

F 2810

Karsten Voss, Ute Helbich, Thomas Lützkendorf,
Matthias Unholzer, Peter Michl

Benchmarks für die Sanierung und den Neubau von Wohnheimen für Studierende

F 2810

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um die Kopie des Abschlußberichtes einer vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung -BMVBS- im Rahmen der Forschungsinitiative »Zukunft Bau« geförderten Forschungsarbeit. Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprotechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprotechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2012

ISBN 978-3-8167-8710-5

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Telefon 07 11 9 70 - 25 00
Telefax 07 11 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

www.irb.fraunhofer.de/bauforschung



Bergische Universität Wuppertal



Forschungsinitiative Zukunft Bau: Antragsforschung 2009

Benchmarks für die Sanierung und den Neubau von Wohn-
heimen für Studierende

Förderkennzeichen: SF 10.08.18.7-09.23
II3 F20-09-1-169

Endbericht

Zeitraum: 01. November 2009 – 31. Juli 2011

Projektnehmer

Bergische Universität Wuppertal
Fachbereich D, Abteilung Architektur
Lehrgebiet Bauphysik und Technische Gebäudeausrüstung, b+tga
Prof. Dr.- Ing. Karsten Voss, Dipl.-Ing. Ute Helbich
Haspeler Straße 27
42285 Wuppertal

Wuppertal, Oktober 2011



Vorwort

Der vorliegende Endbericht bezieht sich auf das Forschungsprojekt innerhalb der Forschungsinitiative Zukunft Bau: „Benchmarks für die Sanierung und den Neubau von Wohnheimen für Studierende“. Das Projekt wurde und wird dafür von November 2009 bis Juli 2011 mit Mitteln des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) über das Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) und mit (Dritt-)Mitteln des Deutschen Studentenwerks (DSW) unter dem Förderkennzeichen: SF 10.08.18.7-09.23 bzw. II3 F20-09-1-169 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Die Projektbeteiligten:

Bergische Universität Wuppertal Fachbereich D, Abteilung Architektur Bauphysik und Technische Gebäudeausrüstung Prof. Dr.-Ing. Karsten Voss, Dipl.-Ing. Ute Helbich (ehem. Rustemeyer)	Haspeler Straße 27 42285 Wuppertal
--	---------------------------------------

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Ökonomie und Ökologie des Wohnungsbaus
(ÖÖW)

Prof. Dr.-Ing. Thomas Lützkendorf, Dipl.-Wi.-Ing. Matthias Unholzer cand. Wi.-Ing. Peter Michl	Kaiserstraße 12, Geb. 20.14 (Kollegium Schloß, Bau IV) 76131 Karlsruhe
--	--

Deutsches Studentenwerk DSW	Monbijouplatz 11 10178 Berlin
-----------------------------	----------------------------------

Der Bericht umfasst 72 Seiten, zuzüglich Anhang.

Bergische Universität Wuppertal,

Wuppertal, Oktober 2011

.....
Prof. Dr.-Ing. Karsten Voss



Kurzfassung

Ziel des Forschungsprojektes ist das Aufstellen von benchmarks für Studierendenwohnheime in Deutschland. Dabei wird die energetische und ökonomische Bewertung von Sanierungs- und Neubaumaßnahmen angestrebt. Analysiert werden die Ressourcenverbräuche (Heizenergie, Wasser, Strom) sowie die Erstellungs- und Folgekosten, auch Baukosten und Bau-nutzungskosten genannt. Exemplarisch werden Energiebedarfsberechnungen als Grundlage für vergleichende Prognosedaten durchgeführt.

Das Projekt „Benchmarks für Studierendenwohnheime“ setzt eine Auswahl von 21 Studierendenwohnheimen (8 Neubau- und 13 Sanierungsprojekte) an 16 Standorten in Deutschland in Relation. Die Dokumentation der gebäudespezifischen Gegebenheiten führt über die kosten- und verbrauchsspezifische Datenerfassung und -aufbereitung bis hin zur Bildung von Kennwerten und einer Querschnittsanalyse der untersuchten Gebäude. Die Ergebnisse münden, soweit möglich, in Handlungsempfehlungen für Neubau- und Sanierungsprojekte.

Der mittlere Primärenergieverbrauch (Wärme und Strom) liegt bei 5.829 kWh/ Wohneinheit WE a (Neubau) bzw. 6.513 kWh/WE a (Sanierung). Wärme und Strom teilen sich dabei primärenergetisch meist hälftig auf.

Der durchschnittliche Stromverbrauch eines Studierenden pro Jahr hat die Größenordnung 1.230 kWh/WE a (gleichwertig für Neubau und Sanierung). Dies deckt sich mit Ergebnissen anderer Untersuchungen zum studentischen Wohnen.

Die untersuchten Wohnanlagen emittieren damit jährlich durchschnittlich 1.521 kg/WE (Neubau) bzw. 1.760 kg/WE äquivalente CO₂-Emissionen.

Der Wasserverbrauch beträgt im Mittel 42,3 m³/ WE a.

Mittlere Mischpreise (Leistungspreise pro kWh bzw. m³ zuzüglich anteilige Grundpreise) für Heizenergie liegen bei 0,08 €/kWh (Neubau- und Sanierungsprojekte), für Strom bei 0,17 €/kWh (Neubauprojekte) bzw. 0,15 €/ kWh (Sanierungsprojekte) sowie für Wasser bei 2,98 €/m³ (Neubauprojekte) bzw. 3,08 €/m³ (Sanierungsprojekte).

Zusammenfassend konnten folgende Energie- und Wasserverbrauchskostenkennwerte pro Wohnheimplatz für die Neubauprojekte ermittelt werden: Heizenergie 255,71 €/WP, Strom: 175,76 €/WP, Wasser 117,74 €/WP. Für die Sanierungsprojekte gilt analog: Heizenergie 296,72 €/WP, Strom 179,13 €/WP, Wasser 127,68 €/WP. Offen bleibt, wie der Energieverbrauch noch exakter mit der tatsächlichen Anwesenheit der studentischen Bewohner korreliert werden kann. Die Anwesenheitsstruktur kann gerade im studentischen Wohnen stark schwanken. Die Auswertung der Mieterdatenbank ist hierbei nur der erste Schritt, und ist immer dem Aspekt der Wahrung der Anonymität nachgestellt.

Meist sind verschiedenste Wohnformen zusammen in einer studentischen Wohnanlage vorkommend. Auch hier gilt es, eine präzise Abfrage einer größeren Untersuchungsanzahl (exakt definierter) Wohnformen mit dem Energieverbrauch in Zusammenhang zu bringen. Die geringe Stichprobenzahl der vorliegenden Untersuchung erlaubt hier noch keine eindeutigen Aussagen.



Der vergleichsweise kleine Umfang der Untersuchung sollte auf eine belastbarere (größere) Anzahl von Wohnanlagen ausgeweitet werden, so dass - besonders im Bereich der Baukosten und Baunutzungskosten - Aussagen größerer Allgemeingültigkeit getroffen werden können.

Es wurde aufgezeigt, daß die vorliegenden Daten wesentliche Voraussetzungen zur Ableitung von allgemeinen Empfehlungen zum Einsatz bestimmter Technologien nur teilweise bzw. gar nicht erfüllen. So wurden auch die Voraussetzungen zur Analyse der vollständigen Instandhaltungskosten in den Rohdaten nicht erfüllt, weshalb die Berechnung von Kennwerten zu den „jährlichen Gesamtkosten“ nicht durchgeführt wurde. Die angegebenen Kostenkennwerte dennoch zu addieren, sei dem Leser mit dem Hinweis auf die genannten Einschränkungen überlassen.

Auf den Ergebnissen und der Struktur dieser Untersuchung aufbauend, wird ein konsequentes benchmarking vor Ort empfohlen, das auf der Ebene von Kosten, End- /Primärenergie und Emissionen stattfindet, sowie auf einen Energie- und Umweltbericht abzielt. Dabei werden konsequente und abgestimmte Bezüge (Wohnheimplatz, m² NGF, m² BGF) genutzt. Ggf. könnte dieses in einer neuen, abgestimmten Plattform zusammenfassend für einen bundesweiten Jahresbericht des Deutschen Studentenwerks münden.

Die Darstellungen – lokal wie bundesweit - liefern eine geeignete Basis für die Feststellung von Erfolgen auf dem Weg zur Reduktion von Ressourcenverbrauch und Emissionen beim studentischen Wohnen und sind als Plattform für die Zieldefinition geeignet.



1. Phase 1- Die teilnehmenden Studierendenwohnheime	1
1.1. Die Kontaktaufnahme, Gebäudeauswahl	2
1.2. Die Ortsbegehungen, Dokumentation	3
1.3. Die Neubau- und die Sanierungsobjekte	3
1.4. Die Gebäudematrix	6
2. Phase 2- Die detaillierte Datenerfassung	7
2.1. Struktur der Datenerhebung	9
2.1.1. Gliederung und Inhalt der Datenerfassung, Verfügbarkeit	9
2.1.2. Mieterstruktur (auch: Wohnform)	11
2.1.3. Zusätzliche Daten	12
2.2. Darstellung der Methodik der Kennwerte Energie	13
2.2.1. Betrachtungsebenen	13
2.2.2. Bezugsgrößen	15
2.2.3. Mittelwertbildung	17
2.2.4. Sondernutzung(en) und NGF je Wohnheimplatz WP	18
2.2.5. Belegung bzw. Leerstand	19
2.2.6. Verbrauchsbereinigung	19
2.3. Die Kostenbetrachtung	20
2.3.1. Allgemeines zu Erhebung und Analyse der Kostendaten	20
2.3.2. Verfügbarkeit und Analysierbarkeit der Kostendaten	23
2.3.3. Verfügbarkeit und Analysierbarkeit der Daten zur Gebäudetechnik	24
2.4. Darstellung der Methodik der berechneten Ergebnisse	25
2.4.1. Berechnung der ausgewählten und analysierten Kostendaten	27
2.4.2. Berechnung spezifischer durchschnittlicher Mischpreise	28
2.4.3. Berechnung der Kostenkennzahlen relativ zum Benchmark	29
2.4.4. Interpretation der Ergebnisse	30
3. Phase 3- die Auswertung	33
3.1. Zusammenfassung Datenerhebung	33
3.2. Betrachtungsebenen	34
3.2.1. Energieverbrauch (Indikator Primärenergie), Neubau + Sanierung	35
3.2.2. Energieverbrauch vor Ort (Indikator Endenergie)	38
3.2.3. Emissionen verringern (Indikator CO ₂ äquiv. Emissionen)	39
3.2.4. Wasserverbrauch	41



3.2.5. Interpretation und Bewertung	43
3.3. Energieverbrauch und Wohnform	43
3.4. Energieverbrauch und Bezug(sgröße)	45
3.4.1. Externe Kenngrößen zum studentischen Wohnen	45
3.5. Energieverbrauch und -bedarf	46
3.5.1. Energetische Bilanzierung mit EnerCalC	46
3.5.2. Darstellung Bedarfswerte relativ zum Verbrauch	49
3.5.3. Interpretation	49
3.6. Kostenbetrachtung für die Neubauten	50
3.6.1. Darstellung berechneter Kostenkennzahlen	50
3.6.2. Darstellung durchschnittlicher Mischpreise	51
3.6.3. Darstellung berechneter Kostenkennwerte relativ zum Benchmark	52
3.6.4. Interpretation der Ergebnisse	54
3.7. Kostenbetrachtung für Sanierungen	58
3.7.1. Darstellung berechneter Kostenkennwerte	58
3.7.2. Darstellung durchschnittlicher Mischpreise	59
3.7.3. Darstellung berechneter Kostenkennwerte relativ zum Benchmark	60
3.8. Ergänzende Bemerkungen zu den Herstellungskosten	66
3.8.1. Herstellungskosten der Neubauprojekte	66
3.8.2. Herstellungskosten der Sanierungsobjekte	67
3.9. Kritische Würdigung der Kosten- und Energiebetrachtung	68
3.10. Handlungsempfehlungen, Schlussbemerkung	69
3.11. Veröffentlichungen, Vorträge	70
4. Literatur und Quellenangaben	71
5. Anhang	73



1. Phase 1- Die teilnehmenden Studierendenwohnheime

Mithilfe einer sowohl energetischen als auch ökonomischen Betrachtung von studentischen Wohnanlagen sollten benchmarks, sog. Richtwerte oder Kenngrößen, für Studierendenwohnheime aufgestellt werden. Als Ausgangspunkt war geplant, deutschlandweit etwa 15-20 Wohnanlagen genauer zu untersuchen. Einbezogen waren sowohl Neubau- als auch Sanierungsprojekte der jüngeren Zeit.

Alle 58 Studentenwerke in Deutschland waren aufgerufen, sich mit einer oder mehreren Wohnanlagen am Forschungsprojekt zu beteiligen.



Abb. 1.1 Deutschlandkarte
Quelle: derweg.org



Die markierten Städte in der Grafik zeigen die Teilnehmer (Studentenwerke) an der Untersuchung. Zu den (schwarz markierten) Standorten Bayreuth und Tübingen ist zwar eine Gebäudedokumentation vorhanden, allerdings liegen keine detaillierten Daten darüber hinaus vor, so dass die Wohnanlagen nicht in die Untersuchung mit einbezogen werden können.

In Bonn, Freiberg, Göttingen, Konstanz und München beteiligt sich das jeweilige Studentenwerk mit jeweils zwei Wohnanlagen am Forschungsprojekt, an den übrigen Standorten mit jeweils einer Wohnanlage.

1.1. Die Kontaktaufnahme, Gebäudeauswahl

Mit Beginn des Forschungsprojekts zu Anfang November 2009 wurden gegen Ende November 2009 über den wöchentlichen Newsletter des Deutschen Studentenwerks alle Geschäftsführer der 58 Studentenwerke in Deutschland auf das Forschungsvorhaben, dessen Inhalt und Ziele sowie die Möglichkeit der Teilnahme aufmerksam gemacht. Eine allgemeine Interessensbekundung wurde bis zum 10.12.2009 erbeten.

Um eine grundsätzliche Vergleichbarkeit der potentiellen Gebäude(-anlagen) zu gewährleisten wurde eingeschränkt, dass es sich um entweder Neubauprojekte der letzten 10 Jahre oder aber Sanierungsobjekte handele, bei denen die Sanierung innerhalb der letzten 10 Jahre durchgeführt wurde.

Diese Einschränkung war nötig, um mit großer Wahrscheinlichkeit sicherstellen zu können, dass Datensätze (z.B. Investitionskosten und Baunutzungskosten, Verbrauchsdaten von vor und nach der Sanierung) vorhanden und verfügbar sind, und um bei den Wohnanlagen einen vergleichbaren energetischen Standard voraussetzen zu können.

18 Studentenwerke meldeten sich auf den allgemeinen Aufruf zurück. Mit erfolgter positiver Rückmeldung erhielt das jeweilige Studentenwerk eine Excel-Datei, in der einzelne oder mehrere Wohnanlagen vorgeschlagen werden konnten, und in der die dazu grundsätzlichen Gebäudeinformationen (Größe, Alter, Besonderheiten, Vorhandensein von Daten) abgefragt wurden. Anhand dieser ersten Informationsgrundlage mit insgesamt 42 vorgeschlagenen Wohnanlagen wurden die 24 näher zu untersuchenden Wohnanlagen ausgesucht. Es wurde darauf geachtet, dass Sanierungs- und Neubauprojekte in etwa ausgewogener Anzahl teilnehmen.

Ein erstes Arbeitsgruppentreffen fand am 09. Februar 2010 in Wuppertal statt. Zu diesem Zeitpunkt hatte eine Ortsbegehung einer einzelnen Wohnanlage (Siegen) bereits stattgefunden.

Im weiteren Verlauf des Projektes verringerte sich die Zahl der teilnehmenden Wohnanlagen von 24 auf 21, da für 3 Wohnanlagen kein Rücklauf der detaillierten Datenerhebung verzeichnet werden konnte.



1.2. Die Ortsbegehungen, Dokumentation

Die Reisetätigkeit fiel in den Zeitraum vom 04. Februar 2010 bis 07. Mai 2010.

04. Februar 2010	Siegen	24. März 2010	Tübingen (2)
10. Februar 2010	Dortmund	25. März 2010	Ulm
18. Februar 2010	Berlin	06. April 2010	Bonn (2)
24. Februar 2010	Göttingen (2)	08. April 2010	Karlsruhe
25. Februar 2010	Hannover	13. April 2010	Würzburg
02. März 2010	Freiberg (2)	14. April 2010	Bayreuth
03. März 2010	Leipzig	22. April 2010	Darmstadt
04. März 2010	Aachen	29.+30. April 2010	Konstanz (2)
22.+23. März 2010	München (2)	07. Mai 2010	Wuppertal

Tabelle 1.1. Zeitraum der deutschlandweit besuchten studentischen Wohnanlagen.

Bei der Gebäudeaufnahme wurde die Fassade des Gebäudekomplexes bzw. der –anlage dokumentiert. Es fand eine Gebäudebegehung im Bereich des Kellers (Technik, Nebenräume), zumeist in einem Bewohnerzimmer und auf dem Dach/ im obersten Dachgeschoss statt. In Gesprächen mit dem zuständigen Studentenwerksvertreter wurden weitergehende Informationen (z.B. zur Bewohnerstruktur, Art der Mietabrechnung, Wartungsbesonderheiten etc.) ausgetauscht und das zukünftige Vorgehen im Projekt weitergegeben. Zu allen Vor-Ort-Besuchen liegen Kurzprotokolle und Bilddokumentationen vor.

1.3. Die Neubau- und die Sanierungsobjekte

Es folgt eine kurze Vorstellung aller 24 besuchten Wohnanlagen in alphabetischer Sortierung, getrennt nach Sanierung bzw. Neubau.



Sanierung

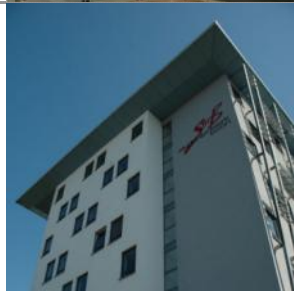
Neubau



Aachen
Sanierung 2005



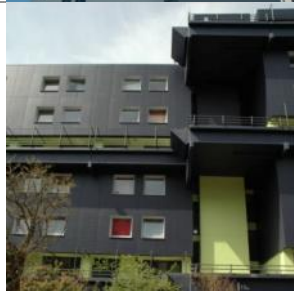
Bayreuth (Amberg)
Neubau 2006



Bonn
Sanierung 2002



Berlin
Neubau 1997/98



Darmstadt
Sanierung (bis) 2010
und andauernd



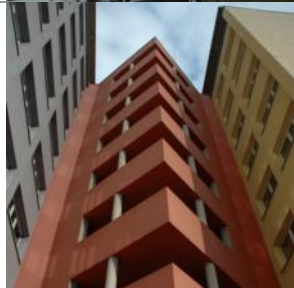
Bonn (Rheinbach)
Neubau Ende 2004



Dortmund
Sanierung 2002



Konstanz
Neubau 2007



Freiberg
Sanierung 2002



Konstanz
Neubau 2009



	Freiburg Sanierung 2006		München Neubau 2005
	Göttingen Sanierung		München(Garching) Neubau 2005
	Göttingen *unsaniert*		Tübingen Neubau 2008
	Hannover Sanierung 2009		Ulm Neubau 2006
	Karlsruhe Sanierung 2006		Würzburg Neubau 2008
	Leipzig Sanierung 2005		



Siegen
Sanierung 2005



Tübingen
Sanierung 2007



Wuppertal
Sanierung 2008

Abbildung 1.2. 24 studentische Wohnanlagen, getrennt nach Sanierung und Neubau.

1.4. Die Gebäudematrix

Die Struktur der zu entwickelnden Gebäudematrix, über die die schlussendlich 21 teilnehmenden Objekte in Relation zueinander gesetzt werden, spiegelt sich in der Gliederung der ausführlichen Datenerfassung wider (siehe Phase 2).

studentische Wohnanlage	Größe der Anlage (m ² , Wohnplätze WP)	Endenergieverbrauch Wärme	Endenergieverbrauch Strom	Verbrauch Wasser	310 Kosten Versorgung	350 Bedienung, Inspektion+ Wartung	Kosten Wärme (Heizenergie)	Energietarif Wärme (Heizenergie)	Energiepreis Strom	Energiepreis Wasser	Energieausweis ja/nein	Energieträger	Erzeuger	Übergabe der Energie	Regelung	Solarthermie	Lüftung	Kaltwasser (Armaturen)	Strom-besonderheiten	Baukosten KG300 und 400

Tabelle 1.2. Übergeordnete Zusammenfassung der Abfragepositionen (zzgl. Gebäude-/Nutzungseigenschaften). Quelle: Darstellung BUW.



2. Phase 2- Die detaillierte Datenerfassung

Nachfolgend zum persönlichen Eindruck vor Ort wurde eine zweite, ausführlichere Datenerfassung etwa Mitte Juni 2010 gestartet, die bis Mitte Juli 2010 andauern sollte.

Mitte Juni 2010 wurde dazu jedem teilnehmenden Studentenwerk individuell eine Excel-Datei pro Wohnanlage zugesendet, die mit bereits bekannten Informationen teilweise vorausgefüllt war. Inhalt war Erhebung von möglichst detaillierten und exakten Daten zu Verbräuchen (Wärme, Wasser, Strom) sowie Investitionskosten und Baunutzungskosten (aus 2007, 2008 und 2009).

Diese detaillierte Excel-Datenabfrage verschob sich – entgegen der ursprünglichen Planungszeitlich etwas nach hinten, da sie ursprünglich schon ab Monat April vorgesehen war. Die Koordination der Reisetätigkeit im Rahmen des Projekts zog sich entgegen den Erwartungen bis in den April hinein, so dass mit der Entwicklung der Excel-Struktur erst im Mai 2010 begonnen wurde.

Direkte Rückfragen zur Datenerhebung gab es wenige. Durch die Möglichkeit persönlich geführter Gespräche im Vorfeld konnten augenscheinlich die Fragestellung(en) den realistisch/tatsächlich den Betreibern vorliegenden Daten angenähert und angepasst werden. Die Excel-Datei enthält im rechten Blattbereich ausführliche Erläuterungen.



Forschungsinitiative ZukunftBAU				
Benchmarks für Studierendenwohnheime, Bergische Universität Wuppertal, Lehrstuhl für Bauphysik und Technische Gebäudeausrüstung				
Studierendenwohnheime (Blatt 1 - allg. Daten + Verbräuche)				
detaillierte Datenaufnahme bis 09.07.2010 (bitte zurück an: rustemeyer@uni-wuppertal.de)				
Erläuterung Diese excel Datei wurde entwickelt, um eine gemeinsame Basis zum Querschnittsvergleich aller 24, am Forschungsprojekt teilnehmenden, Wohnanlagen zu schaffen. Um dieses Ziel zu erreichen, benötigen wir möglichst detaillierte und aussagekräftige Daten von Ihnen, die selbstverständlich vertraulich behandelt und anonymisiert verwendet werden. Um den Aufwand zum Vervollständigen des Fragebogens so gering und die Beantwortung so einfach wie möglich zu halten, sind bekannte Daten bereits eingetragen. Für zusätzliche Kommentare und Anmerkungen (z.B. unklare Frage-Formulierungen) steht Ihnen die 3. Spalte von rechts zur Verfügung. Die 2. Spalte von rechts gibt Ihnen Erläuterungen für die Verwendung der Daten und allg. Hilfestellung zum Ausfüllen. Bitte überprüfen Sie gegebenenfalls das Tabellenblatt 1 auf Übereinstimmung (= excel Datenaufnahme vom Dezember 2009). Bitte füllen Sie alle hellblau hinterlegten Felder aus bzw. beachten Sie, ob in der rechten Spalte Unterlagen angefordert werden.				
Neuhalde Viktor-Renner-Str. 2 72074 Tübingen	Antwort	Kommentare Studentenwerk	Erläuterung	Unterlagen Anforderung
Details zum Bauablauf.				
Fertigstellung der letzten Baumaßnahme [MM.JJ]	2007		Wann wurde die Sanierung bzw. Neubaumaßnahme abgeschlossen? Angabe in Monat/Jahr	
Bauzeit [Anzahl Monate]			Dauer der letzten Baumaßnahme. z.B. eine relev. Aussage, falls die Wohnanlage während der Sanierung leer-gezogen wurde.	
ursprüngl. Baujahr [JJJJ]	1965		Handelt es sich bei der Wohnanlage um ein Sanierungsobjekt, ist das eigentliche Gebäudealter interessant.	
fortlaufende Maßnahmen?	nein		Sind zusätzliche Baumaßnahmen in den letzten 3 Jahren durchgeführt worden? Wenn ja, bitte kurze stichwortartige Beschreibung (Dach, Fenster, Außenwand, Keller, Heizungs-/ Lüftungsanlage, WW-erzeugung, Beleuchtung, sonstiges)	
Allg. Informationen zu (Gesamt-)Wohnanlage und Nutzerstruktur.				
Anzahl der Geschosse	7		Bei gestaffelten Gebäuden bitte ein kurzer (Text)Kommentar.	
Anzahl der Einzelgebäude	1		Wieviele Gebäudekörper gehören zur Wohnanlage?	
umbauter Raum [m³]	14.300,00	beheiztes Volumen Ve 11.379m³	benötigt für Bildung d Relation zwischen Umfassungsfläche/ Gebäudevolumen. Auch Angabe des beheizten Volumens möglich, aus Wärmeschutznachweis ablesbar.	
Fläche gesamt [m²]	3.641,00			
Bezugsfläche	anderes, nämlich:	Gebäudenutzfläche An; A/V-Verhältnis 0,36 1/m	(beheizte) NGF findet sich in Zusammenhang mit Aussagen, die die EnEV betreffen; BGF in Zusammenhang mit der VDI 3807 und Baunutzungskosten. Die II.BV betrifft wohnungswirtschaftliche Berechnungen.	
			Für Einteilung der NGF des Gebäudes in Flächen gleicher Nutzung/Funktionen gem. DIN 18599 notwendig. Dieses dient der Erstellung eines Energiekennwerte-katalogs für einzelne Nutzungsarten, bezogen auf deren Fläche (sog. benchmark-Baukasten). Es wird der Regel-Geschoss-Grundriss benötigt (u evtl. abweichende Grundrisse), zudem mind. 1 Schnitt und der	.dwg .dxf

Abbildung 2.1. Allgemeine Angaben zur Wohnanlage. Excel-Datenabfrage vom Juni 2010.

Der Rücklauf der beteiligten Studentenwerke zog sich in Einzelfällen bis zum Winter 2010 hin. Analog der in anderen Projekten gesammelten Erfahrungen, zeigte sich auch hier, dass eine Zusammenarbeit, die auf Freiwilligkeit basiert, ein langwieriger Prozess ist und oftmals zeitlich unterschätzt wird. Mit hohem Engagement konnten schlussendlich die Daten zusammengetragen werden. Exemplarische zu nennende Gründe für die Verzögerung waren u.a. Abwesenheiten durch Urlaub, erhöhtes Arbeitsaufkommen durch Semesterbeginn, allgemeine hohe Arbeitsbelastung eines einzelnen Ansprechpartners, Krankheit, Baustellen und deren Betreuung, der Wechsel des Ansprechpartners etc. In der Konsequenz verschob sich das Projektende um 3 Monate auf Ende Juli 2011.



2.1. Struktur der Datenerhebung

Die Datenerhebung hat das Ziel, aktuelle vergleichbare, konsistente Datensätze je Wohnanlage zu erheben, um die Gebäude(-anlagen) als Ganzes miteinander in Relation zu stellen.

Um die zugesicherte Anonymität der Teilnehmer zu gewährleisten, sind im Folgenden alle Wohnanlagen –getrennt nach Neubau- und Sanierungsobjekten- nummeriert und jeweils mit N(EU)bau bzw. S(AN)iert bezeichnet. Daher wird nachfolgend die Rede von den Wohnanlagen NEU01 bis NEU08 und SAN01 bis SAN13 sein.

Der erste Teil der Untersuchung befasst sich mit der Analyse tatsächlicher Energieverbräuche, die mit der Nutzung, Gebäudestruktur und berechnetem Energiebedarf in Zusammenhang gebracht werden. Gegenstand des zweiten Teils der Untersuchung ist die Analyse des Zusammenhangs zwischen der energetischen Qualität von Studierendenwohnheimen und der damit unmittelbar zusammenhängenden Kosten (i.S. von Auszahlungen oder Ausgaben). Zielgruppe sind in beiden Fällen die betreuenden Studentenwerke als Eigentümer und Betreiber der betrachteten Studierendenwohnheimen bzw. -anlagen.

Die Nachvollziehbarkeit der Berechnung, Darstellung und Interpretation der Untersuchungsergebnisse erfordert:

- Die Erläuterung des Ziels, des Rahmens sowie der Zielgruppe der Untersuchung. Insbesondere sind potentiell analysierbare von den tatsächlich auf Grund der Datenverfügbarkeit analysierbaren und analysierten Hypothesen abzugrenzen.
- Die Darstellung und Erläuterung der Methodik der Analyse und Berechnung von Ergebnissen sowie deren Interpretation.
- Die Einhaltung einer strikten Trennung der Darstellung (beschreibende Aussagen) von der Interpretation (wertende Aussagen) der Ergebnisse.

2.1.1. Gliederung und Inhalt der Datenerfassung, Verfügbarkeit

Thematische Gliederungspunkte der detaillierten Datenerfassung sind:

- Bauablauf [(Sanierungs-)Zeiten, in denen der „normale“ Betrieb „gestört“ war]
- Struktur der Gesamt-Wohnanlage (Zusammensetzung Wohneinheiten)
- Flächenerhebung, Belegung
- Nutzerstruktur
- Energietarife (Besonderheiten)
- Baukonstruktion (Gebäudehülle, grundsätzliches)
- Technische Ausstattung, energetische Infrastruktur (Heizung, Wasser, evtl. solare Systeme, Beleuchtung, Brandschutzvorkehrungen)
- (Jahres-)Verbräuche (Wärme, Wasser, Strom) aus 2007, 2008, 2009
- Baukosten nach DIN 276
- Baunutzungskosten nach DIN 18960, jährlich (für die Jahre 2007, 2008, 2009)



Um einen stimmigen „Gesamteindruck“ einer Wohnanlage zu erlangen, ist es wichtig, dass in möglichst vielen bzw. allen Bereichen Angaben in einer nachvollziehbaren, plausiblen Form vorliegen.

Die Datenkonsistenz ist insbesondere bei den Wohnanlagen SAN03, SAN07 und SAN08 schwierig, da wichtige Teilmengen fehlen und auch Verbräuche schwierig zuzuordnen sind. Bei allen drei Wohnanlagen handelt es sich um größere Anlagen, d.h. studentische Siedlungen, die aus mindestens 3 großen, mehrgeschossigen Riegeln über 15, teilweise zusammenhängende Gebäudekuben bis hin zu einem Konglomerat aus 32 kleineren und 3 größeren Wohngebäuden bestehen. Auch dieser Umstand macht die Anlagen schwer vergleichbar mit den übrigen, da sich die Untersuchung auf das studentische (Einzel)Wohngebäude fokussiert.

Zum Thema allgemeine Verfügbarkeit und Analysierbarkeit der Daten zum baukonstruktiven Standard ist festzuhalten, dass die Aussagen zur Gebäudehülle i.d.R. sehr reduziert angegeben sind (U-Werte, Fensterqualität, etc.). Die Schwierigkeit liegt ebenso in der exakten tabellarischen Abfrage von baukonstruktiven Details. Daher wird bei bekanntem Baujahr, bekannter grundsätzlicher Baukonstruktion und den dazugehörigen Oberflächen und aus evtl. vorliegendem Planmaterial auf u.a. den U-Wert von Standardkonstruktionen geschlossen [IWU2003 und IWU2005].

Außenwände			Ur-zustand	zusätzliche Dämmung							
				2 cm	5 cm	8 cm	12 cm	16 cm	20 cm	30 cm	40 cm
Bauart	typischer Erstellungszeitraum	typische Konstruktion	Pauschalwerte für den Wärmedurchgangskoeffizienten in W/(m²K)								
Mauerwerk	bis 1918	Ziegel- oder Bruchsteinmauer ca. 40 cm	2,2	1,05	0,59	0,41	0,29	0,22	0,18	0,13	0,10
Fachwerk	bis 1918	Holzfachwerk mit Lehm-ausfachung	2,0	1,00	0,57	0,40	0,29	0,22	0,18	0,13	0,10
Vollziegel-Mauerwerk	bis 1948	Ziegemauerwerk, 25 - 38 cm	1,7	0,92	0,54	0,39	0,28	0,22	0,18	0,12	0,09
Vollziegel-Mauerwerk verbessert	bis 1948	einschalig 38 - 51 cm oder zweischalig	1,4	0,82	0,51	0,37	0,27	0,21	0,18	0,12	0,09
leichtes Mauerwerk	1949 bis 1968	Hohlblock- steine, Gitterziegel, Gasbeton	1,4	0,82	0,51	0,37	0,27	0,21	0,18	0,12	0,09
Bims-vollsteine	1949 bis 1968	Mauerwerk aus Bimsvollsteinen	0,9	0,62	0,42	0,32	0,24	0,20	0,16	0,12	0,09
leichtes Mauerwerk	1969 bis 1978	Leicht-Hochloch- ziegel mit Normalmörtel	1,0	0,67	0,44	0,33	0,25	0,20	0,17	0,12	0,09
Betonfertigteile	1969 bis 1978	Dreischicht- oder Leichtbeton- platte	1,1	0,71	0,46	0,34	0,26	0,20	0,17	0,12	0,09



Fertighaus oder Holzbau	1969 bis 1978	Holzständer- wand mit 6 cm Dämmung 	0,6	0,46	0,34	0,27	0,21	0,18	0,15	0,11	0,09
leichtes Mauerwerk	1979 bis 1983	Leicht-Hoch- lochziegel mit Leichtmörtel 	0,8	0,57	0,40	0,31	0,24	0,19	0,16	0,11	0,09
Porenbeton	1979 bis 1983	Mauerwerk aus Porenbeton- steinen ("Gasbeton") 	0,6	0,46	0,34	0,27	0,21	0,18	0,15	0,11	0,09
Betonfertigteile	1979 bis 1994	Dreischicht- oder Leichtbeton- platte 	0,9	0,62	0,42	0,32	0,24	0,20	0,16	0,12	0,09
Fertighaus oder Holzbau	1979 bis 1983	Holzständer- wand mit 8 cm Dämmung 	0,5	0,40	0,31	0,25	0,20	0,17	0,14	0,11	0,08
leichtes Mauerwerk	ab 1984	Leicht-Hoch- lochziegel mit Leichtmörtel 	0,6	0,46	0,34	0,27	0,21	0,18	0,15	0,11	0,09
Porenbeton	ab 1984	Mauerwerk aus Porenbeton- steinen ("Gasbeton") 	0,5	0,40	0,31	0,25	0,20	0,17	0,14	0,11	0,08

Explanations

U-values for different wall systems and construction cycles

yellow: without insulation

green: with insulation (variation of insulation layer thickness)

Abbildung 2.2. Beispiel für eine Typologie von Wandaufbauten. Quelle: IWU2005.

Zur näheren Beschreibung der vorliegenden Kostendaten und Aussagen zur Gebäudetechnik wird auf Kapitel 2.3 verwiesen.

2.1.2. Mieterstruktur (auch: Wohnform)

Ein anonymisierter (excel) Auszug aus der nahezu einheitlich verwendeten Mieterdatenbank der jeweiligen Wohnanlage wurde zusätzlich erbeten. Die Mieterdatenbank an sich dient dem Zweck des Nachhaltens der allgemeinen Mieterdaten, Wohndauer etc.

Betrachtet werden – analog zu den Energieverbräuchen und –kosten - die Jahre 2007, 2008 und 2009. Parameter der Abfrage und Aussagen zur Nutzerstruktur sind hier u.a.:

- Nationalität
- Geschlecht
- Mieternummer
- Mietbeginn und –ende
- Postleitzahl
- (Geburtsdatum)

Die Auslastung der betrachteten Wohnanlagen liegt gemäß Vermieteraussagen durchgängig bei Vollvermietung, d.h. 90-100% (Ausnahme NEU01: k.A.) (siehe auch: 2.2.5 Belegung und Leerstand). Trotzdem kann daraus nicht auf die tatsächliche Anwesenheit der Studierenden geschlossen werden, da diese erfahrungsgemäß stark mit Wochenenden und Semesterferien schwankt, vermutlich auch in Abhängigkeit der Bewohner, die ursprünglich aus dem Umland der studentischen Wohnanlage kommen. Die Kurzuntersuchung von [Engelmann 2009] ver-



mutet dieses ebenso, kann aber keine quantitative Aussage darüber treffen, da Daten nicht in der dazu benötigten Tiefe vorliegen.

Betreiberseitig wurde auf der zweiten Arbeitsgruppensitzung im März 2011 geäußert, dass erfahrungsgemäß aus den vorgenannten Parametern keine Einflüsse für z.B. einen hohen Energieverbrauch ableitbar seien. Daher wurde die Auswertung der tabellarischen Daten zur Nutzerstruktur zurückgestellt.

Anstelle dessen liegt das Augenmerk auf der studentischen Wohnungs-Struktur innerhalb einer Wohnanlage. Dazu sind in der Excel-basierten Datenerhebung Aussagen über die Anzahl der Bewohner in

- Einzelappartements
- 2er und 3er WGs
- 4er WGs und mehr

zu finden. Eine mögliche Korrelation zwischen Energieverbrauch und Wohnform wird in 3.3. untersucht.

2.1.3. Zusätzliche Daten

Die Daten zu den studentischen Wohnanlagen liegen durchgängig in digitaler Form vor. Dies betrifft die komplettierte Excel-Datei und den Auszug aus der Mieterdatenbank (mit einer Ausnahme). Zusätzliche Informationen (z.B. Energieausweis, Planmaterial, Strangschema, Herstellungskosten, allgemeine Kostenübersicht) sind zu großen Teilen als pdf und seltener in Papierform vorhanden.

Es gibt je Wohnanlage mindestens einen Regelgeschossgrundriss, Ansichten und einen Schnitt. Das Planmaterial ist, soweit vorliegend, im Hinblick auf die (beheizte) Nettogrundrissfläche NGF nach DIN277 nachvollzogen, um eine zusätzliche (einheitliche) Flächengröße für die spätere Betrachtung zu generieren und angegebene Flächengrößen kritisch zu hinterfragen. Die ermittelten Netto-Flächen sind darüber hinaus in Nutzungen nach DIN V 18599 zonierte. Hierbei handelt es sich hauptsächlich um 5 bzw. 7 Zonen, die im studentischen Wohnen vorkommen:

- Verkehrsflächen
- Hotelzimmer (= studentische Wohnheimzimmer),
- Lager/Technik, WC, sonstige Nutzung sowie
- Büro und Küche.

Um die Bedarfsberechnung/ vereinfachte energetische Bilanzierung nach DIN V18599 (mit Hilfe des vereinfachten Hüllflächenverfahrens, siehe 3.5.) durchführen zu können, bedarf es grundsätzlich der Aussagen zu beheizter NGF, den anteiligen Nutzungen, dem Volumen und Flächenangaben der Fassaden (opaker und transparenter Anteil).

Drei Wohnanlagen können wegen fehlendem bzw. unvollständigem Planmaterial in dieser Hinsicht nicht näher betrachtet werden: SAN03, SAN07, SAN08.



2.2. Darstellung der Methodik der Kennwerte Energie

Die vorliegenden Jahresverbräuche von Wärme, Strom und Wasser stammen aus den Jahren 2007, 2008 und 2009. Sie sind auf Basis der Jahresabrechnungen der Energieversorger erhoben.

2.2.1. Betrachtungsebenen

Die Einstufung eines studentischen Wohngebäudes und der Querschnittsvergleich unter allen Wohnanlagen kann auf drei bzw. vier Ebenen der Betrachtung durchgeführt werden. Dies geschieht je nachdem, ob das Thema der Energieeinsparung von Interesse ist, Kostensenkung angestrebt wird (=der tatsächliche Energieverbrauch im Gebäude) oder die Verringerung der Emissionen dargestellt und verfolgt werden soll. Entsprechend werden entweder Primärenergie, die Endenergie(kosten) oder die CO₂ äquiv. Emission betrachtet.

<i>Betrachtung (Gebäudeebene)</i>	<i>Thema</i>	<i>Indikator</i>
Ressourcenschutz	Energieeinsparung	Primärenergie
Ökonomie	Kostensenkung	Endenergiekosten
	Reduktion Energieverbrauch	Endenergie
Klimaschutz	Emissionen senken	CO ₂ äquiv. Emissionen

Tabelle 2.1. Drei bzw. vier Betrachtungsebenen der energetischen Performance. Quelle: Darstellung BUW.

Lediglich der Jahres-**End**energieverbrauch (von Wärme und Strom) ist in der Untersuchung von den Studentenwerken für die jeweilige Wohnanlage erhoben. Mithilfe von Faktoren wird die Endenergie in entweder Primärenergie(verbrauch) oder CO₂ äquiv. Emissionen umgerechnet und aufsummiert (Wärme und Strom). Diese Umrechnungen und Bewertungen erfolgen bei den Wohnheimbetreibern bisher nicht.

Der (Rechenwert) Primärenergieverbrauch ermittelt sich aus dem gemessenen/ auf der Rechnung angegebenen (Jahres)Endenergieverbrauch und dem vom Energieträger abhängigen PE-Faktor. Hier interessiert gemäß DIN V 18599 der nicht erneuerbare Anteil der eingesetzten Primärenergie.

Die CO₂ äquivalenten Emissionen werden aus dem Endenergieverbrauch mithilfe des von [GEMIS] ermittelten Faktors bestimmt, Version 4.5.¹

¹ Globales Emissions Modell Integrierter Systeme. Instrument der vergleichenden Analyse. Öko-Institut + Uni Kassel, Ende der 80er Jahre.



		Deutschland DIN V 18599/ 1 2007	GEMIS Version 4.5
Stromnetz	PEI, n.e. [kWh _p /kWh _e]	2,60*	
	CO ₂ äquiv. [g/kWh _e]		633,00
Erdgas	PEI, n.e. [kWh _p /kWh _e]	1,10	
	CO ₂ äquiv. [g/kWh _e]		244,00
Fernwärme 70% KWK (fossil)	PEI, n.e. [kWh _p /kWh _e]	0,70	
	CO ₂ äquiv. [g/kWh _e]		219,00

*angepasst in EnEV 2009

Tabelle 2.2. Umrechnungsfaktoren für Primärenergie und CO₂ äquiv. Emissionen

Bei Angabe von „Fernwärme“ als Energieträger für Wärme wird seitens der Studentenwerke nicht zugeordnet, welche ursprüngliche Energiequelle die Fernwärme speist (Heizkraftwerk, KWK, erneuerbare Energien etc.). Um eine vergleichbare Basis für die Gebäudeanalyse zu schaffen, wird für die Ermittlung des Primärenergieverbrauchs der einheitliche PE Faktor von 0,7 angenommen. Für das einzelne Objekt ist es darüber hinaus für die Primärenergie- und Emissionsbilanzen sinnvoll, vor Ort die Daten vom Fernwärmelieferanten einzubeziehen.

Die große Mehrzahl (14) der untersuchten Wohnanlagen nutzt Fernwärme als Energieträger. 5 Wohnanlagen werden mit Wärme aus Erdgas versorgt. Eine Wohnanlage [SAN03] besitzt ein eigenes Erdgas-BHKW, eine Wohnanlage [NEU08] wird über Geothermie in Verbindung mit einer elektrischen Wärmepumpe mit Wärme versorgt.

Die Wohnanlage mit BHKW [SAN03] kann nicht in die weitere detaillierte Betrachtung mit einbezogen werden, da grundlegende Daten (u.a. Planmaterial) und aussagekräftige Kostenangaben fehlen.

Die Wohnanlage [NEU08], die eine geothermische Anlage für die Wärmebereitstellung nutzt ist dagegen in die Querschnittsauswertung mit einbezogen. Der Strom, der zum Betrieb der Wärmepumpe notwendig ist, ist im bekannten Jahresstromverbrauch der Wohnanlage enthalten. Diese Wohnanlage nutzt einen 2-Tarif Zähler, d.h. einen Zähler für den Wärmepumpenstrom und einen weiteren für den allgemeinen Strom. Beide erfassten Stromverbräuche werden primärenergetisch mit den gleichen Faktoren berücksichtigt (ebenso CO₂), der Übersichtlichkeit halber in den auswertenden Graphiken jedoch farblich jeweils Wärme und Strom zugeordnet.



2.2.2. Bezugsgrößen

Angaben zur Flächengröße je Wohnanlage sind (gem. DIN 277) –im Rahmen der detaillierten Datenerhebung- möglich zwischen

- Bruttogrundfläche BGF,
- Nettogrundfläche NGF oder
- Wohnfläche WF (nach II. Berechnungsverordnung)
- Sonstiges.

Eine einheitliche, durchgängige Flächenangabe für alle Wohnanlagen liegt nicht vor. Da verschiedene Gebäude-Indikatoren auf unterschiedliche Flächengrößen bezogen werden (siehe Tabelle unten), wird bei der energetischen (und ökonomischen) Kennwertermittlung eine neue Größe der **Wohneinheit WE bzw. dem Wohnplatz WP** hinzugezogen, die sich in der Vergangenheit bewährt hat [Engelmann2010] [Engelmann2009].

<i>Indikator</i>	<i>Bezugsgröße</i>	
Primärenergie	Beheizte NGF	Wohnheit WE (=Kopf) bzw. Wohnplatz WP
Endenergie	Beheizte NGF	
(-kosten)	BGF	
CO ₂ äquiv. Emissionen	Beheizte NGF	

Tabelle 2.3. Bezugsgrößen. Quelle: Darstellung BUW.

Verbrauchsgrößen/ Kostengrößen, die auf falschen bzw. nicht eindeutigen Bezugswerten basieren, verursachen unbrauchbare bzw. verzerrende Kenngrößen. Die korrekte Erhebung und Pflege mehrerer Flächengrößen pro Wohnanlage hat eine hohe Priorität, um zukünftig ein benchmarking zwischen studentischen Wohnanlagen grundsätzlich zu ermöglichen und zu erleichtern.

Die Bezugsgröße WE bzw. WP ermöglicht eine aussagekräftige Einstufung der Wohnheimgebäude untereinander. Sie leistet demgegenüber keine Rückkopplungsmöglichkeit zu Datengrundlagen (Energiekennwerte, Baunutzungskosten, Baukosten,...) anderer vorangegangener Untersuchungen und Gebäude- bzw. Nutzungstypen.

Um Kostenkennwerte mit anderen Untersuchungen in Relation setzen zu können, werden vorhandene Flächengrößen mittels der Faktoren aus [BMVBS2009 NWG] zu den benötigten Größen umgerechnet (soweit keine zusätzlichen, anderen Angaben vorliegen).



Ziffer nach BWZK	Gebäudekategorie	Flächen ⁶			
		HNF	NF	NGF	BGF
2240	Institutsgebäude IV ⁸	1,67	1,53	1,00	0,88
2250	Institutsgebäude V ⁸	1,94	1,75	1,00	0,89
2300	Institutsgebäude für Forschung und Untersuchung	1,76	1,61	1,00	0,87
2400	Fachhochschulen	1,76	1,61	1,00	0,87
3000	Gebäude des Gesundheitswesens	1,78	1,53	1,00	0,86
3200	Krankenhäuser und Unikliniken für Akutkranke	2,01	1,72	1,00	0,86
4000	Schulen	1,56	1,36	1,00	0,89
4100	Allgemeinbildende Schulen	1,54	1,40	1,00	0,90
4200	Berufsbildende Schulen	1,55	1,39	1,00	0,90
4300	Sonderschulen	1,56	1,39	1,00	0,88
4400	Kindertagesstätten	1,60	1,30	1,00	0,86
4500	Weiterbildungseinrichtungen	1,49	1,32	1,00	0,88
5000	Sportbauten	1,42	1,19	1,00	0,91
5100	Hallen (ohne Schwimmhallen)	1,40	1,17	1,00	0,91
5200	Schwimmhallen	1,72	1,40	1,00	0,88
6000	Gemeinschaftsstätten	1,58	1,32	1,00	0,84
6300	Gemeinschaftsunterkünfte	1,69	1,36	1,00	0,85
6400	Betreuungseinrichtungen	1,53	1,29	1,00	0,85

Tabelle 2.4. Nutzungsabhängige Umrechnungsfaktoren für Flächengrößen, geordnet nach dem Bauwerkszuordnungskatalog BWZK. Auszug aus [BMVBS2009 NWG]

Verwendete (ökonomische) Bezugsgrößen

Im Hinblick auf berechnete Kostenkennzahlen gilt es an dieser Stelle Unterschiede zwischen den Flächenbezugsgrößen (BGF und WF) und korrespondierenden Kostenkennzahlen zu erläutern. Die BGF setzt sich gemäß der DIN 277 aus der Netto-Grundfläche (NGF) des Bauwerks und der Konstruktions-Grundfläche (KGF) zusammen. Die NGF umfasst hierbei die Nutzfläche, die technische Funktionsfläche sowie die Verkehrsfläche und damit insbesondere auch die Wohnfläche (WF). Die KGF ergibt sich aus den Grundflächen der aufgehenden Bauteile. Maßgeblich für die Ermittlung der BGF sind die Außenmaße der Bauteile. Die WF einer Wohnanlage ergibt sich gemäß der Verordnung zur Berechnung der Wohnfläche (WoFIV) aus den Grundflächen der Räume, die zur alleinigen und gemeinschaftlichen Nutzung durch die Bewohner bestimmt sind. Maßgeblich für die Berechnung der WF sind die Innenmaße der Bauteile. Die WF ist eine echte Teilmenge der NGF und damit in den allermeisten Fällen kleiner als die BGF. (Abweichungen sind möglich bei Loggien, Dachschrägen etc.) Damit gilt insbesondere, dass Kostenkennzahlen bezogen auf die BGF stets kleiner sind als die korrespondierenden Kostenkennzahlen in Bezug auf die WF. Dieser Zusammenhang wird in der folgenden Abbildung nochmals illustriert.²

² Vgl. DIN 277-1 (2005-02), DIN 277-2 (2005-02).

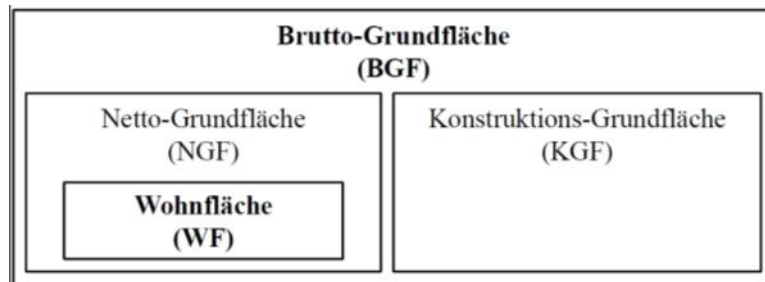


Abbildung 2.3. Abgrenzung der Flächenbezugsgrößen. Quelle: Darstellung des KIT.

Neben den beiden Flächenbezugsgrößen wurde die Anzahl der Wohnplätze (WP) als Bezugsgröße in die Betrachtung einbezogen, die aus Sicht der Betreiber, neben der WF, die wohl wichtigste Bezugsgröße darstellt. Die BGF hingegen wurde einbezogen, da sie die in der Immobilienwirtschaft übliche Bezugsgröße darstellt und ein späteres Benchmarking ermöglicht. Zum besseren Verständnis der Kostenkennwerte sowie zum Überblick über die Verhältnisse der einzelnen Bezugsgrößen in den einzelnen Gebäuden wurde für jedes Objekt j das Verhältnis der BGF ($V_{BGFj;WPj}$) sowie der WF ($V_{WFj;WPj}$) zur Anzahl der Wohnplätze (WP) gemäß der Gleichungen (2.1) und (2.2) berechnet.

$$V_{BGFj;WPj} = BGF_j / WP_j \text{ [m}^2\text{/Kopf]} \quad (2.1)$$

$$V_{WFj;WPj} = WF_j / WP_j \text{ [m}^2\text{/Kopf]} \quad (2.2)$$

Hierbei gilt es anzumerken, dass Abweichungen zwischen beiden Verhältnissen in Bezug auf dasselbe Objekt im Wesentlichen auf die in der BGF zusätzlich gegenüber der WF enthaltenen Flächen zurückzuführen sind. Von Interesse ist hierbei auch das Verhältnis von Wohnfläche pro Kopf. Die Relation von NGF zu Wohnheimplatz WP wird unter 2.2.4 genauer untersucht.

2.2.3. Mittelwertbildung

Die Spannweite der Anzahl der Wohnplätze je betrachteter Wohnanlage umfasst minimal 30 Plätze (ein Gebäude) und maximal 951 (im Gebäudeensemble).

Um den ggfs. verzerrenden Einfluss „kleiner“ Wohnanlagen (mit hohem Verkehrsflächenanteil) und „sehr großer“ Wohnanlagen im Hinblick auf die Mittelwertbildung auszuschließen, wird mit **flächengewichteten Mittelwerten** gearbeitet.

$$\bar{x} = (\sum_{i=1}^n w_i * x_i) / (\sum_{i=1}^n w_i) \quad (2.3)$$

mit

w Flächengröße des jeweiligen Wohnheimgebäudes

x_i Mittelwert

$i=1, \dots, n$ Index für die Anzahl von n zu vergleichenden Wohnheimgebäuden.



Ggfs. werden die Mittelwerte anstelle der Flächen auf die Wohnheimplätze WP gewichtet. Für eine Auswertung nach der Modalwert-Methode liegt mit 18 auswertefähigen Datenpaketen eine zu geringe Anzahl vor.

2.2.4. Sondernutzung(en) und NGF je Wohnheimplatz WP

In einigen Wohnanlagen sind räumliche Sondernutzungen integriert.

Es zeigt sich, dass in dieser Untersuchung die Sondernutzungen –in Form von z.B. einer KiTa, einem Café oder Büroräumen des ansässigen Studentenwerks- etwa 2 bis zu 21% der NGF anteilig belegen.

Diese -nicht direkt der Nutzung „studentisches Wohnen“ zuzuschreibenden- Flächen sind nicht aus der Gesamtfläche herausgenommen, weil wiederum eine klare Zuordnung von Verkehrsflächen zu entweder Wohnheimnutzung oder Sondernutzung nicht gegeben ist. Bestehende Sondernutzungen und ihr Flächenanteil sind in nachfolgender Grafik kenntlich gemacht.

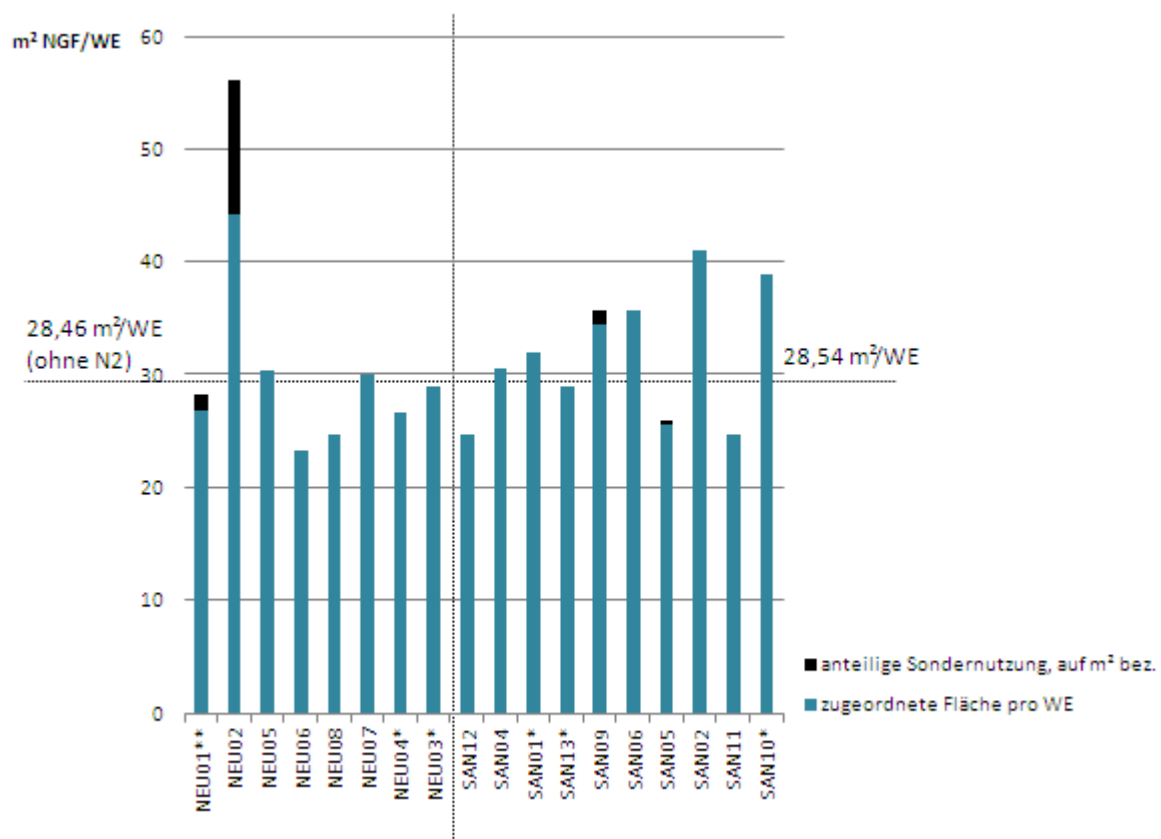


Abbildung 2.4. Relation zwischen beheizter NGF und Anzahl der Wohneinheiten WE einer studentischen Wohnanlage. Anteilig herausgestellte Sondernutzungen bei 4 Wohnanlagen. Quelle: Darstellung BUW.



Im Rahmen dieser Untersuchung stellt sich eine realisierte NGF je Wohnheimplatz von 28,5m² heraus. Dabei macht es keinen Unterschied, ob es sich um einen Neubau oder ein saniertes Objekt handelt. (Bei einer nicht flächengewichteten Bildung des Mittelwertes schneiden die Neubauobjekte mit 27m² gegenüber den Sanierungen mit 32m² je Wohneinheit ab.)

2.2.5. Belegung bzw. Leerstand

Alle Betreiber der untersuchten Wohnanlagen geben als Belegungsgrößenordnung in den besagten Jahren die (vermietete) Auslastung von 90-100% an (Ausnahme NEU01: k.A.). Daher wird von einem belastbaren Energieverbrauch ausgegangen, der nicht durch Leerstand verfälscht ist.

Allerdings können einige Jahreswerte des Energieverbrauchs einzelner Wohnanlagen im Ganzen nicht berücksichtigt werden. Bei den betreffenden Gebäuden wurden im ganzen Jahr bzw. in mehreren Monaten davon Bauarbeiten durchgeführt, die veränderte Verbrauchswerte vermuten lassen (z.B. hervorgerufen durch teilweisen Leerstand). Baubedingter Ausschluss von Jahreswerten betrifft folgende Wohnanlagen und folgende Jahre:

Name	Bauzeit	Konsequenz
SAN01	2005-2007 Sanierung	Verbrauchswerte 2007 nicht verwendet
SAN03	2010 Fassadensanierung Ende	
SAN09	Herbst 2009 Fassadensanierung	
SAN10	Bis Mai 2007	Verbrauchswerte 2007 nicht verwendet
SAN13	08.2007 bis 04.2008	Verbrauchswerte 2007/08 n. verwendet
NEU03	Fertigstellung 04.2007	Verbrauchswerte 2007 nicht verwendet
NEU04	Fertigstellung 08.2009	Nur Verbrauchswerte 2010 verwendet
NEU08	Fertigstellung 11.2008	Nur Verbrauchswerte 2009 verwendet

Tabelle 2.5. Bauzeiten der untersuchten Wohnanlagen.

Das arithmetische Mittel wird über die verbleibenden bereinigten Jahresverbrauchswerte angewendet. Die betroffenen Wohnanlagen sind in den nachfolgenden Grafiken mit einem * markiert.

2.2.6. Verbrauchsbereinigung

Es gibt Verbrauchsdaten (Wärme, Strom, Wasser) auf Jahresbasis: aus den Jahren 2007, 2008 und 2009.

Die freiwillige, zusätzliche Angabe von Verbrauchsdaten vor und nach einer ggfs. durchgeführten Sanierung ergab keine auswerte-fähige Datengrundlage.

Gemäß [VDI 3807] Blatt 1 wird der Wärmeverbrauch außentemperaturbereinigt.



Der jährliche (Wärme)Energieverbrauch [$\text{kWh}/\text{m}^2\text{a}$] ist in einen außentemperaturunabhängigen (Trinkwassererwärmung) und einen außentemperaturabhängigen Anteil (Heizenergie) aufgeteilt, wobei nur der außentemperaturabhängige Anteil bereinigt wird. Regulär lässt sich letzterer aus dem Wärmeverbrauch in den Sommermonaten Juni, Juli und August erschließen, da hier ausschließlich von Wärmeentnahme für die Warmwasserbereitung ausgegangen wird. Dieses Vorgehen erscheint ausgerechnet bei studentischen Wohnanlagen nicht zielführend, da besagte Monate in den Semesterferien liegen und schwerlich eine Aussage getroffen werden kann, wie viele Studierende tatsächlich anwesend sind (trotz ggfs. laufendem Mietvertrag). Somit wird vermutlich der Rückschluss auf den Heizenergieverbrauch verfälscht.

Die Abschätzung des Heizwärmeverbrauchsanteils pro Student wird anhand der Untersuchungen zum studentischen Wohnen von [Engelmann2010, Seite 43] vorgenommen. Aus dem hier gemessenen Endenergieverbrauch zur Trinkwassererwärmung von acht studentischen Wohnheimen in Niedrigenergie- bzw. Passivhausbauweise ermittelt sich ein Wohneinheit (=pro Kopf) WE - gewichtetes Mittel von **1.198 kWh/WE** für die Trinkwassererwärmung. Diese Größe wird jeweils – der Anzahl der Wohneinheiten entsprechend - vom Gesamtendenergieverbrauch Wärme subtrahiert.

Um den regionalen Unterschied der Einzelstandorte zu bereinigen, wird die Datenbasis Gradtagzahlen für Deutschland, mit den Klimadaten deutscher Wetterstationen, [IWUGradtag] herangezogen. Der jährliche Klimafaktor für Energieverbrauchskennwerte bezieht den jeweiligen Standort auf einen (festen) Mittelwert für Deutschland.

Die Summe aus bereinigten (Jahres-)Heizenergieverbräuchen und Anteil der Trinkwassererwärmung wird über die Jahre 2007 bis 2009 für jede Wohnanlage arithmetisch gemittelt.

2.3. Die Kostenbetrachtung

Die bei der Erstellung und beim Betrieb eines Gebäudes anfallenden Kosten werden in Relation zur vorhandenen energetischen Qualität und damit zusammenhängenden Energieverbräuchen gesetzt.

2.3.1. Allgemeines zu Erhebung und Analyse der Kostendaten

Im Allgemeinen können hinsichtlich des Zusammenhangs zwischen der energetischen Qualität von Gebäuden und den damit unmittelbar zusammenhängenden Kosten drei grundlegende Hypothesen untersucht und überprüft werden (vgl. Abbildung 2.5.):

- Hypothese 1: Eine höhere energetische Qualität (im Rahmen dieser Untersuchung gemessen am Heizenergiebedarf) geht mit höheren Herstellungskosten einher. Dies impliziert einerseits, dass zu jedem energetischen Qualitätsniveau eine hinsichtlich der Herstellungskosten optimale Kombination aus energetisch relevanten Bauteilen und technischen Anlagekomponenten existiert und andererseits, dass jedes energeti-

sche Qualitätsziel nur durch die jeweils optimale Kombination verwirklicht wird (Effizienzhypothese).

- Hypothese 2: Eine höhere energetische Qualität (gemessen am Heizenergiebedarf) geht mit geringeren zu erwartenden -vom Energiekonzept des Gebäudes beeinflussten- Nutzungskosten einher. Dies impliziert einerseits ein vergleichbares Nutzerverhalten und andererseits, dass sich Veränderungen in der Höhe und Struktur der Nutzungskosten zu Gunsten der Kombination mit der höheren energetischen Qualität auswirken. Letztere Implikation scheint insbesondere im Hinblick auf einen möglichen Trade-Off zwischen Kosten der Versorgung und Kosten der Instandhaltung interessant.
- Hypothese 3: In Kombination von Hypothese 1 und 2 kann postuliert werden, dass geringere vom Energiekonzept des Gebäudes beeinflusste Nutzungskosten durch höhere Herstellungskosten substituiert werden könnten, sodass bei der Optimierung der Kosten ein optimales Verhältnis zwischen den von Energiekonzept des Gebäudes beeinflussten Herstellungs- und Nutzungskosten existieren könnte.

Insgesamt stellt sich die Frage nach einem technisch-ökonomisch optimalen Verhältnis zwischen Herstellungs- und Nutzungskosten durch geeignete Kombination energetisch relevanter Bauteile und technischer Anlagekomponenten.

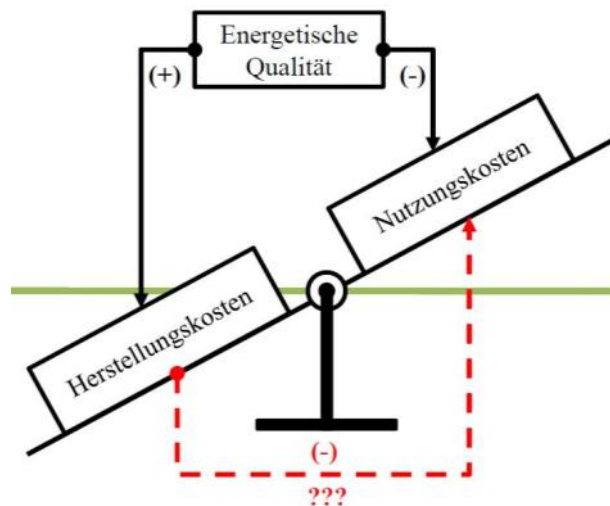


Abbildung 2.5. Hypothetische Zusammenhänge zwischen Kosten und energetischer Qualität.
Quelle: Darstellung des KIT.

Zur Untersuchung der Hypothesen sind zunächst Herstellungs- und Nutzungskosten sowie Bauteile und technische Anlagekomponenten zu identifizieren und strukturiert zu erfassen, die unmittelbar mit der energetischen Qualität von Gebäuden in Zusammenhang stehen.



Dies erfolgte auf Basis ausgewählter Herstellungskosten nach DIN 276 und Nutzungskosten nach DIN 18960 (vgl. Tabelle 2.6.).³

Kostenmodell	Herstellungskosten nach DIN 276 KG 300 und KG 400	Nutzungskosten nach DIN 18960							
		KG 300 Betrieb						KG 400 Instand- setzung	
		310 Versorgung			320 Entsorgung	330 Reinigung		350 Bedienung, Inspektion, Wartung	410 Baukonstruktion
		312-315 Heizenergie	316 Strom	311 Wasser	321 Abwasser	333 Fassaden	334 Technische Anlagen		420 Technische Anlagen
Σ Gesamtkosten									
300 Bauwerk-Baukonstruktion									
330 Außenwände	x					x		x	x
340 Innenwände	x							x	x
350 Decken	x							x	x
360 Dächer	x							x	x
400 Bauwerk-Technische Anlagen									
410 Abwasser, Wasser, Gasanlagen	x		x	x	x		x	x	x
420 Wärmeversorgungsanlagen	x	x	x				x	x	x
430 Lufttechnische Anlagen	x	(x)	x	(x)			x	x	x
460 Förderanlagen	x	(x)	x				x	x	x
470 Nutzungsspezifische Anlagen	x	(x)	x	(x)			x	x	x

Tabelle 2.6. Auswahl und Gliederung erhobener Kostendaten. Quelle: Darstellung des KIT

Die Isolation von Effekten eines bestimmten technischen Ausstattungsmerkmals auf die Höhe, Zusammensetzung und zeitliche Struktur der Kosten, erfordert:

- Eine ausreichend **große statistische Masse** (Anzahl der Gebäude), um überhaupt allgemeine Aussagen über Kosteneffekte bestimmter Technologien (z.B. Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung) oder Technologiekombinationen treffen zu können.
- Eine Klassifikation der Gebäude nach ähnlicher energetischer Qualität und Technologiekombination. Idealerweise sollten hierfür Energiebedarfsausweise und detaillierte Dokumentationen zur Gebäudehülle sowie zur technischen Gebäudeausstattung vorliegen. Die Klassifikation ist notwendig, da ein bestimmtes energetisches Qualitätsniveau durch unterschiedliche Technologiekombinationen erreichbar ist (vgl. Abbildung 2.6.) und Kosteneffekte einzelner Technologien nur isolierbar sind, wenn Gebäude verglichen werden, die über eine ähnliche energetische Qualität verfügen und möglichst nur in der gewünschten zu untersuchenden Technologie voneinander abweichen.

³ Vgl. DIN 18960 (2008-02), DIN 276-1 (2008-12)



- Eine ausreichend **große Anzahl Gebäude pro Klasse**, um die Repräsentativität zu gewährleisten und die Allgemeingültigkeit von Aussagen bezüglich dieser Gebäudeklassen zu rechtfertigen.

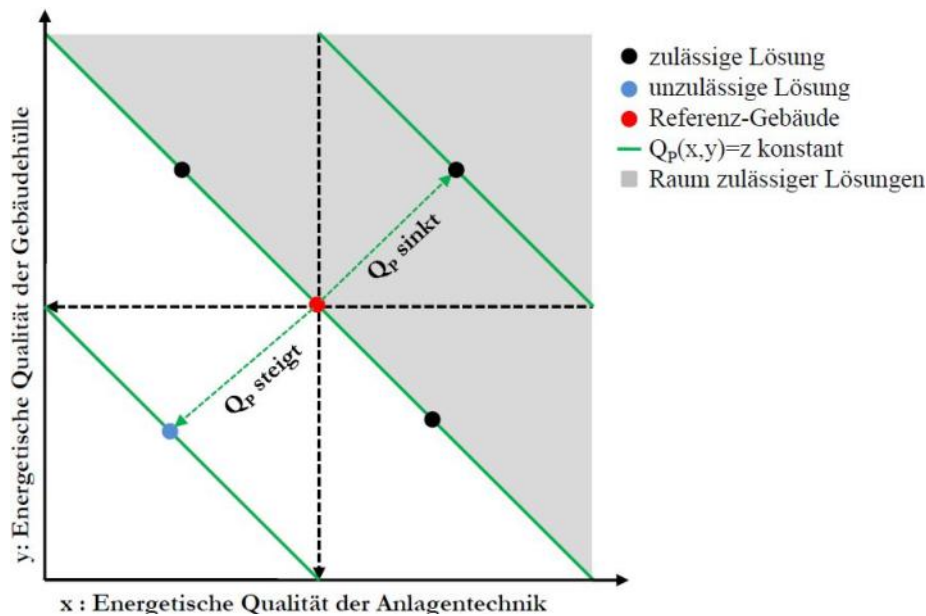


Abbildung 2.6. Spielraum durch Technologiekonstellationen zur Erfüllung der EnEV beim Neubau. Quelle: Darstellung KIT.

Die drei genannten Prämissen sind auf Grund der vorliegenden Daten unzureichend erfüllt. Insbesondere die geringe statistische Masse lässt keine allgemeingültigen Aussagen zu. Darüber hinaus beschränkt die Verfügbarkeit der Daten zu Kosten und der technischen Ausstattung die Analysierbarkeit der genannten Hypothesen. Dies wird nun im Folgenden dargestellt.

2.3.2. Verfügbarkeit und Analysierbarkeit der Kostendaten

Die Tabelle 2.7. gibt einen Überblick über die Vollständigkeit und Verfügbarkeit der abgefragten Kostendaten. Abgefragt wurden alle in Tabelle 2.6. genannten Kostenpositionen für die Jahre 2007 bis 2009. Falls Kostendaten bei einem Objekt für mindestens eines der drei Jahre vorlag, wurde die Position mit dem Wert 1, ansonsten mit dem Wert Null belegt. Die Vollständigkeit der Daten wurde anschließend an Hand der relativen Häufigkeit der Werte für jede Kostenposition bewertet. Als Anzahl der Objekte wurde jeweils die Anzahl ohne die rot markierten auf Grund vollständig fehlender Kostendaten ausgeschlossenen Gebäude herangezogen. Bei dieser Vorgehensweise zeigt sich, dass je kleiner die Anzahl analysierbarer Gebäude ist, desto negativer wirken sich vorhandene Datenlücken auf die Analysierbarkeit der Kosten aus. Die analysierten Gebäude und Kosten sind in Tabelle 2.7. grün, die nicht analysierten Gebäude und Kosten rot markiert. Insgesamt ergeben sich aus der Datengrundlage folgende Beschränkungen bezüglich der Analyse:



- Zusammenhänge zwischen der energetischen Qualität und den Herstellungskosten lassen sich weder bei den Neubauten noch bei den Sanierungen ableiten.
- Zusammenhänge zwischen der energetischen Qualität und den Nutzungskosten lassen sich nur beschränkt bezogen auf die Versorgungskosten sowie die Kosten für Betrieb, Inspektion und Wartung ableiten. Insbesondere gilt es hier anzumerken, dass ein möglicher Trade-Off zwischen Versorgungskosten und Kosten für Instandhaltung sowie Instandsetzung nicht untersucht werden kann.
- Zusammenhänge zwischen Herstellungskosten und Nutzungskosten lassen sich weder bei Neubauten noch bei den Sanierungen ableiten.

Qualität der Kostendatensätze	Neubau									Sanierung													Vollständigkeit ohne S7 & S8
	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	Vollständigkeit ohne N3 & N4	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	
1: ausreichend/Daten vorhanden 0: unzureichend/keine Daten																							
Baukosten (brutto)																							
Gesamtkosten - Bauwerk																							
KG 300 Bauwerk-Baukonstruktionen																							
KG 330 - Außenwände	1	1	0	0	0	0	0	0	33%	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	82%
KG 340 - Innenwände	1	0	0	0	0	0	0	0	17%	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	64%
KG 350 - Decken	0	0	0	0	0	0	0	0	0%	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	36%
KG 360 - Dächer	1	0	0	0	0	0	0	0	17%	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	36%
KG 400 Bauwerk- Technische Anlagen																							
KG 410 - Abwasser, Wasser, Gasanlagen	1	0	0	0	1	1	0	1	67%	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	64%
KG 420 - Wärmeversorgungsanlagen	1	0	0	0	1	1	0	1	67%	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	64%
KG 430 - Lufttechnische Anlagen	1	0	0	0	1	1	0	1	67%	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	27%
KG 460 - Förderanlagen	1	0	0	0	1	0	0	1	50%	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	27%
KG 470 - Nutzungsspezifische Anlagen	1	0	0	0	0	0	0	1	33%	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	18%
Nutzungskosten Mittel (brutto)	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	ohne N3 & N4	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	ohne S7 & S8
300 Betriebskosten																							
310 Versorgung	1	1	0	0	1	1	1	1	100%	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	100%
311 Wasser	1	1	0	0	1	1	1	1	100%	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	100%
312 Öl oder 313 Gas oder 314 Feste Brennstoffe oder 315 Fernwärme	1	1	0	0	1	1	1	1	100%	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	100%
316 Strom	1	1	0	0	1	1	1	1	100%	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	100%
320 Entsorgung	1	1	0	0	1	1	1	0	83%	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	1	1	82%
322 Entsorgung Abfall	1	1	0	0	1	1	1	0	83%	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	1	1	82%
330 Reinigung und Pflege von Gebäuden	0	1	0	0	0	0	1	1	50%	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	45%
333 Fassadenreinigung	0	1	0	0	0	0	0	1	33%	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18%
334 Reinigung technische Anlagen	0	0	0	0	0	0	0	0	0%	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	27%
350 Bedienung, Inspektion und Wartung	1	0	0	0	1	1	1	1	83%	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	91%
400 Instandsetzungskosten																							
410 Instandsetzung der Baukonstruktion	1	1	0	0	0	0	1	0	50%	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	45%
420 Instandsetzung der Technischen Anlagen	1	1	0	0	0	0	0	0	33%	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	55%

Tabelle 2.7. Vollständigkeit der Kostendaten. Quelle: Darstellung des KIT.

2.3.3. Verfügbarkeit und Analysierbarkeit der Daten zur Gebäudetechnik

Eine mögliche Datengrundlage zur energetischen Qualität sowie der technischen Ausstattung würde sich aus Energiebedarfsausweisen nach EnEV ergeben, die nur in sehr geringer Anzahl bei den Neubauten bzw. bei den Sanierungen vorlagen. Um darüber hinaus ein Bild zur Verfügbarkeit und Vollständigkeit von Daten zur energetischen Qualität sowie technischen Ausstattungsmerkmalen zu vermitteln, werden die auf Grund der verfügbaren Daten zur Gebäudetechnik identifizierbaren Merkmale der technischen Ausstattung (Tabelle 2.9.),



potentiellen erfassbaren Merkmalen am Beispiel eines anderen Forschungsprojektes⁴ (Tabelle 2.8.) gegenübergestellt. Aus der Gegenüberstellung wird ersichtlich, dass insbesondere keine Daten zur energetischen Qualität der Gebäudehülle vorhanden sind. Darüber hinaus sind die Daten zur technischen Gebäudeausrüstung mit einer geringeren Detailtiefe versehen, als dies in Tabelle 2.8 der Fall ist. Daten zur Kühlung sind irrelevant, da die untersuchten Studierendenwohnheime über keinerlei Anlagen zur Kühlung verfügen.

Gebäudehülle				Haustechnik													
Qualität	Ausführung	Ver- glasung	Sonnen- schutz	Wärmeerzeugung		Wärmeübergabe	Kälte- erzeugung		Kälteübergabe		Luftwechsel	Beleuchtung	Allgemein				
				erneuerbar	nicht erneuerbar		aktiv	passiv	aktiv								
Niedrigenergiehaus	Passivhaus																
	konventionell																
	ökologisch																
	Vakuum																
	mit Atrium																
	Wärmeschutzverglasung																
	Passivhausverglasung																
	innenliegend																
	außenliegend																
	Biomasse																
	Wärmepumpe																
	Erdsonden																
	Solarthermie																
	Kraft-Wärme-Kopplung																
	Wärme-Kälte-Verbund																
	Brennwertkessel																
	Niedertemperaturkessel																
	Fernwärme																
	Kraft-Wärme-Kopplung																
	Wärme-Kälte-Verbund																
	Radialen Konvektoren																
	Flickenheizung																
	Betonkerntemperierung																
	Wärmewasser zentral																
	Wärmewasser dezentral, elektr.																
	Kompressionskältemaschine																
	Absorptionskältemaschine																
	Erdsonden																
	PCM																
	Betonkerntemperierung																
	Nachtlüftung																
	Kühlschrank																
	Teilklimateilung (z.B. Split-Klima)																
	Vollklimateilung																
	Abluft																
	Zu- und Abluft																
	Kühlgitter																
	Heizkörper																
	Befeuchtung																
	Wärmerückgewinnung																
	Erdwärmehaube																
	Tageslichtoptimierung																
	Kunstlichtautomation																
	Gebäudeautomation																
	Solarstrom																
	Regenwasserkonzept																

Tabelle 2.8. Referenzmerkmale zur Gebäudetechnik. Quelle: Unholzer et al (2010), S.31

Energieausweis		Heizenergie inkl. WWB										Kaltwasser	Strom		
		Energieträger		Erzeuger	Übergabe	Regelung	Solarthermie	Lüftung				Armaturen	Beleuchtung im Flurbereich		
ja		Heizöl													
nein		Erdgas													
		Fernwärme													
		Geothermie													
		Rapsöl													
		Baujahr													
		Kessel													
		BHK W													
		Brennwertnutzung													
		Heizkörper													
		Flächenheizung													
		Nachtsabsenkung													
		Kopplung Fenster-Thermostat													
		nein													
		mit HU													
		ohne HU													
		keine													
		Abluftanlage													
		Zu- und Abluft													
		Wärmerückgewinnung													
		Bedarfslüftung													
		Dauerlüftung													
		nur Nassräume/Küche													
		sparsam													
		normal													
		Leuchstofflampen													
		Tastschalter													
		Dimmung													
		Bewegungsmelder													
		Zeitschaltung													

Tabelle 2.9. Verfügbare Merkmale zur Gebäudetechnik. Quelle: Darstellung des KIT.

2.4. Darstellung der Methodik der berechneten Ergebnisse

Nach dem die Beschränkungen der Analyse, die sich aus der verfügbaren Datenbasis ergeben, dargelegt wurden, wird im Folgenden die daraus abgeleitete Analysemethodik erläutert. Gegenstand der Analyse kann auf Grund der Datenlage lediglich der Zusammenhang zwischen der energetischen Qualität und den Versorgungskosten sowie der Kosten für Betrieb, Inspektion und Wartung sein. Insbesondere kann, wie bereits erwähnt, auf Grund der geringen statistischen Masse kein Anspruch auf Allgemeingültigkeit getroffener Aussagen

⁴ Energieoptimiertes Bauen (EnOB), gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi).



bezüglich der Zusammenhänge erhoben werden. Die im Rahmen der folgenden Analyse notwendigen und eingegangenen Daten sind in Tabelle 2.10. aufgeführt. Die notwendigen allgemeinen Daten beinhalten hierbei Bezugsgrößen für die berechneten Kostenkennwerte sowie die Ausprägungen der verfügbaren Merkmale der Gebäudetechnik (EQMerkmale).

Hinsichtlich der aufgeführten Kosten und Verbräuche gilt, dass mindestens jeweils ein Wert aus den Jahren 2007 bis 2009 vorliegen musste. Die Gebäude N3 und N4 bei den Neubauten sowie S7 und S8 bei den Sanierungen konnten nicht in die Analyse aufgenommen werden. Unter den analysierten Gebäuden weisen die Gebäude N2 und S9 keine Daten zu den Kosten für Betrieb, Inspektion und Wartung auf. Die folgenden Berechnungen wurden jeweils getrennt für die Neubauten und die Sanierungen auf gleiche Art und Weise durchgeführt.

		allgemeine Daten					Verbräuche									Betriebskosten														
							Heiz- energie			Strom			Wasser			Versorgung									Betrieb, Inspektion, Wartung					
																Heiz- energie			Strom			Wasser								
																									EQ-Merkmale	Anzahl Plätze	Anzahl WE	BGF	Wohnfläche	2007
Neubau	N1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	N2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	
	N3	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	N4	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	N5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	N6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	N7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	N8	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1
Sanierung	S1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	S2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	S3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	S4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1
	S5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	S6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1
	S7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	S8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	S9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	
	S10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	S11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	S12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	S13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	

Tabelle 2.10. Ausgewählte und analysierte Daten. Quelle: Darstellung des KIT.



2.4.1. Berechnung der ausgewählten und analysierten Kostendaten

Eine Kostenkennzahl dient allgemein dem Vergleich der Kosten mehrerer Gebäude in einer bestimmten Kostengruppe und ergibt sich gemäß

$$k_{A_j;B_j} = K_{A_j} / B_j \quad (2.4)$$

mit K_{A_j} Absoluter Wert in Kostenart A, des Gebäudes j;
 B_j Absoluter Wert der Bezugsgröße B, des Gebäudes j;
 $j = 1, \dots, n$ Index für die Anzahl von n zu vergleichenden Gebäuden.

Ausgewählte Kostenarten

Auf Grund unvollständiger Daten wurden, wie bereits beschrieben, nur die Kosten für Versorgung (K_{Vj}) sowie Bedienung, Inspektion und Wartung (K_{BIWj}) eines Gebäudes j untersucht. Die Kosten für Versorgung eines Gebäudes j ergeben sich hierbei gemäß Gleichung 2.5 aus den (Brutto)Kosten für den Bezug von Heizenergie (K_{Hj}), Strom (K_{Sj}) und Wasser (K_{Wj}).

$$K_{Vj} = K_{Hj} + K_{Sj} + K_{Wj} \text{ [EUR]} \quad (2.5)$$

Die Kostenwerte ergeben sich hierbei, abgesehen von Gleichung 2.5, aus den durchschnittlichen Kosten der jeweiligen Kostengruppen gemäß

$$K_{Hj} = 1/m \sum_{t=1}^m K_{Hj;t} \text{ [EUR]}, \quad (2.6)$$

$$K_{Sj} = 1/m \sum_{t=1}^m K_{Sj;t} \text{ [EUR]}, \quad (2.7)$$

$$K_{Wj} = 1/m \sum_{t=1}^m K_{Wj;t} \text{ [EUR]} \text{ und} \quad (2.8)$$

$$K_{BIWj} = 1/m \sum_{t=1}^m K_{BIWj;t} \text{ [EUR]} \quad (2.9)$$

Mit $K_{Hj;t}$ Kosten für Bezug von Heizenergie des Gebäudes j im Jahr t;
 $K_{Sj;t}$ Kosten für Bezug von Strom des Gebäude j im Jahr t;
 $K_{Wj;t}$ Kosten für Bezug von Wasser des Gebäude j im Jahr t;
 $K_{BIWj;t}$ Kosten für Betrieb, Instandhaltung, Wartung des Gebäudes j im Jahr t;
 $t = 1, \dots, m$ Laufindex für das Jahr 1, ..., m mit $m \leq 3$ Jahre.

An dieser Stelle gilt es anzumerken, dass es sich um rein nominale und keine realen Werte handelt. Eine sinnvolle Inflationsbereinigung war mangels Kenntnis über anteilige Lohn- und Arbeitskosten sowie Tarifstrukturen nicht durchführbar.

Berechnete Kostenkennzahlen

Zum Vergleich der Kosten der Objekte wurden als Bezugsgrößen die Bruttogrundfläche (BGF), die Wohnfläche (WF) sowie die **Anzahl Wohnplätze (WP)** bzw. WE verwendet und damit für jede Kostenart A = V, H, S, W, BIW und jedes Objekt j = 1, ..., m jeweils drei Kostenkennwerte gemäß der Gleichungen (2.10), (2.11) und (2.12) berechnet.



$$K_{A_j;BGF_j} = K_{A_j} / BGF_j \text{ [EUR/m}^2\text{]} \quad (2.10)$$

$$K_{A_j;WF_j} = K_{A_j} / WF_j \text{ [EUR/m}^2\text{]} \quad (2.11)$$

$$K_{A_j;WP_j} = K_{A_j} / WP_j \text{ [EUR/Kopf]} \quad (2.12)$$

2.4.2. Berechnung spezifischer durchschnittlicher Mischpreise

Obwohl keine Informationen über die Tarifstrukturen des Energiebezugs der einzelnen Gebäude vorlagen, muss in der Analyse beachtet werden, dass die Gebäude auf Grund unterschiedlicher Größe bzw. Verbräuche und Standorte **verschiedenen Konditionen** in den Versorgungstarifen unterliegen. Um diesen Tatbestand berücksichtigen zu können, wurden die Kosten für Heizenergie (K_{Hj}), Strom (K_{Sj}) und Wasser (K_{Wj}) jedes Objekts j auf die korrespondierenden durchschnittlichen Verbräuche für Heizenergie (E_{Hj}), Strom (E_{Sj}) und Wasser (E_{Wj}) jedes Gebäude j bezogen. Daraus ergeben sich gemäß der Gleichungen (2.13), (2.14) und (2.15) die durchschnittlichen Mischpreise für Heizenergie (p_{Hj}), Strom (p_{Sj}) und Wasser (p_{Wj}) für jedes Gebäude j .

$$p_{Hj} = K_{Hj} / E_{Hj} = 1/m \sum_{t=1}^m K_{Hj;t} / E_{Hj;t} \text{ [EUR/kWh]} \quad (2.13)$$

$$p_{Sj} = K_{Sj} / E_{Sj} = 1/m \sum_{t=1}^m K_{Sj;t} / E_{Sj;t} \text{ [EUR/kWh]} \quad (2.14)$$

$$p_{Wj} = K_{Wj} / E_{Wj} = 1/m \sum_{t=1}^m K_{Wj;t} / E_{Wj;t} \text{ [EUR/m}^3\text{]} \quad (2.15)$$

Um die Unterschiede in den Versorgungskonditionen deutlicher zu machen, wurden die absoluten Abweichungen der Mischpreise jedes Gebäudes j von den korrespondierenden mittleren Mischpreisen berechnet, gemäß

$$p_{Hj}^d = p_{Hj} - p_H^m = p_{Hj} - 1/n \sum_{j=1}^n p_{Hj} \text{ [EUR/kWh]}, \quad (2.16)$$

$$p_{Sj}^d = p_{Sj} - p_S^m = p_{Sj} - 1/n \sum_{j=1}^n p_{Sj} \text{ [EUR/kWh]}, \quad (2.17)$$

$$p_{Wj}^d = p_{Wj} - p_W^m = p_{Wj} - 1/n \sum_{j=1}^n p_{Wj} \text{ [EUR/m}^3\text{]}, \quad (2.18)$$

mit

p_{Hj}^d Mittlere Abweichung des durchschnittlichen Mischpreises für Heizenergie des Gebäudes j vom mittleren durchschnittlichen Mischpreis für Heizenergie über allen Gebäuden;

p_{Sj}^d Mittlere Abweichung des durchschnittlichen Mischpreises für Strom des Gebäudes j vom mittleren durchschnittlichen Mischpreis für Heizenergie über allen Gebäuden;

p_{Wj}^d Mittlere Abweichung des durchschnittlichen Mischpreises für Wasser des Gebäudes j vom mittleren durchschnittlichen Mischpreis für Heizenergie über allen Gebäuden;



p_{Hj}	Durchschnittlicher Mischpreis für Heizenergie des Gebäudes j;
p_{Sj}	Durchschnittlicher Mischpreis für Strom des Gebäudes j;
p_{Wj}	Durchschnittlicher Mischpreis für Wasser des Gebäudes j;
p_H^m	Mittlerer durchschnittlicher Mischpreis für Heizenergie über allen Gebäuden;
p_S^m	Mittlerer durchschnittlicher Mischpreis für Strom über allen Gebäuden;
p_W^m	Mittlerer durchschnittlicher Mischpreis für Wasser über allen Gebäuden;
$j = 1, \dots, n$	Laufindex für die Gebäude 1,...,n.

2.4.3. Berechnung der Kostenkennzahlen relativ zum Benchmark

Im Folgenden wird erläutert, wie die ermittelten Kostenkennwerte jedes Objekts relativ zu den Kostenwerten eines gewählten Benchmarks i.S. eines Best-Practice-Gebäudes bewertet wurden. Diese Bewertung wurde vorgenommen, um

- erstens Abweichungen der Kostenkennwerte zu den Kostenkennwerten des ausgewählten Best-Practice-Gebäudes zu berechnen und
- zweitens Abweichungen der Kostenkennwerte auf Abweichungen in energetischen Merkmalen des Gebäude zurückführen zu können.

Bei der Berechnung wurde in zwei Schritten, der Auswahl des Best-Practice-Benchmarks und der Berechnung der Kostenkennzahlen relativ zum gewählten Best-Practice-Benchmark, vorgegangen. Diese beiden Schritte werden an dieser Stelle kurz erläutert.

Schritt 1: Auswahl des Best-Practice-Gebäudes

Zur Auswahl des Benchmark wurde zunächst für jedes Gebäude j der witterungsbereinigte Heizenergieverbrauch für die Heizung pro Wohneinheit ($e_{Hh,j}$) wie folgt berechnet:⁵

$$e_{Hh,j} = 1/n \cdot (E_{Hges;j,t} - E_{Htww;j,t}) / WE_j \cdot f_{Klima;j,t} \quad [kWh/WE] \quad (2.19)$$

mit

$E_{Hges;j,t}$ Energieverbrauch in kWh für Heizung und Trinkwarmwasser des Gebäudes j in Jahr t;

$E_{Htww;t,j}$ Energieverbrauch in kWh für Trinkwarmwasser des Gebäudes j im Jahr t (pauschal $1:197 \cdot kWh/WE \cdot a \cdot WE$ für alle Gebäude);

WE_j Anzahl der Wohneinheiten des Gebäudes j;

$f_{Klima;t,j}$ Klimafaktor des Gebäudes j im Jahr t;

$t = 1, \dots, n$ Zählindex von Jahr 1 bis n mit $n \leq 3$.

Anschließend wurde das Gebäude i^* als Benchmark ausgewählt, das den geringsten durchschnittlichen, witterungsbereinigten Heizenergieverbrauch für Heizung pro Wohneinheit aufweist (vgl. Gleichung 2.20).

$$e_{Hh,i^*} = \min_{j=1, \dots, k} (e_{Hh,1}, \dots, e_{Hh,k}) \quad (2.20)$$

⁵ Vgl. BMVBS (2009).



Schritt 2: Berechnung der Energiekennzahlen relativ zum Benchmark

Für jedes Objekt ($j = 1, \dots, k$) außer dem jeweiligen Best-Practice-Benchmark (i^*) wurden die relativen Abweichungen aller Kostenkennzahlen von den korrespondierenden Kostenkennzahlen des Best-Practice-Benchmarks, wie folgt berechnet:

$$k^+_{V_j;B_j} = (k_{V_j;B_j} - k_{V_{i^*};B_{i^*}}) / (k_{V_{i^*};B_{i^*}}) * 100 [\%]; \quad (2.21)$$

$$k^+_{BIW_j;B_j} = (k_{BIW_j;B_j} - k_{BIW_{i^*};B_{i^*}}) / (k_{BIW_{i^*};B_{i^*}}) * 100 [\%]; \quad (2.22)$$

$$k^+_{H_j;B_j} = (k_{H_j;B_j} - k_{H_{i^*};B_{i^*}}) / (k_{H_{i^*};B_{i^*}}) * 100 [\%]; \quad (2.23)$$

$$k^+_{S_j;B_j} = (k_{S_j;B_j} - k_{S_{i^*};B_{i^*}}) / (k_{S_{i^*};B_{i^*}}) * 100 [\%]; \quad (2.24)$$

$$k^+_{W_j;B_j} = (k_{W_j;B_j} - k_{W_{i^*};B_{i^*}}) / (k_{W_{i^*};B_{i^*}}) * 100 [\%]; \quad (2.25)$$

mit

$k^+_{V_j;B_j}$	Relative Abweichung der Versorgungskosten des Gebäudes j bezogen auf Bezugsgröße B_j zum korrespondierenden Kennwert des Benchmark (i^*);
$k^+_{BIW_j;B_j}$	Relative Abweichung der Betriebs-, Wartungs- und Inspektionskosten des Gebäudes j bezogen auf Bezugsgröße B_j zum korrespondierenden Kennwert des Benchmark (i^*);
$k^+_{H_j;B_j}$	Relative Abweichung der Kosten für Heizenergie des Gebäudes j bezogen auf Bezugsgröße B_j zum korrespondierenden Kennwert des Benchmark (i^*);
$k^+_{S_j;B_j}$	Relative Abweichung der Kosten für Strom des Gebäudes j bezogen auf Bezugsgröße B_j zum korrespondierenden Kennwert des Benchmark (i^*);
$k^+_{W_j;B_j}$	Relative Abweichung der Kosten für Wasser des Gebäudes j bezogen auf Bezugsgröße B_j zum korrespondierenden Kennwert des Benchmark (i^*).

2.4.4. Interpretation der Ergebnisse

Im Folgenden wird am Beispiel des Best-Practice-Benchmark (1st best) im systematischen Vergleich zu den beiden bezüglich des durchschnittlichen bereinigten Heizenergieverbrauchs für Heizung (pro WE) nächst besten Gebäuden (2nd best, 3rd best) dargelegt, wie Unterschiede in den Kostenkennwerten durch Unterschiede in energetischen und technischen Merkmalen der Gebäude erklärt werden könnten. Maßgeblich für die Zielgruppe sind hierbei die **Kostenkennwerte**, die sich auf die **Anzahl Wohnplätze** WP beziehen. Prinzipiell kann die hier geschilderte Vorgehensweise auch mit den anderen berechneten Kostenkennwerten durchgeführt werden. Zur Rückführung von Unterschieden in Kostenkennwerten auf Unterschiede in technischen Merkmalen wurde in drei Schritten vorgegangen, die hier nun kurz erläutert werden.

Schritt 1: Vergleich und Ranking der besten Gebäude in Kosten und Mischpreisen

Im ersten Schritt werden die Ausprägungen der drei Gebäude in den Kostenkennzahlen sowie den Mischpreisen gegenübergestellt. Dies erfolgt jeweils graphisch und der Übersichtlichkeit halber in Form eines Rankings. Beim Ranking der drei Gebäude in den Kostenkenn-



werten und Mischpreisen wurde den jeweils besten Ausprägungen der Wert 1 und den schlechtesten der Wert 3 zugewiesen.

Schritt 2: Beurteilung der Rückführbarkeit der Unterschiede in Kostenkennwerten auf Unterschiede der Ausprägungen in technischen Merkmalen

Unterschiede in den Kosten für Betrieb, Inspektion und Wartung sind prinzipiell vor dem Hintergrund unterschiedlicher technischer und energetischer Merkmale zu vergleichen. Unterschiede in den Kosten für die Versorgung mit Heizenergie, Strom und Wasser jedoch können durch Unterschiede in Ausprägungen technischer Merkmale sowie Unterschieden in den Mischpreisen für Heizenergie, Strom und Wasser begründet sein. Dabei ergeben sich insbesondere zwei zu berücksichtigende Fallunterscheidungen:

- Unterschiede in den Kosten für die Versorgung mit Heizenergie, Strom oder Wasser können eindeutig auf Unterschiede in Ausprägungen technischer Merkmale zurückgeführt werden, wenn sich die jeweiligen Kostenunterschiede entgegengesetzt zu den Unterschieden in den korrespondierenden Mischpreisen ergeben.
- Unterschiede in den Kosten für die Versorgung mit Heizenergie, Strom oder Wasser können nicht eindeutig auf Unterschiede in Ausprägungen technischer Merkmale zurückgeführt werden, wenn sich die jeweiligen Kostenunterschiede nicht entgegengesetzt zu den Unterschieden in den korrespondierenden Mischpreisen ergeben. In diesem Fall können die Kostenunterschiede sowohl in unterschiedlichen Mischpreisen als auch in unterschiedlichen Ausprägungen technischer Merkmale begründet sein.

Der Übersichtlichkeit halber wird dieser Zusammenhang für den Vergleich der drei Gebäude jeweils in Form einer Tabelle dargestellt.

Schritt 3: Vergleich und Beurteilung der Unterschiede in technischen Merkmalen

Aus dem Vergleich der Unterschiede in jedem Kostenkennwert und den jeweiligen Mischpreisen sowie den korrespondierenden relevanten und verfügbaren Ausprägungen in technischen Merkmalen können gemäß der in Abbildung 1.4. dargestellte Schlussfolgerungen unter Berücksichtigung der Plausibilität der Ergebnisse sowie ggf. nicht vorhandener und berücksichtigter Daten und Informationen gezogen werden.



Kosten- kennwert	korrespondierende technische Ausprägungen			korrespondierender Mischpreis
	besser	gleich	schlechter	
geringer	Fall 1	Fall 3	Fall 5	geringer
	Fall 2	Fall 6	Fall 6	gleich
	Fall 2	Fall 6	Fall 6	höher
gleich	Fall 6	Fall 6	Fall 6	geringer
	Fall 6	irrelevant	Fall 6	gleich
	Fall 6	Fall 6	Fall 6	höher
höher	Fall 6	Fall 6	Fall 2	geringer
	Fall 6	Fall 6	Fall 2	gleich
	Fall 4	Fall 3	Fall 1	höher

Fall 1	Der Kostenunterschied ist auf Unterschiede in der Technik und dem Mischpreis zurückzuführen. Rückschlüsse auf Unterschiede in der Technik können nicht eindeutig gemacht werden.
Fall 2	Der Kostenunterschied ist eindeutig auf Unterschiede in der Technik
Fall 3	Der Kostenunterschied ist eindeutig auf Unterschiede in den Mischpreisen
Fall 4	In diesem Fall wird der positive Effekt besserer Technik auf die Kosten höhere Mischpreise überkompensiert.
Fall 5	In diesem Fall wird der negative Effekt schlechterer Technik auf die Kosten durch geringere Mischpreise überkompensiert.
Fall 6	In diesem Fall ist keine plausible Aussage möglich. Dies kann ggf. auch durch eine nicht ausreichende Datenlage zu weiteren relevanten technischen Merkmalen

Abbildung 2.7. Logik der Interpretation und Schlussfolgerungen. Quelle: Darstellung des KIT.

Zur Gegenüberstellung der Ausprägungen in technischen Merkmalen der drei Gebäude wurden jeweils die betreffenden Ausschnitte der Tabelle 2.11. verwendet. Eine ausführliche Gegenüberstellung und Auflistung aller berechneten Ergebnisse für alle betrachteten Gebäude befindet sich in tabellarischer Form im Anhang.



Energetische Merkmale		Energieausweis		Heizenergie inkl. WWB																		Kalt- wasser		Strom											
				Energieträger						Erzeuger				Über- gabe		Regel- ung		Solarthermie			Lüftung														
		ja	nein	Heizöl	Erdgas	Fernwärme	Geothermie	Rapsöl	Baujahr	Kessel	BHKW	Brennwertnutzung	Heizkörper	Flächenheizung	Nachtsabsenkung	Kopplung Fenster-	nein	mit HU	ohne HU	keine	Abluftanlage	Zu- und Abluft	Wärmerückgewinnung	Bedarfslüftung	Dauerlüftung	nur Nassräume/Küche	sparsam	normal	Leuchtstofflampen	Tastschalter	Dimmung	Bewegungsmelder	Zeitschaltung		
Neubau	N1	x			x			-				x				x				x			-	-	x		x	x							
	N2	x			x			2004	x		x	x				x				x			x		x		x	x							
	N3	x			x			2009	x		x	x		x		x				x			x		x		x	x					x		
	N4	x				x	x	-					x	x		x				x			x		x	x		x					x		
	N5	x				x		-				x					(x)	(x)			x		x		x		x	x							
	N6	x			x			2005					x				x				x			x		x		x	x						
	N7	x				x		-					x			x				x			x		x		x		x					x	
	N8	x					x	2008						x	x		x			x								x	x			x			
Sanierung	S1	x				x		-				x				x				x			-	-	x	x		x							
	S2	x				x		-				x				x				x			x		x		x	-							
	S3	x						2008		x		x				x				x			-	-	x		x	x							
	S4	x			x			-				x				x				x			x		x		x	-							
	S5	x				x		-				x		x				x			x	x		x		x		x	x						
	S6	x				x		-				x		x	x			x			x	x		x		x		x					x		
	S7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	S8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	S9		x			x		-				x					x				x			x	x		x	x							
	S10		x			x		-				x			x	x					x			x		x		x	x					x	
	S11		x			x		-				x						x			x			x		x		x	x						
	S12		x			x		2005(09)	(x)	x	(x)	x		x						x			x		x		x	x							x
	S13		x			x		1984				x				x						x	x		x		x		x						

Tabelle 2.11. Verfügbare Daten zur Gebäudetechnik. Quelle: Darstellung des KIT.

3. Phase 3- die Auswertung

Phase 3 hat die Bildung von Kennwerten und die Querschnittsanalyse als Schwerpunkt.

Aus den 18 Studentenwerken mit 24 Wohnanlagen meldeten sich 16 Studentenwerke mit 21 Wohnanlagen mit Daten zu den entsprechenden Wohnanlagen zurück. Hierbei handelt es sich um 8 Neubauprojekte und 13 Sanierungsobjekte.

Bei 3 Sanierungsobjekten gestaltet sich die Auswertung schwierig bis unmöglich, da die Datengrundlage unvollständig und nicht klar einzugrenzen ist.

3.1. Zusammenfassung Datenerhebung

Aus den vorliegenden Daten kann eine erste Übersicht über alle 18 Wohnanlagen erstellt werden, die die einzelnen Rankings in den jeweiligen Kategorien (je WE) verdeutlicht. Die kleinsten Wohnanlagen (auf Wohnheimplatz WP bezogen) sind mit der kleinsten Ordinalzahl bezeichnet. Ranking 0 bedeutet keine Angabe.

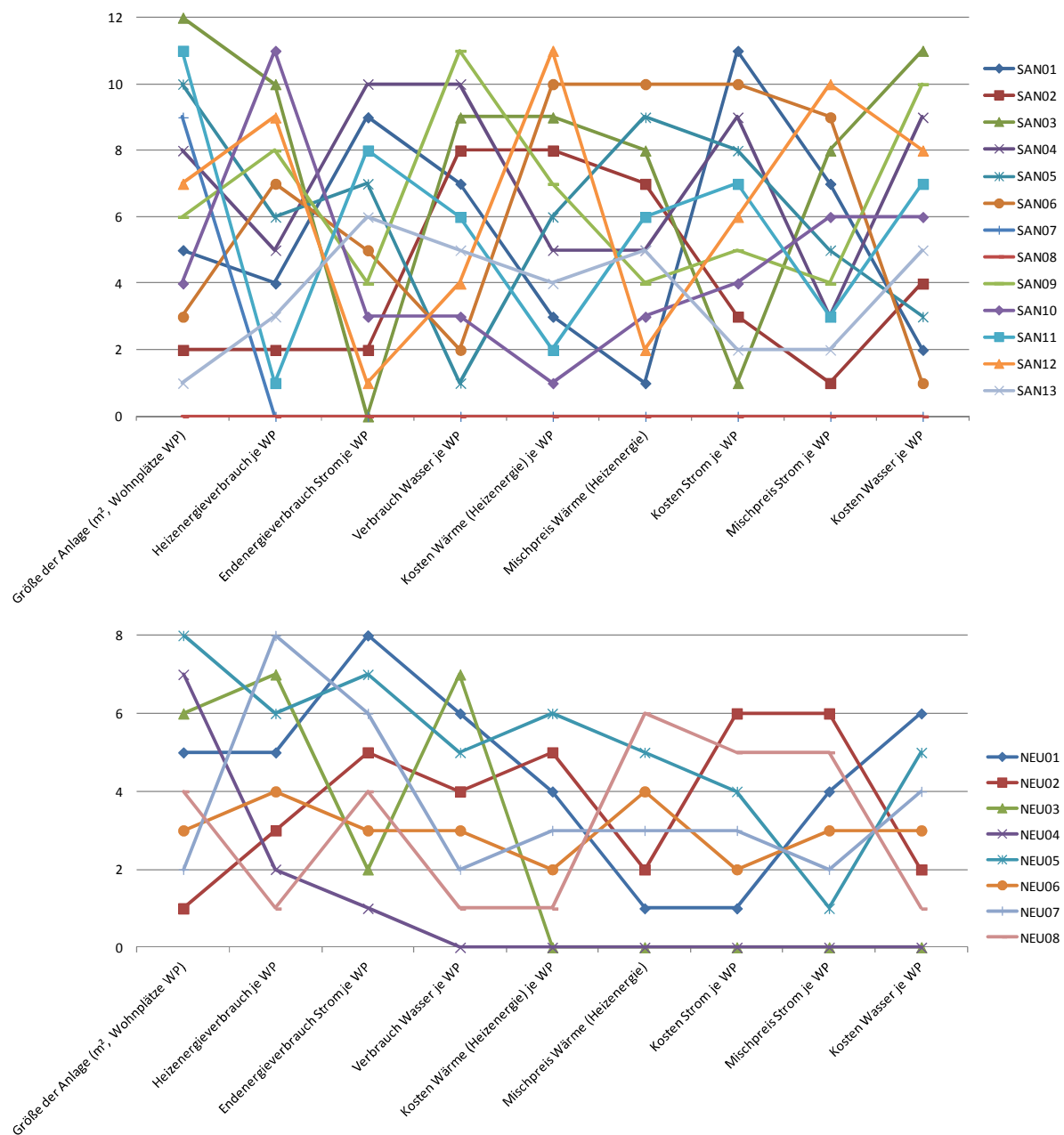


Abbildung 3.1. Ranking ausgewählter Indikatoren aller studentischen Wohnanlagen, getrennt nach Neubau- und Sanierungsobjekten. Quelle: Darstellung BUW

3.2. Betrachtungsebenen

Wie in 2.2.1 bereits angesprochen, ändert sich je nach gewünschter Betrachtungsebene der Indikator bzw. die Kennzahl. Im Nachfolgenden sind die Übersichtsgrafiken getrennt nach Neubau- und Sanierungsobjekten, der Größe nach geordnet und zumeist auf die Einheit WE bzw. WP bezogen.



Bei den Kostenbetrachtungen bietet es sich an, die Auswertungen zwischen Neubau- und Sanierung zu trennen, um Rückschlüsse zu relevanten Referenzveröffentlichungen ziehen zu können, die nur für Neubauten vorliegen.

3.2.1. Energieverbrauch (Indikator Primärenergie), Neubau + Sanierung

Die Endenergiewerte (Wärme) aus 2007 bis 2009 sind klimabereinigt und –ebenso die Endenergie Strom- in Primärenergie umgerechnet. Dargestellt sind in der Abbildung 3.2 die Mittelwerte aus den drei Jahren. Die Mittelwerte von Wohnanlagen mit Bautätigkeiten, hier mit * markiert, umfassen lediglich die Jahre (zur Mittelwertbildung), in denen keine Bautätigkeit stattfand, und in denen damit eine Beeinflussung der Nutzung bzw. Belegung nicht zu vermuten ist.

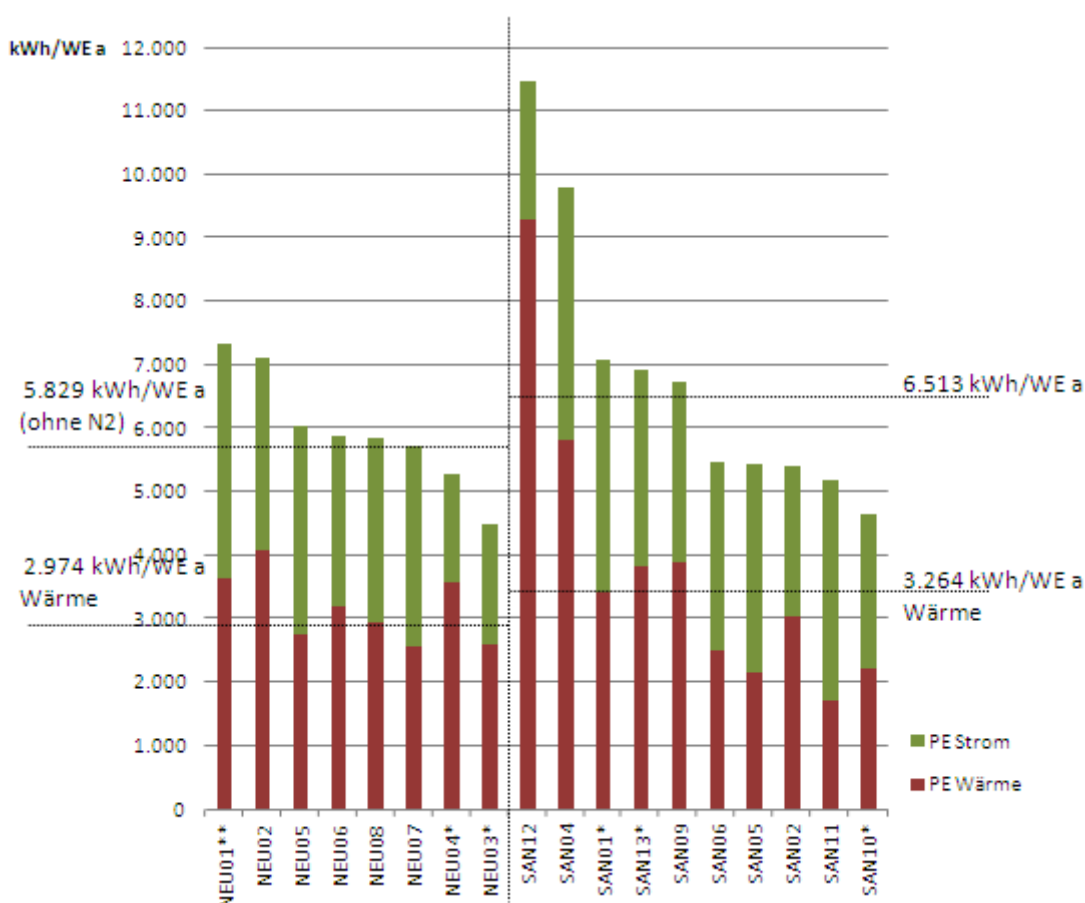


Abbildung 3.2 **Primärenergie**kennzahlen, auf die Wohneinheit bezogen. Gebildet aus den klimabereinigten Endenergie-Mittelwerten Wärme und Strom aus 2007 bis 2009. Quelle: Darstellung BUW.

Der Primärenergieverbrauch teilt sich größtenteils gleichmäßig zwischen Strom und Wärme auf. Auffällig ist, dass der (flächengewichtete) primärenergetische Mittelwert [kWh/WE a] der Sanierungsobjekte knapp 12% über dem der Neubauten liegt. Die auffällig hohen Primärenergiewerte bei den Wohnheimen San 4 und San 12 begründen sich durch die ver-



gleichsweise hohe primärenergetische Gewichtung von Erdgas (Faktor 1,1) gegenüber den primärenergetisch günstigeren Fernwärmebezügen (Faktor 0,7).

Wenn man berücksichtigt, dass der Stromverbrauch je WE im studentischen Wohnen annähernd gleich ist (siehe 3.2.2), ist das Mittel des Wärmeverbrauchs allein von größerem Interesse. Hier liegt der Mittelwert der Sanierungsobjekte etwa 10 % über dem der Neubauten. Dieser kleinere Unterschied lässt sich damit erklären, dass bei gemeinsamer Betrachtung (Wärme und Strom) und gleichbleibender Zahl des Stromverbrauchs größere Wohnanlagen wie SAN11 und SAN05 mit vergleichsweise geringem Wärmeverbrauch primärenergetische „Ausreißer“ wie SAN04 und SAN12 abfangen. Der farblich als primärenergetischer Wärmeverbrauch gekennzeichnete Balken von NEU08 resultiert aus dem Stromverbrauch der Wärmepumpe, verbunden mit dem PE-Faktor von Strom.

** Die Besonderheit der Wohnanlage NEU01 besteht darin, dass der jährliche Energieverbrauch Strom ausdrücklich als allgemeiner Stromverbrauch angegeben wurde (Treppenhausbeleuchtung etc.). Das bedeutet, dass der nutzerabhängige Anteil hier nicht enthalten ist. Um eine Relation mit den anderen Verbräuchen der Wohnanlagen herstellen zu können, wurde hier der nutzerabhängige durchschnittliche jährliche Stromverbrauch von 1.100 kWh/WE auf den angegebenen Stromverbrauch addiert.

Die Größe des Durchschnitts-Stromverbrauchs pro Studierenden ist aus [Engelmann2009] entnommen, wo 31 studentische Wohnanlagen deutschlandweit untersucht wurden. (siehe Seite 6: Mittelwert der Wohnanlagen mit zentraler Warmwasserbereitung: 1.165kWh/WE a) Die Größenordnung bestätigt sich im Rahmen dieser Untersuchung (siehe 3.2.2).

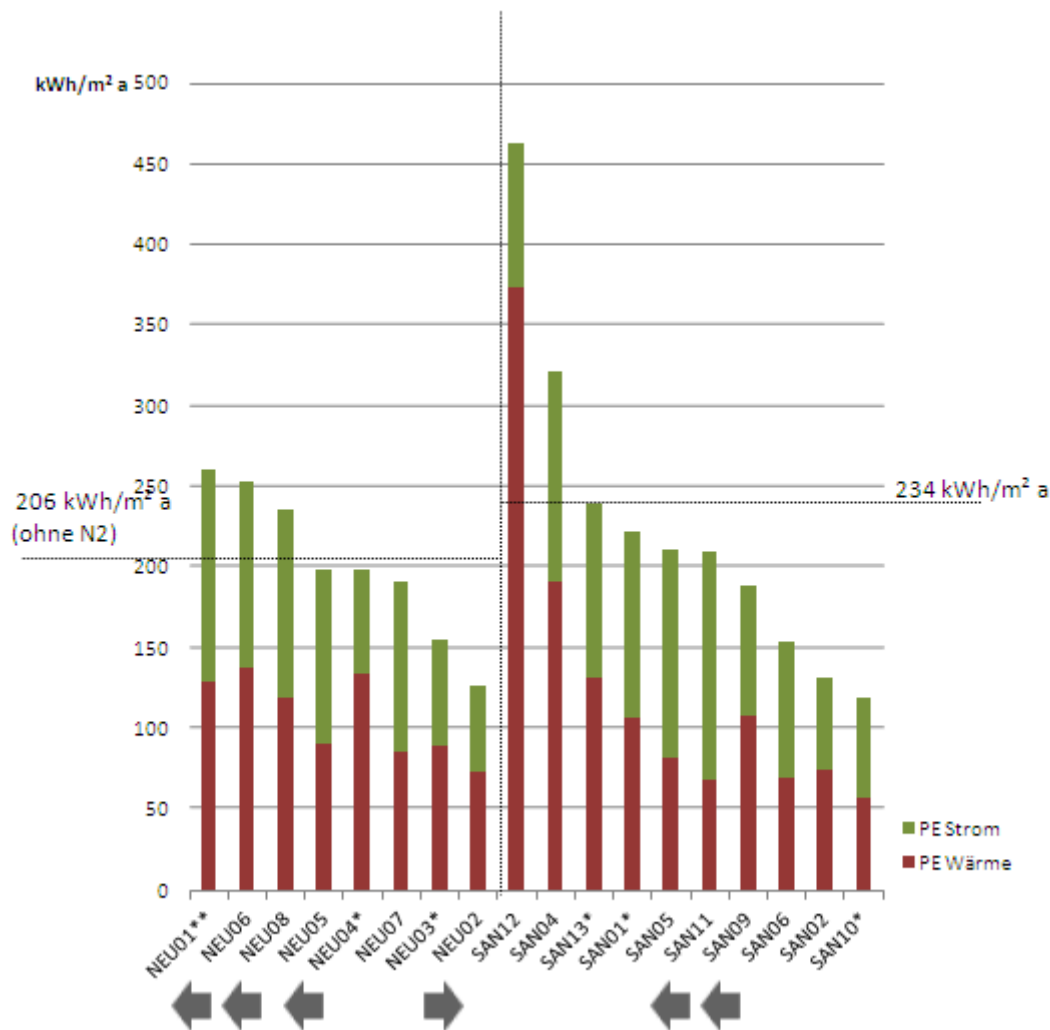


Abbildung 3.3. **Primärenergetische** Kennzahlen, aus dem Endenergieverbrauch umgerechnet und auf den m² NGF bezogen. Quelle: Darstellung BUW.

Auch hier werden die Werte aus 2007 bis 2009 verwendet. Die Reihenfolge/ das Ranking der Wohnanlagen verändert sich entsprechend dem Verhältnis von m² zu WE (siehe 2.2.4). Wenig zugeordneter Platz (m² NGF) pro WE wirkt sich ungünstig bei dem Bezug auf m² aus und umgekehrt. Die Wohnanlage NEU02, die einen hohen Anteil Sondernutzung verzeichnet, wird durch diesen Umstand verbrauchsmäßig sehr günstig eingestuft. NEU04 und NEU06 können sich ebenfalls verbessern.

Bei den sanierten Wohnanlagen verschlechtern sich SAN11 und SAN05, gegenüber der Darstellung, die auf die Wohnheimplätze bezogen ist.



3.2.2. Energieverbrauch vor Ort (Indikator Endenergie)

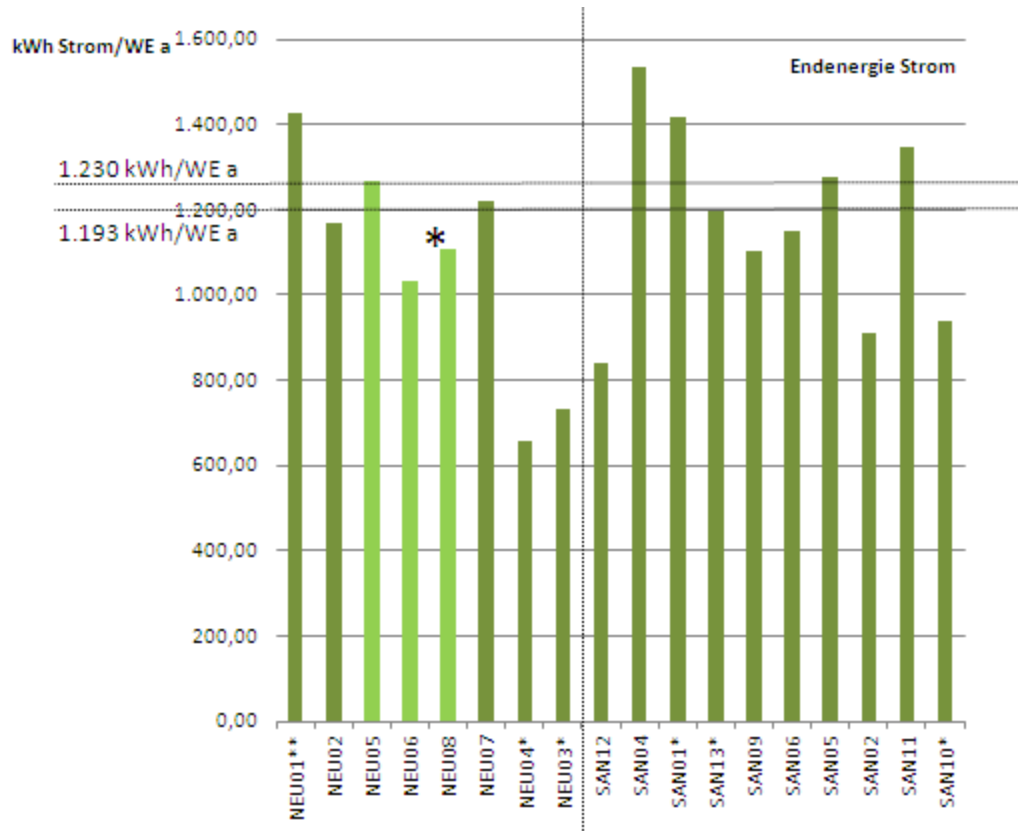


Abbildung 3.4. Endenergieverbrauch Strom, getrennt nach Neubau- und Sanierungsprojekten. Der Mittelwert von 1.193kWh/WE a ist flächengewichtet und auf alle Wohnanlagen bezogen.

*Bezieht man den Stromverbrauch der Wärmepumpe bei NEU08 mit ein, entfallen auf den hier dargestellten Nutzerstromverbrauch zusätzliche 1.135,2 kWh/WE a (so dass für diese Wohnanlage etwa eine Verdoppelung auf 2240,9 kWh/WE a stattfindet). Der Mittelwert erhöht sich unter diesem Einfluss auf 1.230 kWh/WE a.

Der tatsächliche gemessene/ abgerechnete Stromverbrauch aus den Jahren 2007 bis 2009 wird im Mittel dargestellt. Unter den betrachteten Wohnanlagen befinden sich drei im Bundesland Bayern, in dem studentenwerksseitig eine Einzelabrechnung favorisiert wird. Die Verbrauchswerte dieser drei Wohnanlagen liegen im Mittel (bei Nichtberücksichtigung des „Sonder“stromverbrauchs von NEU08). Zu erwarten wäre gewesen, dass sich eine individuelle, monatliche Abrechnung direkt (=positiv) auf den Verbrauch auswirkt. Das kann hier nicht bestätigt werden.

An dieser Stelle sei aber wiederum darauf verwiesen, dass es sich um einen sehr kleinen Untersuchungsumfang der Untersuchung handelt, und dass aus einer Anzahl von 18 bzw. 3 aus 18 Wohnanlagen keinesfalls auf eine allgemeingültige Tendenz geschlossen werden kann und sollte. Dazu wären weiterführende Untersuchungen in größerem Umfang notwendig.



[Bernadetta] stellt in ihrer Bachelorarbeit heraus, dass Einsparpotenziale durch individuelle Energieverbrauchs-Abrechnung (Strom) (am Studentenwerk Dresden) vorhanden sind, gegenüber der pauschalisierten monatlichen Energiebezugs-Abrechnung. Demgegenüber stehen hohe Kosten für Messeinrichtungen, zusätzliche Zähler und Personal.

Die einzige Wohnanlage dieser Untersuchung mit elektrischer Trinkwassererwärmung SAN13 fällt nicht durch –zu vermutenden- höheren Verbrauch auf.

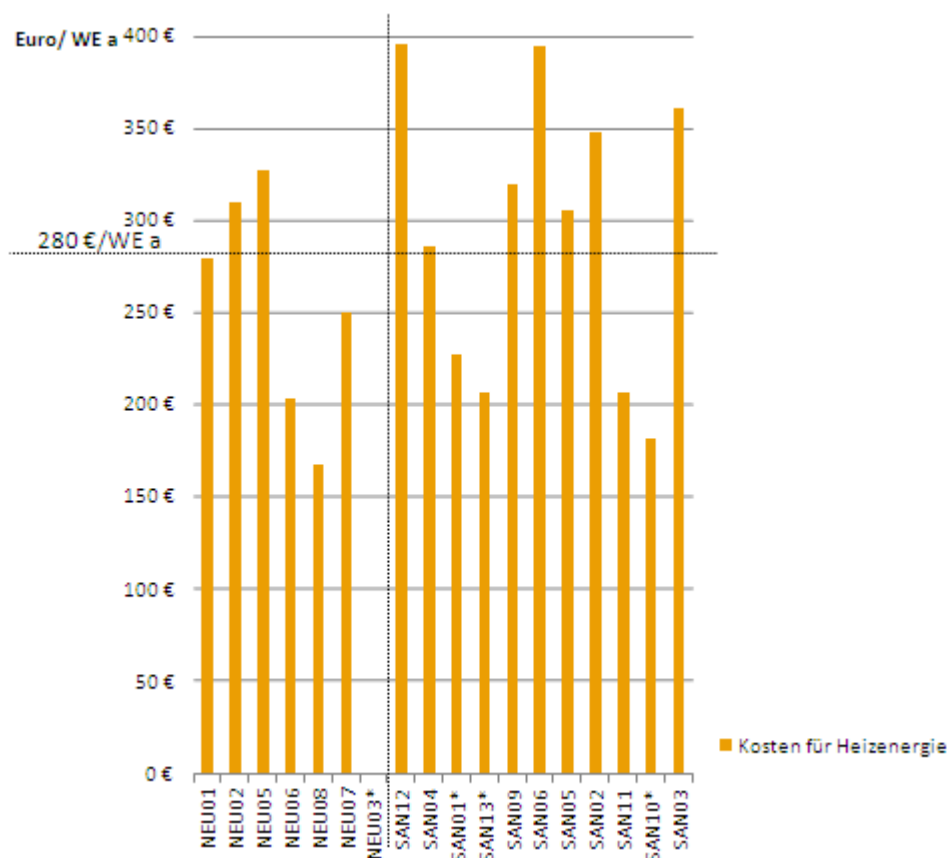


Abbildung 3.5. Heizenergiekosten in Euro je Wohneinheit. Quelle: Darstellung BUW.

3.2.3. Emissionen verringern (Indikator CO₂ äquiv. Emissionen)

Weltweit steigt die Menge der CO₂ Emissionen von Jahr zu Jahr, so dass der Deutsche Wetterdienst DWD in der Konsequenz für das Jahr 2100 einen Anstieg der Temperatur in Deutschland um 2 bis 4 Grad vorhersagt. Im Jahr 2010 wurden weltweit fast 31 Milliarden Tonnen Kohlendioxid in die Atmosphäre emittiert, was einen Rekord darstellt. (Quelle: online- Ressource Hamburger Abendblatt vom 27.07.2011).

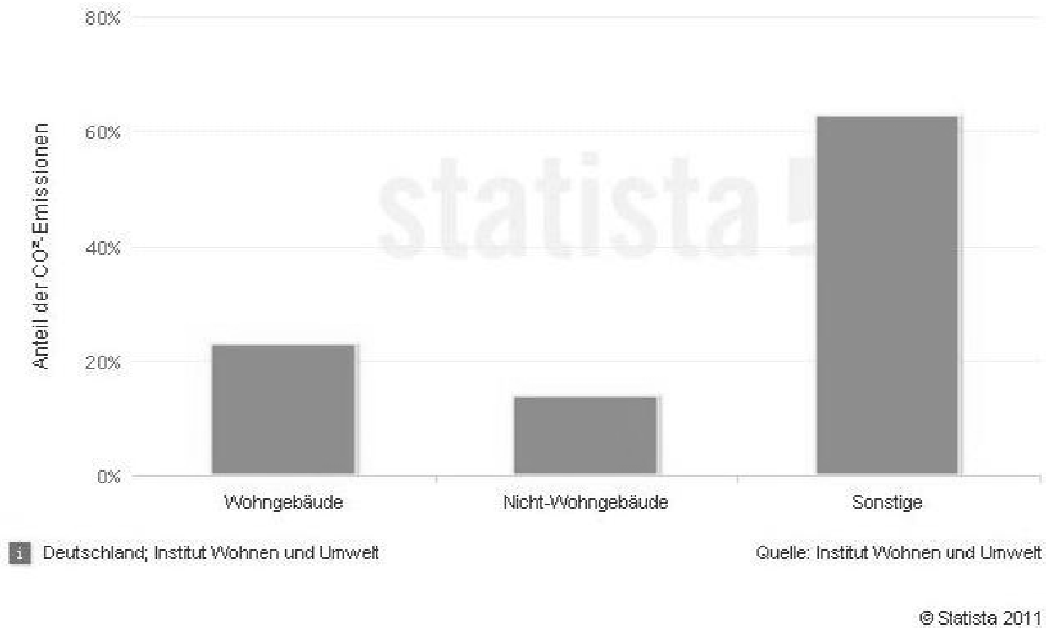


Abbildung 3.6. Anteil der CO₂ Emissionen durch Gebäude im Jahr 2010. Quelle: IWU, veröffentlicht von statista.

Diese weltweite Verpflichtung der Vermeidung des Treibhausgases lässt immer mehr Institutionen und Firmen dazu übergehen, ihre eigene CO₂ Bilanz jährlich zu dokumentieren und Maßnahmen zu ergreifen, um der Entwicklung gegenzusteuern. Zu den Treibhausgas-Verursachern gehören ebenfalls Wohngebäude und Nichtwohngebäude, die zusammen im Jahr 2010 etwa 1/3 der Treibhausgas -Emissionen verursacht haben.

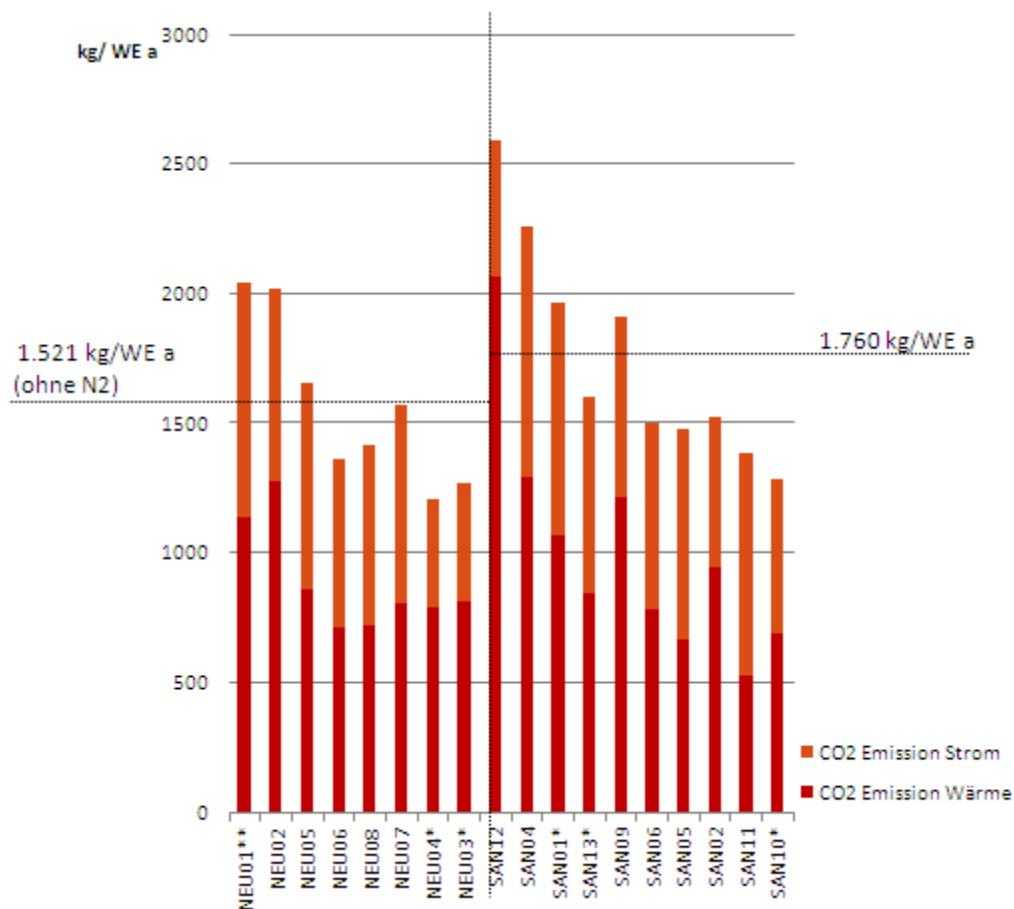


Abbildung 3.7. CO₂ äquivalente Emissionen pro Wohnheimplatz. Quelle: Darstellung BUW.

Die Endenergieverbräuche von Wärme und Strom sind in CO₂ äquiv. Emissionen umgerechnet, in kg pro Jahr und auf die Wohneinheit WE bezogen. Durchschnittlich fallen pro Wohnheimplatz und Jahr zwischen 1.521 kg (Neubau) und 1.760 kg (Sanierung) CO₂ äquiv. Emissionen an.

Auch hier kann die Strategie verfolgt werden, neben Maßnahmen am Gebäude selbst die Emissionen durch gezielten Einkauf von zertifiziertem Strom mit niedrigen Emissionen zu senken.

3.2.4. Wasserverbrauch

Der ermittelte Wasserverbrauch bezieht sich ebenfalls auf die Jahre 2007 bis 2009.

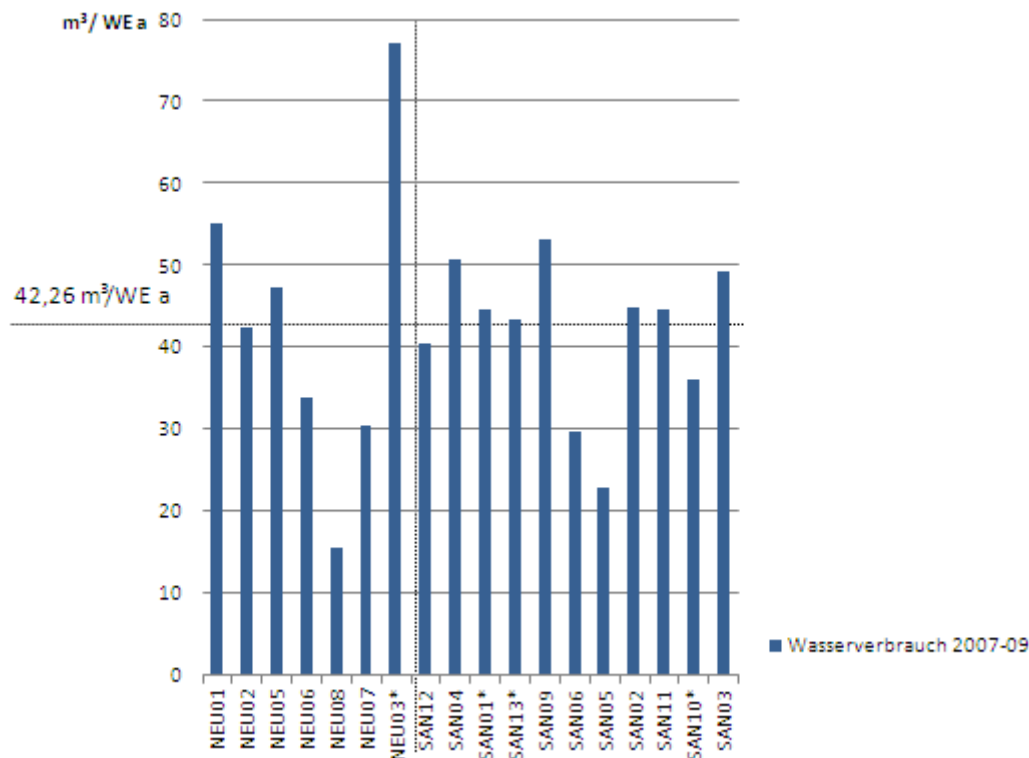


Abb. 3.8. Wasserverbrauch in m³ je Wohneinheit, als Mittelwert je Wohnanlage aus den Jahren 2007 bis 2009. Quelle: Darstellung BUW.

Das arithmetische Mittel des Wasserverbrauchs dieser 18 Wohnanlagen (NEU04: k.A.) liegt bei 42,3 m³/ WE a, und damit geringfügig unter dem Bundesdurchschnitt von 44,5 m³/ Person [BDEW2010]⁶.

Der Mittelwert wurde hier arithmetisch bestimmt, da der Wasserverbrauch an sich unabhängig von der Flächengröße der Wohnanlage ist.

Ähnlich wie bei [Engelmann2009] zeigt sich auch hier eine große Streuung des Frischwasserverbrauchs. (Die Wohnanlage NEU08 mit dem deutlich geringsten Verbrauch nutzt zusätzlich Brunnenwasser. Dieser Verbrauch wird abrechnungstechnisch nicht erfasst) Da die Verbrauchsunterschiede nicht auf unterschiedliche Nutzer zurückgeführt werden können und unabhängig von Gebäude selbst und seinem (energetischem) Zustand sind, wird die Ursächlichkeit der Unterschiede bei der Wasserinstallation, d.h. Armaturen und Toilettenspülung vermutet.

SAN05, SAN06 und NEU07 (als die drei Geringverbraucher) haben tatsächlich wassersparende Armaturen installiert, ebenso SAN01 und SAN13, die knapp über dem Mittel liegen.

⁶ Der Bundesdurchschnitt ist in l/ Person, d angegeben und liegt im Mittel in den Jahren 2007 bis 2009 bei 122l/Person, d. Auf 365 Tage betrachtet ergeben sich 44,53m³/ Person.



3.2.5. Interpretation und Bewertung

Die Wohnanlage NEU03 weist über alles betrachtet die beste energetische Performance auf. Sie besitzt einen sehr niedrigen Endenergieverbrauch Strom (ca. 50% vom Durchschnitt) was maßgeblich dazu beiträgt, dass die primärenergetische Gesamtbetrachtung positiv ausfällt. Das Wohnheim mit Nutzung von Geothermie [NEU08] erreicht durch den Wärmepumpen-Stromverbrauch und damit verbunden die hohe primärenergetische Gewichtung nur eine mittlere Platzierung.

Das arithmetische Mittel des Wasserverbrauchs liegt geringfügig unter dem Bundesdurchschnitt von 44,5 m³/ Person. Die drei Wohnanlagen mit dem geringsten Verbrauch haben sparsame Armaturen im Gebrauch, zwei weitere „mittlere“ Wohnanlagen ebenfalls. Die Aussage des positiven Einflusses wassersparender Armaturen lässt sich hieraus ableiten, allerdings fehlen eine weiterführende Detaillierung der Wasserspar-Maßnahmen und der Einfluss auf das Nutzerverhalten. Betreibererfahrungen berichten so z.B. auch vom positiven Einfluss fest an der Wand installierter Duschköpfe und dass, je einfacher die Bedienung, desto effektiver.

Die studentischen Verbrauchswerte Strom liegen unter dem Bundesdurchschnitt (Stromverbrauch pro Kopf und Jahr) für einen 1-Personen Haushalt mit 1.733kWh/a [VDI3807-2 Seite 17]. Weiterhin hat die Form der Warmwasserbereitung (erfahrungsgemäß) einen großen Einfluss auf die Höhe des Verbrauchs: eine elektrische Trinkwassererwärmung wirkt sich nach [VDI3807-2] mit einem 15 kWh/m² a höheren Stromverbrauchskennwert aus. Interessanterweise fällt die Wohnanlage SAN13 als einzige mit elektrischer Trinkwassererwärmung nicht aus dem Querschnitt des durchschnittlichen Stromverbrauchs heraus, sondern trifft den hier ermittelten Stromverbrauchs-Mittelwert von 1.193 kWh/WE a ziemlich exakt.

Die wenigsten untersuchten Wohnanlagen bestehen ausschließlich aus Einzel-Appartements (und deren exakte Differenzierung ist Thema im folgenden Abschnitt). Nichtsdestotrotz erscheint der immer noch geringer-als-Durchschnitt studentische Stromverbrauch auch vor dem Hintergrund plausibel, als dass höhere Stromverbrauchswerte hauptsächlich durch gehobene Wohnungs-Ausstattung an elektronischen Großgeräten (Spülmaschinen, Gefriertruhen, Trockner, Waschmaschinen, ...) hervorgerufen werden, die in studentisch ausgestatteten Wohnungen in geringerer Anzahl vorhanden sind.

3.3. Energieverbrauch und Wohnform

Bei der genaueren Betrachtung zeigt sich, dass die Benennung der Wohnform nicht konsistent ist. Die Frage stellt sich (und wird unterschiedlich beantwortet), ab welchen Voraussetzungen von einem Einzelappartement bzw. Einzelzimmer gesprochen werden kann bzw. wird.

Möglichkeiten der Definition sind

- ein Zimmer mit eigener Küche(nzeile) und eigenem Bad (NEU02)



- ein Zimmer mit eigenem Bad, und Gemeinschaftsküche auf dem Flur (SAN09 & NEU07)
- und (evtl.) ein Zimmer mit eigenem Waschbecken und gemeinsamer Küche auf dem Flur (SAN10- hier als 4er und mehr WG's definiert).
-

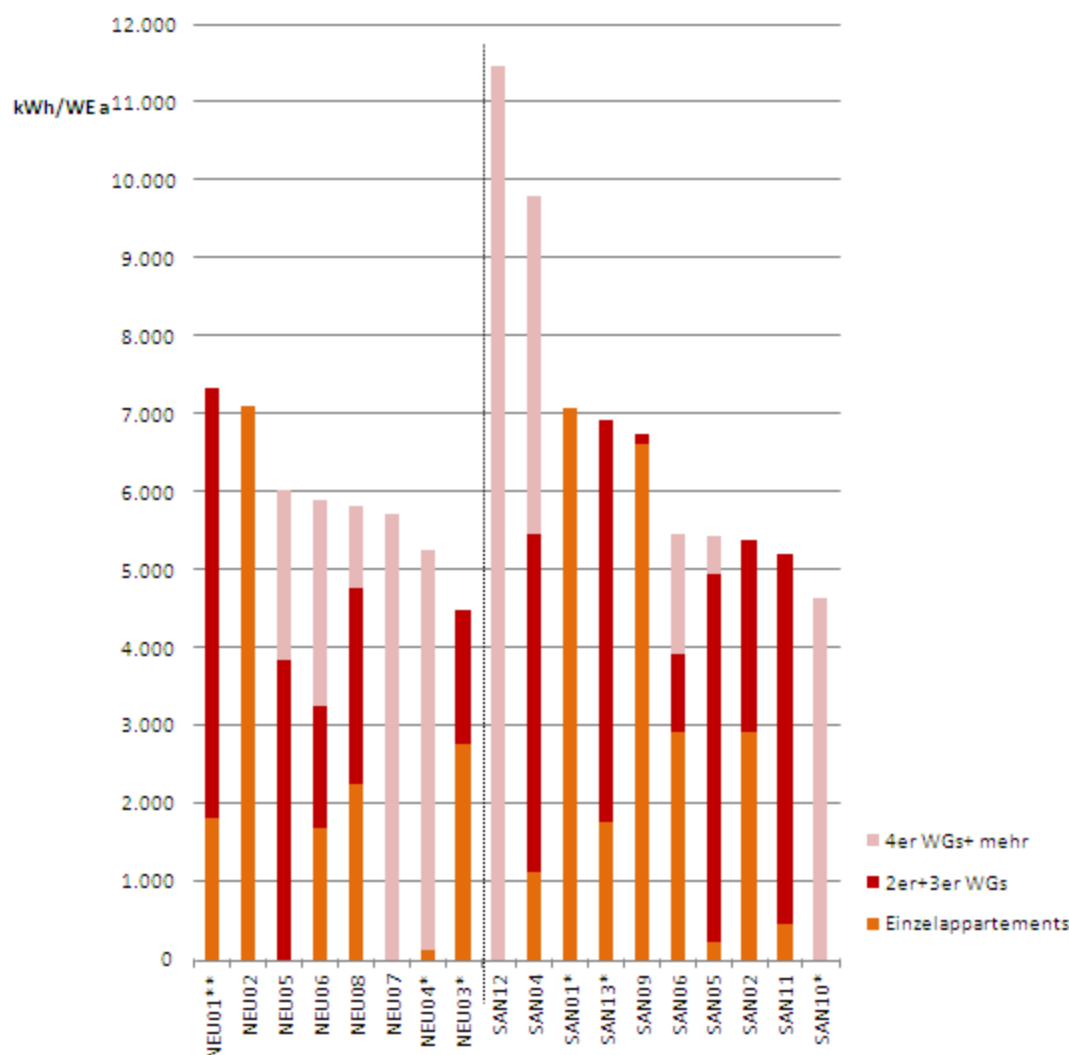


Abbildung 3.9. Gesamt-Primärenergieverbrauch (Wärme und Strom), in kWh je Wohnplatz und Jahr. Quelle: Darstellung BUW.

In der obigen Abbildung ist kein Zusammenhang zwischen Wohnstruktur und tatsächlichem Verbrauch (hier Strom und Wärme, umgerechnet und zusammengefasst in Primärenergie) erkennbar. Wichtig ist, dass die Abbildung keinerlei Aussage darüber enthält, dass die prozentual auf den Gesamtverbrauch dargestellten Wohneinheiten in diesem Prozentsatz verantwortlich für den Energieverbrauch sind.

Als Ausgangspunkt hätte die Vermutung gestanden, dass – je größer die Wohngemeinschaften und je geringer die Anzahl der Einzelappartements - der Verbrauch sinkt. Die Analogie wäre gemäß der Stromverbrauchskennzahlen für 1-Personen und Mehr-Personen-Haushalte



zu vermuten gewesen, wo die gemeinschaftliche Nutzung von Haushaltsgeräten eine Rolle spielt.

Insofern ist der Blick gerade auf einzelne Zimmer, aber gemeinschaftlich genutzte Küchen mit Geräten interessant. Die Wohnanlagen SAN01, SAN02, SAN09, SAN10, NEU7 erfüllen – ausgehend vom persönlichen Besuchseindruck- grundsätzlich (vorwiegend) diese Charakteristik. Diese finden sich vom mittleren bis sehr guten (Primärenergieverbrauchs)Bereich verteilt (allerdings nicht bei den Höchstwerten- bei NEU02 handelt es sich tatsächlich um individuelle Einzelappartements).

Hierbei fällt allerdings sofort auf, dass SAN09 diesen Typus als Einzelappartements beschreibt, während bei SAN10 die Beschreibung unter „4er WGs und mehr“ fällt. Die Diskrepanz zwischen Angaben zur Struktur und persönlichem Eindruck ist aufgrund augenscheinlich nicht ausreichend exakt gestellter Fragestellung entstanden und sollte in Zukunft daher mit vermehrtem Augenmerk betrachtet werden.

3.4. Energieverbrauch und Bezug(sgröße)

Je nach Bezug verändert sich die Größe(nordnung) des dazugehörigen Kennwertes. Diesem Umstand ist besondere Aufmerksamkeit zu schenken, wenn Kennwerte verglichen werden sollen. Im Falle unterschiedlicher Bezugsgrößen sind Kennwerte nicht miteinander vergleichbar!

Möglich (und sinnvoll bei Vergleichen innerhalb studentischer Wohnanlagen) ist ein Bezug auf den Wohnplatz, WP bzw. WE. Bei Bezug zu z.B. energetischen Bedarfsberechnungen wird auf die beheizte NGF in m^2 bezogen. Wiederum im ökonomischen Teilbereich dieser Untersuchung sind vergleichbare Kennwerte auf die BGF des Gebäudes/ der studentischen Gesamt-Wohnanlage bezogen. Die VDI 3807 bezieht sich ebenfalls auf die BGF.

3.4.1. Externe Kenngrößen zum studentischen Wohnen

Gemäß [Engelmann2010] liegt der mittlere **Primärenergieverbrauch** bei **7.849 kWh/WE a.** Der Primärenergieverbrauch wurde hier aus dem Endenergieverbrauch (Wärme und Strom) umgerechnet, allerdings ohne eine Klimabereinigung durchzuführen. Zudem wurde bei Fernwärme wurde mit dem Faktor 1 gerechnet, bei Strom in 2007 gemäß [DIN18599] mit dem Faktor 2,7. Daher ist der Vergleich nur bedingt möglich.

Die Firma ages Gesellschaft für Energieplanung und Systemanalyse mbH hat ihre bundesweite (online) Datenerhebung unter studentischen Wohnheimen –aktuell- bis zum 31.12.2011 verlängert. Der Termin wurde bereits während der Bearbeitungszeit dieses Projektes zwei Mal nach hinten verschoben, so dass augenscheinlich zum jetzigen Zeitpunkt keine Aussagen zu Verbrauchskennwerten vorliegen.

Der Wärmeverbrauch ist vorrangig gebäudeabhängig (und ebenso vom Nutzer beeinflusst, aber im Gegensatz zu Strom- und Wasserverbrauch kommt mit dem Gebäude noch eine zweite Variable hinzu.) Trotz Einschränkung der Untersuchung auf eine ähnliche Baualters-



klasse bzw. den Zeitraum der Sanierung finden sich auch hier größere Schwankungen, die durchaus die Heterogenität des Gebäudebestandes widerspiegeln (auch: kompaktere und weniger kompaktere studentische Wohnanlagen).

3.5. Energieverbrauch und -bedarf

Exemplarisch sollen die – von Endenergie in Primärenergie umgerechneten- Verbräuche von 6 studentischen Wohnanlagen (hier: 3 sanierte und 3 neu gebaute) mit bauüblichen Bedarfsrechnungen korreliert werden. Dies dient zum einen der Abschätzung, inwieweit sich Studierendenwohnheime im Vorhinein (mit welchen nutzungsspezifischen Anpassungen) zielgerichtet abbilden lassen (Energie- und Energiekostenkennwerte) und zum anderen der Plausibilitätsprüfung der angegebenen Energieverbräuche.

3.5.1. Energetische Bilanzierung mit EnerCalC

Das Bilanzierungsverfahren für die Einschätzung des Energiebedarfs von Gebäuden nach DIN V 18599 ist ein komplexes und zeitaufwändiges Verfahren. Das im Rahmen dieses Forschungsprojekts verwendete Excel-Tool **EnerCalC** (Version 4.40) entstand 2010 im Rahmen einer Dissertation am Lehrgebiet Bauphysik und Technische Gebäudeausrüstung b+tga der Bergischen Universität Wuppertal. Es basiert auf Vereinfachungsansätzen auf der Grundlage der Bilanzierungsregeln der DIN V 18599 (vereinfachte Hüllflächenberechnung).⁷

Generell wird die beheizte NGF eines betrachteten Gebäudes -zur energetischen Bilanzierung des Gesamtgebäudes- in Zonen unterteilt. Diese sind (zusammengefasste) Bereiche, die die gleiche Nutzung beinhalten und sich nicht elementar bezüglich ihrer Art der Konditionierung und anderer Zonenkriterien unterscheiden. Jeder Zone ist demnach ein festes Nutzungsprofil zugeordnet.

Die Ermittlung der zonenbezogenen (Einzel-)Hüllflächen analog der Zonierung der Gebäudeflächen produziert beim „normalen“ Rechenweg hohen Aufwand. Jeder Zone mit einem definierten Nutzungs- und Konditionierungsprofil wird die real vorkommende Außenhüllfläche flächenmäßig zugeordnet. Bei EnerCalC erfolgt die Erfassung der Gebäudehülle in einem Stück, in Anlehnung an ein 1-Zonen-Modell, während die energetische Bilanzierung im Mehr-Zonen-Modell stattfindet. Im vereinfachten Verfahren wird die Gebäudehüllfläche über einen hinterlegten Algorithmus anteilig auf die einzelnen, im Gebäude vorhandenen Zonen verteilt.

Der nutzerabhängige Stromverbrauch bleibt, wie bei allen normativen Bedarfsberechnungen, außen vor. Lediglich der -relativ geringe- Hilfsenergiestromanteil für die technische Ge-

⁷ Kostenloser Bezug zur nichtkommerziellen Nutzung unter:
<http://www.enob.info/de/planungswerkzeuge/projekt/details/enercalc-vereinfachte-energiebilanzen-nach-din-v-18599/>



bäudeausstattung wird in die Bilanzierung einbezogen. Bei Wärmepumpenanlagen wird der elektrische Bedarf der Wärmepumpe vollumfänglich berücksichtigt.

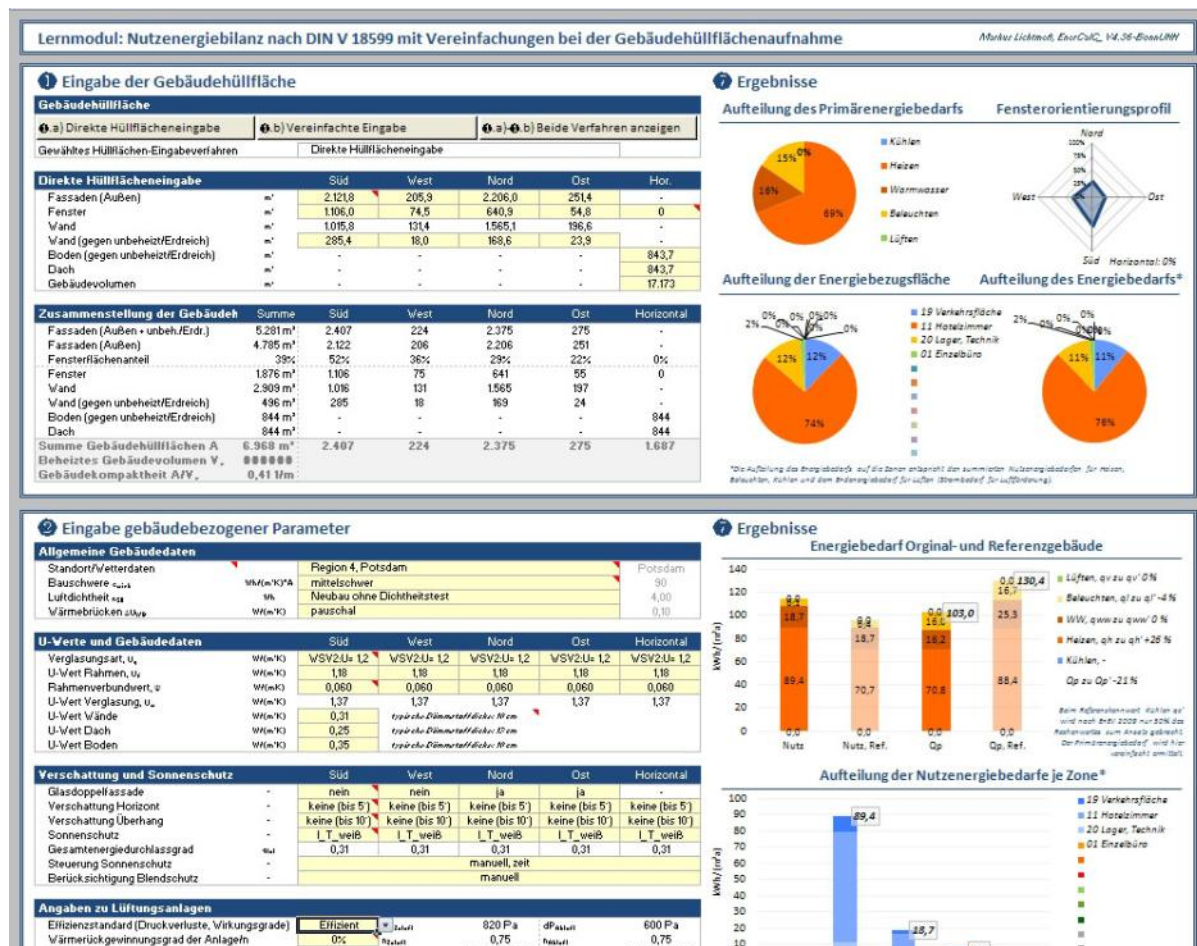


Abbildung 3.10. EnerCalc Eingabe Fenster. Version 4.40

Die Dateneingabe und Generierung von Ergebnissen in EnerCalc gliedert sich in

- Eingabe der Gebäudehüllfläche und zonenbezogenen Parameter
- Weitere Angaben zur Anlagentechnik
- Ergebnisse Nutz- und Primärenergiebedarf
- Ergebnisse zur Photovoltaik-Anlage und zur Netto-Null-Primärenergiebilanz

EnerCalc wird in der Version 4.40 verwendet. Die Nutzungsarten des Gebäudes sind gemäß DIN V18599 auszuwählen. Verkehrsflächen außerhalb der thermischen Hülle werden nicht einbezogen (Laubengängerschließungen,...).

Folgende Anpassungen für studentisches Wohnen wurden getroffen:

- Finden sich die gleichen **Nutzungsarten** in verschiedenen Etagen mit jeweils unterschiedlicher Raumhöhe, so werden die Flächen auf die unterschiedlichen Raumhöhen



bezogen und die Nutzungszone taucht als Mehrfachnennung auf (ggfs. in der grafischen Darstellung). Oftmals ist die Raumhöhe im Erdgeschoss größer als in den anderen Geschossen.

- Für die **Luftdichtheit n50** wird - sofern ohne Angaben- der Fall „Neubau ohne Luftdichtheittest“ ($n = 4/h$) oder „Bestehendes Gebäude ohne Dichtheittest“ ($n = 6/h$) angenommen.
- **Warmwasserbereitung:** Als Bezugsgröße wird der personenbezogene Ansatz gewählt, und unsere Nutzungsart ist „Hotel mittel“. Der vorgegebene Wert von 3,5 kWh/Bett d überschreitet den errechneten von 3,28 kWh/ WE *d etwas. (errechnet aus Energie für Trinkwassererwärmung von 1.197,68 kWh/WE*a aus [Engelmann2010])
- Als Erfahrungswert wird bei der **Art der Trinkwarmwasserbereitung** „zentral mit Zirkulation“ gewählt, sofern nicht ausdrücklich gegenteiliges in den jeweiligen Projektunterlagen genannt ist (zumeist ist keine Angabe dazu vorhanden).
- Da die Zonenauswahl „Hotelzimmer“ für die Abbildung eines studentischen Wohnheimzimmers –von den Nutzungszeiten und Anwesenheiten her betrachtet- nur annähernd studentisches Leben beschreiben kann, wird versucht, die hinterlegte Zonenkonditionierung folgendermaßen anzupassen: a) Index für Abwesenheit von 0,5 auf 0,7 und b) Luftwechselrate von $2,0 h^{-1}$ auf $0,8 h^{-1}$ gesetzt.



3.5.2. Darstellung Bedarfswerte relativ zum Verbrauch

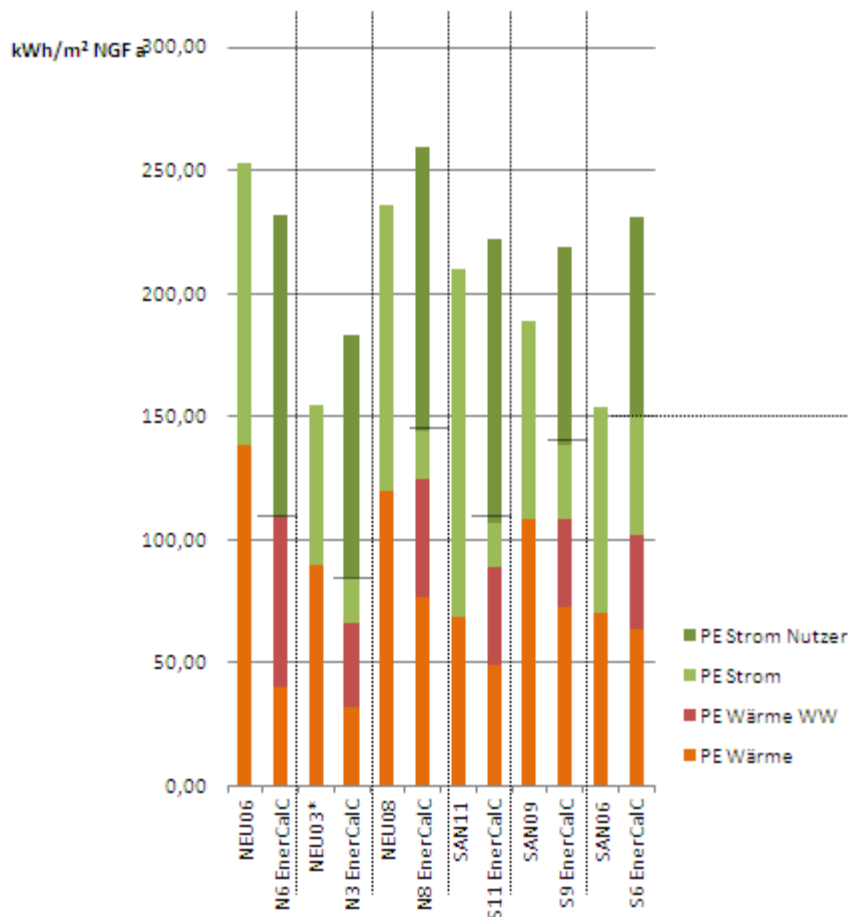


Abbildung 3.11. Sechs Wohnanlagen. Gegenüberstellung tatsächlicher (Primärenergie) Verbrauch und Bedarfsberechnung mit EnerCalc. Quelle: Darstellung BUW.

Bis zur gestrichelten Linie (= unterhalb) wird die Primärenergie für Wärme, zur Warmwasserbereitung und Strom (Hilfsenergieanteil für technische Ausstattung) angezeigt. Darüber hinaus wird die Primärenergie für den nutzerabhängigen Stromverbrauch ausgewiesen, die wiederum mit 1.100 kWh/ WE*a angenommen wird und auf die Bezugsgröße m² NGF_{beheizt} umgerechnet wird. Im bedarfsbasierten Energieausweis sind nutzerabhängige Verbräuche nicht dargestellt.

3.5.3. Interpretation

Die Ergebnisse für 6 untersuchte Wohnheime zeigen bzgl. des Betrachtungsfokus Primärenergie für Wärme in 2 Fällen eine gute Übereinstimmung zwischen Bedarf und Verbrauch (NEU8, SAN9), in 2 Fällen sind die Verbrauchswerte geringer (SAN6, SAN11) in 2 Fällen höher als die bedarfswerte (NEU6/NEU8). Die Unterschiede sind erfahrungsgemäß auf individuelle



Nutzerprofile zurückzuführen, die von den standardisierten Annahmen abweichen (Anwesenheit, Lüftungsverhalten,...)

EnerCalC ist ein hilfreiches Werkzeug, um größere komplexere Gebäude relativ schnell grundsätzlich energetisch abbilden zu können, es bedarf aber einiger wohlüberlegter Anpassungen für spezielle Nutzungen und den damit zusammenhängenden Konditionen.

3.6. Kostenbetrachtung für die Neubauten

Anknüpfend erfolgt die Darstellung und die Interpretation aller wie (unter 2.4) beschrieben berechneten Ergebnisse für die Neubauprojekte.

3.6.1. Darstellung berechneter Kostenkennzahlen

Die Abbildung 3.12. gibt einen Überblick über die Verhältnisse der Bezugsgrößen sowie die berechneten Kostenkennzahlen der Neubauprojekte.

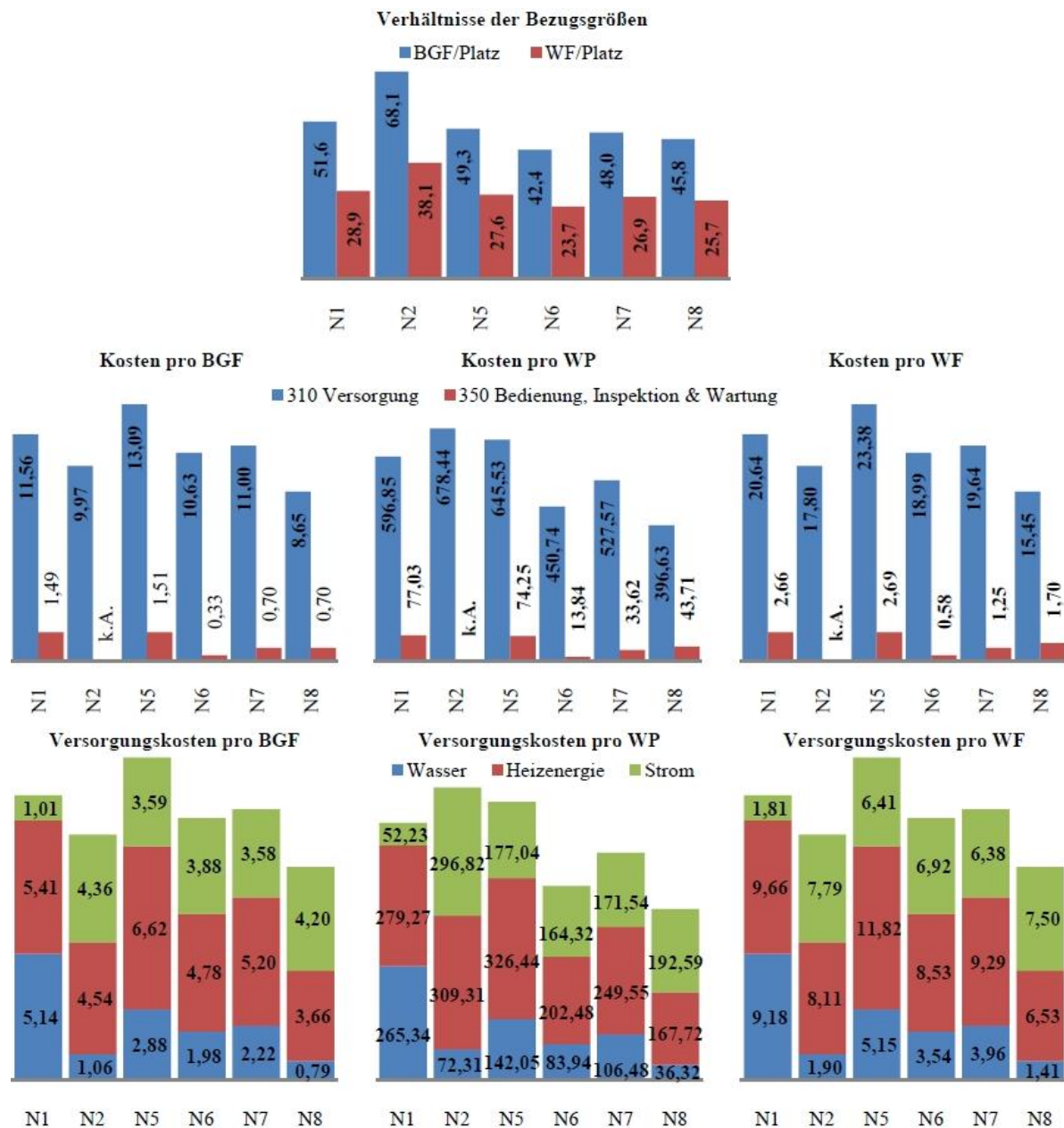


Abbildung 3.12. Bezugsgrößen und Kostenkennwerte. Quelle: Darstellung des KIT.

3.6.2. Darstellung durchschnittlicher Mischpreise

Die folgende Abbildung gibt einen Überblick über die berechneten durchschnittlichen Mischpreise und deren absolute Abweichungen vom Mittelwert bei den Neubauprojekten.

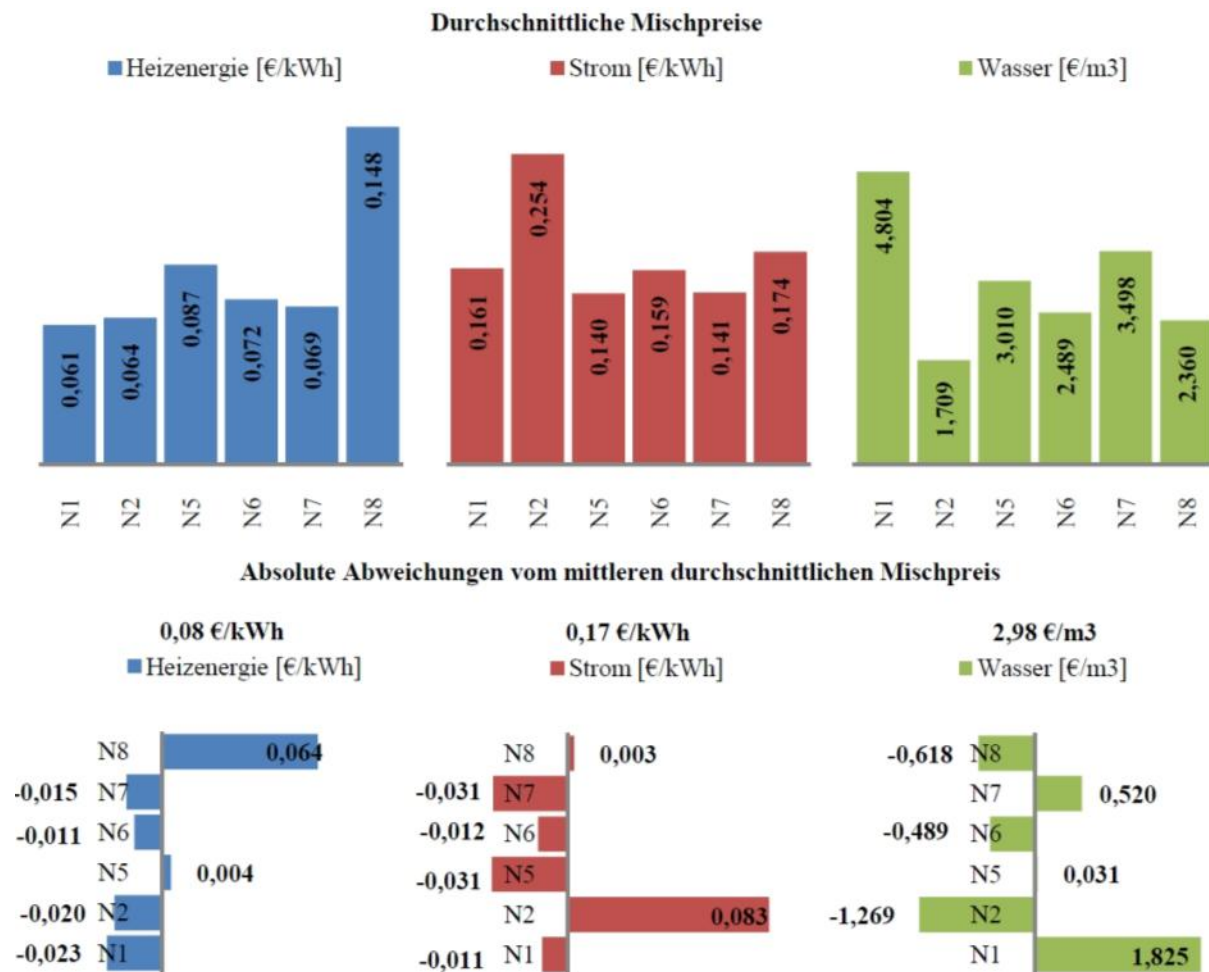


Abbildung 3.13. Durchschnittliche Mischpreise und deren Abweichung vom Mittel. Quelle: Darstellung KIT.

3.6.3. Darstellung berechneter Kostenkennwerte relativ zum Benchmark

Die Abbildung 3.14 gibt einen Überblick über die Anzahl Wohneinheiten im Verhältnis zu den Wohnplätzen sowie die durchschnittlichen witterungsbereinigten Heizenergieverbräuche für Heizung und die Festlegung des Best-Practice-Benchmarks bei den Neubauprojekten.

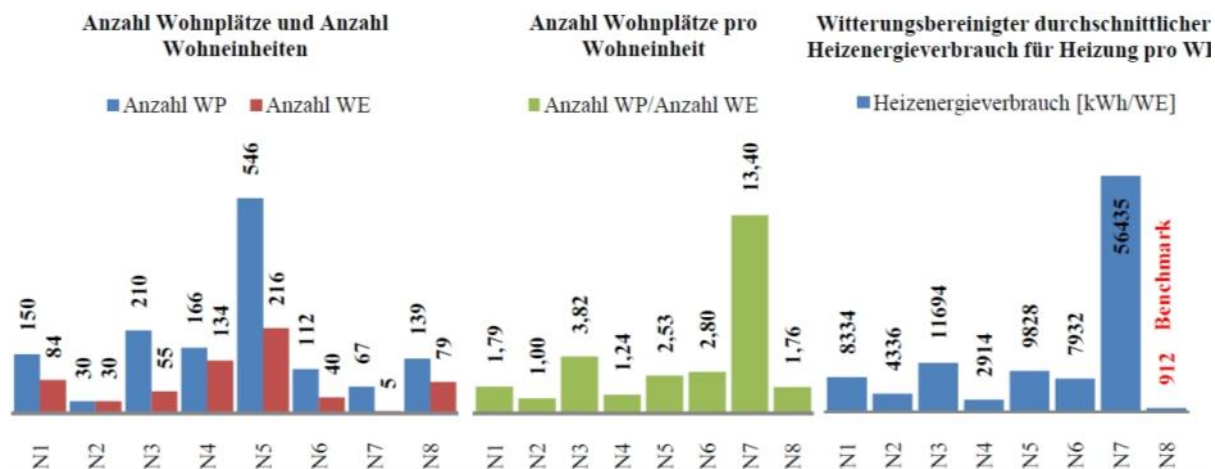


Abbildung 3.14. Festlegung des Best-Practice-Benchmarks. Quelle: Darstellung des KIT.

Die Abbildung 3.15. gibt einen Überblick über die relativen Abweichungen der berechneten Kostenkennzahlen von den Kostenkennzahlen des Best-Practice-Benchmark.

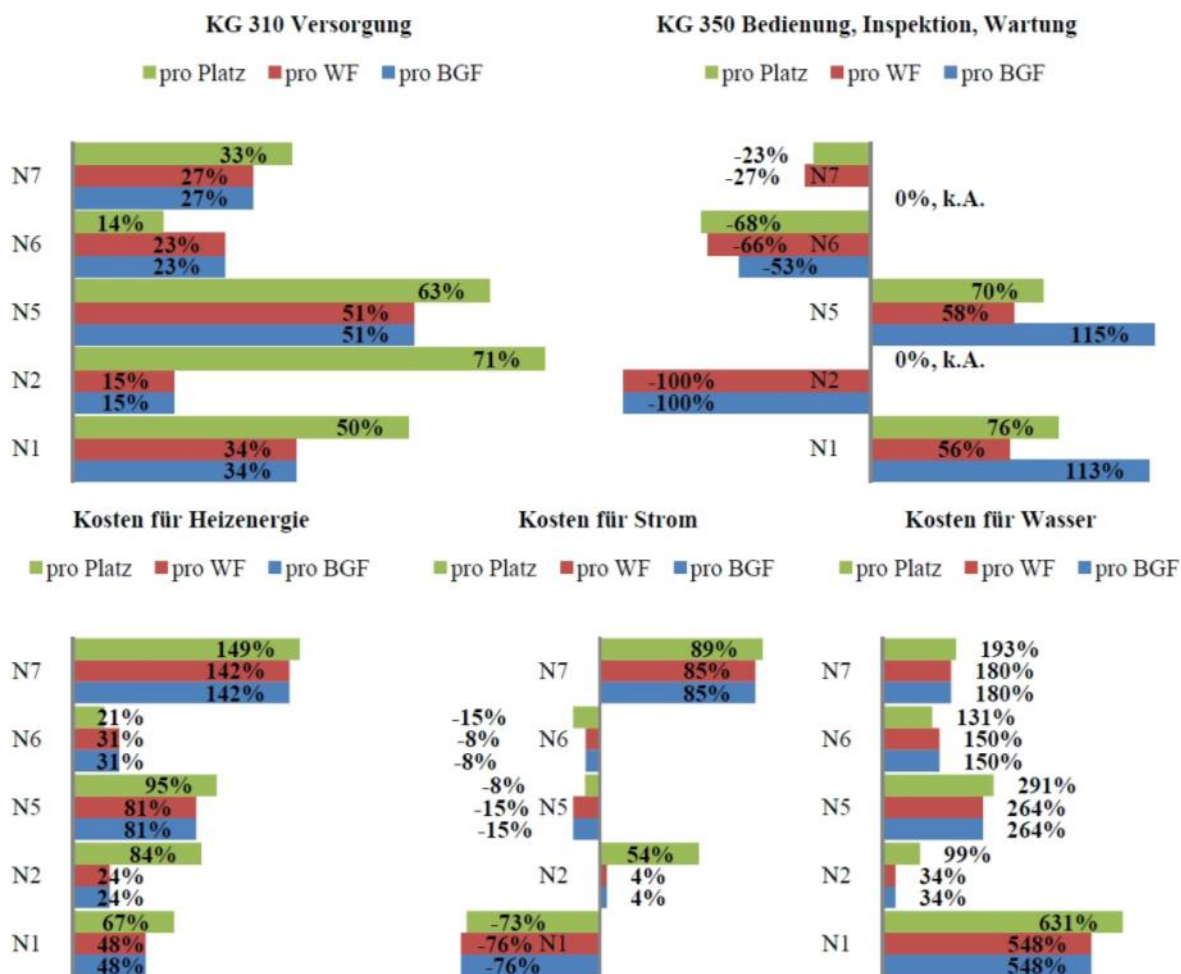


Abbildung 3.15. Relative Abweichungen der Kostenkennwerte vom Benchmark. Quelle: Darstellung des KIT.



3.6.4. Interpretation der Ergebnisse

Die Darstellung und Gegenüberstellung der Kostenkennwerte und Mischpreise der drei besten (1st best, 2nd best, 3rd best) Neubauprojekte ergibt sich graphisch gemäß Abbildung 2.5 sowie in Form des Rankings gemäß Tabelle 2.1. Die Rückführbarkeit von Unterschieden in den Versorgungskosten auf Unterschiede in energetischen und technischen Merkmalen im Vergleich der drei Gebäude ergibt sich gemäß Tabelle 3.1 sowie die Gegenüberstellung der technischen und energetischen Merkmale gemäß Tabelle 2.9.

Der Vergleich des erst- und zweitbesten Neubauprojektes lässt folgende Schlussfolgerungen zu:

- Heizenergie: Das erstbeste Gebäude weist besondere technische Merkmale (Erdwärme statt Erdgas, Flächenheizung statt Heizkörper, Solarthermie mit Heizungsunterstützung, jedoch keine Abluftanlage) bei gleichzeitig höheren Mischpreisen und geringeren Kosten auf (Fall 2). Die geringeren Kosten für Heizenergie können eindeutig auf bessere technische Merkmale zurückgeführt werden.
- Strom: Das erstbeste Gebäude weist bessere technische Merkmale (Regulierung der Beleuchtung durch Dimmung) bei gleichzeitig geringeren Kosten und Mischpreisen auf (Fall 1). Die geringeren Kosten für Strom können durch geringere Mischpreise als auch bessere technische Merkmale begründet sein, eine eindeutige Zurückführung auf bessere technische Merkmale ist nicht möglich.
- Wasser: Das erstbeste Gebäude weist die gleichen technischen Merkmale bei gleichzeitig geringeren Kosten und höheren Mischpreisen auf (Fall 6). Hinsichtlich der geringeren Kosten für Wasser lassen sich keine plausiblen Aussagen treffen.
- Betrieb, Inspektion, Wartung: Für das zweitbeste Gebäude liegen keine Daten zu Kosten für Betrieb, Inspektion und Wartung vor, so dass keine Aussagen über Kostenunterschiede möglich sind.

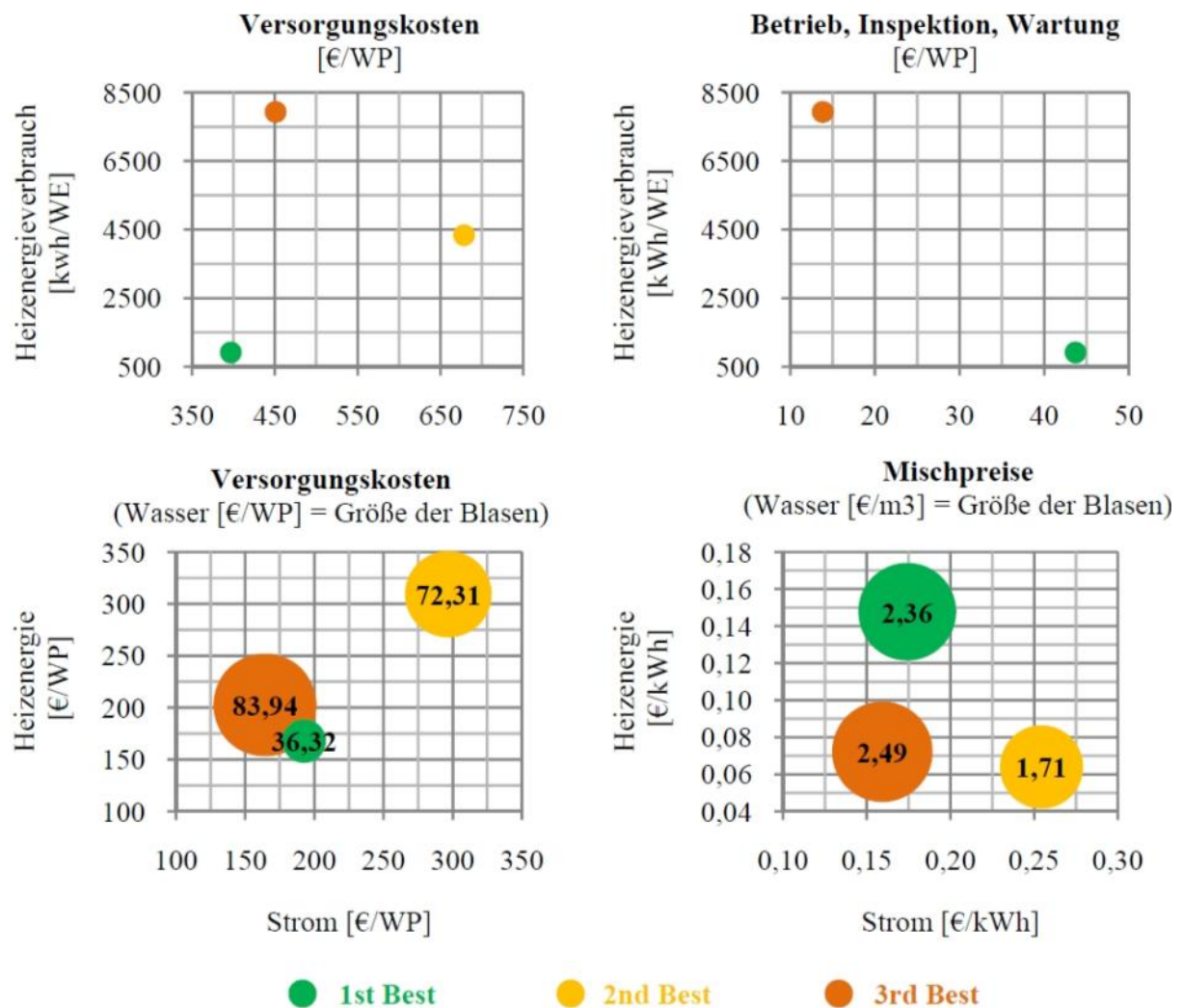


Abbildung 3.16. Gegenüberstellung der Kosten und Mischpreise. Quelle: Darstellung des KIT.



Ranking		Betrieb, Instandhaltung, Wartung		Versorgungskosten								Mischpreise					
				insgesamt		Heizenergie		Strom		Wasser		Heizenergie		Strom		Wasser	
		€/WP	Ranking	€/WP	Ranking	€/WP	Ranking	€/WP	Ranking	€/WP	Ranking	€/kWh	Ranking	€/kWh	Ranking	€/kWh	Ranking
N8	1st best	43,71	3	396,63	1	167,72	1	192,59	2	36,32	3	0,148	2	0,17	2	2,36	3
N6	2nd best	k.A.	2	678,44	3	309,31	3	296,82	1	72,31	2	0,064	3	0,25	1	1,71	2
N2	3rd best	13,84	1	450,74	2	202,48	2	164,32	3	83,94	1	0,072	1	0,16	3	2,49	1

Tabelle 3.1. Ranking in Kostenkennwerten und Mischpreisen. Quelle: Darstellung des KIT.

Der Vergleich des besten und drittbesten Neubauprojektes lässt folgende Schlussfolgerungen zu:

- Heizenergie: Das erstbeste Gebäude weist besondere technische Merkmale (Erdwärme statt Erdgas, Flächenheizung statt Heizkörper, Solarthermie mit Heizungsunterstützung, jedoch keine Abluftanlage) bei gleichzeitig höheren Mischpreisen und geringeren Kosten auf (Fall 2). Die geringeren Kosten für Heizenergie können eindeutig auf bessere technische Merkmale zurückgeführt werden.
- Strom: Das erstbeste Gebäude weist bessere technischer Merkmale (Regulierung der Beleuchtung durch Dimmung) bei gleichzeitig höheren Kosten und Mischpreisen auf (Fall 1). Die geringeren Kosten für Strom können durch geringere Mischpreise als auch bessere technische Merkmale begründet sein, eine eindeutige Rückführung auf bessere technische Merkmale ist nicht möglich.
- Wasser: Das erstbeste Gebäude weist die gleichen technischen Merkmale bei gleichzeitig geringeren Kosten und geringeren Mischpreisen auf (Fall 3). Die geringeren Kosten für Wasser können eindeutig auf geringere Mischpreise zurückgeführt werden.
- Betrieb, Inspektion, Wartung: Das erstbeste Gebäude weist höhere Kosten für Betrieb, Inspektion und Wartung auf als das drittbeste Gebäude, bei dem lediglich die Wartungskosten für die Heizung vorlagen. Beim erstbesten Gebäude wurden vom Betreiber darüber hinausgehende Wartungsverträge abgeschlossen.



Vergleich		Kosten	Mischpreise	Kostenunterschied ist begründet in unterschiedlichen
1st	Heizenergie	1st < 2nd	1st > 2nd	energetischen Merkmalen
vs.	Strom	1st < 2nd	1st < 2nd	Mischpreisen <u>und/oder</u> energetischen Merkmalen
2nd	Wasser	1st < 2nd	1st > 2nd	energetischen Merkmalen
1st	Heizenergie	1st < 3rd	1st > 3rd	energetischen Merkmalen
vs.	Strom	1st > 3rd	1st > 3rd	Mischpreisen <u>und/oder</u> energetischen Merkmalen
3rd	Wasser	1st < 3rd	1st < 3rd	Mischpreisen <u>und/oder</u> energetischen Merkmalen
2nd	Heizenergie	2nd > 3rd	2nd < 3rd	energetischen Merkmalen
vs.	Strom	2nd > 3rd	2nd > 3rd	Mischpreisen <u>und/oder</u> energetischen Merkmalen
3rd	Wasser	2nd < 3rd	2nd < 3rd	Mischpreisen <u>und/oder</u> energetischen Merkmalen

Tabelle 3.2. Rückführbarkeit von Kostenunterschieden auf Merkmale der Gebäudetechnik.
Quelle: Darstellung des KIT.

Neubau		Energieausweis		Heizenergie inkl. WWB																	Kaltwasser		Strom										
				Energieträger				Erzeuger			Über- gabe	Regel- ung	Solarthermie	Lüftung					Arma- turen	Beleuchtung im Flurbereich													
		ja	nein	Heizöl	Erdgas	Fernwärme	Geothermie	Rapsöl	Baujahr	Kessel	BHKW	Brennwertnutzung	Heizkörper	Flächenheizung	Nachtsenkung	Kopplung Fenster-	nein	mit HU	ohne HU	keine	Abluftanlage	Zu- und Abluft	Wärmerückgewinnung	Bedarfslüftung	Dauerlüftung	nur Nassräume/Küche	sparsam	normal	Leuchstofflampen	Tastschalter	Dimmung	Bewegungsmelder	Zeitschaltung
2nd best	N2		x		x			2004	x		x	x				x				x			x		x		x	x					
3rd best	N6		x		x			2005					x			x				x			x		x		x	x					
1st best	N8		x				x	2008						x	x	x			x								x	x		x			

Tabelle 3.3. Gegenüberstellung von Merkmalen der Gebäudetechnik. Quelle: Darstellung des KIT.

Der Vergleich des zweit- und drittbesten Neubauprojektes lässt folgende Schlussfolgerungen zu:

- Heizenergie: Das zweitbeste weist die gleichen technischen Merkmale (bei Erdgas ist anzunehmen, dass Brennwertnutzung gegeben ist) bei gleichzeitig geringeren Mischpreisen und höheren Kosten auf (Fall 6). In diesem Fall kann keine plausible Aussage über die Unterschiede in den Kosten für Heizenergie getroffen werden.
- Strom: Das zweitbeste verfügt über die gleichen technischen Merkmale bei gleichzeitig höheren Kosten und Mischpreis (Fall 3). Die höheren Kosten für Strom können eindeutig auf höhere Mischpreise zurückgeführt werden.
- Wasser: Das Zweitbeste verfügt über die gleichen technischen Merkmale bei gleichzeitig geringeren Kosten und Mischpreis (Fall 3). Die geringeren Kosten für Wasser können eindeutig auf den geringeren Mischpreis für Wasser zurückgeführt werden.



- Betrieb, Inspektion, Wartung: Für das zweitbeste Gebäude liegen keine Daten zu Kosten für Betrieb, Inspektion und Wartung vor, sodass keine Aussagen über Kostenunterschiede möglich sind.

Neben den allgemeinen Beschränkungen bei der Interpretation der Ergebnisse, die bereits in der Einleitung erläutert wurden, gilt es an dieser Stelle festzuhalten, dass sich auf Grund der verfügbaren Daten allgemein keine beste Technologiekombination identifizieren lässt.

3.7. Kostenbetrachtung für Sanierungen

Im Folgenden erfolgt die Darstellung und Interpretation aller berechneten Werte für die Sanierungsgebäude.

3.7.1. Darstellung berechneter Kostenkennwerte

Die Abbildung 3.1. gibt einen Überblick über die Verhältnisse der Bezugsgrößen und die berechneten Kostenkennzahlen der Sanierungsprojekte.

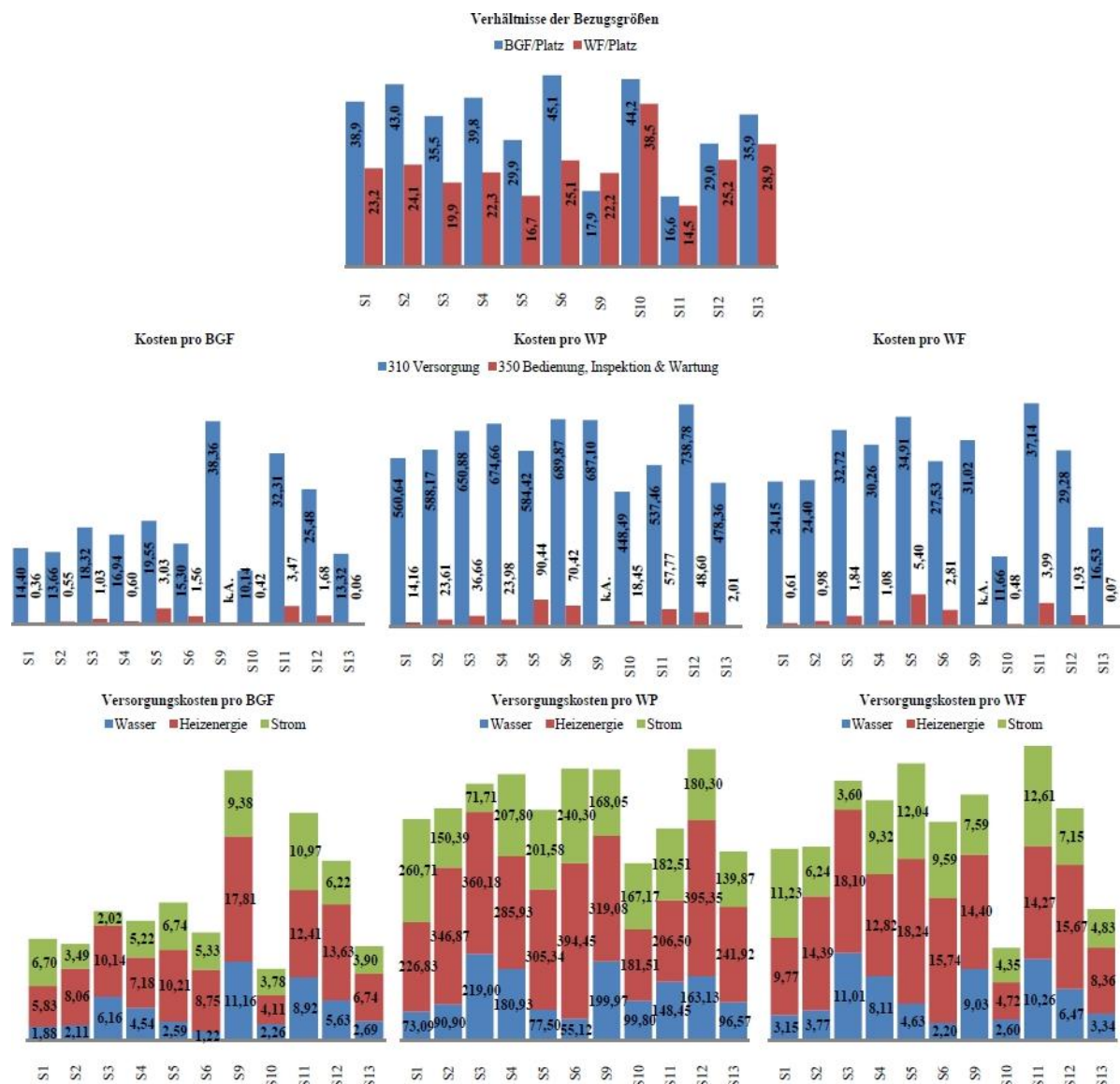


Abbildung 3.17. Bezugsgrößen und Kostenkennzahlen. Quelle: Darstellung des KIT.

3.7.2. Darstellung durchschnittlicher Mischpreise

Die Abbildung 3.18. gibt einen Überblick über die berechneten durchschnittlichen Mischpreise sowie deren absoluten Abweichungen gegenüber dem Mittelwert.

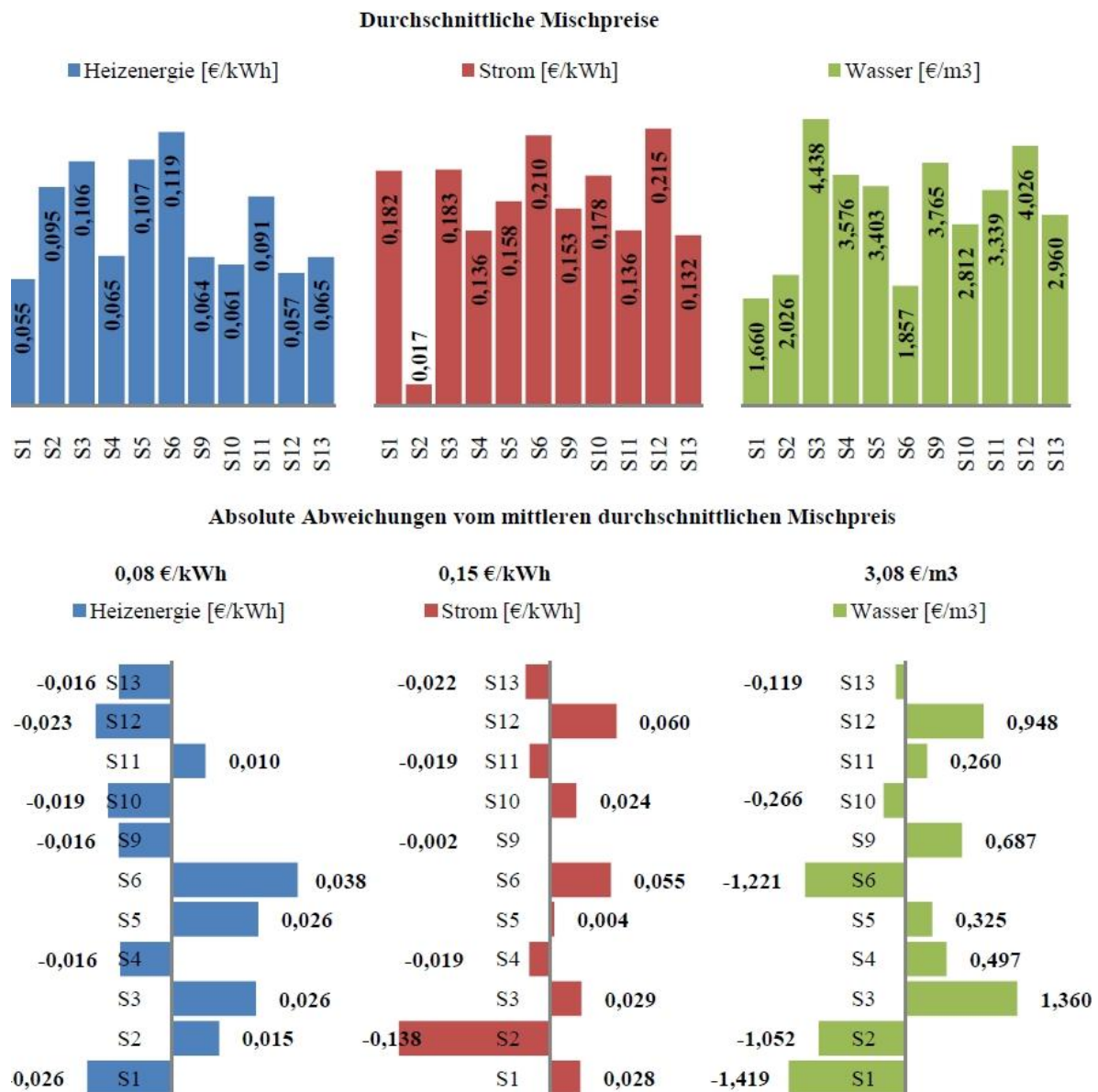


Abbildung 3.18. Durchschnittliche Mischpreise. Quelle: Darstellung des KIT.

3.7.3. Darstellung berechneter Kostenkennwerte relativ zum Benchmark

Die Abbildung 3.19. gibt einen Überblick über die Verhältnisse zwischen der Anzahl Wohneinheiten und der Anzahl Wohnplätze sowie die Festlegung des Best-Practice-Benchmarks bei den Neubauprojekten.

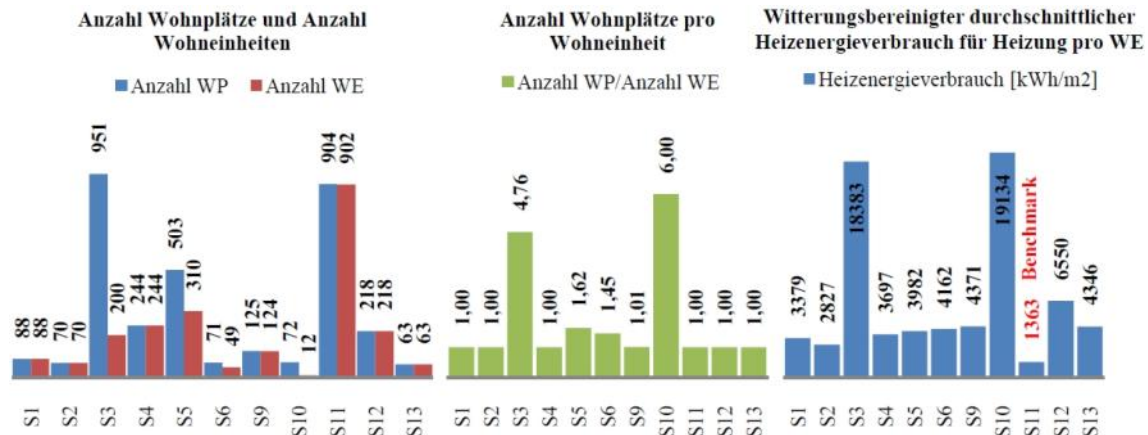


Abbildung 3.19. Festlegung des Best-Practice-Benchmarks. Quelle: Darstellung des KIT.

Die Abbildung 3.20. gibt einen Überblick über die relativen Abweichungen der Kostenkennwerte von den Kostenkennwerten des Best-Practice-Benchmarks.

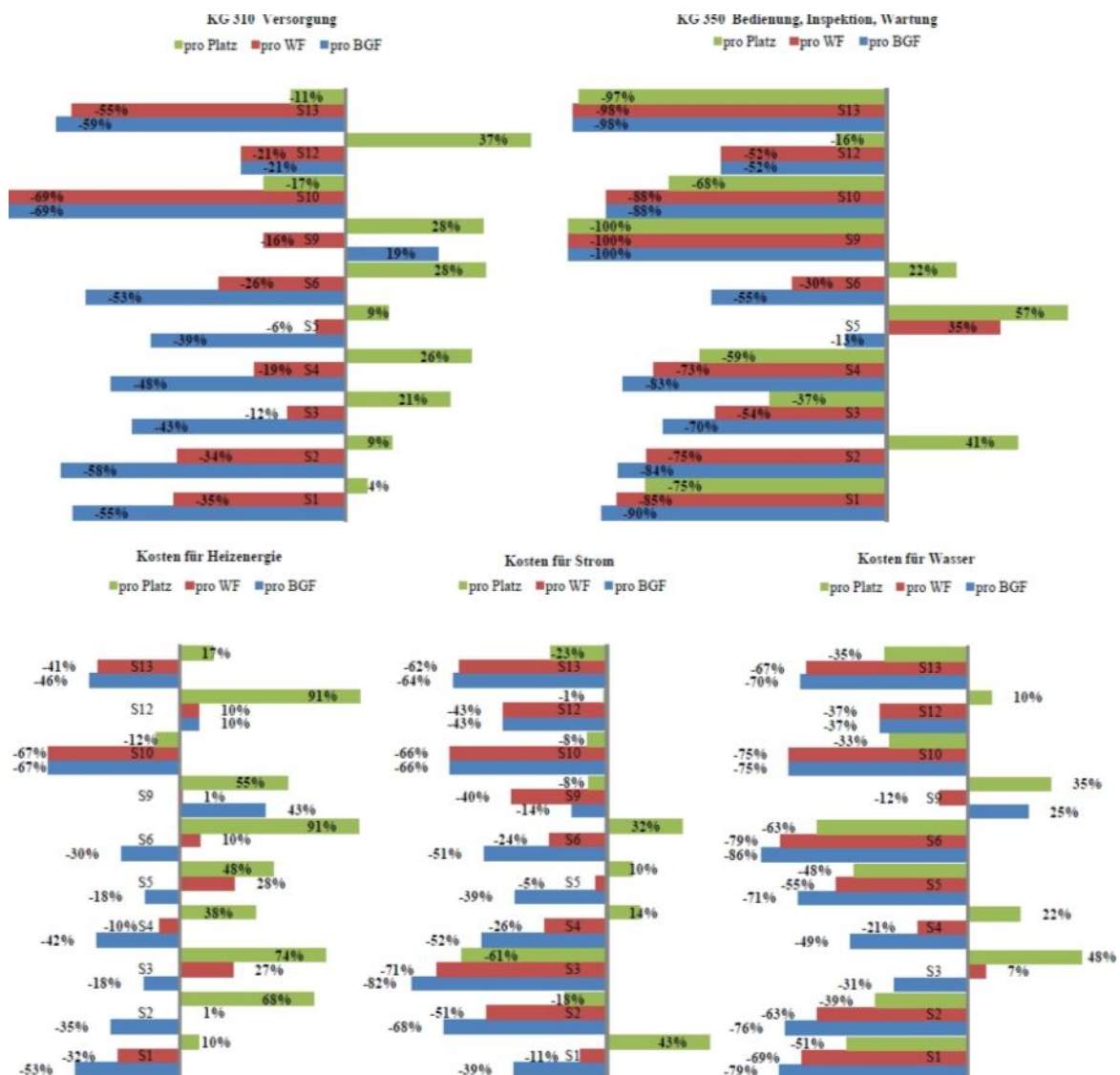




Abbildung 3.20. Relative Abweichungen der Kostenkennwerte vom Benchmark. Quelle: Darstellung des KIT.

Interpretation

Die Darstellung und Gegenüberstellung der Kostenkennwerte und Mischpreise der drei besten (1st best, 2nd best, 3rd best) Neubauprojekte ergibt sich graphisch gemäß Abbildung 3.5 sowie in Form des Rankings gemäß Tabelle 3.1.

Die Rückführbarkeit von Unterschieden in den Versorgungskosten auf Unterschiede in energetischen und technischen Merkmalen im Vergleich der drei Gebäude ergibt sich gemäß Tabelle 3.2 sowie die Gegenüberstellung der technischen und energetischen Merkmale gemäß Tabelle 3.3.

Der Vergleich des erst- und zweitbesten Sanierungsprojektes lässt folgende Schlussfolgerungen zu:

- Heizenergie: Das erstbeste weist bessere technische Merkmale (solarthermische Anlage) bei gleichzeitig geringerem Mischpreis und geringeren Kosten auf (Fall 1). Die geringeren Kosten für Heizenergie können durch den geringeren Mischpreis als auch durch bessere technische Merkmale begründet sein, eine eindeutige Rückführung auf bessere technische Merkmale ist nicht möglich.
- Strom: Das erstbeste Gebäude weist die gleichen technischen Merkmale bei gleichzeitig höheren Kosten und einem höheren Mischpreis auf (Fall 3). Die höheren Kosten für Strom können eindeutig auf den höheren Mischpreis zurückgeführt werden.
- Wasser: Das erstbeste Gebäude weist die gleichen technischen Merkmale bei gleichzeitig höheren Kosten und einem höheren Mischpreis auf (Fall 3). Die höheren Kosten für Wasser können eindeutig auf den höheren Mischpreis zurückgeführt werden.
- Betrieb, Inspektion, Wartung: Das erstbeste Gebäude weist höhere Kosten für Betrieb, Inspektion und Wartung auf. Dies kann auf Grund vorhandener Daten nur auf die solarthermische Anlage zurückgeführt werden.

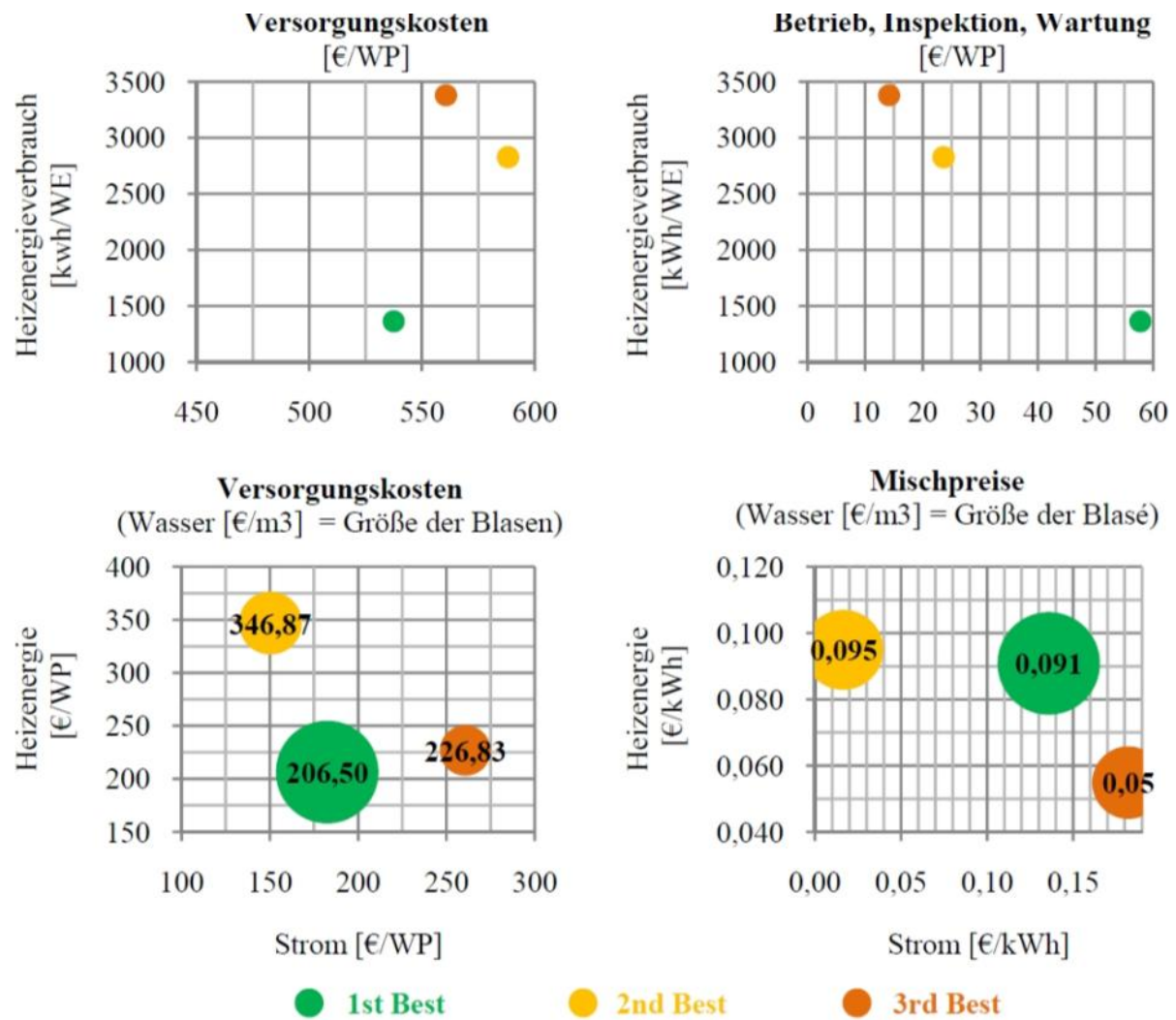


Abbildung 3.19. Gegenüberstellung der Kosten und Mischpreise. Quelle: Darstellung des KIT.



Ranking		Betrieb, Instandhaltung, Wartung		Versorgungskosten				Mischpreise			
				insgesamt		Heizenergie		Strom		Wasser	
		€/WP	Ranking	€/WP	Ranking	€/WP	Ranking	€/WP	Ranking	€/kWh	Ranking
S11	1st best	57,77	3	537,46	1	206,50	1	182,51	2	148,45	3
S2	2nd best	23,61	2	588,17	3	346,87	3	150,39	1	90,90	2
S1	3rd best	14,16	1	560,64	2	226,83	2	260,71	3	73,09	1

Tabelle 3.4. Ranking in Kostenkennwerten und Mischpreisen. Quelle: Darstellung des KIT.

Der Vergleich des erst- und drittbesten Sanierungsprojektes lässt folgende Schlussfolgerungen zu:

- Heizenergie: Das erstbeste Gebäude weist bessere technische Merkmale (solarthermische Anlage) bei gleichzeitig geringeren Kosten und höherem Mischpreis auf (Fall 2). Die geringeren Kosten für Heizenergie können eindeutig auf bessere technische Merkmale zurückgeführt werden.
- Strom: Das erstbeste Gebäude weist die gleichen technischen Merkmale bei gleichzeitig geringeren Kosten und geringerem Mischpreis auf (Fall 3). Die geringeren Kosten für Strom können eindeutig auf einen geringeren Mischpreis zurückgeführt werden.
- Wasser: Das erstbeste Gebäude weist schlechtere technische Merkmale (keine Wasserspararmaturen) bei gleichzeitig höheren Kosten und höherem Mischpreis auf (Fall 1). Die höheren Kosten für Wasser können im höheren Mischpreis als auch in schlechteren technischen Merkmalen begründet sein, eine eindeutige Rückführung auf schlechtere technische Merkmale ist nicht möglich.
- Betrieb, Inspektion, Wartung: Das erstbeste weist höhere Kosten für Betrieb, Inspektion und Wartung auf. Dies kann auf Grund vorhandener Daten nur auf die solarthermische Anlage zurückgeführt werden.



Vergleich		Kosten	Mischpreise	Kostenunterschied ist begründet in unterschiedlichen
1st	Heizenergie	1st < 2nd	1st < 2nd	Mischpreisen <u>und/oder</u> energetischen Merkmalen
vs.	Strom	1st > 2nd	1st > 2nd	
2nd	Wasser	1st > 2nd	1st > 2nd	
1st	Heizenergie	1st < 3rd	1st > 3rd	energetischen Merkmalen
vs.	Strom	1st < 3rd	1st < 3rd	Mischpreisen <u>und/oder</u> energetischen Merkmalen
3rd	Wasser	1st > 3rd	1st > 3rd	
2nd	Heizenergie	2nd > 3rd	2nd > 3rd	
vs.	Strom	2nd < 3rd	2nd < 3rd	
3rd	Wasser	2nd > 3rd	2nd > 3rd	

Tabelle 3.5. Rückführbarkeit von Kostenunterschieden auf Merkmale der Gebäudetechnik.
Quelle: Darstellung des KIT.

Sanierung		Energieausweis		Heizenergie inkl. WWB																	Kaltwasser		Strom										
				Energieträger				Erzeuger				Über-gabe	Regel-ung	Solarthermie		Lüftung					Arma-turen	Beleuchtung im Flurbereich											
		ja	nein	Heizöl	Erdgas	Fernwärme	Geothermie	Rapsöl	Baujahr	Kessel	BHKW	Brennwertnutzung	Heizkörper	Flächenheizung	Nachtsabsenkung	Kopplung Fenster-	nein	mit HU	ohne HU	keine	Abluftanlage	Zu- und Abluft	Wärmerückgewinnung	Bedarfslüftung	Dauerlüftung	nur Nassräume/Küche	sparsam	normal	Leuchtstofflampen	Tastschalter	Dimmung	Bewegungsmelder	Zeitschaltung
3rd best	S1		x			x			-				x			x				x			-	-	x	x		x					
2nd best	S2		x			x			-				x			x				x			x		x		x	x	-				
1st best	S11		x			x			-				x					x		x			x		x		x	x	x				

Tabelle 3.6. Gegenüberstellung von Merkmalen der Gebäudetechnik. Quelle: Darstellung des KIT.

Der Vergleich des zweit- und drittbesten Sanierungsprojektes lässt folgende Schlussfolgerungen zu:

- Heizenergie: Das zweitbeste Gebäude weist vermutlich die gleichen oder ggf. geringfügig besseren technischen Merkmale (nach den Angaben Bedarfslüftung anstatt fester Betriebszeiten) bei gleichzeitig höheren Kosten und einem höheren Mischpreis auf (Fall 3 ggf. Fall 4). Die höheren Kosten sind entweder eindeutig auf den höheren Mischpreis zurückzuführen oder der Kosteneffekt der unterschiedlich gesteuerten Abluftanlagen wird durch den höheren Mischpreis überkompensiert.
- Strom: Das zweitbeste Gebäude weist vermutlich die gleichen oder ggf. schlechtere technische Merkmale (keine Energiesparlampen im Flur) bei gleichzeitig geringeren Kosten und geringerem Mischpreis auf (Fall 3 ggf. Fall 5). Die geringeren Kosten für Strom sind entweder auf höhere Mischpreise zurückzuführen oder der negative Kos-



teneffekt schlechterer Technik wird durch den geringeren Mischpreis überkompensiert.

- Wasser: Das zweitbeste Gebäude weist schlechtere technische Merkmale (keine Wasserspararmaturen) bei gleichzeitig höheren Kosten und höherem Mischpreis auf (Fall 1). Die höheren Kosten sind sowohl auf einen höheren Mischpreis als auch schlechtere Technik zurückzuführen. Rückschlüsse auf schlechtere Technik sind nicht eindeutig möglich.
- Betrieb, Inspektion, Wartung: Das zweitbeste Gebäude weist geringere Kosten für Betrieb, Inspektion und Wartung auf. Da vermutlich keine oder geringe technische Unterschiede vorhanden sind, sind die Kostenunterschiede durch andere Faktoren zu erklären (z.B. Preiskondition und Löhne).

Neben den allgemeinen Beschränkungen bei der Interpretation der Ergebnisse, die bereits in der Einleitung erläutert wurden gilt es an dieser Stelle festzuhalten, dass sich auf Grund der verfügbaren Daten keine allgemein beste Technologiekombination identifizieren lässt.

3.8. Ergänzende Bemerkungen zu den Herstellungskosten

Tabelle 1.1 in Abschnitt 1 stellt mögliche ursächliche Zusammenhänge zwischen Baukosten (nach DIN 276) und Baunutzungskosten (nach DIN 18960) dar. Insbesondere der mindestens erforderliche Detaillierungsgrad der Kostendaten zur Beantwortung zentraler Fragen, wie z.B. „Lassen sich mit höheren Investitionen in die Haustechnik Energiekosten senken?“ oder „Verursachen innovative, teure haustechnische Systeme höhere Wartungskosten?“ werden dabei erkennbar. Sowohl der Detaillierungsgrad der vorliegenden Daten zu Baukosten, als auch die Anzahl der ausgewerteten Objekte erfüllt, wie bereits erwähnt, diese Anforderungen nicht, so dass im Rahmen der durchgeführten Untersuchung die oben genannten Fragen nicht beantwortet werden können. Es wird dennoch der Versuch unternommen, einige isolierte Aussagen festzuhalten. Auf verallgemeinerte Rückschlüsse von Baukosten zu Nutzungskosten wird bewusst verzichtet, weil nicht eindeutig erkennbar ist, welche Investitionen tatsächlich einen Einfluss auf das jeweilige Energiekonzept ausübten.

3.8.1. Herstellungskosten der Neubauprojekte

Für Neubauprojekte liegen vom Baukostenzentrum Deutscher Architektenkammern (BKI) statistische Baukostenkennwerte vor. Diese sind für die Kostengruppe 300, bezogen auf die Bruttogrundfläche einschl. Mehrwertsteuer (hier Kostenstand 2009), verfügbar. Es ist anzumerken, dass die Werte des BKI aus acht Wohnheimen und Internaten, davon zwei Studentenwohnheimen, ermittelt wurden. Die korrespondierenden, ermittelten Kennwerte aus der vorliegenden Auswertung wurden zur Vergleichbarkeit hinsichtlich Kostenstand und Umsatzsteuer bereinigt. Die Objekte N2 und N7 lieferten überhaupt keine (auswertbaren) Daten. Abbildung 3.20 (links) zeigt zumindest mögliche Größenordnungen der Investitionen in haustechnische Anlagen der Studentenwohnheime; diese liegen dabei unterhalb des BKI Benchmarks.

N8 wurde für die in den vorigen Abschnitten durchgeführte best-practice-Analyse hinsichtlich des Heizenergieverbrauchs (nicht Primärenergie !) als bester Neubau ausgewählt. Dieses



Gebäude zeigt die höchsten Investitionskosten in haustechnische Anlagen im Rahmen der auswertbaren Daten. Hierbei ist anzumerken, dass hierin Erstellungskosten für Erdsonden und eine solarthermische Anlage mit Heizungsunterstützung enthalten sind, die einen möglichen Rückschluss auf den niedrigen Heizenergiebedarf zulassen. N6 (3rd-best) fällt nicht mit überdurchschnittlich hohen Investitionskosten in haustechnische Anlagen auf, wobei eine Kompensation durch erhöhte Investitionen in eine sehr gute Gebäudehülle nicht ausgeschlossen werden kann. Bei den Investitionen für die Gebäudehülle lagen jedoch weder für N6 noch für N8 verwertbare Daten vor (siehe Abbildung 3.20 rechts).

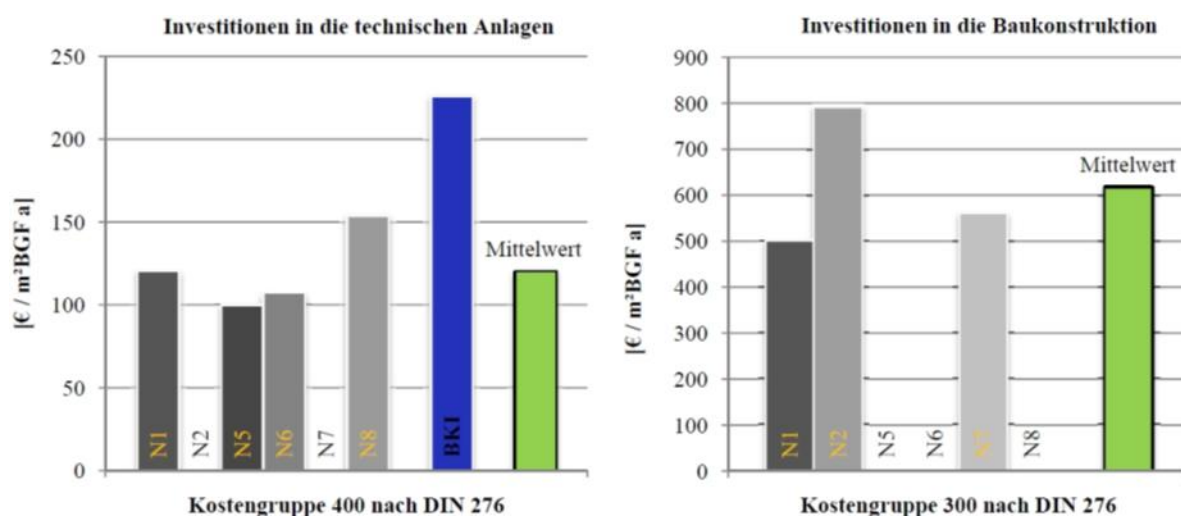


Abbildung 3.20. Investitionen in die Anlagentechnik und Baukonstruktion. Quelle: Darstellung des KIT.

3.8.2. Herstellungskosten der Sanierungsobjekte

Für Sanierungsprojekte liegen beim BK1 derzeit keine für die Untersuchung verwertbaren Benchmarks vor, so dass ein externer Vergleich bei der Untersuchung ausgeschlossen war. In Abbildung 3.21 (links) ist erkennbar, dass die Investitionen in Haustechnik bei den auswertbaren Sanierungsobjekten im Mittel mit jenen der Neubauten vergleichbar sind. Bei den Sanierungsobjekten wurden in den vorigen Abschnitten S11, S2, und S1 als die drei besten Gebäude hinsichtlich des Heizenergiebedarfs bestimmt. S1 und S2 liegen bei den Investitionskosten in Haustechnik im mittleren Bereich.

S11, als „first-best“ in der Best-Practice-Analyse, fällt innerhalb der auswertbaren Daten mit den höchsten Investitionen in Haustechnik auf. Trotz umfangreicher Sanierungsmaßnahmen der Haustechnik wurde nicht in Systeme zur Nutzung erneuerbarer Energien investiert. Hingegen liegen die Investitionen in die Gebäudehülle (Abbildung 3.21 rechts) für S11 auf zweithöchstem Niveau der zugrundeliegenden Daten, so dass der niedrige Heizenergiebedarf auf einen niedrigen Heizwärmebedarf zurückzuführen sein könnte. S2 liegt bei den Investitionen in haustechnische Anlagen im mittleren Bereich, bei den Kosten für die Gebäudehülle stellt S2 den Spitzenreiter dar. Allerdings liegen die Investitionen hier nur als Summen jeweils der beiden Kostengruppen 300 und 400 vor, so dass Investitionen mit Auswirkungen auf die energetische Qualität nicht eindeutig identifiziert werden können.

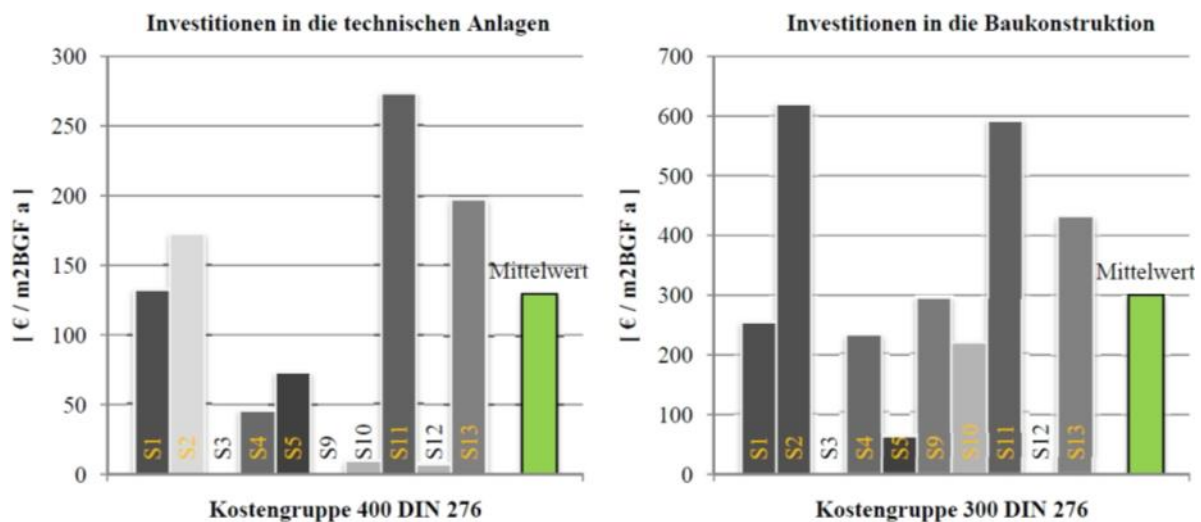


Abbildung 3.21. Investitionen in die Anlagentechnik und Baukonstruktion. Quelle: Darstellung des KIT.

3.9. Kritische Würdigung der Kosten- und Energiebetrachtung

Die auswertbaren Daten ließen sowohl bei den Neubauten als auch bei den Sanierungen keine konkreten Empfehlungen hinsichtlich der Auswahl von Technologien oder Technologiekombinationen zu. Festzustellen war jedoch in Einzelfällen, dass innovative Technologien zu Einspareffekten bei den Energiekosten führen können ohne dabei mit überhöhten Wartungskosten aufzufallen.

Anhand der in Abschnitt 1 (siehe 2.3) vorgenommenen Beschreibung der Qualität und Vollständigkeit der tatsächlich verfügbaren Kostendaten im Rahmen der Auswertung wird erkennbar, dass unüberwindbare Lücken im Datenmaterial vorlagen. Der Leser erhält jedoch die Möglichkeit, sich anhand der Tabelle A.1 (im Anhang) einen vollständigen Überblick über alle auswertbaren Kostendaten in Form der eingangs vorgeschlagenen Kennwerte zu verschaffen.

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes wird gleichzeitig aufgezeigt, welche Voraussetzungen gegeben sein müssten, um auf Fragestellungen hinsichtlich geeigneter Technologiekombinationen konkrete Antworten ableiten zu können.

Von den Autoren wird empfohlen, zukünftig Kostendaten nach den hier eingesetzten Normen konsequent zu erfassen, zu gliedern und zu dokumentieren. Insbesondere bei der Erfassung von Baukosten der Gebäudehülle sind nicht aufgeschlüsselte Abrechnungen, wie sie z.B. von Generalunternehmern erstellt werden, für energetische Kostenanalysen ungeeignet.

Neben der Analyse von Energie- und Wartungskosten haustechnischer Anlagen stellt sich im Rahmen vergleichbarer Untersuchungen wiederholt die Frage nach Lebensdauern und Instandsetzungskosten, d.h. Kosten für die Erneuerung. Insbesondere bei Neubauten wird deshalb neben der Notwendigkeit der oben empfohlenen normierten Gliederungsstruktur die Erfassung der Nutzungskosten über einen **längeren Zeitraum**, d.h. deutlich mehr als die



bei der vorliegenden Untersuchung realisierten drei Jahre, notwendig, um außerhalb von möglichen Garantie- oder Gewährleistungsverpflichtungen der Produkthanbieter aussagekräftige Zahlen zu erhalten.

Unabhängig von der Fragestellung, die im Rahmen dieser Untersuchung verfolgt wurde, gilt es anzumerken, dass der Aufbau einer **systematischen Datenbank** zur Erfassung von Verbrauchs- und Kostendaten und die Einführung eines systematischen Energiemanagements sinnvoll ist. Hierdurch könnten alle beteiligten Studentenwerke von gegenseitigen Erfahrungen profitieren. Dies betrifft einerseits die Beeinflussung der Kosten durch Gestaltung des Bauwerks (hohe Investitionen), jedoch auch und insbesondere kurzfristig und mit geringen oder keinen Investitionen verbundene Einsparungen über die Betriebsoptimierung und die Tarifoptimierung bzw. das Vertragsmanagement (z.B. regelmäßige Prüfung auf Wechsel des Versorgers oder der Energieträger).

Die Ebene der Betrachtung mit den jeweiligen Indikatoren Primärenergie, Endenergie und CO₂ Emissionen muss immer eindeutig gewählt und ausgewiesen sein. Auch dürfen –auf Basis unterschiedlicher Indikatoren- nicht zwangsläufig Parallelen gezogen werden: Ein niedriger Primärenergieverbrauch / geringe CO₂ äquiv. Emissionen bedeuten nicht automatisch niedrige Endenergiekosten.

Mit zunehmendem Wärmeschutz des Gebäudes gewinnen Stromverbrauch und Energie für die Trinkwassererwärmung höhere Bedeutung an der Energie-, Kosten- und Emissionsbilanz, da die Heizwärme anteilig geringer ausfällt.

Bei allgemeiner Betrachtung des studentischen Wohnens, ist die Nutzungsdichte auf den m² bezogen sehr hoch, so dass sich – bei Augenmerk auf Verbräuche- eine dementsprechende Erhöhung der Kenngrößen niederschlägt. Der Pro-Kopf Verbrauch ist dagegen nicht wesentlich vom bundesdeutschen Durchschnitt entfernt und unterstützt erneut die Sinnhaftigkeit, Verbräuche auf die Wohneinheit/ pro Kopf zu beziehen.

Verbrauchsbetrachtungen gehen einher mit einer genauen Betrachtung der Nutzergruppe, derer Motive und was die Gruppe als solches ausmacht. Die Motivation der Nutzer kann eine große Rolle spielen, wenn hohe Einsparungen erreicht werden wollen. Nach einer Auslobung der [DENA2007] war eine Stromeinsparung von bis zu 24% möglich (verglichen mit dem Stromverbrauch des entsprechenden Monats des vorangegangenen Jahres).

3.10. Handlungsempfehlungen, Schlussbemerkung

Die Autoren empfehlen ein konsequentes benchmarking vor Ort, auf der Ebene von Kosten, End- /Primärenergie und Emissionen unter Nutzung konsequenter und abgestimmter Bezüge (Wohnheimplatz, m² NGF, m² BGF). Dieses sollte im Sinne eines Energie- und Umweltberichts verfolgt werden. Ggf. ist eine Plattform für eine Zusammenfassung für einen bundesweiten Jahresbericht des Deutschen Studentenwerks zu schaffen. Bei einem bundesweit abgestimmten Vorgehen sind die dazu erforderlichen Arbeiten angemessen gering. Die Dar-



stellungen – lokal wie bundesweit - liefern eine geeignete Basis für die Feststellung von Erfolgen auf dem Weg zur Reduktion von Ressourcenverbrauch und Emissionen beim studentischen Wohnen und sind als Plattform für die Zieldefinition geeignet.

Vor Ort sollten Maßnahmen zur Stromverbrauchsminderung getroffen werden: bei Austausch/ Neuanschaffung eingebauter Geräte ist auf die Klassifizierung A++ zu achten. Die Beleuchtung sollte durch Energiesparlampen bzw. LED Beleuchtung gewährleistet sein. Maßnahmen zur Reduktion des Wasserverbrauchs sind die Installation wassersparender Armaturen. Bei zentraler Wassererwärmung gilt es, Zirkulationsverluste zu erkennen und zu minimieren und Rohrleitungen zu dämmen.

Großen Einfluss auf Kennwerte haben die Bezugsgrößen. Daher müssen immer die Bezugsflächen/ -größen exakt definiert sein. Andernfalls werden die Kenngrößen verfälscht und sind unbrauchbar bzw. nicht vergleichbar. Es sollten generell mehrere Bezugsgrößen erhoben/ gepflegt werden, um die Möglichkeit des Vergleichs mit anderen Untersuchungen zu haben.

Bei der Witterungsbereinigung muss auf die sorgfältige Auswahl der Wetterstation (nahe des Standortes) geachtet werden.

Der Zustand der Gebäudesubstanz sollte dokumentiert sein, ebenso wie der gebäudetechnische und der nutzungsbedingte Ausstattungsgrad.

3.11. Veröffentlichungen, Vorträge

01.2011 BAU 2011. Ute Rustemeyer: Benchmarks für Studierendenwohnheime. Präsentation des Zwischenstands im Rahmen anderer Projekte von ZukunftBau.

05.2011 Wohnheimtagung DSW, Bayreuth. Ute Helbich: Präsentation erster Projektergebnisse mit anschließender Diskussion.

10.2011 Endbericht



4. Literatur und Quellenangaben

Bernadetta	Bernadetta, A.W.: „Analyse und Optimierung der Betriebskostenabrechnung von Wohnheimen des Studentenwerks Dresden“. Bachelorarbeit. Hochschule Zittau Görlitz, Oktober 2007.
BDEW2010	Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.: Wasserfakten im Überblick (Stand: Januar 2011)
Bine2008	Bine Informationsdienst, „Thermische Solaranlagen – Studentenwohnheim“, Bine Projektinfo 06/08, Bonn, 2008
BMVBS2009	Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchskennwerte im Wohngebäudebestand. Vom 30. Juli 2009. URL: http://www.bbsr.bund.de/nn_22282/BBSR/DE/Bauwesen/EnergieKlima/GesetzlicheRegelungen - Zugriff am 30.05.2011
BMVBS2009 NWG	Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchskennwerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. Vom 30. Juli 2009.
DENA2007	Stromsparmeisterschaften. Bundesweite Auslobung der dena unter Studentenwohnheimen, im Mai 2007.
DIN 18960	(2008-02): Nutzungskosten im Hochbau. Deutsches Institut für Normung. Beuth Verlag, Berlin.
DIN 276-1	(2008-12): Kosten im Bauwesen – Teil 1: Hochbau. Deutsches Institut für Normung. Beuth Verlag, Berlin.
DIN277-1	(2005-02): Grundflächen und Rauminhalte von Bauwerken im Hochbau- Teil 1: Begriffe, Ermittlungsgrundlagen. Deutsches Institut für Normung. Beuth Verlag, Berlin.
DIN277-2	(2005-02): Grundflächen und Rauminhalte von Bauwerken im Hochbau- Teil 2: Gliederung der Netto-Grundfläche (Nutzflächen, Technische Funktionsflächen und Verkehrsflächen). Deutsches Institut für Normung. Beuth Verlag, Berlin.
Engelmann2009	Engelmann, P: „Energie- und Wasserverbrauch in Studierendenwohnheimen. Eine Auswertung von 31 Wohnheimen.“ Kurzstudie, Bergische Universität Wuppertal, Lehrgebiet Bauphysik und Technische Gebäudeausrüstung, Wuppertal, Herbst 2009
Engelmann2010	Engelmann, P: „Studentisches Wohnen im Passivhaus“ Dissertation, Bergische Universität Wuppertal, Lehrgebiet Bauphysik und Technische Gebäudeausrüstung, Wuppertal, Juni 2010.
GEFMA 124-1	(2009-11): Energiemanagement- Grundlagen und Leistungsbild. Bonn: GEFMA Deutscher Verband für Facility Management.
GEFMA 124-2	(2009-11): Energiemanagement- Methoden. Bonn: GEFMA Deutscher Verband für Facility Management.
IWUGradtag	Gradtagszahlen_Deutschland.xls (Arbeitshilfe des IWU mit Daten aus 42 Wetterstationen in Deutschland)URL: www.iwu.de/fileadmin/user_upload/.../Gradtagszahlen_Deutschland.xls
IWU2003	Institut Wohnen und Umwelt: Deutsche Gebäudetypologie. Systematik und Datensätze. Darmstadt 2003.
IWU2005	Loga, T; Diefenbach, N; Knissel, J; Born, R: Kurzverfahren Energieprofil. Ein vereinfachtes abgesichertes Verfahren zur Erhebung von Gebäudedaten zur energetischen Bewertung von Gebäuden. IWU Darmstadt 2005. Bauforschung für die Praxis, Band 72, Fraunhofer IRB Verlag Stuttgart 2005.
Nullenergie	Voss, K; Musall, E: Nullenergiegebäude. Internationale Projekte zum klimaneutralen Wohnen und Arbeiten. DETAIL Verlag, Mai 2011.
Späth	Späth, Th.; Seeberger, J.(2007): Energiemanagement im Geschosswohnungsbau für Wohnungsunternehmen, Hausverwaltungen und Hauseigentümer. URL: http://www.energieregion.de/download/energiemanagement_im_geschosswohnungsbesta



	nd.pdf - Zugriff am 09.06.2011.
Unholzer	Unholzer, M. et al. (2010): Energiekonzepte und ihre Auswirkungen auf ausgewählte Nutzungskosten von EnOB-Bürogebäuden. In Alexander Redlein (Hrsg.) : Journal für Facility Management. Band 02/2010, Zentrum für Informations- und Facility Management (IFM), TU Wien, Österreich, S. 26-37.
VDI 3807	Verein Deutscher Ingenieure. VDI 3807 „Energie- und Wasserverbrauchskennwerte für Gebäude“. Düsseldorf 2007.

Gegenüberstellung		Kosten und Preise (brutto)						energetische und technische Merkmale																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
		Energiebeanspruch						Energieträger		Erzeuger		Über- gabe	Rege- lung	Solar- thermie	Lüftung				Kalt- wasser		Strom																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
Neubau		310 V Versorgung [€/WP]		350 Bedienung, Inspektion & Wartung [€/WP]		Kosten für Heizenergie [€/WP]		Kosten für Strom [€/WP]		Kosten für Wasser [€/WP]		Mischpreis für Heizenergie [€/kWh]		Mischpreis für Strom [€/kWh]		Mischpreis für Wasser [€/m³]		ja	nein	Heizöl	Erdgas	Festbrennstoffe	Kapazität	Baujahr	Kessel	BHKW	Brennwertnutzung	Heizkörper	Flächenheizung	Nachbrennkammer	Kopplung Fenster-/Türmotor	kein mit HU	ohne HU	keine Abhängigkeit	Zug- und Abfuhr	Wärmerückgewinnung	Überbrückung	mit Wasserzirkulation	sparsam	normal	Leuchthalten	Dimmung	Bewegungsmelder	Zuschaltung																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12	N13	N14	N15	N16	N17	N18	N19	N20	N21	N22	N23	N24	N25	N26	N27	N28	N29	N30	N31	N32	N33	N34	N35	N36	N37	N38	N39	N40	N41	N42	N43	N44	N45	N46	N47	N48	N49	N50	N51	N52	N53	N54	N55	N56	N57	N58	N59	N60	N61	N62	N63	N64	N65	N66	N67	N68	N69	N70	N71	N72	N73	N74	N75	N76	N77	N78	N79	N80	N81	N82	N83	N84	N85	N86	N87	N88	N89	N90	N91	N92	N93	N94	N95	N96	N97	N98	N99	N100	N101	N102	N103	N104	N105	N106	N107	N108	N109	N110	N111	N112	N113	N114	N115	N116	N117	N118	N119	N120	N121	N122	N123	N124	N125	N126	N127	N128	N129	N130	N131	N132	N133	N134	N135	N136	N137	N138	N139	N140	N141	N142	N143	N144	N145	N146	N147	N148	N149	N150	N151	N152	N153	N154	N155	N156	N157	N158	N159	N160	N161	N162	N163	N164	N165	N166	N167	N168	N169	N170	N171	N172	N173	N174	N175	N176	N177	N178	N179	N180	N181	N182	N183	N184	N185	N186	N187	N188	N189	N190	N191	N192	N193	N194	N195	N196	N197	N198	N199	N200	N201	N202	N203	N204	N205	N206	N207	N208	N209	N210	N211	N212	N213	N214	N215	N216	N217	N218	N219	N220	N221	N222	N223	N224	N225	N226	N227	N228	N229	N230	N231	N232	N233	N234	N235	N236	N237	N238	N239	N240	N241	N242	N243	N244	N245	N246	N247	N248	N249	N250	N251	N252	N253	N254	N255	N256	N257	N258	N259	N260	N261	N262	N263	N264	N265	N266	N267	N268	N269	N270	N271	N272	N273	N274	N275	N276	N277	N278	N279	N280	N281	N282	N283	N284	N285	N286	N287	N288	N289	N290	N291	N292	N293	N294	N295	N296	N297	N298	N299	N300	N301	N302	N303	N304	N305	N306	N307	N308	N309	N310	N311	N312	N313	N314	N315	N316	N317	N318	N319	N320	N321	N322	N323	N324	N325	N326	N327	N328	N329	N330	N331	N332	N333	N334	N335	N336	N337	N338	N339	N340	N341	N342	N343	N344	N345	N346	N347	N348	N349	N350	N351	N352	N353	N354	N355	N356	N357	N358	N359	N360	N361	N362	N363	N364	N365	N366	N367	N368	N369	N370	N371	N372	N373	N374	N375	N376	N377	N378	N379	N380	N381	N382	N383	N384	N385	N386	N387	N388	N389	N390	N391	N392	N393	N394	N395	N396	N397	N398	N399	N400	N401	N402	N403	N404	N405	N406	N407	N408	N409	N410	N411	N412	N413	N414	N415	N416	N417	N418	N419	N420	N421	N422	N423	N424	N425	N426	N427	N428	N429	N430	N431	N432	N433	N434	N435	N436	N437	N438	N439	N440	N441	N442	N443	N444	N445	N446	N447	N448	N449	N450	N451	N452	N453