beeinflusst werden, dargestellt. Diese umfassen die Heizenergiekosten exkl. WW bei konstantem Wärmetarif, die Wartungskosten für Heizungsanlage, Wohnraumlüftung und solarthermische Anlage und die Stromkosten für den Betrieb der Wohnraumlüftung. Kosten für den Hilfsstrom der Solaranlage sind nicht berücksichtigt. In folgender Auswertung sind alle Objekte mit verfügbarem Energieverbrauch enthalten. Sofern keine Wartungskosten oder Kosten für Hilfsstrom bereitgestellt wurden, wurden die erhobenen Mittelwerte herangezogen.

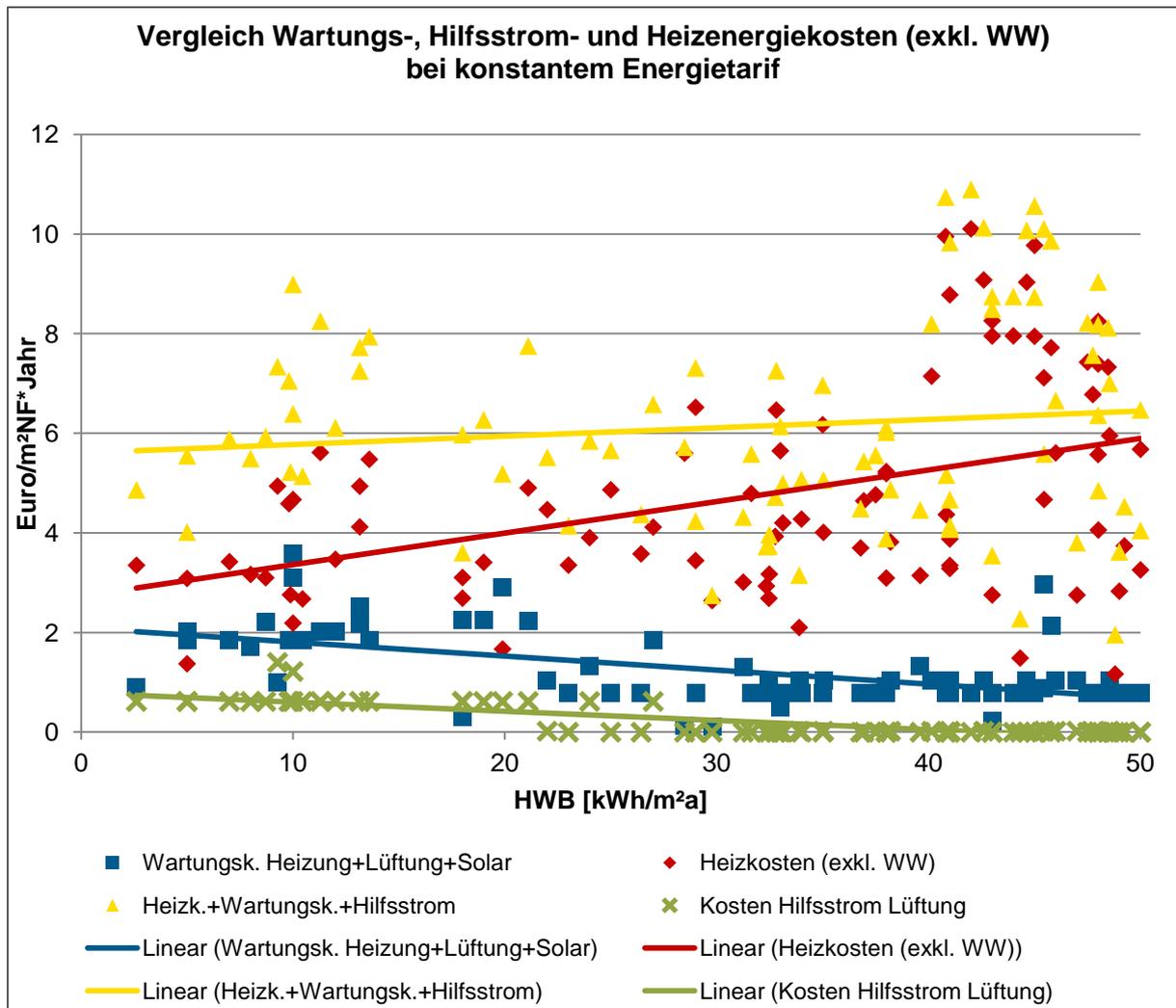


Abbildung 23: Wartungskosten und Heizenergiekosten (bei konstanten Tarif, exkl. WW) gegenüber HWB. 91 Objekte

Die niedrigeren Energiekosten bei effizient geplanten Gebäuden mit geringem HWB werden tendenziell durch höhere Wartungskosten und Stromkosten für Lüftung kompensiert. Der Kostenvorteil bei reiner Betrachtung der Heizenergiekosten exkl. WW (rote Trendlinie) von rund 3 €/m²_{NFA} reduziert sich bei Gesamtbetrachtung der energierelevanten laufenden Kosten (gelbe Trendlinie) auf knapp 1 €/m²_{NFA}.

4.4 Baukosten

Die Gesamtbaukosten wurden für Gebäude der Errichtungsjahre 2006 und später erhoben. Diese setzen sich zusammen aus den gesamten Herstellungskosten inklusive Bauverwaltung, Planung, Bauaufsicht und Finanzierungskosten, jedoch exklusive Grundkosten und Kosten für die Aufschließung. Die reinen Baukosten ergeben sich aus den Gesamtbaukosten exklusive Bauverwaltungs- und Finanzierungskosten. Darüber hinaus wurden die Baukosten für Garagen erhoben.

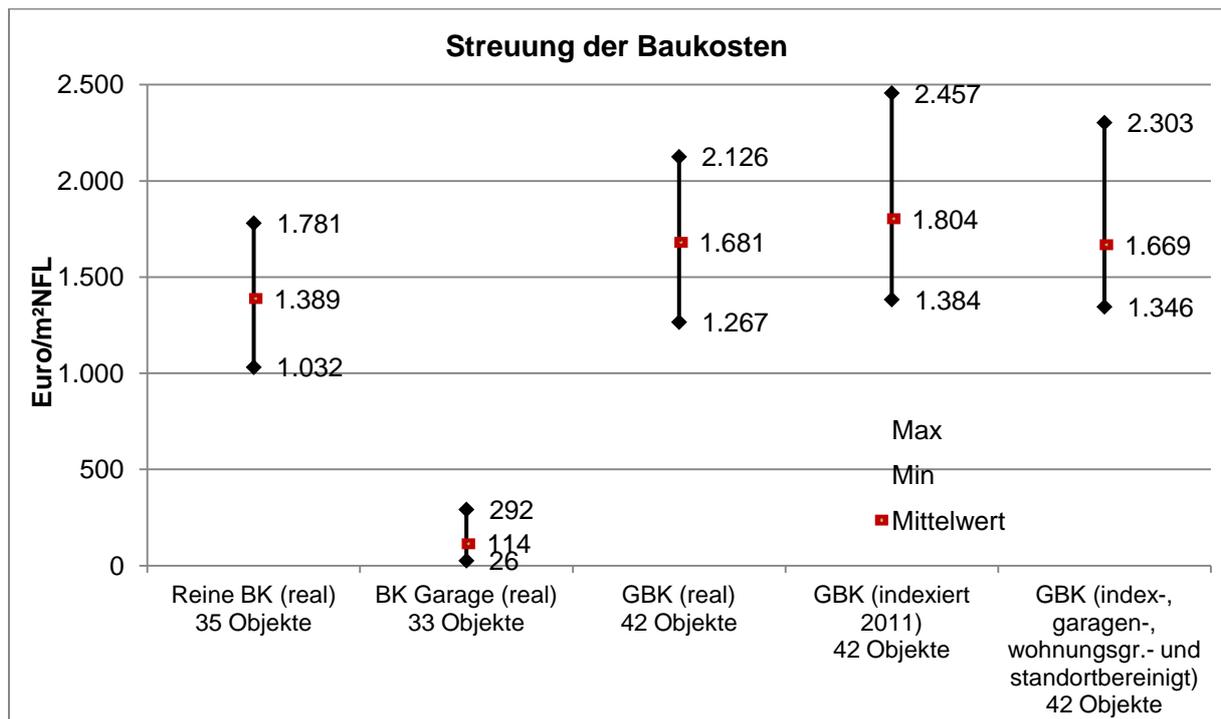


Abbildung 24: Bandbreite und Mittelwert der erhobenen Baukosten

Abbildung 24 zeigt die Streuung und den Mittelwert der erhobenen Baukosten. Um Baukosten einzelner Gebäude besser vergleichbar zu machen, wurden in Zusammenarbeit mit dem gbv (Österreichischer Verband gemeinnütziger Bauvereinigungen) folgende Bereinigungs-schritte für die Gesamtbaukosten vorgenommen (Bauer, 2013):

Bereinigung der Gesamtbaukosten nach dem Baupreisindex

Um die Steigerung der Baupreise für die unterschiedlichen Errichtungsjahre der Objekte zu bereinigen, wurden die Gesamtbaukosten nach dem Baupreisindex (Statistik Austria, 2013) (siehe Tabelle 6) indiziert.

Tabelle 6: Baupreisindex wenn 2006 gleich 100 ist; Quelle: Statistik Austria (2013)

Jahr	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Baupreisindex	100	104	109	112	114	117

Bereinigung um Garagenkosten

In den Gesamtbaukosten (GBK) sind grundsätzlich die Kosten für eine etwaige Garage enthalten, was eine Größenordnung bis zu 300 Euro pro m² Nutzfläche ausmachen kann. Um die Gebäude mit und ohne Garage vergleichbar zu machen, wurden die Baukosten für Garagen (BKG) getrennt und in der Auswertung berücksichtigt (Formel 1). Der Mittelwert für die Garagenkosten betrug bei den erhobenen Objekten 114 Euro pro m² Nutzfläche.

$$\text{Garagenbereinigte Gesamtbaukosten} = \text{GBK} - \text{BKG}$$

Formel 1: Berechnung der garagenbereinigten Gesamtbaukosten

Wohnungsgrößenbereinigte Gesamtbaukosten

Auch die durchschnittliche Größe der Wohnungen in einem Objekt beeinflusst die Gesamtbaukosten (GBK). Kleinere Wohnungen verursachen höhere spezifische Kosten, da eine bestimmte Grundausstattung insbesondere mit Sanitäreinrichtungen unabhängig von der jeweiligen Wohnungsgröße jedenfalls vorhanden sein muss. Um Wohngebäude mit großen Nutzflächen pro Wohneinheit und Wohngebäude mit durchschnittlich kleineren Wohnungen miteinander vergleichbar zu machen, wurde wie folgt vorgegangen:

Es wird die durchschnittliche Wohnungsgröße (der Mittelwert) aller erfassten Wohnungen (MAW) errechnet. Dieser Mittelwert wird vom Mittelwert der Wohnungsgröße des betrachteten Gebäudes (MBW) abgezogen. Ist die durchschnittliche Wohnungsgröße eines Gebäudes kleiner als diese, ergibt sich eine negative Differenz. Bei Gebäuden mit einer größeren durchschnittlichen Wohnungsgröße, eine positive Differenz. Diese Differenz wird mit einem konstanten Kostenfaktor (kK) multipliziert. Das Ergebnis wird zu den erhobenen Gesamtbaukosten dazu addiert (Formel 2). Für Gebäude mit durchschnittlich kleineren Wohnungen verringern sich dadurch die angegebenen Gesamtbaukosten und umgekehrt erhöhen sich die angegebenen Werte für Gebäude mit durchschnittlich größeren Wohnungen.

$$\text{Wohnungsgrößenbereinigte Gesamtbaukosten} = \text{GBK} + (\text{MBW} - \text{MAW}) * \text{kK}$$

Formel 2: Berechnung der wohnungsgrößenbereinigten Gesamtbaukosten

Standortbereinigte Gesamtbaukosten

Der Standort des Gebäudes innerhalb von Österreich hat Auswirkungen auf die Gesamtbaukosten. Die Unterschiede zwischen den Bundesländern betragen rund 10 % (Wohnbauförderungsdaten 2005 bis 2011, Auswertung gbv-Verband (Bauer, 2013)). Zum Teil bilden sich in diesen Unterschieden aber auch höhere energietechnische Standards in den Bundesländern ab. Um Kostendaten aus den durchschnittlich „teureren“ Bundesländern Vorarlberg, Tirol, Salzburg und Steiermark vergleichbar zu machen, wurde daher der regional bedingte Kostenunterschied mit nur 7,5 % angenommen und von den Gesamtbaukosten (GBK) bei Objekten an „teureren“ Standorten abgezogen (Formel 3).

$$\text{Standortbereinigte Gesamtbaukosten} = \text{GBK} - (\text{GBK} * 0,075)$$

Der Effekt der einzelnen Bereinigungs-schritte der Gesamtbaukosten von 42 Objekten in Abhängigkeit des HWB ist in Abbildung 25 dargestellt. Durch Bereinigung um die Garagenkosten wird allgemein das Preisniveau gesenkt, an der Steigung der Trendlinie ändert sich nur wenig. Durch Bereinigung der „teureren“ Bundesländer, hier sind einige Gebäude mit niedrigen HWB ausgeführt (siehe Abbildung 2), flacht die Trendlinie ab. Trotz der Standardisierung schwanken die GBK erheblich, auch bei gleicher thermischer Qualität. Ein Trend zu höheren Baukosten bei Gebäuden mit sehr hohem Energiestandard ist jedoch deutlich erkennbar. Der Unterschied zu einem Gebäude mit HWB 45 kWh/m²a beträgt rund 110 €/m²_{NF}. Das entspricht bei den mittleren Baukosten von 1.669 €/m²_{NF} Mehrkosten von 6,6 %. Diese Größenordnung zeigen auch die Ergebnisse von jüngsten Studien mit ähnlicher Fragestellung (Bauer (2013), Ploss et al. (2013), siehe Kapitel 3.1.2).

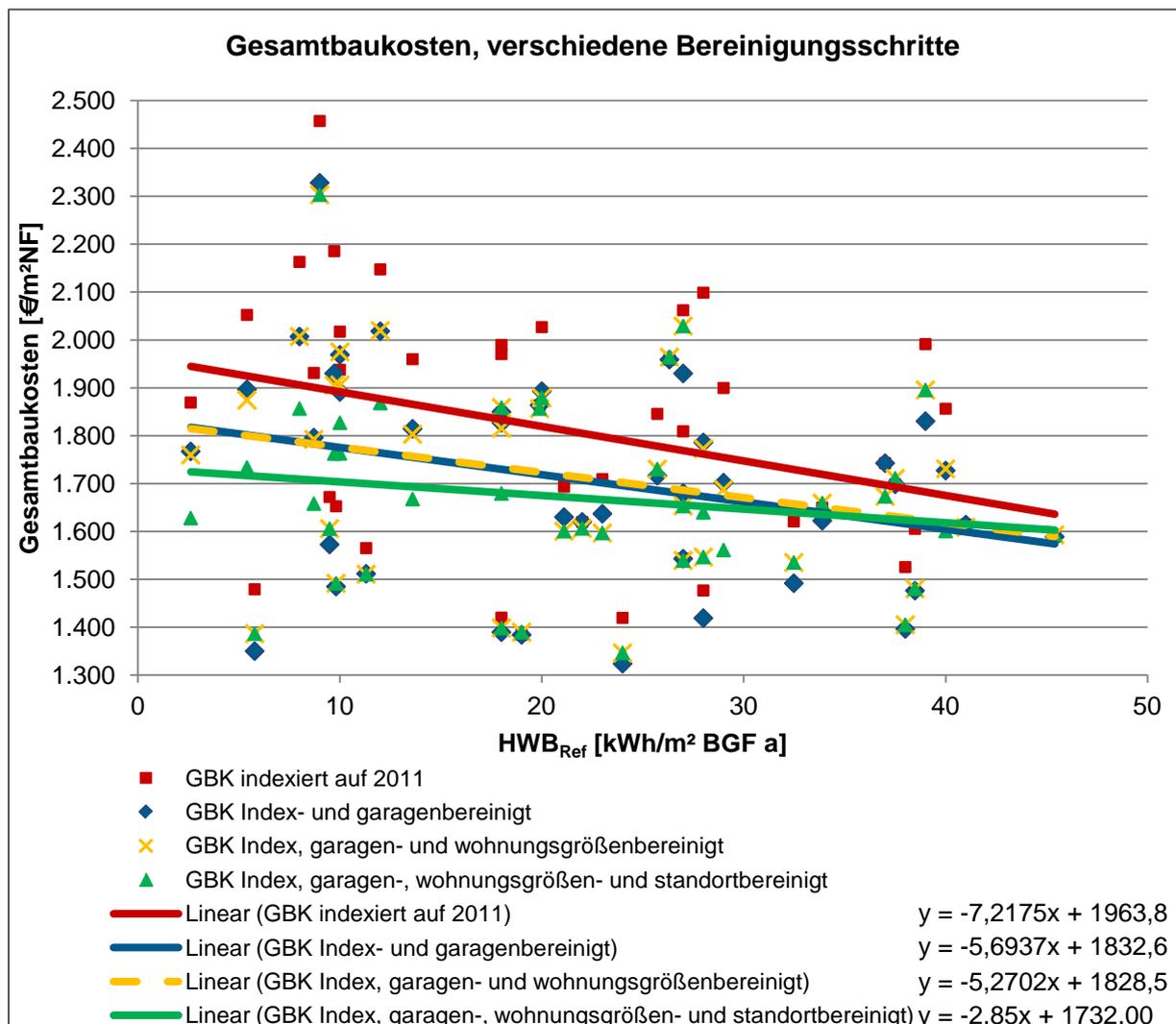


Abbildung 25: Gesamtbaukosten nach verschiedenen Bereinigungs-schritten gegenüber HWB. 42 Objekte

Bei der Auswertung der Gesamtbaukosten in Abhängigkeit des A/V-Verhältnisses (Abbildung 26) wird klar ersichtlich, dass eine hohe Kompaktheit eine positive Auswirkung auf die Baukosten hat. Der Kostenunterschied bei Objekten mit einem A/V-Verhältnis größer 0,5 1/m gegenüber großen Objekten mit einem A/V-Verhältnis bis zu 0,35 1/m liegt bei 164 €/m²_{NF} und somit höher als die Mehrkosten für hocheffizient geplante Gebäude. Dazu ist jedoch auch zu bemerken, dass es sich bei sehr kompakten Gebäuden tendenziell auch um größere Bauvorhaben mit einem entsprechend hohen Auftragsvolumen handelt und auch dadurch die spezifischen Baukosten gedrückt werden.

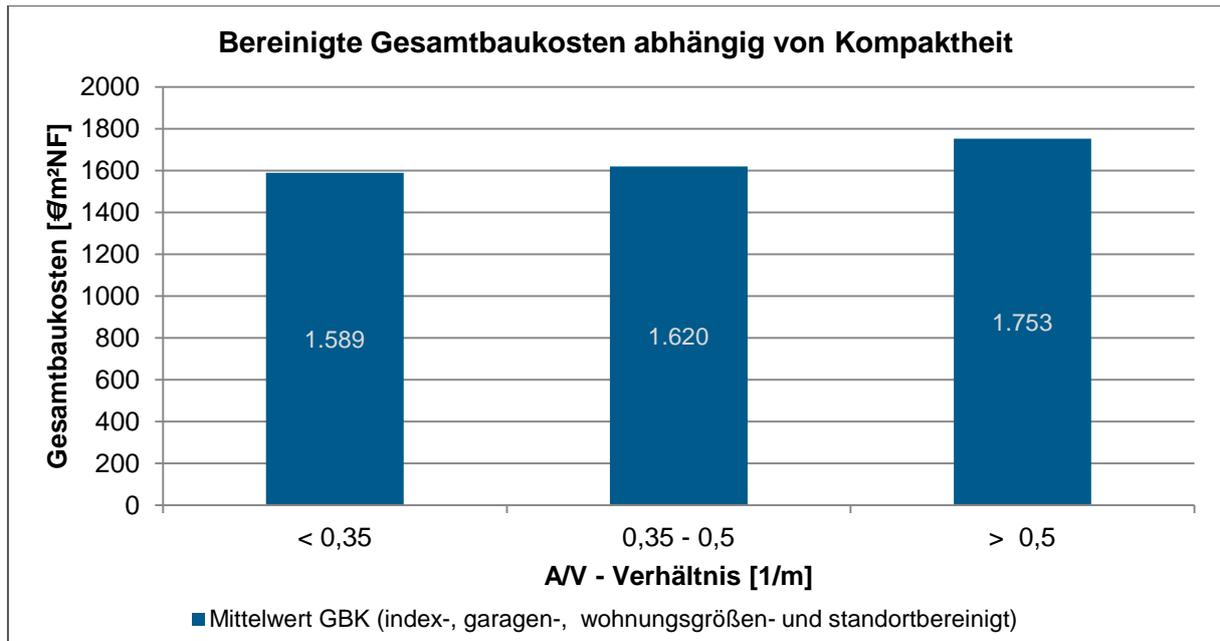


Abbildung 26: Abhängigkeit der bereinigten Gesamtbaukosten von der Kompaktheit, 44 Objekte

Eine Bereinigung der Baukosten abhängig von der Kompaktheit wurde nicht durchgeführt.

4.5 Gesamtkostenbetrachtung von innovativen Baustandards

Für die Gesamtkostenbetrachtung werden in diesem Abschnitt die im Rahmen dieser Studie erhobenen und bereinigten Kostendaten für die jeweiligen konkreten Objekte herangezogen. Zwei unterschiedliche Verfahren werden angewendet, um aus dem vorhandenen Sample Hinweise auf kostenoptimale Baustandards zu erlangen. In beiden Fällen basieren die Berechnungen auf der Barwertmethode, nur der Weg, um ein Kostenoptimum zu identifizieren ist unterschiedlich: im einen Fall erfolgt dies durch den Extremwert einer polynomischen Trendlinie, im anderen Fall durch Bildung von Klassen (HWB 0-10, 10-20 etc.). Einschränkungen hinsichtlich der Aussagekraft müssen bei beiden Verfahren hingenommen werden, z.B. dadurch, dass sich bei der Bildung von Klassen die Anzahl der Objekte in der jeweiligen Klasse schon deutlich reduziert.

4.5.1 Kostenoptimum als Extremwert einer polynomischen Funktion

Für die Berechnung des Barwerts der Gesamtkosten wurden die bereinigten Gesamtbaukosten, Wartungskosten für Lüftungsanlage und Heizungsanlage sowie der Hilfsstromverbrauch für Lüftungsanlagen und die Heizenergiekosten exkl. Warmwasser (mit konstantem Tarif) berücksichtigt. Diese Daten waren für insgesamt 31 Objekte vollständig verfügbar. Der Betrachtungszeitraum für diese Berechnung wurde mit 20 Jahren angenommen, da die Lebensdauer aller Bauelemente mind. 20 Jahre beträgt (vgl. Tabelle 13 in Kapitel 4.6.4.4) wurden in diesem Fall keine Reinvestitionen und kein Restwert berücksichtigt.

In Abbildung 27 sind die Gesamtkosten der einzelnen Objekte (exkl. Warmwasser) und die daraus resultierende polynomischen Trendlinie dargestellt. Die Ausgangsvariante (grün) stellt der Barwert der Gesamtkosten mit einem realen Diskontsatz von 2 % (4 % nominal) und einer Energiepreissteigerung von real 2,8 % (nominal 4,8 %) dar. Im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse werden Diskontsatz und Energiepreissteigerung variiert. Dies entspricht auch den Annahmen der im Kapitel 4.6.6 beschriebenen Sensitivitätsanalyse. Darüber hinaus wird angenommen, dass es bei den Baukosten sowie bei den Kosten für Wartung und Instandhaltung zu keinen realen Preissteigerungen kommt (2% nominale Preissteigerung).

Das Kostenoptimum der Ausgangsvariante liegt bei einem HWB von 30 kWh/m²a. Änderungen von Diskontsatz und Energiepreissteigerung führen zu keiner Verschiebung des Kostenoptimums.

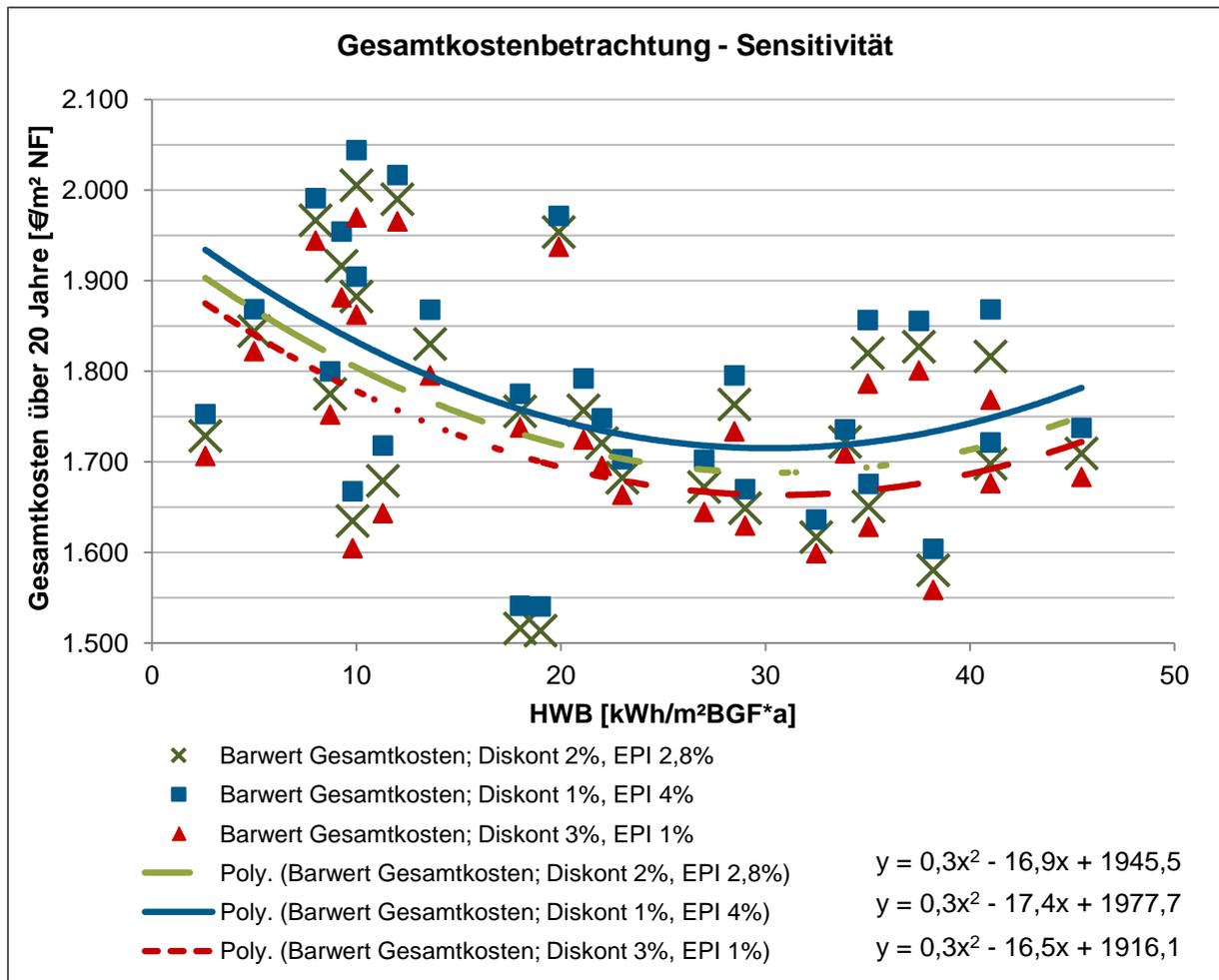


Abbildung 27: Gesamtkostenbetrachtung über 20 Jahre, Sensitivitätsanalyse, 31 Objekte

Um Gebäude mit und ohne Solarthermie vergleichbar zu machen, wurden zwei Methoden angewendet und verglichen (Heizenergiekosten für Warmwasserbereitung bei konstantem Tarif sind in dieser Betrachtung inkludiert):

- In Methode 1 werden die Kosten für die Installation der Solarthermieanlage von den Investitionskosten abgezogen. Ist eine Solarthermieanlage am Gebäude installiert, so werden von den Investitionskosten 500 Euro/m² Kollektorfläche abgezogen. Im Gegenzug dazu wird die, durch die Solarthermie erzeugte Energie, mit dem konstanten Energietarif (8 Eurocent/kWh) multipliziert und zu den Energiekosten dazu addiert. Bei dieser Methode wird das Gebäude quasi ohne solarthermische Anlage betrachtet, indem eine rechnerische Bereinigung der Kosten und Erträge erfolgt.
- In Methode 2 werden die erhobenen Gesamtbaukosten direkt übernommen. Sie enthalten damit auch die Investitionskosten für die Solarthermieanlage. Die Investitionskosten sind deshalb höher, als in Methode 1. Die Energiekosten sind jedoch geringer, da ein Teil des Energieverbrauchs durch solarthermische Wärme bereitgestellt wird. Die solarthermischen Anlagen werden somit real (wie ausgeführt) betrachtet.

Die Ergebnisse beider Methoden werden in Abbildung 28 gegenübergestellt (Ausgangsvariante mit Diskontsatz 2 % real, Energiepreissteigerung 2,8 % real, Betrachtungszeitraum 20 Jahre).

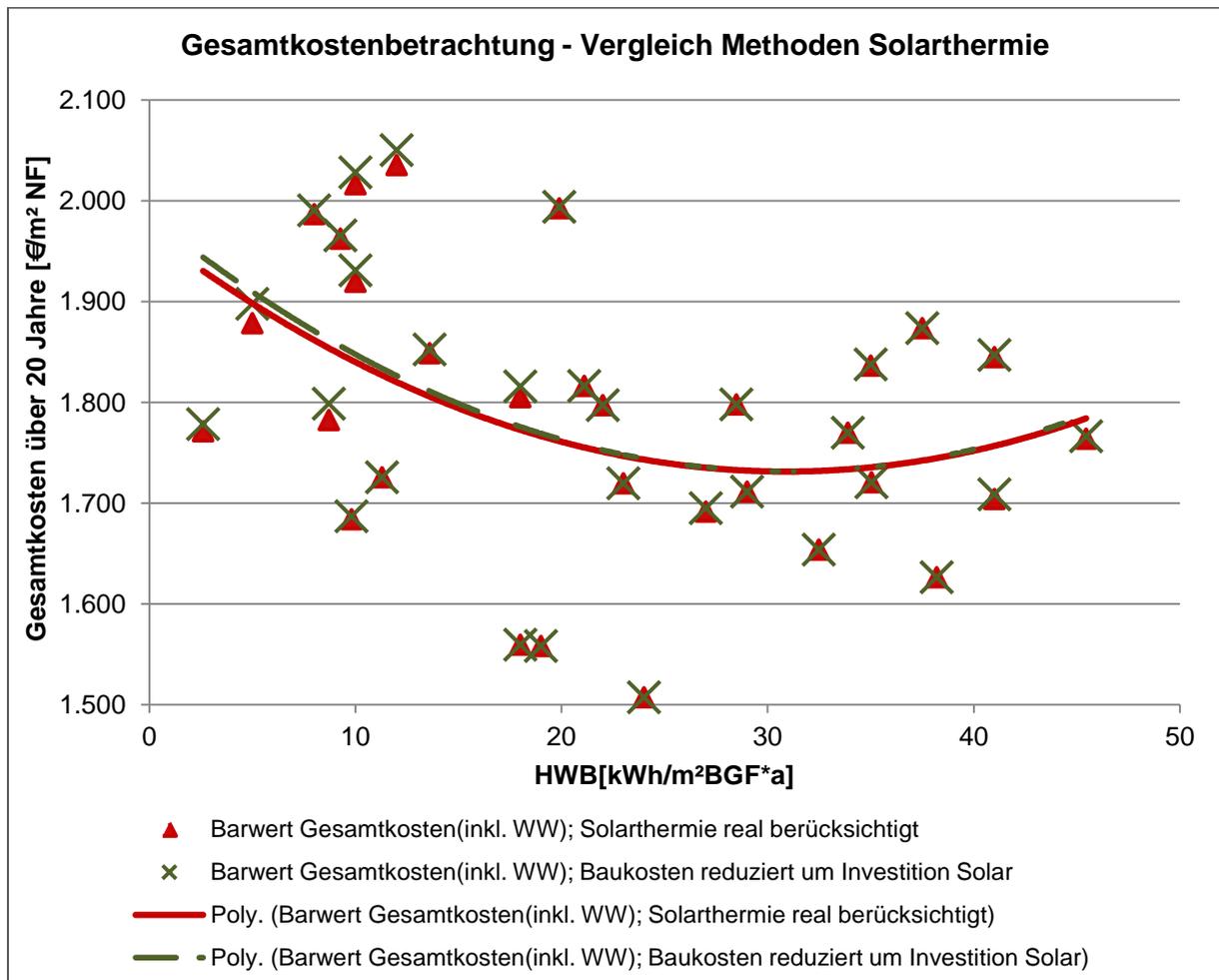


Abbildung 28: Gesamtkostenbetrachtung über 20 Jahre, Methodenvergleich Solarthermie

Solarthermische Anlagen wurden überwiegend bei Gebäuden mit einem HWB kleiner 20 kWh/m²a realisiert. Bei Betrachtung der beiden Varianten ergibt sich ein Kostenvorteil in diesem HWB Bereich für Methode 2, bei der der Einfluss von solarthermischen Anlagen real berücksichtigt wird. Das bedeutet für die betrachteten Objekte unter den dargestellten Rahmenbedingungen einen wirtschaftlichen Vorteil und niedrigere Gesamtkosten durch die Ausführung einer solarthermischen Anlage.

4.5.2 Kostenoptimum auf Basis von HWB-Klassen

In dieser Auswertung wurden 5 HWB-Gruppen in Schritten zu je 10 kWh/m²a gebildet. Der Mittelwert der einzelnen Gruppe wurde aus den flächenspezifischen Barwerten der Verbrauchs-, Wartungs- und bereinigten Baukosten der jeweils maximal verfügbaren Daten berechnet. Die Berechnungsrandbedingungen entsprechen der unter 4.5.1 dargestellten Ausgangsvariante.

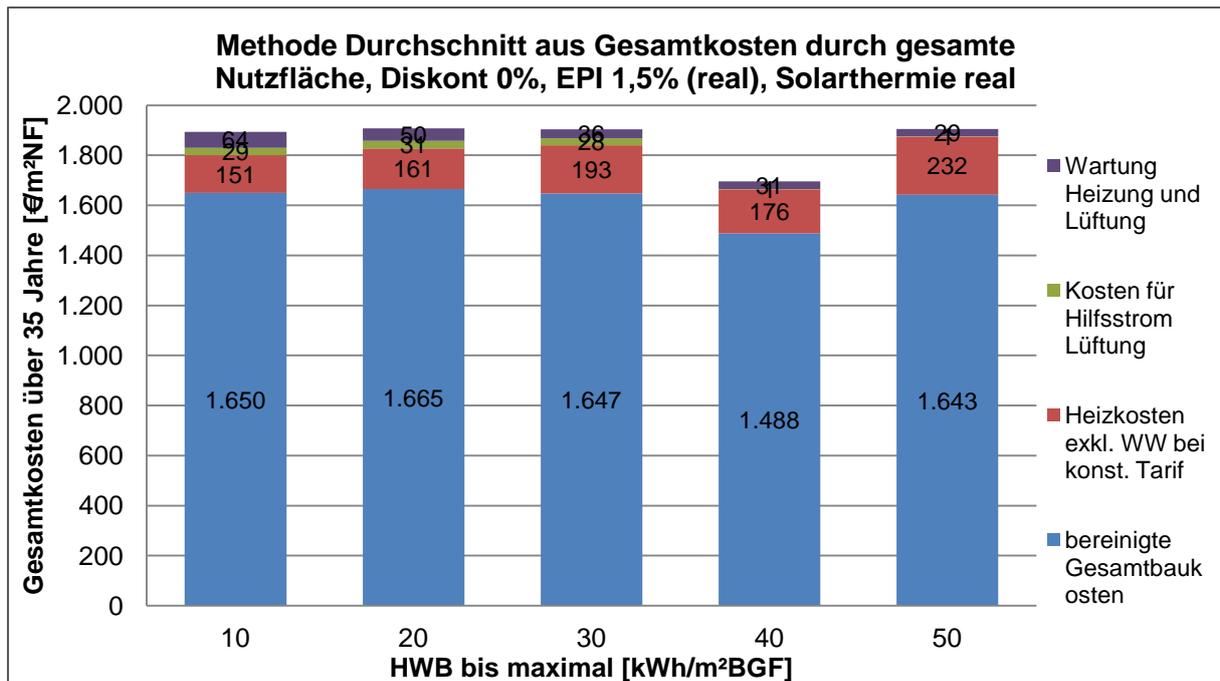


Abbildung 29: Gesamtkostenbetrachtung (Diskont 2%, EPI 2,8%) auf Basis HWB Klassen über 20 Jahre

Über einen Betrachtungszeitraum von 20 Jahren (Abbildung 29) stellt die HWB Gruppe zwischen 30 und 40 kWh/m²a das Kostenoptimum dar. Die Mehrkosten über 20 Jahre zwischen HWB Gruppe 30 bis 40 und HWB kleiner 10 liegen bei 129 €/m²_{NF}. Die Mehrkosten werden hauptsächlich durch die höheren Baukosten verursacht, geringere Heizkosten können dies nicht kompensieren.

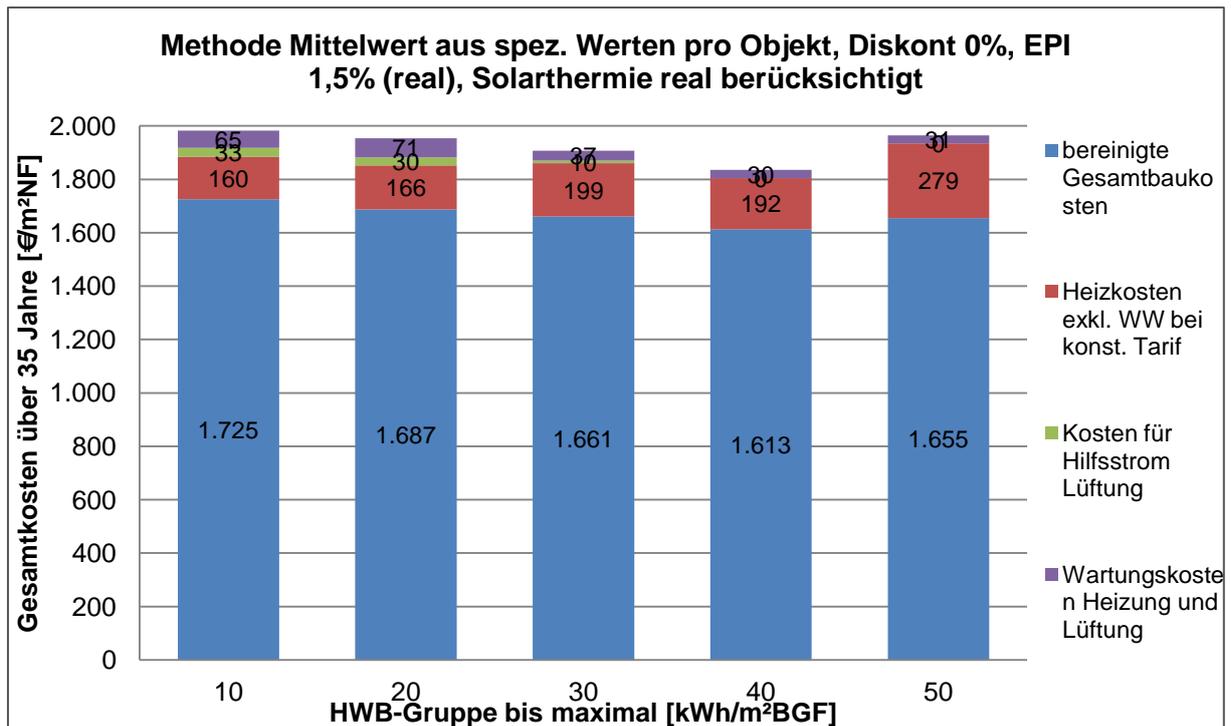


Abbildung 30: Gesamtkostenbetrachtung (Diskont 2%, EPI 2,8%) auf Basis HWB Klassen über 35 Jahre

Erfolgt die Gesamtkostenbetrachtung über einen Zeitraum von 35 Jahre, so steigen die kumulierten Verbrauchs- und Wartungskosten (Abbildung 30). Bei der HWB-Gruppe kleiner 10 kWh/m²a liegen die Kosten um 94 €/m²_{NF} höher, bei der HWB-Gruppe 40 bis 50 kWh/m²a um 121 €/m²_{NF} höher gegenüber dem Betrachtungszeitraum von 20 Jahren. Der kostenoptimale Bereich verschiebt sich auch bei längeren Betrachtungszeiträumen nicht, da dieser hauptsächlich von den Baukosten beeinflusst wird.

Die Ermittlung eines Kostenoptimums mittels einer polynomischen Funktion einerseits und über HWB-Klassen andererseits führt zu ähnlichen Ergebnissen, wobei das Kostenoptimum nach der polynomischen Funktion in Abbildung 27 bei 30 kWh/m²a an der unteren Grenze des kostenoptimalen HWB- Bereichs entsprechend der HWB-Klassen liegt. Die Aussagekraft der Betrachtung nach HWB-Klassen ist jedoch durch die geringe Anzahl der Objekte in den einzelnen Klassen eingeschränkt.

4.6 Kostenoptimale Baustandards auf Basis von Bedarfs- und Verbrauchswerten

Ziel dieser Untersuchung ist es, für unterschiedliche energietechnische Gebäudestandards das kostenoptimale Niveau zu ermitteln. Dies steht in Zusammenhang mit Art. 5 der EU-Gebäuderichtlinie 2010, der fordert, dass sich die bautechnischen Mindestanforderungen an kostenoptimalen Niveaus zu orientieren haben (siehe Kap. 3.2.1 und 3.2.2.). Die Berechnungen für kostenoptimale Baustandards beruhen in der Regel auf Planwerten aus der Energieberechnung (Bedarfswerte). Voraussetzung für die Kostenoptimalität ist daher, dass die berechneten Werte in der Praxis auch erreicht werden (siehe auch Ploss et al. 2013)). Die Verifizierung der Methode der Kostenoptimalitätsberechnung auf ihre Praxistauglichkeit ist der logische nächste Schritt.

In diesem Kapitel wird nun erstmals der Schritt unternommen anhand eines beispielhaft ausgewählten Referenzgebäudes zwei Berechnungswege gegenüber zu stellen. Beide Wege verwenden die gleiche Methode und Randbedingungen, der Unterschied besteht darin, dass zunächst die Kostenoptimalitätsberechnung auf Basis von berechneten Energiebedarfswerten vorgenommen wird und dann die gleiche Berechnung auf Basis von gemessenen Verbrauchswerten (Trendmodell abgeleitet aus der Erhebung im Rahmen dieser Studie) durchgeführt wird. Damit soll eine Aussage ermöglicht werden, ob und in welchem Ausmaß die Ergebnisse beider Berechnungen voneinander abweichen.

4.6.1 Referenzgebäude

Beim festgelegten Referenzgebäude handelt es sich um ein quaderförmiges Wohngebäude mit einer Grundfläche von 12 x 32 m sowie 6 Stockwerken (Tabelle 7). Damit weist das Gebäude eine Bruttogrundfläche von 2.304 m² auf. Die Kompaktheit ist mit einem I_c-Wert von 2,94 typisch für ein Wohngebäude in dieser Größenordnung.

Der Fensterflächenanteil wird konstant mit 20% festgelegt was für großvolumige Wohngebäude einen typischen Anteil darstellt.

Das Ziel der Untersuchung ist nicht der Vergleich unterschiedlicher Konstruktionstypen. Als Konstruktionstyp des Referenzgebäudes wird ein Massivgebäude (Beton) mit Wärmedämmverbundsystem festgelegt.

Ebenso ist es nicht das Ziel unterschiedliche Haustechniksysteme zu evaluieren bzw. einen Kostenvergleich unterschiedlicher Energieträger durchzuführen. Die Wärmeversorgung des Referenzgebäudes wird mit Fernwärme (hauszentrale Übergabestation) festgelegt. Es wird grundsätzlich die haustechnische Referenzausstattung lt. Energieausweis angenommen, d.h. es werden keine Variantenuntersuchungen für unterschiedliche Ausstattungsqualitäten bei der Haustechnik durchgeführt.

Tabelle 7: Beschreibung Referenzgebäude

Bezeichnung	Festlegung
Gebäudegeometrie	Wohngebäude 12x32x18m, 6 Stockwerke Charakteristische Länge $l_c = 2,94$ m A/V Verhältnis = 0,34 1/m Fassadenfläche Nord = 576 m ² Fassadenfläche Ost = 216 m ² Fassadenfläche Süd = 576 m ² Fassadenfläche West = 216 m ² Oberste Geschoßdecke = 384m ² Unterste Geschoßdecke = 384 m ²
BGF	2.304 m ²

4.6.2 Methode und Rahmenbedingungen

Der Wärmeschutz des Gebäudes wird über den Wert des Heizwärmebedarfs ausgedrückt. Damit die Kompaktheit des Gebäudes in der Ergebnisdarstellung keine Rolle spielt, wird der Wärmeschutz in Form der HWB-Linien festgelegt. Die Berechnung des Heizwärmebedarfs erfolgt anhand der ÖNORM B 8110-6.

Die Wirtschaftlichkeitsberechnung erfolgt konform der ÖNORM M7140. Der Restwert wird in der Betrachtung berücksichtigt (Tabelle 8).

Tabelle 8: Verwendete Methoden

Bezeichnung	Festlegung
Methode Energiebedarfsberechnung	ÖNORM B 8110-6, ÖNORM H 5056 - 5059
Region	Nord Föhngebiet
Heizgradtage	3347 Kd/a
Klimadaten	ÖNORM B 8110-5
Methode Wirtschaftlichkeitsberechnung	ÖNORM M7140

Bei der Lebenszykluskostenberechnung kommt ein Zusatzkostenansatz zur Anwendung. Entgegen des Vollkostenansatzes werden nur jene Kostenbestandteile berücksichtigt, die für die untersuchten Varianten unterschiedlich sind. Entscheidend ist der relative Unterschied der Lebenszykluskosten und nicht die absoluten Lebenszykluskosten (Vollkosten).

Finanzierungskosten werden in der Berechnung nicht berücksichtigt.

Die Kostenanalyse wird ausgehend von den Anforderungen der OIB RL6 2007 und 2010, für die aktuelle gültige OIB Richtlinie, den nationalen Plan bis 2020 (vgl. Kap. 3.2.4) und darüber hinaus durchgeführt. In Tabelle 9 sind die Varianten der thermischen Qualität des Wärmeschutzes dargestellt.

Tabelle 9: HWB Linien und HWB Werte der untersuchten Varianten

Bezeichnung	Formel	HWB Referenzgebäude	für Festlegung
HWB-Linie 2007	$26^*(1+2,0/lc)$	43,7 kWh/m ² a	
HWB-Linie 2010	$19^*(1+2,5/lc)$	35,2 kWh/m ² a	
HWB-Linie 16	$16^*(1+3,0/lc)$	32,3 kWh/m ² a	
HWB-Linie 14	$14^*(1+3,0/lc)$	28,3 kWh/m ² a	Wärmeschutz des Gebäudes, sodass die Anforderungen an den HWB nach ÖNORM B 8110-6 exakt die vorgegebene HWB-Linie ergibt.
HWB-Linie 12	$12^*(1+3,0/lc)$	24,2 kWh/m ² a	
HWB-Linie 10	$10^*(1+3,0/lc)$	20,2 kWh/m ² a	
HWB-Linie 8	$8^*(1+3,0/lc)$	16,2 kWh/m ² a	
HWB-Linie 6	$6^*(1+3,0/lc)$	12,1 kWh/m ² a	
HWB-Linie 4	$4^*(1+3,0/lc)$	8,1 kWh/m ² a	
HWB-Linie 2	$2^*(1+3,0/lc)$	4,0 kWh/m ² a	

4.6.3 Variantenfestlegung

In Summe wurden 13 Varianten definiert, welche detailliert in Tabelle 10 dargestellt sind. V3 stellt die derzeit gültige OIB Richtlinie 6 dar. Als Vergleich zu früheren Baustandards werden Varianten nach OIB 2007 und 2010 angeführt. Diese Varianten (V1 und V2) entsprechen nicht mehr den aktuellen Mindestanforderungen lt. derzeit gültiger OIB RL6.

Ab Variante 4 bis Variante 7 erfolgt eine schrittweise Verbesserung der thermischen Hüllqualität entlang der HWB-Linien bis HWB-Linie 8. Der U-Wert aller thermisch relevanten Bauteile wird möglichst gleichmäßig solange reduziert, bis sich die gewünschte HWB-Linie einstellt. Ungleichmäßige Festlegungen der U-Werte über verschiedene Bauteile werden bei der Definition der untersuchten Varianten möglichst vermieden, da dies einen unerwünschten Einfluss auf der Kostenseite haben könnte. Für Fenster wird der U-Wert des gesamten Fensters vorgegeben (U_w) und nicht auf die U-Werte des Rahmens (U_f) sowie des Glases (U_g) getrennt eingegangen.

Der Einbau einer mechanischen Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung ist typisch für Gebäude- und Energiekonzepte von Niedrigstenergie- und Passivhäusern. Damit können Lüftungswärmeverluste deutlich reduziert werden. Demgegenüber stehen jedoch Mehrkosten in der Erstinvestition sowie in der Betriebsführung dieser Anlage. Für die Varianten V7 bis V13 (HWB-Linie 12 bis 2) wird eine kontrollierte Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung berücksichtigt.

Grundsätzlich ist zu beachten, dass die Varianten mit Lüftungsanlage im Vergleich zu Varianten ohne Lüftungsanlage aber gleichem HWB eine geringere Qualität des Wärmeschutzes aufweisen. Die thermische Qualität der einzelnen Hüllenbauteile von V8 gegenüber V5 (bei gleicher HWB-Linie) ist somit aufgrund der Wärmerückgewinnung reduziert. Beispielsweise würde die thermische Qualität von HWB-Linie 10 (V6) mit einer zusätzlichen kontrollierten Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung einer HWB-Linie von 4,6 entsprechen.

Bei den Varianten 1 bis 10 wird ein statisches Heizsystem mit Wärmeabgabe über Radiatoren angenommen. In zwei Varianten (V12 und V13) wurde auf das statische Heizungssystem verzichtet, da aufgrund der niedrigen Heizlast die Wärmeabgabe ausschließlich über die konditionierte Zuluft der Lüftungsanlage erfolgen kann. Das sind Varianten, die dem idealtypischen Passivhauskonzept entsprechen. In Variante 11, welche ebenfalls zuluftbeheizt angenommen wird, werden aufgrund der guten thermischen Qualität des Referenzgebäudes reduzierte Wärmeabgabeflächen angenommen.

Tabelle 10: Variantenbeschreibung

Nr.	Element	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7
1	Energetechnischer Standard	OIB 2007	OIB 2010	HWB-Linie 16 derzeitige BO	HWB-Linie 14	HWB-Linie 12	HWB-Linie 10	HWB-Linie 8
	HWB [kWh/m ² a]	43,7	35,2	32,3	28,3	24,2	20,2	16,2
1a	U-Wert Oberste Geschoßdecke [W/m ² k]	0,30	0,24	0,20	0,18	0,14	0,11	0,08
1b	U-Wert Außenwand [W/m ² k]	0,40	0,28	0,26	0,20	0,16	0,11	0,09
1c	U-Wert unterste Geschoßdecke [W/m ² k]	0,45	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10
1d	U-Wert Fenster gesamt [W/m ² k]	1,45	1,35	1,30	1,20	1,15	1,00	0,75
1e	g-Wert Fenster	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,55	0,51
4	Wärmeabgabe	Radiatoren	Radiatoren	Radiatoren	Radiatoren	Radiatoren	Radiatoren	Radiatoren
5	Wärme-versorgung	Fernwärme	Fernwärme	Fernwärme	Fernwärme	Fernwärme	Fernwärme	Fernwärme
6	Kontrollierte Wohnraumlüftung	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein
7	Luftdichtheit n50 [1/h]	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Nr.	Element	V8	V9	V10	V11	V12	V13	
1	Energetechnischer Standard	HWB-Linie 12	HWB-Linie 10	HWB-Linie 8	HWB-Linie 6	HWB-Linie 4	HWB-Linie 2	
	HWB [kWh/m ² a]	24,2	20,2	16,2	12,1	8,1	4	
1a	U-Wert Oberste Geschoßdecke [W/m ² k]	0,24	0,20	0,16	0,12	0,10	0,07	
1b	U-Wert Außenwand [W/m ² k]	0,29	0,25	0,19	0,14	0,10	0,07	
1c	U-Wert unterste Geschoßdecke [W/m ² k]	0,35	0,30	0,25	0,18	0,13	0,08	
1d	U-Wert Fenster gesamt [W/m ² k]	1,30	1,20	1,15	1,00	0,90	0,62	
1e	g-Wert Fenster	0,60	0,60	0,60	0,55	0,52	0,50	
4	Wärmeabgabe	Radiatoren	Radiatoren	Radiatoren	Luftbeheizt + 1 Radiator	Luftbeheizt	Luftbeheizt	
5	Wärme-versorgung	Fernwärme	Fernwärme	Fernwärme	Fernwärme	Fernwärme	Fernwärme	
6	Kontrollierte Wohnraumlüftung	WRG 65%	WRG 65%	WRG 65%	WRG 65%	WRG 65%	WRG 65%	
7	Luftdichtheit n50 [1/h]	1,0	1,0	1,0	1,0	0,6	0,2	

4.6.4 Inputdaten für Lebenszykluskostenberechnung

Die Kostendaten basieren zum überwiegenden Teil auf einer Erhebung, die e7 gemeinsam mit dem Partner M.O.O.CON im Jahr 2010 im Zusammenhang mit dem Aufbau eines planungsbegleitenden Lebenszykluskostentools bei mehreren Baufirmen durchgeführt hat und die seither kontinuierlich aktualisiert wird. Darüber hinaus wurden Kostendaten von einzelnen Bauträgern zur Verfügung gestellt. Ergänzt wurden diese mit Angaben aus der Literatur (Leutgöb et al. (2012), Schöberl (2011), Schöberl et al. (2012)). Die unterschiedlichen Kostendaten wurden konsolidiert und auf Plausibilität geprüft. Im Rahmen des technischen Ausschusses des Verbands gemeinnütziger Bauvereinigungen (gbv-Verband) wurden die Kostendaten letztendlich diskutiert und festgelegt.

Im Folgenden werden die einzelnen verwendeten Kosteninputdaten im Detail dargestellt. Ergänzend sei angemerkt, dass ein pauschaler Planungskostenzuschlag von 10% auf die Errichtungskosten angesetzt wurde.

4.6.4.1 Inputfaktoren Gebäudehülle und Haustechnik

In der Tabelle 11 sind die Inputfaktoren im Zusammenhang mit der energietechnischen Qualität der Gebäudehülle zusammengefasst. Den unterschiedlichen HWB-Linien werden jeweils U-Werte für Fassadendämmung, Dachdämmung und Kellerdeckendämmung sowie die dafür aufzuwendenden Kosten zugeordnet. Kosten zur Vermeidung von Wärmebrücken sind beim jeweiligen Gebäudeelement enthalten. Als Kosten werden nur jene Kostenbestandteile angesetzt, die für die untersuchten Varianten unterschiedlich sind, d.h. es kommt ein sog. Zusatzkostenansatz zur Anwendung.

Tabelle 11: Kosteninputdaten Gebäudehülle

	Fassadendämmung (WDVS Polystyrol)		Oberste Geschoßdecke (Flachdach mit Polystyrol)		unterste Geschoßdecke (Dämmung von unten)		Fenster gesamt (Rahmen aus Holz- Alu)	
	U-Wert [W/m ² K]	Baukosten [€/m ² Elementfl.]	U-Wert [W/m ² K]	Baukosten [€/m ² Elementfl.]	U-Wert [W/m ² K]	Baukosten [€/m ² Elementfl.]	U-Wert [W/m ² K]	Baukosten [€/m ² Elementfl.]
V1	0,40	58	0,30	160	0,45	30	1,45	450
V2	0,28	65	0,24	165	0,35	35	1,35	470
V3	0,26	67	0,20	170	0,30	40	1,30	480
V4	0,20	71	0,18	102	0,25	50	1,20	487
V5	0,16	76	0,14	190	0,20	60	1,15	490
V6	0,11	89	0,11	209	0,15	70	1,00	501
V7	0,09	102	0,08	240	0,10	80	0,75	550
V8	0,29	64	0,24	165	0,35	35	1,30	480
V9	0,25	68	0,20	170	0,30	40	1,20	487
V10	0,19	72	0,16	182	0,25	50	1,15	490
V11	0,14	80	0,12	201	0,18	65	1,00	501
V12	0,10	95	0,10	218	0,13	75	0,90	525
V13	0,07	120	0,07	240	0,08	92	0,62	600

Um die HWB Linie 2 zu erreichen (Variante 13) muss ein sehr hoher Aufwand betrieben werden. Die Kosten für die thermische Hülle kleiner einem U-Wert von 0,1 W/m²K steigen überproportional an.

Tabelle 12 fasst die wesentlichen ökonomischen Inputdaten für die Lüftungsanlage und die Heizungsanlage zusammen.

Tabelle 12: Kosteninputdaten Haustechnik

Wärmeverteilung	Baukosten	Wartung	Instandhaltung
Wärmeverteilung für Radiatoren (inkl. Radiatoren)	30 €/m ² BGF	0	0
Wärmeverteilung und 1 Radiator pro Whg	10 €/m ² BGF	0	0
kontrollierte Wohnraumlüftung			
Luftleitungen für zentrale kontrollierte Wohnraumlüftung	40 €/m ² BGF	0	0
Luftleitungen für zentrale kontrollierte Wohnraumlüftung mit Zuluftbeheizung (Heizregister in jeder Whg)	45 €/m ² BGF	0	0
Lüftungszentrale mit Wärmerückgewinnung (selbes Gerät auch bei zuluftbeheizt)	15 €/m ² BGF	0,9 €/m ² a	0,2 €/m ² a
Heizung (Preise gültig im Leistungsbereich zwischen 40 und 80 kW)			
Fernwärme: Übergabestation und Anbindung	100 €/kW	150 €/a	150 €/a
Luftdichtheit			
n ₅₀ = 1 1/h	3 €/m ² BGF	0	0
n ₅₀ = 0,6 1/h	5 €/m ² BGF	0	0
n ₅₀ = 0,2 1/h	6 €/m ² BGF	0	0

4.6.4.2 Nutzungsdauer

Als Nutzungsdauer für die Wärmedämmung werden 50 Jahre und für die Fenster 35 Jahre angesetzt, d.h. sie müssen innerhalb des Betrachtungszeitraumes der Untersuchung von 30 Jahren nicht ersetzt werden. Als Fenstertyp wurden Holz-Alu-Fenster ausgewählt².

Luftleitungen und Heizungsverteilung weisen eine Nutzungsdauer von 35 Jahren auf und müssen daher während des Betrachtungszeitraums nicht erneuert werden.

² Diese Festlegung stützt sich auf die Tatsache, dass in der Wohnbauförderung der Stadt Wien Kunststofffenster von der Förderung ausgeschlossen sind und daher im geförderten Wohnbau überwiegend Holz-Alu-Fenster zum Einsatz kommen, siehe <https://www.wien.gv.at/wohnen/wohnbaufoerderung/foerderungen/>

Die Heizungszentrale und die Lüftungszentrale müssen jedoch nach 20 Jahren erneuert werden. Tabelle 13 zeigt eine Auflistung der Nutzungsdauern ausgewählter Materialien. Bei den betreffenden Szenarien gehen Reinvestitionskosten in der Höhe der Anschaffungskosten in die Berechnung mit ein.

Tabelle 13: Nutzungsdauer ausgewählter Materialien

Gebäudeelement	Nutzungsdauer
Wärmedämmung	50 Jahre
Fenster	35 Jahre
Maßnahmen zur Luftdichtheit	50 Jahre
Wärmeverteilung und -abgabe	35 Jahre
Zentrale Heizungsanlage	20 Jahre
Luftleitungen und Luftdurchlässe	35 Jahre
Zentrale Lüftungsanlage	20 Jahre

4.6.4.3 Energiepreise und sonstige Preissteigerungen

Die angesetzten Energiepreise verstehen sich als Bruttopreise, d.h. als jene Preise, die vom Konsumenten zu tragen sind.

Für das Startjahr werden die folgenden Durchschnittspreise angesetzt:

- Fernwärme: 0,11 €/kWh. Vereinfachend wird ein Mischpreis zwischen Arbeit und Anschlussleistung angesetzt. Die Messpreise wurden nicht berücksichtigt, da sie nicht von der energietechnischen Qualität des Gebäudes abhängen.
- Strom: 0,19 €/kWh. Es handelt sich ebenfalls um einen Mischpreis.

Was die Energiepreisentwicklung betrifft, so wird für beide Energieträger eine reale Energiepreissteigerung von 2,8% pro Jahr (entspricht nominal 4,8%) angenommen. Diese Preisprognose entspricht der Empfehlung laut EU-Regulierung, die sich auf die letztverfügbare Version aus dem Jahr 2009 der regelmäßig erscheinenden Publikation „EU Energy Trends to 2030“ beruft.

Darüber hinaus wird angenommen, dass es bei den Baukosten sowie bei den Kosten für Wartung und Instandhaltung zu keinen realen Preissteigerungen kommt (2% nominale Preissteigerung).

Im Rahmen der Sensitivitätsanalyse wird der Einfluss einer Energiepreissteigerung von 4% real (nominal 6%) auf das Berechnungsergebnis untersucht.

4.6.4.4 Betrachtungszeitraum

Der Betrachtungszeitraum ist gleich wie in Art. 5 der Neufassung der EU-Gebäuderichtlinie gewählt. Für Wohngebäude beträgt er 30 Jahre. Generell ist anzumerken, dass aufgrund der

ebenfalls in der EU-Regulierung vorgeschriebenen Berücksichtigung der Restwerte der verschiedenen Gebäudeelemente zum Ende des Betrachtungszeitraumes, die Auswirkung der Wahl des Betrachtungszeitraumes auf das Endergebnis limitiert ist.

4.6.4.5 Diskontsatz

In der gegenständlichen Analyse wurde der Diskontsatz mit real 2% (nominal 4%) festgelegt. Im Rahmen der Sensitivitätsanalyse wird der Einfluss eines höheren Diskontsatzes von 3% real (nominal 5%) auf das Berechnungsergebnis untersucht.

4.6.5 Berechnungsergebnisse

Ausgehend von den dargestellten Annahmen und gewählten Methoden wurden die Lebenszykluskosten der thermisch relevanten Gebäudeelemente für die zu untersuchenden Varianten ermittelt. Die Lebenszykluskosten umfassen dabei die Errichtungskosten, die Wartungskosten, die laufenden Instandhaltungskosten, die Erneuerungskosten für jene Gebäudeelemente, die innerhalb des Betrachtungszeitraumes ersetzt werden müssen, sowie die Energiekosten.

In den folgenden Grafiken ist jeweils die Kostendifferenz zu der derzeit gültigen Bauordnung (V3) dargestellt. Rot sind jeweils die Varianten ohne Lüftungsanlage, grün jeweils die Varianten mit Lüftungsanlage dargestellt.

4.6.5.1 Kostenoptimalität basierend auf Energieausweisdaten

Abbildung 31 zeigt die Ergebnisse der Lebenszykluskosten-Analyse der Varianten 1 bis 13 unter den dargestellten Annahmen. Der Endenergiebedarf und somit die Energiekosten wurden nach dem Energieausweisverfahren berechnet.

Die rote Linie stellt ausgehend von der OIB RL 2007 die schrittweise Optimierung der thermischen Gebäudehülle (ohne Lüftungsanlage) bis hin zur HWB Linie 8 dar. Unter den derzeitigen Kostenannahmen liegen die Lebenszykluskosten der aktuell gültigen Bauordnung deutlich niedriger als die der vergangenen Bauordnungen von 2007 und 2010.

Bei den Varianten 1 bis 7, stellt die HWB-Linie 10 das Kostenoptimum dar. Im fernwärmeversorgten Referenzgebäude ist auch die HWB-Linie 8 nur knapp vom Kostenoptimum entfernt. Bei anderen Energieträgern kann aufgrund abweichender Energietarife ein differenziertes Bild entstehen.

Als generelles Bild ist festzuhalten, dass die Kostenkurven sehr flach verlaufen, d.h. die Kostenunterschiede zwischen den einzelnen Varianten sind über den Betrachtungszeitraum von 30 Jahren sehr gering. Eine maximale Kostendifferenz von 40 €/m² über den Betrachtungszeitraum von 30 Jahren macht statisch betrachtet einen Unterschied von rund 0,11 €/m² und Monat aus.

Die Varianten ohne Lüftungsanlagen (V1 – V7) – bei denen eine bestimmte HWB-Linie ausschließlich über die Verbesserung der Gebäudehülle erreicht wird – sind generell kostengünstiger als die Varianten mit Lüftungsanlage (V8 – V13). Die Lebenszykluskosten erhöhen sich um die Investitions- und Betriebskosten der kontrollierten Wohnraumlüftung. Teilweise werden die Mehrkosten durch die geringere erforderliche thermische Qualität der Gebäudehülle aufgrund der Wärmerückgewinnung der Lüftungsanlage kompensiert.

Durch die Lüftungsanlage verbleiben insgesamt Mehrkosten über den Lebenszyklus im Bereich von 30 bis 60 €/m²_{BGF}. Dies stellt jedoch rein eine wirtschaftliche Betrachtung der Anlage dar. Der wesentliche Zusatznutzen von Lüftungsanlagen durch die Vermeidung von Feuchteschäden, erhöhten Raumlufthofort und erhöhter NutzerInnenzufriedenheit wird in dieser Betrachtung nicht quantifiziert.

Was die Varianten mit Lüftungsanlage betrifft, so sind natürlich jene Konzepte, bei denen auf ein zusätzliches statisches Heizungssystem verzichtet wird, am günstigsten, da in diesen Varianten die Kosten für die Heizungsverteilung und Wärmeabgabe reduziert werden können. Dies gilt auch dann, wenn man berücksichtigt, dass Konzepte mit Luftheizung nur bei äußerst guter Hüllenqualität umsetzbar sind (siehe V12).

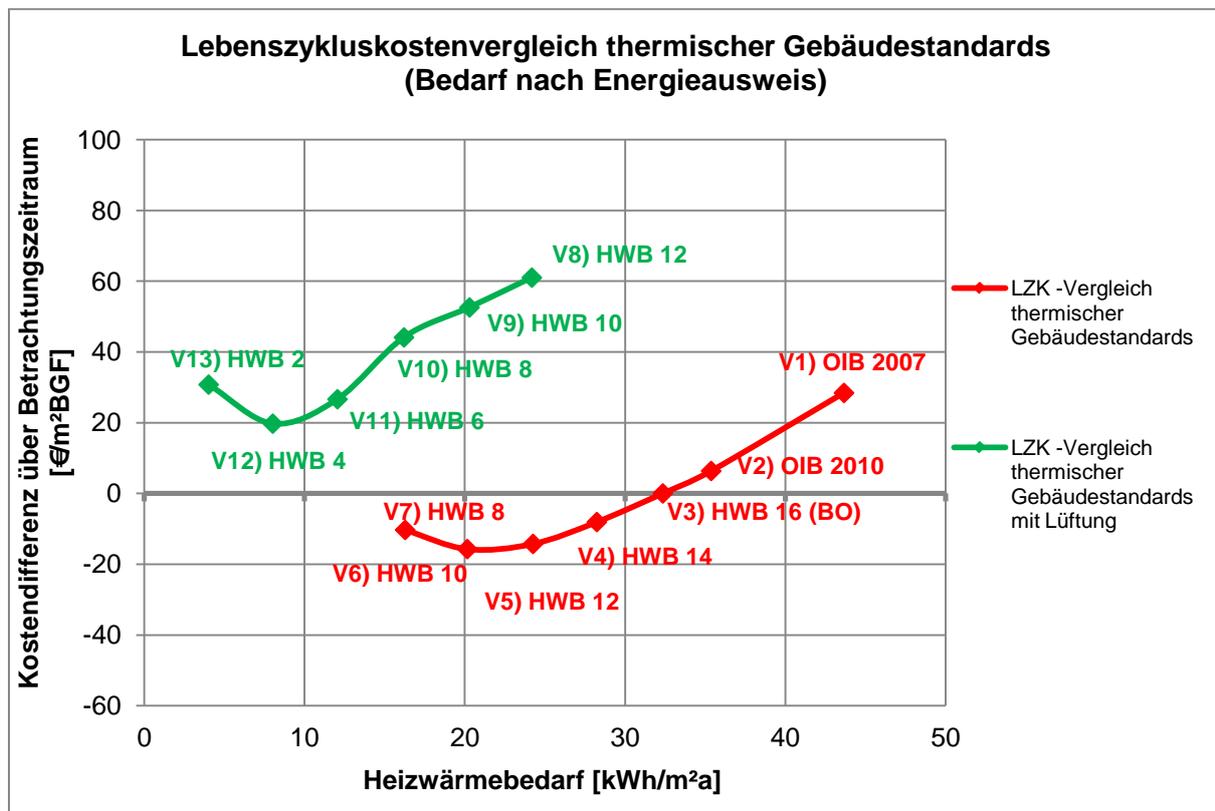


Abbildung 31: Lebenszykluskosten-Vergleich unterschiedlicher Gebäudestandards, Energiebedarf nach Energieausweis

4.6.5.2 Kostenoptimalität basierend auf gemessenen Verbrauchswerten

Im Zuge dieses Projekts wurden Verbrauchsdaten über mehrere Betriebsjahre von repräsentativen Objekten mit HWB kleiner 50 kWh/m².a erhoben. Ausgehend von den Erhebungen konnte festgestellt werden, dass bei sehr energieeffizienten Gebäudekonzepten der Verbrauch im Durchschnitt geringfügig höher liegt als im Energieausweis kalkuliert. Bei Gebäuden mit einem HWB im Bereich zwischen 30 und 50 kWh/m²a liegt der reale Verbrauch in der Regel geringfügig unter dem berechneten Endenergiebedarf für Raumwärme.

Das lineare Trendmodell auf Basis der in diesem Projekt erhobenen Verbrauchsdaten

$$y = 0,6767 * x + 25,512$$

beschreibt die Abhängigkeit des gemessenen Energieverbrauchs für Raumwärme, und somit der Energiekosten, vom kalkulierten Heizwärmebedarf (siehe Abbildung 13).

Abbildung 32 zeigt den Lebenszykluskosten-Vergleich der Varianten bei Anwendung der vom Trendmodell abgeleiteten Verbräuche. Dabei verläuft die Kostenkurve noch flacher als in Abbildung 31. Die max. Kostendifferenz über 30 Jahre Betrachtungszeitraum zwischen den Varianten ohne Lüftungsanlage beläuft sich auf rund 30€/m²_{BGFA}. Das Kostenoptimum verschiebt sich zur HWB-Linie 12 (V5), faktisch ergibt sich jedoch kein Kostenunterschied zwischen den HWB-Linien 14 bis 12 (Varianten 4 bis 6).

Bei den Varianten mit Lüftungsanlage und dem zugrunde gelegten Trendmodell stellt die HWB-Linie 8 (V10) die Variante mit den höchsten Lebenszykluskosten dar. Dies resultiert aus den erhöhten Investitionskosten für die thermische Qualität der Gebäudehülle, dem Mehraufwand für eine Lüftungsanlage und der geringeren Einsparung von Energiekosten gegenüber der Energieausweisberechnung. Zuluftbeheizte Gebäude, bei denen auf ein statisches Heizungssystem teilweise oder zur Gänze verzichtet werden kann (V11-V13), weisen demgegenüber reduzierte Lebenszykluskosten aufgrund der geringeren Investitionskosten auf.

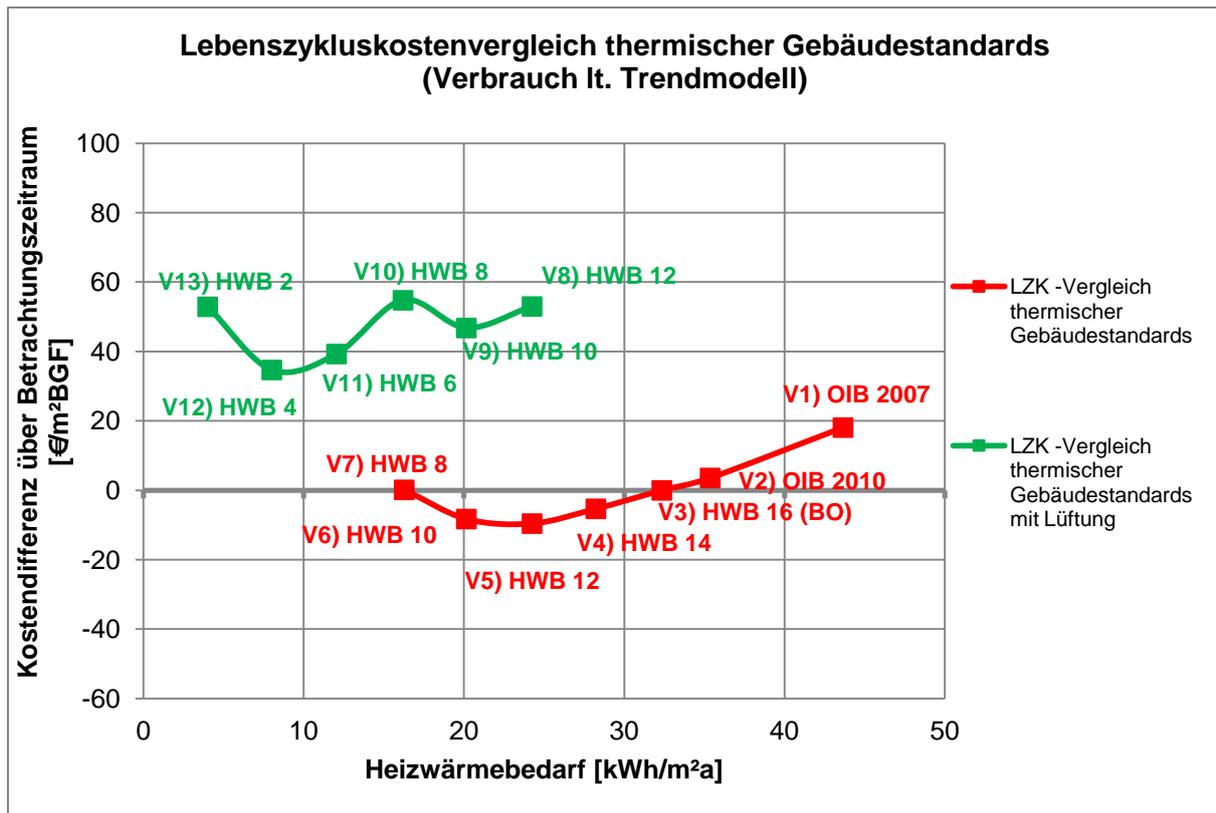


Abbildung 32: LZK- Vergleich unterschiedlicher Gebäudestandards, Energieverbrauch basierend auf Inno-Cost-Erhebung

4.6.5.3 Abluftanlage und Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung

Dieses Szenario stützt sich auf der Annahme, dass für eine kontinuierliche Abfuhr der Feuchtelasten aus der Raumluft und zur Gewährleistung einer dauerhaften Bauteilsicherheit (Vermeidung von Schimmel- und Feuchteschäden) zumindest dezentrale Abluftventilatoren mit Zuluftelementen in den Fensterstöcken in jeder Wohneinheit ausgeführt werden müssen. Diese „Sowieso“ Investitionskosten werden mit 20 €/m²_{BGF} angenommen. Bei den folgenden Berechnungen sind diese von den Investitionskosten der zentralen kontrollierten Wohnraumlüftung abgezogen (Abbildung 33).

Die Varianten 1 bis 7 sind mit den unter Kapitel 4.6.5.1 dargestellten Berechnungen ident.

Bei Variante 8 bis 13 wurden – wie oben beschrieben – die Investitionskosten für eine Abluftanlage abgezogen. Der Kurvenverlauf entspricht dem in Abbildung 31 dargestellten Ergebnis. Unter den getroffenen Kostenannahmen weisen die energietechnisch relevanten Lebenszykluskosten der Variante 12 keine Differenz zu der derzeit gültigen Bauordnung (V3) auf.

Eine detaillierte Untersuchung zum Lüftungsanlagen in der Praxis findet sich im Bericht zum Haus der Zukunft Projekt Zukunftstaugliche Komfort-Lüftungssysteme in großvolumigen Wohngebäuden im Spannungsfeld von Hygiene und Kosten (Unterberger et al. (2013)).

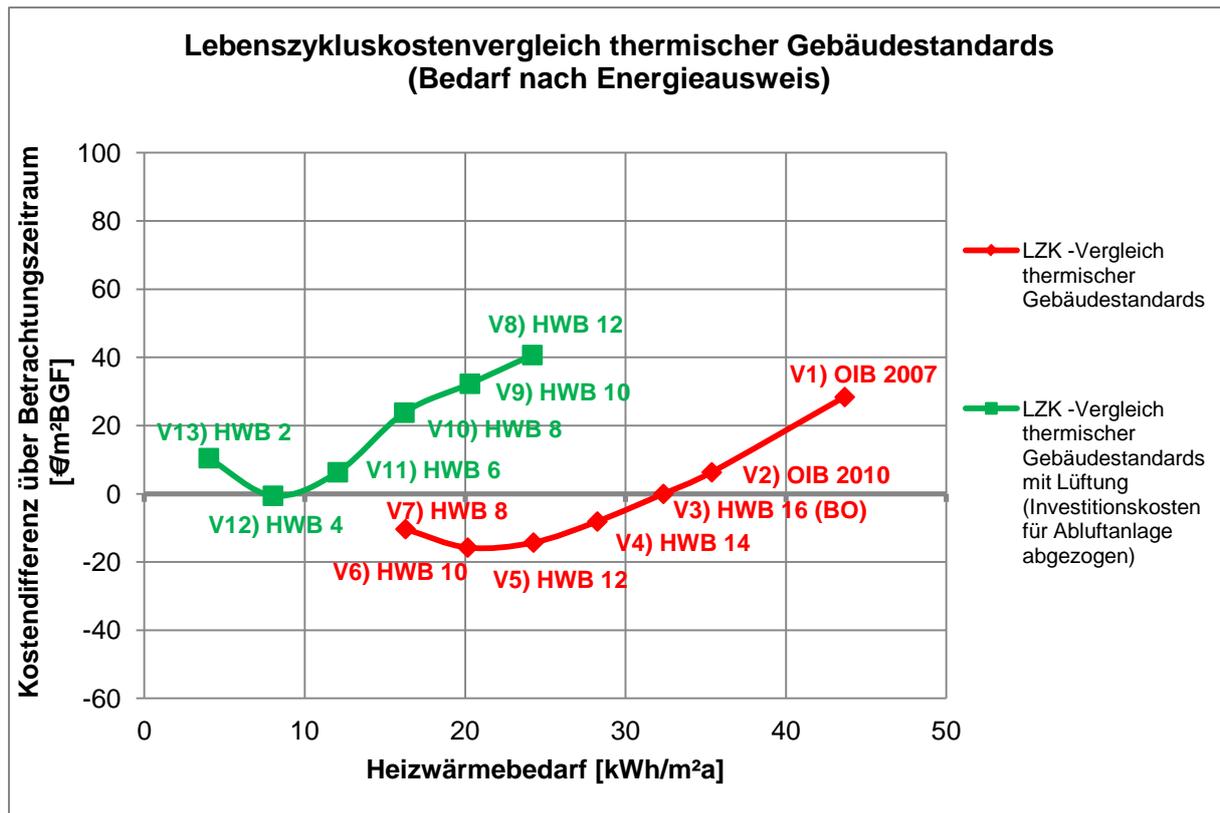


Abbildung 33: LZK- Vergleich unterschiedlicher Gebäudestandards, Investitionskosten um "Sowieso" Kosten der Abluftanlage reduziert

4.6.6 Sensitivitätsanalyse

Die Sensitivitätsanalyse wurde ausgehend von dem in Abbildung 31 dargestellten Basisszenario (Energiebedarf berechnet nach Energieausweis) durchgeführt. Für die Analyse wurden folgende Parameter variiert:

- Sensitivität höhere Energiepreissteigerung: Als Energiepreissteigerung wird 4% p.a. real (6% nominal) angesetzt (anstelle von 2,8% real bzw. 4,8% nominal im Basisszenario);
- Sensitivität höherer Diskontsatz: Als Diskontsatz wird 3% real bzw. nominal 5% (anstelle von 2% real bzw. 4% nominal im Basisszenario) angesetzt.

Die Auswirkungen auf das Gesamtergebnis sind – insbesondere im Hinblick auf deutlichere Verschiebungen des Kostenoptimums – gering (Abbildung 34). Bei dem fernwärmeversorgten Referenzgebäude ergibt sich nur bei der Variante mit höherem Diskontsatz eine geringfügige Verschiebung des Kostenoptimums.

Abhängig von den gewählten Parametern kann die Kostenkurve beliebig verschoben werden. Am Gesamtergebnis ändert sich jedoch nur wenig:

- bei höherem Diskontsatz (Investorensicht) verschiebt sich die Kurve zum Nachteil von energieeffizienten Varianten;
- bei einer höheren Energiepreissteigerung werden die erhöhten Investitionskosten der energieeffizienten Varianten zum Teil kompensiert und die Kurve verschiebt sich in Richtung Varianten mit geringerem HWB.

CO₂ Vermeidungskosten (aus volkswirtschaftlicher Sicht) wurden in dieser Berechnung nicht berücksichtigt. Die Berücksichtigung dieser Ausgaben hat jedoch nur wenig Auswirkung auf das Ergebnis. Das Kostenoptimum verschiebt sich dadurch nicht. Dies und weitere Sensitivitätsanalysen wurden in einer Studie des BPIE (Atanasiu et al., 2013) mit Beteiligung von e7 untersucht.

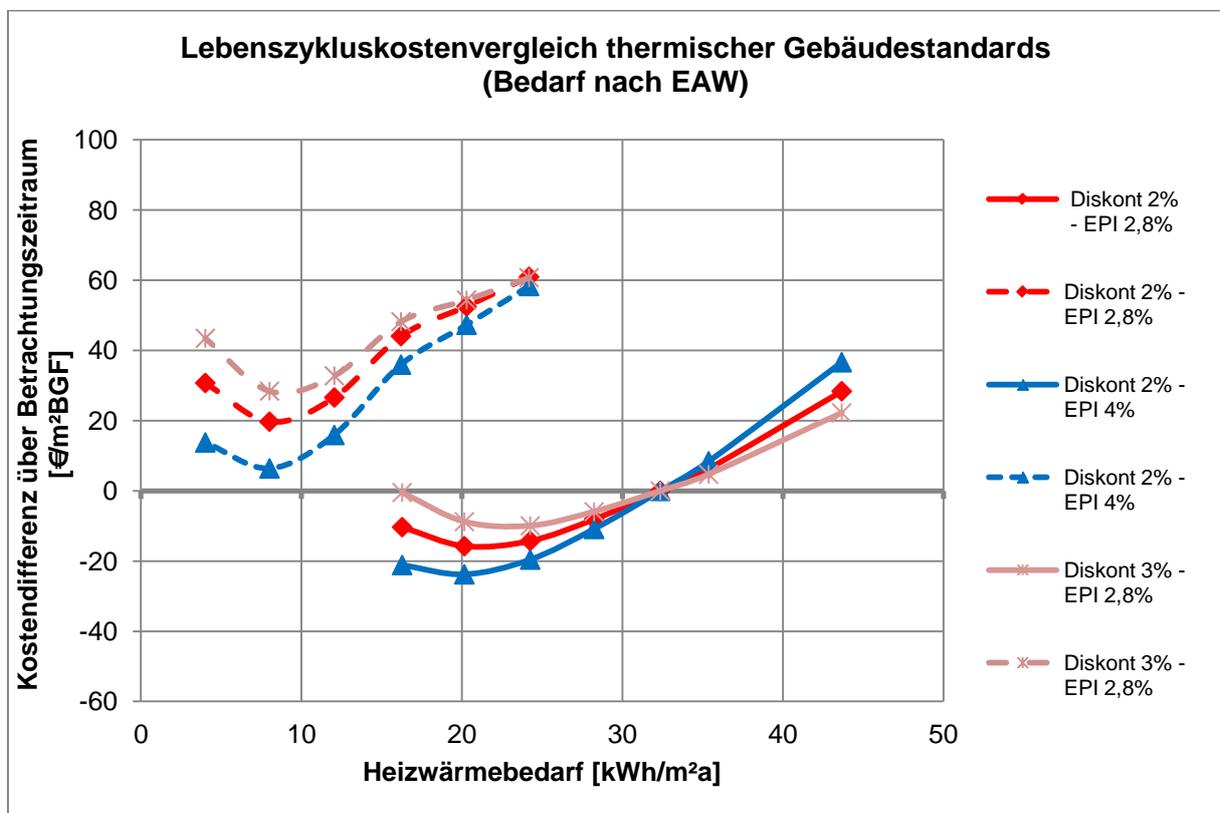


Abbildung 34: LZK-Vergleich unterschiedlicher Gebäudestandards; Sensitivitätsanalyse

4.6.7 Schlussfolgerungen

Abbildung 35 zeigt die Berechnungsergebnisse der Szenarien von Kapitel 4.6.5.1 bis 4.6.5.3 (Berechnung auf Basis Energieausweis, Berechnung auf Basis gemessener Werte, Kosten für Abluftanlage als abgezogen) in einer Grafik zusammengefasst.

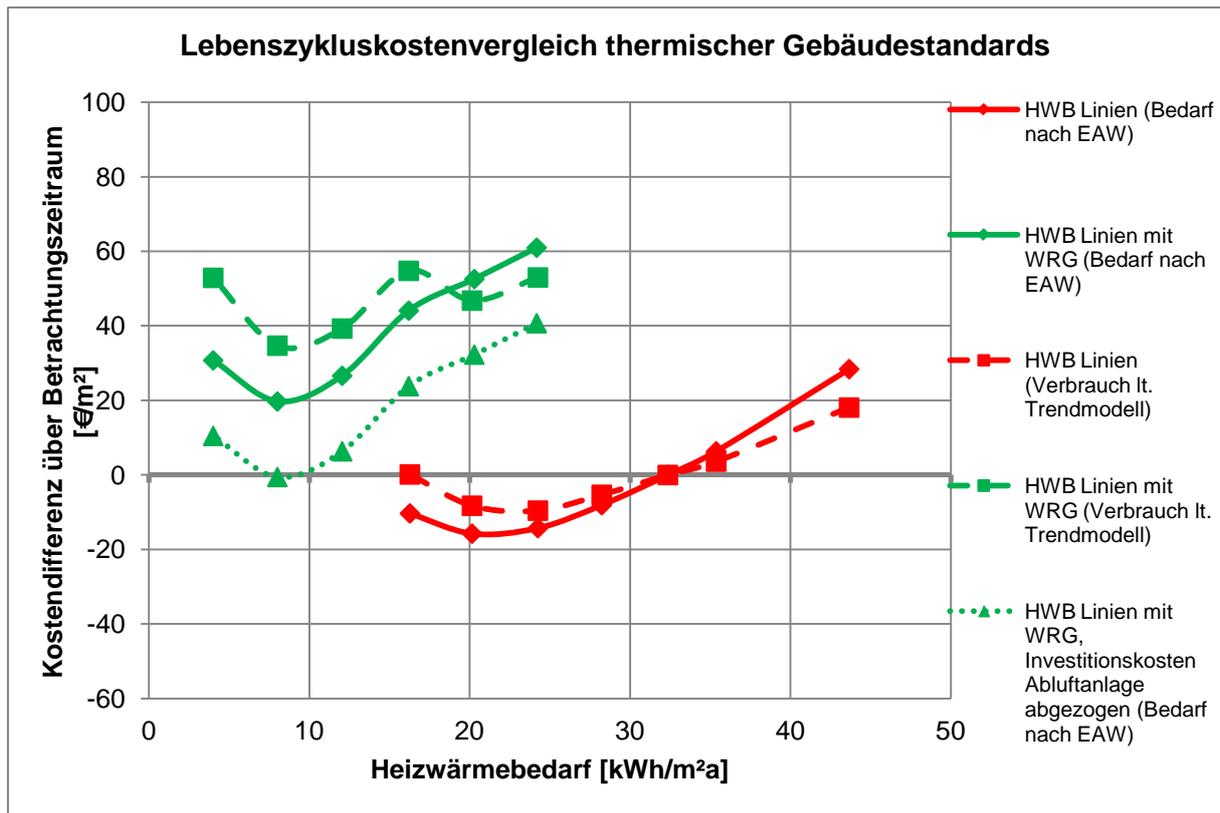


Abbildung 35: LZK-Vergleich unterschiedlicher Gebäudestandards bei unterschiedlicher Datenbasis (Energieausweis vs. gemessene Verbrauchswerte), Zusammenfassung

- Generell ergeben sich sehr geringe Kostendifferenzen zwischen den einzelnen thermischen Gebäudestandards und Varianten. Die maximalen Unterschiede zur derzeit gültigen Bauordnung betragen rund 40 €/m² über 30 Jahre. Das sind rund 0,11 €/m² im Monat.
- Die Standards früherer Bauordnungen (2007, 2010) wären aus derzeitiger Sicht nicht kostenoptimal. Die derzeitige Bauordnung (HWB-Linie 16) liegt bereits im kostenoptimalen Bereich, kann jedoch verschärft werden. Die Varianten für HWB-Linien 14 bis 10 (ohne Lüftungsanlage) haben praktisch idente Kosten und sind über den Lebenszyklus günstiger als die aktuelle Bauordnung.
- Werden für die Kostenoptimalitätsberechnung gemessene Verbräuche aus der Praxis zugrunde gelegt, liegen die Lebenszykluskosten etwas höher gegenüber der Berechnung mit Endenergiebedarfswerten lt. Energieausweis, dennoch stellt die derzeitige Bauordnung nicht das Kostenoptimum dar und kann moderat verschärft werden.
- Lüftungsanlagen verursachen eine Kostenerhöhung aufgrund der zusätzlichen Investitionskosten. Diese garantieren jedoch auch eine kontinuierliche Abfuhr der Raumluftfeuchte und verringern somit das Schimmelrisiko in Innenräumen. Die Kosten für eine Schimmelbeseitigung wurden in den Berechnungen nicht berücksichtigt.

- Wird jedoch davon ausgegangen dass eine Abluftanlage zur Gewährleistung der Bauteilsicherheit „sowieso“ eine notwendige Investition darstellt, so verursacht ein erhöhter Baustandard mit Lüftungsanlage über den Lebenszyklus keine Mehrkosten gegenüber der derzeitigen Bauordnung.

5 Diskussion der Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Zusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse

Im Rahmen dieses Projekts wurden die gemessenen Energieverbräuche von energieeffizienten großvolumigen Wohngebäuden, die schon mehrere Jahre in Betrieb sind, analysiert und gegenübergestellt. Insgesamt konnten Energieverbrauchsdaten von 91 Objekten mit einem Heizwärmebedarf kleiner gleich $50 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ für den Zeitraum 2006 bis 2010 erhoben und 321 Objekt-Heizjahre der Untersuchung zugrunde gelegt werden.

Bei den Auswertungen wurde der HWB für den Referenzstandort lt. Energieausweis als Indikator zur Clusterung der untersuchten Gebäude nach deren energietechnischer Qualität herangezogen, da die Korrelation zwischen tatsächlichem Verbrauch und dem HWB höher ist als gegenüber dem Heizenergiebedarf und nicht für alle Objekte der Heizenergiebedarf zur Verfügung stand (der Heizenergiebedarf bzw. Endenergiebedarf wurde erst mit der Einführung der OIB RL6 ab dem Jahr 2007 ausgewiesen).

Die Analyse zeigt als generelles Bild einen deutlichen Zusammenhang der gemessenen Energieverbräuche mit den jeweiligen HWB-Klassen, d.h. innovative Niedrigstenergie- und Passivhäuser haben auch in der Praxis einen geringeren Energieverbrauch gegenüber Gebäuden in Niedrigenergiestandard. Die Trendlinie zwischen HWB 50 und HWB 10 (geplant) ergibt eine Verringerung des durchschnittlichen gemessenen Heizenergieverbrauchs um den Faktor 2 (von rund 60 auf rund $30 \text{ kWh/m}^2\text{a}$).

Bemerkenswert ist die Streuung der Verbrauchswerte innerhalb der einzelnen HWB-Klassen (von HWB 50 bis HWB 10). Eine reine Betrachtung der Durchschnittswerte würde übersehen, dass es sowohl bei den Niedrigenergiegebäuden als auch bei den Objekten in Niedrigstenergie- und Passivhausstandard eine erhebliche Bandbreite der gemessenen Energieverbräuche gibt. Zwischen dem jeweils niedrigsten und höchsten Wert innerhalb einer Klasse liegt etwa der Faktor 3, bei der Gruppe HWB 41-50 sogar noch deutlich darüber.

Eine differenzierte Betrachtung von Neubauobjekten und Sanierungsobjekten zeigt ähnliche Ergebnisse. Bei beiden Gruppen ist ein deutlicher Zusammenhang von berechnetem HWB und gemessenen Verbräuchen erkennbar, ebenso eine erhebliche Streuung der Verbrauchswerte innerhalb der HWB-Klassen.

Werden die HWB-Werte nicht nur zur Klassifizierung der Objekte herangezogen, sondern mangels verlässlicher Endenergiewerte auch für die Gegenüberstellung mit den gemessenen Verbräuchen, so zeigt sich, dass bei den HWB-Klassen unter $20 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ die „Abweichung“ der gemessenen Verbräuche vom HWB deutlich größer (rund Faktor 3) ist als bei den HWB-Klassen von 20 bis $50 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ (rund Faktor 1,5). Mehrere Gründe sind dafür ausschlaggebend: zum einen ist eine realitätsnahe Berechnung von Gebäuden im Niedrigstenergie- und Passivhausstandard mit der Standardberechnung nach OIB nur mehr bedingt möglich, weil wesentliche Parameter nur sehr pauschal berücksichtigt werden. Eine Reihe von detaillierten Evaluierungsstudien für einzelne Objekte (z.B. Lodenareal) hat

außerdem gezeigt, dass die durchschnittlichen, gemessenen Raumtemperaturen in sehr energieeffizienten Wohngebäuden höher sind (z.T. deutlich über 23°C) als im übrigen Wohnungsbestand. Weitere Gründe sind häufige Fensterlüftung trotz kontrollierter Wohnraumlüftung und Wärmeerzeugungs- und Verteilungsanlagen, die die Zielvorgaben aus der Planung im laufenden Betrieb nicht einhalten.

Bei Objekten mit thermischen Solaranlagen (33 von 91 Objekten) ist ein durchschnittlich geringerer Energieverbrauch für Heizung und Warmwasser bei den Objekten mit HWB kleiner 20 kWh/m²a erkennbar, bei Gebäuden in den höheren HWB-Klassen im Durchschnitt nicht.

Bei der Analyse der Energiekosten war zunächst auffällig, dass die erhobenen Energietarife für die einzelnen Objekte einer großen Bandbreite unterliegen (bis zu Faktor 3). Daraus ergibt sich, dass energieeffiziente Gebäude nicht zwangsläufig geringe Energiekosten haben müssen, da auch die jeweiligen Energietarife einen erheblichen Faktor darstellen. Für die weitere Untersuchung wurden daher alle Berechnungen mit einheitlichen Energietarifen für Wärme und Strom durchgeführt.

Einen weiteren wesentlichen Kostenfaktor stellt die Wartung von haustechnischen Anlagen, insbesondere Lüftungsanlagen dar. Aus der Erhebung zeigte sich ein Mittelwert von 1,11 €/m²_{NF} und Jahr, was gegenüber den von Schöberl und Hofer (2012) für eine geringere Anzahl von Objekten ermittelten Kosten mit optimierten Wartungsverträgen (0,42 €/m²_{NF}.a) einen hohen Wert darstellt und auf ein erhebliches Potenzial für Kostenreduktionen hindeutet.

Daraus ergibt sich in der Betrachtung der Gesamtkosten, dass die niedrigeren Energiekosten bei energieeffizienten Gebäuden im Niedrigstenergie- und Passivhausstandard tendenziell durch höhere Wartungskosten sowie die Stromkosten für den Betrieb der Lüftungsanlagen kompensiert werden.

Hinsichtlich der Gesamtbaukosten konnten Daten von 42 Objekten in die Untersuchung aufgenommen werden. Nach Bereinigung um wesentliche Einflussgrößen, wie z.B. Garagen, durchschnittliche Wohnungsgrößen, Standort und Baujahr, konnten Mehrkosten von 110 €/m²_{NF} für hoch energieeffiziente Gebäude gegenüber einem Wohnhaus mit HWB 45 identifiziert werden. Das entspricht Mehrkosten im Ausmaß von 6,6 % was sich mit den Werten aus anderen Studien (u.a. Schuster et al. (2009); Bauer (2013); Ploss et al. (2013)) sehr gut deckt.

Für die Gesamtkostenbetrachtung (bereinigte Gesamtbaukosten, Wartung, Hilfsstrom, Heizenergiekosten exkl. Warmwasser) wurden zwei unterschiedliche Wege verfolgt, die im Hinblick auf die Ableitung eines „kostenoptimalen“ Baustandards zu leicht unterschiedlichen Ergebnissen führen. Als Extremwert einer polynomischen Funktion liegt das Optimum bei rund 30 kWh/m².a, bei der Auswertung nach HWB-Klassen zwischen 30 und 40 kWh/m².a.

Im Rahmen dieser Studie wurde darüber hinaus erstmals ein dritter methodischer Zugang verfolgt. Dabei erfolgt die Kostenoptimalitätsberechnung zwar nach den methodischen

Standards der Delegierten Verordnung (EU) 244/2012 jedoch nicht mit theoretischen Energiebedarfswerten sondern mit den aus der Praxis im Rahmen dieser Studie ermittelten durchschnittlichen Energieverbräuchen für großvolumige Wohngebäude im Betrieb. Die wesentlichen Ergebnisse können wie folgt zusammengefasst werden:

- Wie auch andere Kostenoptimalitätsberechnungen schon gezeigt haben, ergeben sich über einen Betrachtungszeitraum von 30 Jahren sehr geringe Kostendifferenzen für unterschiedliche energietechnische Standards. Statisch betrachtet unterscheiden sich die Varianten um einstellige Cent-Beträge pro m² und Monat.
- Ausgehend von der derzeitigen Bauordnung (HWB Linie 16) liegen zwar die Anforderungen derzeit schon im kostenoptimalen Bereich, eine Anpassung der Anforderungen in Richtung des Kostenoptimums im Bereich der HWB Linien 14 bis 10 (jedoch ohne Lüftungsanlage) wäre möglich und anzustreben.
- Bei der Anwendung von realen Verbrauchsdaten, erhoben im Rahmen dieses Projektes, sind die Lebenszykluskosten gegenüber der Berechnung mit den theoretischen Bedarfswerten aus dem Energieausweis zwar etwas höher, dennoch stellt die aktuelle Bauordnung nicht das Kostenoptimum dar und auch eine Rückkehr zu früheren Bauordnungsstandards würde zu insgesamt höheren Kosten führen. In der Berechnung zeigt sich lediglich eine leichte Verschiebung des Kostenoptimums von der HWB Linie 10 zur HWB Linie 12, hier etwa liegen schon jetzt die aktuellen Anforderungen der Wohnbauförderung.

Mit dem Einbau von Lüftungsanlagen entsteht ein Kostensprung, da die höheren Investitionskosten sowie der Aufwand für Wartung und Betrieb nicht durch die Wärmerückgewinnung kompensiert werden können. Allerdings kann der raumlufthygienisch erforderliche Luftwechsel sowie die bauphysikalisch erforderliche Abfuhr der Raumluftfeuchte zur Vermeidung von Schimmelbildung bei normgerecht luftdichter Bauweise nur durch eine Lüftungsanlage sicher gestellt werden. Allfällige Kosten für die Beseitigung von Schimmel müssten in einer Gesamtkostengegenüberstellung berücksichtigt werden. Wird davon ausgegangen, dass eine Abluftanlage zur Gewährung der Bauteilsicherheit ohnehin erforderlich ist, dann verursacht eine Komfortlüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung über den Lebenszyklus gesehen keine Mehrkosten.

Diskussion der Ergebnisse

Eine Gegenüberstellung der Befunde aus dieser Untersuchung mit Evaluierungsstudien für einzelne innovative Pilot- und Demonstrationsprojekte, die im Niedrigstenergie- oder Passivhausstandard umgesetzt wurden (einige davon auch im Rahmen des Programms Haus der Zukunft) ergibt scheinbar widersprüchliche Aussagen. Vorliegende Evaluierungsstudien einzelner Niedrigstenergie- und Passivhäuser (siehe Kapitel 3.1) erweisen nicht nur die technische Machbarkeit und Praxistauglichkeit dieser Baustandards sondern zeigen in der Gegenüberstellung von Planwerten und tatsächlichen

Energieverbräuchen eine weitgehende Übereinstimmung in Planung und realem Gebäudebetrieb. Dagegen könnte aus den erhobenen Daten dieses Projekts der Schluss gezogen werden, dass die angestrebten Verbrauchswerte in der Praxis im Durchschnitt nicht erreicht werden. Dazu sind mehrere Punkte anzumerken:

- Pilot- und Demonstrationsprojekte unterliegen üblicherweise einer höheren Qualitätssicherung, beginnend von der Planung bis hin zum Betrieb. So werden z.B. aufgrund eines detaillierten Monitorings – etwa im Rahmen des Programms Haus der Zukunft – auch Optimierungen im Gebäudebetrieb vorgenommen werden. Die Gegenüberstellung der Befunde dieser Studie mit Evaluierungsstudien von Pilot- und Demonstrationsprojekten bildet damit auch teilweise die Differenz ab zwischen den optimierten Bedingungen, unter denen Pilot- und Demonstrationsprojekte umgesetzt werden und einer „daily practice“, die etwa ein laufendes Energieverbrauchsmonitoring und laufende Betriebsoptimierung nicht umfasst.
- Bei einer detaillierten Evaluierung der Energieverbräuche werden die tatsächlich vorherrschenden Raumtemperaturen auf den Planungswert von 20°C bereinigt, da dies auch die Auslegungstemperatur in den Berechnungsprogrammen ist. Dieses Verfahren ist im Rahmen einer detaillierten Gegenüberstellung von Planung und Realität natürlich angemessen und zulässig, für die wirtschaftliche Gesamtbetrachtung im Rahmen dieser Studie wurden jedoch die realen Verbräuche bei durchschnittlichen Raumtemperaturen von 22 bis 23°C und z.T. darüber und den darauf basierenden Energiekosten herangezogen.

In diese Untersuchung sind die Verbrauchsdaten von Niedrigstenergie- und Passivhäusern der „ersten Generation“ eingeflossen. Zahlreiche Gespräche mit VertreterInnen von Wohnungsunternehmen haben jedoch gezeigt, dass über die letzten Jahre wesentliche Lernerfahrungen über den gesamten Planungs-, Ausführungs- und Inbetriebnahmeprozess gesammelt wurden, die mittlerweile zu optimierten und kostengünstigeren Lösungen – insbesondere bei Lüftungsanlagen – geführt haben. Es gilt daher, dieses Know-how – auch über die Unternehmensgrenzen hinweg – stärker zu verbreiten und für zukünftige Projekte nutzbar zu machen.

In Zusammenhang mit Lüftungsanlagen wurden in dieser Studie die Kostenpositionen Errichtung, Wartung und Betriebsstrom betrachtet. Aufgrund von neuesten Forschungsergebnissen im Rahmen des Programms Haus der Zukunft (Unterberger et al., 2014)³ ist jedoch davon auszugehen, dass zukünftig auch ein zusätzlicher Kostenfaktor für die periodisch erforderliche Reinigung von Lüftungsanlagen (alle 10 Jahre zumindest auf der Abluftseite) erforderlich ist. Die Kosten für periodische Reinigung wären je nach örtlichen Gegebenheiten mit einer Höhe von 0,50 bis 1 €/m² und Jahr anzusetzen.

³ Berichte aus Energie- und Umweltforschung 4/2014: Zukunftstaugliche Komfort-Lüftungssysteme in großvolumigen Wohngebäuden im Spannungsfeld von Hygiene und Kosten. Unterberger et al. (2014). http://www.hausderzukunft.at/hdz_pdf/berichte/endbericht_1404_zukunftstaugliche_komfort_lueftungssysteme.pdf

Wie aus der detaillierten Darstellung der Ergebnisse ersichtlich ist, unterliegen sowohl die Energieverbrauchsdaten als auch die Kostendaten einer erheblichen Streuung. Sämtliche Aussagen dieser Studie beziehen sich jeweils auf das größte verfügbare Sample plausibler Datensätze, das sind z.B. 91 Objekte, für die Energieverbrauchsdaten über mehrere Jahre vorliegen. Generelle Aussagen über die (Nicht)Wirtschaftlichkeit von Baustandards auf Basis der Daten einzelner Objekte wären vor diesem Hintergrund zu hinterfragen. Die Datenbasis für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen von Gebäuden in der Praxis sollte kontinuierlich ausgebaut und erweitert werden.

Schlussfolgerungen

Innovative Baustandards sind nicht per se kosteneffizient, sondern nur, wenn im täglichen Betrieb die prognostizierten Verbrauchswerte auch eingehalten werden und der Aufwand für die Wartung von haustechnischen Anlagen – insbesondere Lüftungsanlagen – kostenoptimiert erfolgt. Ob die für ein Objekt berechneten Energiebedarfswerte in der Praxis auch erreicht werden, hängt nicht nur von der Verlässlichkeit der Berechnung an sich ab, sondern erheblich von der Qualitätssicherung im gesamten Planungs-, Errichtungs- und Inbetriebnahmeprozess sowie vom Nutzerverhalten der BewohnerInnen.

Anhand einer Vielzahl von Pilot- und Demonstrationsgebäuden konnte mittlerweile gezeigt werden, dass sich großvolumige Wohngebäude im Niedrigstenergie- und Passivhausstandard in der Praxis bewährt haben und bei entsprechender Qualitätssicherung auch die angestrebten Verbrauchswerte erreicht werden können.

Für die weitere Verbreitung innovativer Gebäudetechnologien und deren Anwendung in Niedrigstenergie- und Passivhausgebäuden wären daher zusätzliche Impulse im Bereich der Qualitätssicherung über den gesamten Planungs-, Ausführungs- und Inbetriebnahmeprozess sowie der Betriebsoptimierung zu setzen. Vor diesem Hintergrund erscheinen moderate Verschärfungen der bestehenden Bauordnung im Hinblick auf die Ziele im Jahr 2020 (nearly zero energy buildings) auch aus wirtschaftlicher Sicht gerechtfertigt.

Als konkrete operative Schritte sollten im Hinblick auf die weitere Verbreitung innovativer Baustandards folgende Ziele verfolgt werden:

- Bestehende Gebäude im Betrieb hinsichtlich Verbrauch und Kosten optimieren
- Verfügbares Qualitätssicherungs-Know-how für neue Projekte nutzbar machen
- Qualitätssicherung bei der Planung, Ausführung und im Betrieb anwenden

Was braucht es konkret dazu?

Die Datenerhebung für dieses Projekt hat gezeigt, dass die Sammlung von plausiblen Verbrauchs- und Kostendaten für eine größere Anzahl von Objekten mit einem enormen

Aufwand verbunden ist, da bis dato nur wenige Wohnungsunternehmen in Österreich über ein kontinuierliches und standardisiertes Energieverbrauchs- und Kostenmonitoring verfügen. Die Erfahrung dieser Unternehmen kann jedoch genutzt werden, um kostengünstige Lösungen für Energieverbrauchs- und Kostenmonitoring zu entwickeln und in die Standardabläufe der Unternehmen zu implementieren. Damit wäre auch eine wichtige Voraussetzung für ein unternehmensinternes Benchmarking sowie Optimierungen im Neubau und bei Bestandsgebäuden gegeben.

Im Hinblick auf die zukünftige Ermittlung kostenoptimaler Baustandards – auch als Grundlage für die Fortschreibung des EU-Gebäuderichtlinie 2010/31/EU erforderlichen Nationalen Plans – wurde im Rahmen dieses Projekts ein Weg für einen Praxis-Check der Kostenoptimalitätsniveaus aufgezeigt. Die geplanten zukünftigen Anforderungsniveaus im Zuge der Road Map bis 2020 (OIB, 2012) haben sich auch aus dieser Sicht als plausibel erwiesen. Darüber hinaus ist laut EU-Gebäuderichtlinie (2010) eine regelmäßige Überprüfung der Kostenoptimalitätsberechnungen vorgesehen, damit der technischen Entwicklung und veränderten Kostenniveaus im jeweiligen Mitgliedstaat Rechnung getragen wird.

Anforderungen an die Wohnungswirtschaft

Die Anwendung innovativer Technologien und Baustandards wurde in den letzten Jahren auch wesentlich von innovationsfreudigen Unternehmen – viele davon aus dem Sektor der gemeinnützigen Wohnungswirtschaft – mitgetragen und vorangetrieben. Dies hat dazu beigetragen, dass österreichische Wohnungsunternehmen – auch im internationalen Kontext – als wesentliche Know-how Träger für innovatives Bauen wahrgenommen werden. Ein wesentlicher Teil dieses Know-hows besteht in der Entwicklung von geeigneten Qualitätssicherungselementen entlang des gesamten Planungs-, Ausführungs- und Inbetriebnahmeprozesses. Erfahrungen einzelner Unternehmen zeigen darüber hinaus, dass der standardisierte Einsatz von Energieverbrauchs- und Kostenmonitoring eine wesentliche Grundlage für die laufende Optimierung der Gebäude und haustechnischen Anlagen im Betrieb darstellt. Laufendes Benchmarking liefert auch wertvolle Orientierung für eine Optimierung von bestehenden Wartungsverträgen und Energietarifen. Dieses vorhandene Know-how sollte in der Branche noch stärker genutzt werden und zum allgemeinen Standard in der Wohnungswirtschaft werden. Vor dem Hintergrund der laufenden Diskussion um leistbares Wohnen können damit auch wertvolle Impulse für eine Reduktion der Wohnkosten gesetzt werden – zumal durch nicht investive Maßnahmen.

Anforderungen an die Politik

Die bestehenden Förderinstrumente – insbesondere die Wohnbauförderungen der Bundesländer – haben beim Übergang von Pilotprojekten zur breiteren Anwendung von innovativen Technologien und Baustandards eine wichtige Rolle eingenommen. Zukünftig sollten diese Förderinstrumente noch wesentlich stärker auf die Qualitätssicherung im gesamten Planungs-, Ausführungs- und Inbetriebnahmeprozess ausgerichtet sein. Ein erster wesentlicher Ansatz besteht in der Einführung eines einfachen und kostengünstigen aber

verpflichtenden Energieverbrauchsmonitorings für großvolumige Objekte im Rahmen der Förderung. Mit einem angemessenen Monitoring zumindest über die ersten beiden Betriebsjahre sowie einer verpflichtenden Betriebsoptimierung im Fall von wesentlichen Abweichungen kann sicher gestellt werden, dass geförderte Objekte nicht nur nach den geforderten Standards geplant und errichtet werden sondern auch im Betrieb der Gebäude die der Förderung zugrunde liegenden Werte erreicht werden, was letztlich auch den BewohnerInnen zugutekommt.

6 Ausblick und Empfehlungen

Mit dieser Untersuchung wurde kein abschließender Befund vorgelegt sondern ein erster Schritt getan, um Aussagen hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit von innovativen Baustandards zu gewinnen. Für die Gesamtkostenbetrachtung konnte zwar auf Daten für eine große Anzahl von Objekten zurückgegriffen werden, diese repräsentieren jedoch den Baustandard von vor 5 bis 10 Jahren, da Daten aus dem laufenden Betrieb der Gebäude erhoben wurden. Im Hinblick auf die in den letzten Jahren beschleunigte technologische Entwicklung im Bauwesen erscheint eine laufende Erweiterung dieser Datenbasis um neuere Gebäude jedenfalls sinnvoll.

Für zukünftige Pilot- und Demonstrationsprojekte sollte neben der technischen Evaluierung und einem detaillierten Energieverbrauchs- und Komfortmonitoring der wirtschaftliche Aspekt stärker berücksichtigt werden. Dies bedeutet neben der Dokumentation der Errichtungskosten auch eine Dokumentation der laufenden Kosten im Betrieb, insbesondere der Energiekosten bzw. Erträge aus der Energieumwandlung, Wartungskosten für haustechnische Anlagen sowie der erwarteten Kosten für Ersatzinvestitionen auf Basis einer Schätzung der Lebensdauer der Komponenten sowie der erwarteten Kosten für Reinigung von Lüftungsanlagen (z.B. auf Basis von konkreten Angeboten).

Für die weitere Verbreitung von innovativen Technologien und Baustandards spielt Qualitätssicherung eine zentrale Rolle. Daher sollte diesem Punkt auch bei zukünftigen Pilot- und Demonstrationsprojekten besonderes Augenmerk geschenkt werden, indem neben der technischen Innovation an sich auch verpflichtend Vorschläge und Lösungen entwickelt werden für die durchgehende Qualitätssicherung für diese Komponenten über den gesamten Planungs-, Ausführungs und Inbetriebnahmeprozess.

Forschungs- und Entwicklungsbedarf besteht darüber hinaus bei der Entwicklung von standardisierten und kostengünstigen Monitoringlösungen für Gebäude und Gebäudekomplexe, wobei auf die Integration der vielfältigen Schnittstellen zwischen den einzelnen Gewerken Bedacht zu nehmen ist.

7 Literaturverzeichnis

- Amtsblatt der Europäischen Union L153/13 vom 18.6.2010: RICHTLINIE 2010/31/EU DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 19. Mai 2010 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (Neufassung). 2010.
- Atanasiu Bogdan, Kouloumpi Ilektra et al.: Implementing the cost-optimal methodology in EU countries – Lessons learned from three case studies. Building Performance Institute Europe. Brussels 2013.
- Bauer Eva: Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit. Investitions- und Nutzungskosten in Wohngebäuden gemeinnütziger Bauvereinigungen unter besonderer Berücksichtigung energetischer Aspekte. ÖSTERREICHISCHER VERBAND GEMEINNÜTZIGER BAUVEREINIGUNGEN. Wien 2013
- Directorate-General for Energy of the European Commission: EU Energy Trends to 2030. Update 2009. Luxembourg 2010.
- Europäische Kommission: Delegierte Verordnung (EU) Nr. 244/2012 der Kommission vom 16. Januar 2012 zur Ergänzung der Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments und des Rates über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden durch die Schaffung eines Rahmens für eine Vergleichsmethode zur Berechnung kostenoptimaler Niveaus von Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden und Gebäudekomponenten, ABI L 81/18. Brüssel 2012.
- Europäische Kommission: Leitlinien zur delegierten Verordnung (EU) Nr. 244/2012 der Kommission vom 16. Januar 2012 zur Ergänzung der Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments und des Rates über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden durch die Schaffung eines Rahmens für eine Vergleichsmethode zur Berechnung kostenoptimaler Niveaus von Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden und Gebäudekomponenten, ABI C 115/1. Brüssel 2012.
- Hofer Gerhard, Herzog Bernhard: Planungsunterstützende Lebenszykluskostenanalyse für nachhaltige Gebäude. Fachhochschulstudiengänge Burgenland Ges.m.b.H (Hrsg.): Tagungsband e-nova 2010, FH Burgenland, 11.-12.11.2010. Pinkafeld 2010.
- Leutgöb Klemens, Jörg Barbara, Rammerstorfer Johannes, Amann Christof; Hofer Gerhard: Analyse des kostenoptimalen Anforderungsniveaus für Wohnungsneubauten. e7 Energie Markt Analyse GmbH. Wien 2012.
- Merzkirch Alexander, Hoos Thorsten, Maas Stefan, Scholzen Frank, Waldmann Daniéle: Wie genau sind unsere Energiepässe? Vergleich zwischen berechneter und gemessener Endenergie in 230 Wohngebäuden in Luxemburg. In: Bauphysik 36 (2014). Ernst & Sohn (Hrsg.). Berlin 2014.

- ÖNORM B 1800: 2013-08-01 Ermittlung von Flächen und Rauminhalten von Bauwerken und zugehörigen Außenanlagen
- ÖNORM B 8110-1: 2011-11-01 Wärmeschutz im Hochbau – Teil 1: Deklaration des Wärmeschutzes von Niedrig- und Niedrigstenergiegebäuden – Heizwärmebedarf und Kühlbedarf
- ÖNORM B 8110-5: 2011-03-01 Wärmeschutz im Hochbau – Teil 5: Klimamodell und Nutzungsprofile
- ÖNORM B 8110-6: 2010-01-01: Wärmeschutz im Hochbau – Teil 6: Grundlagen und Nachweisverfahren – Heizwärmebedarf und Kühlbedarf
- ÖNORM M 7140: 2013-07-01: Betriebswirtschaftliche Vergleichsrechnung für Energiesysteme nach dynamischen Rechenmethoden
- ÖNORM H 5056: 2011-03-01: Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden – Heiztechnik-Energiebedarf
- ÖNORM H 5057: 2011-03-01: Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden – Raumluftechnik-Energiebedarf für Wohn- und Nichtwohngebäude
- ÖNORM H 5058: 2011-03-01: Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden – Kühltechnik-Energiebedarf
- ÖNORM H 5059: 2010-01-01: Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden - Beleuchtungsenergiebedarf
- Österreichisches Institut für Bautechnik (OIB): OIB-Dokument zur Definition des Niedrigstenergiegebäudes und zur Festlegung von Zwischenzielen in einem „Nationalen Plan“ gemäß Artikel 9 (3) zu 2010/31/EU. Österreichisches Institut für Bautechnik. Wien 2012
- Ploss Martin, Brunn Martin, Bachner Daniela, Leutgöb Klemens, Jörg Barbara: Analyse des kostenoptimalen Anforderungsniveaus für Wohnungsneubauten in Vorarlberg. Energieinstitut Vorarlberg. Dornbirn 2013.
- Schöberl Helmut: Reduktion der Wartungskosten von Lüftungsanlagen in Plus-Energiehäusern. Berichte aus Energie- und Umweltforschung. Wien Oktober 2011
- Schöberl Helmut, Lang Christoph, Handler Simon: Ermittlung und Evaluierung der baulichen Mehrkosten von Passivhausprojekten. Berichte aus Energie- und Umweltforschung. Wien August 2012
- Schöberl Helmut, Hofer Richard: Betriebskosten- und Wartungskostenvergleich zwischen Passivhäusern und Niedrigenergiehäusern. Berichte aus Energie- und Umweltforschung. Wien 2012.

- Stampfl Paul, Moosbrugger Matthias, Kempter Guido: Wohnkomfort und Heizwärmeverbrauch im Passivhaus und Niedrigenergiehaus. FH Vorarlberg. Bregenz 2013.
- Schuster Birgit, Oberhuber Andreas, Götzl Kerstin, Kaufmann Philipp: Vergleichende Analyse von Errichtungs- und Bewirtschaftungskosten großvolumiger Wohngebäude in Passivhaus- und Niedrigenergiehausqualität in Wien. FGW Forschungsgesellschaft für Wohnen, Bauen und Planen. Wien 2009.
- Treberspurg Martin, Smutny Roman: Nachhaltigkeits-Monitoring Ausgewählter Passivhaus-Wohnanlagen in Wien. Universität für Bodenkultur Wien, Arbeitsgruppe Ressourcenorientiertes Bauen. Wien 2009.
- Unterberger Beatrice, Mairinger Emanuel, Rammerstorfer Johannes, Krempf Manuel, Hüttler Walter, Twrdik Felix, Tappler Peter, Leitzinger Wolfgang: Zukunftstaugliche Komfort-Lüftungssysteme in großvolumigen Wohngebäuden im Spannungsfeld von Hygiene und Kosten. Berichte aus Energie- und Umweltforschung 4/2014. Wien 2013.
- Wagner Waldemar, Prein Andreas, Mauthner Franz: Energietechnische und baubiologische Begleituntersuchung Bauprojekt Roschégasse 20. Berichte aus Energie- und Umweltforschung 64/2009. Gleisdorf 2008.
- Wagner Waldemar, Prein Andreas, Mauthner Franz: Energietechnische und baubiologische Begleituntersuchung Passivhausanlage Utendorfsgasse. Berichte aus Energie- und Umweltforschung 64/2009. Gleisdorf 2008.
- Wagner Waldemar, Prein Andreas, Felberbauer Karl-Peter, Spörk-Dür Monika, Suschek-Berger Jürgen: Energietechnische und baubiologische Begleituntersuchung Passivhauswohnanlage Dreherstraße. Berichte aus Energie- und Umweltforschung 67/2009. Gleisdorf 2009.
- Wagner Waldemar, Prein Andreas, Spörk-Dür Monika, Suschek-Berger Jürgen: Energietechnische und baubiologische Begleituntersuchung Passivmehrfamilienhaus Mühlweg. Berichte aus Energie- und Umweltforschung 80/2010. Gleisdorf 2010.
- Wagner Waldemar, Spörk-Dür Monika, Kapferer Roland, Braitto Michael, Pfluger Rainer, Ochs Fabian, Suschek-Berger Jürgen: Forschungsprojekt Passivhauswohnanlage Lodenareal. Gleisdorf 2012.

Internetquellen

Österreichischer Verband Gemeinnütziger Bauvereinigungen – Revisionsverband (gbv-Verband): Wohnungen, Bauleistungen. <http://www.gbv.at/Page/View/4189> (abgerufen am 22.05.2014).

Passipedia: Passivhaus Wissensdatenbank – Grundlagen des Passivhauses. http://www.passipedia.de/passipedia_de/ (abgerufen am 11.03.2014).

Statistik Austria: Baupreisindex für den Hochbau gesamt, frühere Zeitreihen verkettet. http://www.statistik.at/web_de/statistiken/produktion_und_bauwesen/konjunkturdaten/baupreisindex/index.html (abgerufen am 18.01.2013).

8 Abbildungen

Abbildung 1: Kostenoptimales Spektrum; Quelle: Leitlinien zur delegierten Verordnung (EU) Nr. 244/2012 (Europäische Kommission, 2012)	31
Abbildung 2: Regionale Verteilung der betrachteten Objekte	42
Abbildung 3: Anzahl der betrachteten Objekte nach Kompaktheit	43
Abbildung 4: Verteilung der erhobenen Objekte nach Anzahl der Wohneinheiten pro Objekt	43
Abbildung 5: Verteilung der erhobenen Objekte nach Größe der Nutzfläche	44
Abbildung 6: Anzahl der Objekte mit zentralen und dezentralen Heizsystem	44
Abbildung 7: Anzahl der Objekte die neu errichtet wurden und Anzahl der alten Objekte die saniert wurden	45
Abbildung 8: Anzahl der Objekte (Neubau und Sanierung) nach HWB-Bereich. 128 Objekte, 76 Neubau, 52 Sanierung	45
Abbildung 9: Anzahl der Objekte (Neubau und Sanierung) nach Fertigstellungs- bzw. Sanierungsjahr. 76 Neubau, 52 Sanierung	46
Abbildung 10: Anzahl der Objekte (Neubau und Sanierung) nach Fertigstellungs- bzw. Sanierungsjahr, farblich nach HWB gegliedert	47
Abbildung 11: Anzahl der Neubau-Objekte nach Fertigstellungsjahr, farblich nach HWB gegliedert.	47
Abbildung 12: Anzahl der Sanierungs-Objekte nach Sanierungsjahr, farblich nach HWB gegliedert.	48
Abbildung 13: Spezifischer Heizenergieverbrauch (exkl. Warmwasser) gegenüber HWB; 91 Objekte, 24 Objekte mit Wohnraumlüftung mit WRG	50
Abbildung 14: HEV gegenüber HWB, Darstellung des Mittelwerts aus den flächenspezifischen Werten der einzelnen Objekte	51
Abbildung 15: HEV gegenüber HWB, Darstellung des gewichteten Mittelwerts (Durchschnitt über alle Flächen)	52
Abbildung 16: Gemessener Heizenergieverbrauch (exkl. Warmwasser) gegenüber errechnetem Heizwärmebedarf, farblich getrennt nach Sanierung (32 Objekte)und Neubau (59 Objekte)	53
Abbildung 17: Durchschnittlicher Energieverbrauch für WW	53
Abbildung 18: Heizenergieverbrauch (inkl. Warmwasser) gegenüber Heizwärmebedarf, 58 Objekte ohne Solarthermieanlage, 33 Objekte mit Solarthermieanlage	54
Abbildung 19: Errechnete Energietarife aus den erhobenen Datensätzen, Darstellung ausgewählter Energieträger	55

Abbildung 20: Vergleich Heizenergieverbrauch und Heizenergiekosten, Aufsteigend nach HEV, 80 Objekte	56
Abbildung 21: Heizenergiekosten (inkl. WW) bei konst. Tarif, 33 Objekte mit und 58 Objekte ohne Solarthermie	57
Abbildung 22: Bandbreite und Mittelwert der erhobenen Wartungskosten	57
Abbildung 23: Wartungskosten und Heizenergiekosten (bei konstanten Tarif, exkl. WW) gegenüber HWB. 91 Objekte	59
Abbildung 24: Bandbreite und Mittelwert der erhobenen Baukosten	60
Abbildung 25: Gesamtbaukosten nach verschiedenen Bereinigungsritten gegenüber HWB. 42 Objekte	62
Abbildung 26: Abhängigkeit der bereinigten Gesamtbaukosten von der Kompaktheit, 44 Objekte	63
Abbildung 27: Gesamtkostenbetrachtung über 20 Jahre, Sensitivitätsanalyse, 31 Objekte	65
Abbildung 28: Gesamtkostenbetrachtung über 20 Jahre, Methodenvergleich Solarthermie	66
Abbildung 29: Gesamtkostenbetrachtung (Diskont 2%, EPI 2,8%) auf Basis HWB Klassen über 20 Jahre	67
Abbildung 30: Gesamtkostenbetrachtung (Diskont 2%, EPI 2,8%) auf Basis HWB Klassen über 35 Jahre	68
Abbildung 31: Lebenszykluskosten-Vergleich unterschiedlicher Gebäudestandards, Energiebedarf nach Energieausweis	78
Abbildung 32: LZK- Vergleich unterschiedlicher Gebäudestandards, Energieverbrauch basierend auf Inno-Cost-Erhebung	80
Abbildung 33: LZK- Vergleich unterschiedlicher Gebäudestandards, Investitionskosten um "Sowieso" Kosten der Abluftanlage reduziert	81
Abbildung 34: LZK-Vergleich unterschiedlicher Gebäudestandards; Sensitivitätsanalyse	82
Abbildung 35: LZK-Vergleich unterschiedlicher Gebäudestandards bei unterschiedlicher Datenbasis (Energieausweis vs. gemessene Verbrauchswerte), Zusammenfassung	83

9 Tabellen

Tabelle 1: Gegenüberstellung des Heizwärmebedarfes und -verbrauches ausgewählter Passivhäuser; Quellen: Schöberl und Hofer (2012), ^a Wagner et al. (2012), ^b Stampfl et al. (2013)	23
Tabelle 2: Auswertung Heizwärmebedarf und –verbrauch zweier Passivhäuser; Quelle: Schöberl & Pöll, 07.03.2014	24
Tabelle 3: Errichtungskosten ausgewählter Passiv- und Niedrigenergiehäuser in Wien; Quelle: Schuster et al. (2009)	25
Tabelle 4: Mehrfamilienhäuser - Gegenüberstellung der Betriebskosten von Passiv- und Niedrigenergiehäusern. Kostenangaben pro m2 Wohnnutzfläche exkl. USt.; Quelle: Schöberl und Hofer (2012)	27
Tabelle 5: Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz von Wohngebäuden - Neubau bis 2020; Quelle: Österreichisches Institut für Bautechnik (2012)	32
Tabelle 6: Baupreisindex wenn 2006 gleich 100 ist; Quelle: Statistik Austria (2013)	60
Tabelle 7: Beschreibung Referenzgebäude	70
Tabelle 8: Verwendete Methoden	70
Tabelle 9: HWB Linien und HWB Werte der untersuchten Varianten	71
Tabelle 10: Variantenbeschreibung	73
Tabelle 11: Kosteninputdaten Gebäudehülle	74
Tabelle 12: Kosteninputdaten Haustechnik	75
Tabelle 13: Nutzungsdauer ausgewählter Materialien	76

10 Formeln

Formel 1: Berechnung der garagenbereinigten Gesamtbaukosten	61
Formel 2: Berechnung der wohnungsgrößenbereinigten Gesamtbaukosten	61
Formel 3: Standortbereinigung der Gesamtbaukosten für Vbg, T, Sbg, Stmk	62

11 Anhang

- Delegierte Verordnung (EU) Nr. 244/2012 der Kommission
- Powerpoint-Präsentation des Wohnbau-Fachseminars zum Thema „Kosten und Wirtschaftlichkeit von innovativen Baustandards“ vom 27. Juni 2013