



© HOWOGE Wohnungsbaugesellschaft mbH

Kostengünstiger und zukunftsfähiger Geschosswohnungsbau im Quartier

Projektbericht

Dr. Burkhard Schulze Darup (Hrsg.)

Förderung durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU AZ 33119/01-25)

gefördert durch



Deutsche
Bundesstiftung Umwelt

www.dbu.de

Kostengünstiger und zukunftsfähiger Geschosswohnungsbau im Quartier

Projektbericht

Projektpartner:

ABG FRANKFURT HOLDING Wohnungsbau- und Beteiligungsgesellschaft mbH
Niddastraße 107, 60329 Frankfurt am Main

Bielefelder Gemeinnützige Wohnungsgesellschaft mbH
Carlmeierstr. 1, 33613 Bielefeld

GEWOBAU Erlangen
Nägelsbachstraße 55a, 91052 Erlangen

Gundlach GmbH & Co.KG Wohnungsunternehmen
Am Holzgraben 1, 30161 Hannover

HOWOGE Wohnungsbaugesellschaft mbH
Ferdinand-Schultze-Str. 71, 13055 Berlin

Projektbeiräte:

Frank Junker – ABG FRANKFURT HOLDING

Dirk Markfort – KfW

Christian Noll – DENEFF

Alexander Renner – BMWi

Ingrid Vogler – GdW

Projektkoordination & Berichterstellung:

Dr. Burkhard Schulze Darup, Sundgauer Straße 54, 14169 Berlin

Tel: 030 56837296, Mail: schulze-darup@schulze-darup.de

Berlin, Februar 2019

Förderung durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU AZ 33119/01-25)



• **Projektkennblatt**
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Az	33119/01-25	Referat	14	Fördersumme	124.625 €
Antragstitel	Kostengünstiger und zukunftsfähiger Geschosswohnungsbau im Quartier				
Stichworte	Kostengünstiger und zukunftsfähiger Geschosswohnungsbau, Energieeffizienz, Nachhaltiges Bauen, Versorgungssysteme, Wärmewende				
Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)		
35 Monate	29.2.2016	31.1.2019	1		
Vier Zwischenberichte:	15.9.2016 / 19.4.2017 / 5.10.2017 / 18.8.2018				
Bewilligungsempfänger	Architekturbüro Dr. Burkhard Schulze Darup Sundgauer Straße 54 14169 Berlin Mail: schulze-darup@schulze-darup.de			Tel	030 56837296
				Projektleitung	Schulze Darup
				Bearbeiter	Schulze Darup
Kooperationspartner	ABG FRANKFURT HOLDING Wohnungsbau- und Beteiligungsgesellschaft mbH Niddastraße 107, 60329 Frankfurt am Main Bielefelder Gemeinnützige Wohnungsgesellschaft mbH Carlmeierstr. 1, 33613 Bielefeld GEWOBAU Erlangen Nägelsbachstraße 55a, 91052 Erlangen Gundlach GmbH & Co.KG Wohnungsunternehmen Am Holzgraben 1, 30161 Hannover HOWOGE Wohnungsbaugesellschaft mbH Ferdinand-Schultze-Str. 71, 13055 Berlin				

Zielsetzung und Anlass des Vorhabens

Die Optimierung von Nachhaltigkeitsaspekten im Wohnungsbau führt vordergründig zu steigenden Kosten und erfordert den offensiven Umgang mit ökonomischen Anforderungen. Wie kann trotz steigender Qualitätsansprüche und ordnungsrechtlicher Verschärfungen zukunftsfähiger Geschosswohnungsbau im Quartier mit Blick auf steigendes Bewusstsein für Umwelanforderungen und Klimaschutzaspekte gemäß EPBD 2019/21 realisiert werden?

Erhöhte Anforderungen führen zwangsläufig zu anwachsenden Investitionskosten. Es galt im Rahmen des Forschungsvorhabens, Kostenrisiken zu identifizieren und quantifizieren. Insbesondere ging es um die Potenziale zur Kostenoptimierung, insbesondere durch Einsatz innovativer Komponenten und Systemlösungen sowie Sicherung der Qualität von Planung und Ausführung. Zugleich galt es Lösungen zu finden, die nicht nur hinsichtlich der Investitionskosten, sondern auch des Komforts und der Lebenszyklusbetrachtung von Gebäuden zukunftsfähig sind.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Folgende Arbeitsschritte wurden ausgeführt, um durch Erfahrungsaustausch und gezielte Diskussion der Rahmenbedingungen die Projektziele auf wirtschaftliche Weise zu erzielen:

- Workshops der Planungsteams zur Optimierung der Planungsgrundlagen
 - o Gebäudekonzept, Spar- & Vereinfachungspotenziale, Gebäudehülle & Bauphysik
 - o Gebäudetechnik, Erneuerbare Energien & Lastmanagement
 - o Versorgungskonzept, Kosten & Wirtschaftlichkeit
- Projektworkshops zur Vertiefung der Inhalte für jedes der geplanten Gebäude anhand der konkreten Anforderungen und zum Erfahrungsaustausch der Beteiligten
- Alternativkonzepte auf Basis vertiefter Fachrecherche, Optimierung der Energiekonzepte
- Vergleich von Kosten & Wirtschaftlichkeit anhand eines Tools mit Vollständigem Finanzplan
- Begleitung der Bauphase mit Workshops inkl. Besichtigung der Bauvorhaben
- Drei Projekttreffen mit dem Beirat zur Diskussion der Außenwirkung für die Inhalte
- Dokumentation: Projektbericht als Handlungsanleitung für Folgeprojekte
- Abschlusskongress zur Diskussion mit der Fachöffentlichkeit und Entscheidungsträgern.

Ergebnisse und Diskussion

Der Bau von 1,5 Mio. Wohnungen in den nächsten Jahren stellt gleichermaßen eine große Herausforderung wie auch eine Chance dar. Das Forschungsergebnis zeigt, dass mit hoher architektonischer und städtebaulicher Qualität nicht nur eine Entschärfung der Wohnmarktkrise zu erzielen ist, sondern hinsichtlich zahlreicher Parameter zukunftsfähige Gebäude und Quartiere realisiert werden können:

Nachhaltigkeit: Am erfolgreichsten sind Wohnungsunternehmen, die in einem umfassenden Sinn nachhaltig handeln mit einem hohen Anteil an „Cash Cows“ in ihrem Portfolio. Daraus ergeben sich Anforderungen an aktuelle Planungen, um neue Gebäude ebenfalls langfristig hoch effizient nutzen zu können.

Klimaschutz: Nur zukunftsfähige Standards sind langfristig wirtschaftlich. Gebäude, die in zwei Jahrzehnten eine energetische Erüchtigung benötigen, belasten das Portfolio der Wohnungsunternehmen.

Mobilität: Aufgrund dramatischer Paradigmenwechsel erfordert jede städtebauliche Planung eine intensive Neudefinition des Mobilitäts-Themas mit dem Ziel, öffentliche Räume den Menschen zurückzugeben.

Entwurf & Gebäudehülle: Qualitätvolle Entwürfe sind Grundlage hoher Wirtschaftlichkeit. Kompaktheit und energetisch hochwertige Gebäudehülle bieten gute Voraussetzungen für Langfrist-Wirtschaftlichkeit.

Versorgungskonzepte & Wärmewende: Der Übergang von fossil-brennstoffbasierten zu erneuerbar-strombasierten Versorgung eröffnet hohe technisch-wirtschaftliche Chancen und Optimierungspotenzial.

Gebäudetechnik – Heizung: Durch die minimierte Heizlast aufgrund der guten Gebäudehülle und die erneuerbaren Versorgungsoptionen können Investitions- und Betriebskosten deutlich gesenkt werden.

Gebäudetechnik – Warmwasser: Den aktuell hohen Verlusten bei zentraler WW-Versorgung stehen zahlreiche innovative Konzepte gegenüber, die hohe Wirtschaftlichkeit mit Komfort und Hygiene vereinen

Gebäudetechnik – Lüftung: Lüftung mit Wärmerückgewinnung erfordert qualitätvolle Planung und Lösungen mit niedrigen Wartungskosten. Das führt zu hohem Komfort und halbiert bei Gebäuden mit guter Gebäudehülle Heizwärmebedarf und Heizlast als Voraussetzung für kostengünstige Heizsysteme.

Erneuerbare Versorgung: Regenerative Versorgung von Heizen/Kühlen, WW, Haushaltsstrom und Mobilität ist mit einem hohen Eigenstromanteil möglich. Quartierslösungen mit minimierten Leistungsspitzen sorgen mittelfristig für eine kostengünstige Versorgung, für die zu Zeiten der Dunkelflaute nur eine geringe Leistungsreserve eines zweiten redundanten Kraftwerksparks zentral bereitgestellt werden muss.

Lenkungsfaktoren: Klimaschutz kann marktwirtschaftlich gelenkt werden durch sinnvolle Primärenergie-Faktoren und angemessene CO₂-Bepreisung. Eine zielgerichtete Tarif- und Preisgestaltung für Energie sollte eine erneuerbare Versorgung synergetisch unterstützen.

Lastmanagement & Mieterstrom-Modelle: Smart-Grid-Lastmanagement mit einfachen Lösungen für Regelung und Abrechnung bildet die Voraussetzung für kosteneffiziente Mieterstrom-Modellen bis hin zu Flatrate-Lösungen. Derzeit behindert der hohe administrative Aufwand erneuerbare Systeme.

Kostenrisiken: Es gibt eine hohe Zahl von Kostenrisiken beim Wohnungsbau. Am Wichtigsten ist die aktuelle Marktsituation, die Unwägbarkeit von Ausschreibungsverfahren und vor allem das Kostenrisiko der Planungsqualität. Gute Planung kann mehrere hundert Euro pro m² Wohnfläche einsparen. Energetische Mehrinvestitionen sind dagegen gering, sparen Betriebskosten und werden zudem gefördert.

Wohnkosten: Entscheidend sind die resultierenden Kosten für die Mieter. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass im Bereich Warmmiete hervorragende Lösungen für deutliche Einsparungen existieren bis hin zum Flatrate-Modell. Diskussionsbedarf besteht bei Handling, Abrechnung und kalten Nebenkosten

GEG: Der vorliegende GEG-Entwurf baut eine hohe Hürde für die praktische Umsetzung auf. Er ist zu kompliziert, hat keine nachvollziehbaren Ergebnisse und fällt deutlich hinter die Klimaschutzziele zurück.

Förderung: Ein verbindlicher GEG-Standard ab 2021 im Bereich KfW EH 40_{PLUS}/Passivhaus könnte für einige Jahre degressiv mittels „Förderung eines Deckungsfehlbetrages“ zur Wirtschaftlichkeit begleitet werden, wobei innovative Techniken durch gezielte Markteinführung schnell kosteneffizient werden.

Qualifizierung: Das zentrale Forschungsergebnis ist der hohe Bedarf an Qualifizierung der Akteure.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Die Außenwirkung des Projektes ist in mehrfacher Hinsicht von hoher Bedeutung. Der Austausch mit den Projektpartnern und insbesondere dem Beirat führte zu Wissenstransfer auf zahlreiche Entscheider-Ebenen. Darüber hinaus sorgen Abschlusskongress und die Veröffentlichung des Projektberichts für die Bereitstellung detaillierter Information. Ein Folgevorhaben mit Multiplizieren des Wissens in Richtung von Architekten und Fachplanern sowie Entscheidungsträgern aus Ministerien, Verwaltung, Bauindustrie und Finanzierung stellt eine Voraussetzung für langfristig nachhaltige Bauvorhaben und Quartiere dar.

Fazit

Billiges Bauen mit schlechten Nachhaltigkeits-Standards ist langfristig sowohl betriebswirtschaftlich als auch volkswirtschaftlich der kostenträchtiger Weg und führt darüber hinaus zu hohen Klimaschutz-Folgekosten. Das Forschungsvorhaben hat gezeigt, dass hochwertige Standards kosteneffizient umgesetzt werden können. Planungsqualität stellt dafür die wesentliche Voraussetzung dar.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	11
Verzeichnis von Abbildungen und Tabellen	12
Verzeichnis von Begriffen und Definitionen	16
Zusammenfassung: Kernthesen – Empfehlungen & Maßnahmen	19
1 Einleitung und Zielstellung des Vorhabens.....	30
2 Zukunftsfähige Gebäude- und Quartierskonzepte.....	33
2.1 Quartiersansatz – Synergien zwischen Objekt- und Stadtplanung.....	33
2.1.1 Beispiele für Quartierslösungen des Forschungsvorhabens	33
2.1.2 Grundlagen – Städtebauliche Planung	36
2.1.3 Grundlagen – Mobilität	39
2.1.4 Grundlagen – Versorgungskonzepte	42
2.1.5 Energieforschung zu Gebäuden & Quartieren	43
2.2 Zukunftsfähigkeit – Strategieansätze für nachhaltiges Bauen.....	44
2.2.1 Wohnqualität.....	45
2.2.2 Technische Qualität	46
2.2.3 Ökologische Qualität – (Graue Energie)	47
2.2.4 Ökonomische Qualität.....	48
2.2.5 Prozessqualität	48
2.3 Kosten & Wirtschaftlichkeit	49
2.3.1 Kostentreiber.....	50
2.3.2 Methodik von Baukostengutachten	55
2.3.3 Vergabeverfahren und konjunkturelle Einflüsse.....	56
2.3.4 Baukostengutachten – Beispiele und Anmerkungen	58
2.4 Integrale Kosten- und Wirtschaftlichkeitsplanung – Vollständiger Finanzplan.....	62
2.4.1 Grundlagen der Berechnung	62
2.4.2 Kostenermittlung.....	63
2.4.3 Finanzierungs-, Betriebs- und Wartungskosten	64
2.4.4 Ergebnisse für Endenergie, Primärenergie und CO ₂ -Emissionen	65
2.4.5 VoFi-Ergebnisse für unterschiedliche Standards.....	67
2.5 Klimaschutz und Wohnkosten [Ingrid Vogler]	69
2.5.1 Nebenkosten zur Miete.....	71
2.5.2 Einsparpotenzial bei den Wohnkosten.....	73

2.6	Nationale Effizienzstandards & Ordnungsrecht versus Förderung.....	74
2.6.1	Entwicklung von der Wärmeschutzverordnung über die EnEV zum GEG.....	74
2.6.2	Entwicklung der Wärmeschutz-Anforderungen.....	76
2.6.3	GEG- und Förderstandards.....	78
2.6.4	Komplementäres soziales Wohnbauprogramm.....	79
2.6.5	KfW-Förderung.....	79
3	Grundlagen kostengünstiger und zukunftsfähiger Planung	80
3.1	Spar- und Vereinfachungspotenziale von Baukonzepten.....	80
3.1.1	Gebäudegeometrie und Ausrichtung.....	81
3.1.2	Gebäudekonzept – Entwurfsgrundlagen.....	82
3.1.3	Grundrissgestaltung.....	82
3.1.4	Serielle Fertigung.....	84
3.2	Konstruktion, Gebäudehülle, Bauphysik & Qualitätssicherung.....	85
3.2.1	Opake Hülle – Dach.....	86
3.2.2	Opake Hülle – Grund.....	90
3.2.3	Opake Hülle – Außenwände.....	93
3.2.4	Fenster.....	103
3.2.5	Qualitätssicherung.....	107
4	Gebäudetechnik	110
4.1	Wärmewende – Herausforderung & Chancen.....	111
4.1.1	Entwicklung der Erneuerbaren Energien.....	111
4.1.2	Charakteristika fossiler und erneuerbarer Energieversorgung.....	111
4.2	Gebäudetechnik – Heizung.....	115
4.2.1	Gas- oder Ölkessel mit Brennwerttechnik.....	117
4.2.2	Biomasse-Kessel.....	118
4.2.3	BHKW mit Spitzenkessel.....	119
4.2.4	Luft-Wasser-Wärmepumpe.....	120
4.2.5	Luft-Wasser-Wärmepumpe mit Spitzenkessel.....	121
4.2.6	Sole-Wasser-Wärmepumpe & Warmwasser zentral.....	122
4.2.7	Sole-Wasser-Wärmepumpe & Warmwasser dezentral.....	123
4.2.8	Zusammenfassung – Heizung.....	123
4.3	Gebäudetechnik – Warmwasser.....	125
4.3.1	Grundlagen – Hygiene.....	126
4.3.2	Zentrale kesselbasierte Systeme.....	127
4.3.3	Solarthermie.....	129

4.3.4	Zentrale Wärmepumpen-Systeme	129
4.3.5	Dezentrale Wärmepumpen-Systeme	129
4.3.6	Dezentrale direktstrom-basierte Lösungen.....	130
4.3.7	Abwasser-Wärmerückgewinnung	130
4.3.8	Systemvergleich.....	130
4.3.9	Zusammenfassung – Warmwasserbereitung	133
4.4	Gebäudetechnik – Lüftung.....	134
4.4.1	Abluftanlagen	134
4.4.2	Zentrale Komfortlüftungsanlagen	136
4.4.3	Dezentrale Komfortlüftungsanlagen	137
4.4.4	Planung und Auslegung von Lüftungsanlagen.....	140
4.4.5	Kostenentwicklung	141
4.4.6	Zusammenfassung – Lüftung.....	141
4.5	Erneuerbare Energien & Versorgungskonzepte	143
4.5.1	Techniken für erneuerbare Energieversorgung	143
4.5.2	Versorgungsprofil von Quartierskonzepten – Wärme- & Stromnetze.....	148
4.5.3	Primärenergiefaktoren – aktuell & zukünftig.....	152
4.5.4	Strom- und Gaspreise – aktuell und zukünftig	155
4.5.5	Grundlagen für zukunftsfähige Quartiersversorgung.....	158
4.5.6	Sozialverträglichkeit der neuen Versorgungsstrukturen.....	159
4.6	Kostenvergleich von Systemen zur Quartiersversorgung – 2020 versus 2040.....	159
4.6.1	Gas und Solarthermie	162
4.6.2	Kraft-Wärme-Kopplung mit Gas-Spitzenkessel	163
4.6.3	Heizen Wärmepumpe – WW Direktelektrisch	164
4.6.4	Heizen Wärmepumpe – WW Direktelektrisch – PV	165
4.6.5	Heizen und WW mit gebäudezentraler Wärmepumpe.....	166
4.6.6	Heizen und WW mit gebäudezentraler Wärmepumpe & PV.....	167
4.7	Lastmanagement	168
4.7.1	Lastmanagement in Gebäuden	168
4.7.2	Lastmanagement in Quartieren	169
4.7.3	Makroökonomische Auswirkungen	172
4.8	Mieterstrom.....	174
4.8.1	Gesetz zur „Förderung von Mieterstrom“	176
4.8.2	Modelle für Erzeugung und Vertrieb von Mieterstrom	177
4.9	Klimaneutralität im Gebäudebestand bis 2050	179

4.9.1	Anforderungen an Effizienz & Energieeinsparung	179
4.9.2	Entwicklung der Erneuerbaren Energien.....	180
4.9.3	Verhältnis Effizienz zu Erneuerbaren	182
4.9.4	Geopolitische Aspekte.....	182
5	Projektberichte der Wohnungsunternehmen	184
5.1	Herzkamp Bothfeld, Hannover-Hilligenwöhren – Gundlach GmbH & Co.KG.....	185
5.2	MFH Brüxer Straße – GEWOBAU Erlangen	190
5.3	Achtgeschossiger als KfW EH 40 PLUS, Sewanstraße – HOWOGE Berlin	194
5.4	Günstig wohnen „Im Wiener“ – ABG FRANKFURT HOLDING	201
5.5	Quartier Brockeiche mit 58 Wohnungen – BGW Bielefeld.....	204
5.6	Wohnprojekt 5 im Lipizzanerweg – BGW Bielefeld	206
5.7	Aktivhaus Speicherstraße – ABG FRANKFURT HOLDING	210
5.8	Campus Ohlauer Straße in Berlin-Kreuzberg – HOWOGE Berlin	212
5.9	Teilerhöfe Rothfeld, Bothfelder Kirchweg 6, Hannover – Gundlach	214
5.10	Recyclinghaus am Kronsberg, Hannover (RECYC) – Gundlach.....	215
5.11	Kleinstwohnungen an der Matthiaskirche, Roderbruchstraße 4 – Gundlach	216
5.12	Nachverdichtung Housing Area – GEWOBAU Erlangen.....	219
5.12.1	Sanierung und Aufstockung	219
5.12.2	MFH Schenkstraße mit 130 Wohneinheiten	223
5.13	Quartierskonzept Büchenbach & Neubau Odenwaldallee – GEWOBAU Erlangen	224
6	Anmerkungen und Ergänzungen zu den Ergebnissen	229
6.1	Wohnungsunternehmen.....	229
6.1.1	ABG FRANKFURT HOLDING.....	230
6.1.2	Bielefelder Gemeinnützige Wohnungsgesellschaft mbH	231
6.1.3	GEWOBAU Erlangen	232
6.1.4	Gundlach GmbH & Co.KG Wohnungsunternehmen	233
6.1.5	HOWOGE Wohnungsbaugesellschaft mbH, Berlin	234
6.2	Beiräte.....	235
6.2.1	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie.....	235
6.2.2	GdW: Ingrid Vogler / Fabian Viehrig.....	236
6.2.3	Deutsche Unternehmensinitiative Energieeffizienz	237
6.2.4	KfW Bankengruppe.....	238
6.3	Industriepartner.....	240
7	Literatur & Quellen.....	242
8	Impressum & Abbildungsnachweis	250

Vorwort

Sabine Djahanschah, Deutsche Bundesstiftung Umwelt

Leitung "Bauen, Quartiersentwicklung, Kulturgüter" DBU,
Mitglied seit: 2010 International Advisory Board TU Stuttgart,
2012 Expertengruppe Städtebaulicher Denkmalschutz BMI,
2012 Stiftungsrat Bundesstiftung Baukultur ,
2014 Kuratorium Fraunhofer IBP



Um die Klimaschutzziele zu erreichen, ist ein nahezu klimaneutraler Gebäudebestand bis 2050 eine zentrale Herausforderung. Hierzu sind im Neubau ab 2020 neben effizienten Gebäudekonzepten auf Quartiersebene in beispielhafter Weise Energieversorgungskonzepte zu entwickeln, die Synergien nutzen und ein intelligentes Lastmanagement betreiben.

Die ganzheitliche Optimierung verschiedener Quartierskonzepte im Geschosswohnungsbau in Kombinationen mit einer neuen Form des Erfahrungsaustauschs zwischen fünf Wohnungsbaugesellschaften stellt eine innovative Optimierung von Planungsprozessen dar. Daher ist in dem Vorhaben nicht nur die konstruktiv technische Entwicklung von Quartierskonzepten mit regenerativer Energieversorgung und einem modellhaften Energiestandard, sondern auch die methodische Weiterentwicklung der Planungskultur durch den Workshop-Charakter wegweisend. Das Vorhaben besticht durch seinen ganzheitlichen Ansatz, der neben den rein energetischen Fragestellungen ebenso einen sparsamen Umgang mit Fläche, eine Optimierung von Gebäudegeometrie und Ausrichtung, Barrierefreiheit, konstruktive Optimierung und Wirtschaftlichkeit umfasst. Hierdurch hat das vorliegende Projekt das Potential einer hohen Übertragbarkeit und kann zentrale Impulse in die Wohnungswirtschaft tragen.

Gerade vor dem Hintergrund der derzeitigen Wohnungsnot und dem prognostizierten Bedarf von ca. 350.000 jährlich neu zu errichtenden Wohnungen erhält das Projekt seine aktuelle Relevanz. Denn der Markt lässt die Errichtungskosten und die Grundstückspreise steigen und verleitet zum Ruf nach gesenkten Standards, um diese Kostensteigerungen zu kompensieren. Während beispielsweise in nach wie vor unhinterfragten Parkplatzschlüsseln und Ausschreibungsregeln sowie in einer neuen Bodenpolitik große Einsparpotentiale erschlossen werden könnten, sollten die klimarelevanten Ziele hohe Priorität behalten. Es wäre unverantwortlich, wenn heute gebaute Objekte hinter vielfach erprobten technischen Möglichkeiten der Energieeffizienz und regenerativer Energieversorgung zurück bleiben. Denn diese Objekte stellen zentrale Bausteine der Energiewende dar, die einmal errichtet über die entscheidenden nächsten 30-50 Jahre wirksam werden.

Daher sieht die Deutsche Bundesstiftung Umwelt einen großen Hebel zur Umweltentlastung durch qualitätvolle und ganzheitlich optimierte Quartiersplanungen, die in Modellvorhaben beispielhaft entwickelt und evaluiert werden.

Verzeichnis von Abbildungen und Tabellen

Abbildung 1 Endenergievergleich unterschiedlicher Warmwasser-Systeme	24
Abbildung 2 Beispiele für Kostenrisiken bei der Planung von Wohngebäuden.....	27
Abbildung 3 Wohnkosten – Optimierung durch Effizienz, Erneuerbare und Flatrate-Modelle	27
Abbildung 4 Kostenentwicklung und Baufertigstellungen.....	49
Abbildung 5 Kostentreiber im Vergleich zu energetisch bedingten Mehrinvestitionen.....	54
Abbildung 6 Vergleich der Investitionskosten unterschiedlicher Energiestandards	59
Abbildung 7 Vergleich der monatlichen Belastung unterschiedlicher Energiestandards.....	59
Abbildung 8 Veranschlagte Baukosten nach DIN 276 zum Zeitpunkt des Bauantrags	62
Abbildung 9 Bilanzierung der Investitionskosten in der Planungsphase am Beispiel Sewanstraße	63
Abbildung 10 Spezifische Mehr- und Minderinvestitionen.....	64
Abbildung 11 Kosten pro Jahr für die Betriebs- und Wartungskosten am Beispiel Sewanstraße.	65
Abbildung 12 Endenergiebilanz für Heizen, Warmwasser und Haushaltsstrom	65
Abbildung 13 Primärenergiebilanz für Heizen, Warmwasser und Haushaltsstrom.....	66
Abbildung 14 Bilanzierung der Kosten und Einnahmen nach VoFi-Methode.....	68
Abbildung 15 Vergleich für den Standard KfW EH 40 Plus für das kumulierte Jahresergebnis	68
Abbildung 16 Wohnkostenvergleich	73
Abbildung 17 Seitenzahl von EnEV und GEG.....	75
Abbildung 18 Beispiel für Möblierungsdarstellung inkl. Abstandsflächennachweis	83
Abbildung 19 Entwicklung der U-Wert-Anforderungen für Dächer seit 1977	87
Abbildung 20 Flachdachkonstruktionen - Mehrinvestition von KfW- und Passivhaus-Standard	87
Abbildung 21 U-Wert-Anforderungen für Kellerdecken und Bodenplatten seit 1977	90
Abbildung 22 Kellerdecken – Mehrinvestition von KfW- und Passivhaus-Standard.....	91
Abbildung 23 U-Wert-Anforderungen für Außenwände seit 1977.....	93
Abbildung 24 Entwicklung der Dämmdicken für Außenwände	94
Abbildung 25 Außenwand – Mehrinvestition von KfW- und Passivhaus-Standard	95
Abbildung 26 Primärenergiebedarf für die Herstellung der Konstruktionen	97
Abbildung 27 Vergleich des Treibhauspotenzials [Gundlach 2016].....	98
Abbildung 28 Vergleich des Ozonabbaupotenzials [Gundlach 2016]	98
Abbildung 29 Weitere Wirkungskategorien.....	98
Abbildung 30 Charakteristische Wartungsintervalle und –kosten verschiedener Konstruktionen.....	100
Abbildung 31 Wartungsaufwendungen bei frühzeitiger energetischer Ertüchtigung.....	101
Abbildung 32 Kostenentwicklung unterschiedlicher Fensterstandards über 30 Jahre.....	104
Abbildung 33 Mehrinvestitionen für Fenster bei steigenden Energiestandards.....	105

Abbildung 34 Beispielhafte Kosten von Gebäudetechnik – Vergangenheit & Zukunft	110
Abbildung 35 Kostenentwicklung erneuerbarer Techniken [Saliger 2018]	111
Abbildung 36 Fossile Energieversorgung – vereinfachtes Schema	113
Abbildung 37 Erneuerbare Energieversorgung – vereinfachtes Schema.....	114
Abbildung 38 Gebäudetechnik-Kosten in Abhängigkeit von Gebäudestandard und Heizlast	115
Abbildung 39 Schema für ein kesselbasiertes Heizsystem in Verbindung mit Komfortlüftung und PV	117
Abbildung 40 Schema Biomasse-Heizsystem in Verbindung mit Komfortlüftung und PV.....	118
Abbildung 41 BHKW-Technik in Verbindung mit einem Spitzenkessel.....	119
Abbildung 42 Schema Luft-Wasser-Wärmepumpe für Heizen und Warmwasserbereitung	120
Abbildung 43 Schema Luft-Wasser-Wärmepumpe mit Gas-BW-Spitzenkessel.....	121
Abbildung 44 Schema Wasser-Wasser- oder Sole-Wasser-Wärmepumpen	122
Abbildung 45 Schema Sole-Wasser-Wärmepumpe und dezentralen Trinkwassererwärmung.....	123
Abbildung 46 Endenergievergleich unterschiedlicher Warmwasser-Systeme	131
Abbildung 47 Primärenergievergleich der Warmwasser-Systeme aus der vorherigen Abbildung.....	131
Abbildung 48 Primärenergiebetrachtung (PER) für ein erneuerbares Versorgungssystem	132
Abbildung 49 Schema einer zentralen Komfortlüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (MFH)	136
Abbildung 50 Schema einer dezentralen Komfortlüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung	138
Abbildung 51 Lösung einer dezentralen Komfortlüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung	138
Abbildung 52 Kostenentwicklung für Lüftungsanlagen in Mehrfamilienhäusern.....	141
Abbildung 53 Schema einer PV-Anlage mit leichter Südneigung.....	144
Abbildung 54 Schema einer Flachdach-PV-Anlage: Ost-West ausgerichtete Module	145
Abbildung 55 Vergleich des Verbrauchsspektrum unterschiedlicher Standards.....	149
Abbildung 56 Primärenergiebewertung aktuell.....	154
Abbildung 57 Bilanzierung der PER-Werte für ein vollständig erneuerbares System im Jahr 2040.....	154
Abbildung 58 Quartiersversorgung: Kostenvergleich von Versorgungsvarianten.....	160
Abbildung 59 Kostenvergleich bei vollständig erneuerbarer Versorgung	160
Abbildung 60 Quartiersversorgung mit Gas und Solarthermie im Standard KfW EH 55	162
Abbildung 61 Quartiersversorgung KWK und Gas-BW-Spitzenkessel im Standard KfW EH 55	163
Abbildung 62 Wärmepumpe für Heizen, direktelektrische Warmwasserbereitung (KfW EH 40)	164
Abbildung 63 Heizen mit Wärmepumpe, WW direktelektrisch und PV (KfW EH 40):.....	165
Abbildung 64 Gebäudezentrale Wärmepumpe für Heizen und WW (Standard KfW EH 40).....	166
Abbildung 65 Gebäudezentrale Wärmepumpen in Verbindung mit PV (KfW EH 40)	167
Abbildung 66 Entwicklung des Endenergiebedarfs für die Beheizung des Gebäudebestands (BRD).....	180
Abbildung 67 Notwendige Entwicklung der Erneuerbaren Energien	181
Abbildung 68 Entwicklung Richtung Klimaneutralität in der BRD bis 2050	181

Abbildung 69 Lageplan der Bauabschnitte.....	185
Abbildung 70 Projektziele	186
Abbildung 71 Visualisierung Herzkamp – Bauabschnitt I.....	187
Abbildung 72 Lageplan für den ersten Bauabschnitt.....	188
Abbildung 73 Ansicht Brüxer Straße in Erlangen	190
Abbildung 74 Luftbild Stadtteil „Am Röthelheim“	190
Abbildung 75 Abbruch und Neubau	191
Abbildung 76 Lageplan Brüxer Straße	191
Abbildung 77 Gemeinschaftliche Freifläche Innenhof	192
Abbildung 78 Darstellung kompakter Grundriss mit Abstandsflächen.....	192
Abbildung 79 Neubau Brüxer Straße.....	193
Abbildung 80 Visualisierung von zwei Gebäuden in der Sewanstraße	194
Abbildung 81 Grundriss für ein Normalgeschoss	194
Abbildung 82 Investitionskostenvergleich von Effizienzstandards während der Planungsphase	195
Abbildung 83 Kumuliertes Jahresergebnis der VoFi-Berechnung - Standard KfW EH 40 _{PLUS}	195
Abbildung 84 Sensitivitätsanalyse zur Auslegung des Batteriespeichers	197
Abbildung 85 Bautafel Sewanstraße 20 – 22	198
Abbildung 86 Fassadendetail mit Außenluftdurchlass der wohnungszentralen Lüftungsanlagen.....	199
Abbildung 87 Aufbau des Wärmedämmverbundsystems mit Riemchenbekleidung	199
Abbildung 88 Innenansicht eines Wohnzimmers.....	199
Abbildung 89 Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung – Montage unter der Baddecke	200
Abbildung 90 Ansicht am Tag der Besichtigung	200
Abbildung 91 Projektansicht „Im Wiener“ von der Erschließungsseite	201
Abbildung 92 Brockeiche – Lageplan der ursprünglichen Planung.....	204
Abbildung 93 Lipizzanerweg – Perspektive der Planung.....	206
Abbildung 94 Lageplan „Wohnprojekt 5“ mit 40 Wohnungen	207
Abbildung 95 Detail der Laubengang-Ausführung	208
Abbildung 96 Südansicht der nördlichen Bebauung.....	209
Abbildung 97 Südansicht des Aktivhauses zur Speicherstraße	210
Abbildung 98 Grundriss der Regelgeschosse 1. Bis 6. OG [Quelle: HHS PLANER + ARCHITEKTEN AG].....	210
Abbildung 99 Ansicht von Südost [Quelle: HHS PLANER + ARCHITEKTEN AG]	211
Abbildung 100 Entwurfskonzept Ohlauer Straße.....	212
Abbildung 101 Schema der Wohnungstypen [HOWOGE-JAHN 2017].....	212
Abbildung 102 Schema des vorgefertigten Bad-Blocks [HOWOGE-JAHN 2017].....	213
Abbildung 103 Visualisierung von der Ohlauer Straße [HOWOGE-JAHN 2017]	213

Abbildung 104 Teilerhöfe mit Aufnahme der Bezüge zur historischen Hofstelle	214
Abbildung 105 Grundriss des Recyclinghauses am Kronsberg.....	215
Abbildung 106 Balkonansicht der Wohnanlage mit den Kleinstwohnungen.....	216
Abbildung 107 Fassadendetail der Holzbekleidung auf der Balkonseite	216
Abbildung 108 Gebäudezentrale mit Wärmepumpe und Gasbrennwerttechnik als Spitzenkessel	217
Abbildung 109 Gebäudetechnik im Dachbereich.....	217
Abbildung 110 Display der Regelung mit der Darstellung der PV-Erträge und des Strombedarfs	218
Abbildung 111 Luftbild Stadtteil „Am Röthelheim“	219
Abbildung 112 Freiflächenplan Gesamtareal	220
Abbildung 113 Ansichten einer Wohnzeile mit Aufstockung.....	221
Abbildung 114 Aufstockung/Sanierung.....	222
Abbildung 115 Ansicht von der Erschließungsseite	222
Abbildung 116 MFH Schenkstraße in der Housing Area	223
Abbildung 117 Lageplan mit Bauabschnitten.....	224
Abbildung 118 Sanierung Würzburger Ring – © GEWOBAU / HOCH5	225
Abbildung 119 Sanierung Würzburger Ring – © GEWOBAU / HOCH5	225
Abbildung 120 Wärmenetz im ersten Bauabschnitt	226
Abbildung 121 Energieflussschema LOHC-Technologie.....	227
Abbildung 122 Visualisierung der Nachverdichtung – © Gräßel Architekten	228
Abbildung 123 Lageplan Odenwaldallee.....	228

Tabellen

Tabelle 1 Entwicklung von der WSVO über die EnEV zum GEG	77
Tabelle 2 Szenario für die weitere Entwicklung von GEG und KfW-Förderung	79
Tabelle 3 Kriterienliste des WBS-Systems für die Wohnungen.....	84
Tabelle 4 U-Werte der Fenster von der WSVO 1977 bis zu zukünftigen Standards	103
Tabelle 5 Vergleich des Heizwärmebedarfs und der daraus resultierenden Energiekosten	125
Tabelle 6 Mindestwerte der Gesamt-Außenluftvolumenströme	140
Tabelle 7 PV-Erträge pro m ² Wohnfläche für optimal genutzte Dachflächen	145
Tabelle 8 Aktuelle Primärenergiefaktoren und zukünftige erneuerbare PER-Faktoren	153
Tabelle 9 Primärenergiefaktoren und Kosten für fossile und erneuerbare Versorgung	156
Tabelle 10 Strompreis aktuell (BDEW 2017) und im Jahr 2040 (Preisindex 2018)	156
Tabelle 11 Gaspreis aktuell (BDEW 2017) und im Jahr 2040 (Preisindex 2018)	157
Tabelle 12 Zusammenstellung der Ergebnisse für die Förderung nach Standard KfW EH 55 (2014)	208

Verzeichnis von Begriffen und Definitionen

Anlagenaufwandszahl – Verhältnis von Aufwand zu Nutzen bei einem Energiesystem. Anlagenverluste drücken sich durch eine Aufwandszahl $> 1,0$ aus.

BW- Brennwertkessel - Heizkessel, der die im Abgas enthaltene Energie nutzt, indem der Wasserdampf bei etwa $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ zur Kondensation gebracht wird.

Dampfdiffusionswiderstand (μ -Wert) - Maß der Durchlässigkeit eines Baustoffes für Wasserdampf. Dimensionsloser Stoffkennwert, der angibt, wievielfach größer der Diffusionsdurchlasswiderstand des Stoffes gegenüber Wasserdampf ist als der einer gleich dicken ruhenden Luftschicht gleicher Temperatur

Dunkelflaute – Zeiten mit sehr geringem erneuerbarem Ertrag aus Photovoltaik und Windkraft. Für diese Versorgungssituation muss ein zweiter, redundanter Kraftwerkspark vorhanden sein, der genügend Leistung hat, um die Energieversorgung sicher zu stellen.

Energiedurchlassgrad (g-Wert) - Kennzahl von Gläsern, die angibt, wieviel Prozent der auf die Scheibe treffenden Sonnenenergie diese durchdringt. Je höher der g-Wert ist, desto mehr solare Wärmegewinne erhält das Haus durch die Fenster.

Energieeinsparverordnung – Folgeverordnung zur Wärmeschutzverordnung und Heizanlagenverordnung, in Kraft getreten am 1.2.2002, novelliert 2007, 2009, 2014 und 2016. Das GEG wird die Energieeinsparverordnung ablösen.

EnEV – siehe „Energieeinsparverordnung“

ETS - Das Emissions Trading System (ETS) ist ein Instrument der EU-Klimapolitik um Treibhausgasemissionen mit möglichst geringer volkswirtschaftlichen Kosten zu senken. Es wird eine begrenzte Zahl an Emissionsrechten ausgegeben und anschließend gehandelt.

Gebäudehülle: Summe aller Bauteile, die einen Innenbereich vom Freien bzw. von direkt anschließenden Gebäuden abgrenzen

Gebäudenutzfläche nach EnEV (A_N) – Nach Energieeinsparverordnung festgelegt als $= 0,32 \cdot$ Volumen. Dies führt zu deutlich höheren Werten für A_N als die tatsächlich beheizte Wohnfläche beträgt. Als Faustformel gilt: die Gebäudenutzfläche A_N

nach EnEV liegt bei Mehrfamilienhäusern beim 1,2-fachen der beheizten Wohnfläche, bei Einfamilienhäusern beim 1,35-fachen. Dadurch erscheint der Heizwärmebedarf eines Gebäudes niedriger, wenn keine Umrechnung auf die tatsächlich beheizte Fläche erfolgt.

Gebäudeenergiegesetz – Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung Erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden; Folgeverordnung zur Energieeinsparverordnung (EnEV), dem Energieeinsparungsgesetz (EnEG) und zum Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG)

GEG – siehe „Gebäudeenergiegesetz“

g-Wert siehe Energiedurchlassgrad

Heizenergiebedarf (Q_H) – Energie, die dem Gebäude für Heizen und Warmwasserbedarf zugeführt wird (Endenergie)

Heizlast: thermischer Energiestrom, der infolge von Transmissions- und Lüftungs-Wärmeverlusten eines Raumes diesem zugeführt werden muss, um eine bestimmte Soll-Raumlufttemperatur aufrecht zu erhalten

Heizleistung: thermischer Energiestrom, der von einem Wärmeerzeuger oder Wärmeübertrager bereitgestellt wird

Heizwärmebedarf (Q_h): Notwendige jährliche Wärmezufuhr eines Gebäudes (in $\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{a}$) zur Aufrechterhaltung normaler Innentemperaturen bei normalen äußeren Klimabedingungen und normalem Luftwechsel; ergibt sich aus Transmissionswärmeverlusten, Lüftungswärmeverlusten, solaren Wärmegewinnen und inneren Wärmegewinnen.

Interne Wärmegewinne - Energiegewinne aus Abwärme von elektrisch betriebenen Geräten, von anderen Wärmequellen wie Gasherden und von in den Räumen lebenden Menschen.

Kraft-Wärme-Kopplung - Nutzung der bei der Stromherstellung mit Motoren anfallenden Abwärme. Pro Kilowattstunde erzeugten Stromes werden etwa zwei bis drei Kilowattstunden nutzbarer Wärme abgegeben.

kW_{peak} - Kilowatt Spitzenleistung in Bezug auf die Produktion von Strom über Photovoltaik

Luftfeuchte (Luftfeuchtigkeit): in trockener Luft enthaltenes Wasser in dampfförmiger, flüssiger oder fester Form

Lüftung: Lufterneuerung in Räumen durch Austausch von Raumluft gegen Außenluft (Luftwechsel)

Lüftungswärmebedarf - Wärmebedarf für die Erwärmung der Frischluft.

Luftwechsel - stündlicher Luftvolumenstrom je Volumen einer Raumeinheit

Luftwechselrate - gibt an, wie oft die Innenraumluft, bezogen auf das gesamte Gebäudeluftvolumen, pro Stunde ausgetauscht wird - durch Lüftungsanlagen, mechanisches Lüften oder/und durch Undichtigkeiten in der Gebäudehülle

n_{50} -Wert - Der Drucktestkennwert (n_{50} -Wert) gibt die Undichtheit der Gebäudehülle an bei einem Drucktest-Differenzdruck von 50 Pa (Maßeinheit h^{-1}), der mittels eines Ventilators vom Innenraum des Gebäudes nach außen erzeugt wird. Der Drucktest wird mittels einer Blower-Door gemessen. Das Ergebnis sollte unter $1,5 h^{-1}$, bei Gebäuden mit Lüftungsanlagen unter $0,6 h^{-1}$ liegen

Passivhaus – Gebäude mit einem Heizwärmebedarf von höchstens $15 kWh/(m^2a)$ und einem Primärenergiebedarf für Heizen, Warmwasser und (Haushalts)-Stromanwendungen von höchstens $115 kWh/(m^2a)$

PE-Faktor – Primärenergiefaktor, s. Primärenergie

PER-Faktor – Faktor für erneuerbare Primärenergie, s. Primärenergiebedarf erneuerbar

Photovoltaik - Anlagen zur direkten Erzeugung von Strom aus Sonnenlicht.

PlusEnergieHaus – Gebäude mit einem Energieüberschuss in der Bilanz: es wird mehr Energie gewonnen als verbraucht, im Allgemeinen wird dafür die Jahresbilanz gefordert und der Nachweis hinsichtlich der Endenergie- und der Primärenergiebilanz

Primärenergiebedarf (Q_p) – Energiemenge, die zur Deckung des Jahresheizenergiebedarfs und des Trinkwasserbedarfs benötigt wird unter Berücksichtigung der zusätzlichen Energiemenge, die durch vorgelagerte Prozessketten außerhalb des Gebäudes bei der Gewinnung, Umwandlung und

Verteilung der jeweils eingesetzten Brennstoffe entstehen

Primärenergiebedarf erneuerbar – Erneuerbare Energiemenge, die primärseitig gewonnen wird im Verhältnis zur Nutzenergie. Die vorgelagerte Prozessketten ist bei direkter Nutzung (z. B. PV-Strom für Haushaltsgeräte im Gebäude) sehr niedrig und der PER-Faktor liegt im Idealfall bei 1,0. Bei Anwendungen im Winter zu Zeiten der Dunkelflaute ist z. B. der Umweg über PtG und Rückverstromung notwendig, sodass für diese Anwendung der PER-Faktor bei ca. 3,0 liegt. Heizen weist – je nach Betrachtungsweise – einen PER-Faktor zwischen 1,5 und 2,2 auf.

PtG – Power to Gas. Bereitstellung von erneuerbarem Gas aus erneuerbarem Strom mittels Elektrolyse. Gas als chemisch gebundener Energieträger kann in Zeiten der Dunkelflaute genutzt werden, um die Versorgung sicher zu stellen.

PV - Photovoltaik

Relative Luftfeuchte: Wasserdampfdruck der Luft bezogen auf den Sättigungsdruck des Wasserdampfes bei gleicher Trockenkugel-Temperatur bzw. Verhältnis der je Raumeinheit feuchter Luft vorhandenen Wasserdampfmenge zur Höchstmenge bei gleichem Druck und gleicher Trockenkugel-Temperatur

Solare Wärmegewinne - nutzbare Sonnenenergie, die durch transparente Bauteile ins Haus gelangt

Sonnenkollektoren - Anlagen zur Erzeugung von warmem Wasser mit Sonnenenergie.

THG - Treibhausgas

Transmissionswärme: Wärmestrom durch die Hüllkonstruktion eines Gebäudes infolge eines Temperaturunterschieds

Trinkwasser-Wärmebedarf (Q_{TW}) – Nutzwärme, die zur Erwärmung der gewünschten Menge des Trinkwassers zugeführt werden muss

Umbauter Raum: von einer Hüllkonstruktion umschlossener Abschnitt eines Gebäudes

U-Wert siehe Wärmedurchgangskoeffizient

Ventilatorgestützte Lüftung: Lüftung von Räumen oder Wohnungen mittels Ventilatoren. Es gibt Abluftanlagen und Zu-/Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung (Komfortlüftung)

Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) - gibt den Wärmestrom (in Watt) an, der durch einen Quadratmeter eines Bauteils bei einer Temperaturdifferenz zwischen innen und außen von 1 Kelvin fließt. Die Einheit ist $W/(m^2 \cdot K)$. Der U-Wert eines Bauteils wird aus der Wärmeleitfähigkeit λ und der Schichtdicke s der einzelnen Baustoffe berechnet. Außerdem werden die Wärmeübergangswiderstände an der Innen- und Außenseite berücksichtigt, die z.B. für Wände geschlossener Räume (Zimmer oder Keller) höher sind als für außenluftumspülte Flächen.

Wärmerückgewinnung - Maßnahme zur Wiedernutzung von thermischer Energie der Abluft

Wärmeleistungsbedarf - Notwendige Wärmeleistung (in kW) zum Ausgleich der Transmissions- und Lüftungswärmeverluste zum Auslegungszeitpunkt (Außentemperatur $-12^\circ C$) bei normaler Raumtemperatur ($+20^\circ C$)

Wärmeleitfähigkeit (λ -Wert) - gibt an, welche Wärmemenge durch eine Fläche von $1 m^2$ eines Baumaterials von 1 m Dicke strömt, wenn die Temperaturdifferenz zwischen den beiden Seiten 1 Kelvin beträgt. Die Maßeinheit ist $W/m \cdot K$. Je größer der λ -Wert ist, desto besser leitet das Material Wärme.



Zusammenfassung: Kernthesen – Empfehlungen & Maßnahmen

Der Bau von 1,5 Mio. Wohnungen in den nächsten Jahren stellt eine große Herausforderung und zugleich eine Chance dar. Es gilt mit hoher architektonischer und städtebaulicher Qualität nicht nur eine Entschärfung der aktuellen Wohnmarktkrise zu erzielen, sondern zukunftsfähige und kostengünstige Gebäude und Quartiere zu realisieren. Die zentralen Ergebnisse des Forschungsvorhabens werden in Form von Kernthesen dargestellt und daraus Empfehlungen für Maßnahmen, Forschung und Entwicklung abgeleitet.

Zukunftsfähiger Geschosswohnungsbau & Nachhaltigkeit

Am erfolgreichsten sind diejenigen Wohnungsunternehmen, die einen möglichst hohen Anteil an „Cash Cows“ haben. Das sind Bestände, die seinerzeit hochwertig mit Weitblick geplant wurden und weit nach ihrer Abschreibungszeit ohne hohe Instandsetzungs- und Modernisierungskosten nach wie vor erfolgreich vermietet sind, wie z. B. hochwertige Bestände des sozialen Wohnungsbaus aus den 1920er Jahren. Eine Lösung der Wohnmarktkrise mit ungünstigen Standards hätte die Erzeugung einer Folgekrise zur Folge, weil z. B. eine energetische Ertüchtigung weit vor Ablauf der Nutzungszeiten erforderlich wird. Ziel muss es sein, einfache nachhaltige Planungen umzusetzen, die nicht billig, sondern kosteneffizient sind. Es müssen Rahmenbedingungen geschaffen werden, die Wohngebäude mit langfristig verträglichen Wohnkosten ermöglichen. Das gilt mikro- wie makroökonomisch: eine zukunftsfähige Wirtschaftlichkeit bezieht sich gleichermaßen auf Mieter, Wohnungsunternehmen und die Gesellschaft als Ganzes, die Verantwortung für sozial und kulturell lebenswertes Wohnen trägt. Misslingen relevante Aspekte, werden daraus resultierende Kosten letztendlich auf die Gemeinschaft zurückfallen.

Nachhaltiger Wohnungsbau erfordert vorausdenkende Planung. Dazu geben Zertifizierungssysteme wie NaWoh eine Hilfestellung. Es geht allerdings nicht darum, alle in Kapitel 2.2. aufgeführten Aspekte zu erfüllen, sondern durch eine interdisziplinäre Optimierung für das individuelle Projekt die bestmögliche Lösung zu erzielen.

Empfehlungen für Maßnahmen und F & E

- Nutzung der NaWoh-Kriterien als Planungs- und Dokumentationshilfe. Dazu wurde im Rahmen des Forschungsvorhabens ein Excel-Tool erstellt, das den Einstieg in den NaWoh-Prozess vereinfacht.
- F & E: Fortentwicklung von Werkzeugen zur Integration von Nachhaltigkeitskriterien in den Planungsprozess ohne erhöhten Planungsaufwand (BIM, eLCA ...)
- Schwerpunktsetzung auf langlebige Lösungen bei der Planung und Reduzierung von Gebäudeteilen mit kurzen Erneuerungszyklen: Hochwertige langlebige Gebäudehülle als Möglichkeit, die Gebäudetechnik mit geringer Leistung auszuführen und damit Investitions- und Folgekosten zu reduzieren.

Klimaschutz

Der aktuelle IPCC-Bericht zeigt auf, dass die BRD derzeit auf dem Weg ist, ihre Klimaziele deutlich zu verfehlen. Für langinvestive Güter wie Immobilien und deren Versorgungssysteme führen klimarelevante Fehlentscheidungen zu kostenträchtigen Folgen. Eine Korrektur ist bei nachhaltig sinnvollen hohen Nutzungszeiten nicht mehr rechtzeitig vor 2050 möglich. Da im Gebäudesektor die Techniken zum Erreichen der Klimaziele vorhanden sind, ist die Immobilienwirtschaft besonders in der Pflicht, Umwelt- (einschließlich Klima-) Schutz im nachhaltigen Ausgleich von wirtschaftlichem Handeln und bezahlbarem Wohnen umzusetzen.

Empfehlungen für Maßnahmen und F & E

- Ein stringenter Klimaschutzpfad im Gebäudebereich ist nicht erkennbar und die lenkenden Instrumente wie das GEG sind strategisch unzureichend. Gutachten geben Strategien vor, wie eine Balance der Maßnahmen zwischen Effizienz und Erneuerbaren Energien möglich sein wird (vgl. Kap. 4.7). Dringend erforderlich ist sowohl eine Definition als auch eine verbindliche Roadmap zum Erreichen der Klimaneutralität im Gebäudebestand bis 2050.
- Schaffen von Rahmenbedingungen für die Bepreisung von Treibhausgasemissionen und zur zielgerichteten Lenkung des Klimaschutz-Prozesses.

Mobilität

Mobilitätsplanung ist ein zentraler Bestandteil von Stadt-, Quartiers- und Gebäudeentwicklung. Neue Antriebsarten erfordern integrierte dezentrale Versorgungstechnik, z. B. über dezentrale PtG Stationen mit Schnellladung und Wasserstofftechnologie in Verbindung mit optimierter erneuerbarer Stromgewinnung innerhalb der Siedlungsstrukturen. Außerdem wird insbesondere in den Städten das eigene Auto zunehmend von einem Mobilitäts-Spektrum zwischen ÖPNV und neuen individuellen Angeboten ersetzt. Zudem ist eine Neudefinition des öffentlichen Verkehrsraums erforderlich, weg von der noch nachwirkenden KFZ-Priorisierung der 1960er Jahre, hin zu mehr Raum für Fuß-, Rad- und ÖPNV-Trassen mit hohem Komfort und hoher Sicherheit (Kap. 2.1.2) sowie Grünschneisen in unseren Städten. Gleichzeitig liefern Energiewirtschafts-, Energiesteuer- und Gewerbesteuer-gesetz noch keine Lösungen für einfache e-Mobility-Konzepte.

Empfehlungen für Maßnahmen und F & E

- Integrale Mobilitätsplanung bei Erstellen und Sanieren von Quartieren mit Einwirkung auf die übergeordnete Verkehrsstruktur inkl. Integration von Trassen für ÖPNV sowie Fuß- und Radwege
- Dezentrale Versorgungszentren mit synergetischer Kombination von Mobilität und erneuerbarer Energiegewinnung, PtG sowie E- & Wasserstoff-/Methan-Tankstelle
- Schaffen von komfortablen Mobilitätsangeboten zwischen ÖPNV und öffentlichem Individualverkehr (Sammeltaxis on Demand, Car- & Ridesharing, etc.)
- Zukunftswerkshops zur Verbindung von Stadtentwicklungsplanung und zukünftigen Mobilitätsszenarien nach dem Motto „Städte den Menschen zurückgeben“.

Entwurf & Gebäudehülle – Systemlösungen und Komponenten

Die Qualität des Entwurfs und der Systemlösung für das Gebäude inklusive einer hochwertigen Gebäudehülle (Kap. 3.2) haben starken Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit eines Gebäudes. Das gilt sowohl für die architektonische Gestaltung, die Dauerhaftigkeit der Konstruktionen als auch die bauphysikalischen

Standards. Ein hoher Energiestandard für die nächsten sechzig Jahre ermöglicht kostengünstige Gebäudetechnik, die ihrerseits alle zwanzig Jahre bearbeitet werden muss. Zur Effizienz eines Gebäudes gehört auch eine günstige Lebenszyklusbilanz der Bauteile. Wesentliche Aspekte stellen dabei Umwelt- und Gesundheitsverträglichkeit der Materialien, die enthaltene „graue“ Energie sowie wartungsarme Konstruktionen mit geringen Folgekosten dar (Kap. 2.2). Zudem wird künftig eine erhöhte Produktivität bei der Errichtung von Gebäuden gefragt sein. Die Einbindung von industriellen Prozessen in die Fertigung stellt dabei eine wichtige Chance dar. Grundlage dafür ist die exakte dreidimensionale Erfassung durch BIM.

Empfehlungen für Maßnahmen und F & E

- NaWoh-Zertifizierung als Planungshilfe zur Optimierung von Konstruktionen und Kosten fortentwickeln
- Weiterentwicklung des eLCA-Instrumentariums des BBSR zur Unterstützung von Planungsprozessen und zur Quantifizierbarkeit der Herstellungsenergie und der Lebenszykluskosten von Gebäuden
- Anforderungen an energetisch hochwertige Gebäudehüllen (Kap.2.6.3 / 3.2)
- Impulse und F & E für serielles und industrialisiertes Bauen zur Erhöhung der Produktivität und Kostensenkung angesichts des anstehenden Fachkräftemangels (Kap. 3.1.4)

Versorgungskonzepte & Wärmewende

Wärmewende und Sektorenkopplung führen zu grundlegend neuen Anforderungen bei der Versorgung von Quartieren und Gebäuden. Gegenüber der bisherigen fossilen brennstoffbasierten Versorgung wird zukünftig erneuerbarer Primärstrom aus Wind und PV der wesentliche Energieträger sein (Kap. 4.1.2). Zudem muss Planung künftig die Gesamtversorgung für Heizen, Warmwasser, Haushaltsstrom und Mobilität umfassen mit drastischer Verschiebung des Verbrauchsspektrums (Kap. 4.5.2.2), der Bedarfswerte (Kap. 4.5.2.1) und des Lastprofils (Kap. 4.5.2.3). Gebäude und Quartiere werden zudem zu Energielieferanten und tragen Mitverantwortung für die Netzverträglichkeit ihres Systems bei Dunkelflaute. Eine wichtige Frage lautet: Basiert zukunftsfähige Quartiersversorgung vorrangig auf komplexen Wärmenetzen oder eröffnet die strombasierte Energiewende aufgrund der deutlich sinkenden Leistungsanforderungen Chancen zu einfacher und kostengünstiger kleinteiliger Technik? (Kap. 4.5.5)

Empfehlungen für Maßnahmen und F & E

- Grundüberlegungen zum Versorgungsmix zukünftiger erneuerbaren Versorgung und zur Gewichtung von erneuerbarem Primärstrom vs. erneuerbarer Brennstoffe (Kap. 4.5.4)
- Gegenüberstellung und Wirtschaftlichkeitsanalyse: Liegt ein Schwerpunkt auf einem hohen regionalen Autarkiegrad oder soll Versorgungssicherheit vorrangig durch zentrale Strukturen in Verbindung mit massivem Netzausbau auf nationaler und internationaler Ebene gewährleistet werden?
- Analyse von Wärmenetzen unter Rahmenbedingungen der Energiewende: Gutachten zur Wirtschaftlichkeit im Vergleich zu kleinteiliger strombasierter Technik
- Forschungsvorhaben zu Kosteneinsparpotenzialen kleinteiliger Wärmepumpentechnik in zukünftigen Versorgungssystemen
- Untersuchung zu Technik und Trägerschaft erneuerbarer Quartiersversorgungssystemen mit erneuerbarer Stromgenerierung, Speicherung, Elektrolyse (PtG) – Wasserstoffspeicherung – Rückverstromung (bei Dunkelflaute) sowie E- und Wasserstofftankstelle
- Drastische Vereinfachung für die Nutzung dezentral erzeugten Stromes – Stichworte: Spannungsverhältnis zum liberalisierten Energierecht, Konkurrenz zu Kohle- und Atomstrom, Preis- und Abgabengestaltung.

Lenkungsfaktoren – CO₂-Preise

Wenn die Klimaschutzziele ernst genommen werden, gibt es in einer Marktwirtschaft vor allem eine Lenkungsmaßnahme: die Emission von Kohlendioxid muss mit Kosten belegt werden. Bezogen auf den Gaspreis entspricht eine Belastung von 40 €/Tonne CO₂ einer Erhöhung der Gaskosten um 0,01 €/kWh. Eine CO₂-Abgabe von mindestens 120 €/Tonne bis 2025 ist Grundvoraussetzung für marktwirtschaftlich geprägten Klimaschutz und führt zu einer Gaspreiserhöhung um 0,03 €/kWh. Wichtig ist eine Langfriststrategie für weitere Steigerungen, die verlässliche Rahmenbedingungen für die Akteure bietet. Dabei ist zu beachten, dass die Lenkungsmaßnahme einerseits wirksam im Sinn des Klimaschutzes ist und zugleich sozialverträglich und vertretbar für die Wirtschaft.

Empfehlungen für Maßnahmen und F & E

- Sensitivitätsanalyse für die notwendige CO₂-Bepreisung zum Erreichen der Klimaschutzziele
- Untersuchung zur sozial- und wirtschaftsverträglichen Kostenentwicklung aufgrund der Bepreisung von CO₂-Emissionen
- Erstellen von Szenarien für eine langfristig sinnvolle Kostenentwicklung auf dem Weg zu einer vollständig erneuerbaren Versorgung.

Lenkungsfaktoren – Strom und Gaspreise

In einem erneuerbaren Versorgungssystem werden die Preise von Strom und Gas in einem völlig anderen Verhältnis zueinander stehen als heute (s. Kapitel 4.5.4). Die Kostenerhöhung aufgrund der CO₂-Abgabe ist nur ein kleiner Einstieg in eine sehr schwierige weitere Kostenanpassung. Aus technisch-physikalischer Sicht muss der zukünftige Gaspreis im Vergleich zu Strom deutlich höher liegen: da im Jahr 2050 der Großteil des erneuerbaren Gases im PtG-Verfahren (Kap. 4.5.1) erstellt wird, lägen die Kosten ca. 15 bis 50 Prozent höher als der Strompreis (Kap. 4.5.4). Strom aus PV oder Wind wird im Jahr 2040 für 0,03 bis 0,05 €/kWh generiert werden können, die Prognosen für Gas aus PtG-Prozessen liegen etwa dreifach so hoch bei 0,10 bis 0,15 €/kWh. Andererseits ist Gas als speicherbarer chemischer Energieträger relevant für die Versorgungssicherheit zum Ausgleich der Dunkelflaute. Das Versorgungssystem sollte deshalb so aufgebaut sein, dass möglichst wenig PtG-Ressourcen benötigt werden, um eine langfristig wirtschaftliche erneuerbare Energieversorgung zu erzielen.

Empfehlungen für Maßnahmen und F & E

- Erstellen von belastbaren Untersuchungen zur Preisentwicklung für erneuerbare Bereitstellung von Gas und Strom in den Jahren 2040 ff.
- Strategieplan für die Belastungen von Energieträgern mit Energiesteuer, Konzessionsabgabe, Umlagen und Umsatzsteuer sowie Untersuchung von Zielgrößen für Nebenkosten zu Erzeugung und Vertrieb wie Netz-, Mess- und Abrechnungskosten sowie Kosten für Lastmanagement und Speicherung
- Erstellen einer Studie für die Angleichung des Gaspreises an die zukünftige erneuerbare Gasversorgung. Ziel muss eine sozialverträgliche Anpassung sein mit genügend zeitlichem Vorlauf für Entscheider und Anpassungsprozesse in Wohnungswirtschaft und Industrie.

Lenkungsfaktoren – Erneuerbare Primärenergie

Während die Lenkung der Treibhausgas-Emissionen über Kostensignale marktwirtschaftlich betrieben werden kann, muss für die Zeit danach eine neue Regelgröße kreiert werden, die sinnvolle Impulse für die erneuerbare Energieversorgung gibt. Zum Erreichen eines optimierten Energiemix (s. Kapitel 4.1.1) muss für die zukünftige Energieversorgung ein Regelwerk über erneuerbare Primärenergiefaktoren (PER) bereitgestellt werden, das sich grundlegend von heutiger fossilen PE-Betrachtung unterscheidet. Günstig

zu bewerten sind zukünftig alle Prozesse, die einen hohen Anteil an Primärstrom aus Wind und PV direkt nutzen können. Problematisch verhalten sich demgegenüber diejenigen Prozesse, die zu ungünstigen Zeiten Energie benötigen. Das gilt vor allem für die Zeiten der Dunkelflaute im Winter. Der Sektor Heizen schneidet dadurch besonders ungünstig ab. Ein relevanter Energieanteil muss zwischengespeichert werden, um im Anforderungsfall bereitgestellt zu werden. Je höher die Lastspitze für den Bereich Heizen liegt, desto größer und teurer wird der redundante Kraftwerkspark zur Überbrückung von Dunkelflauten sowie das dazugehörige Lastmanagement mit daraus resultierenden Netzkosten (Kap. 4.5.3).

Empfehlungen für Maßnahmen und F & E

- Erstellen von Primärenergiebewertungen für eine erneuerbare Energieversorgung
- Fortschreiben und Dynamisieren der Primärenergiefaktoren für fossile und erneuerbare Energieträger bis zur vollständig erneuerbaren Energieversorgung.

Gebäudetechnik – Heizung

Gebäudetechnik stellt im aktuellen Baugeschehen einen starken Kostentreiber dar. Der notwendige Übergang von fossilen Brennstoffen zur erneuerbaren Versorgung eröffnet einen Paradigmenwechsel verbunden mit der Chance, mittels einer umfangreichen F & E-Initiative kostengünstige Systeme zu initiieren. Innovative Unternehmen und Startups stehen dazu in den Startlöchern. Investitionskosten und vor allem Wohnkosten sind dadurch deutlich zu senken. Die zukünftige Leistungsdichte fürs Heizen wird mit 10 bis 15 W/m² Wohnfläche bei weniger als der Hälfte heutiger Heizsysteme liegen. Die Leistungsreduktion begünstigt die Wärmewende durch elektroasierte Systeme mit günstiger Arbeitszahl, wie z. B. hochwertige Wärmepumpen. Voraussetzung ist eine deutliche Kostendegression in diesem Segment. Parallel dazu gilt es, Wärmenetze zukunftsfähig zu machen und kostengünstige voll-erneuerbare Systeme zu entwickeln. In verdichteten Gebieten weisen sie große Vorteile auf. Allerdings gilt es selbstkritisch zu prüfen, ab welcher Energiedichte Alternativlösungen mit kleinteiliger Technik günstiger sind. Zudem wird eine zukunftsfähige Quartiersversorgung neben Wärme den gesamten Stromsektor und die Mobilität umfassen (s. o. Versorgungskonzepte / Kap. 4.5), im Idealfall inklusive PtG-Technologien.

Empfehlungen für Maßnahmen und F & E

- Entwicklung von kostenoptimierten Wärmepumpenlösungen als Kleinmodule im Sinn Weißer Ware, die per Plug & Play sowohl pro Wohnung einsetzbar sind oder modul- bzw. kaskadenartig für Gebäude. Ziel sind sehr kostengünstige industriell gefertigte Module, die additiv einsetzbar sind und in hohen Stückzahlen gefertigt werden können.
- Ausloben eines Wettbewerbs für die Entwicklung dieser Module bei mittelständischen Unternehmen und Start-Ups. Die deutsche Heizungsindustrie könnte sonst in wenigen Jahren endgültig den Anschluss an den Weltmarkt verlieren, wenn vor allem asiatische Hersteller mit ihrem Know-how-Vorsprung den deutschen Markt mit kostengünstiger Ware ins Auge fassen.
- Erstellen von verlässlichen und einfachen rechtlichen Rahmenbedingungen für quartiersbezogene vollerneuerbare Versorgungskonzepte.

Gebäudetechnik – Warmwasser

Die Umstellung auf vorrangig strombasierte erneuerbare Versorgung eröffnet Chancen für einfache und effiziente Lösungen zur Warmwasserbereitung. Der große Nachteil hoher Anlagenverluste bisheriger Systeme macht diese Alternativlösungen hoch attraktiv. Möglich sind dezentrale Wärmepumpen oder zentrale Systeme mit Wohnungsstationen, die auf niedriger Temperatur gefahren werden und durch eine geringe Nacherhitzung auf die erforderliche Warmwassertemperatur gebracht werden. Gebäudezentrale Wärmepumpen können ebenfalls hoch effizient sein, wenn die Systemtemperatur durch Einsatz von

Ultrafiltration in Richtung 45 °C beschränkt werden kann. Darüber hinaus sollte über direktelektrische Lösungen in Verbindung mit Duschwärmerückgewinnung und Batteriespeichern zur Begrenzung der Spitzenlast nachgedacht werden. (Kap. 4.3)

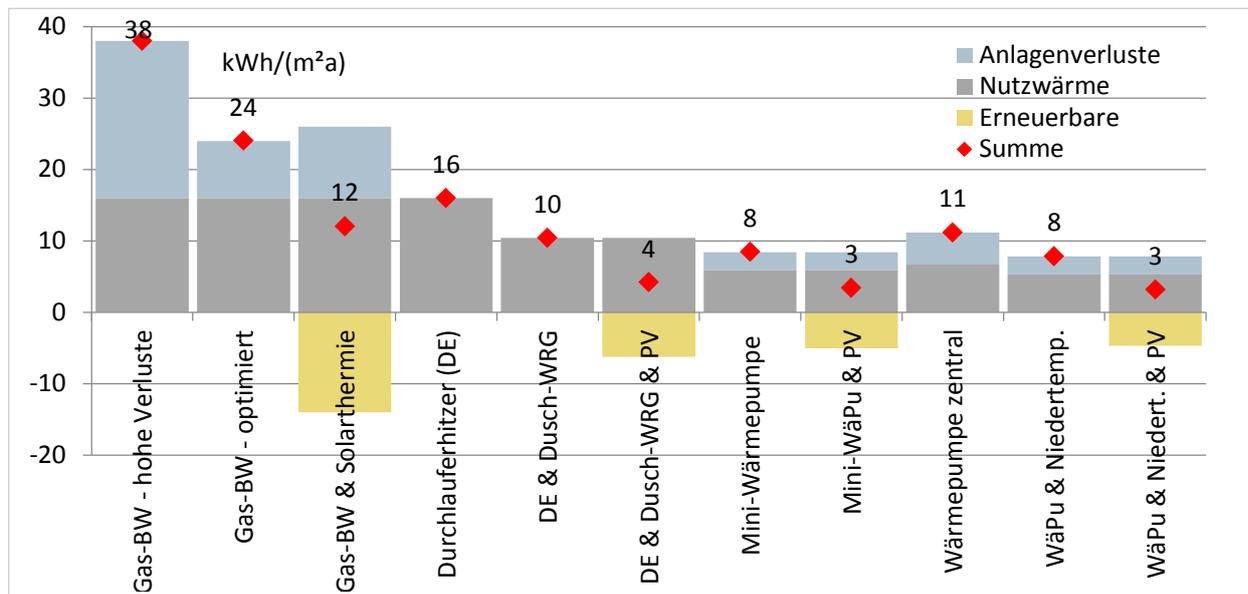


Abbildung 1 Endenergievergleich unterschiedlicher Warmwasser-Systeme

Empfehlungen für Maßnahmen und F & E

- F & E zur Optimierung der oben beschriebenen Systeme inkl. Unterstützung der Markteinführung von bisher wenig genutzten Lösungen
- Monitoring neuer Systemlösungen zur Validierung der intendierten Energiekennzahlen, vor allem aber Überprüfung auf Hygiene (Legionellen)
- Entwickeln von kostengünstigen Ultrafiltrations-Lösungen, Strategien zur mittelfristigen Hygieneüberwachung
- Weiterentwicklung von Wasserspar-Armaturen mit geringem Verbrauch und hohem Komfort.

Gebäudetechnik – Lüftung

Hygieneanforderungen erfordern mindestens ein Abluftsystem. Empfehlenswert ist Lüftung mit Wärmerückgewinnung, weil sie den Komfort erhöht. Zudem stellt sie eine der Schlüsseltechnologien für die Gebäudeenergieeffizienz dar, weil sie bei zukünftigen Gebäudestandards zur Halbierung des Heizwärmebedarfs und zu einer deutlichen Reduzierung der Heizlast führt. Die Mehrinvestitionen gegenüber Abluftsystemen betragen bei optimierter Planung nur 20 bis 30 € pro m² Wohnfläche. Demgegenüber sind bei Heiz- und Versorgungssystemen Investitionskosteneinsparungen von 15 bis 40 € pro m² Wohnfläche möglich. (Kap. 4.4)

Empfehlungen für Maßnahmen und F & E

- Komfortlüftung mit einem Kostenziel von 20 – 25 €/m² Mehrkosten gegenüber Abluftanlagen und jährlichen Wartungskosten unter 50 €/Wohnung sollte von zahlreichen Herstellern angeboten werden (bisher nur singular).
- Optimierung des Strombedarfs für Komfortlüftungsanlagen auf 1,5 bis 2,5 kWh/m² in der Heizsaison
- Vereinfachung der DIN 1946-6, sodass reduzierte Lüftung ausreicht bei gleichzeitig ausreichender Belüftung der Schlafräume (Lösungen der Kaskadenlüftung gezielt fördern, Kap. 4.4.3-4)
- Kostengünstige zentrale Systeme mit Muster-Brandschutzlösungen für zentrale Anlagen (Brand-/Rauchschutzklappen mit kostengünstiger Fernwartung).

Erneuerbare Versorgung

Während vor wenigen Jahren der Bereich Heizen die relevanteste Größe im Verbrauchsspektrum von Quartieren darstellte, wird in Zukunft der Bereich des Haushaltsstroms dominieren. Warmwasserbereitung liegt ebenfalls höher als der Heizsektor. Zudem wird der Energiebedarf für Mobilität nicht mehr vorrangig an Tankstellen gezapft, sondern belastet sukzessive die Stromnetze. Quartiersbezogene erneuerbare Energiebereitstellung wird zu hohen Teilen auf Photovoltaik basieren. Daneben gibt es zahlreiche weitere Optionen wie Solarthermie, Windkraft, Geothermie oder Abwärmenutzung, die für jedes Quartier individuell zu bewerten sind. Ausschlaggebend für die Wirtschaftlichkeit sind folgende Faktoren: ein hoher erneuerbarer Ertrag, ein möglichst hoher Anteil von direkter Eigenstromnutzung sowie günstige Netzverträglichkeit mit möglichst geringer Leistung bei Dunkelflaute. Niedriggeschossige Quartiere können über PV recht einfach eine Plusenergiebilanz erzielen, während verdichtete Bebauung mit hoher Geschossigkeit einen höheren externen Bedarf aufweist. Unbeantwortet blieb im Projekt die Frage, ob komplexe Wärmenetze oder strombasierte kleinteilige Technik zukünftig die wirtschaftlichere Alternative darstellen werden. Aufgrund der nicht geringen Leitungsverluste deutet sich allerdings an, dass Wärmenetze vor allem in sehr verdichteten Bereichen mit eher niedrigen Temperaturen sinnvoll sein werden. In weniger verdichteten Quartieren könnte sich kleinteilige wohnungs- oder gebäudezentrale Technik auf Strombasis durchsetzen (Kap. 4.5.2.4). Wie bereits oben unter „Versorgungskonzepte“ beschrieben, wird zukünftig PtG-Technik (Elektrolyse, Wasserstoffspeicherung, Rückverstromung) eine relevante Überlegung bei der Quartiersversorgung darstellen und die Sektorenkopplung von Strom, Wärme und Mobilität optimieren.

Empfehlungen für Maßnahmen und F & E

- Um gezielte Grundlagen zum Erreichen der Klimaziele zu erhalten, ist dringend eine allgemeingültige Definition für Treibhausgas-Neutralität und Plusenergie-Anforderungen erforderlich, die nicht nur eine gezielte CO₂-Reduzierung sicherstellt sondern ebenfalls eine Primärenergie-Betrachtung für ein erneuerbares Versorgungssystem ermöglicht.
- Grundlagenuntersuchung zu Wärmenetzen – welche Netze werden in einem erneuerbaren Versorgungssystem wirtschaftlich sein und wie sehen vollkommen erneuerbare Netze aus?
- F & E zu Gebäude- und fassadenintegrierter Photovoltaik – Gestaltung, technische Optimierung, Wartung und Wirtschaftlichkeit.
- Umsetzungsorientiertes Modellvorhaben für zukünftige Quartiersversorgung: Verbindung von Wärme-Strom-Mobilität durch Verbindung von PV, Batteriespeicher, Elektrolyse, Wasserstoffspeicherung und Rückverstromung als virtuelle oder zentrale Quartiersversorgung.

Smart Grid & Lastmanagement

Die Digitalisierung in der Gebäude- und Versorgungstechnik ist in vollem Gange, stößt jedoch allenthalben an Grenzen singular geregelter Gebäudetechniksysteme. Bisherige Regel-, Monitoring und Abrechnungstechnologien sind anachronistisch im Vergleich zu den Möglichkeiten, die durch Vernetzung dieser Bereiche zukünftig auf einfachem und kostengünstigem Weg möglich sind. Die dazu erforderliche wohnungszentrale Hardware ist weniger komplex als ein Smartphone und sollte als Kostenziel für weniger als 200 €/Wohnung realisierbar sein. Die Systeme ermöglichen eine integrale Nutzung für die benannten Bereiche Regelung, Monitoring und Abrechnung. Außerdem sind die Wohnungen und Gebäude als Baustein in einem Strom-Liefer- & Bezugsnetzwerk zu sehen, mit dem das Lastmanagement in Quartieren und Regionen mit hohen Synergien ermöglicht wird. Wohnungen bieten durch einfache Lastschalt- und Lastabwurfssysteme in der Summe ein hohes Regelpotenzial für die regionalen Netze. Das gilt besonders, wenn Heizen und Warmwasserbereitung auf Basis von Wärmepumpentechnik erfolgt und ein hoher

Effizienzstandard Wärmespeicherung in der Gebäudemasse auf einfachem Weg ermöglicht (Kap. 4.7). Mobilität und Dienstleistungen werden künftig in das Lastmanagement einbezogen werden.

Empfehlungen für Maßnahmen und F & E

- Weiterentwicklung und breitenwirksame Implementierung von kostengünstigen Regel-Monitoring-Abrechnungssystemen
- Entwicklung einfacher Wohnungsdisplays (als App auf Smartphone/Pad) mit integriertem Abrechnungstool, Mieterinformation („Filter der Lüftungsanlage wechseln!“) und Mieterservice (Kontakt zum Vermieter/Dienstleistungszentrum)
- Entwicklungen zum Datenschutz vs. „Gläserner Haushalt“
- Entwicklung von kostengünstigen individualisierbaren Servicesystemen für Quartiere und Gebäude, welche die oben beschriebenen Funktionen integral zusammenfassen (Aufgabe für Start-Up-Wettbewerb)
- Klärung der Betriebskostentragung und der Finanzierung von Systemen, die viele Funktionen aus verschiedenen Bereichen bieten.

Mieterstrom- und Flatrate-Modelle

Das Gesetz zur „Förderung von Mieterstrom“ [Bundesrat Drucksache 538/17] bringt keine deutliche Hilfestellung für die Integration erneuerbarer Energien im Bereich des Geschosswohnungsbaus oder gar auf Quartiersebene. Die kumulierte PV-Mieterstromleistung betrug bis zum Ende Juni 2018 nur 3,7 MW_{peak} und liegt damit gerade einmal bei 0,7 Prozent des politisch intendierten Betrags von 500 MW_{peak}. Im Rahmen des Forschungsvorhabens zeigte sich, dass Wohnungsunternehmen das Gesetz als kontraproduktiv bewerten und nach wie vor hohe Hemmnisse in der Anwendung von Mieterstrommodellen sehen. Notwendig sind klare, einfache und rechtssichere Vorgaben, die konstruktive Impulse für konkrete Projekte geben und es ermöglichen, quartiersbezogene Lösungen wirtschaftlich zu realisieren. (Kap. 4.6.2)

Flatrate Modelle für Heizen, Warmwasser und Haushaltsstrom werden bereits von Wohnungsunternehmen modellhaft eingesetzt. Die Lösungen haben sich vor allem für Quartiere bewährt, in denen hocheffiziente Gebäude errichtet werden. (Kap. 4.6.3)

Empfehlungen für Maßnahmen und F & E

- Grundlegende Überarbeitung des Mieterstrom-Gesetzes. Analog zur Förderung der Wärmenetze [Wärmenetze 4.0] sollten einfache und rechtssichere Rahmenbedingungen sowie Förderungen für die Umsetzung in Quartieren geschaffen werden.
- Erstellen von praxisnahen und einfach anwendbaren Musterlösungen für Mieterstrommodelle (z. B. als Bundeswettbewerb)
- Schaffen von einfachen rechtssicheren Rahmenbedingungen für Flatrate-Modelle mit Senkung der Wohnkosten.

Kostenrisiken & energetisch bedingte Mehrinvestitionen

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde eine große Zahl von Kostentreibern (Kap. 2.3.1) identifiziert, die beispielhaft in der folgenden Tabelle dargestellt werden. Im Vergleich dazu liegen die energetisch bedingten Mehrinvestitionen für Effizienzstandards vergleichsweise niedrig. Erfahrene Planer mit Willen zur Kostenoptimierung bieten beste Voraussetzungen für wirtschaftliches Bauen. Das gilt für Entwurfsaspekte und Vergabeverfahren ebenso wie für die energetische Optimierung (Kap. 3 / 4). In den vergangenen Jahren haben sich viele Planer in dem Sinn qualifiziert und sich das Werkzeug für

kostenoptimiertes energetische Planung erworben. Unter aktuellen Rahmenbedingungen weisen ihre hocheffizienten Gebäude ab dem ersten Jahr eine geringere monatliche Belastung auf als vergleichbare Standardgebäude nach EnEV (Kap. 2.3.4). Noch gibt es jedoch eine Vielzahl von Planern, die dazu nicht qualifiziert sind und deutlich ungünstigere Ergebnisse erzielen, wenn sie für hocheffiziente Gebäude beauftragt werden.

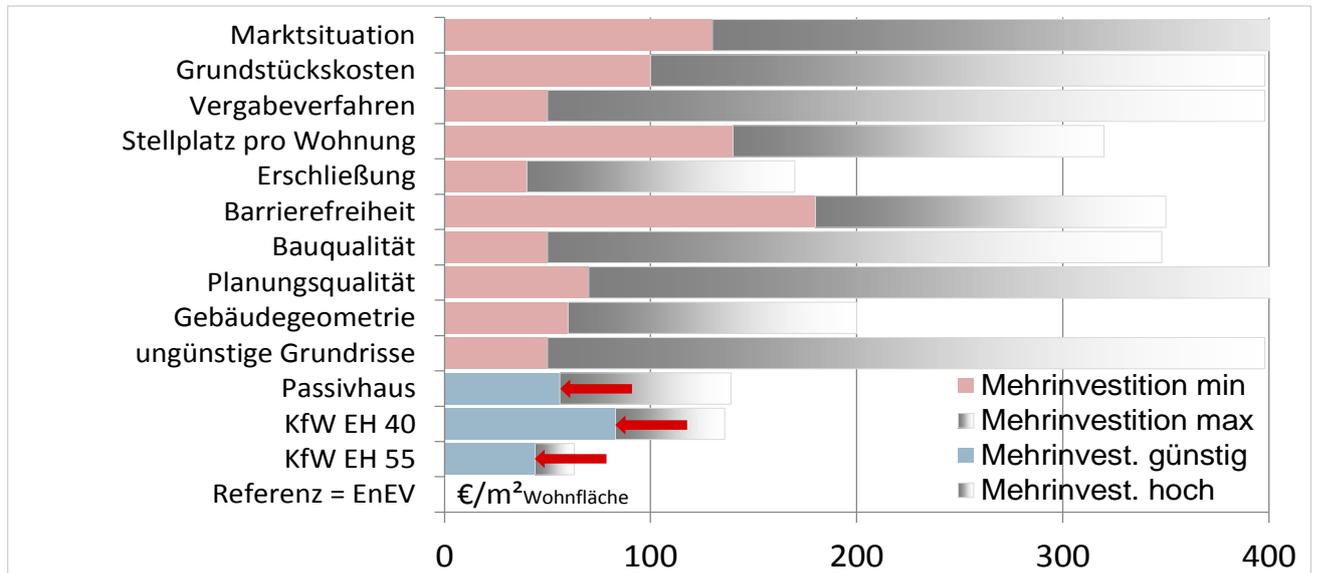


Abbildung 2 Beispiele für Kostenrisiken bei der Planung von Wohngebäuden

Empfehlungen für Maßnahmen und F & E

- Qualifizierungsoffensive für Planer und Handwerk

Wohnkosten

Entscheidend sind die Wohnkosten als Summe aus Miete und Nebenkosten. Das Forschungsvorhaben hat Ansätze aufgezeigt, wie Nebenkosten gesenkt und das Mieter-Vermieter-Dilemma aufgelöst werden könnte. Hocheffiziente Gebäude in Verbindung mit erneuerbarer Energiebereitstellung ermöglichen Flatrate-Modelle für Heizen, Warmwasser und Haushaltsstrom, die bei optimierter Planung zu deutlich

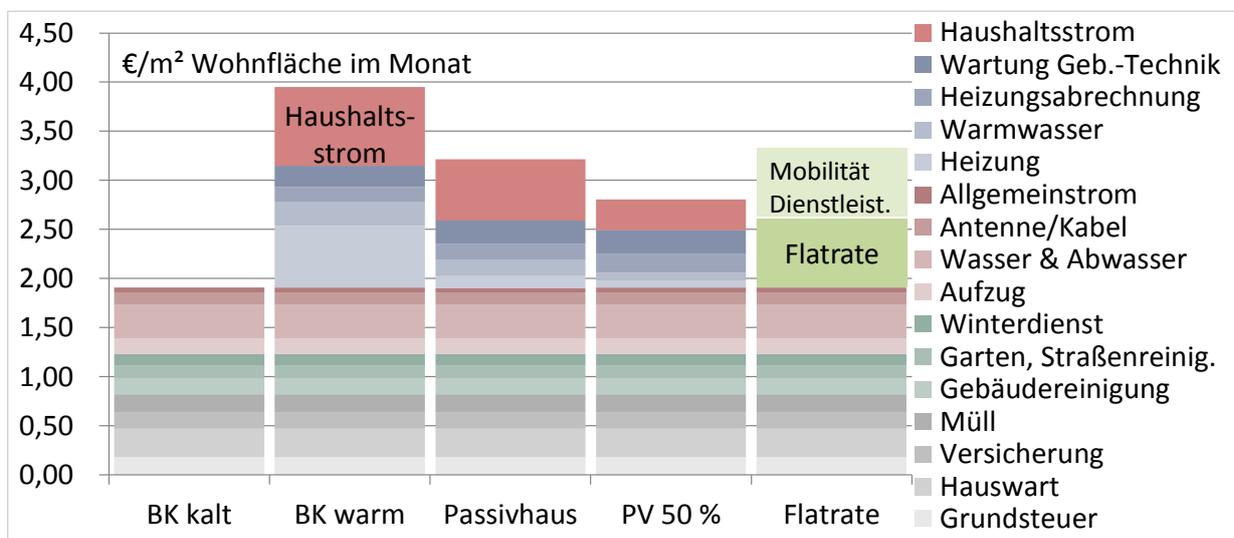


Abbildung 3 Wohnkosten – Optimierung durch Effizienz, Erneuerbare und Flatrate-Modelle

günstigeren Wohnkosten führen als übliche Standards auf EnEV-Niveau. Optional lassen sich zusätzliche Dienstleistungen einbinden, wie z. B. Mobilitätsangebote, die das Budget von Mietern deutlich entlasten können (Kap. 2.5 - 2.5.2) und zugleich Einsparungen bei der Erbringung der Stellplatzanforderungen beinhalten. Von ebenfalls hoher Bedeutung ist die Senkung der „kalten“ Nebenkosten.

Empfehlungen für Maßnahmen und F & E

- Digitalisierung von Abrechnung als Abfallprodukt der Regelung im Bereich Versorgungs- und Heiztechnik
- Forschungsvorhaben zu optimierten und rechtssicheren Flatrate-Modellen
- Forschung zum Potenzial von weiteren Dienstleistungen zur Senkung der Wohn- und Lebenshaltungskosten.

GEG – nationale Effizienzstandards – Ordnungsrecht

Das Gebäudeenergiegesetz (GEG) ist ein sinnvoller Ansatz, indem es EnEG, EEWäg und EnEV miteinander verbindet. Das GEG kann allerdings nur erfolgreich sein, wenn es von Planern und Entscheidern verstanden wird. Es muss deshalb deutlich vereinfacht werden. Das gilt insbesondere für das Rechenverfahren. Die DIN 18599 bildet die zukünftigen hoch effizienten Gebäude physikalisch nur bedingt richtig ab. Eine vereinfachte Fassung für Wohngebäude könnte das Problem lösen. Zudem erfordert die zukünftig erneuerbare Versorgung völlig neue Anforderungsparadigmen für die Gebäudetechnik (Kap. 4.2-4.5), die dringend in das GEG einbezogen werden müssen.

Grundlage für ein GEG im Sinn der Klimaschutzziele ist ein zukunftsfähiger Effizienzstandard, der ab 2021 eine wirtschaftliche Form heutiger Best—Practice—Techniken wie dem Passivhaus- oder KfW EH 40-Standard abbilden muss. Das Referenzgebäude erfordert zur Umsetzung der Klimaziele mindestens folgende Standards: Außenwand $U \leq 0,16 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, bei sehr kompakten MFH $U \leq 0,20 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, Dach $U \leq 0,14 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, Grund $U \leq 0,20 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, Fenster $U_w \leq 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Diese Standards sind ausreichend, um die Klimaneutralität im Gebäudebestand zu erzielen, wenn der Bestand komplementär dazu fortentwickelt wird. Eine weitere U-Wert-Rallye wird nicht notwendig sein. Ein zeitliches Verschieben dieser marktverfügbaren Effizienztechniken führt allerdings zu einer „Lost Opportunity“, die zu hohen betriebs- und volkswirtschaftlichen Folgekosten führen würde bis hin zu Milliarden-Strafen aufgrund des Verfehlens der zugesagten Klimaschutzziele. Die KfW-Förderung kann genutzt werden, um bis etwa 2025 einen Übergang zu diesem Standard zu flankieren, damit keine sozialen und wirtschaftlichen Härten entstehen.

Empfehlungen für Maßnahmen und F & E

- Sehr deutliche Vereinfachung des GEG mit allgemeinverständlichen Annahmen, Rechenwegen und Ergebnissen sowie einem sehr einfachen Nachweisverfahren, das keine Mehrkosten bei der Planung erfordert
- Anpassen der Gebäudetechnik- und Versorgungs-Parameter an die Anforderungen der Energiewende
- Erstellen eines einfachen EnEV-Rechenprogramms für Wohngebäude und einfache Nichtwohngebäude, das hocheffiziente Gebäude physikalisch richtig abbildet und praxisnahe Ergebnisse aufweist.

Förderung (KfW & wohnungswirtschaftliche Förderung)

Die KfW-Förderung für Neubau und Sanierung hat durch die Verstärkung und zielgenaue Anpassung ihrer Programme seit etwa 2007 hervorragende Impulse gegeben, um marktverfügbare innovative Techniken sukzessive breitenwirksam einzuführen. Dabei gab es eine beständige Parallelverschiebung von EnEV- und KfW-Standards. Insbesondere bei der letzten EnEV-Anpassung war die Förderung sehr gut austariert und führte zu angemessener Wirtschaftlichkeit hocheffizienter Energiestandards. Insbesondere die hohe Akzeptanz des Standards KfW EH 55 in den Jahren 2016/2017 zeigt, dass eine große Anzahl von Akteuren

hochwertige Standards wirtschaftlich umsetzen kann. Eine Kontinuität in der Entwicklung der Förderung ist Voraussetzung für Planungssicherheit und Akzeptanz. Ziel muss es sein, dass ab 2021 nur noch hochwertige Standards gebaut werden und das GEG diese vorschreibt. Da möglicherweise für einige Jahre solch ein Standard nicht vollständig wirtschaftlich ist, kann parallel dazu eine degressiv verlaufende „Förderung eines Deckungsfehlbetrages“ zur Wirtschaftlichkeit“ [Kap. 2.6.5] erfolgen. Zugleich werden durch diesen Prozess in der Bauwirtschaft innovative Techniken in der Breite verankert, was sinkende spezifische Kosten bewirken und somit die Wirtschaftlichkeit innerhalb weniger Jahre herbeiführen wird. Dabei ist es eine Frage des verantwortungsvollen Umgangs mit Steuergeldern, ob sich die Fördersätze an Best-Practice-Planung oder an Akteuren am Ende der Know-how-Skala orientieren.

Grundsätzlich ist eine komplementäre wohnungswirtschaftliche Förderung notwendig, um die Besonderheiten unterschiedlicher Regionen und Metropolen abbilden zu können. Diese muss additiv zu den energetisch ausgerichteten Förderungen der KfW im Rahmen der Förderprogramme zum sozialen Wohnungsbau integriert werden.

Empfehlungen für Maßnahmen und F & E

- Fortschreibung der sehr sinnvollen Förderung zum Standard KfW EH 55 nach dem U-Wert-Verfahren für die Standards KfW EH 40 und KfW EH 40 PLUS mit einer deutlichen Vereinfachung für die Antragsteller.
- Additiv Umsetzung der seit langem diskutierten steuerlichen Förderung
- Untersuchungen zur Sicherstellung der tatsächlichen Verbrauchswerte, ggf. verbunden der der THG-Vermeidung
- Erstellen eines sukzessive degressiven Langfrist-Förderkonzepts zum Erreichen der Klimaneutralität im Gebäudebestand. Nur eine strategisch aufgebaute und kontinuierlich wirkende Förderung kann die richtigen Anreize für die hohen Herausforderungen der Energiewende geben
- Untersuchungen zu einer additiven wohnungswirtschaftlichen Förderung mit Berücksichtigung regionaler Rahmenbedingungen und Besonderheit.

Planungsqualität und Qualifizierung

Erfahrene und motivierte Planer setzen zukunftsfähige Bauvorhaben mit hoher Kosteneffizienz um. Diese Feststellung lässt sich als zentrales Ergebnis des Forschungsvorhabens festhalten. Die beteiligten Wohnungsunternehmen legen hohen Wert auf Architekten und Fachplaner, die sowohl Referenzen in diesem Sinn vorweisen können als auch Motivation zu kosteneffizientem Bauen mitbringen. Die Projektworkshops anhand der konkreten Bauvorhaben stellten in dem Sinn eine intensive Fortbildung für die Projektbeteiligten und die Planungsteams dar.

Empfehlungen für Maßnahmen und F & E

- Initiative für ein bundesweites Fortbildungsprogramm zum kostengünstigen und zukunftsfähigen Bauen.



1 Einleitung und Zielstellung des Vorhabens

Der Wohnungsbau nimmt eine zentrale Rolle in der Stadtentwicklungs- und Sozialpolitik in unserem Land ein. Die Wohnungsbaupolitik in den 1990 und 2000er Jahren mit Ausverkauf von preisgebunden Gebäuden und Quartieren basierte auf aus heutiger Sicht falschen Einschätzungen zur Entwicklung des Bevölkerungswachstums, des Wohnraumbedarfs und auseinanderdriftenden Entwicklungen in ländlichen und urbanen Räumen. Der in den letzten Jahren dramatisch gewachsene Bedarf an zusätzlichem Wohnraum in Verbindung mit der aktuellen Niedrigzinspolitik und fehlenden Kapazitäten im Bauhaupt- und Baunebengewerbe sowie beim Handwerk führt zu stark steigenden Bau- und Wohnkosten. Vor allem in attraktiven Ballungsgebieten ist es für Menschen mit niedrigem, aber auch zunehmend mit mittlerem Einkommen sehr schwierig angemessenen Wohnraum zu finden. In der Konsequenz folgt daraus eine Abwertung der Lebensumstände. Es muss entweder ein erhöhter Anteil des Einkommens für das Wohnen ausgegeben, ein weiterer Arbeitsweg in Kauf genommen oder ein schlechterer Wohnstandard akzeptiert werden.

Wohnen als Grundbedürfnis

Angemessenes Wohnen ist Grundbedürfnis eines jeden Menschen. Fehlt dafür die Voraussetzung, entstehen Ängste und in der Folge Unzufriedenheit und soziale Konflikte. Es ist zentrale Aufgabe eines Staates für gute Rahmenbedingungen zu sorgen. Wohnen muss bezahlbar bleiben und zugleich den Bedürfnissen der Bewohner entsprechen. „Eigentum verpflichtet. Sein Gebrauch soll zugleich dem Wohle der Allgemeinheit dienen“. Artikel 14 des Grundgesetzes für die Bundesrepublik Deutschland zeigt deutlich, dass insbesondere Immobilienbesitz soziale Implikationen beinhaltet, die jeder Eigentümer erfüllen muss. Zugleich gilt es eine Ausgewogenheit zwischen Eigentümern und Mietern zu schaffen. Dabei geht es nicht nur um kurzfristig wirkende Maßnahmen, sondern um eine nachhaltige Strategie zur Senkung von Wohnkosten.

Forcierter Wohnungsbau versus architektonischer und städtebaulicher Qualität?

Da es sich bei der Entwicklung von Wohnraum um einen langfristigen Prozess handelt, ist eine besondere Achtsamkeit für Qualität und nachhaltig wirkende Rahmenbedingungen des Bauens gefordert. Ein forcierter Wohnungsbau, wie er derzeit zu Recht gefordert wird, prägt unsere Städte und Gemeinden. Trotz des Handlungsdrucks darf architektonische und städtebauliche Qualität nicht hintenanstehen [KNBau 2018 / SRU 2018]. Das Gleiche gilt für weitere Parameter wie Freiflächengestaltung und Mobilität inklusive einer barrierefreien Gestaltung von Gebäuden und Umfeld. Die technische Qualität der Gebäude muss langfristige Nutzung ohne hohen Instandsetzungsaufwand ermöglichen. Dazu gehören Konstruktionen mit langer Nutzungsdauer aus gesundheits- und umweltverträglichen Materialien.

Klimaziele versus Wirtschaftlichkeit?

Gebäude spielen auch bei Bewältigung der energie- und klimapolitischen Herausforderungen eine wesentliche Rolle. Denn der Gebäudebereich verursacht noch immer rund 35 Prozent des

Energieverbrauchs in Deutschland. Und er ist in einem ähnlichen Maße für Treibhausgasemissionen verantwortlich. Deshalb werden Energiewende und Klimaschutz ohne entsprechende Gebäude nicht funktionieren. Die Anforderungen des Klimawandels müssen sich deshalb sehr deutlich in den Energie- und Versorgungsstandards von Gebäuden niederschlagen. Der Staat muss Leitplanken setzen, die eine integrale und umfassende Planung und Gestaltung des Wohnungsbaus ermöglichen.

Klimaschutzmaßnahmen werden im Wohnungsbau besonders emotional diskutiert. Auf der anderen Seite sind die Techniken zum Erreichen der Klimaneutralität bis zum Jahr 2050 marktverfügbar. Die Hemmnisse liegen im ökonomischen Bereich sowie bei hindernden Rahmenbedingungen. Ein Ausspielen dieser zahlreichen Aspekte gegeneinander kann keine Lösung darstellen.

Das Forschungsvorhaben hat Akteure zusammengeführt, die Trends setzen und bereits in der Vergangenheit innovative Prozesse angestoßen haben. Anhand von Neubauprojekten der beteiligten Wohnungsbaugesellschaften wurden komplexe Themen praxisorientiert untersucht und die Ergebnisse in die konkreten Planungsprozesse eingebracht. Vor allem konnten verallgemeinerbare Erkenntnisse gewonnen werden, die in Richtung Fachwelt und Politik kommuniziert werden, um Qualitätssicherung, Energieeffizienz und Nachhaltigkeit im Geschosswohnungsbau insgesamt voranzutreiben und gleichzeitig kostengünstige und sozialverträgliche Lösungen zu ermöglichen.

In diesem Sinn gilt es die sehr intensiv geführte Kostendiskussion beim Wohnungsbau der letzten Jahre zu analysieren und zu versachlichen. Wie kann trotz steigender Qualitätsansprüche und ordnungsrechtlicher Anforderungen zukunftsfähiger Geschosswohnungsbau im Quartier mit Blick auf steigendes Bewusstsein für Umwelanforderungen und Klimaschutzaspekte auf kosteneffiziente Weise realisiert werden? Wie ist dieser Prozess kompatibel mit beschlossenen energie- und klimapolitischen Zielen – die klar festlegen, dass der Gebäudebereich in den nächsten drei Jahrzehnten klimaneutral werden soll? Erhöhte Anforderungen führen zwangsläufig zu anwachsenden Investitionskosten. Insbesondere gilt das für die Diskussion um steigende energetische Standards. Inwieweit stehen erhöhten Effizienzanforderungen entlastende Aspekte entgegen? Besteht ein Potenzial zur Kostenoptimierung, insbesondere durch Einsatz innovativer Komponenten und Systemlösungen sowie Sicherung der Qualität von Planung und Ausführung?

Forschungsansatz versus Planungsalltag?

Anhand von Neubauprojekten der beteiligten Wohnungsbaugesellschaften wurden diese übergreifenden Themen praxisorientiert gemeinsam untersucht und die Ergebnisse in den Planungsprozess eingebracht unter besonderer Beachtung städtebaulicher Aspekte. Als Ziel des Projektes wurden Lösungsansätze bei konkreten Vorhaben untersucht. In den Planungsprozessen konnten Alternativen hinsichtlich der Nachhaltigkeitsaspekte, ihrer Investitionskosten sowie der Vergleich der langfristigen Wirtschaftlichkeit dargestellt werden. Ein Teil der Projekte wurde bereits umgesetzt, zum Teil steht die Umsetzung unmittelbar bevor. Aus diesem interdisziplinären Vorhaben können Empfehlungen für die Standards im Wohnungsbau der 2020er Jahre sowie politische und immobilienwirtschaftliche Handlungsnotwendigkeiten abgeleitet werden.

Der Bericht beschreibt zunächst „Zukunftsfähige Gebäude- und Quartierskonzepte“ (Kap.2). Erfahrungen aus den Workshops mit den Wohnungsunternehmen werden zusammengestellt unter besonderer Berücksichtigung des Quartiersansatzes. Zentrale Punkte sind die städtebauliche Planung als auch Mobilitäts- und Versorgungsaspekte. Nachhaltigkeitsparameter von Wohngebäudeplanung werden auf Grundlage der NaWoh-Zertifizierung [NaWoh 2018] umfassend analysiert und daran anschließend umfangreiche Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen angestellt, Kostentreiber analysiert und ein Rechenverfahren nach der Methode des Vollständigen Finanzplans dargestellt. Betrachtungen zu den Wohnkosten und den Effizienzstandards runden das Kapitel ab.

Komponenten für kostengünstige und zukunftsfähige Lösungen

„Grundlagen kostengünstiger und zukunftsfähiger Planung“ (Kap. 3) beschreiben detailliert Ansätze zu Gebäudegeometrie, Grundrissgestaltung und Konstruktion. Im Folgekapitel wird die Gebäudetechnik unter den Prämissen der Energiewende beschrieben. Daraus leiten sich grundlegende Paradigmenwechsel ab, die zugleich eine Chance für sinkende Wohnkosten bieten könnten. Neue Aspekte für die Beheizung, Warmwasserversorgung, Lüftung sowie Eigenstromerzeugung und -nutzung stellten ein zentrales Thema des Forschungsvorhabens dar. Erneuerbare Versorgung erfordert zudem zwangsläufig die integrale Betrachtung des Stromverbrauchs und der Mobilität. Daraus können Rückschlüsse für neue Optionen von Versorgungskonzepten für Quartiere und Stadtteile gezogen werden. Derzeit mangelt es allerdings noch deutlich an passenden Rahmenbedingungen, um z.B. Mieterstrommodelle und eine größtmögliche Selbstversorgung fürs Wohnen auf Basis erneuerbarer Technologien breitenwirksam umzusetzen.

Projektberichte und persönliche Erfahrungen

Die Projektberichte der beteiligten Wohnungsunternehmen stellen in Kapitel 5 eine Vielzahl von Ansätzen und innovativen Projektideen gegenüber und bieten ein buntes Bild möglicher Planungsansätze. Abgerundet wird der Bericht durch die persönlichen Anmerkungen der beteiligten Projektpartner sowie eine Zusammenfassung der Ergebnisse in Kernthesen, die dem Forschungsbericht als Zusammenfassung vorangestellt werden.

Energiepolitische Einordnung des Forschungsvorhabens

Gebäude und Quartiere spielen bei der Energiewende eine zentrale Rolle. Die Bundesregierung will deshalb bis zum Jahr 2050 einen nahezu klimaneutralen Gebäudebestand realisieren und rund 80 Prozent weniger nicht erneuerbare Primärenergie benötigen als im Jahr 2008. Energieeffizienz und erneuerbare Energieversorgung müssen dabei Hand in Hand gehen. Um im Gebäudebestand Klimaneutralität zu erzielen, das zeigt die Energieeffizienzstrategie Gebäude (ESG), müssen wir die Energieeffizienz erheblich steigern und dafür zunächst den Energieverbrauch massiv senken, um den verbleibenden Energiebedarf im Wesentlichen durch Erneuerbare Energien in Verbindung mit Sektorkopplung decken zu können.

Auf nationaler Ebene hat sich die Bundesregierung darüber hinaus im „Klimaschutzplan 2050“ [KSP2050] zum Ziel gesetzt, dass der Gebäudebereich von heute 120 Mio. Tonnen CO₂ bis 2030 nur noch max. 72 Mio. Tonnen CO₂ Emissionen verursachen darf. Auf EU-Ebene hat sich Deutschland verpflichtet in diesem non-ETS Sektor 38% CO₂ Emissionen bis 2030 einzusparen. Im non-ETS spielen die Gebäude neben dem Verkehr / der Mobilität und der Landwirtschaft eine zentrale Rolle.

Der Wohnungsneubau stellt dabei neben der Bestandssanierung eine maßgebliche Größe dar. Denn in den kommenden Jahren sollen 1,5 Millionen neue Wohnungen entstehen. Und dabei ist es entscheidend, ob diese hocheffizient sind und mit erneuerbaren Energien versorgt werden, oder konventionelle Neubauten repräsentieren, die lediglich Mindeststandards erfüllen und mit fossilen Brennstoffen die Wärme erzeugt wird. Eine besondere Bedeutung weist der Neubau auch deshalb auf, weil er standardprägend für die Sanierungstätigkeit ist.

Darüber hinaus ist die Energiewende im Gebäudebereich eingebettet in die Diskussion um bezahlbares Wohnen und Bauen [Wohngipfel2018]. Die Projekte in diesem Forschungsvorhaben spielen daher eine entscheidende Vorbildrolle für die anstehende Diskussion, wie der Wohnungsmangel behoben und gleichzeitig die Energiewende und der Klimaschutz erreicht werden kann.



2 Zukunftsfähige Gebäude- und Quartierskonzepte

Wohngebäude erfordern ein hohes Maß an interdisziplinärer Planung. Bei Neubauvorhaben können sehr unterschiedliche Schwerpunkte oder Optimierungsmöglichkeiten gewählt werden. Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde eine Vielzahl von Aspekten im Zuge der zahlreichen Workshops diskutiert. Als zentrales Anliegen galt es, die Wechselwirkungen zwischen Objektplanung und den stadtplanerischen Chancen von Quartieren zu untersuchen. Dennoch müssen Planungsschritte auf die kleinsten Einheiten heruntergebrochen werden. Die Projektpartner verfügen über zahlreiche Instrumentarien zur Optimierung ihrer Planung. Ein gutes Kriterienraster für die umfangreichen Schritte einer detailgenauen Planung bietet die NaWoh-Zertifizierung [NaWoh 2018]. In Kapitel 2.2 wird die Systematik detailliert vorgestellt.

Eine grundlegende Untersuchung fand statt zu den Kosten und zur Wirtschaftlichkeit. Die Analyse der Kostenfaktoren und der Kostentreiber (Kap. 2.3) war dabei von ebensolcher Bedeutung wie Untersuchungen zur integralen Kosten- und Wirtschaftlichkeitsplanung in Form eines Vollständigen Finanzplans (Kap. 2.4). Einen besonderen Schwerpunkt nehmen in dem Rahmen die Wohnkosten ein. Dazu wurden die Positionen der Nebenkosten analysiert und Einsparpotenziale beschrieben (Kap. 2.5).

Schließlich ging es aber auch darum, nationale Effizienzstandards und Ordnungsrecht kritisch zu hinterfragen und mögliche Leitplanken für zukünftige Förderung gegenüberzustellen (2.6). Es erfolgte eine intensive Zusammenarbeit mit Forschungs- und Entwicklungsinstitutionen der Kooperationspartner. Wichtig war der begleitende Dialog mit Ministerien und politischen Entscheidungsträgern, was insbesondere im Rahmen der Arbeit mit den Beiräten ermöglicht wurde.

2.1 Quartiersansatz – Synergien zwischen Objekt- und Stadtplanung

Architektur verlangt grundsätzlich den Kontext zum Städtebau. Planungen zu Einzelobjekten oder Ensembles ermöglichen die Aufwertung des Quartiers oder Stadtteils. Analog dazu stellt qualitätvolle städtebauliche Planung die Grundlage für stimmige Objektplanung dar. Integrales Zusammenwirken von Architektur, Städtebau und Infrastrukturmaßnahmen schafft hohen Wohnwert sowie Identifikation und Zufriedenheit der Bewohner mit ihrem Umfeld. Die Fragestellungen des Forschungsvorhabens reichen von den gestalterischen und wirtschaftlichen Herausforderungen bis hin zu zukunftsfähigen Mobilitäts- und Energieversorgungskonzepten von Baugebieten, Stadtteilen und Kommunen. Deshalb liegt die Schwerpunktsetzung des Forschungsvorhabens auf dem Thema „Kostengünstiger und zukunftsfähiger Geschosswohnungsbau im Quartier“.

2.1.1 Beispiele für Quartierslösungen des Forschungsvorhabens

Wesentliche Grundlage des Forschungsvorhabens war der Austausch zwischen den Wohnungsunternehmen und deren Planungsteams, den Beiräten und Industriepartnern am Beispiel von konkreten Bauvorhaben im städtebaulichen Kontext. Quartiere der Wohnungsunternehmen wurden in Form von Workshops in ihrer Vorentwurfsphase und zum Teil auch in ihrer Umsetzung begleitet. Die Beispiele verdeutlichen die vielfältigen Herausforderungen und Lösungsansätze, die bei den fünf Wohnungsunternehmen hierzu bearbeitet wurden. Die folgende Aufstellung zeigt das weite Spektrum der diskutierten Aspekte mit einigen Stichpunkten auf. Projektberichte dazu gibt es in Kapitel 5 dieses Berichts.



Herzkamp Bothfeld – Hilligenwöhren
 Integraler Planungsprozess für das Quartier Herzkamp und optimierte Objektplanung mit Standard KfW Effizienzhaus 40
 Gundlach GmbH & Co.KG (Kap. 5.1)



Quartier Brüxer Straße, Erlangen
 Wettbewerb: Abriss vs. Neubau
 Ergebnis: Neubau mit 164 barrierefreien Wohnungen
 GEWOBAU Erlangen (5.2)



Achtgeschossige Nachverdichtung
 Sewanstraße, Berlin
 Städtebaulich kompakte Bauweise:
 99 Wohnungen im Standard KfW EH 40 PLUS mit minimiertem Heizwärmebedarf und optimierter PV- & Batterietechnik
 HOWOGE Berlin (5.3)



Günstig wohnen „Im Wiener“
 Gräfendeichstr. & Ludwig-Gallmeyer-Straße, Ffm
 Kostenoptimierte Siedlung nah am Passivhaus-Standard mit effizientem Gebäudetechnik-Kern
 ABG FRANKFURT HOLDING (5.4)



Bebauungsgebiet Brockeiche
 Bielefeld
 Städtebauliche Herausforderung an der Peripherie in einem Bebauungsgebiet mit 58 Wohnungen nach dem integrativem „Bielefelder Modell“
 BGW Bielefeld (5.5)



Wohnprojekt 5
Lipizzanerweg, Bielefeld

Baugruppe: Generationsübergreifend, gemeinsam und zugleich individuell, unabhängig, wertschätzend & solidarisch

BGW Bielefeld (5.6)



Aktivhaus
Speicherstraße, Frankfurt a. M.

Plusenergiebilanz auf 8 Geschossen
Grundstück: 160 * 9 Meter
Flatrate für Heizen, Warmwasser & Strom

ABG FRANKFURT HOLDING (5.7)



Campus in Berlin-Kreuzberg
Ohlauer Straße, Berlin

Kostenoptimiert mit elementierter Modulbauweise für 6,50 € Kaltmiete

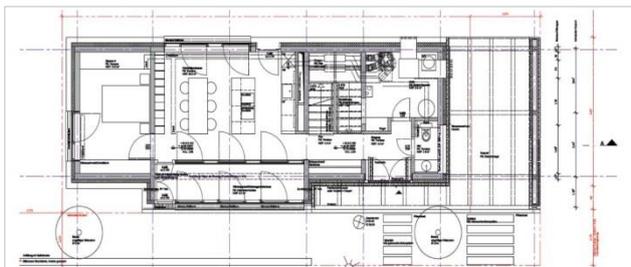
HOWOGE Berlin (5.8)



Teilerhöfe Rothfeld
Bothfelder Kirchweg 6, Hannover

Name mit Programm: Teilen von Gemeinschaftsfläche und Ressourcen bei geringer individueller Wohnfläche

Gundlach GmbH & Co.KG (Kap. 5.9)



RECYC – Recyclinghaus am Kronsberg Hannover

Gebäude aus recycelten & wiederverwendeten sowie recyclingfähigen & wiederverwendbaren Bauteilen in recycling-gerechter Bauweise

Gundlach GmbH & Co.KG (Kap. 5.10)



Kleinstwohnungen an der Matthiaskirche,
Roderbruchstraße 4, Hannover

Kostengünstige Kleinstwohnungen mit hohem
Wohnwert und geringen Nebenkosten:
Kaltmieten ab 235 €, warm ab 335 €

Gundlach GmbH & Co.KG (Kap. 5.10)



Nachverdichtung Housing Area

Nachverdichtung von 15 Wohnblöcken der
ehemaligen US-Armee durch Doppel-
aufstockungen (270 WE) und Neubau (130 WE)

GEWOBAU Erlangen (Kap. 5.12)



Quartierskonzept Erlangen Büchenbach & Neubau
Odenwaldallee

Umfassendes Quartierskonzept mit
hocheffizienter Gebäudesanierung,
Nachverdichtung durch Neubau und einem
Versorgungssystem mit erneuerbaren Energien

GEWOBAU Erlangen (Kap. 5.13)

2.1.2 Grundlagen – Städtebauliche Planung

Die zahlreichen Workshops am Beispiel der oben aufgeführten Projekte haben in positivster Weise bestätigt, dass sich Chancen und Synergieeffekte ergeben, wenn der Planungsansatz nicht nur auf einzelne Gebäude beschränkt bleibt, sondern auf Quartiere erweitert wird. Städtebauliche Gestaltung umfasst allerdings ein sehr breites Spektrum an Aufgaben, das bei jeder Planung individuelle Ausprägungen erfordert und selbstverständlich bis in die Objektplanung hineinreicht. Es ist nicht möglich, die vielfältigen Ansätze der Stadtplanung in einem Einführungskapitel zu erfassen, sie standen jedoch während der gesamten Projektlaufzeit im Vordergrund der Diskussion. Anhand folgender Kriterienauswahl werden stichpunktartig die umfassenden interdisziplinären Anforderungen städtebaulicher Planungsprozesse sichtbar – bei Weitem ohne Anspruch auf Vollständigkeit:

- Bestandsanalyse des Quartiers und Umfelds und Analyse der historischen Entwicklung
- Orts- und stadtbildprägende Elemente, Ensemble- & Denkmalschutz
- Kontext zur lokalen und regionalen Wohnraumversorgung
- Bebauungsplanung und baurechtliche Grundlagen
- Unternehmerisches Konzept für den Standort
- Portfolioüberlegungen
- Entwurfs- und Gestaltungskonzept für Wohngebäude und Siedlung

- Nutzungs- und Wohnungsmix
- Maßnahmen für familiengerechtes Wohnen
- Barrierefreiheit bei Gebäuden und im Wohnumfeld
- Infrastruktur - wohnungsnahe Versorgung
- Freiflächengestaltung, Grünanlagen & Freizeitangebote
- Schall- und Emissionsschutz
- Überlegungen zur Bebauungsdichte und Nachverdichtung
- Wohnungswirtschaftliches Konzept
- Demografischer Wandel & Bewohner mit Migrationshintergrund
- Sicherheit & Identifikationsaspekte für das Quartier
- Partizipation bei der Planung & Abstimmung mit lokalen Akteuren
- Finanzierungskonzept & Wirtschaftlichkeit
- Belastungsmindernde Bautechniken für das nachbarschaftliche Umfeld
- Durchführungskonzept & Prozessoptimierung.

Der Projektbericht erfasst in den jeweiligen Kapiteln die Anforderungen aus Sicht der Quartiersplanung. In zahlreichen Kapiteln gehen die umfassenden Aspekte ein, die im Rahmen des Forschungsvorhabens gesammelt wurden. Eine systematisierte Vertiefung erfolgt in den Kapiteln 2.2-5 und 3. Aspekte der technischen Versorgung werden in Kapitel 4 beschrieben. Darüber hinaus gingen im Rahmen des Forschungsvorhabens grundsätzliche Überlegungen in die Diskussionen ein, beginnend mit der Frage, warum innerhalb weniger Jahre ein Umschwung in der gesellschaftlichen und politischen Meinungslage zur Notwendig von Neubau in solch dramatischer Form erfolgen konnte.

Ist die aktuelle Neubauoffensive wirklich erforderlich?

Gesellschaftspolitische Rahmenbedingungen haben einen großen Einfluss auf das Baugeschehen. Zyklisch gab es in den letzten Jahrzehnten immer wieder Phasen, in denen ein hoher öffentlicher und politischer Druck entstand, hohe Neubauquoten umzusetzen. Die aktuelle Phase folgt auf eine Zeit gegensätzlicher Lehrmeinung der Anfangs-2000er-Jahre, dass Deutschland gebaut sei. Aus Planersicht ist zu befürworten, wissenschaftliche Grundlagen für einen kontinuierlichen Prozess zu schaffen, der starke Ausschläge reduziert und damit unnötige gesellschaftliche Kosten verhindert, die sowohl in Rezessions- als auch Boomphasen anfallen.

Bestandsentwicklung ist prägender als Neubau

Es gilt Mechanismen und Einflussmöglichkeiten zu identifizieren und umzusetzen, die im vorhandenen Gebäudebestand lenkenden Einfluss auf den Wohnungsmarkt nehmen können. Wohnflächenverfügbarkeit kann nicht nur durch Neubau geschaffen werden. Vielmehr muss Einfluss auf die Nutzung und Entwicklung des Bestands erfolgen. Leerstand und Zweitwohnungen können durch Steuern verteuert werden und Anreize für Wohnungstausch gegeben werden. Zur Verringerung des Anteils flächenintensiver Single-Haushalte ist es möglich, Gemeinschaftswohnprojekte und weitere Wohnformen zu unterstützen. Dadurch können gezielt Wohnformen geschaffen werden, die nicht nur einen hohen Wohnkomfort und soziale Vernetzung bieten, sondern zudem kostengünstige Wohnangebote ermöglichen. Gesamtgesellschaftlich wird dadurch die Wohnfläche pro Person reduziert, sie kann aktiviert werden ohne Neubau.

Effizienz bei der städtebaulichen Planung

Städtebauliche Vorgaben und Überlegungen bei Grundlagenermittlung und Vorplanung stellen die entscheidenden Planungsphasen dar. Bebauungs- und Wohnkonzepte, die zu einem nachhaltigen Umgang mit Fläche führen, sind zu bevorzugen. Weitere Entwurfsanforderungen liegen in kompakten Bauformen,

günstiger Gebäudegeometrie inklusive günstigem A/V-Verhältnis (Außenfläche zu Volumen), hoher Flächeneffizienz bei Erschließung und Grundrissgestaltung sowie energetisch optimierter Ausrichtung.

Qualitätvoller Städtebau mit guter Architektur ermöglicht sinnvolle Verdichtung

„Geschlossene Bauweisen bieten in ihrer großen Vielfalt einen reichen Formenschatz, die anstehenden städtebaulichen und architektonischen Aufgaben einer qualitätvollen Stadtverdichtung zu lösen. Sie sind an die historischen Stadtstrukturen anschlussfähig und können auch zur Überführung offener Baustrukturen einer zu geringen Dichte, wie sie etwa für viele Siedlungen des Nachkriegswiederaufbaus oder des randstädtischen Kleinhausbaus typisch sind, dienen. Es erscheint unverantwortlich, den städtischen Siedlungsraum immer weiter in den Außenbereich auszudehnen, etwa durch den bis 2019 befristeten § 13b BauGB, obwohl es in den Kommunen zahlreiche Brachflächen, untergenutzte oder viel zu locker bebaute Gebiete gibt.

Wohnqualität im gemischtgenutzten Quartier

Die Wohnqualität bemisst sich nicht allein an der Wohnung, sondern in zunehmendem Maße an den Eigenschaften des Wohnquartiers und Stadtteils. Nachbarschaften, die kompakt, raumbildend, reich an Wohnergänzungsfunktionen wie sozialer, kultureller und versorgender Infrastruktur sind, Raum für unterschiedliche Milieus bieten, Geschichtlichkeit sowie Identität aufweisen und durchgrünt sind, sind gegenüber Quartieren, denen es an diesen Eigenschaften mangelt, klar im Vorteil. Dem sollten alle planerischen und gestalterischen Aktivitäten verpflichtet sein.

Verträglichkeit höherer Dichten durch Raumdifferenzierung

Notwendige höhere Dichten erfordern eine sorgfältige Durcharbeitung der Trennlinien zwischen öffentlichen, halböffentlichen und privaten Räumen. Werden diese vernachlässigt, weggelassen oder aufgegeben, wird aus Dichte Enge, aus Urbanität Gedränge, aus fröhlicher städtischer Lebhaftigkeit Störung und Angstraum. Unabhängig von Eigentum oder Miete, Genossenschaft oder großem Wohnungseigentum in einer Wohnanlage gelten diese Bemühungen immer dem Schutz der Privatheit der Bewohnerin und des Bewohners.

Domestizierung von Verkehrsflächen als Beitrag zur besseren Stadt

Fläche und Raum unserer Städte dienen zu einem bedeutenden Teil dem individuellen und gemeinschaftlichen Verkehr. Das Erbe eines ganzen Jahrhunderts autoorientierter Stadt- und Verkehrsplanung ermöglichte, den Nutzungszusammenhang immer weiter aufzulösen und daraus erwachsene räumliche und funktionale Defizite über Verkehr auszugleichen. Der Klimawandel verdeutlicht, dass dies ein Irrweg ist, der als wichtiger Teil der anstehenden Dekarbonisierung aller Lebensbereiche zu verlassen ist. Der Druck vom individuellen motorisierten Verkehr hin zu multimodalen öffentlichen Verkehrssystemen, vor allem mit dem Ziel der Verringerung der Flächeninanspruchnahme und der Überlagerung möglichst vieler Nutzungen im öffentlichen Raum als urbanem Grundprinzip, ist durch Gesetzgebung und aktive Umgestaltung der öffentlichen Räume zu verstärken. Straßenräume sind zu domestizieren, Garten- und Hofräume nicht länger als Stellplätze einseitig zu nutzen. Dazu sollte die Grundzulässigkeit von Stellplätzen auf den zu unterhaltenden und zu begrünenden Grundstücksflächen entsprechend der Musterbauordnung aufgehoben werden. Stellplatzschlüssel sind im Zusammenwirken mit zukünftigen Mobilitätskonzepten zu hinterfragen, Stellplatzlösungen zu verdichten.

Gut gestaltete öffentliche Räume als Teil des langlebigen städtischen Inventars

Die öffentlichen Räume der Kommunen sollten vielfältige Nutzungen erlaubende, vereinfachte und langlebige gute Gestaltung erfahren. Nicht länger dürfen ausschließlich technische Erfordernisse des fahrenden und ruhenden Verkehrs die Gestaltung dominieren. Die historischen langlebigen Materialien des öffentlichen Raumes, meist Naturstein, gehören zum kostbaren städtischen Inventar und sind

unveräußerlich. Ihre Weiter- und Wiedernutzung einschließlich der Ergänzung und Erweiterung der Bestände sollte durch von den Kommunen aufgestellte und angewendete Gestaltungshandbücher verpflichtend werden.“ [KNBau 2018]

Entwicklung des ländlichen Raums

Während in Metropolen ein sehr hoher Siedlungsdruck herrscht, verlieren ländliche Räume Einwohner. Es gilt die Strukturen aufzuwerten, den hohen Wohnwert dörflichen Wohnens planerisch zu unterstützen, Dörfer und ihre Zentren zu revitalisieren und Gemeinden in die Lage zu versetzen, hohe Qualität für ihre Bewohner zu schaffen. Dazu gehören eine vitale Infrastruktur, hochwertige Mobilitätsangebote und die Möglichkeit, anspruchsvolle berufliche Tätigkeiten von Zentren in den ländlichen Bereich zu verlagern. Dazu gehören Teilzeitangebote und attraktive Organisation von Arbeit mit Homeoffice-Plätzen genauso wie die Initiierung von Start Ups und Betrieben, die den Vorteil der ländlichen Struktur nutzen. Einen wesentlichen Sektor wird dabei die erneuerbare Energiebereitstellung einnehmen. Eine gezielte Aufwertung des ländlichen Raums entlastet Metropolen, schafft aber vor allem hochqualitative Lebensräume, die von vielen Menschen hoch geschätzt werden.

2.1.3 Grundlagen – Mobilität

Erschließung und Mobilität stellen eine zentrale Aufgabe für jede städtebauliche Planung dar. Angesichts der dramatischen Änderungen in diesem Sektor erfährt Verkehrsplanung völlig neue Herausforderungen. Daraus entstehen zahlreiche Chancen. Durch die Digitalisierung ändert sich bereits seit geraumer Zeit das Mobilitätsverhalten. Besonders in den Ballungsgebieten ist für viele Menschen nicht mehr der eigene PKW das Maß der Dinge, sondern die Flexibilität bei der Wahl der Fortbewegungsmittel. Auf zahlreichen Portalen werden bei Eingabe von Start- und Zielpunkt vielfältige Mobilitätsangebote bereitgestellt, zwischen denen der Nutzer problemlos wählen kann. Die Abrechnung ist bereits heute sehr einfach und wird künftig völlig problemlos und unaufwändig sein.

Das Spektrum üblicher Verkehrsmittel wird sich zukünftig verändern aufgrund der Diversifizierung von Mobilität. E-Mobilität schafft in den Städten völlig neue Strukturen, Car- und Ridesharing haben das Potenzial den Fahrzeugbestand und vor allem den ruhenden Verkehr dramatisch zu reduzieren. Der öffentliche Nahverkehr wird durch individuell zugeschnittene Transport- und Zubringermöglichkeiten unterschiedlicher Komfortkategorien ergänzt. Bisher wenig erschlossene Gebiete werden durch die kleinteiligen Lösungen attraktiver. Wenn in Ergänzung dazu Lenkungsmechanismen für den individuellen PKW-Verkehr entstehen, wird vor allem in den Innenstädten und den verdichteten Wohnquartieren die Nutzung eines eigenen PKW's in vielen Fällen obsolet.

Autonomes Fahren wird in wenigen Jahren zunehmend zu einem integralen Bestandteil des Verkehrssystems. Daraus resultierende Optionen werden Mobilitätssysteme vollständig verändern. Nicht nur das Spektrum der elektrisch betriebenen Gefährte vom Last Mile-Lieferservice über PKW's, Mini-PKW's, E-Rollern, E-Bikes und E-Rollern/Skates ermöglicht autonome Betriebsweisen in Verbindung mit einer individuell angepassten hoch komfortablen Mobilität. Durch die E-Mobilität werden Faktoren wie Lärm und Abgaskonzentrationen deutlich sinken können. Durch Ridepooling, d. h. Nutzung eines Gefährts für mehrere Fahrgäste in Form eines selbstfahrenden Sammeltaxis, dessen Route jeweils den Erfordernissen angepasst wird, können zudem Fahrten entfallen und dadurch die Verkehrsdichte gedämpft werden. Gleiches würde für den ruhenden Verkehr gelten. Allerdings kommt es dabei sowohl auf Gestaltungskraft der Politik als auch der Planer an. Eine besondere Verantwortung kommt den Kommunen mit Ihren Verkehrs- und Stadtplanern zu. Denn all die beschriebenen Möglichkeiten beinhalten auch das Potenzial zum Missbrauch und zur Erhöhung der Verkehrsintensität. Wenn schließlich das

Steckenpferd manch eines Politikers umgesetzt wird, Drohnen zum Liefern und zur Personenbeförderung einzusetzen, ist es mit der Ruhe und einer relativen Privatheit in unseren Städten allemal vorbei.

In Bezug auf die Fragestellungen des Forschungsvorhabens ergeben sich daraus folgende Aspekte:

1. Rückbau von Straßenraum für Kraftfahrzeuge
 - Zukünftige Mobilität kommt bei gezielter Planung mit deutlich weniger Straßen- und Parkierungsflächen aus
 - Daraus ergibt sich die Chance, nach etwa einem Jahrhundert autogerechter Stadtplanung viele Flächenressourcen den Menschen zurückzugeben
 - Kommunale Verkehrs- und Stadtplanung erfährt genau jetzt die dringende Notwendigkeit, regulierend in diesem Sinn einzugreifen und weitsichtige Planungen durchzuführen, die diese Potenziale identifiziert
 - Eine Neuordnung öffentlichen Raums kann zu einer hohen Identifikation der Bewohner mit ihrer Kommune und Umgebung führen. Voraussetzung ist ein frühzeitiger Partizipationsprozess, der die Chancen für die Stadtentwicklung erkennbar macht
 - Daraus ergeben sich zahlreiche Möglichkeiten, die im Weiteren in die Stichpunktsammlung einfließen
2. Fußwegenetz
 - Ausbau und Vernetzung von Fußwegen und fußläufigen grünen Achsen ohne Kfz-Verkehr
 - Rückbau von Straßenräumen zu Wohnstraßen und Fußgängerbereichen
 - Umwidmung von Anliegerstraßen zu Fußgänger- und Spielzonen (ggf. Zulassung von „verträglichen“ Fahrzeugen wie E-Gefährten mit Geschwindigkeit
 - Erhöhung des Freizeitwertes durch Grünachsen
 - Gleichzeitig Erhöhung der innerstädtischen Vernetzung von Flora und Fauna
3. Fahrradwegenetz
 - Schnelle, komfortable und sichere Anbindung von Gebäuden an das Radwegenetz
 - Integrale und sichere Ansätze bei der Gestaltung der Fuß- und Radwege
 - Zentrale Radwegverbindungen im Quartier als Teil des kommunalen und regionalen Radwegenetzes
 - Anreiz zur Nutzung von Fahrrad/E-Bike (statt PKW) durch „schnelle“ Anbindungen und Verbindungen
 - Gesunde, erlebnisreiche und möglichst grüne Radwegeachsen
 - Definition von Fahrradtrassen innerhalb von Quartieren
 - Übergeordnete „Fahrradautobahnen“ mit geringer Kreuzungsdichte und ohne direkte Berührung zum KFZ-Verkehr
4. Fahrradstellplätze
 - Ausreichender Stellplatzschlüssel
 - Sichere Fahrradstellplätze
 - Schneller Start als Vorteil gegenüber der KFZ-Nutzung: kurzer Weg von der Wohnung zum Fahrrad und vom Fahrrad zum Radwegenetz
5. Öffentlicher Personennahverkehr (ÖPNV)
 - Bebauungsplanung und (bedingt) Objektplanung: Gestaltung möglichst direkter, sicherer und angenehmer Fußwege/Radwege zu den ÖPNV-Haltestellen, bei längeren Anbindungsstrecken Einrichtung von autonom betriebenen Zubringer-Shuttles
 - Einbindung dieser Wege in das Fuß-/Radwegenetz
 - Neubau größerer Quartiere: Potenzial der Einflussnahme auf die Gestaltung des ÖPNV
 - Bei Ausweisung neuer Baugebiete: ÖPNV mit hoher Qualität und schneller Anbindung an das Zentrum bereits im Vorfeld planen

6. Individualisierter ÖPNV, Car- & Ride-Pooling
 - Car-Sharing Angebote im Quartier als Mieterverbund oder offenes Angebot
 - Ergänzung des ÖPNV durch kleinteilige, individuellere Mobilitätsdienste wie Shuttledienste als On-Demand-Service deutlich unterhalb des Preisniveaus von Taxis durch Ride-Pooling (Anfragen verbinden & Transport mehrerer Personen als Sammeltaxi)
 - Pendelbusse z. B. als Anbindung an den nächsten attraktiven S-/U-Bahnhof mit Taktung und direktem Anschluss (perspektivisch auf Anfrage & selbstfahrend)
7. Verkehrsanbindung für PKW
 - Anpassung der klassischen Planung für die PKW-Erschließung auf zukünftige reduzierte Anforderungen, die durch die oben beschriebenen Mobilitätsoptionen synergetisch unterstützt werden
 - Verkehrsplanung in Quartieren: Mut zu autofreien Bereichen
 - Grundlegende Überprüfung zukünftiger Verkehrskapazitäten unter dem Vorzeichen der diversifizierten Mobilitätsangebote
8. Ruhender Verkehr – PKW
 - Eine deutliche Reduktion des Stellplatzbedarfs ist aufgrund der Innovationen im Mobilitätsbereich erkennbar
 - Daraus folgt die grundlegende Anforderung an die Überarbeitung der Stellplatzschlüssel
 - Möglichkeiten zur individuellen Gestaltung des Stellplatzschlüssels bei der Planung neuer Quartiere aufgrund innovativer Mobilitätskonzepte, die nachweisbar die Anzahl der Individual-PKW's im Quartier senken
 - Dadurch ist eine hohe Kostenreduktion bei den Investitionskosten möglich. Stellplatzkosten von 15.000 – 25.000 € entsprechen bei einer 75-m²-Wohnung 200 bis 330 € pro m² Wohnfläche. Eine Halbierung des Stellplatzschlüssels reduziert die Kosten um 100 bis 165 €/m².
 - Planungsüberlegungen zu einer späteren Umnutzung von Stellplatzflächen
 - Für Bestandsquartiere: Überlegungen zu grundlegend neuen Parkierungskonzepten; der aktuellen Praxis der täglichen Parkplatzsuche könnte ein Konzept gegenübergestellt werden, das die Privat-PKW's in Quartiers-Parkhäusern bündelt, dafür wird ein hochqualitativer (autonom-fahrender) Shuttle-Service bereitgestellt, der innerhalb weniger Minuten einen Tür-zu-PKW-Service sicherstellt.
9. Infrastruktur für E-Mobilität
 - Schaffen von Lademöglichkeiten für E-Mobilität von PKW & E-Bikes
 - Quartiers-Energiezentralen zur Verbindung von Ladeinfrastruktur, Wärme und Strom für die Gebäude mit der erneuerbaren Energiegenerierung im Quartier
 - Durch diese Zentralen können hohe Synergien für die Auslegung der Ladeinfrastruktur geschaffen werden (vgl. Kapitel 4.5.6):
 - Beispiel: 100 WE, davon 50 % je ein E-Mobil = 50 E-Fahrzeuge
 - Maximale Leistung bei 22 kW pro Fahrzeug: 1.100 kW
 - Durchschnittliche km-Leistung pro Fahr 5.000 km (ggf. zzgl. Laufleistung, die anderweitig aufgeladen wird)
 - Bei 13 kWh/100 km: 32.500 kWh/a gesamt, umgerechnet 5 kWh/(m²_{WFA})
 - Mittlere Leistung für das Laden der 50 E-Mobile über das Jahr: 3,7 kW
 - Schlussfolgerung: Optimierung des Lastmanagements ermöglicht kostengünstige Ladestrategien bei partieller Reduktion des individuellen Ladekomforts und kann zudem die Anbindung an wasserstoff-basierte Mobilitäts-Optionen bieten.

Eine Vielzahl von weiteren Anregungen findet sich unter „Green City“ [BMVI 2019].

2.1.4 Grundlagen – Versorgungskonzepte

Das Energie- und Versorgungskonzept stellt eine zentrale Planungsaufgabe bei jedem Objekt dar. Die Basis bildet ein hochwertiger Wärmeschutz der Gebäude. Dazu werden in Kapitel 3 die Grundlagen ausführlich dargestellt und Kostenvergleiche zu den verschiedenen Gebäudestandards durchgeführt.

Versorgungskonzepte unterliegen derzeit einem grundlegenden Wandel. Das Ziel der Bundesregierung, bis 2050 einen klimaneutralen Gebäudebestand zu erreichen, erfordert grundsätzliche Paradigmenwechsel. Diese wurden im Rahmen des Forschungsvorhabens intensiv diskutiert und versucht, auf konkrete Projekte anzuwenden. In Kapitel 4.7 wird zudem ein Bogen gespannt zu bundesweiten Klimaschutzgutachten und den daraus sich ergebenden Anforderungen für die Baupraxis.

Die Herausforderungen und Chancen der Wärmewende werden in Kapitel 4.1 beschrieben. Auf Grundlage der schnellen Entwicklungen bei den Erneuerbaren Energien ergeben sich neue Gebäudetechnik- und Quartierslösungen. Die Grundlage muss zunächst in den einzelnen Gebäuden gelegt werden in Form einer innovativen Gebäudetechnik, die kompatibel mit den Synergien von Quartieren ist. Die relevanten Gebäudetechnik-Systeme werden in Kapitel 4.2 beschrieben. Elektrobasierte Systeme mit einem Arbeitszahl-Hub von 3 oder mehr wie bei Wärmepumpen weisen zukünftig deutliche Vorteile auf.

Warmwasserbereitung nimmt bei effizienten Gebäuden eine dominierende Rolle ein. Bei konventionellen Systemen liegt der Wärmebedarf höher als für den Bereich Heizen. Direktelektrische Systeme mit Wärmerückgewinnung oder Wärmepumpensysteme mit niedrigen Systemtemperaturen stellen interessante Alternativen dar (Kapitel 4.3). Voraussetzung ist eine einwandfreie Hygiene des Verteilsystems (4.3.1).

Lüftungstechnik ist durch die Anforderungen der DIN 1946-6 zu einem selbstverständlichen Bestandteil der Gebäudetechnik geworden (Kapitel 4.4). Kann Wärmerückgewinnung zu Kosten von 3.000 bis 3.500 € pro Wohnung implementiert werden, wird nicht nur der Komfort deutlich verbessert, sondern bei den effizienten Gebäudestandards der Heizwärmebedarf in etwa halbiert. Daraus ergibt sich ein Einsparpotenzial von bis zu 40 €/m² für das Heizsystem, da die Heizlast und mithin die Anlagengröße deutlich sinkt. Voraussetzung für einen wirtschaftlichen Betrieb von Lüftungsanlagen ist jedoch vor allem die einfache und kostengünstige Wartung.

Erneuerbare Energien und daraus resultierende Versorgungskonzepte werden in Kapitel 4.5 dargestellt. Das größte Potenzial für zukünftige regenerative Techniken innerhalb von Siedlungsstrukturen weist die Photovoltaik auf. Daraus ergeben sich Paradigmenwechsel bei der Wahl der Versorgungssysteme. Intensiv diskutiert wurde im Rahmen des Forschungsvorhabens die Alternative zwischen einer Versorgung mit einem Wärmenetz gegenüber dem Netzverbund durch das Stromnetz. Technisch-physikalisch sprechen viele Argumente für die strombasierte Variante. Unterstützt wird diese deutliche Tendenz auch durch die Langfristbetrachtungen und Wirtschaftlichkeitsberechnungen hinsichtlich der Entwicklung der Primärenergiebilanz (4.5.3) und der Kosten für die Brennstoffe (4.5.4). Versorgungskonzepte stellen eine langfristige Investition dar, sodass vor Systementscheidungen Risiken und Chancen abgeschätzt werden müssen, die aufgrund der Energiewende entstehen.

Nah- und Fernwärmenetze weisen vor allem den Vorteil auf, dass zentrale Energiewandlung jeweils auf aktuellem Stand der Technik gehalten werden kann. Zudem können Abwärmepotenziale aktiviert werden, wenn Betriebe oder Einrichtungen Prozesswärme nutzen, aus denen Abwärme ausgekoppelt werden kann. Der Nachteil besteht in den hohen Investitions- und Wartungskosten sowie den Verteilverlusten. Ein deutlicher Wechsel der Rahmenbedingungen ergibt sich vor allem aufgrund der Änderung der Primärenergiebetrachtung. Im fossilen System liegen Gas und Öl bei 1,1, Strom bei 3,0 (inzwischen 1,8). In einem erneuerbaren Versorgungssystem mit dem wesentlichen Primärenergieträger Strom aus Wind und PV liegt der erneuerbare Primärenergiefaktor (PER) für direkt genutzten Strom bei 1,0, während

synthetisches Gas mittels Elektrolyse aus Primärstrom gewonnen wird und einen Primärenergiefaktor von 1,5 bis 1,8 aufweist. Das bedeutet für komplexe Wärmenetze, dass im Zuge der Energiewende die primärenergetische Bewertung für Gas- und KWK-betriebene Systeme zunehmend schlechter wird. Zudem muss der hohe Anlagenaufwand in die Berechnung einbezogen werden. Es gilt also bei der Planung dieser Netze und Versorgungssysteme eine Langfristbetrachtung auf die Betriebszeit durchzuführen, welche diese Effekte beinhaltet. In der Gegenrechnung müssen objektspezifische Versorgungslösungen gegengerechnet werden. Das geht bis hin zu dezentralen Wärmepumpenlösungen, die mittelfristig deutlich kostengünstiger sein könnten sowohl hinsichtlich der Investitionskosten als auch des Betriebs. Zudem kommt der große Vorteil strombasierter Systeme zum Tragen, dass erneuerbarer Strom aus eigener Bereitstellung oder aus dem Netz marktgerecht und kostengünstig bereitgestellt werden kann.

Einen entscheidenden Parameter in dieser Betrachtung stellen die Rahmenbedingungen dar. In Kapitel 4.6 werden die Erfahrungen mit Lastmanagement und Speicherung analysiert, wobei sowohl die Gebäude- und Quartiersebene als auch die makroökonomischen Rahmenbedingungen betrachtet werden. Im Forschungsprojekt wurde deutlich, dass die aktuellen Rahmenbedingungen eher kontraproduktiv wirken. Insbesondere das Gesetz zur „Förderung von Mieterstrom“ [Bundesrat Drucksache 538/17] bringt keine Hilfestellung für die Integration erneuerbarer Energien im Bereich des Geschosswohnungsbaus oder gar auf Quartiersebene (4.6.2).

Dennoch wurden von den beteiligten Wohnungsunternehmen konstruktive und praxistaugliche Lösungen umgesetzt in Form von Mieterstrommodellen oder einer Flatrate für Wohnen und Energie (4.6.3). Ziel war dabei immer eine möglichst einfache Handhabung und vor allem die Senkung der Wohnkosten für die Mieter.

2.1.5 Energieforschung zu Gebäuden & Quartieren

Auf Grundlage des 6. Energieforschungsprogramms sollen energiepolitische Ziele der Bundesregierung erschlossen werden, indem Effizienzpotenziale von Gebäuden und Quartieren erschlossen, technische Innovationen entwickelt und erprobte Technologien in wissenschaftlich begleiteten Demonstrationsprojekten gefördert werden [BMW 2014]. Es geht um Effizienzpotenziale von Gebäuden und Quartieren, technische Technologien und Innovationen sowie Demonstrationsprojekte. Unter der Leitlinie „Forschung für energieoptimierte Gebäude und Quartiere“ [BMW 2018] werden zahlreiche Forschungsvorhaben zusammengeführt. Die breit gefächerte Energieforschung für Gebäude und Quartiere wird in der Initiative „ENERGIEWENDEBAUEN“ zusammengefasst und in der unter anderem folgende Fördergebiete enthalten sind:

- Energieoptimiertes Bauen (EnOB)
- Energieeffiziente Stadt (EnEff:Stadt)
- EnEff.Gebäude.2050
- Solares Bauen/Energieeffiziente Stadt.
- Energieeffiziente Wärme- und Kältenetze (EnEff:Wärme)
- Forschung und Entwicklung zu thermischen Energiespeichern und Niedertemperatur-Solarthermie.

Im Rahmen dieser Ansätze werden wirtschaftliche Versorgungsstrukturen in Quartieren angestrebt, systemische Ansätze statt Einzellösungen werden unterstützt. Dabei gewinnen Sektorkopplung und Digitalisierung zunehmend an Gewichtung. Der beschleunigte Transfer von Forschungsergebnissen in die alltägliche Praxis ist ein wichtiger Aspekt der Förderung. Darüber hinaus werden internationale Ansätze in Forschung, Entwicklung und Demonstration unterstützt, z. B. in der länderübergreifenden D-A-CH-Forschungskooperation mit Österreich und der Schweiz. Über die IEA (Internationale Energieagentur) ist Deutschland in multilaterale Forschungskooperationen für Gebäude und Quartiere eingebunden. „Das

BMWi fördert deutsche Beiträge in diesen so genannten "Technology Collaboration Programmes" (TCP): Solar Heating and Cooling (SH&C), Energy Conservation through Energy Storage (ECES), Energy Conservation in Buildings and Community Systems (ECBCS)." [BMWi 2018]

Darüber hinaus gibt es zahlreiche Ansätze, wie den BINE Informationsdienst „Gebäude und Stadt“ [BINE 2018]. Dort werden seit Jahren innovative Techniken sowie wegweisende Projekte und Inhalte dargestellt und dokumentiert. „Technologien für die Energiewende“ [Wuppertal Institut 2018] werden in zwei Bänden auf 1712 Seiten vorgestellt und Forschungsbedarfe analysiert. Das Thema „Energie- und ressourceneffiziente Gebäude“ nimmt dabei 100 Seiten ein, der Unterpunkt „Quartiere“ eine halbe Seite. Bereits frühzeitig entstand im Rahmen der Forschungsinitiative „Energieeffiziente Stadt“ die Veröffentlichung „Energetische Quartiersplanung“ [Erhorn-Kluttig, Jank et al 2011]. Einen Gesamtüberblick gibt der „Bundesbericht Energieforschung“ [BMWi 2017], der jährlich erscheint. Die Bundesregierung hat 2016 für die Energiewende etwa 876 Millionen Euro für Forschung, Entwicklung und Demonstration moderner Technologien investiert, rund drei Viertel davon wurde in Forschung zu erneuerbaren Energien und Energieeffizienz aufgewendet.

2.2 Zukunftsfähigkeit – Strategieansätze für nachhaltiges Bauen

Im Rahmen des Forschungsvorhabens nahm die Diskussion über den Umgang mit der Nachhaltigkeits-Thematik für den Wohnungsbau einen weiten Raum ein. Mehrere beteiligte Wohnungsunternehmen besitzen eigene Kriterien-Systeme dazu, die im Planungsalltag als integraler Bestandteil angewandt werden. Die Kriterien des Vereins zur Förderung der Nachhaltigkeit im Wohnungsbau [NaWoh 2018] wurden in diesen Austauschprozess intensiv einbezogen, da sie den Blickwinkel der Wohnungswirtschaft beinhalten. Für den hier vorliegenden Forschungsbericht wird diese Systematik als Grundlage gewählt und anhand der NaWoh-Kriterien eine Zusammenführung und Systematisierung zentraler Projektergebnisse durchgeführt. Dadurch soll ein Werkzeug zur Verfügung gestellt werden, mit dem in der Praxis auf sehr einfache Art die erste Bewertung eines Entwurfs erfolgen kann. Die Stärke des Instruments liegt darin, einen umfassenden Überblick über die komplexen Aspekte eines Vorhabens zu liefern. Ziel soll es sein, Defizite und Stärken eines Ansatzes schnell zu erfassen und konkrete Hilfestellungen für komplexe Entwurfsprozesse integraler Planungsteams zu geben. Zudem besteht die Möglichkeit auf dieser Basis in der Folge eine umfassende NaWoh-Zertifizierung mit deutlich reduziertem Aufwand zu erstellen.

Auf der NaWoh-Homepage werden die Besonderheiten des Systems wie folgt beschrieben: „Das Bewertungssystem Nachhaltiger Wohnungsbau wurde entwickelt, um die verschiedenen Aspekte der Nachhaltigkeit im Wohnungsneubau zu beschreiben und, wo geeignet, auch zu bewerten. Damit soll Nachhaltigkeit transparent und nachhaltige Qualität gesichert werden. Das System wurde von der wohnungswirtschaftlichen Sicht her entwickelt, ist aber offen darüber hinaus und bezieht insbesondere die Interessen von Mietern mit ein. Es kann in großer Breite für den Wohnungsneubau Verwendung finden. Das System eignet sich zur Anwendung als Leitfaden, als Planungshilfe und zur Unterstützung der Qualitätssicherung. Es bleibt freiwillig und ist für neue Wohngebäude gedacht. Es kann die Transparenz über die große Vielzahl notwendiger Entscheidungen und deren Ergebnisse für einen Wohnungsneubau verbessern und die Qualitätssicherung unterstützen. Innerhalb der verschiedenen auf dem Markt befindlichen Nachhaltigkeitsbewertungssysteme für Wohngebäude spezialisiert sich dieses System insbesondere auf die Handlungsmöglichkeiten von Wohnungsunternehmen als Bestandhalter. Besonderheiten sind eine ausführliche Behandlung des Bereiches Wohnqualität, das Herstellen eines methodischen Zusammenhangs zwischen Gebäudestandort und Umfeld einerseits sowie den planerischen und baulichen Reaktionen auf Standort und Umfeld andererseits, und – ganz wichtig – die Einbeziehung

der ökonomischen Nachhaltigkeit zusätzlich auch aus Sicht des Bauherrn. Das System orientiert sich ganz unmittelbar an den Bedürfnissen der wohnungswirtschaftlichen Praxis.“ [NaWoh 2018]

Folgende fünf Kategorien werden in der NaWoh-Zertifizierung betrachtet:

1. Wohnqualität
2. Technische Qualität
3. Ökologische Qualität
4. Ökonomische Qualität
5. Prozessqualität

Zu jedem Punkt gibt es eine beträchtliche Anzahl von Kriterienpunkten. Diese werden in einem Excel-Tool jeweils mit einer Erläuterung hinterlegt sowie mittels zahlreicher Unterpunkte die Qualität checkpunktmäßig abgefragt. Zu diesen Erläuterungen werden weiter unten Beispiele gezeigt. Sie sind in der Datei jeweils als einfaches Kontextmenü eingebettet, das sich öffnet, wenn die betreffende Zelle mit dem Cursor angetippt wird. Dadurch bleibt die Übersichtlichkeit erhalten, zugleich sind die Erläuterungen aber auf einfachem Weg abrufbar. Die Kriterien basieren auf den NaWoh-Kriteriensteckbriefen [NaWoh 2018 a]. Das Tool kann bei Nachfolge-Workshops als Arbeitshilfe einbezogen werden.

Die Inhalte beziehen sich auf das BNB-System des Bundes und den Leitfaden Nachhaltiges Bauen des BMI [nachhaltigesbauen 2018]. Damit verbunden ist das Informationsportal der ÖKOBAUDAT des BMI. Mit der Plattform „stellt das Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (BMI) allen Akteuren eine vereinheitlichte Datenbasis für die Ökobilanzierung von Bauwerken zur Verfügung. Es werden Baumaterialien sowie Bau- und Transportprozesse hinsichtlich ihrer ökologischen Wirkungen beschrieben.“ [ÖKOBAUDAT 2018] Die Daten der ÖKOBAUDAT sind kostenfrei zugänglich und enthalten für über 1000 Bauprodukte EN 15804- und BNB-konforme Datensätze. Die Daten können mittels des Bauteileditors eLCA des BBSR für die Quantifizierung von Umweltwirkungen genutzt werden, also auch für Zertifizierungsverfahren. Die zunächst etwas mühsame Editierarbeit ist mittlerweile in einem hohen Maß professionalisiert und vereinfacht worden und steht als Schnittstelle für mehrere Softwareprodukte zur Verfügung. So kann im Zuge der energetischen Berechnungen bereits in einer frühen Planungsphase mit einem sehr geringen Mehraufwand die Quantifizierung der Nachhaltigkeitswirkungen vollständig erfasst werden [eLCA 2018] .

Im Folgenden werden die fünf Kategorien der NaWoh-Zertifizierung mit ihren jeweiligen Kriterien aufgelistet. In der anliegenden Datei [Anlage 02] können zu jedem der benannten Unterpunkte über das oben beschriebene Kontextmenü die jeweiligen Erläuterungen abgerufen werden. Durch einfache Eingaben zu den Punkten ist eine schnelle Nachhaltigkeitserfassung eines Bauvorhabens erfolgen.

2.2.1 Wohnqualität

Als zentraler erster Punkt wird die Wohnqualität beschrieben. Es werden nicht nur Entwurfsaspekte betrachtet, sondern auch die soziale und funktionale Qualität, Behaglichkeits- und Komfortfaktoren bis hin zur Raumluftqualität und Sicherheit.

- 1.1.1-1 Funktionalität der Wohnbereiche
- 1.1.1-2 Funktionalität Koch- und Essbereich
- 1.1.1-3 Funktionalität Sanitärbereich
- 1.1.1-4 Vorhandensein von Stau- und Trockenraum
- 1.1.2 Freisitze / Außenraum
- 1.1.3-1 Barrierefreiheit des Zugangs zum Gebäude
- 1.1.3-2 Barrierefreiheit des Zugangs zu den Wohnungen
- 1.1.3-3 Grad der Barrierefreiheit von Wohnungen
- 1.1.4-1 Stellplätze für Fahrräder

- 1.1.4-2 Stellplätze für Kinderwägen / Rollatoren
- 1.1.4-3 Stellplätze für PKW / Mobilitätskonzept
- 1.1.5-1 Freiflächen für die Allgemeinheit
- 1.1.5-2 Freiflächen für Kinder
- 1.1.5-3 Freiflächen für Jugendliche
- 1.1.6-1 Thermische Behaglichkeit im Sommer
- 1.1.6-2 Thermische Behaglichkeit im Winter
- 1.2.1 Visueller Komfort / Tageslichtversorgung
- 1.2.2 Raumluftqualität
- 1.2.3 Sicherheit
- 1.2.4 Flächenverhältnisse
- 1.2.5 Einrichtungen zum Müllsammeln und Trennen
- 1.2.6 Gestalterische und städtebauliche Qualität

2.2.2 Technische Qualität

Die technische Qualität umfasst Schallschutz, energetische Qualität, gebäudetechnische Aspekte, standortbezogene Faktoren und Dauerhaftigkeit. Außerdem stellen Wartungsfreundlichkeit sowie das Verhalten beim Ablauf der Nutzungszeit wichtige Bewertungsfaktoren dar.

- 2.1.1 Schallschutz
- 2.1.1-2 Luft- und Trittschallschutz
- 2.1.1-3 Schallschutz gegen Körperschall / Installationen
- 2.1.2 Energetische Qualität
- 2.1.2-2 Energetische Qualität – Gebäudetechnik & Erneuerbare
- 2.1.3 Effizienz der Haustechnik – Elektrische Energie
- 2.1.4 Lüftung
- 2.2.1 Brandschutz
- 2.2.2 Feuchteschutz
- 2.2.3 Luftdichtheit
- 2.2.4 Reaktion auf standortbezogene Gegebenheiten
- 2.2.4-1 Reaktion auf erhöhtes Radon-Vorkommen
- 2.2.4-2 Reaktion auf erhöhtes Hochwasser-Risiko
- 2.2.4-3 Reaktion auf erhöhtes Sturm-Risiko
- 2.2.5 Dauerhaftigkeit
- 2.2.6 Wartungsfreundlichkeit / Nachrüstbarkeit TGA
- 2.2.7 Rückbaubarkeit / Recyclingfreundlichkeit

Die einzelnen Aspekte werden jeweils nach diversen Unterpunkten beleuchtet. Am Beispiel der Lüftung soll beispielhaft die Systematik dargestellt werden. Die Bewertung erfolgt nach einem Punktsystem. Die Mindestpunktzahl wird erreicht, wenn die Anforderungen nach den Regeln der Technik eingehalten werden. Im vorliegenden Fall muss die Ausführung nach einem Lüftungskonzept gemäß DIN 1946-6 nachgewiesen werden (Punkt 1). Bei Erfüllen der folgenden Anforderungen erhöht sich das Rating.

- 2.1.4 Lüftung
 1. Lüftungskonzept nach DIN 1946-6
 2. Nachweis der Inbetriebnahme und Instandhaltung
 3. Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung
 4. Hohe Raumluftqualität und min. Schallbelastung (< 25 dBa)
 5. Wärmebereitstellungsgrad > 85 %.

Das Beispiel verdeutlicht, dass die Bewertung bei fortschreitender Entwicklung der Techniken Veränderungen unterliegen wird. Gerade das Lüftungsthema zeigt auf, wie viel umfangreicher der NaWoh-Kriterienkatalog zu diesem Thema sein könnte (vgl. Kapitel 4.4 zur Lüftung).

2.2.3 Ökologische Qualität – (Graue Energie)

Die Bewertung zur ökologischen Qualität verlangt eine Quantifizierung zahlreicher Parameter, die nur in einer Lebenszyklusanalyse ermittelt werden können. Das oben beschriebene Rechenverfahren nach eLCA [eLCA 2018] stellt dafür die Grundlage dar. Durch die Möglichkeit, diese Kennwerte im Rahmen der energetischen Rechnungen zu ermitteln, wird die Nachhaltigkeitsbewertung deutlich vereinfacht und kann zukünftig auch für kleinere Bauvorhaben als Standardanforderung gesehen werden.

- 3.1 Ökobilanz – Teil 1
 - 3.1.1 Treibhauspotenzial
 - 3.1.2 Primärenergiebedarf
 - 3.1.2-1 Primärenergiebedarf nicht erneuerbar
 - 3.1.2-2 Primärenergiebedarf erneuerbar
 - 3.1.3 Flächeninanspruchnahme & Flächenversiegelung
 - 3.1.3-1 Flächeninanspruchnahme
 - 3.1.3-2 Flächenversiegelung
- 3.2 Ökobilanz – Teil 2
 - 3.2.1 Andere Wirkkategorien
 - 3.2.2 Energiegewinnung für Mieter und Dritte
 - 3.2.3 Trinkwasserbedarf
 - 3.2.4 Vermeidung von Schadstoffen
 - 3.2.5 Einsatz von zertifiziertem Holz.

Das Thema der grauen Energie wird seit Jahren als zusätzliche Bewertungsgröße für Gebäude gefordert, um den ökologischen Fußabdruck eines Gebäudes stimmiger darstellen zu können. Selbstverständlich rückt mit sinkendem Energiebedarf für den Gebäudebetrieb der Energiebedarf für die Errichtung und den späteren Abriss sowie die Entsorgung vermehrt in den Blickwinkel. Es gilt die gesamte Produktlinie der Materialien zu betrachten und die daraus resultierenden Belastungen des „ökologischen Rucksacks“ zu minimieren. Es ist Aufgabe der Planer, gesamtheitliche Nachhaltigkeitsbetrachtungen bei der Auswahl der Konstruktionen und Materialien durchzuführen. Dazu bedarf es praxisgerechter Werkzeuge. Ein sehr sinnvoller Ansatz besteht, wie oben bereits beschrieben, in der Lebenszyklusanalyse nach eLCA des BBSR [BBSR 2018]. Es wird zukünftig möglich sein, die Lebenszyklusanalyse im Zuge der energetischen Berechnung als zusätzlichen Kennwert nahezu ohne Mehraufwand zu generieren. Während bei Bestandsgebäuden die Betriebsaufwendungen die deutlich dominante Größe darstellen, erreicht bei einem hocheffizienten Passivhaus der Aufwand für die Graue Energie einen Anteil von 20 bis über 30 Prozent, wenn sie auf die Nutzungszeit der Bauteile abgeschrieben wird.

Wir sollten nicht davon ausgehen, dass Gebäude „ihre“ eingebaute Energie im Laufe ihres Bestehens durch erneuerbare Energien wieder einfahren müssen. Es ist Aufgabe der Bauindustrie, ihre Produkte sukzessive mit geringerer Belastung der Umwelt und zunehmend unter Verwendung nachwachsender Rohstoffe und regenerativer Energien herzustellen. Aus dieser Betrachtung ergibt sich die konsequente Anforderung, spätestens bis zum Jahr 2050 die klimaneutrale Herstellung aller Bauprodukte sicherzustellen.

2.2.4 Ökonomische Qualität

Zur Dokumentation der ökonomischen Qualität von Bauvorhaben wurde im Rahmen des Forschungsvorhabens ein umfangreiches Rechenwerkzeug (s. Kapitel 2.3) erstellt, mit dem nicht nur Sensitivitätsanalysen zu zahlreichen Parametern durchgeführt werden können, sondern auch ein Vollständiger Finanzplan erstellt werden kann, der Aspekte wie Eigenkapitalrendite, Betriebs- und Wartungskosten sowie Anforderungen an die Instandsetzung und die Werthaltigkeit eines Gebäudes zu analysieren hilft.

- 4.1.1 Lebenszykluskosten
 - 4.1.1.1 VoFi-Ergebnis
 - 4.1.1.2 Eigenkapitalrendite
 - 4.1.1.3 Betriebskosten
 - 4.1.1.4 Wartungskosten
 - 4.1.1.5 Instandsetzung
- 4.1.2 Werthaltigkeit der Investition
- 4.1.3 Langfristige Wertstabilität.

2.2.5 Prozessqualität

Die Anforderungen der Prozessqualität können einen Planungsprozess verbessern, müssen es aber nicht. Wichtig ist, dass sie nicht zum Selbstzweck werden und zusätzliche teure Dienstleistungen auslösen, sondern als selbstverständliche Faktoren der Qualitätssicherung und Dokumentation gesehen werden, welche die Qualität der Planung verbessern. Gerade junge Architekten könnten solch ein System von Anfang an in ihren Planungsprozess integrieren. Das ist auf der einen Seite eine sehr willkommene Anleitung für die Planungsschritte, auf der anderen Seite erleichtert es die Dokumentation im Büro und gegenüber den Bauherren.

- 5.1.1 Qualität der Bauausführung / Messungen
- 5.2.1 Qualität der Projektvorbereitung
 - 5.2.1-1 Integraler Prozess
 - 5.2.1-2 Bedarfsplanung
- 5.2.2 Dokumentation
 - 5.2.2-1 Objektdokumentation
 - 5.2.2-2 Produktdokumentation / Qualitätssicherung
- 5.2.3 Übergabe / Einweisung
 - 5.2.3-1 Einweisung Personal
 - 5.2.3-2 Bereitstellung von Informationen für Nutzer
- 5.2.4 Inbetriebnahme / Einregulierung
- 5.2.5 Voraussetzung für Bewirtschaftung / Messkonzept
- 5.2.6 Reinigungs- / Wartungs- / Instandhaltungsplan.

2.3 Kosten & Wirtschaftlichkeit

Wohnungsbau ist seit vielen Jahrzehnten durch wechselnde Anforderungen von Angebot und Nachfrage geprägt. Während nach dem Krieg ab Anfang der 1950er Jahre eine kontinuierlich hohe Bautätigkeit stattfand mit jährlich 600 – 700.000 neu errichteten Wohnungen in den 1960er Jahren und einem Peak Anfang der 1970er mit 800.000 Wohnungen, sanken die Fertigstellungen danach kontinuierlich. Nach der Wende stiegen sie bis etwa 1998 nochmals auf dieses Niveau. Danach galt Deutschland als gebaut und die Einwohnerprognosen gingen zurück, sodass die Neubautätigkeit unter 200.000 Wohnungen im Jahr 2010 sank. Erst Mitte des Jahrzehnts entstand auf politischer Ebene eine signifikante Diskussion, dass ein gravierendes Wohnungsproblem zu lösen ist. Das aktuelle Ziel von 400.000 Wohnungen pro Jahr mutet gegenüber den vergangenen Herausforderungen bei vordergründiger Betrachtung machbar an. Dennoch hat sich die Situation in den letzten zwanzig Jahren grundlegend geändert.

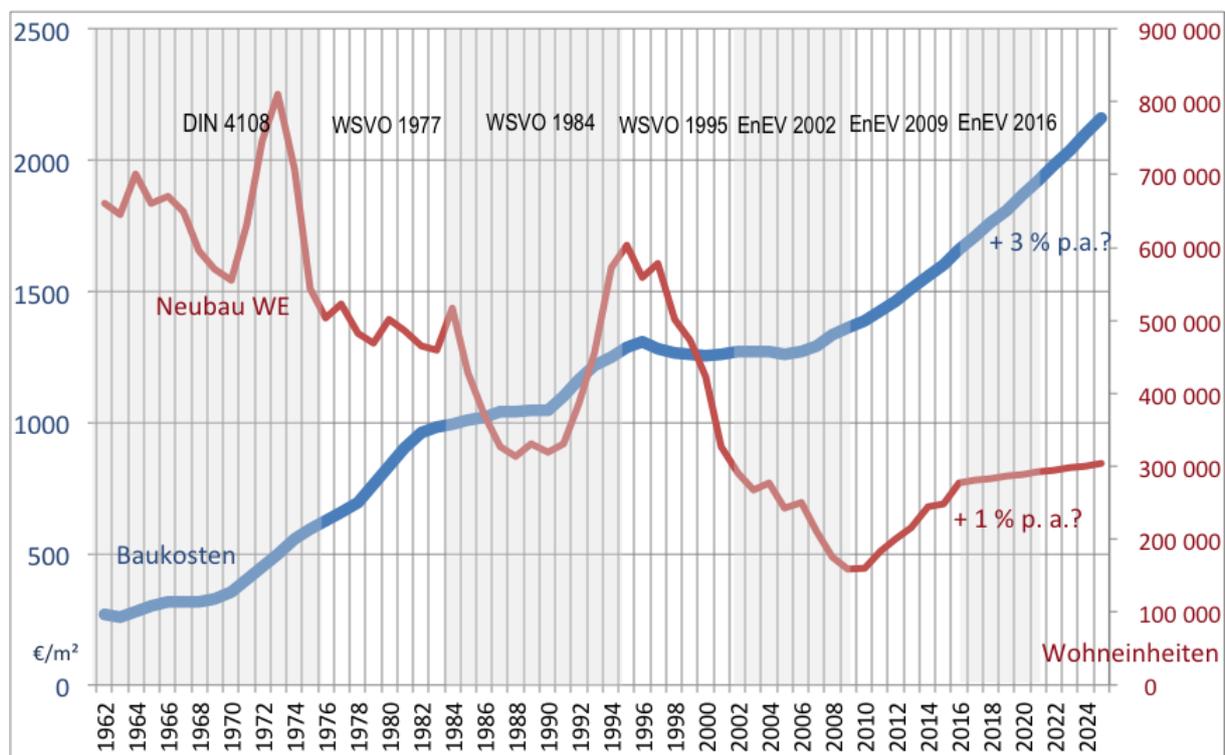


Abbildung 4 Kostenentwicklung und Baufertigstellungen

Die Gegenüberstellung von Lebenshaltungskosten und Baupreisen zeigt die Stagnation im Baubereich von 1995 bis 2005. Seitdem steigen die Baukosten überproportional. Ausschlaggebend ist vor allem die Nachfrage. In Zeiten mit anziehenden Zahlen beim Wohnungsbau steigen die Baupreise. Das betrifft die Phasen Anfangs der 1990er Jahre und die Zeit ab 2009. [DESTATIS 2018-1 / DESTATIS 2018-2 aufgearbeitet durch Werner Eicke-Hennig / Schulze Darup].

Als der Antrag für dieses Forschungsvorhaben gestellt wurde, war die Kostenentwicklung beim Bauen bereits seit 2006 stetig steigend. Die Abbildung oben zeigt die Baupreisentwicklung mit Stagnation in den Jahren 1995 bis 2005. Während dieser Zeit stiegen die Lebenshaltungskosten linear, sodass Bauen relativ dazu kostengünstiger wurde. Seit 2006 ziehen die Baukosten überproportional nach und haben etwa im Jahr 2016 die Lebenshaltungskosten wieder eingeholt. Aus der Abbildung lässt sich auch ablesen, dass die Baukosten immer dann steigen, wenn die Nachfrage nach oben geht, also die Bautätigkeit anzieht. Das betrifft die Jahre 1992 bis 1995 sowie den Zeitraum ab 2009. Im Jahr 2006 waren Kostensteigerungen bereits durch Konjunkturprogramme angestoßen worden. Die Baukosten sind seit 2009 mit fast 3 Prozent

pro Jahr gestiegen [DESTATIS 2018-1 / DESTATIS 2018-2]. Für die Bauschaffenden in der Praxis fühlt sich die Steigerung oftmals wesentlich höher an. Gerade in den letzten Jahren sind Submissionsergebnisse davon geprägt, dass die Ergebnisse 10 bis 30 Prozent über der Ursprungskalkulation liegen.

2.3.1 Kostentreiber

Es ist wichtig, Gründe für die Erhöhung von Bau- und Wohnkosten in ihrer gesamten Komplexität zu betrachten. Grundlegende Untersuchungen dazu wurden in den letzten Jahren von verschiedenen Seiten durchgeführt.

Die Baukostensenkungskommission führte in einem interdisziplinären Prozess umfassende Untersuchungen zu der Fragestellung durch. Sie ermittelte in einer „Grobanalyse ... eine Kostensteigerung von 46 % zwischen 2003 und 2012 (nach BKI) für Gebäude mit mittlerem Standard ..., was einer durchschnittlichen jährlichen Zunahme von rund 4,2 % entspricht.“ [BMUB 2015] Dabei muss beachtet werden, dass die Auswertung der Baukostendaten des Baukosteninformationszentrums Deutscher Architektenkammern [BKI 2018] sehr aufwändig ist, weil von Jahr zu Jahr nur eine bedingte Vergleichbarkeit gegeben ist [Ecofys 2014]. Sehr aufschlussreich sind historisch hinterlegte Untersuchungen des Energieinstituts Hessen (Energieinstitut Hessen 2018).

Aspekte aus dem Gutachten der Baukostensenkungskommission wurden umfangreich in diesem Forschungsvorhaben einbezogen und intensiv diskutiert. Sie finden sich auch in der Aufstellung unten wieder.

Die Untersuchung der ARGE Kiel mit dem Titel „Kostentreiber für den Wohnungsbau“ [ARGE 2015] benennt neun Gruppen von Kostentriibern „mit direktem Bezug zu Entwicklungen bzw. Veränderungen im Preisniveau in Deutschland“. Dabei werden jeweils die Mehrkosten pro m² Wohnfläche in der Zeit von 2000 bis 2014 benannt:

1. Baupreise: 342 €/m²
2. Planungs- und Beratungsleistungen: 77 €/m²
3. Außenanlagen: 7 €/m²
4. Baulandpreise: 115 €/m²
5. Steuerrechtsänderungen: 61 €/m²
6. Baugenehmigungsgebühren: 3 €/m²
7. Technische Baubestimmungen / Normen & Qualitätsstandards: 30 €/m²
8. Energetische Anforderungen: 154 €/m² (Anm. s. unten)
9. Kommunale Auflagen: 82 €/m²

In der Summe ergeben sich daraus Steigerungen um 39,4 Prozent (von 2.209 €/m² in 2000 auf 3.080 €/m² in 2014) in Höhe von 871 € pro m² Wohnfläche. Davon haben 330 €/m² einen direkten Bezug zu „Vorgaben bzw. Anforderungen von Bund, Ländern und Kommunen“. Einschränkend muss darauf hingewiesen werden, dass im aktuellen Forschungsvorhaben die Kennwerte für den Kostenanstieg für energetische Anforderungen (vgl. oben Punkt 8) deutlich niedriger liegen.

Im Vergleich zum ARGE-Gutachten weisen die Erhebungen des Statistischen Bundesamtes für die Kostengruppen 300/400 nach DIN 276 inkl. MWSt. eine Baukostensteigerung für den ARGE-Betrachtungszeitraum von etwa 300 €/m² aus [s. Kapitel 2.3 / Destatis 2018-1 / Destatis 2018-2]. Darin enthalten sind die Positionen 1. Baupreise, 7. Technische Baubestimmungen etc. und 8. Energetische Anforderungen. Die Summe dieser ARGE-Positionen beträgt 526 €/m² und liegt mithin um etwa 75 Prozent höher als der Vergleichswert des Statistischen Bundesamtes. Deshalb müssen die Kostensteigerungsraten jeweils kritisch hinterfragt werden. Das ARGE-Gutachten zeigt aber richtigerweise auf, dass es darüber hinaus starke weitere Kostentreiber gibt, die in üblichen Kostengutachten nicht enthalten sind.

Wird das Spektrum einer Baukostenbetrachtung weit gefasst, ergibt sich ein deutlich umfangreicherer Ursachenkatalog. Besonders starke Kosteneffekte gehen insbesondere für Neubauten von der Marktsituation (Vertrieb und Kaufsituation), Baulandpreisen, der Art des Ausschreibungsverfahrens, der Angebotssituation der Bauwirtschaft sowie von der Qualität der Planung aus. Im Folgenden werden zahlreiche Kostentreiber zusammengestellt, die im Zuge des Forschungsvorhabens ermittelt wurden:

Vertrieb und Kaufsituation

- Auf dem freien Wohnungsmarkt orientieren sich Investoren, Wohnungsbauunternehmen und Makler an den realisierbaren Marktkosten. In zahlreichen Metropolen stiegen in den letzten Jahren die Quadratmeterpreise für Wohnungen im Dreimonatstakt um bis zu 100 €/m², die jährliche Steigerung der Immobilienpreise konnte in einigen Städten bei 10 bis 15 % liegen.
- Niedrige Zinsen führen zu kostengünstigen Baufinanzierungen. Dadurch können Bauprojekte günstig finanziert werden und Bauinteressenten wird es ermöglicht bei hohen Preisen einzusteigen.
- Immobilien in deutschen Ballungszentren gelten als wertstabil und gegenüber anderen Ländern unterbewertet. Aufgrund dessen wird ausländisches Kapital seit etwa 2008 in hohem Maß in Immobilien investiert. Das heizt den Markt zusätzlich an und wird von einem Teil der Baubranche genutzt, um eine Maximierung der Angebotspreise zu erzielen.
- Durch hohe Nachfrage konnte die Bauwirtschaft und Bauindustrie seit 2006 nicht nur die Preisrückstände aufholen, sondern realisiert deutliche Gewinnmargen.

Wohnungsnutzung und Belegung

- Die sinkende Durchschnittsbelegung von Wohnungen führt zu erhöhtem Wohnflächenbedarf. Singlehaushalte werden mit 50 m² Wohnfläche veranschlagt, Wohnungen für zwei Personen mit 65 m².
- Personengruppen mit hohem Einkommen beanspruchen eine deutlich höhere Wohnfläche pro Person.
- In Einzelfällen sehen vor allem international agierende Investoren die Wohnung allein als Kapitalanlage und lassen sie nach dem Erwerb leer stehen.
- Die Vermietung von Wohnraum als Ferienwohnungen entzieht dem Markt Fläche.

Demografie und Zuzug

- Die demografische Entwicklung, Familienpolitik und sich änderndes Wohnverhalten führten bis vor wenigen Jahren zu stetig steigender Wohnfläche pro Einwohner.
- Aus demografischen Gründen gibt es immer mehr Wohnungen, die ursprünglich von einer Familie bewohnt wurden und inzwischen nur noch von zwei oder einer Person bewohnt werden.
- Es besteht ein hoher Zuzug in attraktive Ballungszentren. Berlin gewinnt jedes Jahr netto etwa 40.000 Einwohner dazu.
- Daraus resultiert eine erhöhte Nachfrage und in der Folge deutlich steigende Immobilienpreise.

Baulandpreise und Baulandknappheit

- Die Baulandpreise steigen aufgrund der hohen Nachfrage exorbitant. Das gilt vor allem für die fragten Metropolen und deren direktes Umfeld.
- Das Angebot an Bauflächen reduziert sich zunehmend und die Ausweisung neuer Baugebiete stößt an Grenzen.
- Die Erschließung innerstädtischer Flächen ist regelmäßig mit erheblichen Kosten für Dekontamination und Abbruch verbunden.

- Staatliche und kommunale Baulandflächen werden nur in Ausnahmefällen für kostengünstiges Wohnen zu günstigen Preisen oder auf Erbpachtbasis bereitgestellt.

Bauwirtschaft, Anforderungen an das Bauen und Fachkräftemangel

- Ein deutlicher Fachkräftemangel in den Bauberufen lässt in vielen Gewerken kein adäquates Wachsen der Betriebe zu. Dadurch kann die Nachfrage nicht bedient werden, was wiederum zu steigenden Preisen führt.
- Eine hohe Baukostensteigerung ist besonders in der Kostengruppe 400 für die Gebäudetechnik gegeben. Die Gründe dafür sind oftmals unklar und sind u. a. in fehlendem Fachwissen zur Integration der erneuerbaren Energien gegeben bzw. in der additiven Technikauswahl, weil kosteneffiziente neue Systemlösungen noch nicht am Markt verfügbar sind oder von Fachplanern aufgrund des erhöhten Planungsaufwands nicht angewandt werden.
- Zahlreiche Fachplaner sehen nicht die Notwendigkeit, schlanke und kostengünstige Gebäudetechniksysteme zu planen, weil dadurch ihr Aufwand steigt bei sinkendem Honorar aufgrund der niedrigeren Baukosten.
- Während in der Zeit von 1995 bis 2005 bei Ausschreibungsverfahren ein hoher Rücklauf an preiswerten Angeboten gegeben war, gehen derzeit oftmals keine oder wenige Angebote ein mit Submissionsergebnissen, die in vielen Fällen deutlich über den Kostenkalkulationen liegen.

Anforderungen an das Bauen und die Bauqualität

- Bauen ist eine gesellschaftliche Aufgabe mit immer neuen rechtlichen, sozialen und politischen Rahmenbedingungen. Funktionalität und Gestaltung, Nachhaltigkeitsanforderungen und Baustandards müssen interdisziplinär und optimal aufeinander abgestimmt werden, um zukunftsfähige Gebäude zu erhalten. Es gilt diese Anforderungen regelmäßig zu hinterfragen und einen offensiven Umgang mit ökonomischen Anforderungen zu pflegen. Untersuchungen wie die der Baukostensenkungskommission zeigen die hohe Anzahl von kostentreibenden Faktoren [BMUB 2015 / ARGE 2015]
- Grundsätzlich gilt: Eine einfachere Ausstattung kann die Kosten senken [BMUB 2015]. Die Qualität von Gebäuden hat sich jedoch in den letzten Jahrzehnten kontinuierlich verbessert. Selbstverständlich entstehen dadurch erhöhte Kosten.
- Forschungsvorhaben zur Adaption von externen Baustandards für Gebäude in Deutschland führten immer wieder zum gleichen Ergebnis: sobald kostengünstige Baustandards (Beispiele aus USA, Niederlande) auf deutsche Verhältnisse übertragen werden, steigen die ursprünglich günstigeren Kosten mit Anpassung der Standards und Anforderungen kontinuierlich an [Schulze Darup 1998]. Es bedarf eines fertigungstechnischen Paradigmenwechsels, um mittelfristig günstigere Kosten zu erzielen [energiesprung 2018].
- Erhöhte energetische Standards führen selbstverständlich zu höheren Kosten. Optimierte Planung hinsichtlich des Energiekonzepts ermöglicht in vielen Fällen verbesserte Wirtschaftlichkeit gegenüber dem EnEV-Standard. In der Breite ist das dafür erforderliche Fachwissen noch nicht gegeben.
- „Die überwiegende Anzahl von Stellplatzsätzen wirkt hinsichtlich der Höhe der Baukosten kontraproduktiv. Angesichts neuer Mobilitätskonzepte ist hier eine stärkere Flexibilisierung zu erreichen.“ [BMUB 2015]
- „Einen besonders starken Einfluss hatten die überdurchschnittlich gestiegenen Preise für die Technische Gebäudeausrüstung (TGA)“ [BMUB 2015]
- Im NaWoh-Tool [s. Kapitel 2.2] können unterschiedliche Baustandards kostenmäßig sehr gut verglichen werden. Die Abbildung unten zeigt die Kostenauswirkungen einiger Standard-Wechsel auf. Die Baukostensenkungskommission gibt beispielhaft folgende Kostensteigerungen an: „barrierefreies Wohnen: 20 %, Dachbegrünung: 4 %.“ [BMUB 2015]

- Verbundene Auflagen der öffentlichen Hand (Ablösebeiträge für Kita-Plätze, Auflagen für Architektenwettbewerbe, Auflagen Wohnraumförderung,...)

Wohnkosten

- Für Mieter weisen die oben genannten Aspekte nur mittelbare Wirkungen auf. Entscheidend sind jedoch die Wohnkosten in Form der Miete und Nebenkosten.
- Es liegt im Interesse der Wohnungsunternehmen, Projekte mit niedrigen Nebenkosten zu realisieren, weil das Miet-Gesamtbudget von Mietern in der Summe gleich bleibt.
- Rahmenbedingungen für die Festlegung der Miete spielen eine entscheidende Rolle in der Preisgestaltung
- Einwirkungsmöglichkeit bei den Nebenkosten bzw. Wohnkosten (s. Kapitel 2.5) können bei Betriebskosten, Wartungskosten, Abrechnungskosten etc. Einsparungen erzielen, z. B. durch die Anwendung einer Flatrate für Betriebskosten.

Normungswesen

- „Am derzeitigen Normungswesen ist mehrheitlich starke Kritik geäußert worden. Im Normungswesen wurden Punkte identifiziert, die einer Überprüfung bedürfen. Die Kritik betrifft Mangel an Transparenz, integrelem Ansatz und Praxisbezug (starke Orientierung an wissenschaftlichen Arbeiten sowie unkritische Übernahme internationaler Normen), eine fehlende Folgekostenabschätzung und die Prozesse, die die Teilnahme von Normenanwendern erschweren. Das Bundeswirtschaftsministerium schreibt derzeit ein Gutachten aus, mit dem u. a. die Rolle der Normung perspektivisch bis zum Jahr 2030 betrachtet werden soll.“ [BMUB 2015]
- „Es ist zu befürchten, dass das Urteil des Europäischen Gerichtshofes vom 16. Oktober 2014, durch welches die bisherige allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für unzulässig erklärt worden ist, zu erheblichen Zusatzkosten bei Herstellern und Verwendern harmonisierter Bauprodukte führen wird.“ [BMUB 2015]
- Das Normungswesen führt im Allgemeinen zu einer Erhöhung von Anforderungen und Standards, ist also ein relevanter Kostentreiber. Das liegt auch an der Zusammensetzung der Normungskommissionen, die vielfach durch partikulare Interessen von Fachverbänden oder Fachexperten geprägt sind. Da für die Arbeit keine Vergütung gezahlt wird, sind neutrale Fachleute kaum an solch umfangreichen Prozessen beteiligt.

Planungsqualität

- Kostengünstiges Planen ist üblicherweise mit einem erhöhten planerischen Aufwand verbunden, der durch die HOAI nicht positiv sanktioniert wird. Motivierende Regelungen zum kostengünstigen Planen sollten in die HOAI vermehrt implementiert werden.
- So sehr die HOAI eine sehr sinnvolle Regelung für die Planerhonorare darstellt, muss dennoch im Planungsteam eine hohe Eigenverantwortlichkeit herrschen, die Kosten niedrig zu halten. Das kann seitens des Bauherrn dadurch begünstigt werden, dass für die Einhaltung von Kostenzielen ein Zusatzhonorar gewährt wird.
- Es gibt in diesem Sinn eine große Anzahl von Planern, die sehr kosteneffizient planen. Dazu gehören offensichtlich zahlreiche Architekturbüros, die hoch energieeffiziente Gebäude ausführen [Bermich 2014 / F+B 2016 / Schuberth 2018 / s. Kapitel 2.3.4]
- Eine „Vielzahl zusätzlich erforderlicher Fachplanungen“ [BMUB 2015] führt zu erhöhtem Planungsaufwand. Integrale Planung ist notwendig und es zeigt sich bei vielen umgesetzten Beispielen, dass sorgfältige interdisziplinäre Planung zu besseren Ergebnissen und günstigeren Baukosten führt.
- Dabei muss allerdings berücksichtigt werden, dass bereits die Auswahl des Planungsteams die Kostenentwicklung des Vorhabens stark beeinflusst. Architekten mit hoher Fach- und

Richtlinienkompetenz hinsichtlich der Fachdisziplinen stellen die beste Voraussetzung für optimierte integrale Planung dar. Die Fachingenieure sollten nicht möglichst zahlreich sein, sondern die erforderliche Kompetenz auf möglichst wenige Akteure bündeln. Es ist ideal, im Sinn eines Bauteam-Prozesses gemeinsam die jeweils kostengünstigste Planungsalternative zu erarbeiten mit dem Ziel hoher Wirtschaftlichkeit.

- Anforderungen an erneuerbare Energieversorgung führen zu immer komplexeren Gebäudetechniklösungen. Statt „schlanke“ Systemlösungen aufgrund aktueller Entwicklungen [s. Kapitel 4.2] neu zu denken, werden alte Konzepte durch zusätzliche Techniken ergänzt, was zu hohen Kosten für die Kostengruppe 400 führt. Architekten sind vielfach nicht in der Lage, dirigierend und kostendämpfend in diesen Prozess einzugreifen. Fachingenieure haben einen erhöhten Aufwand mit kostengünstigen Lösungen, erhalten aber weniger Honorar, sodass von vielen Büros keine schlanken Lösungen angestrebt werden.
- Ein erhöhter Gebäudetechnikanteil an den Baukosten führt in der Folge zu einem hohen Instandhaltungsaufwand mit kurzen Zyklen, sodass deutlich erhöhte Wartungs- und Instandhaltungskosten anfallen.
- Es „ist näher zu prüfen, ob die Zahl der Fachplanungen reduziert bzw. effizienter gestaltet werden kann.“ [BMUB 2015]
- Serielle Planung reduziert die Baunebenkosten deutlich und vermeidet in der Umsetzung den Mehraufwand für Null-Serien.

Die umfangreiche Aufstellung zeigt die hohe Komplexität und die Vielschichtigkeit der Baukostenproblematik. Die Abbildung unten ergänzt die Auflistung durch eine Anzahl entwurfs- und marktspezifischer Kostentreiber. Angesichts dieser Gegenüberstellung ist es verwunderlich, dass ausgerechnet die eher geringen Mehrinvestitionen für die energetischen Maßnahmen so breit und emotional diskutiert werden. Dabei ist dies der einzige Posten, der eine (Teil)-Refinanzierung durch die Energieeinsparung beinhaltet. Darüber hinaus erfolgt durch die KfW in ihrem Programm „Energieeffizient Bauen“ eine Förderung, welche Effizienzstandards für Bauherren aus wirtschaftlicher Sicht hoch attraktiv macht. Darüber hinaus können regionale und kommunale Förderungen ergänzend wirken.

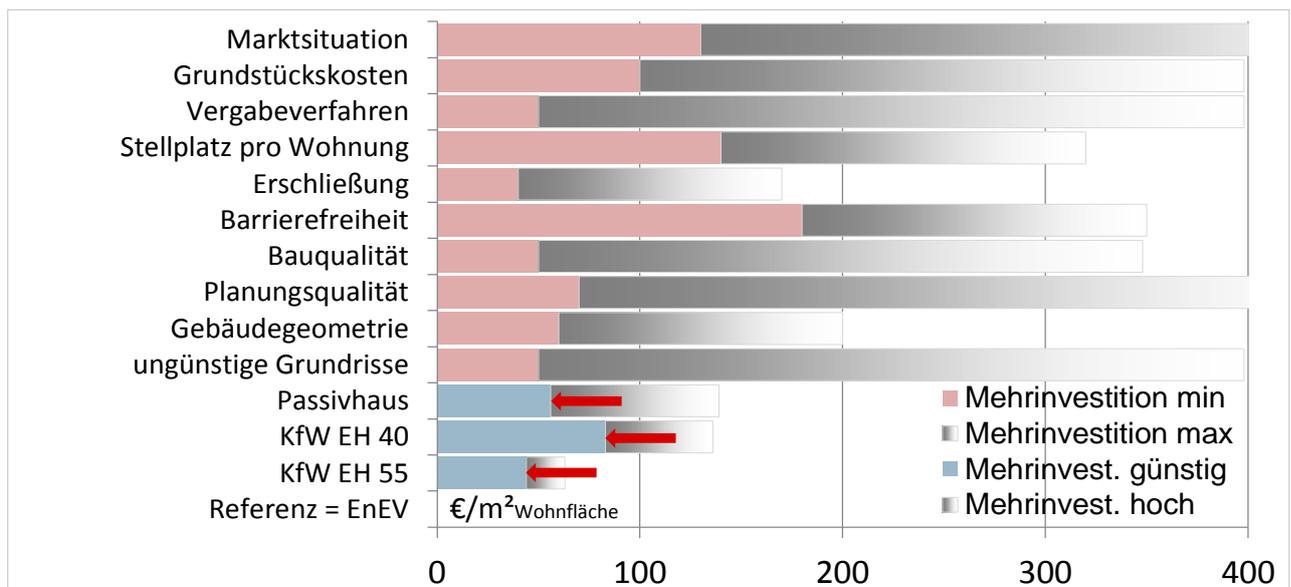


Abbildung 5 Kostentreiber im Vergleich zu energetisch bedingten Mehrinvestitionen

Die roten Pfeile weisen auf Mehrinvestitionen hin, die durch qualifizierte Planer mit Erfahrung im energetischen Bauen reproduzierbar erzielt werden können.

2.3.2 Methodik von Baukostengutachten

Regelmäßig werden wir mit Gutachten zur Baukostenthematik konfrontiert. Eine vordergründige Sichtung reicht in der Regel nicht aus, um die jeweiligen Aussagen richtig beurteilen zu können. Die Methodik übt einen hohen Einfluss auf die Ergebnisse solcher Gutachten aus. Die meisten Untersuchungen werden nicht von Baupraktikern erstellt, sondern von Wissenschaftlern, die keine direkte Erfahrung mit den zahlreichen Faktoren von Ausschreibungs- und Preisfindungsprozessen haben. Baupraktiker dagegen bauen meist nur auf dem eigenen kleineren Datenfundus und den subjektiven Erfahrungen auf. Folgende Aspekte sind für die Beurteilung von Baukosten-Aussagen von Bedeutung.

Die klassisch-wissenschaftliche Herangehensweise

Eine grundsätzlich fundierte Art von Baukostengutachten besteht in der Sekundär- oder Tertiärdokumentation einer größeren Anzahl von Gutachten. Der Vorteil liegt in der Breite der Grundlagen. Die Nachteile ergeben sich oftmals durch die fehlende Vergleichbarkeit der umfangreichen und divergierenden Datengrundlagen. Aussagen zu den Ursächlichkeiten sind schwierig. Außerdem kann durch eine gezielte Auswahl der Quellen das Ergebnis verfälscht werden.

Auswertung von Primärdaten

Eine sehr sinnvolle Methodik liegt in der Auswertung einer umfangreichen Sammlung von Baukostendokumentationen. Dazu können Statistik-Unterlagen oder Datenbanken der Wohnungswirtschaft zählen, die Baukostendaten von Förderbanken oder z. B. die Baukostendokumentationen von Architektenkammern oder Wettbewerbsverfahren. Erstaunlicherweise führt diese sehr valide Vorgehensweise zu besonders kontroversen Ergebnissen. Zahlreiche Gutachten weisen energieeffiziente Gebäude als hoch wirtschaftlich aus [BKI 2018 / Bermich 2014 / F+B 2016 / Schubert 2018], während die frühen Gutachten der Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen in Kiel diametral entgegengesetzte Ergebnisse zeigten. Ein wichtiger Faktor scheint bei dieser Art der Auswertung die Berücksichtigung der Lernkurve zu sein, die jedem Prozess innewohnt. Die Durchmischung von Daten aus unterschiedlichen Gestehungszeiten lässt sich nicht allein durch Baupreisbereinigung bewerten. So werden Kostengrundlagen, die älter als zehn Jahre alt sind, keine Vergleichbarkeit ermöglichen, weil sie zu Zeiten hoher spezifischer Kosten generiert wurden, die heute nicht mehr von Bedeutung sind. Als Beispiel sei die Entwicklung der Fensterkosten genannt. In Kapitel 3.2 werden dazu vertiefenden Angaben gemacht.

Statistikangaben zu Baupreisentwicklungen

Unangreifbar sind Datenerhebungen des Statistischen Bundesamtes mit Angaben zu den Baupreisindices [Destatis 2018-1], zu den Bau und Immobilienpreisentwicklungen [Destatis 2018-2] oder zur Kostenentwicklung beim Neubau von Wohn und Nichtwohngebäuden [Destatis 2018-3]. Während die Preisangaben vor allem auf Einheitspreise von Konstruktionen und Materialien abheben, ermöglichen die Angaben zu den Baukostenentwicklungen pro Quadratmeter Nutzfläche Aussagen zu den Gesamtkosten von Gebäuden. Durch die sehr breiten Datengrundlagen und die Art der Datenerhebungen (z. B. über Statistikangaben bei Bauanträgen) werden Entwicklungen jedoch nur zeitversetzt abgebildet und fallen im Allgemeinen deutlich geglättet aus. Die tatsächliche Kostenentwicklung bei Submissionsergebnissen hat deutlich höhere Ausschläge.

Auswertung von Baupreissystemen

Zahlreiche Anbieter veröffentlichen regelmäßig Baupreisinformationen aufgrund aktueller Ausschreibungsverfahren. Dadurch kann die Kostenentwicklung sehr praxisnah verfolgt werden. Das Problem bei der Auswertung verschiedener Jahrgänge besteht allerdings darin, die jeweils korrespondierenden Positionen zu finden und Vergleichbarkeit herzustellen. Außerdem fehlen oft

Angaben zu differierenden Standards wie z. B. unterschiedlichen Dämmdicken innerhalb einer Position. Der Aufwand für eine systematische Auswertung liegt dadurch sehr hoch und erfordert praktische Bauerfahrung [sirAdos 2014 / BKI 2018].

Auswertung von Submissionsergebnissen

Die kleine privatwirtschaftliche Variante dazu liegt in der Auswertung von Submissionsergebnissen aus der Praxis. Wenn in Büros eine kontinuierliche Kostenverfolgung über Jahre durchgeführt wird und kein personeller Wechsel stattfindet, können Entwicklungen über Jahre sehr gut dokumentiert werden. Ein negativer Einfluss liegt dabei allerdings in individuellen und regionalen Angebotsituationen und der eher geringen Zahl der zugrundeliegenden Projekte [Schulze Darup 2014]. Zudem wird sich kaum ein praxisorientiertes Büro die aufwendige Arbeit machen, die eigenen Submissionsergebnisse kontinuierlich außenverwertbar zu dokumentieren und durch die Veröffentlichung einen Wettbewerbsvorteil preiszugeben. Zudem werden nur diejenigen Büros veröffentlichen, die (mit erhöhtem Arbeitsaufwand) erfolgreiche Kostenkontrolle durchführen und günstige Ergebnisse vorweisen können. Das sind oftmals diejenigen Akteure, die sehr kostengünstig bauen.

Gutachten auf Basis eines vergleichenden Bauteilverfahrens

Wenn unterschiedliche Energiestandards miteinander verglichen werden sollen, eignen sich alle oben beschriebenen Verfahren nur bedingt. Fast nie ist eine Datenbasis gegeben, die Unterschiede zwischen den Varianten eindeutig erfassen. Mit der Bauteilmethode können dagegen präzise die energiebedingten Mehr- und Minderinvestitionen quantifiziert werden. Ausgehend von einem Referenzstandard (es bietet sich meist der aktuelle EnEV-Standard an) werden alle Bauteile aufgelistet und die Differenzkosten positionsgenau ermittelt. Dabei können Nebenpositionen mit Erfahrungswerten pauschaliert werden, um eine möglichst einfache Aufstellung zu erhalten (Details: Kapitel 2.4.2). Die Herausforderung bei diesem Verfahren liegt darin, einerseits alle Positionen zu erfassen, vor allem aber marktgängige Differenzpreise verfügbar zu haben [Ecofys 2014]. Im Rahmen des Forschungsvorhabens konnte eine Vielzahl von Kostenangaben gegenübergestellt werden. Die Auswertungen waren jedoch auch in diesem Fall nicht in allen Fällen miteinander zu vergleichen.

2.3.3 Vergabeverfahren und konjunkturelle Einflüsse

Im Rahmen des Forschungsvorhabens fand ein intensiver Austausch über Vergabeverfahren und deren Auswirkungen auf die Baukosten statt. Grundsätzlich müssen dazu folgende Grundlagen beachtet werden. Die VOB (Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen) wurde vom Deutschen Vergabe- und Vertragsausschusses für Bauleistungen erarbeitet und ist in drei Teile untergliedert. In Teil A finden sich die Allgemeinen Bestimmungen für die Vergabe von Bauleistungen öffentlicher Auftraggeber (VOB/A). Teil B enthält die Allgemeine Vertragsbedingungen für die Ausführung von Bauleistungen (VOB/B) und Teil C die Allgemeinen Technischen Vertragsbedingungen für Bauleistungen (VOB/C). Das ist der baupraktische Teil mit gewerkespezifischen technischen Vorschriften zur Abrechnung und Ausführung von Bauleistungen. Die VOB ist für Bauaufträge der öffentlichen Hand in Deutschland obligatorisch. Sie stellt auch die Grundlage bei vielen privaten Bauverträgen dar.

Öffentliche Vergabe nach VOB (A): An die Ausschreibungsunterlagen werden strenge formale Anforderungen gestellt. Ziel ist das Erreichen eines möglichst günstigen Angebotspreises und die Verhinderung von Korruption beim Bauen. Die Leistungsbeschreibungen müssen eindeutig sein, was von vielen Planern umgedeutet wird in extrem umfangreich. Nach Vorliegen der Submissionsergebnisse bestehen nahezu keine Verhandlungsspielräume. So sinnvoll das einerseits ist, so sehr eröffnet dieses Verfahren Spielräume für Nachträge und unterschiedliche rechtliche Auffassungen. Jede erfolgreiche

Baufirma besitzt eine hohe Kompetenz im VOB- und Nachtragsrecht, um Lücken in den Vertragsgrundlagen zu nutzen. Die Baupartner stehen sich in der Baupraxis vielfach als Gegner gegenüber und es gilt die jeweiligen Schwächen des Gegenparts zu nutzen. Selbstverständlich kann im gegenteiligen Extrem durch die Genehmigung von Nachträgen auch ein sehr einvernehmliches Verhältnis zwischen Planern und Auftragnehmern entstehen, das nebenbei die Planungshonorare erhöht. Von vielen Baubeteiligten wird diese Form des Vergaberechts als ein notwendiges Übel mitgetragen, obwohl eine Vielzahl von Argumenten gegen dieses Verfahren spricht.

Beschränktes Vergabeverfahren nach VOB: Die Regularien sind vergleichbar der öffentlichen Ausschreibung. Die Ausschreibungsunterlagen gehen jedoch nur an eine ausgewählte Anzahl von Firmen innerhalb jeden Gewerks. Es besteht die Möglichkeit, innerhalb des Vergabeverfahrens offene Fragen abzustimmen und dadurch Schnittstellenprobleme zwischen Gewerken sowie spätere Nachträge deutlich zu reduzieren. Leistungsverzeichnisse, in denen positionsgenau alle zu erbringenden Arbeiten von den Anbietern mit Einheitspreisen und daraus resultierenden Gesamtpreisen versehen werden, lassen erkennen, wenn Positionen vom Anbieter falsch beurteilt wurden. Solche Positionen können bereits vor Vertragsunterschrift im Zuge der Vergabegespräche einvernehmlich bereinigt werden.

Vergabe an Generalunternehmen: Während bei den gewerkebezogenen VOB-Vergabeverfahren die einzelnen Massen und Preise genau nachvollziehbar sind, kann als Alternative auch eine Leistungsbeschreibung erstellt werden, für die seitens des Bieters nur eine Endsumme im Angebot angegeben wird. Bei sorgfältiger Kalkulation beinhaltet das für jede der bietenden Firma eine vollständige Planung und Massenermittlung der erforderlichen Leistungen. De facto wird jedoch oftmals pauschal kalkuliert über einfache Parameter wie die Wohn- und Nutzfläche, den umbauten Raum und die Qualität der Standards. In konjunkturell schwachen Phasen werden zum Schluss noch einige Prozentpunkte abgezogen während bei Hochkonjunktur ein Sicherheitsbetrag in sehr relevanter Höhe aufgeschlagen wird. So entstanden in 2018 Angebote an die Projektpartner mit Quadratmeterpreisen von 2.600 bis weit über 3.000 € inkl. MWSt. für die Kostengruppen 300 und 400.

Bauteam: Ein Auftraggeber kann aufgrund einer Grundlagen Ausschreibung Partner ermitteln, mit denen auf Basis der vorliegenden Einheitspreise und einem Kostenziel für das umzusetzende Projekt eine möglichst wirtschaftliche Lösung gesucht wird. Es geht darum, im Bauteam aus Planern, Auftraggeber und Ausführenden die Planung zu optimieren und einen günstigen Preis für ein möglichst hochwertiges Endergebnis zu erzielen. Dabei werden die einzelnen Kostenpositionen offen gehandhabt und selbstverständlich ist eine faire Marge für den Bieter in der Kostenkalkulation enthalten. Durch Optimierung von Konstruktionen, Positionen und Systemlösungen wird eine möglichst kostengünstige und hochwertige Lösung angestrebt. Der Vertrag mit einer pauschalen Endsumme, allen ermittelten Positionen und Details wird vor Baubeginn abgeschlossen. Eine baubegleitende Planung findet ebenso wenig statt wie ein aufreibendes Nachtragswesen. Das nachträgliche Aufmass entfällt und mithin reduziert sich der Aufwand für die Abrechnung auf die Freigabe von vorab festgelegten Abschlagszahlungen. Der Nachteil dieses Verfahrens liegt im erhöhten Aufwand für den Vergabeprozess, der große Vorteil in einem entspannten Bauprozess.

2.3.3.1 Anmerkungen zu konjunkturellen Einflüssen

Preisfindungen laufen in hoher Abhängigkeit von Konjunkturphasen ab. Bei Normalkonjunktur werden bei einer Angebotsaufforderung an etwa zehn Firmen fünf bis acht qualifizierte Rückläufe eingehen. Im Allgemeinen sind dabei ein bis drei Angebote, die attraktiv für den Auftraggeber sind und der Kostenschätzung bis auf geringe Abweichungen entsprechen. In Phasen geringer Bautätigkeit können die Angebotspreise um fünf bis zehn Prozent darunter liegen und es obliegt dem Auftraggeber zu entscheiden,

ob er den Niedrigstbietenden als valide einschätzt. Insbesondere bei GU-Verfahren gab es zahlreiche Ausschreibungsverfahren, in denen die Angebotssumme nochmals niedriger lag. Der Grund dafür konnte in einer Fehlkalkulation liegen oder in der bewussten Entscheidung, das Projekt unterhalb der Selbstkosten anzubieten, um den Stamm der Mitarbeiter über eine Durststrecke zu erhalten. Umgekehrt führt Hochkonjunktur zu Angeboten, die deutlich oberhalb der Kostenkalkulation liegen. Wenn Firmen ausgelastet sind, keine weiteren Mitarbeiter finden und kontinuierlich neue Angebotsunterlagen erhalten, die sie ohnehin nicht abarbeiten können, haben sie zwei Möglichkeiten: sie geben dem Auslobenden die freundliche Auskunft, leider nicht anbieten zu können. Alternativ kann eine sehr überschlägige Kostenermittlung durchgeführt werden und darauf ein hoher Sicherheitszuschlag erfolgen. Die Ablehnung solch eines „Angebots“ ist üblich. Wenn wider Erwarten der Auslobende kein besseres Angebot erhalten hat, führt die Beauftragung zwar zu einer nochmals erhöhten Auslastung – aber auch zu einer hohen Gewinnmarge bei der Ausführung.

2.3.3.2 Umgang mit hocheffizienten Standards

Eine gängige Herausforderung an Architekten ist die Planung mit mehreren Varianten, z. B. mit unterschiedlichen Energiestandards. Wird dieses Verfahren bis in die Ausschreibung hinein verfolgt, muss ein Angebots-Standard festgelegt werden. Ergänzend dazu enthält das Leistungsverzeichnis Zusatzpositionen oder Lose, in denen Differenzkosten bzw. Einheitspreise für erhöhte Standards abgefragt werden. Insbesondere in Zeiten hoher Konjunktur führt das, wie im vorherigen Kapitel beschrieben, zu deutlichen Mehrkosten mit hohen Sicherheitszuschlägen für die alternativ angefragten Leistungen. Noch höher fallen die zusätzlichen Angebote aus, wenn im Zuge des bereits laufenden Vergabeverfahrens ein erhöhter Standard als Nachtrag abgefragt wird. Wer hochwertige Standards anstrebt, ist gut beraten nur diese in der Leistungsbeschreibung aufzunehmen und Firmen zu suchen, die möglichst seit vielen Jahren gute Erfahrungen mit dieser Bauweise gemacht haben. Außerdem sollte in der Leistungsbeschreibung eine klare, nüchterne und kurze Beschreibung der innovativen Bauteile erfolgen. Gegebenenfalls können Industriepartner oder Lieferadressen benannt werden, von deren Seite ein konstruktiver Support beim Angebot und der Ausführung erfolgt. Aufwendige Beschreibungen machen dem Bieter Angst und führen zu entsprechenden Aufschlägen.

2.3.4 Baukostengutachten – Beispiele und Anmerkungen

Es lässt sich sehr gut beobachten, wie seit Jahren eine Parallelverschiebung der Förderstandards und des EnEV-Anforderungsniveaus stattgefunden hat: Durch die Förderung werden neue Techniken in den Markt eingeführt und es findet eine Kostendegression statt, wenn innovative Komponenten in die Mainstreamfertigung gehen. Eine Analyse der Kostenentwicklung für Effizienzkomponenten kommt zu dem Ergebnis, dass hocheffiziente Bauteile zunächst deutlich erhöhte Kosten aufweisen. Sobald sie zum üblichen Standard werden, passen sich die Preise sehr deutlich den bisherigen Standardkonstruktionen an [vgl. Kapitel 3.2.4 Fenster]. Aufgrund dessen ist das Bauen preisbereinigt seit 1990 nicht teurer geworden, obwohl in dieser Zeit eine deutliche Energieeffizienzsteigerung der Bauweisen zu verzeichnen war [Ecofys 2014]. Selbstverständlich weisen die Standards KfW Effizienzhaus 55 / 40 / 40 Plus sowie Passivhaus Mehrinvestitionen gegenüber dem EnEV-Standard auf. Bei der Betrachtung der monatlichen Belastung werden bei kostenbewusster Planung jedoch ab dem ersten Monat für die hocheffizienten Gebäude niedrigere Belastungen erzielt als für den EnEV-Standard.

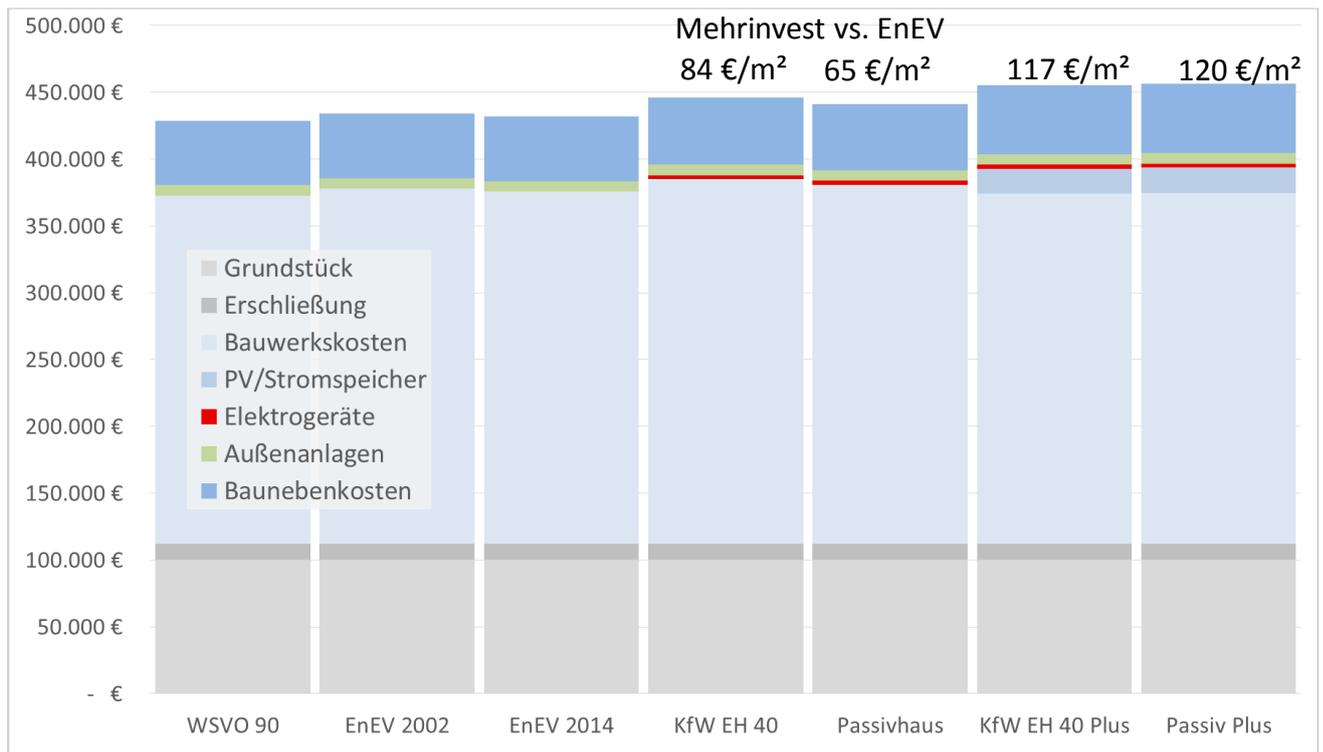


Abbildung 6 Vergleich der Investitionskosten unterschiedlicher Energiestandards

Preisbereinigt entsprechen die Kosten von 1990 etwa dem EnEV-Standard 2014. [Ecofys 2014]

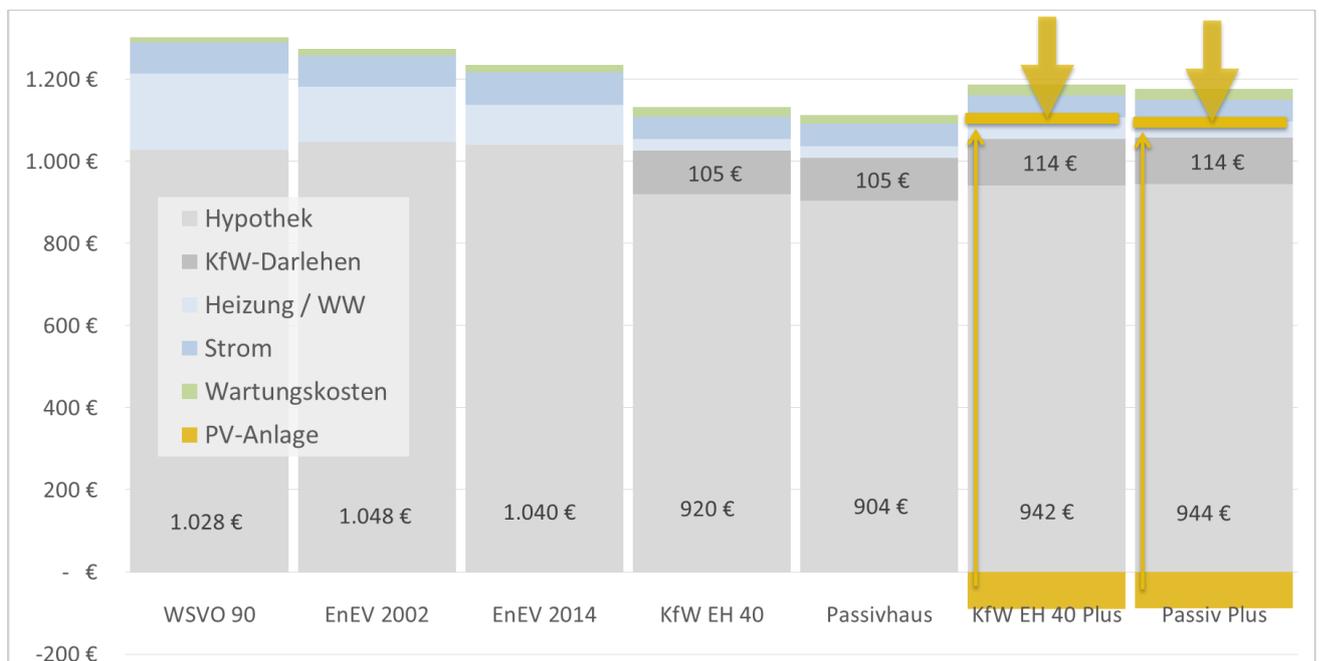


Abbildung 7 Vergleich der monatlichen Belastung unterschiedlicher Energiestandards

Der Passivhaus-Standard und die Plus-Standards liegen am günstigsten. [Ecofys 2014]

Zahlreiche erfahrene Planer weisen gleichermaßen darauf hin, dass bei einem Planungsprozess mit dem Ziel hoher Energieeffizienz oftmals auch eine Kostenoptimierung des Entwurfskonzepts einhergeht. So wirkt beispielsweise ein günstiges A/V-Verhältnis nicht nur hinsichtlich der Energieeffizienz sondern auch Investitionskosten dämpfend, da erhöhte Hüllflächen kostentreibend wirken. Insofern verwundert es

nicht, dass bei der „Analyse des Einflusses der energetischen Standards auf die Baukosten im öffentlich geförderten Wohnungsbau in Hamburg“ für den KfW EH 40 und Passivhaus-Standard im Mittel keine Kostenerhöhungen im Vergleich zu Standardgebäuden nachgewiesen werden konnten [F+B 2016], sondern Gebäude hoher Effizienzstandards im Mittel günstiger lagen als EnEV-Gebäude. Zum gleichen Ergebnis kommt eine Studie zum „Kostenvergleich unterschiedlicher Baustandards Wohngebäude“ des Amtes für Umweltschutz, Gewerbeaufsicht und Energie der Stadt Heidelberg [Bermich 2014], in der 154 Objekte der BKI Datenbank 2009 bis 2013 ausgewertet wurden. Im Ergebnis betragen die mittleren Baukosten (Kostengruppen 300/400 inkl. MWSt.) 2.361 € pro m² Wohnfläche für Passivhäuser gegenüber 2.554 €/m² für Gebäude im EnEV-Standard. In gleicher Quelle wird nachgewiesen, dass die mittleren Kosten für die Passivhäuser im Gesamtquartier Bahnstadt Heidelberg bei 1.875 €/m² liegen. Die Spreizung zwischen dem günstigsten und teuersten Gebäude beträgt allerdings auch dort 1.096 €/m². Bei einer Kostenauswertung der Preisträger des Deutschen Bauherrnpreises wird dieser Trend [Schuberth 2018] durch Kernaussagen in den Schlussfolgerungen bestätigt:

- „Der Wärmeschutz der Gebäudehülle zeigt in Neubauten einen leichten Einfluss auf die Baukosten (+2%/Quartil).
- Eine hohe Energieeffizienz (niedriger Primärenergiebedarf) eines Hauses kann sich auf die Baukosten auswirken, ist aber kein ausschlaggebender Treiber, weder für Neubauten noch für Sanierungen.
- Der Wettbewerb zeigt die Leistungsfähigkeit der Wohnungswirtschaft, wirtschaftliches und energieeffizientes Bauen zu vereinbaren.“

Aus diesen Gutachten lässt sich vor allem der Schluss ziehen, dass Bauherren gut beraten sind, wenn sie erfahrene Planer beauftragen. Offensichtlich gibt es einen Zusammenhang zwischen Effizienzdenken beim Energiesparen und kosteneffizienter Gebäudeplanung. Schließlich gilt es festzustellen, dass zukunftsfähige Baulösungen hinsichtlich des Komforts und der Lebenszyklusbetrachtung punkten und aufgrund dieser Faktoren eine werthaltige Investition darstellen. Vor allem bei der Langfristbetrachtung ergibt sich ein großer Vorteil für den Bauherrn: während ein Gebäude mit Normalstandard in gut 20 Jahren eine energetische Ertüchtigung erfordern wird, kann der Eigentümer hocheffizienter Gebäude davon ausgehen, dass sein Energiestandard auch langfristig kompatibel mit den Zielen der Energiewende ist.

Erschlagend unparteiisch weisen Kostendaten des Statistischen Bundesamtes zu den von Bauherren und Architekten veranschlagten Baukosten nach DIN 276 zum Zeitpunkt des Bauantrags nach, dass die Baukostenentwicklung nicht durch die zahlreichen Stufen der Wärmeschutz- und Energieeinsparverordnung geprägt wurde [Statistisches Bundesamt 2015], sondern vor allem durch die Konjunkturlage und durch starke wirtschaftslenkende Maßnahmen wie Konjunkturprogramme (vgl. Kapitel 2.3).

Ein wichtiger Aspekt für erhöhte Kosten ergibt sich daraus, dass es „nachweislich aufgrund ansteigender Anforderungen und Auflagen im technischen Bereich (z.B. Klima-, Schall-, Brandschutz) zu einer Verschiebung bei der Baukostenverteilung gekommen: Der Anteil der Ausbaugewerke inkl. der haustechnischen Gewerke an den Kostengruppen 300 und 400 ist vom Jahr 2000 bis heute von 46 % auf 54 % gestiegen. Dieser Sachverhalt bedeutet allerdings nicht, dass sich die Kosten für die Rohbauerstellung reduzieren haben, vielmehr stiegen die Kosten im Bereich Ausbau stärker als im Bereich Rohbau. Speziell die Kostenentwicklung der haustechnischen Ausbaugewerke ist in diesem Zusammenhang überproportional.“ [ARGE 2014] Resümierend lässt sich feststellen, dass die Aussagen zahlreicher Studien zunehmend in eine vergleichbare Richtung gehen.

Auch das FIW München hält als wichtiges Ergebnis fest, dass die energiebedingten Anteile an der Gesamtkostensteigerung einen eher geringen Anteil von nur 12,5 Prozent für den Zeitraum vom Jahr 2000 bis zur EnEV-Novelle 2016 an der Baukostensteigerung ausmacht. Die restlichen 87,5 Prozent sind nicht energetisch bedingt. Das FIW ermittelte weiterhin, dass in dieser Zeit die EnEV-Anpassungen für nur etwa

drei Prozent der Gestehungskosten eines Mehrfamilienhauses sorgen. „Geht man von Baukosten der Kostengruppen 300 und 400 in Höhe von rd. 1.630 €/m² Wohnfläche aus, so bewegen sich die Mehrkosten der EnEV 2016-Anhebung für ein Einfamilienhaus in einer Größenordnung von ca. 2,2 bzw. 4,2 % und für ein Mehrfamilienhaus von 2,1 bzw. 3,3 % [InWis 2017]. Wählt man eine kostenoptimierte Variante zur Erfüllung der Anforderungen, dann lassen sich diese Mehrkosten deutlich verringern.“ [FIW 2017]

Schließlich wird in einer Vergleichsstudie von Oschatz, Hartmann und Werdin festgestellt: „Die Anteile der energiebedingten Mehrkosten an den Gesamtkostensteigerungen im Bau von 2000 bis 2014 bzw. 2016 sind als gering einzuschätzen. Die Baukostensenkungskommission ordnet mit Bezug auf die ARGE Kiel nur 6 %-Punkte von insgesamt 36 % Baupreissteigerung den Wirkungen der EnEV 2002 bis 2014 zu – 30 %-Punkte sind nicht energiebedingt. ... Die Baupraxis zeigt, dass über die EnEV 2016 hinausgehende energetische Standards unkompliziert und mit marktüblichen Technologien problemlos erreichbar sind. Zum Teil werden dabei für hocheffiziente Gebäude geringere Kosten realisiert, als bei Einhaltung der EnEV-Mindestanforderungen. Offensichtlich lassen sich bei Wahl geeigneter baulicher und anlagentechnischer Konzepte und Nutzung der verfügbaren Fördermittel auch deutlich über die EnEV 2016 hinausgehende energetische Standards mit geringen oder sogar ohne spürbare Mehrkosten realisieren. Die KfW fördert mehr als die Hälfte des Wohnungsneubaus als KfW-Effizienzhaus. Trotz überschaubarer Förderanreize wird insbesondere das KfW-Effizienzhaus 55 vom Markt sehr gut angenommen. Negative Auswirkungen der energetischen Anforderungen auf das Neubauvolumen sind nicht zu verzeichnen. Es ist keinerlei Rückgang der Bautätigkeit festzustellen, den man auf höhere energetischen Anforderungen im Neubau zurückführen könnte.“ [Oschatz, Hartmann, Werdin 2018]

Die Entwicklung der veranschlagten Baukosten wird vom Statistischen Bundesamt erfasst. „Veranschlagte Kosten des Bauwerkes sind die Kosten des Bauwerkes gemäß DIN 276 (in der jeweils gültigen Fassung) als Summe der Kostengruppen 300 und 400. Baukosten im Sinne der Bautätigkeitsstatistik sind somit die Kosten der Baukonstruktionen (einschl. Erdarbeiten und baukonstruktive Einbauten) sowie die Kosten der technischen Anlagen. Kosten für nicht fest verbundene Einbauten, die nicht Bestandteil des Bauwerkes sind, wie Großrechenanlagen oder industrielle Produktionsanlagen, sind nicht einzubeziehen. Die Umsatzsteuer ist in den veranschlagten Kosten enthalten.“ [Destatis 2017] Die daraus resultierende Kostenkurve ist geglättet aufgrund der jeweils vorausschauenden Kostenbeurteilung der Bauantragsteller. Dadurch werden kurzfristige Effekte gemildert, die Gesamtentwicklung der Baukosten ist jedoch deutlich abzulesen. Der Bezug in der Abbildung unten ist ein Quadratmeter gebaute Nutzfläche. Nicht verwechselt werden darf die Kostenkurve mit der **Baupreisentwicklung**, die ebenfalls vom Statistischen Bundesamt erfasst und nach dem Laspeyres-Konzept berechnet wird. Dabei werden Preisentwicklungen ermittelt, z. B. von Einheitspreispositionen. Sie sagen nichts über die Gesamtkosten eines Gebäudes aus.

Die Betrachtung der daraus Kostenkurve pro m² für die Kostengruppen 300 und 400 lässt in den letzten Jahrzehnten keine Kostensprünge bei Einführung der jeweiligen Wärmeschutz- und Energieeinsparverordnung erkennen. D. h. der Markt hat die jeweils erhöhten Standards ohne Kostensprünge realisiert.

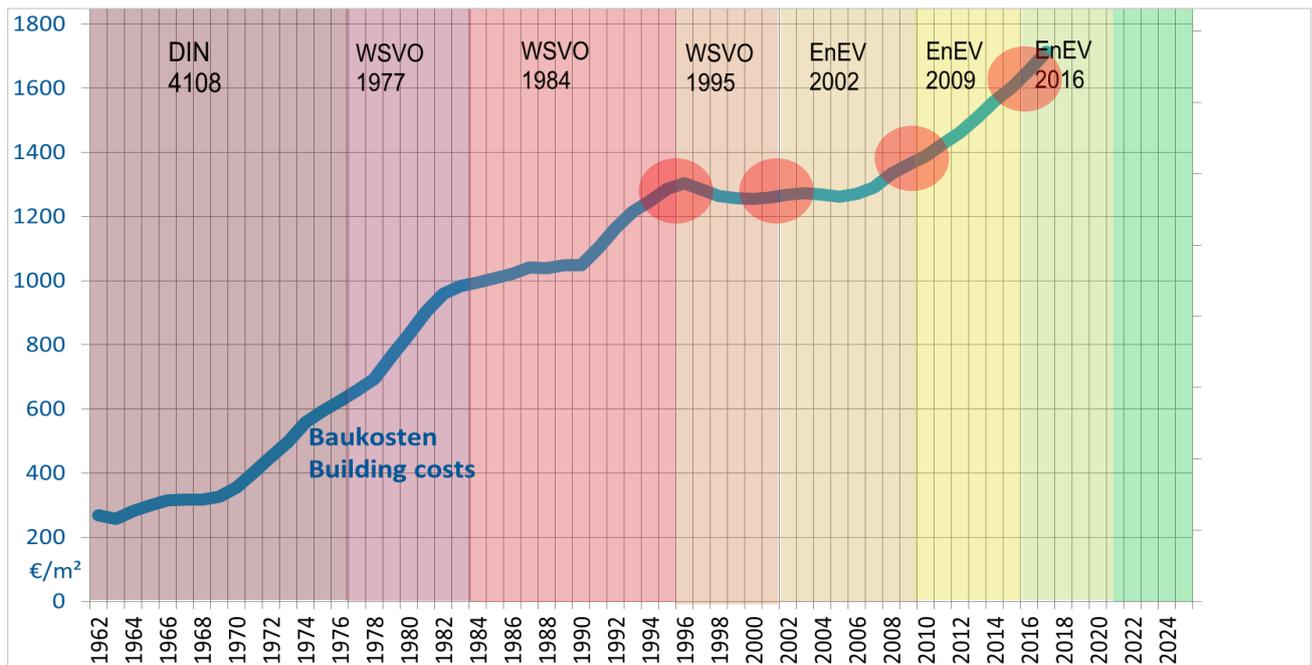


Abbildung 8 Veranschlagte Baukosten nach DIN 276 zum Zeitpunkt des Bauantrags

Die Kostenentwicklung wird nur sehr bedingt durch die zahlreichen Stufen der Wärmeschutz- und Energieeinsparverordnung (Kreise) geprägt [Statistisches Bundesamt 2015, Darstellung: Eicke-Hennig/Schulze Darup]

2.4 Integrale Kosten- und Wirtschaftlichkeitsplanung – Vollständiger Finanzplan

Die Darstellung der vielfältigen Kriterien für Wirtschaftlichkeit erfolgt aus wohnungswirtschaftlicher Sicht am sinnvollsten anhand eines Vollständigen Finanzplans (VoFi-Berechnung), der eine Langfristbetrachtung hinsichtlich Cashflow, Eigenkapitalrendite, der kumulierten Jahresergebnisse und zahlreicher anderer Parameter ermöglicht. Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde solch ein Instrument mit Unterstützung der Projektpartner erstellt [GdW 2017]. Die daraus entstandene Excel-Datei kann in Rahmen von Projektworkshops genutzt werden, um Bauvorhaben hinsichtlich unterschiedlichster Aspekte abzubilden. Im Folgenden wird das Tool in kurzer Form beschrieben. Es werden Eingabeoptionen dargestellt, Parameter mit Optionen für Sensitivitätsanalysen sowie Angaben zu den Ergebnissen.

2.4.1 Grundlagen der Berechnung

Die Daten des Projekts werden in einer Eingabemaske eingegeben mit direkter Verknüpfung zu den Berechnungen. Erfasst werden der Gebäudetyp und Kenndaten zur Geschossigkeit. Hauptmaße dienen zur schnellen Vorabermittlung der Flächen und Kubatur. In einem gesonderten Arbeitsblatt können die Angaben aber auch detailliert eingegeben werden, woraus sich Wohnfläche, Energiebezugs- und Transmissionsflächen sowie die VOB-Flächen präzise ergeben. Weiterhin werden Grundlagen für die Kostenermittlung nach DIN 276 erfasst.

Für die Bauteile der Gebäudehülle ist eine Vorauswahl unterschiedlicher Konstruktionsarten möglich. Das gleiche gilt für die Auswahl des Heizsystems, der Warmwasserbereitung inklusive des damit verbundenen Verteilsystems sowie Festlegungen zur Lüftung. Angaben zur Nutzung Erneuerbarer Energien und zu den Energiekosten runden die technischen Eingaben ab.

Daran schließt sich eine umfangreiche Liste zu den Rahmenbedingungen der VoFi-Berechnung an. Es

werden Miethöhen, Mietsteigerungsraten, Angaben zum Mietausfallwagnis und zur Instandhaltung AUFGENOMMEN. Verwaltungskosten, Abschreibungszeiträume, Steueraufwand und Kontokorrent von Soll- und Guthabenzinsen sind weitere Parameter. Abschließend werden Angaben zur Finanzierung abgefragt wie die Höhe der Eigenmittel, Zins- und Tilgungssätze für Hypotheken sowie für verschiedene Förderwege und die spätere Modernisierung.

Energiestandards

Vorschläge für Kennwerte zu den Energiestandards sind tabellarisch erfasst. Dabei handelt es sich um mittlere Kennwerte von Beispielberechnungen. In die Tabelle können allerdings auch die exakten Ergebnisse einer individuellen energetischen Berechnung eingefügt werden. Dabei sollte darauf geachtet werden, ein Programm zu verwenden, das auch hocheffiziente Gebäudestandards stimmig abbildet. Die Ergebnisse einer EnEV-Berechnung können nur bedingt Verwendung finden. Sie müssten insbesondere für die hochwertigen Effizienzstandards und hinsichtlich der Bezugsfläche, des Nutz- und Endenergiebedarfs angepasst werden, um aussagefähige und stimmige Ergebnisse zu erzielen.

2.4.2 Kostenermittlung

Die Bauteilkosten für einen Referenzstandard (z. B. EnEV-Standard) stellen die Grundlage der Kostenermittlung dar. Auf Basis der Bauteilmethode werden im Vergleich dazu die Mehr- und Minderinvestitionen von bis zu sieben Vergleichsstandards erfasst. Für Außenwand, Dach, Grund und Fenster/Türen sowie Qualitätssicherung sind jeweils mehrere Konstruktionsvarianten anwählbar, die miteinander verglichen werden können. Bei der Außenwand kann z. B. nach Massivbau mit Außenwanddämmung, monolithischem Mauerwerk, Holzrahmenbau und Massivwand mit Vorhangschale oder Zweischaligkeit unterschieden werden. Dadurch wird ein Kurz-LV angewählt, das bereits mit Daten bestückt ist und zu dem die Massen-Angaben automatisch zugeordnet werden. Die Bauteile und Komponenten mit Auswirkungen auf das Energiekonzept werden jeweils detailliert berechnet und Differenzkosten für die unterschiedlichen Standards ausgewiesen.

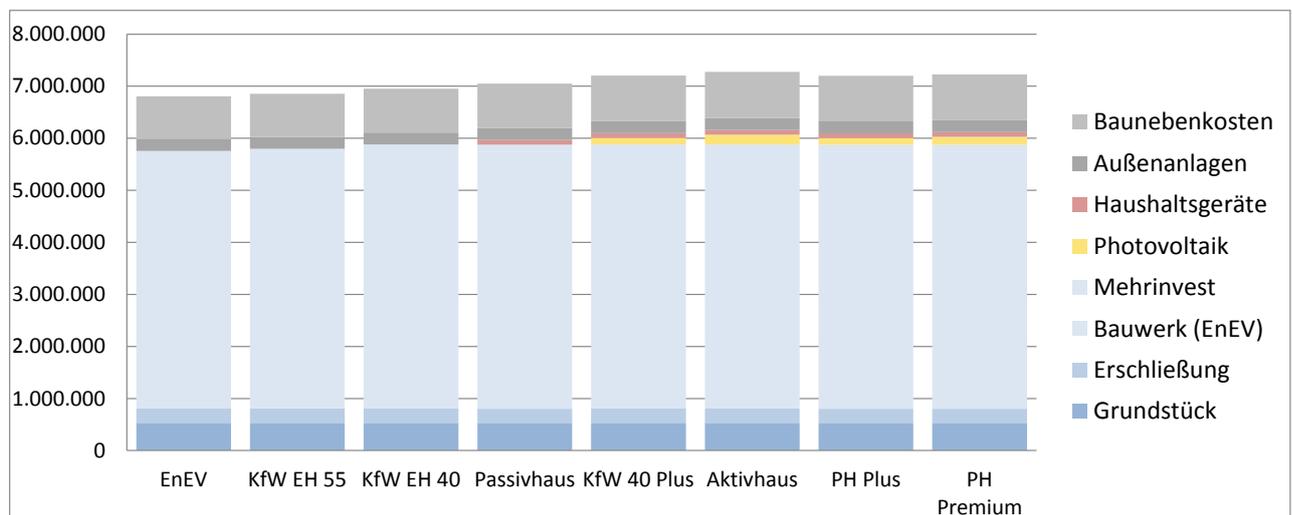


Abbildung 9 Bilanzierung der Investitionskosten in der Planungsphase am Beispiel Sewanstraße

Die Tabelle ermöglicht es, individuelle Preise auf Basis von konkreten Angeboten einzufügen. Analog dazu erfolgt die Erfassung der Gebäudetechnik-Komponenten. Für die Lüftung kann zwischen Abluftsystemen und dezentralen und zentralen Komfortlüftungssystemen gewählt werden. Bei Heizung und Warmwasserbereitung steht eine Auswahl von mehreren Systemlösungen sowie Verteilsystemen zur Auswahl. Auch für die Gebäudetechnik können die Preise der einzelnen Unterkomponenten angepasst

werden. Ein nicht ganz unwichtiges Detail ist ein Kostenansatz für den Platzverbrauch der jeweiligen Anlage. Solarthermie und Photovoltaik inkl. jeweiligem Speicher werden ebenfalls kostenmäßig bilanziert. Eine Auflistung von Haushaltsgeräten und Beleuchtung mit Ihren Effizienzgruppen und den daraus resultierenden Werten für den Haushaltsstrombedarf sowie der Mehrkosten in der Anschaffung rundet die Kostenermittlung ab. Die Abbildungen unten zeigen die Ergebnisse am Beispiel Sewanstraße in Berlin.

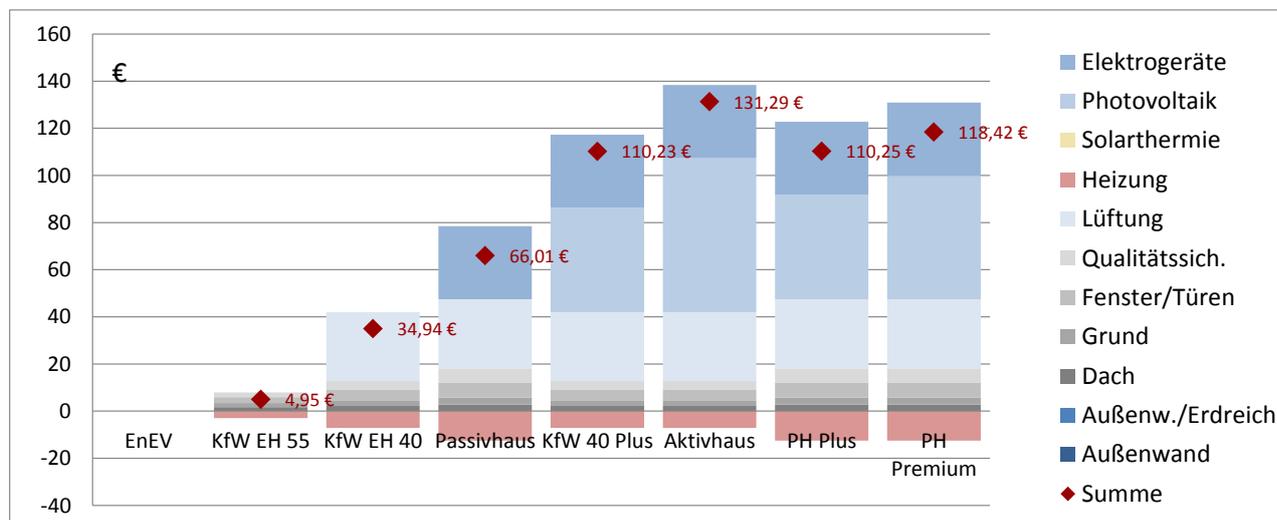


Abbildung 10 Spezifische Mehr- und Minderinvestitionen am Beispiel der Sewanstraße für unterschiedliche Standards (€/m²a)

2.4.3 Finanzierungs-, Betriebs- und Wartungskosten

Die Ergebnisse zu den Kosten des Projekts werden in einer Kostentabelle nach dem Gliederungsschema der DIN 276 für die Kostengruppen (KG) 100 bis 700 zusammengeführt. Dabei umfasst z. B. die KG 100 die Erwerbskosten, die Kosten für Notar, Grundbucheintrag, Grunderwerbssteuer und Vermessung. Sehr umfangreich werden die Erschließungskosten (KG 200) nach öffentlicher und privater Erschließung erfasst, weil sie in Zukunft eine möglicherweise wachsende Bedeutung für die Wahl des Versorgungssystems haben werden. Die Bauwerkskosten (KG 300/400) werden aus der oben beschriebenen Kosten-Tabelle in die Kostenstruktur nach DIN 276 übernommen und dabei die Differenzkosten der insgesamt acht Standards vergleichend gegenüber gestellt. Kostengruppe 500 erfasst die Aufwendungen für die Freiflächen und Kostengruppe 700 für die Nebenkosten.

Finanzierung

Auf Basis der Kosten nach DIN 276 werden im folgenden Arbeitsblatt die Finanzierungskosten ermittelt aus Eigenmitteln, den Hypothekendarlehen sowie den Darlehen oder Zuschüssen aus Förderprogrammen. In dem Datenblatt werden jeweils die Zins- und Tilgungssätze erfasst. Das Ergebnis zeigt die jährlichen Zins- und Tilgungskosten.

Kosten pro Monat

Die Kosten pro Monat lassen sich auf Basis der berechneten Grundlagen ermitteln. Die größte Position nehmen zunächst die oben beschriebenen Finanzierungskosten mit Zins und Tilgung für die Darlehen ein. Dazu kommen die Betriebs- und Wartungskosten. Diese werden in dem Rechentool in eigenen Arbeitsblättern detailliert erfasst und Parameter für Einsparpotenziale einbezogen. Sie umfassen Heizung, Warmwasserbereitung, Hilfsenergien und Allgemestrom, Lüftung sowie die Bilanzierung der Eigenstromnutzung und der Vergütung für eingespeisten Strom. Haushaltsstrom wird ebenfalls einbezogen, weil er zukünftig eine relevante Rolle bei Konzepten zur Dämpfung der Wohnkosten

einnehmen wird. Im Rahmen des Vollständigen Finanzplans (s. u.) sowie im Folgekapitel werden weitere Positionen der Wohnkosten dargestellt.

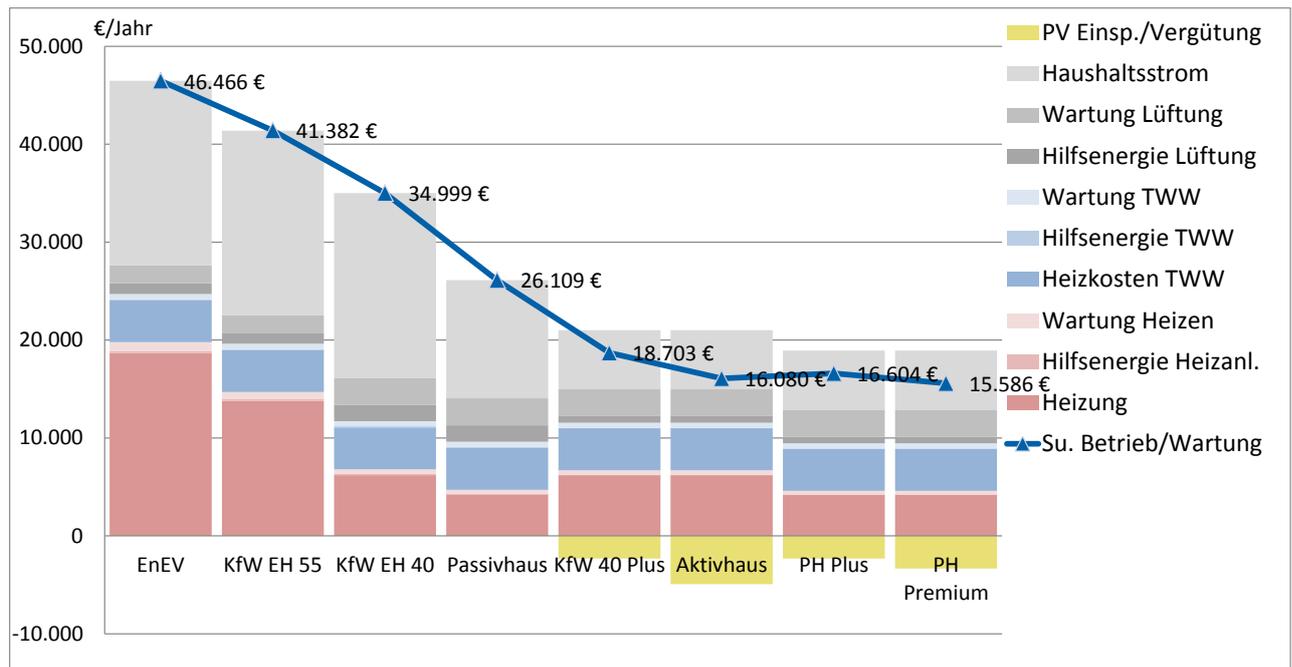


Abbildung 11 Kosten pro Jahr für die Betriebs- und Wartungskosten am Beispiel Sewanstraße. Der PV-Ertrag ist vergleichsweise gering, weil es sich bei dem Gebäude um ein achtgeschossiges MFH handelt.

2.4.4 Ergebnisse für Endenergie, Primärenergie und CO2-Emissionen

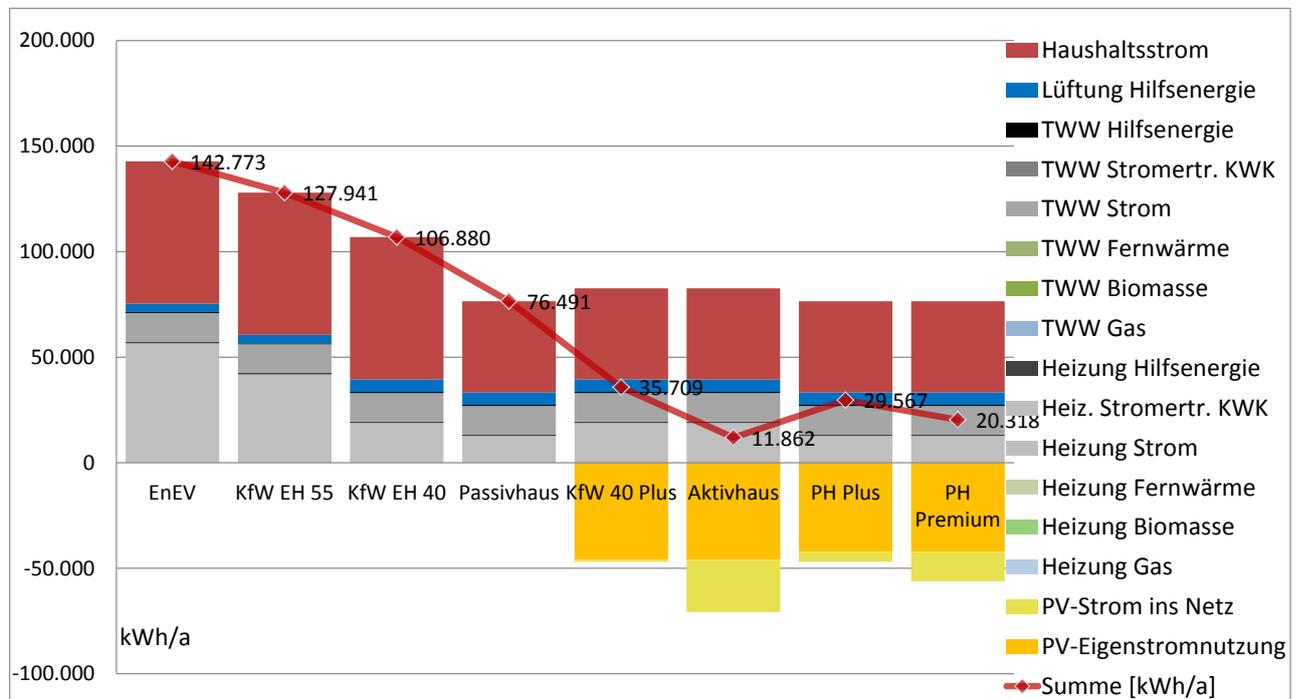


Abbildung 12 Endenergiebilanz für Heizen, Warmwasser und Haushaltsstrom bei Verwendung einer Sole-Wasser-Wärmepumpe für die Wärmebereitstellung am Beispiel Sewanstraße. Durch die Achtgeschossigkeit reicht der PV-Ertrag nicht für eine Plusenergiebilanz, da die Fassade nicht mit PV belegt wurde.

Auf Basis der Eingaben werden die Ergebnisse für die gesamte Endenergie für Heizen, Warmwasserbereitung, Hilfsenergie und Haushaltsstrom berechnet. Das Diagramm oben zeigt das Ergebnis für ein Beispiel. Die Visualisierung kann auch für die einzelnen Bereiche Endenergie Heizen und Endenergie WW-Bereitung durchgeführt werden.

In gleicher Form können die Primärenergiebilanz und CO₂-Emissionen visualisiert werden. Spannend ist bei Betrachtung von End- und Primärenergie sowie bei der CO₂-Emissionsbilanz der Vergleich zwischen unterschiedlichen Heizsystemen. In der Projekteingabe lassen sich sehr einfach folgende Versorgungsvarianten anwählen und direkt in ihren Auswirkungen vergleichen. Dazu werden voreingestellte Parameter verwendet, die jedoch bei Bedarf individuell angepasst werden können:

- Brennwärtekessel Gas
- Fernwärme
- Biomasse-Heizzentrale
- Sole-Wasser-Wärmepumpe
- Luft-Wasser-Wärmepumpe
- Luft-Wasser-WäPu & Gas-BW-Spitzenkessel
- Luft-Wasser-WP, Gas-BW, Dreileiter & Durchlauferh.
- KWK mit Gas-BW-Spitzenkessel.

Die Wärmepumpen-Varianten schneiden in der Regel am günstigsten ab. Das gilt insbesondere für den Fall, dass PV in Verbindung mit einer hohen Eigenstromnutzung Verwendung findet.

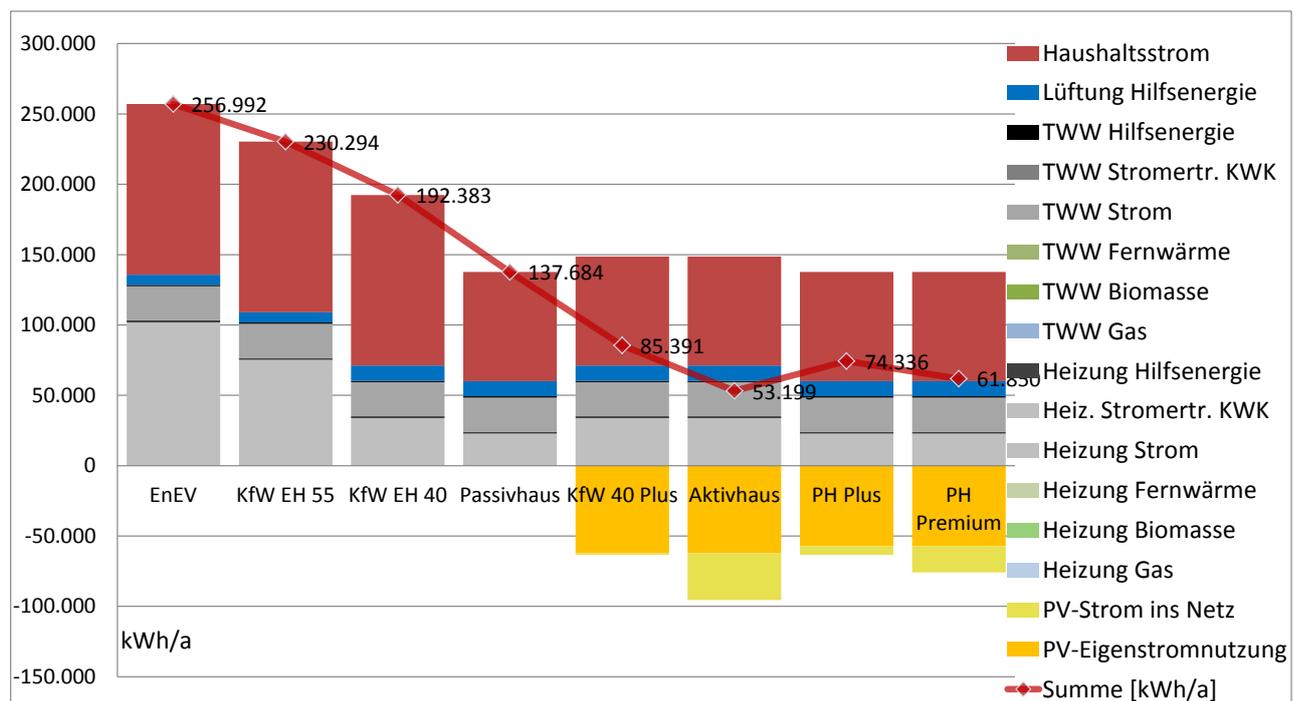


Abbildung 13 Primärenergiebilanz für Heizen, Warmwasser und Haushaltsstrom am Beispiel des Achtgeschossers in der Sewanstraße in Berlin.

2.4.5 VoFi-Ergebnisse für unterschiedliche Standards

Der vollständige Finanzplan stellt eine Langfristbetrachtung der Jahresergebnisse dar. Als Ergebnis werden Gewinne und Verluste auf Basis der folgenden Parameter dargestellt. Die Annahmen müssen für jedes Projekt individuell überprüft werden. Die angegebenen Zahlen und Beträge können im ersten Arbeitsblatt des Tools eingetragen und angepasst werden. Mithin ist es sehr einfach möglich, die Auswirkungen unterschiedlicher Ansätze auf das Jahresergebnis als Sensitivitätsanalyse durchzuführen:

- Instandhaltung: für das 1. Bis 22. Jahr werden bei dem Beispiel unten 8,62 €/m² in Ansatz gebracht, im Jahr 23-32 sind es 10,93 €/m² und ab dem 33. Jahr 13,97 €/m².
- Verwaltung: Ansatz von 270 €/a pro Wohnung mit einer jährlichen Steigerungsrate von 1,2 Prozent.
- Abschreibung: Die angesetzten Abschreibungszeiträume betragen für Gebäude 80 Jahre, für Außenanlagen 10 Jahre und für Modernisierungsmaßnahmen 50 Jahre.
- Zins- und Tilgungsaufwand: Für die Zinssätze wird beim Beispiel unten für Hypothekendarlehen 1,50% bei einer Tilgung von 3,00%, für KfW-Darlehen werden die jeweils aktuellen Zins- und Tilgungssätze der jeweiligen Förderprogramme in Ansatz gebracht. Im Tool ist es sehr spannend, für die Wirksamkeit der Förderung anhand Änderung des Teilschulderlasses sowie der Zins- und Tilgungssätze die oben schon beschriebene Sensitivitätsanalyse durchzuführen.
- Steueraufwand: Ertragssteueraufwand in % des Ergebnisses vor Steuern in einer Höhe von z. B. 2,5 %
- Guthabenzinsen: Der Kontokorrent für Sollzinsen beträgt im Beispiel 2,50%, für Guthabenzinsen 0,20%.
- Restwert: Der Restwert des Gebäudes errechnet sich aus dem 14- bis 20-fachen der Jahresmiete. Bei Berechnung über die Abzinsung ist die Grundlage risikofreier Zins plus Zuschläge für Projektrisiko und Immobilienrisiko. Daraus resultieren derzeit z. B. 3-4 %.
- Mieteinnahmen: Für das Beispiel unten wird eine Miete pro m² im Ausgangsjahr von 9,20 € angesetzt. Die Mietsteigerung p. a. ab dem 4. Jahr beträgt 1,00 %. Das Mietausfallwagnis wird mit 2,00 % in Ansatz gebracht.
- Als Ergebnis wird das Jahresergebnis ausgeworfen. Ein Vergleich für die unterschiedlichen Standards ist auf diesem Weg sehr einfach möglich.

Die vorliegende VoFi-Berechnung ermöglicht darüber hinaus Aussagen zu weiteren Wohnkosten. Insbesondere können die Betriebs- und Wartungskosten in die Betrachtungen einbezogen werden. Das ist von besonderem Interesse, wenn den Mietern eine warme Flatrate-Miete inkl. Heizung, Warmwasser und Haushaltsstrom angeboten werden soll. Die Gegenüberstellung der herkömmlichen Berechnung mit solch einem möglichen Zukunftsmodell kann mit ein wenig Aufwand durchgeführt werden. Die zusätzliche Arbeit ergibt sich daraus, dass es eine Vielzahl von möglichen Modellen gibt, die für den konkreten Fall simuliert und visualisiert werden müssen.

Cash-Flow und Eigenkapitalrendite sind weitere wichtige Ergebnisse, die mit dem Rechenwerkzeug ermittelt werden. Einen nicht unwesentlichen Einfluss darauf haben die Instandhaltungskosten bzw. die Zyklen der Instandsetzungen und eventuell notwendigen Modernisierungsmaßnahmen. Cash-Cows zeichnen sich dadurch aus, dass sie langfristig mit sehr geringen Instandsetzungskosten auskommen. Oder anders herum ausgedrückt: ein nachhaltiges Gebäude mit langer Nutzungszeit der Bauteile und einer möglichst einfachen Gebäudetechnik hat eine gute Chance, langfristig guten Cashflow zu ermöglichen.

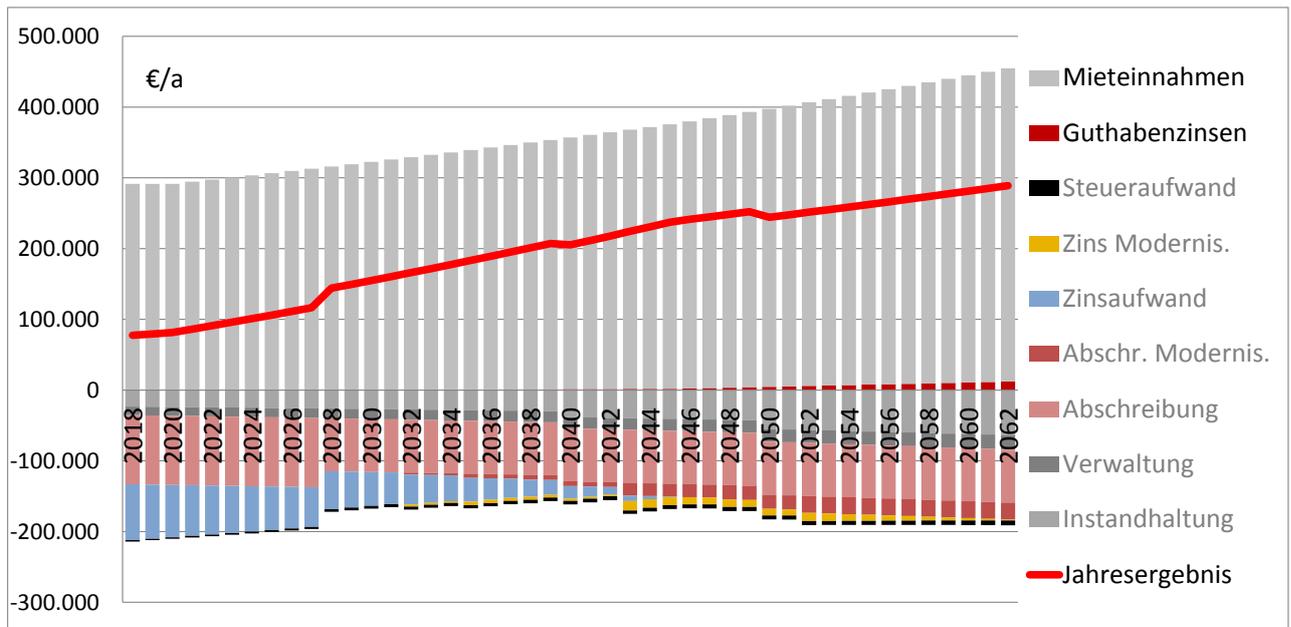


Abbildung 14 Bilanzierung der Kosten und Einnahmen nach VoFi-Methode über einen Betrachtungszeitraum von 45 Jahren für das Beispiel Sewandstraße mit EnEV-Standard.

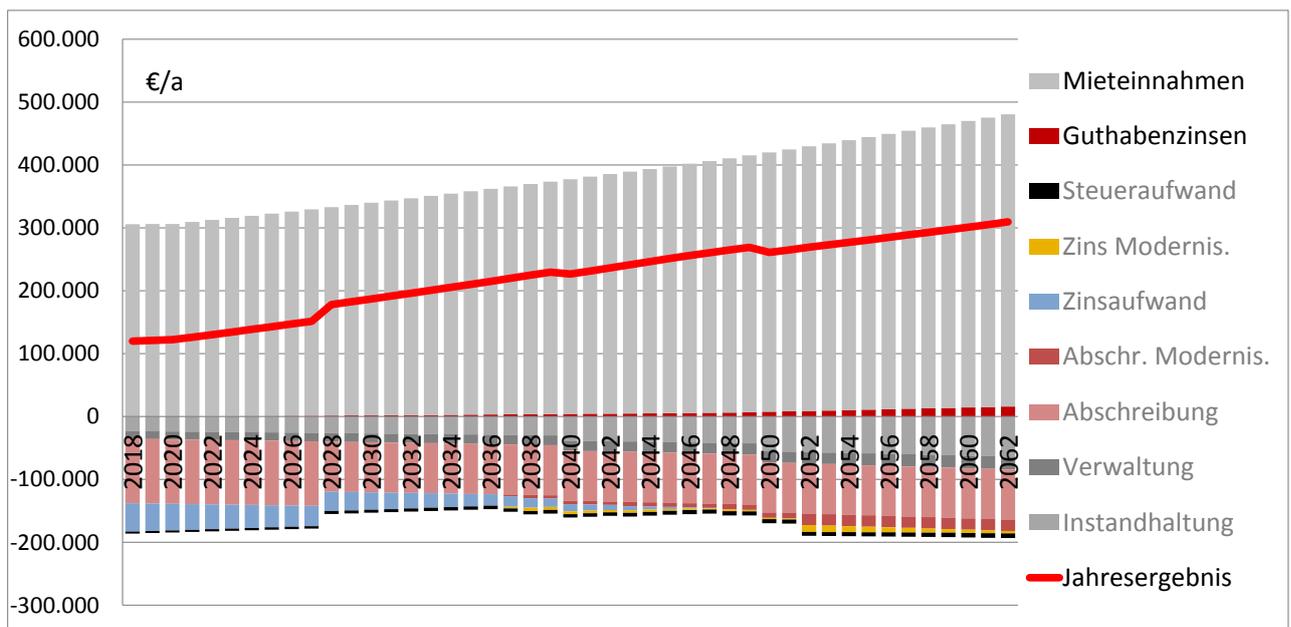


Abbildung 15 Vergleich für den Standard KfW EH 40 Plus für das kumulierte Jahresergebnis. Der Erlös liegt 13 Prozent über dem EnEV-Ergebnis, der erhöhte Standard ist deutlich wirtschaftlicher.

2.5 Klimaschutz und Wohnkosten [Ingrid Vogler]

Autorin von Kapitel 2.5: Dr. Ingrid Vogler, Leiterin Energie und Technik, Bundesverband deutscher Wohnungs- und Immobilienunternehmen e.V.

Oft und gern wird beklagt, dass es mit Energiewende und Klimaschutz im Gebäudesektor nicht voranginge. Der Bericht der Expertenkommission zum 6. Monitoring Bericht zur Energiewende der Bundesregierung für das Berichtsjahr 2016 verweist dazu auf zwei nicht unwesentliche Punkte:

- Die Akzeptanz der Energiewende sei nicht uneingeschränkt gegeben: Sie bestehe generell zu den Zielen, teilweise hinsichtlich der Umsetzung, sei aber auf Grundlage der persönlichen Betroffenheit nicht vorhanden.
- Im Zuge der Realisierung eines nahezu klimaneutralen Gebäudebestandes würden sich die Letztverbraucher Ausgaben erhöhen. Niedrigere Kosten bei der Wärmeversorgung werden ersetzt durch zusätzliche Letztverbraucher Ausgaben für Heizungssysteme und für Gebäudesanierung.

Das zielt genau auf die wohnungswirtschaftliche Kernfrage: wie erreicht man eine möglichst geringe Erhöhung der Wohnkosten bei möglichst hoher Klimaschutzwirkung?

“Wohnen“ hat viele Funktionen in der Gesellschaft. Wohnen und damit die Wohnung ist zuerst der Mittelpunkt unseres Lebens. Sie hat eine hohe soziale Bedeutung, ist Sozialgut. Die Wohnung ist aber gleichzeitig auch ein Wirtschaftsgut. Der Wert einer Wohnung entspricht dem Mehrfachen des Jahreseinkommens eines durchschnittlichen Haushalts und die Bewirtschaftung von Wohnungen ist durch die laufenden Kosten, durch Instandhaltung und Instandsetzung wie durch Modernisierungsarbeiten Teil der Wirtschaft.

Die Umweltwirkung von Gebäuden - Ressourcenverbrauch, Schadstoffe, Abfall - wird zunehmend detaillierter betrachtet. Insbesondere dem Energieverbrauch von Wohngebäuden kommt eine hohe Bedeutung zu: wegen der Sicherstellung der Versorgungssicherheit (Endlichkeit fossiler Energieträger und hohe Importabhängigkeit) und der Klimapolitik zur Vermeidung von CO₂-Emissionen. Der Energieverbrauch hat aber auch Bedeutung für jeden Wohnungsmieter:

- im Zusammenhang mit der Preisentwicklung bei den Energieträgern und
- der Erhöhung der Kaltmiete bei modernisierenden Investitionen zur Vermeidung von Energieverbrauch,
- letztendlich also im Zusammenhang mit den Wohnkosten.

Aus der Mehrfachfunktion von Wohnungen als Umwelt-, Wirtschafts- und Sozialgut entstehen Spannungsfelder: zwischen umweltpolitischen Ansprüchen, dem Wunsch nach bezahlbarem Wohnen in guter Wohnqualität und der Notwendigkeit rentierlicher Bewirtschaftung durch den Eigentümer.

Bereits vor etwa zehn Jahren sind die Wohnkosten vehement in die Diskussion zurückgekehrt. Dabei werden als Wohnkosten die Gesamtkosten aus Kaltmiete, kalten und warmen Betriebskosten bezeichnet. Umgangssprachlich ist das die Bruttowarmmiete. “Im Low-Budget-Bereich des Wohnungsmarktes geht es zunehmend wieder um die Wohnkosten, die der Mieter maximal aufbringen kann.” [Weeber 2008] In einer Studie der TU Darmstadt schätzen Stakeholder zur Aufgabe kommunaler Wohnungsunternehmen ein, dass angemessene Mieten und Nebenkosten das Thema Nummer Eins sind [Heitel, Kämpf-Dern et al 2012]. In einem Interview kommentierte Pfnür: “Wir waren schon sehr überrascht, mit welcher Deutlichkeit sich abzeichnete, dass die Bereitstellung bezahlbaren Wohnraums in Darmstadt derzeit die überragende Bedeutung für die Stakeholder hat.” [Bauverein Darmstadt 2011]

Dies ist nicht verwunderlich angesichts der zunehmenden Anforderungen in allen Bereichen des Wohnens (z. B. Wärmeschutz, Schallschutz, Brandschutz, Naturschutz, Qualität der technischen Anlagen, Elektro-

und Sanitärausstattung usw.) und der modernen individuellen Anforderungen an die Wohnqualität (z. B. Fußböden, Bad- und Küchenausstattung, Balkon bzw. Freisitz, Aufzug).

Wichtiger als die absoluten Wohnkosten (in Euro) ist aber die Betrachtung der spezifischen Wohnkostenbelastung eines Haushaltes (in Prozent). Die Wohnkostenbelastung ist der Quotient aus Wohnkosten und Haushaltsnettoeinkommen. Die Wohnkostenbelastung steigt vor allem

- bei überproportional steigenden Energiepreisen (d.h. oberhalb der Inflation)
- bei Erhöhungen der Kaltmiete, u.a. wegen (energetischer) Modernisierungen
- bei unterproportional steigendem Einkommen.

Wohnungsunternehmen müssen im Rahmen ihrer Bestandsbewirtschaftung entscheiden, bei welchen Objekten, in welchem Umfang und wann energiesparende Maßnahmen durchgeführt werden. Steigende Wohnkostenbelastungen - d. h. steigende Anteile vom Nettoeinkommen, die für das grundlegende Bedürfnis "Wohnen" aufgewendet werden müssen - können für Mieter wie Vermieter problematisch werden, wenn Mieter die gestiegenen Wohnkosten nicht aus dem Verzicht auf anderen Konsum oder auf das Sparen finanzieren können. Dies betrifft als Vermieter insbesondere die Wohnungsunternehmen, die zum größten Anteil Wohnungen für Haushalte mit geringen Einkommen oder Transfereinkommensbezieher zur Verfügung stellen. Objekte mit niedrigeren Wohnkosten sind nach wie vor meist weniger bis nicht modernisierte Wohnungen in geringerem Standard. Aus Umzügen können so unerwünschte Segregationsprozesse resultieren.

Mieterhaushalte weisen entsprechend des Sozio-Ökonomischen-Panels SOEP höhere Wohnkostenbelastungen auf, als Eigentümerhaushalte. Im Durchschnitt liegt die Wohnkostenbelastung für Mieterhaushalte bereits bei ca. 34 %, die der Eigentümerhaushalte (einschließlich der Aufwendungen für Zinsen und Tilgung von Krediten) bei 18 %. Über ein Drittel der Mieterhaushalte haben Wohnkostenbelastungen von 40 % und mehr (darunter fallen allerdings auch diejenigen Haushalte, denen die Kosten der Unterkunft erstattet werden). Steigt diese Wohnkostenbelastung aus welchem Grund auch immer weiter an, so werden sie kritisch. Energetische Teil- oder umfassende Modernisierung hilft nur dann zu einer langfristigen Verminderung der Wohnkostenbelastung, wenn es gelingt die Maßnahmen im Bereich etwa gleichbleibender Bruttowarmmiete durchzuführen. Genau dies ist aber wirtschaftlich kaum möglich. Die sich einstellenden Sprünge in der Wohnkostenbelastung nach energetischer Modernisierung sind meist so erheblich, dass die Wohnkostenbelastung trotz Energiepreisteigerung auch nach 20 Jahren noch höher ist als in energetisch unmodernisierten Gebäuden [Vogler 2014].

Ganz ähnlich sind die Erkenntnisse einer Studie für den Neubau [Müller, Pfnür 2016]. Zunehmende energetische Anforderungsniveaus führen zu einem höheren Investitionsbedarf. Entsprechend dem höheren Investitionsbedarf fordert der energieeffizientere Standard eine höhere Nettomiete zur Refinanzierung des Investments ein. Berechnungen zeigen, dass die erforderliche Netto-Anfangsmiete zum Erreichen einer anvisierten Eigenkapitalrendite (Zielrendite) in Höhe von 3,5 % in der Ausführung auf dem Standard QP 55% / HT' 85% um mindestens 0,8 EUR/m² im Monat über der erforderlichen Netto-Anfangsmiete nach dem Niveau EnEV 2014 liegt. Gleichzeitig sind die zusätzlichen Energieeinsparungen geringer, als die zur Refinanzierung der höheren Gestehungskosten erforderliche zusätzliche Kaltmiete. Die Kosten des Wohnens steigen damit infolge der zur höheren Energieeffizienz notwendigen Investitionen und ausgehend von einem bereits hohen Energiestandard summa summarum stärker an als der Nutzen aus der Energieeinsparung. Dieses Verhältnis ändert sich auch über lange Betrachtungszeiträume nicht (10/20 Jahre). In den in der Studie betrachteten Fällen verbessern auch angenommene Energiepreisteigerungen die Wirtschaftlichkeit nicht. Die Effekte einer Energiepreisteigerung sind im Vergleich zu bspw. einer Mietsteigerung gering, da bereits nach EnEV 2014 die Energiekosten nur noch ca. 4% der gesamten Wohnkosten ausmachen.

Um die Wohnkosten und damit die Wohnkostenbelastung der Mieterhaushalte mit anspruchsvollem Klimaschutz verbinden zu können, hat die Wohnungswirtschaft eine Reihe von Vorschlägen entwickelt.

- Sehr wichtig wäre es, die Erfahrungen der letzten 15 Jahre bei der Verminderung von Energieverbrauch und CO₂-Emissionen systematisch zu evaluieren: Was bringt eigentlich was?
- Eine Experimentierklausel im geplanten Gebäudeenergiegesetz zur Optimierung von Gebäuden und Quartieren zur Vermeidung von Treibhausgasen bei optimierter Energieeffizienz würde Freiheit für eine differenzierte Quartiersplanung geben: Abriss und Neubau, komplett, teilweise oder gar nicht energetisch modernisieren, Nah- oder Fernwärme kombiniert mit lokaler erneuerbarer Energie. Eine Experimentierklausel kann den praktischen Versuch möglich machen, ob so ein Vorgehen zu wirtschaftlichen und sozialverträglichen Ergebnissen bei hoher Klimaschutzwirkung führt.
- Verschiedene Untersuchungen– nicht nur in der Energieprognose der Wohnungswirtschaft – zeigen, dass bei gleichen verfügbaren Investitionsmitteln mehr energetische Modernisierung in solidem durchschnittlichen Standard insgesamt mehr Energieeinsparung bringt als wenig Modernisierung mit sehr hohem Effizienzstandard.
- Für eine nachhaltige und optimale Energieeffizienzsteigerung ist es notwendig, die Liegenschaften als Gesamtsystem aus Betriebsführung der Heizungstechnik, Optimierung der Hydraulik und Berücksichtigung des individuellen Nutzerverhaltens zu optimieren. Die Wechselwirkungen zwischen Wärmeerzeugung, -verteilung und Regelungstechnik in den Wohnungen sowie Nutzerverhalten müssen weiter untersucht werden.
- Für den Klimaschutz ist eine eingesparte Tonne CO₂ umso mehr wert, je eher sie eingespart wird. Vor diesem Hintergrund sollte auch über einen „Barwert eingesparter Treibhausgase“ nachgedacht werden: Ist vielleicht die heute umgesetzte kleine oder mittlere CO₂-Minderung für den Klimaschutz ähnlich wertvoll wie die alternativ weit in der Zukunft erzielte große Einsparung?
- Lokal regenerativ erzeugter und genutzter Strom benötigt eine sehr unbürokratische Stromnutzung. Das gilt für Strom, der in die Wärmeerzeugung geht (Wärmepumpen) genauso wie für Allgemein- und Mieterstrom sowie Strom für Elektromobilität.
- Eine Bepreisung von CO₂-Emissionen, z.B. als CO₂-Steuer kann nur funktionieren, wenn sie für alle (auch alle Sektoren!) gilt und wenn sie für Haushalte mit niedrigen und mittleren Einkommen eine unbürokratische Variante für eine Rückerstattung findet.

2.5.1 Nebenkosten

Autor: Dr. Burkhard Schulze Darup

Zusätzlich zur Miete müssen Nebenkosten gezahlt werden. Dies ist im Mietvertrag zu vereinbaren. Die Betriebskostenverordnung [BetrKV 2003] regelt die Art der Belastung in § 1. „Betriebskosten sind die Kosten, die dem Eigentümer oder Erbbauberechtigten durch das Eigentum oder Erbbaurecht am Grundstück oder durch den bestimmungsmäßigen Gebrauch des Gebäudes, der Nebengebäude, Anlagen, Einrichtungen und des Grundstücks laufend entstehen. Sach- und Arbeitsleistungen des Eigentümers oder Erbbauberechtigten dürfen mit dem Betrag angesetzt werden, der für eine gleichwertige Leistung eines Dritten, insbesondere eines Unternehmers, angesetzt werden könnte; die Umsatzsteuer des Dritten darf nicht angesetzt werden.“ [BetrKV 2003]

In § 2 werden die einzelnen Betriebskosten aufgelistet. Dabei muss berücksichtigt werden, dass im Allgemeinen nicht alle Positionen zur Anrechnung kommen, z. B. weil ein Gebäude keinen Aufzug enthält oder keine Gartenarbeiten anfallen. Der Mieterbund hat diese Aufstellung in einfacher Form zusammengestellt:

„Grundsteuer:

Wird von der jeweiligen Kommune erhoben, teilweise steht in Mietverträgen auch „öffentliche Lasten des Grundstücks“.

Wasserkosten:

Hierzu zählen das Wassergeld, die Kosten der Wasseruhr und zum Beispiel auch die Kosten für eine Wasseraufbereitungsanlage.

Abwasser:

Das sind Gebühren für die Nutzung einer öffentlichen Entwässerungsanlage oder die Kosten der Abfuhr und Reinigung einer eigenen Klär- oder Sickergrube.

Fahrstuhl:

Das sind Kosten des Betriebsstroms, der Beaufsichtigung, Bedienung, Überwachung, Pflege und Reinigung sowie regelmäßige Prüfung der Betriebssicherheit und Betriebsbereitschaft.

Straßenreinigung / Müllabfuhr:

Kosten, die die Stadt dem Vermieter durch Abgabenbescheid in Rechnung stellt.

Hausreinigung / Ungezieferbekämpfung:

Kosten, zum Beispiel für eine Putzfrau, die die Flure, Treppen, Keller, Waschküche usw. reinigt. Kosten der Ungezieferbekämpfung sind nur die laufenden Kosten, zum Beispiel Kosten für ein Insektenspray.

Gartenpflege:

Sach- und Personalkosten, die durch die Pflege der hauseigenen Grünanlage entstehen. Kosten für die Erneuerung von Pflanzen oder für die Pflege von Spielplätzen zählen mit.

Beleuchtung:

Stromkosten für Außenbeleuchtung, Treppenhaus, Waschküche.

Schornsteinreinigung:

Schornsteinfegerkosten (Kehrgebühren) und Kosten der Immissionsmessung.

Versicherungen:

Gebäudeversicherungen gegen Feuer-, Sturm- und Wasserschäden, Glasversicherungen sowie Haftpflichtversicherungen für Gebäude, Öltank und Aufzug.

Hauswart:

Personalkosten für den Hausmeister, der zum Beispiel Gartenpflege, Schneeabsehbeseitigung, Treppenhausreinigung usw. übernimmt.

Gemeinschaftsantenne / Breitbandkabel:

Bei der Antenne können Betriebs-, Strom- und Wartungskosten auf die Mieter umgelegt werden. Beim Kabel kommt noch die monatliche, an die Telekom oder Kabel-Service-Gesellschaft zu zahlende, Grundgebühr hinzu. Anders, wenn der Mieter einen Vertrag direkt mit der Telekom oder einer privaten Kabel-Service-Gesellschaft geschlossen haben.

Einrichtungen für die Wäschepflege:

Kosten für die Waschküche, zum Beispiel auch für Gemeinschaftswaschmaschinen oder Trockner, das heißt Strom, Reinigung und Wartung der Geräte.“ [Mieterbund 2019]

Heizkosten und Warmwasserkosten stellen ebenfalls Nebenkosten dar und werden in der Regel verbrauchsabhängig abgerechnet, können aber auch in der Warmmiete enthalten sein. Die Verteilung der Nebenkosten auf die Mieter erfolgt nach unterschiedlichen Verteilschlüsseln wie z. B. Wohnfläche, Anzahl der Wohnungen, Kopfzahl etc. oder verbrauchsabhängig, wie bei Heiz- und Wasserkosten.

2.5.2 Einsparpotenzial bei den Wohnkosten

Im folgenden Diagramm werden beispielhaft Nebenkosten dargestellt angelehnt an Veröffentlichungen des Deutschen Mieterbunds [Mieterbund 2018]. Die tatsächlichen Höhen hängen sehr stark von der individuellen Immobilie, dem Verhalten der Bewohner aber auch der Gestaltung der Positionen durch die Verwaltung ab. Während bei Bestandsgebäuden die Betriebskosten für die Heizung die bestimmende Größe der Nebenkosten sind, relativiert sich bei hocheffizienten Gebäuden der Verbrauchsanteil für Wärme bzw. Energie und tritt z. T. deutlich hinter andere Positionen zurück wie z. B. Wasser/Abwasser und diverse Dienstleistungen zur Gebäudeerhaltung und Pflege des Gemeinschaftseigentums. Zunächst werden die kalten Betriebskosten in der linken Säule des Diagramms abgebildet. In der zweiten Säule kommen die Kosten für Heizung, Warmwasser, Heizungsabrechnung und Wartung der Gebäudetechnik hinzu. Der Haushaltsstrom wird ebenfalls aufgeführt, obwohl er üblicherweise direkt mit den Versorgungsunternehmen abgerechnet wird. Diese warmen Betriebskosten reduzieren sich durch hocheffiziente Gebäude (3. Säule) und durch erneuerbare Energien (4. Säule). Als relevante Einsparung ist die Heizkostenabrechnung zu sehen. Bei hocheffizienten Gebäuden nimmt diese Kostenposition einen unverhältnismäßig hohen Anteil ein. Im Extremfall lagen Abrechnungskosten über den Brennstoffkosten. Bei einem Flatrate-Modell können diese Kosten entfallen, indem den Mietern die Aufwendungen für Heizen, ein Warmwasser- und Haushaltsstrombudget „geschenkt“ werden. Bei Überschreitung der jeweils auskömmlich kalkulierten Verbrauchswerte zahlt der Mieter einen Ausgleich für die Differenz.

Zudem kann es künftig sinnvoll sein, Mobilität und externe Dienstleistungen als Service zum Wohnen anzubieten, wie dies heute bereits bei Generationenwohnen oder bei Wohnanlagen für ältere Menschen geschieht. Solch ein Vorgehen korrespondiert mit zukünftigen Versorgungskonzepten und erneuerbarer Energiebereitstellung.

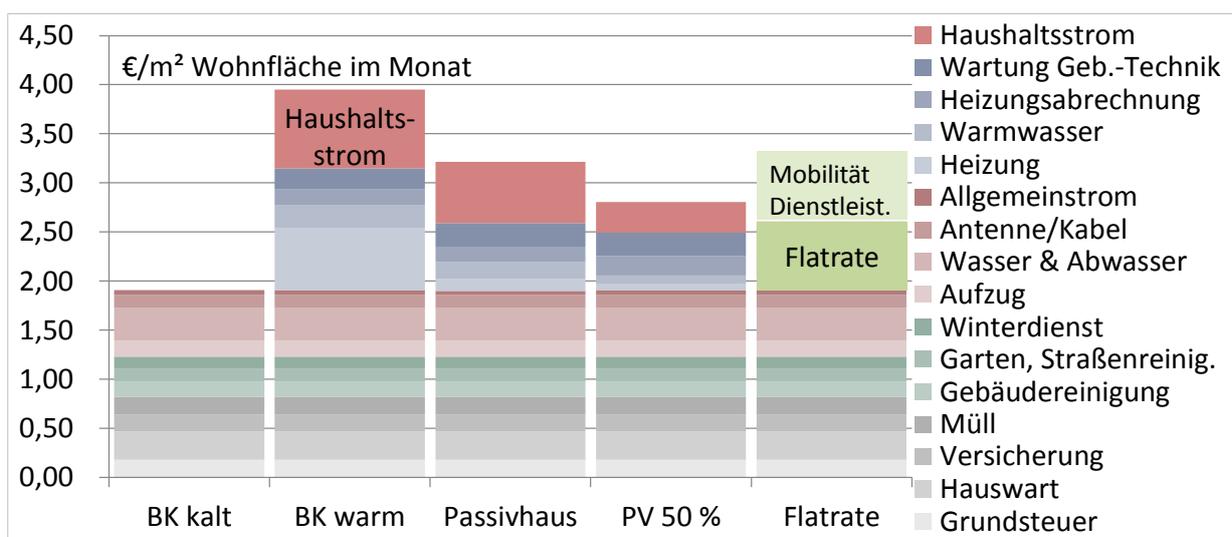


Abbildung 16 Wohnkostenvergleich

Zu den kalten Betriebskosten (links) werden in der zweiten Säule die Kosten für Heizung, Warmwasser, Heizungsabrechnung und Wartung der Gebäudetechnik hinzugefügt. Diese reduzieren sich durch

hocheffiziente Gebäude (3. Säule) und durch erneuerbare Energien (4. Säule). Als relevante Einsparung ist die Heizkostenabrechnung zu sehen, die bei einem Flatrate-Modell entfallen kann. Zudem kann es künftig sinnvoll sein, Mobilität und externe Dienstleistungen als Service zum Wohnen anzubieten, wie dies heute bereits bei Generationenwohnen oder bei Wohnanlagen für ältere Menschen angeboten wird.

Für die Mietpartei ist entscheidend, wie hoch die Belastung durch das Wohnen in der Summe aus Miete und Nebenkosten liegt. Je höher die Nebenkosten liegen, desto geringer ist das Budget für die Kaltmiete. Das Mieter-Vermieter-Dilemma hinsichtlich der verbrauchsabhängigen Nebenkosten lässt sich also möglicherweise zum Teil auflösen, indem gezielt nach Lösungen gesucht wird, die beiden Seiten gerecht werden. Das Flatrate-Modell und die optionale Einbeziehung zusätzlicher Dienstleistungen und eines Mobilitätsangebots können das Budget von Mietern dabei nachhaltig entlasten.

2.6 Nationale Effizienzstandards & Ordnungsrecht versus Förderung

Welche Rahmenbedingungen sind notwendig, um in den nächsten Jahren hocheffiziente Standards zielgerichtet im Markt zu etablieren? Die politisch relevante Frage lautet: erzielen wir die erforderlichen Klimaschutzstandards durch verschärftes Ordnungsrecht, durch deutlich erhöhte Förderung oder durch eine Mischung von beidem? Oder provokativ ausgedrückt: Wie lange müssen für sukzessive wirtschaftlicher erreichbare Effizienzstandards Steuergelder oder Klimaschutzfonds bemüht werden? Brauchen wir Dauerförderung oder werden die notwendigen Effizienzstandards schnell erwachsen? Aus Sicht des Steuerzahlers wäre es begrüßenswert, wenn die Bauwirtschaft diesen Entwicklungsprozess möglichst zielgerichtet und schnell zu einem Erfolg führt. Bezüglich der Leistungsfähigkeit in der Branche können wir optimistisch sein: vor der EnEV-Anpassung 2016 galt die Prognose, dass in der Breite kaum mehr als der KfW EH 70 Standard erreichbar sei. Der Markt belehrte uns eines Besseren: während im Jahr 2015 nur 26.000 Wohneinheiten im Standard KfW EH 55 gebaut wurden, waren es 2016 bereits 93.000 geförderte Wohnungen. Tendenz stark steigend. Obendrein erhöhten sich die Standards KfW EH 40 und KfW EH 40 Plus von 8.200 auf 19.200 Einheiten [KfW-Angaben 2016]. Angesichts der sich verbessernden Effizienz-Komponenten ist absehbar, dass ein passivhaus-äquivalenter Standard im Jahr 2021 marktgängig sein wird. Eine mögliche Option könnte die verbindliche Festsetzung solch eines Standards in Verbindung mit einer Förderung sein, die in den Folgejahren geplant degressiv verläuft. Ergänzend kann dabei aus der erfolgreichen KfW Effizienzhaus 55 Förderung gelernt werden. Vielleicht lautet die entscheidende Frage, wie das Förderverfahren und insbesondere die Berechnungsmodalitäten vereinfacht werden können. Ein wichtiger Aspekt ist dabei eine möglichst einfache Fassung des neu zu etablierenden Gebäudeenergiegesetzes (GEG). Eine provokante Forderung könnte lauten „GEG auf drei Seiten!“ Vielleicht bietet sich an dieser Stelle die Chance für einen ambitionierten Politikansatz, den Gap zwischen Anspruch und Wirklichkeit in der Klimapolitik zu schließen, indem es schlichtweg für die Bauschaffenden planerisch und handwerklich einfach gemacht wird, die für den Klimaschutz erforderlichen Baustandards auf pragmatischem Weg umzusetzen.

2.6.1 Entwicklung von der Wärmeschutzverordnung über die EnEV zum GEG

Die Anforderungen an Bauphysik und energetische Kennwerte haben sich seit der ersten Ölkrise in den 1970er Jahren und der daraus resultierenden ersten Wärmeschutzverordnung von 1977 grundlegend verändert. Allein der Umfang der Anforderungen spricht für sich: während der Verordnungstext 1977 gerade einmal drei Seiten umfasste, stieg er mit der EnEV 2002 bereits auf 17 Seiten. Allerdings wurde die Heizanlagenverordnung dabei einbezogen.

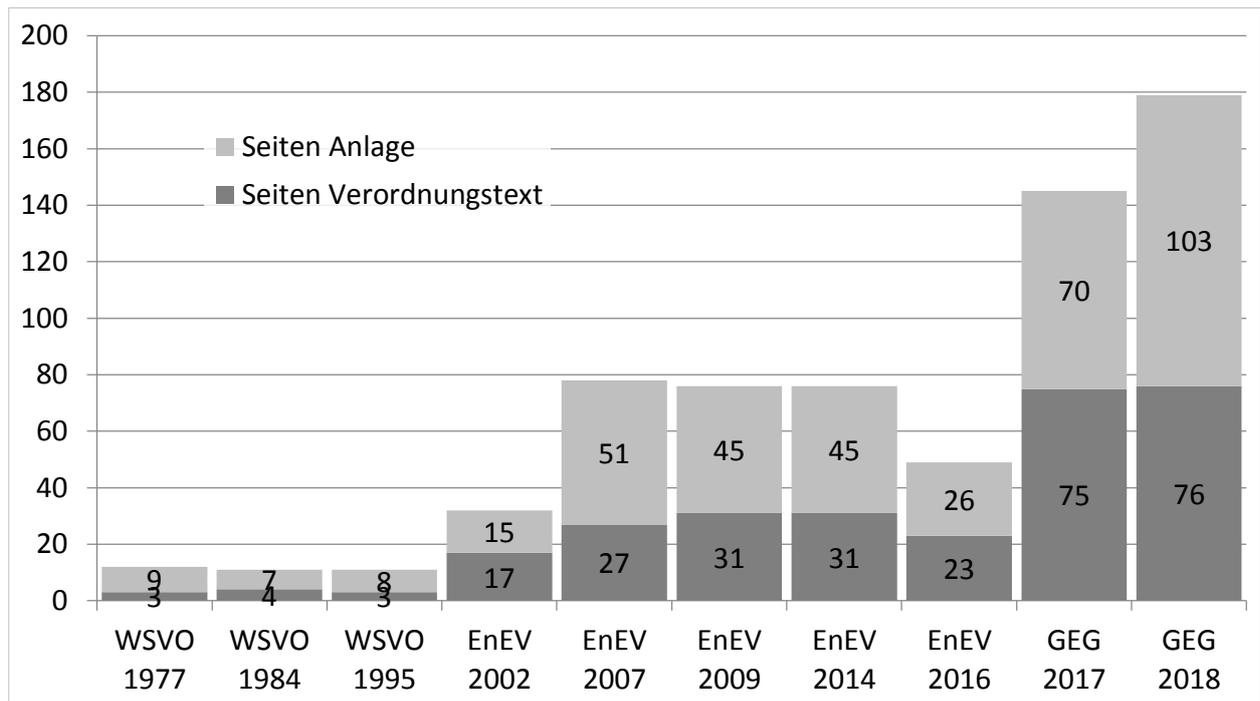


Abbildung 17 Seitenzahl von EnEV und GEG

Entwicklung von der Wärmeschutzverordnung (WSVO) über die Energieeinsparverordnung (EnEV) zum Gebäudeenergiegesetz (GEG): Die Anforderungen wurden immer komplexer und unverständlicher. Die Darstellung erfolgt anhand der Seitenanzahl der jeweiligen Verordnung und der Anlagen.

Ein deutlicher Volumensprung war bei der EnEV 2007 zu verzeichnen, obwohl in dem Jahr – wie auch 2014 – keine Erhöhung der energetischen Anforderungen aufgenommen wurde. Der Referentenentwurf für das GEG 2018 enthält zusätzlich zu den Anforderungen der EnEV die Regularien des Erneuerbare-Energien-Wärmegesetzes (EEWärmeG) und des Energieeinsparungsgesetzes (EnEG). Der Umfang steigt auf insgesamt 179 Seiten. Aufgrund der zahlreichen internen Verweise und der komplexen politischen Anforderungen unterschiedlicher Interessengruppen ist das Werk selbst für Fachleute extrem komplex und kaum mehr durchschaubar geworden. Für Praktiker birgt es erst recht keinen hohen Anreiz, sich im Text zu vertiefen. Auf die Frage bei zwei Energieberatertagen gaben von den mehreren hundert Teilnehmern insgesamt weniger als fünf Energieberater an, den Referentenentwurf gelesen zu haben [Schulze Darup 2017]. Dabei sind sie diejenigen, die ihn umzusetzen haben. Erschwerend kommt der komplexe energetische Nachweis hinzu, für den zunächst ausschließlich die DIN 18599 geplant war. Auch hier gibt es auf den benannten Energieberatertagen Aussagen: mindestens 80 Prozent der Energieberater arbeiten ausschließlich nach den alten Rechenregularien der DIN V 4108-6 [Schulze Darup 2017]. Obwohl die EnEV Rechenwege als Nachweisinstrument flächendeckend genutzt werden, ist es mit ihnen nur bedingt möglich, hocheffiziente Gebäude im Planungsprozess zu optimieren. Die Ergebnisse stimmen in der Praxis nur bedingt mit den realen Energieverbrauchswerten überein. Dafür gibt es zahlreiche sich addierende Ursachen. Dazu gehören u. a.:

- Der Flächenbezug sorgt sowohl bei den Bedarfsausweisen als auch bei den Verbrauchsausweisen für Verwirrung. Die EnEV/GEG-Bezugsfläche A_N (Berechnung: beheiztes Gebäudevolumen multipliziert mit dem Faktor 0,32) liegt bei Mehrfamilienhäusern 20 % bis über 30 % oberhalb der Wohnfläche.

- In vielen Fällen kann auf Nachfrage von den Beteiligten in der Wohnungswirtschaft nicht angegeben werden, ob sich die Kennwerte auf A_N oder die Wohnfläche beziehen. Dadurch ergibt sich ein Fehler von 20 bis mehr als 30 Prozent.
- Der angesetzte 0,6- bis 0,7-fache Luftwechsel wird in der Praxis nicht erreicht. Bei Fensterlüftung liegt der Wert im Mittel bei 0,3. Daraus resultiert unhygienische Raumluft in den Wohnungen und ein zu hoher Rechenwert für den Heizwärmebedarf.
- In Bestandswohnungen werden nicht alle Räume durchgängig beheizt. Dadurch liegt der Verbrauch niedriger als berechnet. Im Gegenzug liegt bereits bei mäßig gedämmten Gebäuden die mittlere Raumtemperatur während der Heizperiode bei 21 bis 23 ° C für alle Räume. Daraus ergeben sich erhöhte Verbrauchswerte von knapp zehn bis über 20 Prozent.

Für hocheffiziente Gebäude sind u. a. folgende Aspekte von hoher Bedeutung und führen mitunter zu sehr deutlichen Abweichungen zwischen Rechen- und Verbrauchswert. Die folgende Auflistung behandelt nur einige wesentliche Stellschrauben und erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit:

- Werden Wärmebrücken pauschal mit einem Beiwert von $\Delta U_{WB} = 0,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ in Ansatz gebracht, kann kein hocheffizientes Gebäude angemessen nachgewiesen werden.
- Effiziente Lüftungstechnik mit Wärmerückgewinnung kann durch die Standardwerte im Rechenverfahren nicht angemessen berücksichtigt werden. Dafür müssen anlagenspezifische Kennwerte in den Rechenweg eingegeben werden.
- Die Lüftungswärmeverluste werden mit einem Leckage-Beiwert von $0,2 \text{ h}^{-1}$ belastet. Dadurch erhöhen sich die Lüftungswärmeverluste deutlich. Zudem wird die Luftdichtheit des Gebäudes nicht stimmig berücksichtigt.
- Die solaren Gewinne und die Gradtagszahlen können zu falschen Ansätzen führen, weil sie nicht auf die kurze Heizzeit hocheffizienter Gebäude ausgelegt sind.
- Die internen Gewinne für Wohngebäude liegen bei gut $2 \text{ W}/\text{m}^2$. Nach EnEV/GEG werden jedoch $5 \text{ W}/\text{m}^2$ in Ansatz gebracht. Deshalb liegen die resultierenden Heizwärmebedarfs-Kennwerte der EnEV-Berechnung um mehrere Kilowattstunden pro m^2 unter dem realistischen Bedarf.
- Wird die Heizanlage mit Standard-Kennwerten im Rechenverfahren eingegeben, können deutliche Abweichungen auftreten. Das betrifft sowohl den Wandlungsprozess als auch die Anlagenverluste. In Extremfällen der DIN 18599 können z. B. überhöhte Verteilverluste aus der Warmwasserbereitung dafür sorgen, dass der Heizwärmebedarf gegen Null geht.

Diejenigen Rechenprogramme, die individuelle Einstellungen zu den zahlreichen Parametern zulassen, ermöglichen bei versierten Planern stimmige Ergebnisse. Werden für den EnEV-Nachweis die Werte zurück auf die Standardeinstellungen geschaltet, verändern sich die Ergebnisse in den meisten Fällen deutlich.

Die Diskussionen im Rahmen des Forschungsvorhabens zeigen zudem deutlich, dass vor allem bei der Gebäudetechnik einfachere und kostenoptimierte Lösungen notwendig sind, um die Ziele der Energiewende zu erreichen. In den Projektworkshops wurde vielfach deutlich, dass die aktuelle EnEV/GEG-Bewertung der vorhandenen Techniken nicht den Weg vorzeichnet, der in der Baupraxis für die Einführung der Plusenergietechnik notwendig ist (vgl. Kapitel 4).

2.6.2 Entwicklung der Wärmeschutz-Anforderungen

Bei den Anpassungen der EnEV sind es vor allem die Anforderungen an den Wärmeschutz, die hoch emotional diskutiert werden. Das ist unverständlich, weil die Gebäudetechnik-Anforderungen in den letzten Jahren die wesentlicheren Kostentreiber waren. Die folgende Tabelle zeigt die Entwicklung der U-Wert-Anforderungen in den vergangenen vierzig Jahren auf sowie die Entwicklung im Best Practice Sektor.

Tabelle 1 Entwicklung von der WSVO über die EnEV zum GEG
Darstellung der U-Werte und Dämmdicken für die wichtigsten Bauteile

Verordnung, Förderstufe, Effizienzstandard		Außenwände	Dämmdicke	Außenwände gegen Erdreich	Decken gegen Außenluft	Dächer	Dämmdicke	Kellerdecke & Bodenplatte	Dämmdicke	Fenster
		W/m ² K	cm	W/m ² K	W/m ² K	W/m ² K	W/m ² K	W/m ² K	W/m ² K	
WSVO 1977	Mindestwerte	1,45-1,75 ¹⁾		0,90	0,45	0,45		0,8-0,9		
WSVO 1984	Mindestwerte	0,60	5	0,70	0,45	0,45	8	0,70	4	2,6 ²⁾
WSVO 1995	Mindestwerte	0,50	7		0,22	0,22	22	0,35	10	2,6/0,7 ³⁾
EnEV 2002 ⁴⁾	Mindestwerte	0,45	8	0,40	0,30	0,25	17	0,40	8	1,70
EnEV 2007	Mindestwerte	0,45	8		0,30	0,25	17	0,40	8	1,70
EnEV 2009	Referenzwerte	0,28	13	0,35	0,20	0,20	22	0,35	10	1,30
EnEV 2014	Referenzwerte	0,28	13	0,35	0,20	0,20	22	0,35	10	1,30
EnEV 2016 ⁵⁾	Referenzwerte	0,28	12	0,35	0,20	0,20	20	0,35	9	1,30
GEG 2017 ⁶⁾	Referenzwerte	0,28	12	0,35	0,20	0,20	20	0,35	9	1,30
KfW EH 55	U-Wert-Anforderungen	0,20	16	0,25	0,14	0,14	28	0,25	12	0,90
KfW EH 40	Projektierungswerte Ø	0,18	18	0,20	0,14	0,14	28	0,20	16	0,85
Passivhaus	PH-Kriterien	0,15	22	0,15	0,15	0,15	27	0,15	21	0,80
Passivhaus kompakt	A/V=0,5	0,16	20	0,18	0,15	0,15	27	0,20	16	0,75
Passivh. sehr komp.	A/V=0,3	0,18	18	0,20	0,16	0,15	27	0,20	16	0,75
Passivh. optimiert ⁷⁾	hochwertige Kompon.	0,20	16	0,16	0,16	0,16	25	0,20	16	0,70

1) Mittlerer U-Wert der Wand inkl. Fenster

2) In der WSVO 1984 keine Angabe zum U-Wert, sondern folgende Angabe: Fenster mit Doppel- und Isolierverglasung

3) Wert von 0,7 inkl. Berücksichtigung der solaren Gewinne

4) Die Anlagenverordnung wurde in die EnEV mit aufgenommen

5) Ab EnEV 2016 werden die Dämmdicken für eine Leitfähigkeit von $\lambda = 0,035 \text{ W/(mK)}$ angegeben, vorher $0,04 \text{ W/(mK)}$

6) Einbeziehung von Energieeinsparungsgesetz (EnEG) und Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG)

7) Hochwertige Fenster, verbesserte Wärmebrücken, Luftdichtheit und Lüftung ermöglichen Einsparungen bei den U-Werten

Der „gefühlte“ U-Wert im Mainstream des Baugeschehens hat sich ständig an die sich entwickelnde Technik angepasst. Leitgröße war dabei über lange Zeit die Entwicklung der Fenster-U-Werte, die automatisch angemessene Werte für die opake Dämmung nach sich zog. Bezeichnenderweise ging es in diesbezüglichen Diskussionen nie um die Dach- und Grund-U-Werte, sondern fast ausschließlich um die der Außenwände. Dort lag der Schwerpunkt der Auseinandersetzungen vor allem auf der Dämmdicke eines Wärmedämmverbundsystems und ging vor allem entlang der Werte, die durch massive Mauerwerkskonstruktionen realisierbar waren. Während in den 1970er Jahren etwa vier Zentimeter Dämmdicke üblich waren, stieg der Wert in den 1990ern auf acht bis zehn Zentimeter. Längere Zeit lag die meisteingebaute Plattendicke seit 2002 bei 12 bis 16 Zentimetern. Durch den hohen Anteil an KfW EH 55-Förderungen ist die „gefühlte Dämmdicke“ inzwischen bei Werten zwischen 16 und 20 Zentimetern angekommen. Versierte Planer erreichen mit diesen Standards bei Geschossbauten mit optimierter Gebäudegeometrie und günstigem A/V-Verhältnis den Passivhaus-Standard. In der obigen Tabelle werden dafür Beispiele am unteren Ende der Aufstellung gezeigt.

2.6.3 GEG- und Förderstandards

Die BRD ist im Klimaranking ins Mittelfeld zurückgefallen. Angesichts der jahrelangen Vorreiterrolle insbesondere im Gebäudebereich vergibt sich unsere Bauindustrie damit gewaltige Exportchancen. In wenigen Jahren werden andere Volkswirtschaften uns überholt haben. Sowohl aus Sicht des Klimaschutzes als auch aus rein wirtschaftspolitischen Gründen spricht alles dafür, ein klein wenig mutiger zu sein als es die aktuelle Fassung des GEG-Referentenentwurfs vorsieht.

Das Anforderungsniveau der WSVO 1995 war in einigen Bereichen bereits anspruchsvoller als es die aktuelle GEG-Fassung hinsichtlich der Gebäudehülle verlangt. Wenn die Primärenergieanforderung durch einen sehr günstigen Primärenergiefaktor einfach erfüllt wird, können die Mindestanforderungen an die Gebäudehülle genutzt werden, die sicherlich keinen zukunftsfähigen Standard darstellen. Bereits vor Ablauf der Nutzungszeit ihrer Konstruktionen werden diese Gebäude eine energetische Ertüchtigung benötigen.

Das GEG muss Vorsorge tragen für die notwendigen Leitplanken der Energiewende. In Kapitel 4.7 wird beschrieben, dass die BRD nicht in der Lage ist, den heutigen Energiebedarf vollständig erneuerbar bereitzustellen. Es ist eine Reduktion des Endenergiebedarfs um möglichst 50 Prozent erforderlich. Der Gebäudesektor ist entscheidend für die Erfüllung dieser Einspar-Anforderung. Die folgende Tabelle zeigt einen Pfad, wie wir mit heute marktverfügbaren Techniken die Klimaschutzanforderungen im Gebäudebereich erfüllen können. EnEV und KfW-Förderung haben über Jahre in hervorragender Abstimmung eine Parallelverschiebung des Energiestandards durchgeführt ohne die Bauwirtschaft zu überfordern. Jeder Anpassungsschritt konnte durch neue Techniken letztendlich kostengünstig umgesetzt werden. Die Kosten der jeweils innovativen Komponenten sanken jeweils bei breitenwirksamer Einführung drastisch. Besonders gut zu beobachten war das bei den Fenstern (s. Kap. 3.2.4).

Ausgehend vom heute bereits breitenwirksam umgesetzten KfW EH 55-Standard sind es seitens der Gebäudehülle nur noch kleine Anpassungsschritte. Die aktuell weitestgehend eingeführten U-Werte für die Wand von $0,18 - 0,20 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ und fürs Dach von $0,14 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ müssen in den nächsten Jahren nur noch geringfügig nach unten angepasst werden. Für kompakte Mehrfamilienhäuser sind diese Werte bei optimierter Planung bereits für den Passivhaus-Standard ausreichend. Entsprechend könnten die Werte unten in der Tabelle für Einfamilienhäuser gelten und bei sehr günstigem A/V-Verhältnis ein Bonus möglich sein. Bei weiterer Verbesserung von Fenstern und Lüftungssystemen wird sich bei Mehrfamilienhäusern ein Energiewende-kompatibler Wärmeschutz in diesem Segment einstellen.

In der Tabelle unten wird ein Szenario dargestellt, das unter dieser Vorgabe in den Jahren 2019 und 2021 nur noch geringfügige Anpassungen bei der Gebäudehülle erfordert. Die U-Wert-Rallye ist zu Ende! Die Entwicklungen bei hochwertigen Komponenten der Gebäudehülle sowie der Gebäudetechnik und bei den erneuerbaren Energien werden dazu führen, dass die Planung und Umsetzung zukunftsfähiger Gebäude zunehmend einfacher und kostengünstiger möglich sein wird. Als Beispiel dafür sind die Verbesserungen von Fenster- und Lüftungskomponenten der letzten Jahre zu benennen.

Ein deutlicher Handlungsbedarf ist hinsichtlich der Kriterien für die Gebäudetechnik und Versorgungssysteme gegeben. Die aktuellen Anforderungen des GEG als Fortführung des EEWärmeG setzt falsche Impulse für die Anforderungen der Energiewende (s. Kapitel 4) und führt zudem zu unangemessen hohen Kosten. Innovative Entwicklungen in diesem Sektor stellen jedoch eine große Chance dar, kostengünstig hochwertige Gebäude zu erstellen.

Tabelle 2 Szenario für die weitere Entwicklung von GEG und KfW-Förderung

Die Tabelle zeigt die erfolgreiche Parallelverschiebung von EnEV-Standard und KfW-Förderung der letzten Jahre. Standards der Gebäudehülle haben sich allerdings seit 2009 nicht mehr relevant hinsichtlich der EnEV-Anforderungen verändert (vgl. Kap. 3.2.1-3). Die Gebäudehüllen-Kennwerte der kommenden Jahre sind für den Bereich der Einfamilienhäuser zu sehen. Mehrfamilienhäuser mit sehr gutem A/V-Verhältnis könnten im GEG einen Bonus erhalten.

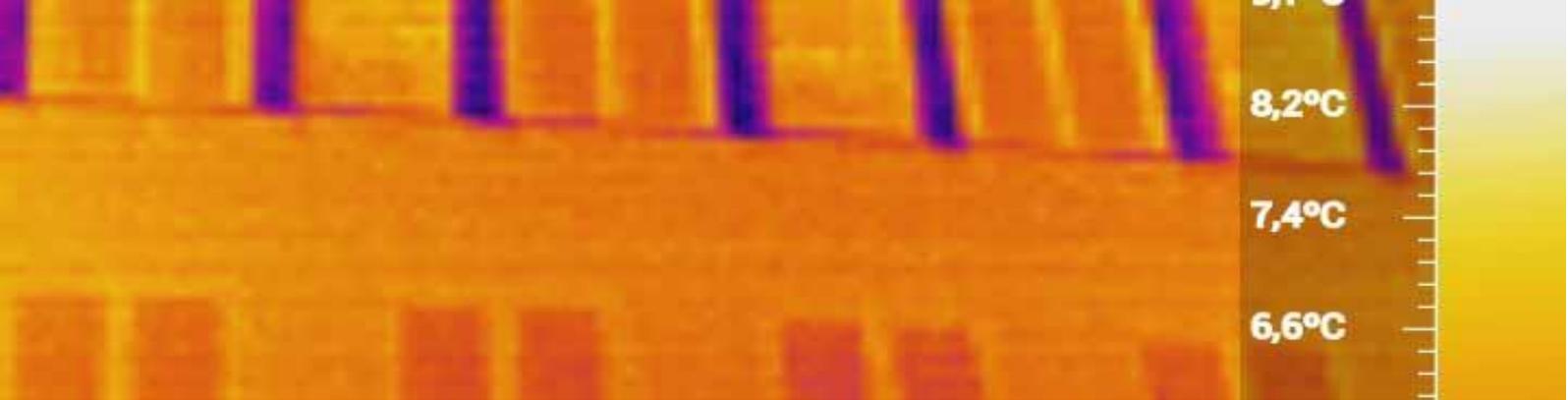
		1995	2002	2009	2016	2019	2021	2025	2030
1995		WSchVO							
2002			EnEV 2002						
2009				EnEV 2009	KfW 70	KfW 55	KfW 40		
2016					EnEV 2016	KfW 55	KfW 40	KfW 40plus	
2019						EnEV 2019	KfW 40plus	KfW 30plus	KfW 30premium
2021							EnEV 2021	KfW 30plus	KfW 30premium
Außenwand	U-Wert	0,30	0,28	0,24	0,22	0,20	≤ 0,16	≤ 0,15	≤ 0,15
Dach	U-Wert	0,28	0,26	0,24	0,20	0,14	≤ 0,12	≤ 0,12	≤ 0,12
KG-Decke	U-Wert	0,40	0,35	0,30	0,28	0,25	≤ 0,20	≤ 0,18	≤ 0,18
Fenster	U-Wert	1,80	1,60	1,30	≤ 0,9-1,1	≤ 0,9	≤ 0,8	≤ 0,75	≤ 0,7
Wärmebr.	ΔU_{WB}		0,05	0,05	0,05	≤ 0,035	≤ 0,02	≤ 0,02	≤ 0,02
Luftdichtheit	n_{50}		≤ 3,0 h ⁻¹	≤ 1,5 h ⁻¹	≤ 1,5 h ⁻¹	≤ 1,0 h ⁻¹	≤ 0,8 h ⁻¹	≤ 0,6 h ⁻¹	≤ 0,6 h ⁻¹
Lüftung		k. A.	k. A.	Abluftanlagen		Zu-/Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung			
Heizung/WW	% ern.	k. A.	k. A.	ca. 20 %	ca. 20 %	≥ 30 %	≥ 40 %	≥ 60 %	≥ 90 %
Strom	% ern.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	≥ 20 %	≥ 30 %	≥ 60 %	≥ 80 %
Heizwärmeb.	kWh/m ² a	ca. 110	ca. 90	ca. 70	ca. 50	ca. 30	ca. 15	≤ 15	≤ 15

2.6.4 Komplementäres soziales Wohnbauprogramm

Angesichts des Auseinanderdriftens des hochpreisigen Immobiliensektors und der erforderlichen Wohnungen im unteren Kostensegment muss zudem dringend hinterfragt werden, ob der Wohnungssektor nicht komplementär zu den energetischen KfW-Programmen ein umfassendes neu zu definierendes soziales Wohnbauprogramm benötigt, das auch regionale Marktunterschiede und berechnete Anliegen der Wohnungswirtschaft in die Förderstruktur einbezieht und langfristige Mietbindungen für eine hohe Anzahl von Wohnungen sicherstellt. Für Personengruppen mit niedrigem Einkommen muss dauerhaft ausreichender Wohnraum mit niedrigen Wohnkosten verfügbar sein (vgl. Kap. 2.5)

2.6.5 KfW-Förderung

Die KfW-Förderung für Neubau und Sanierung hat durch die Verstärkung und zielgenaue Anpassung ihrer Programme seit etwa 2007 hervorragende Impulse gegeben, um marktverfügbare innovative Techniken sukzessive breitenwirksam einzuführen. Dabei gab es eine beständige Parallelverschiebung von EnEV- und KfW-Standards. Kontinuität bei der Förderung ist Voraussetzung für Planungssicherheit und Akzeptanz. Ziel muss es sein, dass ab 2021 nur noch hochwertige Standards gebaut werden und das GEG diese vorschreibt. Da möglicherweise für einige Jahre solch ein Standard nicht vollständig wirtschaftlich ist, kann parallel dazu eine degressiv verlaufende „Förderung eines „Deckungsfehlbetrages“ zur Wirtschaftlichkeit“ [Markfort 2019] erfolgen. Zugleich werden durch diesen Prozess in der Bauwirtschaft innovative Techniken in der Breite verankert, was sinkende spezifische Kosten bewirken und somit die Wirtschaftlichkeit innerhalb weniger Jahre herbeiführen wird. Dabei ist es eine Frage des verantwortungsvollen Umgangs mit Steuergeldern, ob sich die Förderrahmenbedingungen an Best-Practice-Planung oder an Akteuren am Ende der Know-how-Skala orientieren.



3 Grundlagen kostengünstiger und zukunftsfähiger Planung

Die Produktivität von Wirtschaftszweigen hat sich in den letzten Jahrzehnten sehr unterschiedlich entwickelt. Während seit den 1950er Jahren pro geleisteter Arbeitsstunde in der Landwirtschaft die Wertschöpfung preisbereinigt um das 16-fache gestiegen ist und in der Industrie um das Achtfache, so ist sie im Bereich des Bauwesens in etwa gleich geblieben. Demgegenüber hat sich die Politik „in puncto Infrastruktur und Bau in Deutschland ambitionierte Ziele gesetzt: Für Ausbau und Erhalt sind zusätzliche Mittel eingeplant. Für die Verkehrsinfrastruktur steht der Bundesverkehrswegeplan. Der Stromtrassenausbau ist beschlossene Sache. Der Breitbandausbau soll bis 2025 die Gigabit-Anbindung (fast) flächendeckend ermöglichen, und bis zu 400.000 neue Wohnungen pro Jahr sollen in Ballungsgebieten schon in naher Zukunft bezugsfertig werden – auch Wohnungen im stark subventionsabhängigen unteren Mietpreissegment, so die Zielsetzung“ [Mc Kinsey 2018]. Dazu kommt der sich immer stärker abzeichnende Fachkräftemangel in der Bauindustrie, der seit einigen Jahren zunehmend für Engpässe bei der Abwicklung von Bauaufträgen führt.

Die sich daraus ergebenden Fragestellungen werden grundlegende Auswirkungen auf zukünftige Planungen und Bauprozesse haben. Eine Erhöhung der Produktivität ist vor allem durch die Substitution von Arbeitskraft mittels serieller industrieller Fertigung möglich. Bereits in den 1970er Jahren gab es Anstrengungen zur Vorfertigung beim Bauen. Ein Schwerpunkt lag dabei auf Vorfertigung im Massivbau mit Stahlbetonfertigteilen. In der damaligen DDR wurde dabei zielgerichteter vorgegangen, sodass große Stückzahlen vor allem im Wohnungsbau umgesetzt wurden. Die westdeutsche Bauindustrie blieb diversifizierter. Dadurch konnte keine industrielle Vorfertigung in großem Stil entstehen. Es ging vor allem darum, die Teilkomponenten vorzufertigen, um den Ablauf auf der Baustelle zu entlasten und zu vereinfachen. Als Beispiel seien vorkonfigurierte Planblöcke der KS-Industrie genannt, Dämmung als verlorene Schalung für die Bodenplatte, optimierte Putz- und Estrichverfahren oder vorgefertigte Laibungen für die Schnittstelle des Fenstereinbaus zur WDVS-Montage. All diese teilvorgefertigten Komponenten können sehr zu einer deutlichen Beschleunigung des Bauprozesses beitragen. Komplementär dazu entwickelte sich Vorfertigung vor allem im Bereich des Leicht- und Holzbaus. Auf Skaleneffekte bei den Kosten warten wir dort allerdings nach wie vor vergebens. Im Gegenteil, durch die hohe Nachfrage nach schnellen Lösungen mit elementierter Bauweise entstand vor allem seit der Flüchtlingskrise 2015 nicht nur eine überhöhte Nachfrage mit der Folge hoher Kosten, sondern in zahlreichen Fällen auch eine deutliche Überteuerung in Verbindung mit wenig nachhaltigen Lösungen [UBA 2016].

3.1 Spar- und Vereinfachungspotenziale von Baukonzepten

Die Erfahrungen aus den Projektworkshops belegen, dass in den frühen Leistungsphasen Grundlagen für die Wirtschaftlichkeit eines Bauvorhabens gelegt werden. In der Vorentwurfsphase erfolgt die Festlegung der wichtigsten Kostenentscheidungen, beim Entwurf kann Optimierung stattfinden aber bereits in der Werkplanung geht es nur noch um die geringfügige Verbesserung von bereits getroffenen Entscheidungen.

Deshalb muss bei den ersten Leistungsphasen der Architektenleistungen eine besonders hohe Planungssorgfalt gelten. Das Tool, das in Kapitel 2.4 vorgestellt wird, kann dazu eine Hilfe darstellen, indem bereits beim Vorentwurf ein sehr breites Spektrum an Planungsentscheidungen systematisch durchgegangen wird. Wichtig ist dabei die interdisziplinäre Zusammenarbeit des gesamten Planungsteams bereits von Beginn an.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden zahlreiche Planungsworkshops in unterschiedlichen Leistungsphasen des Projektfortschritts durchgeführt. Die Diskussionen und der fachübergreifende Austausch führten in jedem Fall zu großem Gewinn für die Beteiligten und konnten Impulse für die jeweiligen Projekte geben. In den nächsten Kapiteln werden Ergebnisse aus den umfangreichen Diskussionen zusammengeführt und thematisch geordnet dargestellt.

3.1.1 Gebäudegeometrie und Ausrichtung

Das Verhältnis von Außenfläche zu Volumen eines Gebäudes weist eine hohe Kostenrelevanz auf. Gerade beim Geschosswohnungsbau ist es möglich, eine sehr günstige Gebäudegeometrie mit guter Grundrissgestaltung und hohen städtebaulichen Qualitäten zu verbinden. Pro Quadratmeter Hüllfläche sind 200 bis über 300 € zu veranschlagen, was in etwa den doppelten Kosten sonstiger Bauteile entspricht. Kostenoptimierte Planung stellt also Wohnfläche bzw. Wohnvolumen mit einem möglichst geringen Anteil Außenhüllfläche bereit. Die energetischen Anforderungen sind deckungsgleich: ein möglichst günstiges Verhältnis von Außenfläche (A) zu Gebäudevolumen (V) reduziert die Transmissionswärmeverluste pro Quadratmeter Nutzfläche. Dieses A/V-Verhältnis ist eine wesentliche Kenngröße bei der Heizwärmebedarfsberechnung nach EnEV / GEG.

Eine günstige Gebäudegeometrie und hohe Kompaktheit haben mehrere Aspekte:

- Die Wahl einer sinnvollen geometrischen Form ist Grundvoraussetzung für wirtschaftliche Gebäude.
- Große Gebäudetiefe führt zu einem günstigen A/V-Verhältnis, allerdings muss diese Entscheidung in Zusammenhang mit Belichtung, Ausrichtung und Belüftung getroffen werden.
- Dreigeschossige Wohngebäude liegen aus wirtschaftlicher und energetischer Sicht günstig. Sie weisen eine hohe Kompaktheit auf, ohne Sonderkosten bei höheren Gebäuden für Brandschutz, Erschließung (Fahrstuhl) etc. zu verursachen, liegen allerdings etwas ungünstiger mit Blick auf die Kompaktheit.
- Der Verzicht auf Vor- und Rücksprünge in der Fassade ist sehr vernünftig. Allerdings besteht das Leben – und schon gar nicht der Gebäudeentwurf – nur aus Vernunftgründen. Entwürfe sollten nicht unter energetischen Anforderungen leiden. Auf der anderen Seite gibt es zahlreiche Möglichkeiten hochwertiger klarer Gestaltung, ohne die thermische Hülle zu zerklüften.
- Es wäre konsequent, wenn bei ungünstigem A/V-Verhältnis die Energiekennwerte keinen Bonus erhalten, wie dies bei der EnEV bisher geschieht. Wer sich den Vorteil einer ungünstigen Gebäudegeometrie gönnt, sollte ein bis zwei Prozent Baukosten für eine erhöhte Dämmung mehr investieren können. Auch aus städtebaulichen Gründen bieten sich kompakte Bauweisen an, um einen möglichst geringen Flächenverbrauch durch neue Gebäude zu erhalten.
- Die Ausrichtung hat deutliche Einflüsse auf die Energiebilanz eines Gebäudes. Bei sehr günstiger Orientierung der Haupt-Aufenthaltsräume in südliche Richtungen, verbunden mit angemessenen (nicht zu großen) Fenstergrößen, können solare Gewinne von bis zu 20 kWh/(m²a) erzielt werden. Balkons oder Loggien mindern diesen Effekt um 10 bis 30 Prozent. Bei sehr kompakten Geschossbauten reduzieren sich solare Gewinne auf 12 bis 15 kWh/(m²a). Die Einspareffekte durch die Kompaktheit überwiegen jedoch.

3.1.2 Gebäudekonzept – Entwurfsgrundlagen

Es gibt zahlreiche Aspekte bei der Festlegung von Entwurfszielen in der Grundlagenplanung, die einen sehr hohen Einfluss auf die späteren Baukosten ausüben. In den Workshops wurden dazu sehr umfangreiche Diskussionen geführt, die in zahlreiche Kapitel dieses Berichtes einfließen. Einige wenige grundsätzliche Entwurfsaspekte werden im Folgenden zusammengefasst:

- Optimierte Wohnungsgrößen in Verbindung mit funktionalen Grundrissen sind Grundlage für die wirtschaftliche Nutzung von Wohngebäuden.
- Kritische Hinterfragung von Verkehrsflächen und Nebenräumen jeglicher Art: zusätzliche Flächen treiben die Gebäudekosten in die Höhe und sollten nur erstellt werden, wenn sie wirklich benötigt werden.
- Unterkellerung und Nebenräume im Keller – Einsparpotenziale:
 - Technikräume können deutlich reduziert werden durch Anwendung kleinteiliger Technik, die durch eine effiziente Gebäudehülle ermöglicht werden kann, weil die Heizlast sehr niedrig liegt.
 - Nutzungen wie Wasch- und Trockenräume können entfallen, indem Waschmaschinen/Trockner-Stellplätze (übereinander) in der Wohnung eingeplant werden. Durch die Integration dieses Aspekts in das ohnehin erforderliche Lüftungskonzept (Trocknungsbereich/Aufstellort Trockner = Abluftbereich) entfällt das Problem der Feuchtigkeit in den Trockenräumen. (Beispiel: Projekt „Im Wiener“, ABG Frankfurt)
 - Fahrradräume im Keller sind ungünstig, weil der Weg vom Keller nach außen zu lange dauert und dadurch die Fahrradnutzung unattraktiver wird. Besser sind Fahrradräume direkt im Eingangsbereich (im Außenbereich)
 - Einsparpotenziale durch Nebenräume in den Wohnungen statt Kellerräumen.
- Gebäudeerschließung – einerseits sollte ein möglichst wirtschaftliches Erschließungssystem gefunden werden, auf der anderen Seite stellt ein repräsentatives Entré ein wichtiges subjektives Qualitätsmerkmal dar:
 - Verzicht auf Aufzüge z. B. bei Gebäuden mit dreigeschossiger Erschließung
 - Option auf späteren Anbau eines Aufzugs
 - Erschließungslösungen mit einer größeren Wohnungsanzahl pro Aufzug
 - Vorsicht: Laubenganglösungen können in der Konsequenz teurer werden als Standard-Treppenhäuser durch die höheren Wartungs- und Säuberungskosten (Winterdienst etc.)
- Barrierefreiheit – Gebäude mit ausschließlich barrierefreien Wohnungen weisen deutliche Mehrinvestitionen auf.
 - Eine Lösung kann im Mix aus barrierefreien und barrierearmen Wohnungen bestehen
 - Schaffen von barrierefreien Wohnungen im Erdgeschoss sowie barrierearmen Wohnungen in den Obergeschossen (bei Gebäuden ohne Aufzug) kann die Kosten gegenüber einer vollständig barrierefreien Lösung deutlich senken.

3.1.3 Grundrissgestaltung

Hochwertige Grundrisslösungen und sparsamer Umgang mit Fläche stellen die Grundlagen wirtschaftlicher Planung dar. Alle am Forschungsvorhaben beteiligten Wohnungsunternehmen haben Bewertungssysteme oder –kriterien für die kosteneffiziente Erstellung von Neubauprojekten. So basiert das System der HOWOGE auf dem Wohnungsbewertungssystem (WBS) in der Schweiz. „Das Wohnungs-Bewertungs-System WBS ist ein Instrument zum Planen, Beurteilen und Vergleichen von Wohnbauten. Mit 25 Kriterien wird in den drei Bereichen Wohnstandort, Wohnanlage und Wohnung der Gebrauchswert ermittelt. Dabei stehen der konkrete Nutzen sowie der Mehrwert für die Bewohnerschaft im Vordergrund“ [WBS 2018].

Unter <https://www.wbs.admin.ch/de> stehen diverse Kriterienlisten zum Download zur Verfügung. Diese sind z. T. kompatibel mit dem Kriterienraster der NaWoh-Zertifizierung, das in Kapitel 2.2 beschrieben wird, sodass hier nur eine geringe Auswahl an Stichpunkten benannt wird.

Zentraler Diskussionspunkt in den Workshops war das Thema der Wohnungsgrößen. Es ist ein deutlicher Trend zu Wohnungen mit kleineren Räumen und optimierter Wohnfläche zu erkennen, um Mietern mit geringerem Einkommen Wohnungen mit hohem Wohnwert zu günstigen Kosten anbieten zu können. WBS-Rahmenbedingungen liegen im folgenden Bereich zur Schaffung von optimierten Wohnungsgrößen für spezifische Nutzergruppen mit kleinem Mietbudget:

- Kleinstwohnungen mit 25 bis 35 m²
- Wohnungen für Paare mit zwei Zimmern und Wohnküche mit 45 bis 55 m²
- Wohnungen für Alleinerziehende mit einem Kind mit 45 bis 60 m²
- Wohnungen für Elternpaare mit einem Kind (50 – 65 m²), Elternpaare mit zwei Kindern ca. 12 m² größer.

Als charakteristisches Beispiel für eine Dreizimmerwohnung nach HOWOGE – Bewertungssystem ergeben sich folgende Raumgrößen bei einer Gesamtgröße von 59 -79 m²:

- Wohnküche 23 – 32 m²
- 1. Schlafrum 12 – 15 m²
- 2. Schlafrum 9 – 14 m²
- Bad 7 – 8,5 m²
- Abstellraum 1 – 1,5 m²
- Flur 12 % der Wohnfläche
- Balkon/Terrasse 5 – 10 % der Wohnfläche.

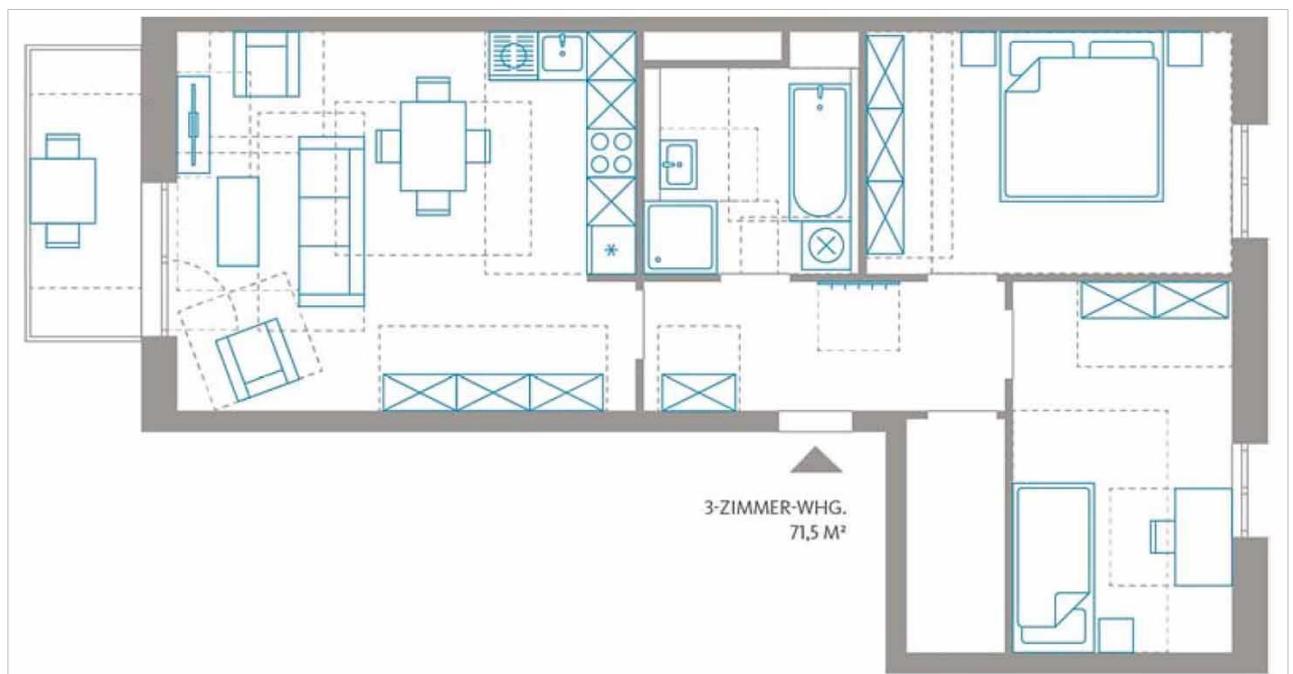


Abbildung 18 Beispiel für Möblierungsdarstellung inkl. Abstandsflächennachweis (Quelle: HOWOGE)

Seitens der HOWOGE besteht eine Sollvorgabe zur Möblierung, der Ausstattung und zur Bewegungsfläche. In eine entsprechende Tabelle mit den Sollwerten werden seitens der Planer die Istwerte eingegeben. Eine Zielprüfung und –steuerung erfolgt mittels Punkteverteilung. In der Tabelle sind Notwendigkeiten von

Modifikationen leicht ablesbar. Nach einem Planungsgespräch erfolgt eine entsprechende Modifikation durch die Planer. Als Beispiel für dieses Vorgehen die Abbildung unten mit Möblierung einer Wohneinheit: Die abgebildeten Einrichtungsgegenstände werden inklusive der Bewegungsfläche in den Grundrissen nachgewiesen.

Als weitere Kriterien werden beispielhaft folgende Aspekte aufgeführt:

- Grundsätzliche Überprüfung von Grundrisslösungen auf überflüssige und einsparbare Flächen. Funktionale Möblierungsvorschläge mit passenden Freiflächen. Vorrang von Funktionalität vor dem formalen Erfüllen von Flächenanforderungen.
- Einsparen von unnötigen Funktionsflächen für die Gebäudetechnik.
- Funktionale und optimierte Sanitärbereiche mit hochwertigem und großzügigem Nutzungsangebot sowie Ausstattung bei gleichzeitiger hoher technischer Kompaktheit mit geringen Leitungslängen und Montageaufwand (optimal durchführbar bei Typenbädern und vorgefertigten Bädern mit hoher Auflage).

Die Kriterientabelle des schweizerischen Wohnungs-Bewertungs-Systems umfasst die Punkte in der folgenden Tabelle.

Tabelle 3 Kriterienliste des WBS-Systems für die Wohnungen

Wohnung (Ø aller Wohnungstypen)	Quantität	Qualität	Innovation	Punkte (max. 4)
K15/Nettowohnfläche				
K16/Zimmergrösse und zusätzliches Flächenangebot				
K17/Vielfältige Nutzbarkeit				
K18/Möblierbarkeit der Zimmer				
K19/Koch- und Essbereich				
K20/Ausstattung Sanitärbereich				
K21/Möblierbarkeit Abstellbereich				
K22/Anpassungsfähigkeit des privaten Raums				
K23/Privater Aussenbereich				
K24/Übergänge Innen/Aussen				
K25/Private Abstellräume ausserhalb der Wohnung				
Gebrauchswert Wohnung (max. 44 Punkte)				

3.1.4 Serielle Fertigung

„Der „Schlüssel“ zur Beseitigung der Wohnungsengpässe liegt auch in einer stärkeren Industrialisierung des Wohnungsbaus. Statt bedingungslos dem Leitbild der Einzelfertigung zu folgen, sollten künftig stärker Prototypen geplant werden, die dann deutschlandweit in Serie umgesetzt werden könnten. Die gewünschten Kostensenkungseffekte ergeben sich dann aus der Optimierung, der Standardisierung und den daraus resultierenden „Economies of Scale“. Schon in konventioneller Bauweise werden die Unternehmen unter diesen Bedingungen Wohnraum kostengünstiger bereitstellen können. Durch Optimierung der Planung (z. B. optimierte Grundrisse) und der Produktionsprozesse (z. B. stärkere Digitalisierung), verbunden mit dem verstärkten Einsatz von Fertigelementen, können die gewünschten Einspareffekte erzielt werden.“ [Hauptverband der deutschen Bauindustrie 2017]

Derzeit gründen sich zahlreiche Start Ups und Töchter von Industrieunternehmen, um serielle Fertigung auf den Weg zu bringen. Hinsichtlich der Gebäudehülle ist die Zielsetzung klar: zukunftsfähige Bauteile sind langlebig, werden innerhalb der nächsten ein bis zwei Jahrzehnte klimaneutral hergestellt und erfüllen umfassend Nachhaltigkeitskriterien. Einen hohen Wärmeschutz bieten sie ohnehin. Auch wenn sie sich hinsichtlich der Kosten am Wärmedämmverbundsystem messen lassen müssen, kann es für einen Bauherrn attraktiv sein, höhere Investitionskosten in Kauf zu nehmen, wenn Rohstoffe, Wartung und Entsorgung in der Lebenszyklusanalyse günstiger abschneiden. Ein relevanter Aspekt der Planung liegt darin, diese Aspekte dem Bauherrn angemessen zu kommunizieren. Bei vorgefertigten Elementen gehören Angaben dazu zu einem standardmäßigen Angebot.

Es bleibt abzuwarten, ob es der optimierte Holzbau sein wird, der diese Ziele erfüllen wird oder Konstruktionen, die nicht nur seriell, sondern automatisiert in industrieller Produktion hergestellt werden. Die Montage muss sehr einfach und fehlertolerant sein, damit die Systemlösung nicht an der Fachkräftesituation scheitert. Schließlich sollten die Bauteile demontierbar sein für den späteren Rückbau und ggf. erforderliche Wartungszwecke. Selbstverständlich wird eine Akzeptanz nur dann gegeben sein, wenn eine gehobene gestalterische Qualität erreicht wird, die hochwertige Architektur und Stadtgestaltung ermöglicht.

Als vorgefertigte Bauelemente zum Einsatz kommen vor allem [Klupp, Memmler, Nowa 2017]:

- Decken
- Wände
- Erschließungsgewerke (Treppen/-häuser)
- Aufzugsschächte
- Fassaden
- Fertigbäder
- Fundamente
- Keller
- Dächer und Gauben
- Balkone und Loggien
- HLS- (Heizung Lüftung Sanitär) und Elektroinstallationen sowie Technikzentralen.

Angesichts der stark erhöhten Baukostensteigerungen in der Kostengruppe 400 erscheint es sinnvoll, dass serielle Vorfertigung vor allem im Bereich der Gebäudetechnik forciert wird.

3.2 Konstruktion, Gebäudehülle, Bauphysik & Qualitätssicherung

Festlegungen zur Konstruktion wirken sich nicht nur auf die Investitionskosten aus, sondern vor allem auf die langfristige Wirtschaftlichkeit. Werthaltige Komponenten und wartungsarme Konstruktionen stellen einen wesentlichen Aspekt der Nachhaltigkeit dar und führen zu geringen Wartungs- und Folgekosten. In diesem Kapitel werden am Beispiel unterschiedlicher Wandkonstruktionen Betrachtungen über Langlebigkeit und Wartung angestellt. Bereits mit der Festlegung auf Konstruktionsarten müssen zudem mögliche konstruktive Optimierungen zur Vereinfachung von Statik, Schall-, Brand- und Wärmeschutz in die Planung einbezogen werden.

Dieser Forschungsbericht soll kein Handbuch für Baukonstruktion sein. Vielmehr geht es darum diesbezügliche Werke [Frick/Knöll 2015 / Rongen, Schulze Darup et al 2015 / Schulze Darup 2012] um die Fragestellung der Kostenoptimierung und Zukunftsfähigkeit zu erweitern. Strategische Ansätze sind gesucht, in welche Richtung sich das Bauen weiterentwickeln muss.

Es geht um Aspekte wirtschaftlicher Konstruktionen mit hoher Nutzungszeit, Kosten- und Qualitätsoptimierung durch industrielle Vorfertigung, niedrige Wartungs- und Betriebskosten und einen hohen Wärmeschutz. Dazu werden Grundüberlegungen und Ergebnisse aus den Projektworkshops dargestellt. Folgende Parameter werden dafür jeweils dargestellt.

Bauphysik

Werthaltigkeit, Komfort und energetische Qualität stellen wichtige Aspekte für die Auswahl und Gestaltung der Konstruktionen dar. Deshalb werden in den nächsten Kapiteln diese Aspekte gegenübergestellt und insbesondere der energetische Standard und dessen Entwicklung betrachtet. In Kapitel 2.6.1 werden Grundlagen dazu beschrieben.

Kosten

Die Kostenentwicklung wird seit Jahren sehr emotional diskutiert. Innerhalb des Forschungsvorhabens konnten konstruktive Beiträge zur Versachlichung gesammelt und dokumentiert werden. Details dazu werden in Kapitel 2.3 dargestellt.

Nachhaltigkeit

Ein sehr umfassender Ansatz von Nachhaltigkeit befindet sich in Kapitel 2.2. Für die Konstruktionen eines Gebäudes gilt aber vor allem, dass jedes neue und sanierte Bauteil eine Nutzungsdauer von mindestens vierzig, möglichst sechzig Jahren aufweisen sollte. Nur dann kann es als nachhaltige und zukunftsfähige Konstruktion gewertet werden. Diese Sichtweise impliziert, dass die damit verbundenen Effizienzstandards ebenso zukunftsfähig sind. Wenn wir also neu bauen oder sanieren, gilt es, jedes Bauteil energetisch so gut wie möglich auszuführen. Sonst ist es eine vertane Chance. Mittelmäßige Standards bilden ein Dilemma: sie benötigen vor Ablauf der Nutzungsdauer eine energetische Ertüchtigung, die auf keinen Fall unter wirtschaftlich sinnvollen Rahmenbedingungen durchgeführt werden kann. Im Kapitel 3.2.3 werden vergleichende Untersuchungen zu Nachhaltigkeitsaspekten von Wandkonstruktionen vertiefend dargestellt.

3.2.1 Opake Hülle – Dach

Konstruktionen zur Dachdämmung stellten in der Effizienz- und Nachhaltigkeitsdiskussion nie ein Problem dar. Sie wurde einfach mit gutem Wärmeschutz ausgeführt. Bereits die WSVO 1995 forderte einen U-Wert von mindestens $0,22 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Das Anforderungsprofil des Standards KfW Effizienzhaus 55 liegt mit $U = 0,14 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ambitionierter als das Passivhaus-Bauteil und wird problemlos am Markt angenommen und in der Breite ausgeführt.

Bauphysik

Dieser Effekt weist insbesondere im Geschosswohnungsbau einen großen Vorteil auf: bei ungünstigeren Werten würde eine hohe Komfort-Diskrepanz vom obersten Geschoss zu den sonstigen Etagen gegeben sein. Sowohl bei üblichen Schrägdachkonstruktionen als auch bei Flachdächern kann eine hohe Dämmdicke recht einfach integriert werden. Das folgende Diagramm zeigt die Entwicklung der Bauteil-Anforderungen seit 1977.

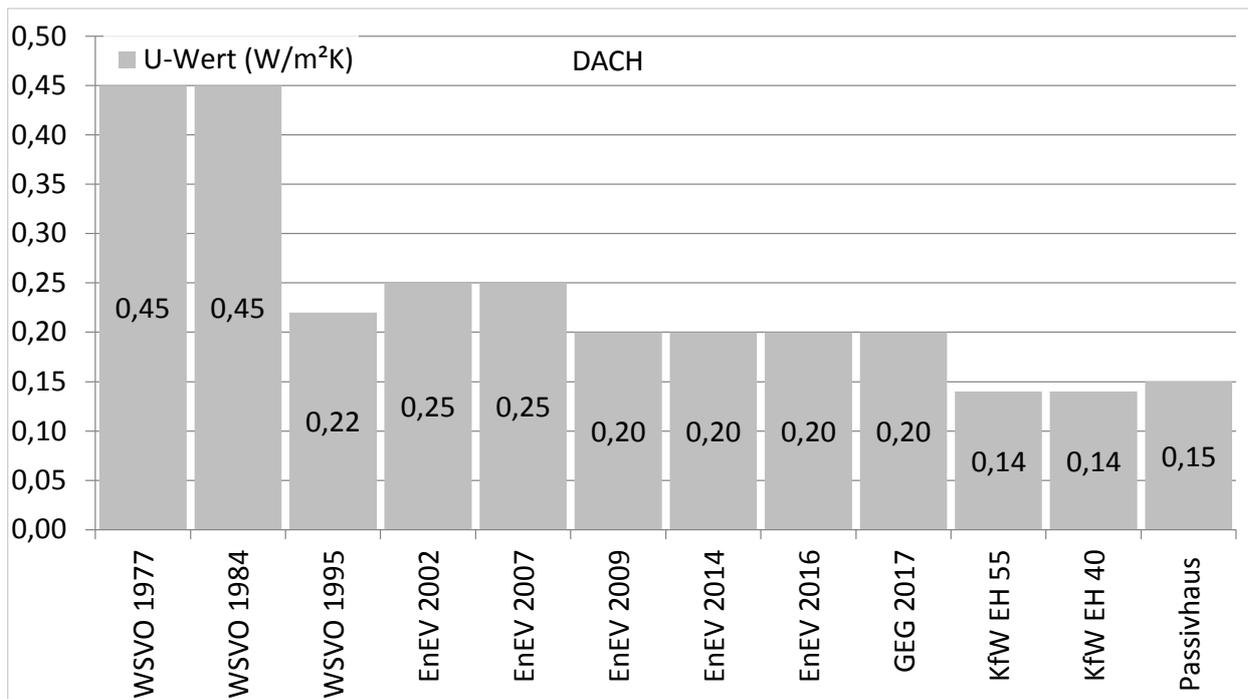


Abbildung 19 Entwicklung der U-Wert-Anforderungen für Dächer seit 1977

Kosten

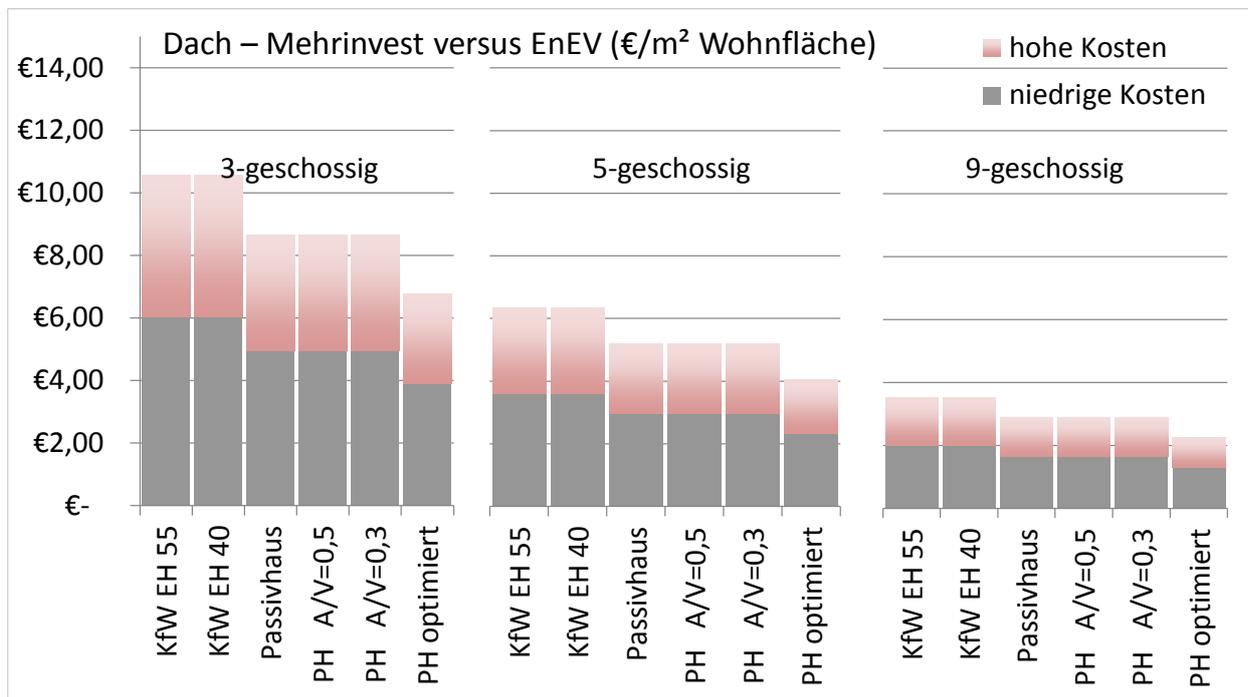


Abbildung 20 Flachdachkonstruktionen – Mehrinvestition von KfW- und Passivhaus-Standard

Bei Geschossbauten mit günstigem A/V-Verhältnis lassen sich auch hohe Effizienzstandards kostengünstig realisieren. Beim KfW EH 55-Standard wird mit einem U-Wert von 0,14 W/(m²K) in der Breite ein ambitionierterer U-Wert als beim Passivhaus umgesetzt. Je höher die Geschossigkeit, desto geringer ist der Betrag pro m² Wohnfläche, Angaben in €/m²_{Wohnfläche}. [BMUB 2015 / BMVBS 2012 / Ecofys 2014 / Rongen, Schulze Darup et al 2015]

Das Diagramm oben zeigt die Mehrinvestitionen unterschiedlicher Effizienzstandards von Flachdachkonstruktionen gegenüber dem Standard der EnEV 2016. Je höher die Geschossigkeit, desto geringer ist der Betrag pro m² Wohnfläche. So beträgt bei einem fünfgeschossigen Gebäude der Unterschied zwischen EnEV 2016- und Passivhaus-Standard gerade einmal drei bis fünf Euro pro m² Wohnfläche. [BMUB 2015 / BMVBS 2012 / Ecofys 2014 / Rongen, Schulze Darup et al 2015]

Zukünftige Entwicklungen & Serielle Fertigung

Langfristig werden im Dachbereich U-Werte etwa im Bereich 0,12 bis 0,14 W/(m²K) eine sinnvolle Lösung darstellen, um Gebäude kostengünstig und zukunftsfähig zu erstellen und in einer sicheren Balance mit der zukünftigen erneuerbaren Versorgungstechnik und den Komfortfaktoren zu sein. Die erforderliche Technik für die Konstruktionen ist seit über 25 Jahren in zahlreichen Varianten verfügbar. Der Dachbereich eignet sich hervorragend für serielle Fertigung jeglicher Art. Da demnächst zudem die Verbindung mit PV-Flächen in großem Maß gegeben sein wird, sollten die Gewerke gemeinsam geplant und die PV-Anlagen bereits im Werk in die Dachkonstruktion integriert werden. Dadurch eröffnet sich die Möglichkeit Einsparungen zu erzielen, indem die PV-Module vollflächig die Funktion der bewitterten Schicht übernehmen. Eine zweite Ebene kann als Unterdach mit langlebigen aber günstigen Materialien gestaltet werden. Gegenüber einer nachträglichen Montage sind auf diesem Weg etwa 25 €/m² einzusparen. Durch eine effiziente Vorfertigung sind weitere Synergien und Kostenoptimierungen möglich.

Langlebigkeit & Wartung

Alle Bauteile der Gebäudehülle sollten eine Lebenserwartung von vierzig, besser über sechzig Jahren aufweisen. Für Dächer ist diese Anforderung bei Schrägdächern mit üblicher Deckung aus Ziegeln oder Dachsteinen gut erreichbar. Auch für Flachdachsysteme gibt es zahlreiche Systeme, die diese Langlebigkeit aufweisen. Voraussetzung ist in allen Fällen eine sorgfältige und fachgerechte Ausführung.

Eine hohe Windbeanspruchung sollte auf jeden Fall aus Sicht der Klimafolgenanpassung eingeplant werden. Die zu erwartenden Aufwendungen für die Wartung liegen eher niedrig. Bei Schrägdächern fällt neben eventuell erforderlichen Schadensbehebungen aufgrund von Umwelteinflüssen allenfalls eine Säuberung der Eindeckungsoberfläche nach zwanzig bis dreißig Jahren an. Je nach Sichtweise betrifft das vor allem Dächer mit Betondachsteinen, während bei Ziegeln die Patina möglicherweise gewünscht ist. Nur kleinteilig verwinkelte Konstruktionen erfordern kürzere Wartungsintervalle. Bei Flachdächern geht es um die Säuberung der Flächen in Zyklen von z. B. fünf Jahren. Wenn Dachbegrünung verbaut wird, kann sich dieser Aufwand deutlich verändern. Bei PV-Flächen auf den Dächern wird die Säuberung PV-seitig durchgeführt in Abhängigkeit von der Verschmutzungssituation und Modulneigung.

Zusammenfassung – Dach

Standard zum Erreichen 2°-Ziel	Die Anforderungen des KfW EH 55 mit einem U-Wert von 0,14 W/(m ² K) erfüllt langfristige Anforderungen
Technische Werte	U = 0,12 bis 0,15 W/(m ² K); Gebäudeoptimierung mit einem sehr hochwertigen Dach-U-Wert bei einem etwas ungünstigeren Fassadenwert kann ggf. sinnvoll sein
Kosteneffiziente Planung	<ul style="list-style-type: none"> - Hoher Wärmeschutz im Dach ist günstiger als in der Fassade (Vergleich der Kosten und U-Werte zum Erzielen eines optimalen Verhältnisses zwischen Wand und Dach) - Komfort: hoher U-Wert mindert die Komfort- und Heizlastdifferenz zwischen oberstem Geschoss und Normalgeschoss, deshalb Dach überproportional dämmen - Schlanke aber hohe Tragprofile ermöglichen kostenoptimierten Dämmstandard zu niedrigen Kosten (Minimieren der Konstruktionshöhe bei Optimieren der Dämmdicke) - Optimierte Detaillösungen an Traufe, Ortgang und Attika führen zu minimierten (oder negativen) Wärmebrücken und senken energetisch bedingte Kosten in der Fläche - Flachdach: keine betonierte Attika (teuer & unnötig hoher Wärmebrückeneffekt) - Gefälle zur Gebäudeaußenkante und Zurücksetzen der Attika (Aufkantung gem. Flachdachrichtlinie hinter Schnittlinie zur Fassade) senkt die Gebäudehöhe für die Abstandsflächen - Dachentwässerung mit innenliegenden Leitungen erhöht die Kosten sowie Aufwand für Brandschotts und Leitungsdämmung; Wohnflächenverlust ca. 0,3 m² pro Geschoss und Fallleitung & kontinuierlicher Wärmeverlust
F & E	<ul style="list-style-type: none"> - Gezielte Forschung zum elementierten Bauen - Dachkonstruktionen mit möglichst einfachem Aufbau (Verzicht auf überflüssige Schichten) - Integration von PV-Paneelen als Dachhaut und wasserableitende Ebene
Kosten vs. EnEV-2016	Mehrinvestitionen bei einem dreigeschossigen Gebäude 6 bis 10 €/m ² Wohnfläche und bei einem neugeschossigen Gebäude 2,00 bis 3,50 €/m ²

3.2.2 Opake Hülle – Grund

Der Wärmeabfluss über die untere Begrenzung eines Gebäudes für Kellerdecken und Bodenplatten beträgt im allgemeinen weniger als die Hälfte des Wärmeverlustes zu außenluftberührten Transmissionsflächen. Insofern ist dieser Bereich aus energetischer Sicht eher unkritisch.

Bauphysik

Gekennzeichnet wird der geänderte Wärmeabfluss gegenüber direkt bewitterten Flächen durch den Reduktionsfaktor f_T , der in Abhängigkeit von der Größe und Geometrie der bebauten Fläche für übliche Mehrfamilienhäuser zwischen 0,5 und 0,3 liegt. Aus diesem Grund spielt der U-Wert der Bodenplatte und der Kellerdecke eine etwas geringere Rolle und kann etwas gemilderter ausfallen. Bei Kellerdecken kommt als zusätzliche Anforderung hinzu, dass im Winter keine unangemessene Durchlüftung des Kellers mit überhöhter Auskühlung stattfindet. Die geminderten Anforderungen drücken sich auch in der Entwicklung gemäß folgender Abbildung aus. Der Standard wird in den nächsten Jahren für optimierte Planungen auf einen Wert zwischen 0,20 und 0,15 W/(m²K) hinauslaufen.

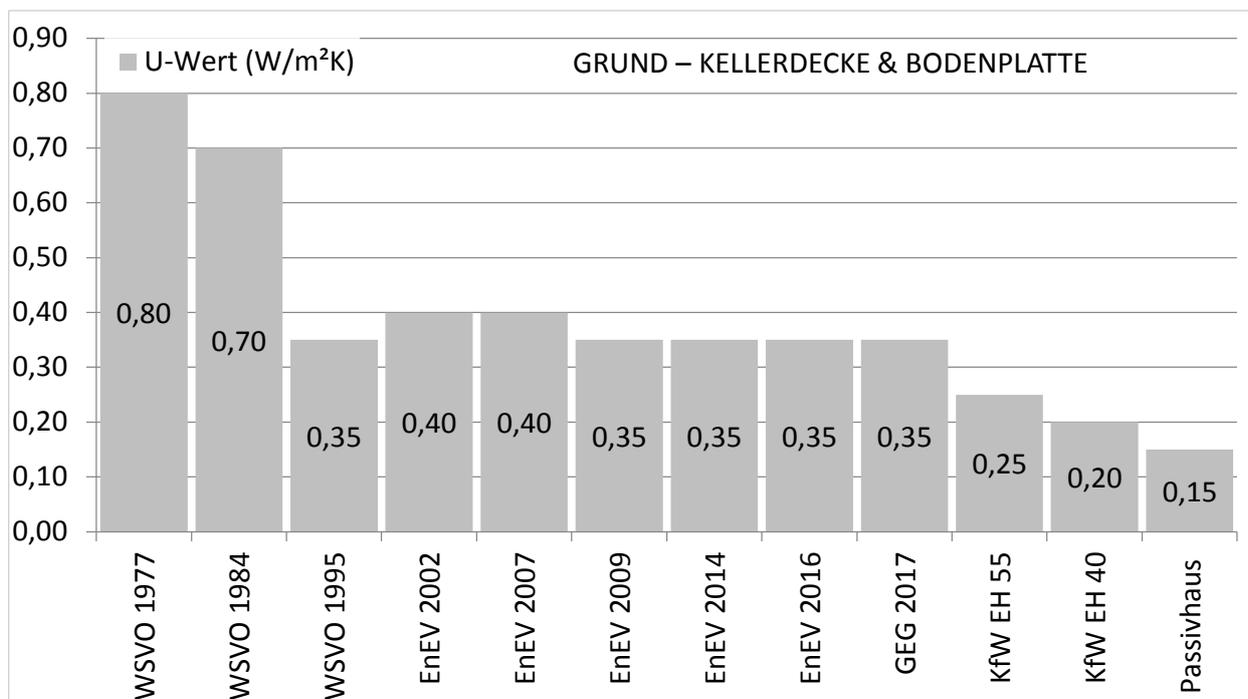


Abbildung 21 U-Wert-Anforderungen für Kellerdecken und Bodenplatten seit 1977

Bei der Auslegung des Kennwerts für die KG-Decke in Mehrfamilienhäusern sind Komfortaspekte von hoher Bedeutung. Wird die untere Begrenzung nur mäßig ausgeführt entsteht oftmals für die Erdgeschosswohnung ein erhöhter Energiebedarf. Dieser Effekt erhöht sich noch durch drei weitere Faktoren. Die Nichtbeachtung der Wärmebrücken, insbesondere der Innenwände zum Keller, führt zu falscher Auslegung der Heizlast für die EG-Räume. Die solaren Gewinne sind ebenfalls niedriger als in den oberen Geschossen. Schließlich wird bei Undichtheiten in der Gebäudehülle durch die Thermik kalte Luft in die Wohnung gezogen und die aufgeheizte Luft kommt den höher liegenden Wohnungen zugute. Werden diese Faktoren bei der Heizlastauslegung nicht berücksichtigt, wird der Servicemonteur in der Folge die Vorlauftemperatur der Anlage auf den ungünstigsten Raum der EG-Wohnung einstellen und den hydraulischen Abgleich so ausführen, dass die Heizanlage um einige Prozent ungünstiger läuft als notwendig.

Kosten

Wie bei den Dachkonstruktionen zeigt das Diagramm unten die Mehrinvestitionen unterschiedlicher Effizienzstandards gegenüber der EnEV 2016. Auch für die untere Begrenzung gilt: je höher die Geschossigkeit, desto geringer ist der Betrag pro m² Wohnfläche. So beträgt bei einem fünfgeschossigen Gebäude der Unterschied zwischen EnEV 2016- und Effizienzhäusern drei bis sechs Euro pro m² Wohnfläche, gegenüber einem U-Wert von 0,15 W/(m²K) liegen die Mehrinvestitionen bei acht Euro pro m² Wohnfläche. [BMUB 2015 / BMVBS 2012 / Ecofys 2014 / Rongen, Schulze Darup et al 2015]

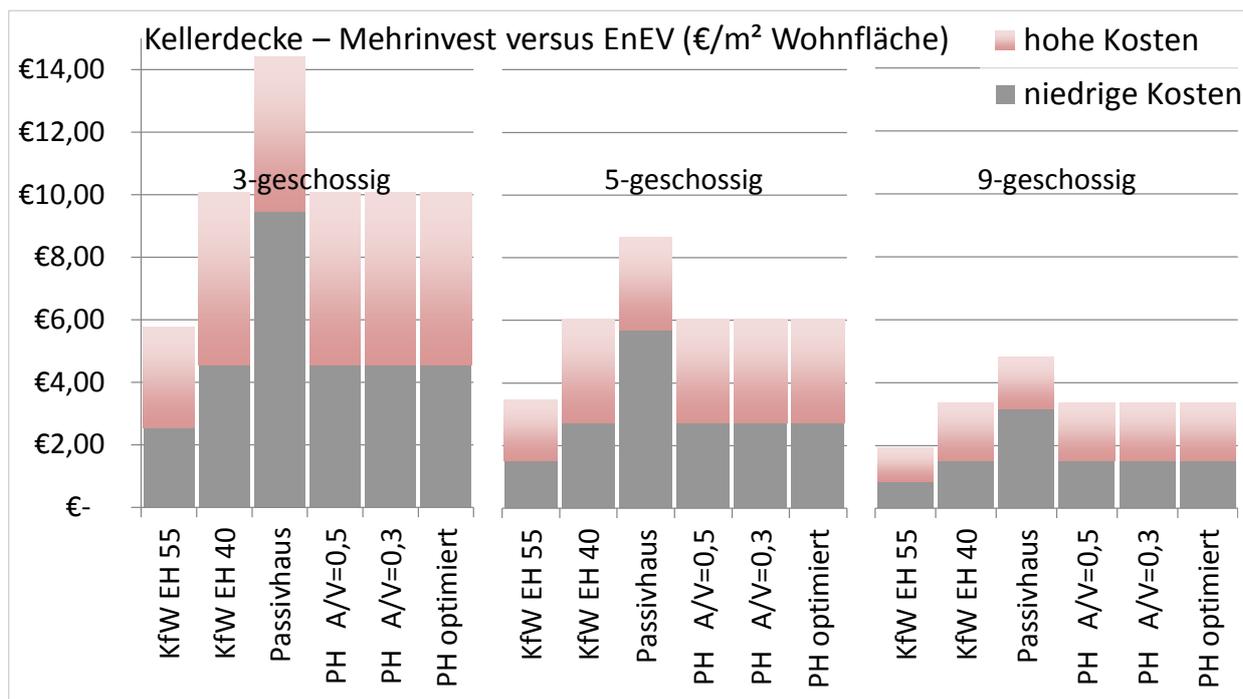


Abbildung 22 Kellerdecken – Mehrinvestition von KfW- und Passivhaus-Standard

Bei Geschossbauten mit günstigem A/V-Verhältnis lassen sich auch hohe Effizienzstandards kostengünstig realisieren. Je höher die Geschossigkeit, desto geringer ist der Betrag pro m² Wohnfläche. [BMUB 2015 / BMVBS 2012 / Ecofys 2014 / Rongen, Schulze Darup et al 2015]

Zukünftige Entwicklungen & Serielle Fertigung

Hinsichtlich der Ausführung von Bodenplatten gehören Streifenfundamente mit aufwendiger Ausführung der Dämmung bei vielen Planern der Vergangenheit an. Die Wärmebrücken sind nicht in den Griff zu bekommen und zudem gibt es inzwischen genügend Statiker, die kostengünstige Lösungen für bewehrte Bodenplatten hinbekommen. In der Gesamtsicht von Material und Arbeit sind Bodenplatten im Allgemeinen günstiger und haben zudem optimierte Wärmebrückensituationen für den Sockelbereich und die aufgehenden Wände. Vorgefertigte Dämmelemente mit Formteilen als verlorene Schalung für Bodenplatten gibt es seit geraumer Zeit. Die dafür anfallenden Kosten sind relativ hoch, besitzen aber sicherlich Potenzial nach unten. Für serielle Fertigung scheint es ansonsten keine weiteren Ansätze zu geben. Die Fertighausindustrie hat sich jedenfalls bisher nicht in relevantem Maßstab an die Bodenplatten-Thematik herangewagt, offensichtlich aus dem Grund, dass die Ortbeton-Bodenplatte nach wie vor die

günstigste Variante darstellt. Innovationen könnten bei den Rohmaterialien des Betons aus mineralischen Recyclingprodukten liegen sowie bei der Bewehrung.

Zusammenfassung – Bodenplatte & Kellerdecke

Standard zum Erreichen 2°-Ziel	Bei kleinen Mehrfamilienhäusern ist der Passivhaus-Kennwert sinnvoll, bei größeren Gebäuden mit günstigem f_T -Wert kann ein etwas ungünstigerer U-Wert gewählt werden
Technische Werte	$U = 0,15$ bis $0,20$ W/(m ² K); entscheidend ist der Komfort der EG-Wohnungen, wichtig ist zudem die Minimierung der Wärmebrücken im Bereich des unteren Abschlusses
Kosteneffiziente Planung	<ul style="list-style-type: none"> - Aufgabe der Vorplanung: Frühe Recherche zum Tragverhalten des Untergrunds und zum ggf. erforderlichen Bodenaustausch ist Voraussetzung für wirtschaftlich sinnvolle Entscheidungen hinsichtlich der Gründung & Entscheidung pro / contra Keller. - Fundamentierung: Selbsttragende & unterseitig gedämmte Bodenplatten ohne Streifenfundamente ermöglichen wärmebrückenfreie Anschlüsse und sind in der Herstellung in vielen Fällen aufgrund des geringen Arbeitsanteils günstiger - Fertigbauhersteller wählen nach wie vor Bodenplatten, die vor Ort gefertigt werden - Kellerdecken (KG unbeheizt): es ist kostengünstiger, die Dämmung oberhalb der Decke zu positionieren und vermeidet Schnittstellen zu Gebäudetechnik-Gewerken. - Die Wärmebrücken-Optimierung der aufgehenden Wände muss gezielt geplant werden. Kimmsteine (KS oder Porenbeton) im unteren Bereich sind günstiger als Beton-Lösungen mit Wärmebrückenreduzierung.
F & E	<ul style="list-style-type: none"> - Gezielte Forschung zum elementierten Bauen - Betonbau: Wärmebrückenoptimierung für aufgehende Wände über kalten Bereichen (Keller) - Vergleich von Lebenszyklusanalysen für Perimeter-Dämmstoffe - Vorgefertigte Dämmelemente als verlorene Schalung (gibt es bereits, die Elemente sind aber oft zu kostenaufwendig) - Mineralische Dämmung unterhalb der Bodenplatte mit günstigen Lambda-Werten (aus recycelten Materialien) - Verbundlösungen für Erd- / Fundamentierungsarbeiten und kostengünstige Erdwärme-Primärkreise.
Kosten vs. EnEV-2016	Mehrinvestitionen bei einem dreigeschossigen Gebäude 5 bis 14 €/m ² Wohnfläche und bei einem neugeschossigen Gebäude 1,70 bis 4,70 €/m ²

3.2.3 Opake Hülle – Außenwände

Bereits seit Ende der 1980er Jahre wird die Ausführung der Außenwände extrem kontrovers diskutiert. Das liegt schlichtweg daran, dass unterschiedliche Interessen der Baustoffhersteller mitunter mit hoch emotionalen (Werbe)-Botschaften hinterlegt wurden und intensive Interessensvertretung betrieben wurde. In Planungsgesprächen ist der Aufwand zur Abklärung der Wandkonstruktion durchweg deutlich höher als für Dach- und sonstige Konstruktionen.

Bauphysik

Die gute Botschaft lautet: die U-Werte-Rallye ist weitestgehend zu Ende. Wir können absehen, welche Standards wir für das Erreichen der Klimaneutralität im Gebäudebestand benötigen. Keine Konstruktionsform wird dabei ausgeschlossen. Die U-Werte für den Geschosswohnungsbau werden sich idealerweise bei $0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ einpendeln. Wichtig ist allerdings, dass unter dem Vorbehalt hochwertiger Planung bei Gebäuden mit sehr günstigem A/V-Verhältnis und mittels Ausgleich durch andere hochwertige Bauteile auch U-Werte von $0,20 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ verträglich sein werden, um die Ziele der Energiewende zu erreichen.

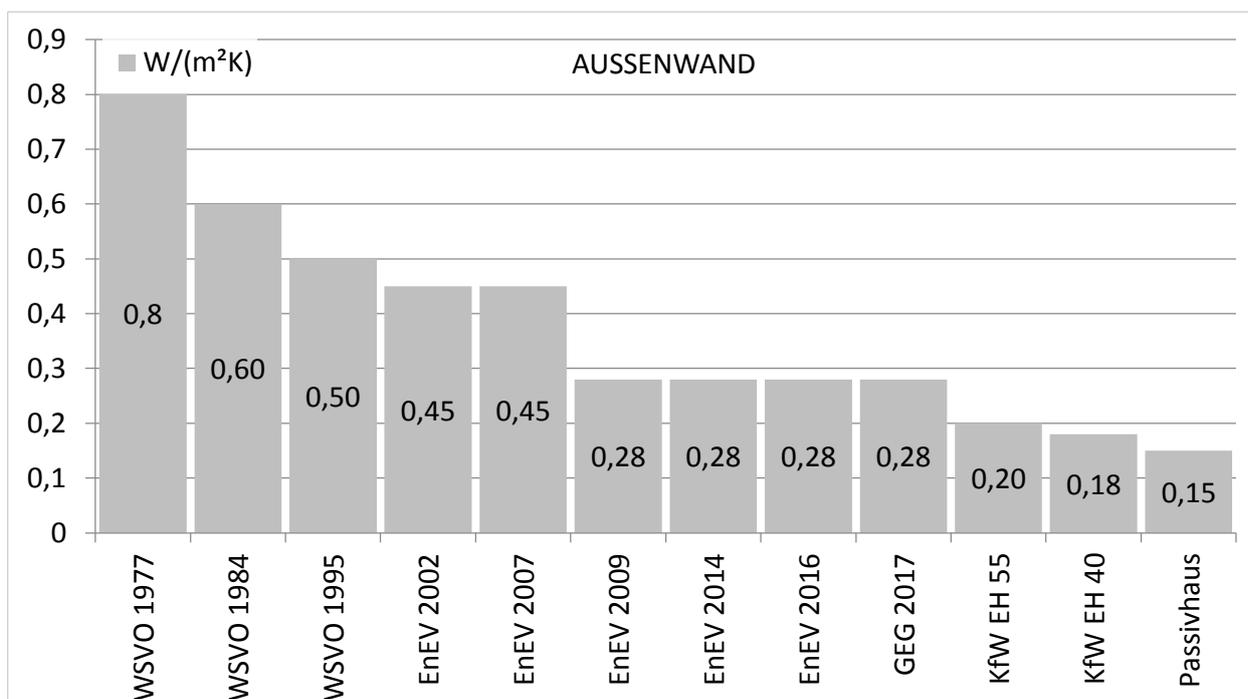


Abbildung 23 U-Wert-Anforderungen für Außenwände seit 1977

Diese Entwicklung liegt darin begründet, dass bei optimierter Planung kompakte Gebäude mit einem guten A/V-Verhältnis einen Heizwärmebedarf von ca. $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ bereits ab einem U-Wert von $0,18$ bis $0,20 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ erreichen können. Werden künftig hochwertigere Lösungen für Lüftung, Fenster und Wärmebrücken zur Selbstverständlichkeit, besteht eine erhöhte Planungsfreiheit bei der Gewichtung der Bauteil-Standards und insbesondere bei den U-Werten der Außenwände. In dem Fall kann monolithisches Mauerwerk auch mit einer Rohdichte verbaut werden, die den Statik- und Schallschutz-Anforderungen entspricht. In der folgenden Abbildung wird dieser Zusammenhang in einfacher Form dargestellt. Dämmdicken von Wärmedämmverbundsystemen können bei gut geplantem Geschosswohnungsbau im

Bereich von 16 bis 22 cm liegen. Falls insbesondere bei vorgefertigten Bauteilen die Wärmebrücken optimiert und ggf. Konstruktionen mit günstigeren Lambda-Werten einbezogen werden, sind auch schlankere Bauteile möglich.

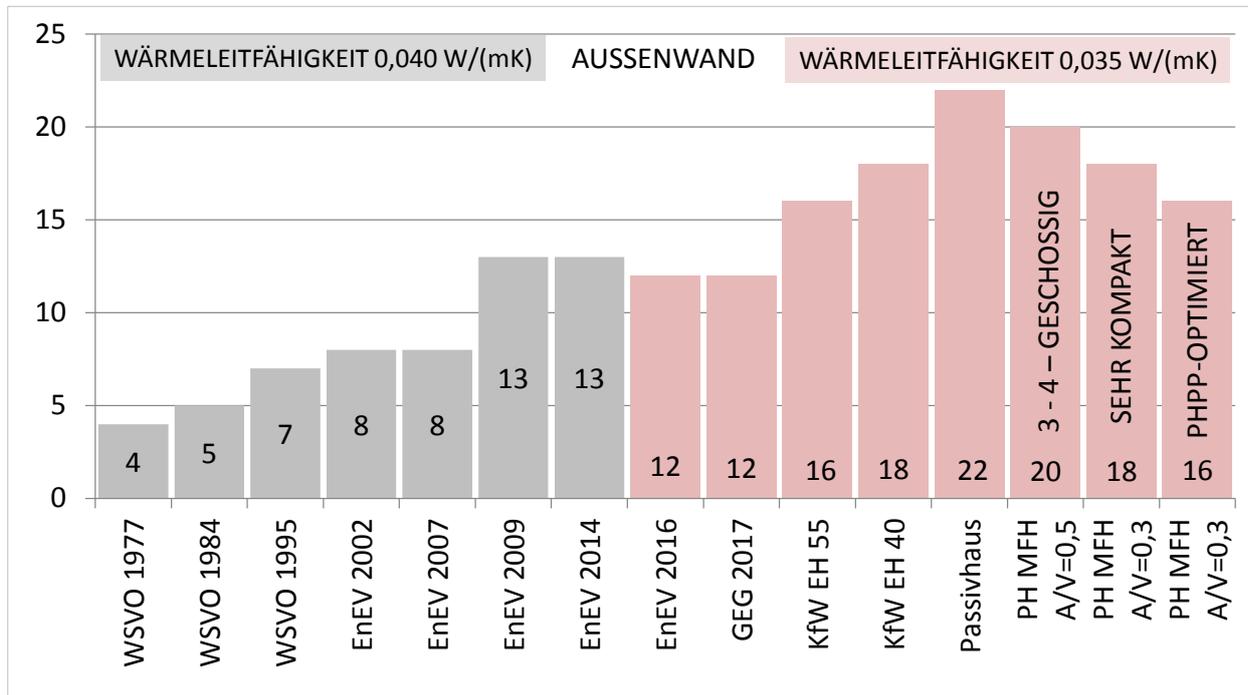


Abbildung 24 Entwicklung der Dämmdicken für Außenwände

Die „gefühlte“ Dämmdicke lag Ende der 1990er Jahre bei vielen Planern im Bereich von 8 bis 10 cm, d. h. etwas höher als die Mindestanforderung nach WSVO. Derzeit liegt sie im Bereich von 16 bis 18 cm. 2 bis 4 cm mehr und eine kompakte Bauform können ausreichen, um bei hochwertiger Planung zukunftsfähige Baustandards zu erzielen.

Kosten

Werden auf Basis der obigen Abbildung die Kosten für die unterschiedlichen Varianten berechnet, ergeben sich im Vergleich zum EnEV-Standard sehr moderate Mehrinvestitionen für die erhöhten Standards im Bereich von 6 bis 25 € pro m² Wohnfläche. Für die niedrigeren Kosten (im Diagramm unten grau markiert) wurden 2,00 € pro cm Dämmdicke und m² Konstruktionsfläche in Ansatz gebracht. Es gibt viele Gebäude, die mit niedrigeren Mehrkosten ausgekommen sind. Für die hohen Kosten im Diagramm (rot markiert) werden i. M. 3,40 €/(cm*m²) angesetzt. Wie oben bereits erläutert, können bei einem günstigen A/V-Verhältnis und optimierter Planung die Energiebedarfswerte eines Passivhauses mit U-Werten im Bereich eines KfW EH 55 oder 40 erreicht werden, sodass die Mehrinvestitionen für hohe Standards ausgesprochen günstig ausfallen. [BMUB 2015 / BMVBS 2012 / Ecofys 2014 / Rongen, Schulze Darup et al 2015]

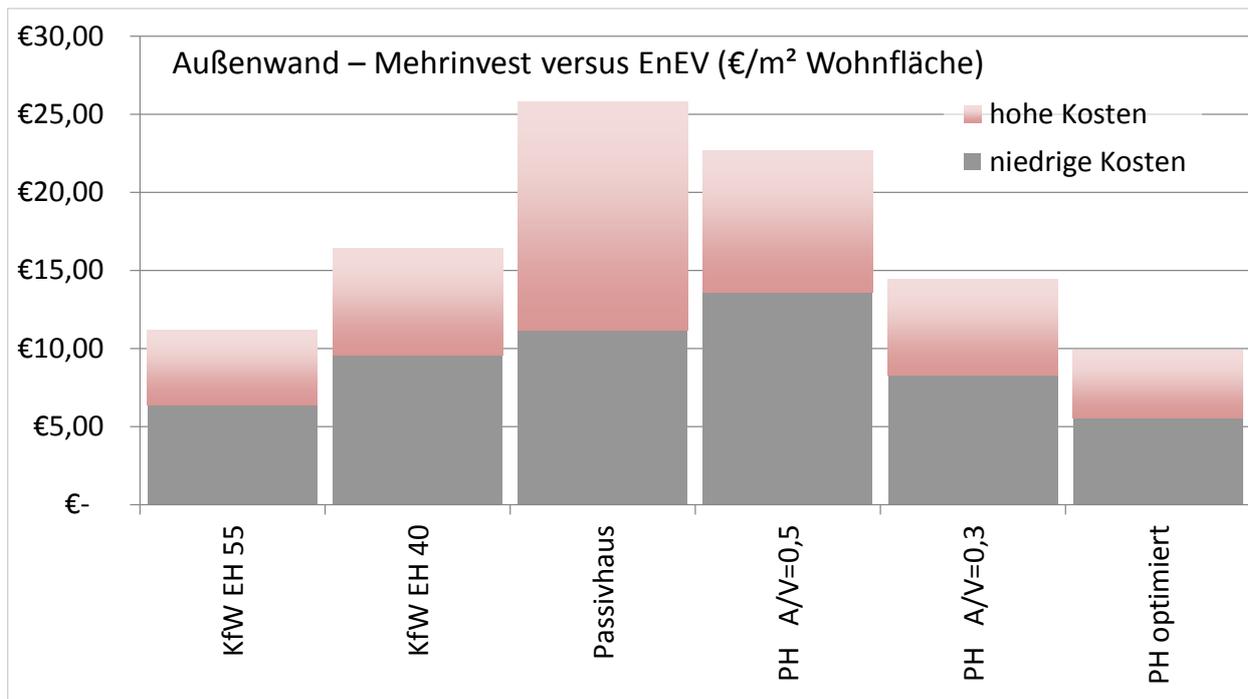
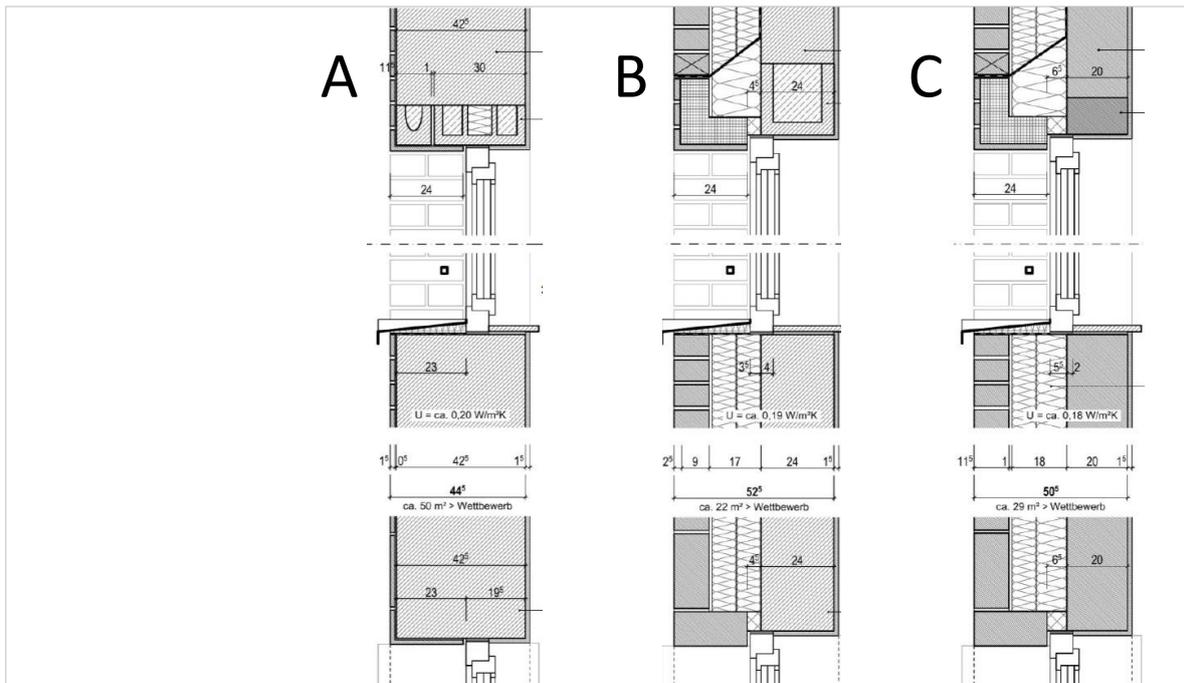


Abbildung 25 Außenwand – Mehrinvestition von KfW- und Passivhaus-Standard

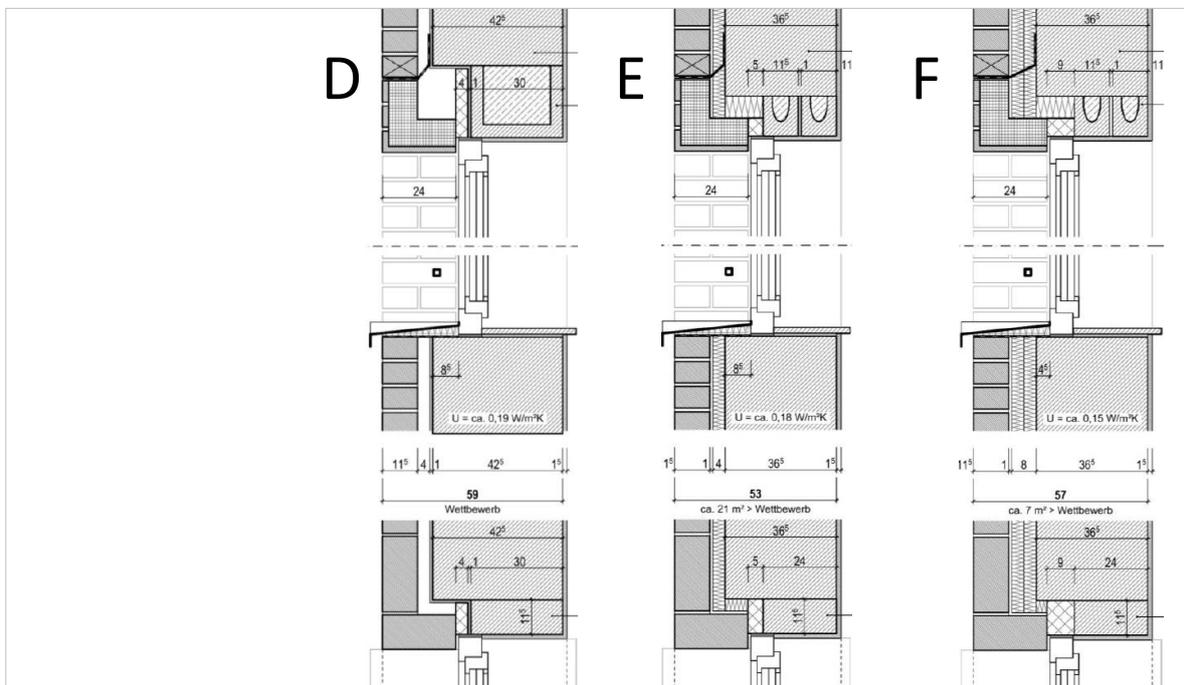
Für die niedrigeren Kosten (grau) wurden 2,00 € pro cm Dämmdicke und m² Konstruktionsfläche in Ansatz gebracht, für die hohen (rot) i. M. äußerst auskömmliche 3,40 €/(cm*m²). Bei günstigem A/V-Verhältnis und optimierter Planung können die Energiebedarfswerte eines Passivhauses mit U-Werten im Bereich eines KfW EH 55 oder 40 erreicht werden. [BMUB 2015 / BMVBS 2012 / Ecofys 2014 / Rongen, Schulze Darup et al 2015]

Kostenunterschiede unterschiedlicher Konstruktionen

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden von den Wohnungsunternehmen jeweils unterschiedliche Konstruktionen miteinander verglichen. Für das Baufeld 1 des Wohnquartiers Hilligenwöhren / Herzkamp erfolgte eine Gegenüberstellung unterschiedlicher Konstruktionsarten [Gundlach 2016]. Ein Schwerpunkt lag dabei zunächst auf der Ausführung in monolithischer Bauweise. Die Kostenunterschiede der Varianten A bis F liegen aufgrund der konstruktionsbedingten Kosten deutlicher auseinander als die unterschiedlichen Dämmstandards im vorhergehenden Kapitel. Bei vergleichbaren U-Werten schwanken die Kosten zwischen 220 und 315 € pro m², also um fast 100 €/m². Das ist der vierfache Wert des Kostenunterschieds zwischen EnEV-Standard und teuerstem Passivhaus-Standard. Die Entscheidung fiel seitens Gundlach abschließend auf Variante C, also auf eine zweischalige Konstruktion.



Kosten	ca. 220 €/m ²	ca. 250 €/m ²	ca. 290 €/m ²
U-Wert	ca. 0,20 W/(m ² K)	ca. 0,19 W/(m ² K)	ca. 0,18 W/(m ² K)
Material	LHLZ, $\lambda = 0,1$ W/(mK)	HLZ mit Kerndämm.	KS mit Kerndämm.
Wohnflächengewinn	ca. 50 m ²	ca. 22 m ²	ca. 29 m ²



Kosten	ca. 315 €/m ²	ca. 300 €/m ²	ca. 305 €/m ²
U-Wert	ca. 0,19 W/(m ² K)	ca. 0,18 W/(m ² K)	ca. 0,15 W/(m ² K)
Material	LHLZ, HLz	LHLZ/HLz/Kerndä.	LHLZ/HLz/Kerndä.
Wohnflächengewinn	0 m ² - Referenz	ca. 21 m ²	ca. 7 m ²

Es kann sinnvoll sein, aus Brandschutzgründen Wärmedämmverbundsysteme mit nichtbrennbarer Mineralwolle auszuführen statt mit Dämmschäumen aus Polystyrol. Die Mehrkosten liegen im Bereich von 15 € pro m² Wohnfläche.

Nachhaltigkeit

In Kapitel 2.2 werden Nachhaltigkeitsaspekte detailliert beschrieben. Bei den im Forschungsvorhaben begleiteten Projekten stellten die Wohnungsunternehmen mit unterschiedlichen Verfahren Untersuchungen dazu an. Eine gesamtheitliche Betrachtung zahlreicher Planungs- und Nachhaltigkeitsfaktoren mittels eLCA [eLCA 2018] wurde für das Vorhaben Hilligenwöhren / Herzkamp in Hannover als vergleichende Betrachtung zu den Außenwandkonstruktionen durchgeführt [Gundlach 2016]. Dabei erfolgte eine quantitative Ermittlung der Kennwerte zu den Bereichen Primärenergiebedarf für die Erstellung des Bauteils, Treibhauspotenzial, Ozonabbau Potenzial und vier weitere Wirkungskategorien. Die folgenden Diagramme zeigen die Ergebnisse. Die Variantenbezeichnungen entsprechen denen im vorhergehenden Kapitel. Als Wettbewerbsergebnis war zunächst eine monolithische Wandkonstruktion gemäß Variante A empfohlen worden. Neben einem etwas ungünstigeren U-Wert waren dabei vor allem offene Fragen hinsichtlich des Schallschutzes gegeben. Die Varianten C und D wurden schließlich hinsichtlich der Ausführung in die nähere Betrachtung gezogen, die Variante C kommt, wie oben bereits erwähnt, zur Ausführung.

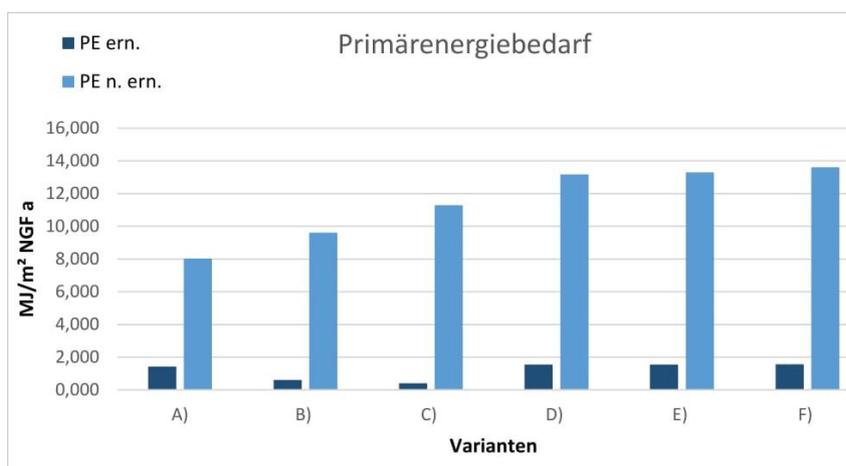


Abbildung 26 Primärenergiebedarf für die Herstellung der Konstruktionen

Die Bezeichnung A bis F entspricht den Varianten im vorhergehenden Kapitel [Gundlach 2016]

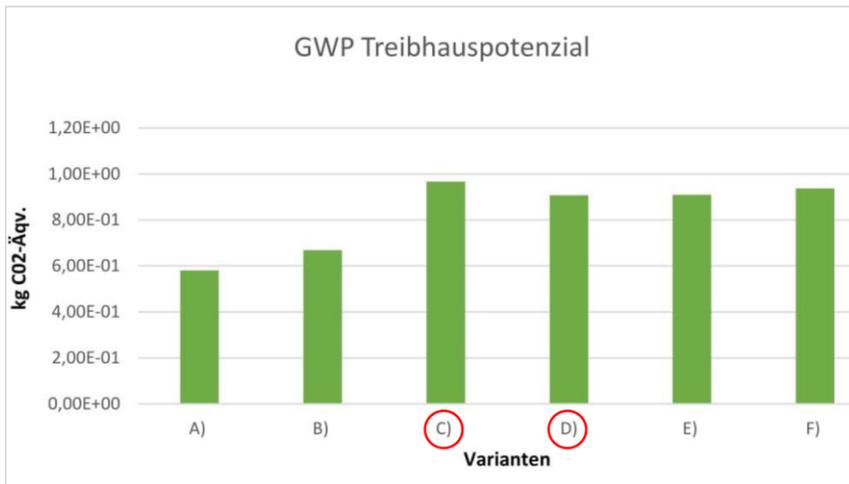


Abbildung 27 Vergleich des Treibhauspotenzials [Gundlach 2016]

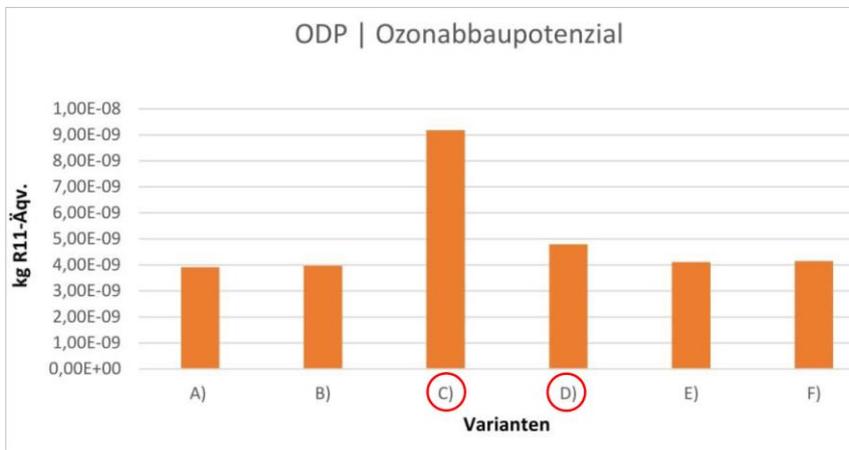


Abbildung 28 Vergleich des Ozonabbaupotenzials [Gundlach 2016]

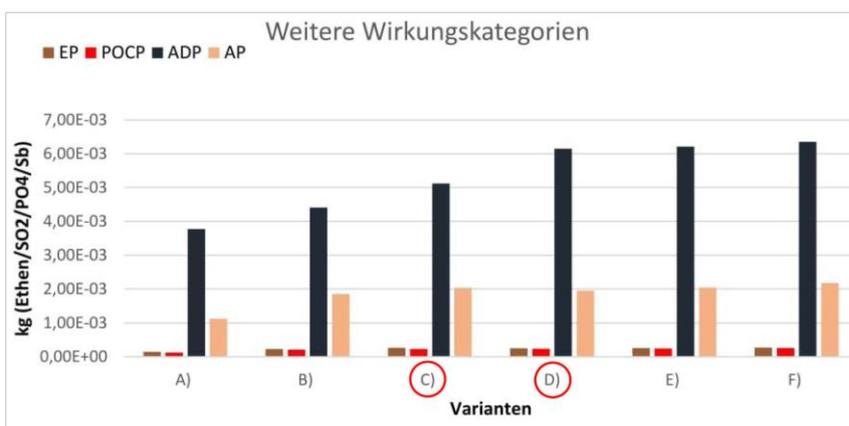


Abbildung 29 Weitere Wirkungskategorien

Eutrophierungspotenzial (Eutrication Potential / EP), Bodennahes Ozonbildungspotenzial (Photochemical Ozone Creation Potential / POCP), Abiotischen Ressourcenverbrauch (ADP) und Versauerungspotenzial (Acidification Potential / AP). [Gundlach 2016]

Serielle Fertigung

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde ein Teil der Projekte mit vorgefertigten Konstruktionen geplant. Aufgrund der hohen Nachfrage in den Jahren 2015 bis 2018 lagen die Angebotspreise allerdings durchweg in einem überhöhten Bereich, z. T. in nicht mehr nachvollziehbar hohen Kostenkategorien. Angefragt wurden vor allem Anbieter aus dem Bereich des Holzbaus. Am Markt war allerdings zu beobachten, dass Akteure aus anderen Bereichen die Thematik der seriellen Fertigung für sich entdecken. Das betrifft sowohl Akteure, die bisher Trockenausbau im Innenbereich durchführten und jetzt ihr Segment auf Außenbauteile ausbauen. Ein weiteres Segment stellt der Metallbau dar, der das Potenzial für kostengünstige Tragstrukturen in Verbindung mit schlanken Konstruktionen aufweist. Anbieter aus dem Bereich der Wärmedämmverbundsysteme gründen ebenfalls Abteilungen, die vorgefertigte Fassadenelemente herstellen. Eher unverändert ist die Position der Massivbauer mit vorgefertigten Elementen. Gerade im Bereich der Wände erzielen sie seit vielen Jahren keinen Durchbruch. Grund dafür dürfte die hohe Effizienz der klassischen Mauerwerkshersteller mit Plansteinen sein, die vorelementiert auf der Baustelle ohne Schneiden sehr schnell aufgemauert, bzw. präziser gesagt mit dünnen Kleberschichten zusammengefügt werden.

Es ist erkennbar, dass der Holzbau ein steigendes Marktpotenzial für sich erschließen kann. Die Analysen im Rahmen des Forschungsvorhabens zeigen aber auch die Grenzen bzw. noch zu bewältigenden Herausforderungen:

- Der Kostenanteil des zimmermannsmäßigen Holzbaus liegt sehr hoch, da die Fertigung in weiten Teilen nach wie vor handwerklich-manufakturrell ist.
- Viele Hersteller bieten aufwändige Konstruktionen mit einem komplexen Schichtaufbau an. Daraus resultieren ebenfalls hohe Kosten
- Als vorgehängte Fassade bieten sich Holzelemente grundsätzlich an, der Verbund mit den Geschosdecken ist aus Schallschutzgründen herausfordernd. Aufgrund dessen bieten zahlreiche Akteure Hybridkonstruktionen aus Holzkonstruktionen mit vorgefertigten Stahlbetondecken an.

Folgende drei Konstellationen bieten sich für Vorfertigung im Fassadenbereich grundsätzlich an. Es werden jeweils Stichpunkte dazu vermerkt, die sich aus dieser Konstellation ergeben:

1. Vorgehängte Elemente vor einer tragenden Mauerwerks- / Stahlbetonwand
 - Das System konkurriert mit dem Aufwand bzw. den Kosten eines WDVS.
 - Der komplexe Aufbau herkömmlicher Vorhangfassaden mit hohen Aufwendungen für Tragwerk, Hinterlüftung, kostenintensiven Fassadenplatten und aufwendigen Anschlüssen kann nicht die gesuchte Systemlösung darstellen
 - Der Aufbau muss so erfolgen, dass im Werk eine industrielle Fertigung möglich ist und auf der Baustelle eine einfache Montage in einem Arbeitsschritt ohne Gerüst ausgeführt werden kann. Anschlüsse der Elemente müssen sicher und mit geringem Aufwand montierbar sein.
 - Vorteile ergeben sich für vorgefertigte Elemente, welche die Fenster bereits integriert haben. Dadurch wird der nicht unwesentliche Aufwand des Fenstereinbaus und vor allem der optimierten Anschlüsse in die Kostenkalkulation integriert.
2. Fassadenelemente in Verbindung mit einem getrennten Tragsystem (Skelettbau)
 - Auch dieses System konkurriert insofern mit WDVS-Lösungen, dass die Differenzkosten zwischen flächigem (s. o.) und dem punktförmigen Tragsystem der Skelettkonstruktionen den Fassadenelementen zugeschlagen werden können.
 - Dafür entstehen erhöhte Anforderungen aufgrund des Schall- und Brandschutzes.
 - Ein Vorteil ergibt sich durch die schlankeren Konstruktionen, die Fläche einsparen.
 - Da die Masse der Außenwand sinkt, muss der Schallschutz und der sommerliche Wärmeschutz gesondert betrachtet werden.

- Die innenseitige Schale ist hinsichtlich der Emissionen und Wohngesundheit besonders zu betrachten.
3. Tragende Fassadenelemente
- Analog zu den beiden vorhergehenden Lösungen können die Kosten für die flächigen oder punktförmigen Tragsysteme dem tragenden Fassadenelement zugeschlagen werden.
 - Alle vorgenannten Aspekte sind durch die Konstruktion zusätzlich zu den statischen Anforderungen zu lösen.
 - Ein relevanter Nachteil besteht in dem Aspekt, dass die Elemente in der Rohbauphase montiert werden. Das ergibt erhöhte Anforderungen an die sofortige Integration der Fenster und der Oberflächen innen und außen.

Langlebigkeit & Wartung

Langlebigkeit ist ein Garant für langfristig hohe Wirtschaftlichkeit. Aus Nachhaltigkeitsgründen sollte eine Nutzungsdauer von sechzig Jahren angestrebt werden. Das impliziert natürlich, dass der energetische Standard während dieser Zeit aktuell bleibt. Vor allem aus ökonomischer Sicht stellt Langlebigkeit eine wesentliche Grundvoraussetzung dafür dar, das nach Ablauf der Abschreibungs- und Finanzierungszeit das Bauvorhaben zu einer Cash-Cow des Bestandes wird.

Eng mit der Dauerhaftigkeit verwoben sind Wartungsaspekte, denn lange Nutzungszeiten sind bei allen Konstruktionen nur durch regelmäßige Pflege und Instandhaltungsmaßnahmen möglich. Das Diagramm zeigt charakteristische Wartungsintervalle und dafür anfallende Kosten (auf heutigem Kostenstand).

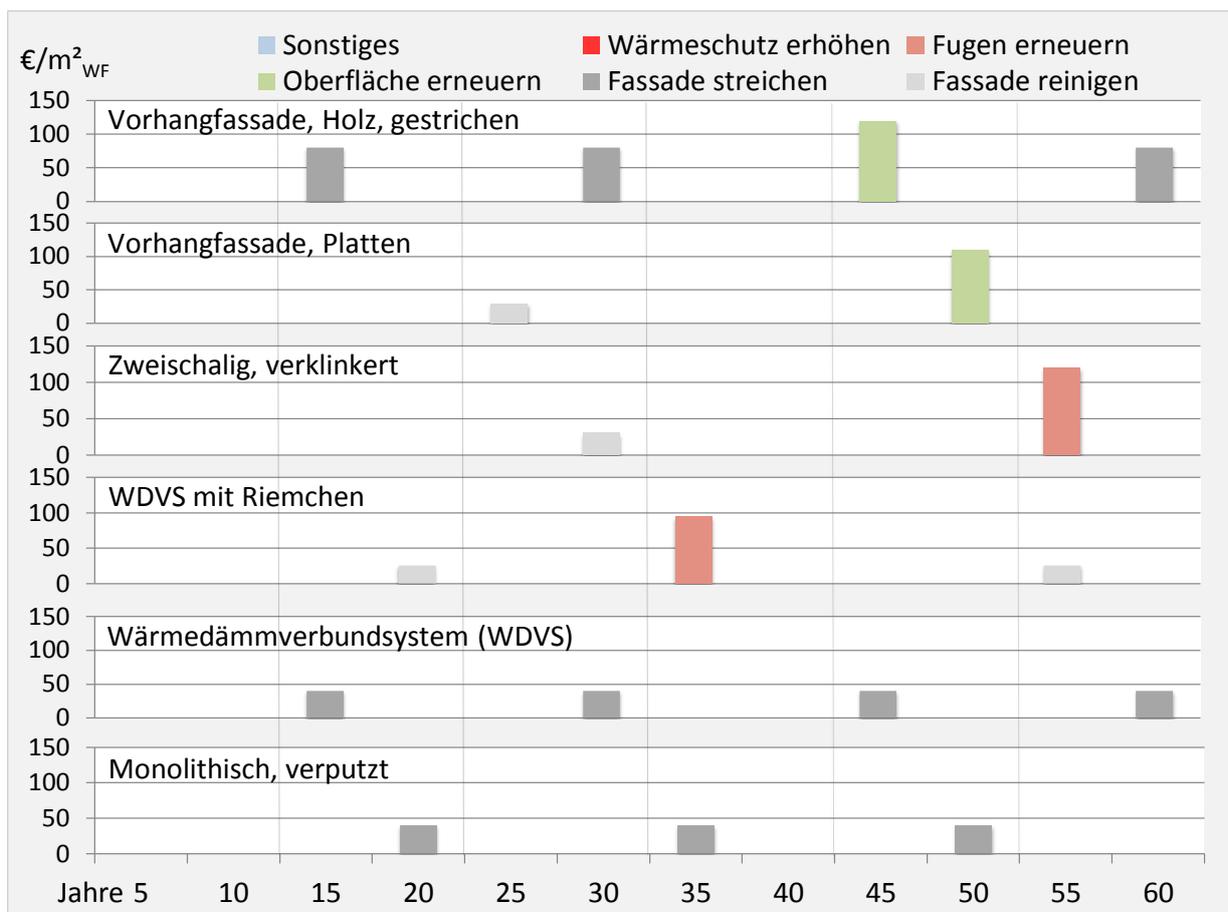


Abbildung 30 Charakteristische Wartungsintervalle und –kosten verschiedener Konstruktionen
In Abhängigkeit von den konkret gewählten Materialien, Konstruktionsarten und Rahmenbedingungen können diese Annahmen deutlich variieren.

Die Kostenverläufe liegen deutlich ungünstiger, wenn die Konstruktionen vor Ablauf ihrer Nutzungszeit bereits nach dreißig Jahren erneut energetisch angepasst werden müssen, d. h. wenn die Dämmdicke erhöht werden muss (s. Diagramm unten). Darin liegt begründet, dass ein mäßiger bis mittlerer Dämmstandard immer ein Dilemma darstellt: eine Erhöhung des Dämmstandards ist fast immer unwirtschaftlich. Auf der anderen Seite wird ein Gebäude mit niedrigem Wärmeschutz eine zentrale Anforderung der Zukunft nur mit hohem Aufwand – oder gar nicht – erreichen können: eine niedrige Lastspitze zu Zeiten der kalten Dunkelflaute.

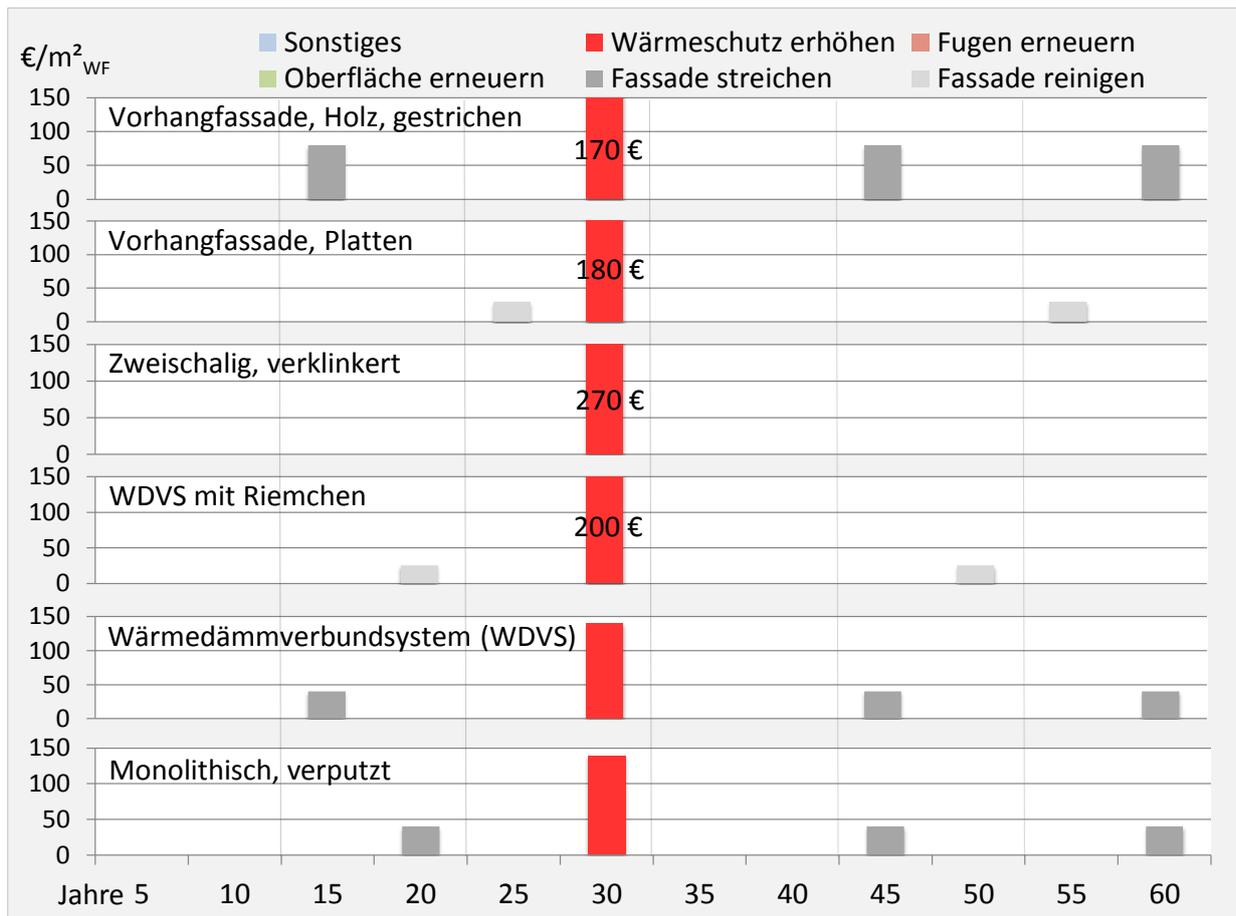


Abbildung 31 Wartungsaufwendungen bei frühzeitiger energetischer Ertüchtigung

Muss bereits nach dreißig Jahren vor Ablauf der Nutzungszeit die Dämmung verbessert werden, reduziert sich durch diese Maßnahme die Wirtschaftlichkeit des Gebäudes deutlich.

Zusammenfassung – Außenwände

Standard zum Erreichen 2°-Ziel	Die U-Werte für den Geschosswohnungsbau werden sich idealerweise bei etwa 0,15 W/(m²K) einpendeln. Möglich ist jedoch ein Ausgleich durch andere hochwertige Bauteile oder eine sehr gute Gebäudegeometrie.
Technische Werte	U = 0,14 – 0,16 W/(m²K), ggf. bis 0,20 W/(m²K), wenn besonders energieeffiziente Komponenten/Kennwerte z. B. bei den Fenstern, Dach, Luftdichtheit, Wärmebrücken, A/V-Verhältnis oder bei der Gebäudetechnik zum Einsatz kommen.

<p>Kosteneffiziente Planung</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Verzicht auf Versprünge im Fassadenverlauf - Verzicht auf Materialwechsel / alternativ sehr kosteneffiziente Schnittstellen-Anschlüsse <p>Mauerwerk allgemein</p> <ul style="list-style-type: none"> - vollständiger Verzicht auf Schneiden von Steinen durch konsequentes Ausführen des Mauerwerk-Rasters reduziert die Kosten für das Mauerwerk deutlich (gilt bedingt ebenfalls für Mauerwerk aus vorgeschrittenen Steinen) - Wohnflächeneinsparung durch Spachtelung der Wände und Decken mit nur 2 mm Dicke - Spannweite der Decken mit einem Raster von 6 m führt zu Deckendicken von ca. 22 cm (= wirtschaftliche Planungsoptionen und Optimierung des vertikalen Schallschutzes (auf Mauerwerk abstimmen; schweres Mauerwerk ist günstiger) <p>Mauerwerk mit WDVS</p> <ul style="list-style-type: none"> - Außenwände z. B. aus KS 15 cm dick mit 20 cm WDVS (Dämmung $\lambda=0,032$ W/mK) erreichen einen U-Wert von 0,15 W/(m²K), Gesamtdicke 36,5 cm - Durch die außenliegende Dämmung kann bei guter Planung ein Bonus bei den Wärmebrücken erzielt werden (negative Wärmebrückensumme) <p>Mauerwerk mit Vorsatzschale</p> <ul style="list-style-type: none"> - Es gilt grundsätzlich Vergleichbares wie beim WDVS, allerdings weisen die Wärmebrücken der Vorsatzschale einen relevanten Wert auf, wodurch die erforderliche Dämmdicke steigt. Durch die Hinterlüftungsebene erhöht sich die Konstruktionsdicke - Vorsatzschalen können zukünftig als vorgefertigte Elemente geliefert werden <p>Monolithisches Mauerwerk</p> <ul style="list-style-type: none"> - Außenwände 36,5 cm dick (Gesamtdicke 41 cm) einschalig und nicht tragend aus LHZ mit einer Wärmeleitfähigkeit von 0,07 W/(mK) erzielen mit 4 cm Dämmputz ($\lambda=0,06$ W/mK) einen U-Wert von 0,16 W/(m²K), dabei muss insbesondere der Schallschutz nach außen und zwischen den Wohnungen (Anschluss Innen-Außenwand) überprüft werden. - Wärmebrücken von Wand-, Decken- und Fensteranschlüssen sowie bei statisch erforderlichen Stahlbetonstützen führen zu einer Verschlechterung des resultierenden U-Werts bzw. h_T' gegenüber dem oben angeführten U-Wert <p>Zweischaliges Mauerwerk mit Verblendern</p> <ul style="list-style-type: none"> - Wahl von zweischaligem Mauerwerk mit Verblendern erhöht die Kosten gegenüber einem WDVS um 100 bis 150/m² <p>Holzrahmenbau & Holzmassivbau</p> <ul style="list-style-type: none"> - Holzbaukonstruktionen bieten sich für serielle Fertigung an - Industrielle Vorfertigung mit nachwachsenden Materialien als Fortentwicklung des konventionellen Holzbaus sollte forciert werden.
<p>F & E</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Gezielte Forschung zum elementierten Bauen im Bereich Holzbau, Stahlbau und Fassadentechnik - Fassadenintegrierte PV-Panele mit hoher Gestaltungsqualität - Integration von Gebäudetechnik in die Gebäudehülle - Multifunktionale Fassaden: Stromproduktion, Gebäudetechnik, Gebäudehülle
<p>Kosten vs. EnEV-2016</p>	<p>Mehrinvestitionen bei wirtschaftlicher Planung 5 bis 12 €/m² Wohnfläche, bei weniger optimierter Planung 10 bis 25 €/m² Wohnfläche.</p>

3.2.4 Fenster

Fenster sind seit vielen Jahren Innovationstreiber des energieeffizienten Bauens. Parallel zur Verbesserung der Gläser und Rahmen entwickelten sich sukzessive praxistaugliche Systemlösungen für energiesparende Gebäude. Dreischeibenverglasungen und gedämmte Rahmen stellen seit einigen Jahren den Stand der Technik dar. Weiterentwicklungen werden Energieeffizienz von Gebäuden weiter vereinfachen.

Bauphysik

Die Bewertung von Fenstern wechselte im Laufe der Wärmeschutz- und Energieeinsparverordnungen mehrfach. Die Wärmeschutzverordnung 1977 verlangte einen mittleren U-Wert für die gesamte Gebäudehülle (damals noch k-Wert) von 1,4 bis 0,77 W/(m²K) in Abhängigkeit vom A/V-Verhältnis (von 0,24 bis 1,2). Angesichts des damals üblichen Fenster-U-Werts um 2,6 W/(m²K) war diese Anforderung sehr unspezifisch und obendrein für die Akteure in der Praxis offensichtlich zu kompliziert. In der folgenden Wärmeschutzverordnung 1984 fand sich stattdessen die sehr einfache Angabe „Fenster mit Doppel- und Isolierverglasung“. Bereits bei der nächsten Anpassung wird es wieder komplex. Die Wärmeschutzverordnung 1995 enthält wie 1977 keine Angabe zum Fenster-U-Wert, sondern legt fest: „Der mittlere äquivalente Wärmedurchgangskoeffizient entspricht einem über alle außenliegenden Fenster und Fenstertüren gemittelten Wärmedurchgangskoeffizienten, wobei solare Wärmegewinne ... zu ermitteln sind.“ D.h. die Wärmegewinne durch solare Einstrahlung werden dem U-Wert zugerechnet, wodurch die Anforderung von 0,7 W/(m²K) entsteht. Die 1995er WSVO lebte dabei in der Praxis zu relevanten Teilen von der gerade zuvor marktgängig gewordenen Zweischeiben-Wärmeschutzverglasung, d. h. die Verglasungs-U-Werte waren von 2,6 auf 1,3 W/(m²K) gesunken – und das innerhalb kürzester Zeit zum nahezu gleichen Preis.

Tabelle 4 U-Werte der Fenster von der WSVO 1977 bis zu zukünftigen Standards

	UW [W/(m ² K)]
WSVO 1977	0,77-1,4 ¹⁾
WSVO 1984	2,6 ²⁾
WSVO 1995	0,7 ³⁾
EnEV 2002	1,70
EnEV 2007	1,70
EnEV 2009	1,30
EnEV 2014	1,30
EnEV 2016	1,30
GEG 2017	1,30
KfW EH 55	0,90
KfW EH 40	0,85
Passivhaus	0,80
Aktuelle Best-Practice-Fenster	0,65
Zukünftige Best-Practice-Fenster	0,50-0,40

- 1) Bezug: gesamte Transmissionsfläche
- 2) Text WSVO 1984: „Fenster mit Doppel- und Isolierverglasung“
- 3) Fenster-U-Wert inkl. solarer Gewinne

Die EnEV 2002 und 2007 ruhten sich auf diesem Effekt aus: Standardrahmen und Verglasungen mit einem U_g von 1,3 W/(m²K). Ab 2006 kamen Dreischeibenverglasungen zunehmend in die Mainstream-Fertigung, sodass sie dramatisch kostengünstiger wurden. Dem trug die EnEV 2009 Rechnung, indem die Anforderung

auf $U_w = 1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ gesenkt wurde. Fenster mit U -Werten von $0,9$ bis $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ weisen seit einigen Jahren nur noch vergleichsweise geringe Mehrkosten gegenüber EnEV-konformen Fenstern auf und werden zunehmend zum üblichen Standard. Zweischeibenverglasungen werden von zahlreichen Akteuren inzwischen als Fehlinvestition gesehen, die einen Wertverlust für das betreffende Gebäude beinhalten wird.

Die Entwicklung geht derzeit in Richtung schlanker Rahmen. Sie weisen einerseits eine hohe Gestaltungsqualität auf. Nebenbei wird das Verhältnis von Glas zu Rahmenanteilen verbessert und damit ein günstigerer Fenster- U -Wert erzielt. Im Bereich $U_w = 0,65 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ gibt es bereits Anbieter. Sobald derartige Fensterkomponenten, z. B. durch serielle Fertigung, in einen wirtschaftlichen Bereich kommen, kann im Gegenzug zu den verbesserten Fenstern bei der sonstigen Hülle gespart werden, z. B. bei der Außenwand.

Kosten

Hocheffiziente Fenster mit $U_w = 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ kosteten vor 20 Jahren nahezu das Dreifache von Standardfenstern, sind in den letzten Jahren jedoch sehr kostengünstig geworden. Das Diagramm unten zeigt sehr plakativ diese Entwicklung. Die Glas- und Fensterbranche stellt damit ein Musterbeispiel für die Markteinführung innovativer Techniken dar.

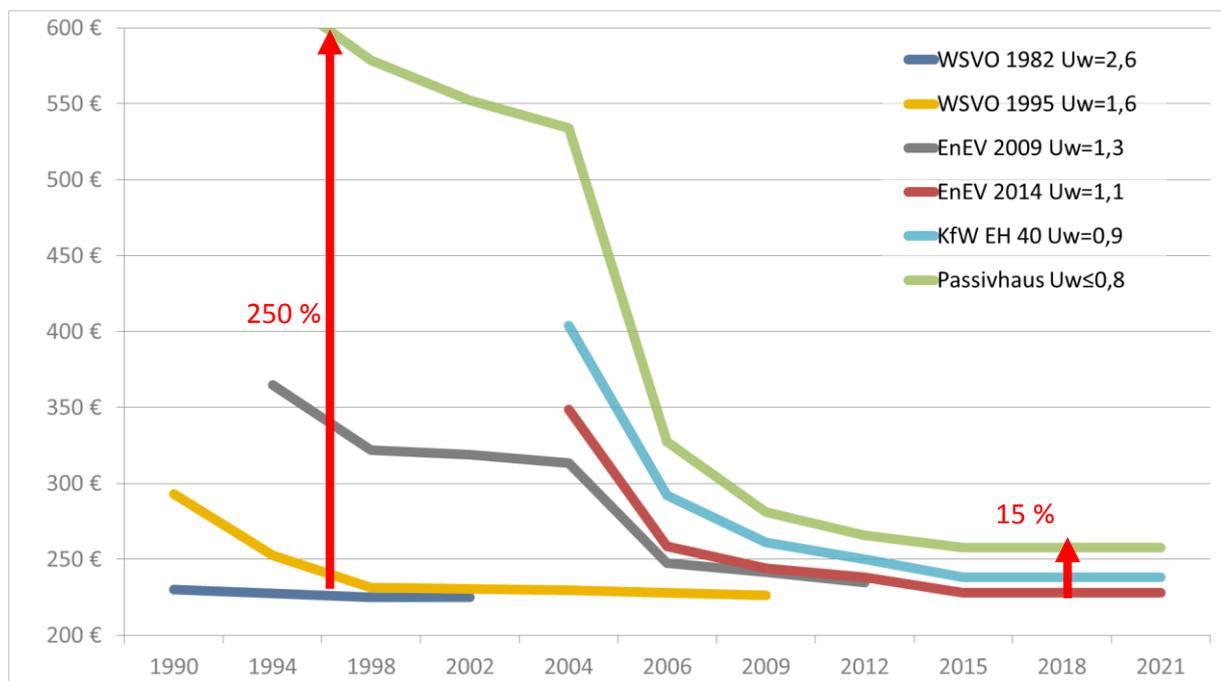


Abbildung 32 Kostenentwicklung unterschiedlicher Fensterstandards über 30 Jahre

Die Preise hocheffizienter Fenster passten sich innerhalb weniger Jahre dem Marktpreis an, sobald sie in die Mainstream-Fertigung gelangten [Ecofys, Schulze Darup 2014]

Werden die Fensterkosten für Mehrfamilienhäuser umgerechnet auf den Quadratmeter Wohnfläche, ergeben sich sehr moderate Mehrinvestitionen für erhöhte Qualitäten gegenüber dem aktuellen EnEV-Standard. Das liegt einerseits an den oben beschriebenen geringen Mehrkosten der effizienten Fenster. Vor allem ist es aber im Verhältnis der Wohnfläche zur Fenster-Konstruktionsfläche begründet, das den Faktor 6,5 für einen niedrigeren Fensterflächenanteil aufweist und den Faktor von etwa 4,5 für höhere Fensteranteile in der Fassade. Ein noch höheres Verhältnis der Fensterfläche zur Wohnfläche kann zu Problemen beim sommerlichen Wärmeschutz führen. Vor allem werden die Kosten für die Erstellung des

Gebäudes steigen, da Fensterflächen immer teurer sind als opake Flächen. Das obige Diagramm zeigt die Mehrinvestitionen pro m² Wohnfläche für verschiedene Standards bei einer mittleren Kenngröße des Fensteranteils.

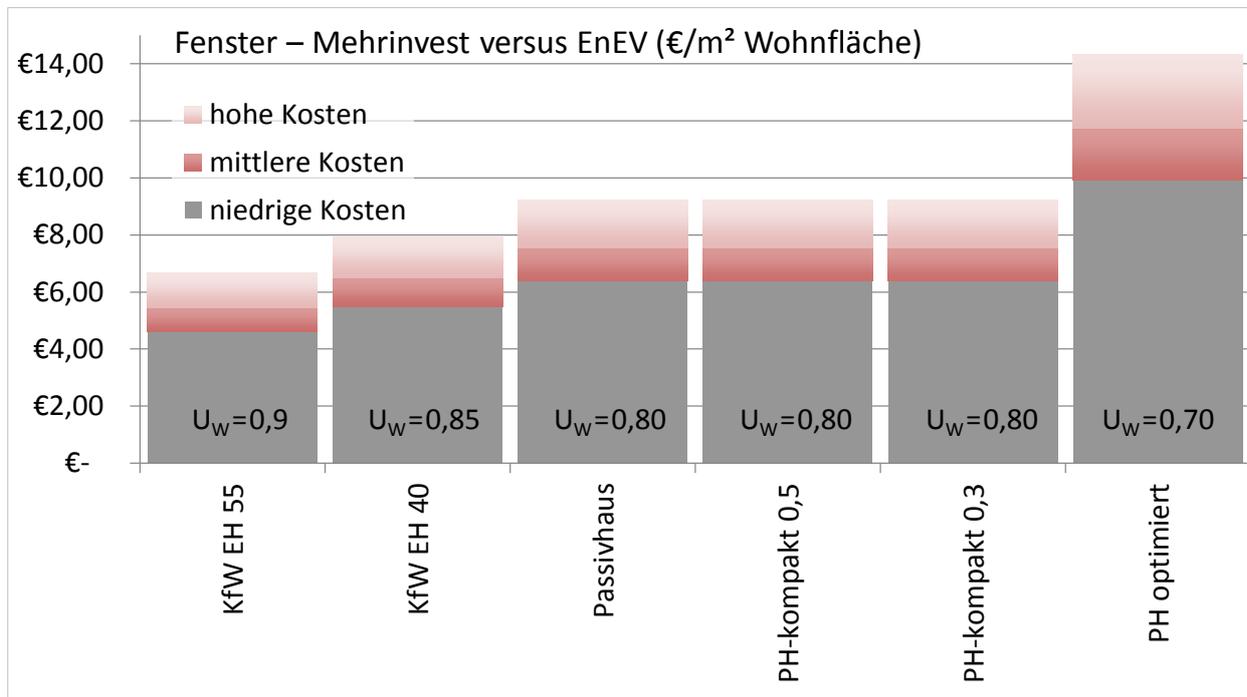


Abbildung 33 Mehrinvestitionen für Fenster bei steigenden Energiestandards

Durch die Umrechnung der Fensterfläche auf die Wohnfläche liegen die Mehrinvestitionen trotz der höheren Konstruktions-Mehrkosten [BMVBS 2012: 39-82 €/m²], [Ecofys, Schulze Darup 2014 (ergänzt 2018): 30-65 €/m²] in einem niedrigen Bereich. Sehr große Fensteranteile führen zu entsprechend höheren Kosten.

Die Entwurfsplanung hat einen weiteren wesentlichen Einfluss auf die Gebäude- und Fensterkosten. Je kleiner Fenster sind und je höher der Rahmenanteil, desto höhere Kosten stellen sich in den meisten Fällen pro m² Fensterfläche ein. Im Umkehrschluss: größere Fensterflügel ohne Teilung sind aus Kostensicht am günstigsten. Zu beachten sind dabei Kostensprünge von Fenstersystemen, die ab einer Rahmengröße von 2,0 bis 3,5 m² aufgrund statischer Anforderungen an die Rahmen eintreten. Klebeverfahren beim Einsetzen der Scheiben können größere Flügel ermöglichen. Optimierende Planer beachten bei der Fensterauslegung weitere Parameter wie z. B. die VOB-Abzugsgrößen für Rohbau und Ausbaugewerke.

Serielle Fertigung

Während Rahmenprofile und Flachglas in industriellem Maßstab hergestellt werden, findet die Verarbeitung in Deutschland durch kleine und mittlere Betriebe statt. Das betrifft sowohl die Herstellung der Mehrfachverglasungen als auch den Zuschnitt, die Herstellung und spätere Montage der Fenster. In Asien gibt es in der Glasbranche sehr große industriell geprägte Hersteller. Dadurch ist es dort bereits möglich Vakuumverglasung industriell herzustellen. In Deutschland wird Vakuumverglasung seit zwanzig Jahren in fünf Jahren angekündigt [Vakuumverglasung 2018]. Der zukünftige Einsatz von 3D-Druckern könnte weitere Verwerfungen in dem Segment verursachen. Fensterrahmen stellen ein hervorragendes

Anwendungsbeispiel für den Einsatz von 3D-Technik dar. Mit zwei bis drei Druck-Komponenten und anschließender Oberflächenbeschichtung mittels Techniken aus dem Automotive-Bereich sind hervorragende Produkteigenschaften zu erreichen. In Verbindung mit industriell hergestellten Glas-Vakuumelementen, die mittels industrieller Klebe- oder Schweißverfahren verbunden werden können und einer seriellen Form der Beschlagstechniken könnte eine deutliche Veränderung bei der Fensterproduktion entstehen. Es ist die Frage, ob solche Visionen positiv zu bewerten sind oder ob dadurch Qualität – insbesondere gestalterischer Art – verloren geht.

Zusammenfassung – Fenster

Standard zum Erreichen 2°-Ziel	Fenster mit Dreischeibenverglasung und gedämmtem Rahmen; durch Verbesserungen bei Rahmen und Verglasung werden bessere Kennwerte mittelfristig marktgängig (dadurch Planungsspielräume bei anderen Bauteilen)
Technische Werte	$U_w = 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ / $U_f = 0,6 - 0,9 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ / $U_g = 0,5 - 0,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ Wärmebrücke des Glasrands $\Psi < 0,032 \text{ W}/(\text{mK})$ / Wärmebrücke Einbau $< 0,01 \text{ W}/(\text{mK})$
Kosteneffiziente Planung	<ul style="list-style-type: none"> - zurückhaltender Fensterflächenanteil (Fenster teurer als Außenwand) - minimierter Rahmenanteil am Fenster: kostengünstiger und energetisch effizienter - unnötige Fensterteilungen vermeiden (ABER: Gestaltung hat 1.Priorität!) - Schlanke Fensterrahmen zur Erzielung eines hohen Glasanteils am Fenster - Fensterebene weit nach außen planen (Einbauwärmebrücke, solare Gewinne) - Wohnfläche: bei raumhohen Fenstern kann ab 14 cm Fensternischentiefe die Fläche angerechnet werden (pro Fenster 0,15 bis 0,5 m² Wohnfläche) - Einflügelige Fenster/Fenstertüren sind am günstigsten bei mittleren Größen (Statikanforderungen der Rahmen überprüfen; Breite: 1.00 – 1,25 m/ H: bis ca. 2,4 m) - Einfache Einbausituation und kostengünstige Montage - Kellerfenster können entfallen oder festverglast ausgeführt werden, wenn über Abluftanlage gelüftet wird (Regelung nach absoluter Feuchte)
F & E	<ul style="list-style-type: none"> - Filigrane Rahmensicht mit höherer Rahmentiefe (Gestaltung & Energieeffizienz) - Fortentwicklung selbsttragender und in sich gedämmter Rahmenkonstruktionen in Verbindung mit statisch wirksamem verklebtem Glas - Vakuumverglasung und Verglasung mit integrierten Folienschichten - Entwicklungen zur seriellen und industriellen Fertigung von Fenstern - Mittelfristig: Fenster(teile)produktion mit 3-D-Druck
Kosten vs. EnEV-2016	Mehrinvestitionen ca. 15 Prozent, das sind 35 bis 60 € pro m ² Fensterfläche bzw. 5 bis 9 €/m ² Wohnfläche bei niedrigem Fensterflächenanteil in der Fassade oder 8 bis 14 €/m ² bei hohem Fensterflächenanteil.

3.2.5 Qualitätssicherung

Während bis vor einigen Jahren die Qualitätssicherung als zusätzlicher Kostenfaktor hinsichtlich hocheffizienter Gebäude gesehen wurde, setzt sich inzwischen die Sichtweise durch, dass bei jedem Bauvorhaben eine hohe Prozessqualität und Sicherheit bei der Ausführung der Standards eine Selbstverständlichkeit ist. Auf diesem Weg kann Folgekosten bereits in der Bauphase begegnet werden. Hohe Qualität führt zudem zu hoher Akzeptanz und Zufriedenheit bei den Kunden bzw. Bauherren.

Bei der Konzeption eines Bauvorhabens sollten einfache Konstruktionsansätze als Leitlinie der Planung bereits in der Vorentwurfsphase berücksichtigt werden. Dadurch können bei der Planung und Umsetzung deutliche Einsparungen erzielt werden. Bei der Ausführungsplanung ist es von Bedeutung, fehlertolerante Details vorzusehen inkl. integraler Wärmebrücken- und Luftdichtheitsplanung. Abgerundet wird das Maßnahmenpektrum durch Qualitätssicherung im Bauprozess und bei der Abnahme.

3.2.5.1 Luftdichtheit

Nur bei unqualifizierter Planung und ausführenden Firmen mit mangelnder Präzision stellen Luftdichtheitsanforderungen ein Problem bei der Bauabwicklung dar. Daraus kann in einzelnen Fällen allerdings ein quälender Qualitätssicherungsprozess für die Bauleitung entstehen. Immer ist es jedoch so, dass bei schlechten Luftdichtheitswerten signifikante Fehler gefunden werden. Diese umfassen u. a. folgende Bereiche:

- Schallschutz – Leckagen verschlechtern Schallschutzwerte deutlich
- Brand-/Rauchschutz – Fehlender Schutz aufgrund von Durchdringungen z. B. in der Decke
- Komfort – ungewollte und störende Luftbewegungen bei Winddruck
- Geruchs- und Stoffeinträge – Übertragung von Gerüchen und Partikeln durch Leckagen
- Feuchteschutz – Feuchteausfall und Folgeschäden durch Schimmelbelastung
- Energie – erhöhter Energiebedarf und unregelmäßige Luftzufuhr bei Lüftungsanlagen.

Nur der letzte Punkt berührt energetische Anforderungen, wobei jedoch auch dort der Schwerpunkt auf geregelter Luftzufuhr gemäß DIN 1946-6, also einem Gesundheitsaspekt liegt.

Kostenmäßig kann deshalb der Aufwand für die Luftdichtheit nicht einem Energiestandard zugeordnet werden. Außerdem sorgt eine erfahrene Bauleitung dafür, dass die Kosten für die Behebung von Luftdichtheitsmängeln den Verursachern zugeordnet werden. Die Kosten für die Luftdichtheitsmessung sind bei jedem Bauvorhaben in Ansatz zu bringen unabhängig vom energetischen Standard. Sie sind als Leistung gemäß EnEV geschuldet, wenn ein Luftwechsel von $0,6 \text{ h}^{-1}$ in Ansatz gebracht wird. Das empfiehlt sich dringend. Die Wahl des Standard-Wertes von $0,7 \text{ h}^{-1}$ führt zu erhöhten anderweitigen EnEV-Anforderungen, die in der Summe kostenträchtiger sein dürften als eine professionell durchgeführte Luftdichtheitssicherung im Bauprozess.

Hinsichtlich der technischen Ausführung dient eine Luftdichtheitsschicht dazu, die Strömung durch Bauteile zu verhindern. Diese Funktion kann in Abhängigkeit von der Konstruktion von verschiedenen Materialien übernommen werden. Sie müssen dauerhaft auch bei Bewegungen und Setzungen wirksam sein. Es ist zu beachten, dass sowohl innenseitig Luftdichtheit gewährleistet sein muss als auch die Außenfläche der Transmissionsflächen winddicht ausgeführt werden müssen, damit keine Durchströmungen der Dämmebenen stattfinden. Folgende Planungsaspekte sind hilfreich:

- Möglichst einfache Form der wärmeübertragenden Gebäudehülle mit wenig Materialwechsell
- Lage der wind- und luftdichten Ebene festlegen, klare Abtrennung zu unbeheizten Bereichen
- Länge der Anschlüsse minimieren, möglichst homogene Flächen festlegen
- Einfache Konstruktionen wählen, Durchdringungen vermeiden (z. B. Zangen im Dachstuhl)
- Haustechnik-Durchdringungen minimieren; ggf. Installationsebene einplanen

- Flächen- und fugendichtende Materialien und Montagetechnik festlegen
- Präzise Detailplanung und Abstimmung mit den Handwerkern.
- Gute Anleitungen zur Luft- und Winddichtheit gibt der Fachverband Luftdichtheit im Bauwesen e. V. (<http://flib.de/>).

3.2.5.2 Wärmebrückenminimierung

Die Minimierung von Wärmebrücken gehört seit Jahren zum Standardrepertoire guter Architekten und Bauingenieure. Dabei gilt grundsätzlich: je besser die Wärmedämmung der Gebäudehülle, desto geringer ist das mögliche Schadenspotenzial durch Wärmebrücken. Ab etwa einem U-Wert der Transmissionsflächen von $0,16 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ führt noch nicht einmal eine nach außen durchgehende Stahlbetondecke zu Feuchte- und Schimmelschäden, weil der Wärmenachfluss auf der Innenseite der gut gedämmten Konstruktion eine Temperatur unterhalb 13 °C bei üblichen Raumlufttemperaturen verhindert.

Einen ebenso wichtigen Aspekt stellt die wirtschaftliche Optimierung von Gebäuden dar. Wenn der übliche Wärmebrückenzuschlag der EnEV bzw. des GEG von $0,05 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ (entspricht ΔU_{WB}) veranschlagt werden muss, führt das zu unwirtschaftlichen Konstruktionen. Deshalb nehmen versierte Planer immer eine detaillierte Bilanzierung der Wärmebrücken vor und optimieren diese bereits in der Vorentwurfsphase. Dazu gehört auch die Auswahl der jeweils günstigsten Konstruktionsarten. Sehr gute Fachleute schaffen es bei Wohnbauten im Allgemeinen, einen minimierten Wärmebrückenzuschlag zu erzielen, der bei komplexen Wohnbauten bei einem Wert für $\Delta U_{\text{WB}} \leq 0,02 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ liegt. In vielen Fällen kann ein Wert von $\Delta U_{\text{WB}} \leq 0,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ erreicht werden. Die Aufwendungen für die Wärmebrückenminimierung liegen oftmals nur in der sehr ausgefeilten Planung oder in der Wahl unkritischer Konstruktionen. Kostenoptimierende Planer zeichnen sich dadurch aus, dass wärmebrückenoptimierte Gebäude keine konstruktionsbedingten Mehrkosten erfordern. Im Gegenteil, oftmals führen einfache Lösungen zu hoher Kosteneffizienz und Wärmebrückenminimierung gleichzeitig.

Zusammenfassung – Qualitätssicherung

Standard zum Erreichen 2°-Ziel	Um hochwertige Effizienzstandards zu erreichen müssen Gebäude nahezu wärmebrückenfrei sein und eine hohe Luftdichtheit aufweisen.
Technische Werte	Wärmebrücken: $\Delta U_{\text{WB}} \leq 0,02 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ / optimierte Gebäude: $\Delta U_{\text{WB}} \leq 0,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ Luftdichtheit: $n_{50} \leq 0,6 \text{ h}^{-1}$ (nur in begründeten Ausnahmefällen max. $n_{50} \leq 1,0 \text{ h}^{-1}$)
Kosteneffiziente Planung	<ul style="list-style-type: none"> - Möglichst einfache Form der wärmeübertragenden Gebäudehülle mit wenig Materialwechselln - Lage der wind- und luftdichten Ebene festlegen, klare Abtrennung zu unbeheizten Bereichen - Länge der Anschlüsse minimieren, möglichst homogene Flächen festlegen - Einfache Konstruktionen wählen, Durchdringungen vermeiden - Haustechnik-Durchdringungen minimieren; ggf. Installationsebene einplanen - Flächen- und fugendichtende Materialien und Montagetechnik festlegen - Präzise Detailplanung und Abstimmung mit den Handwerkern.
F & E	<ul style="list-style-type: none"> - Bei allen Baumaterialien und Anschlussmaterialien: Forschung und Entwicklung zur Bereitstellung möglichst einfacher und fehlertoleranter Übergänge, die in der Baupraxis ohne erhöhten Aufwand montiert werden können.

Kosten vs. EnEV-2016	Keine erhöhten Investitionen, wenn Planer bereits in der Vorentwurfphase auf einfach ausführbare Konstruktions- und Materialwechsel achten und die ausführenden Firmen an die Anforderungen von Luftdichtheit und Wärmebrückenfreiheit gewöhnt sind. Bei ungeübten Bauteams fallen Kosten in Höhe von 15 bis über 40 €/m ² Wohnfläche an. Luftdichtheitsmessungen stellen keinen energiebezogenen Mehraufwand dar, sondern müssen bei jedem Bauvorhaben durchgeführt werden, um Bauschäden zu vermeiden.
-------------------------	---



4 Gebäudetechnik

Während bei der Gebäudehülle Techniken marktverfügbar sind, die auf relativ wirtschaftliche Weise sehr niedrige Heizenergiekennwerte von 10 bis 20 kWh/(m²a) ermöglichen, agiert der Gebäudetechnik-Sektor seit Jahren reaktiv: es werden zwar kontinuierlich Innovationen auf den Markt gebracht, die jedoch zunehmend komplexere Heizsysteme mit sich bringen. Die Folge davon sind überproportional steigende Kosten für die Gebäudetechnik. Während die Kostengruppe 300 in den letzten Jahren nur moderat gewachsen ist, sind die Zuwachsraten bei der Kostengruppe 400 für die Gebäudetechnik dramatisch.

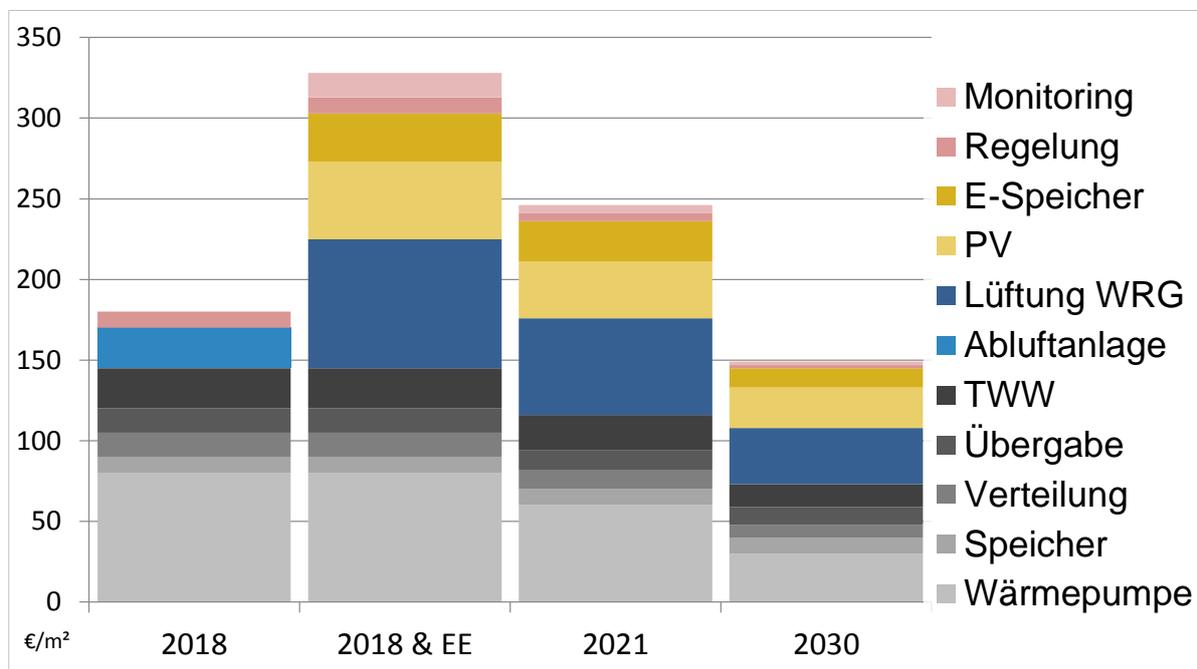


Abbildung 34 Beispielhafte Kosten von Gebäudetechnik – Vergangenheit & Zukunft

Durch niedrigen Heizwärmebedarf und eine daraus resultierende niedrige Heizlast können Heizsysteme deutlich günstiger werden (€/m² Wohnfläche)

Die Abbildung oben zeigt schematisch die additiven Kosten gegenüber dem Stand „2018“, wie sie derzeit in der Praxis sehr oft anzutreffen sind: Bei „2018 & EE“ werden Anforderungen eines Standards KfW Effizienzhaus 40 Plus berücksichtigt. Während die Versorgungslösung für Heizen und Warmwasser gleich bleibt, kommen additiv hohe Kosten für die Wärmerückgewinnung der Lüftungsanlage, die Photovoltaik und den Batteriespeicher dazu. Es werden keine Synergien für ein neues Versorgungssystem genutzt. Es ist recht einfach vorhersagbar, dass die deutsche Heizungsindustrie in wenigen Jahren einen deutlichen Einbruch erleben wird, wenn sie nicht die Chance ergreift, die sich aus dem anstehenden Paradigmenwechsel ergibt. Start Ups stehen in den Startlöchern, die innovative und schlanke Lösungen avisieren, wie sie z. B. unter „2021“ im Diagramm skizziert werden. Die Lösung hat ein höheres Investitionsvolumen als der 2018-er Stand, da Wärmerückgewinnung bei der Lüftung dazugekommen ist sowie das PV & Batterie-Paket. D. h. der Umsatz geht bei dieser Variante nicht zurück. Allerdings wird das Potenzial an

Vereinfachung und Kostenersparnis gehoben, das sich aus den geringeren Leistungsanforderungen für den Bereich Heizen ergibt (s. Kap. 4.2). Diese Entwicklung birgt bis zum Jahr 2030 ein deutliches weiteres Sparpotenzial, wenn die Gebäudetechnik-Branche die Chance nutzt von der manufakturrellen zu einer industriellen Fertigung zu gelangen und zudem die Chancen serieller Vorfertigung von Gebäudetechnikmodulen oder Raumzellen nutzt, die angesichts des Fachkräftemangels ohnehin erforderlich sind.

4.1 Wärmewende – Herausforderung & Chancen

Die Wärmewende erfordert eine Verknüpfung des Wärmesektors mit der erneuerbaren Stromgewinnung. Sowohl die Gebäudetechnik-Lösungen einzelner Gebäude werden neue Ansätze integrieren müssen als auch die Versorgungsstrukturen von Quartieren, Kommunen und Regionen. Energie- und Strommanagement im Geschosswohnungsbau umfassen nicht nur das Heizen und die Warmwasserbereitung, sondern müssen die Stromnutzung inklusive Haushaltsstrom ebenso integrieren wie die E-Mobilität. Zudem gilt es, innerhalb der Siedlungsstrukturen erneuerbare Energien zu generieren und Synergien zwischen den Akteuren zu realisieren. Dadurch erhalten quartiersbezogene Versorgungskonzepte eine hohe Bedeutung.

4.1.1 Entwicklung der Erneuerbaren Energien

Durch die dramatische Entwicklung der erneuerbaren Energien in den letzten zwei Jahrzehnten ist eine völlig neue Situation für die Gebäude- und Versorgungstechnik entstanden. Die Preise für Windkraft, Photovoltaik und Batterie-Systeme sind um 60 bis 80 Prozent gefallen. Weitere Kostensenkungspotenziale sind gegeben, sodass erneuerbare Techniken in vielen Anwendungsgebieten die Kosten für konventionelle fossile Versorgungsarten bereits heute unterschreiten – oder dies bei geeigneten Rahmenbedingungen in Kürze tun werden.

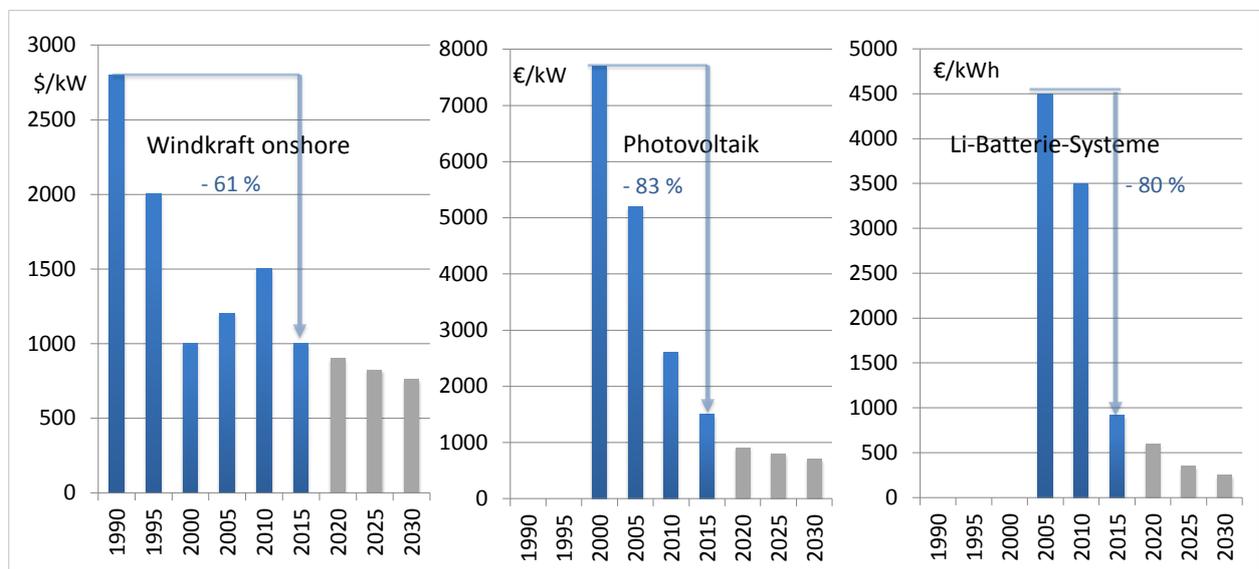


Abbildung 35 Kostenentwicklung erneuerbarer Techniken [Saliger 2018]

4.1.2 Charakteristika fossiler und erneuerbarer Energieversorgung

Die fossile Energieversorgung basiert auf Brennstoffen. Entsprechend einfach lässt sich der Weg von der Energiequelle zum Ort der Nutzung mit einer Kennzahl darstellen. Für die wesentlichen Brennstoffe Öl und

Gas beträgt der Primärenergiefaktor 1,1. Dagegen wird Strom über den Umweg des Kraftwerks bereitgestellt mit der Folge eines erhöhten Primärenergiekennwerts, der in den letzten Jahren aufgrund besserer Kraftwerkseffizienz und der erneuerbaren Anteile von 3,0 auf 1,8 gesunken ist. Der Primärenergiekennwert fossiler Energieträger wird sich dynamisch weiter verändern und ist nicht besonders gut geeignet, zukünftige Entwicklungen zu beschreiben oder gar zu lenken.

Die künftige erneuerbare Versorgung basiert auf der Primärseite zu überwiegenden Teilen auf Strom, der als Primärstrom vor allem aus Windkraftanlagen und Photovoltaik bereitgestellt wird. Direkt genutzter Wind- und Sonnenstrom weist einen regenerativen Primärenergiefaktor (PER) von 1,0 auf und ist zunehmend sehr kostengünstig verfügbar. PV-Strom kann auf Gebäuden für weniger als 0,12 €/kWh bereitgestellt werden, günstige Anlagen ermöglichen Werte bis hinunter zu 0,07 €/kWh. Gas muss dagegen aufwendig mittels Elektrolyse erzeugt werden. Dafür hat sich die Bezeichnung „Power to Gas“ (PtG) etabliert. Dieser Prozess ist mit einem erhöhten erneuerbaren Primärenergiefaktor (PER-Faktor) von z. B. 1,75 behaftet. Inklusiv Rückverstromung betragen die Kosten pro kWh derzeit etwa 0,25 bis 0,45 €/kWh. Dieser Wert wird sinken, bleibt aber auch langfristig deutlich über dem Preis der direkt genutzten erneuerbaren Energien [vgl. PHI 2017].

Daraus ergeben sich grundlegend neue Konstellationen für die Gebäude- und Versorgungstechnik. Es stehen Infrastruktur-Entscheidungen an, die für Jahrzehnte getroffen werden müssen. Wir benötigen zeitnah die Kriterien für die Wärmewende mit Regularien der 2030/40er Jahre. Es ist offensichtlich, dass im Wärmebereich die effizienteste verfügbare Gebäudetechnik aktuell vor allem mit der Wärmepumpentechnik gegeben ist. Kann direkt erzeugter erneuerbarer Strom – im Idealfall als Eigenstromnutzung aus dem eigenen Gebäude oder Quartier – mittels Arbeitszahlen von 3 bis über 4 in Wärme umgewandelt werden, ist eine sehr hohe erneuerbare Versorgungseffizienz zu sehr günstigen Kosten gegeben, die pro Kilowattstunde Wärmeenergie für 0,03 bis 0,05 € bereitstellt. Spannend ist aber vor allem die Frage, wie die Versorgung zu Zeiten ohne Sonne und Wind funktioniert, also zu Zeiten der Dunkelflaute im Winter. Die PtG-Technologie stellt dafür eine technisch sinnvolle Option dar: aus erneuerbarem (Überschuss?)-Strom wird mittels Elektrolyse Wasserstoff gewonnen, der direkt oder methanisiert gespeichert wird, um im Bedarfsfall rückverstromt zu werden. Die Verluste betragen bei diesem Prozess etwa 65 Prozent. Es ist evident, dass diese Technik auf ein möglichst geringes Anwendungsspektrum begrenzt werden muss, da die Nutzung dieser Prozesskette die Kosten eines Versorgungssystems deutlich nach oben treiben.

Vor diesem Hintergrund bleibt die Frage, welcher Gebäudestandard mit den zukünftigen Systemen am besten kompatibel ist. Da der große Nachteil der erneuerbaren Versorgung in der Ungleichmäßigkeit des Angebotes sowie in Engpässen zu Zeiten der kalten Dunkelflaute liegt, müssen zukünftige Gebäude vor allem vier Qualitätsmerkmale aufweisen. Sie könnten mit einem „Netzfrendlichkeitsindikator“ versehen werden:

1. Hohe Energieeffizienz mit einem niedrigen Heizwärmebedarf sorgt insbesondere in den kritischen Wintermonaten für einen niedrigen Bedarf.
2. Hocheffiziente Gebäude ermöglichen eine hohe Speicherfähigkeit in der Gebäudehülle und/oder Gebäudetechnik zum Ausgleich von Leistungsspitzen oder –senken über mehrere Tage.
3. Das Versorgungssystem muss möglichst kompatibel zum erneuerbaren Stromsystem sein, d. h. strombasierte hocheffiziente Systeme sind vorteilhaft.
4. Die Lastspitze zu Zeiten der Dunkelflaute muss so niedrig wie möglich sein.

Um die Energieversorgung zukünftig wirtschaftlich betreiben zu können, kommt dem Gebäudebereich eine wesentliche Rolle zu. Es geht darum, Versorgungssicherheit in einem erneuerbaren System zu erzielen. Dazu benötigen wir einen zweiten redundanten Kraftwerkspark, der die erforderliche Leistung bereithält, wenn Wind und Sonne nur begrenzt zur Verfügung stehen. Wenn dies bei der Gebäude- und

Quartiersplanung bedacht wird, kann die teure Reserveleistung für die Zeiten der Dunkelflaute, die nur für wenige hundert Stunden pro Jahr benötigt wird, deutlich kleiner ausfallen.

Die beiden folgenden Abbildungen zeigen in sehr vereinfachter schematischer Form, welche Herausforderungen der Wechsel von der brennstoffbasierten zu einer erneuerbaren Energieversorgung mit sich bringen werden. Zunächst wird das fossile Energiesystem dargestellt. Es basiert auf Brennstoffen, die direkt verfeuert werden können. Das wirkt sich primärenergetisch günstig auf die Wärmebereitstellung aus, die für Öl und Gas mit Primärenergiefaktoren von 1,1 behaftet ist. Dagegen muss Strom über einen verlustreichen Prozess bereitgestellt werden mit Verlusten von 45 bis 70 Prozent. Daraus ergeben sich deutlich ungünstigere Primärenergiefaktoren.



Abbildung 36 Fossile Energieversorgung – vereinfachtes Schema

Dieses extrem vereinfachte Schema zeigt, dass unser bisher fossiles Energiesystem auf Brennstoffen basiert, die direkt verfeuert werden können. Das wirkt sich primärenergetisch günstig auf die Wärmebereitstellung aus. Strom muss über einen verlustreichen Prozess bereitgestellt werden mit Verlusten von 45 bis 70 Prozent.

Die erneuerbare Versorgung ist deutlich komplexer. Dadurch wird die Festlegung von fairen Rahmenbedingungen schwieriger. Zugleich liegt darin aber auch eine Chance. Die Energiebereitstellung erfolgt im Vergleich zum bisherigen System äußerst dezentral. Statt weniger Akteure mit großen Kraftwerken gibt es eine hohe Zahl von Betreibern regenerativer Anlagen. Erneuerbare Energieversorgung basiert zu entscheidenden Teilen auf Primärstrom aus Wind und PV. Biomasse und biogene Brennstoffe werden zukünftig vor allem für Treibstoff im Bereich des Flug- und Schiffsverkehrs benötigt sowie als Rohstoff und für Hochtemperatur-Prozesswärme. Sonstige Erneuerbare wie Solarthermie, Wasserkraft, Geothermie und weitere weisen ein wichtiges Potenzial auf, das jedoch gegenüber den Hauptsäulen PV und Wind nur einen relativ geringen Anteil an der Wärmeversorgung im Gebäudebereich ausmachen wird. Idealtypisch ist die Direktnutzung von erneuerbarem Strom zur Bereitstellung von Wärme über einen Arbeitszahl-Hub wie bei der Wärmepumpe. Um wirtschaftliche Versorgungssysteme zu erzielen, kann direktelektrische Energienutzung für kleinere Teilbereiche sinnvoll sein. Allerdings ist für diese Lösungen ein besonderes Augenmerk auf die niedrige Lastspitze in Zeiten von Dunkelflaute zu achten.

Die Zwischenspeicherung regenerativen Stroms z. B. über Power to Gas-Verfahren (PtG) stellt einen wichtigen Baustein der zukünftigen Energiesicherheit dar. Je geringer der PtG-Anteil am Versorgungssystem ist, desto wirtschaftlicher und wettbewerbsfähiger ist das System.

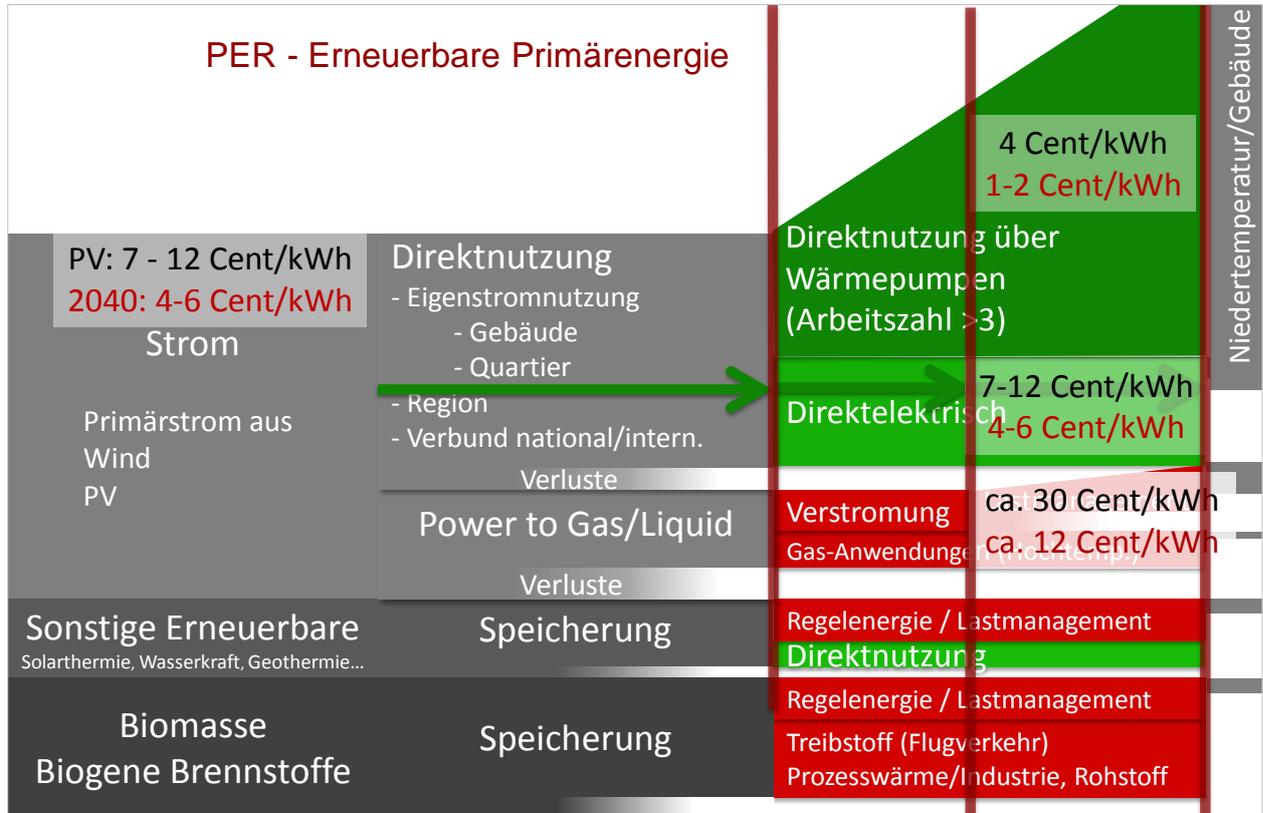


Abbildung 37 Erneuerbare Energieversorgung – vereinfachtes Schema

Erneuerbare Energieversorgung basiert zu entscheidenden Teilen auf Primärstrom aus Wind und PV. Für den Wärmesektor eröffnet sich die Chance, über Wärmepumpentechnik sehr wirtschaftliche Lösungen zu erhalten. Je höher die Nutzung an Eigenstromnutzung ist und desto geringer der Bedarf an Zwischenspeicherung oder die Lastmanagement über z. B. PtG, desto wirtschaftlicher das Versorgungssystem. Vgl. Kostangaben aktuell (schwarz) und im Jahr 2040 (rot). Der Anteil der Wärmeversorgung für Gebäude wird durch die schmale graue Fläche rechts skizziert.

Vor diesem Hintergrund ist zu bedenken, dass die Gestaltung des erneuerbaren Versorgungssystems durch die Betrachtung der fossilen Primärenergie oder CO₂-Reduktion nur einen Teilaspekt darstellt, da deren Anteil erklärtermaßen gegen Null gesenkt werden soll. Parallel muss in der Kategorie der erneuerbaren Primärenergie gedacht werden. Nur dann können gestaltende Aussagen zu den erneuerbaren Ressourcen der Zukunft gemacht werden und unnötige Verluste innerhalb des regenerativen Versorgungssystems minimiert werden (s. Kapitel 4.5.3).

4.2 Gebäudetechnik – Heizung

Durch die Entwicklung von der fossilen zur erneuerbaren Versorgung werden, wie im vorherigen Kapitel beschrieben, neue Anforderungen an die Versorgung von Gebäuden und Stadtteilen entstehen. Die Umstellung auf eine vorrangig elektro-basierte Versorgung eröffnet zahlreiche Chancen. Dezentrale kleinteilige Stromanwendungen werden mit komplexen Wärmenetzen konkurrieren. Es könnte sein, dass weniger verdichtete Bereiche von Nah- und Fernwärmenetzen in den nächsten Jahrzehnten aus wirtschaftlichen Erwägungen heraus zurückgebaut werden.

Auch aus weiteren Gründen stehen bei der Heiztechnik Paradigmenwechsel an. Wenn 100 m² Wohnfläche mit hohem Effizienzstandard auch bei kaltem Winterwetter mit 10 bis 15 Teelichtern zu heizen sind, so wird offenkundig, dass es ein Potenzial zur Vereinfachung der Heiztechnik gibt. Anlagen mit sehr geringer Leistung von 10 bis 15 Watt pro m² Wohnfläche sind für die Beheizung ausreichend. Gegenüber Standardgebäuden wird damit die Heizlast halbiert. In der Konsequenz kann die Auslegung der Anlagen deutlich reduziert werden. Zudem gleicht sich die wohnungsinterne Energiedichte für Heizen, Warmwasser und Haushaltsgeräte zunehmend an und ermöglicht völlig neue synergetische Versorgungssysteme, die investitions- und betriebskostenmäßig gegenüber der bisherigen Gebäudetechnik ein bedeutendes Einsparpotenzial bergen könnten.

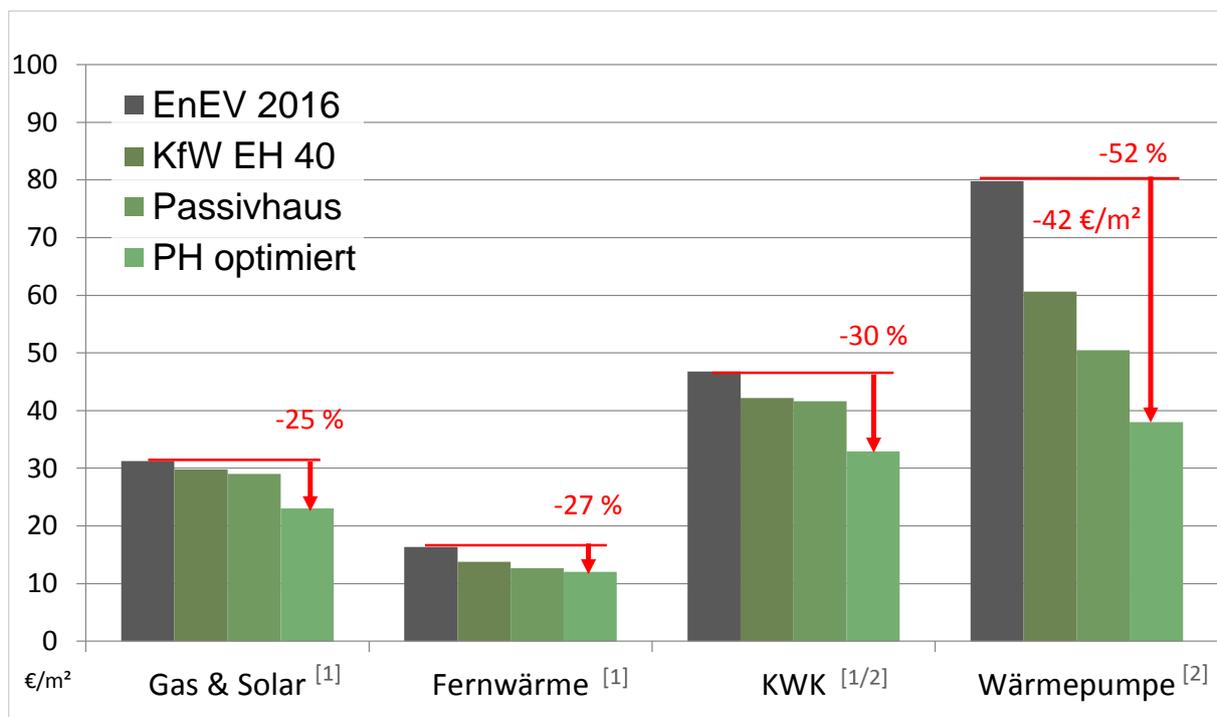


Abbildung 38 Gebäudetechnik-Kosten in Abhängigkeit von Gebäudestandard und Heizlast

Je geringer die Heizlast, desto kostengünstiger ist die Versorgung ausführbar. Bei Wärmepumpensystemen können bei hocheffizienten Gebäuden bis zu 40 €/m²_{WF} eingespart werden [1: EGS-Plan 2016], [2: Ecofys, Schulze Darup 2014]

Bei der Heizung sind bereits heute mit vereinfachten Systemlösungen 15 bis über 40 €/m²_{WF} einzusparen, wie die Abbildung oben darstellt. Das gilt insbesondere für Wärmepumpenkonzepte, bei denen neben dem Aggregat sowohl primärseitig als auch übergabeseitig deutlich kleinere Lösungen als für den EnEV-Standard umgesetzt werden können [1: EGS-Plan 2016], [2: Ecofys, Schulze Darup 2014]. Es gilt einen Wettbewerb in der Heizungsbranche zu initiieren, damit auf diesem wichtigen Feld zeitnah einfache innovative Konzepte in den Markt kommen.

Insbesondere für die Wohnungswirtschaft sind dafür nicht nur die anfänglichen Investitionskosten von Bedeutung, sondern die Einfachheit der Wartung, geringe Aufwendungen für die Erneuerungszyklen und natürlich die geringen Betriebskosten. Das Ziel muss dabei immer sein, die Wohnkosten für die Mieter niedrig zu halten.

Im Folgenden werden beispielhaft Systemlösungen für Mehrfamilienhäuser gegenübergestellt. Es wäre vermessen in diesem Rahmen einen vollständigen Überblick geben zu wollen. Die Anlagen werden auch nicht umfassend beschrieben, sondern die relevanten Veränderungen, Fragestellungen und zukünftigen Herausforderungen aufgezeigt, die sich im Verlauf des Forschungsvorhabens in den zahlreichen Workshops herauskristallisiert haben.

Auf jeweils einer Seite werden die Lösungen mit einem einfachen Anlagenschema und zwei Diagrammen dargestellt. Das obere Diagramm weist in der linken Säule den Heizwärmebedarf und die Anlagenverluste aus. Die nächste Säule umfasst den Energiebedarf für die Warmwasserbereitung (WW). Die dritte blassrote Säule weist die Endenergie für Heizen und Warmwasser aus und die vierte Säule rechts den Primärenergiebedarf. Würde z. B. bei der Systemlösung auf der folgenden Seite für die kesselbasierten Systeme die Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung gegen eine Abluftanlage ausgetauscht, steigt der Heizwärmebedarf durch die erhöhten Lüftungswärmeverluste um 15 bis 25 kWh/(m²a). Das ist mindestens eine Verdopplung, die sich wiederum in der Auslegungsgröße der Heizanlage widerspiegeln würde.

Das untere Diagramm der jeweiligen Beispiele zeigt einen beispielhaften Tagesgang des WW-Bedarfs (kWh/h) und im Vergleich dazu den PV-Ertrag an einem sonnigen Tag. Während bei der Kessel-Lösung keine Eigenstromnutzung für den Wärmebereich möglich ist, stellt sich die Situation bei den Wärmepumpen-Systemen deutlich günstiger dar. Es wird ein konstruktives Lastmanagement ermöglicht.

Alle dargestellten Systemlösungen beinhalten Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung sowie eine Photovoltaikanlage mit Batteriespeicher. Diese Konfiguration bietet sich für die derzeitige Förderung nach dem Standard KfW Effizienzhaus 40 Plus als wirtschaftlichste Variante an.

Bei den Projektworkshops des Forschungsvorhabens und im Zuge der Planungsverläufe für die Beispielvorhaben konnte eine Vielzahl von Aspekten zusammengetragen werden, die in den folgenden Schemabeispielen einfließen.

4.2.1 Gas- oder Ölkessel mit Brennwerttechnik

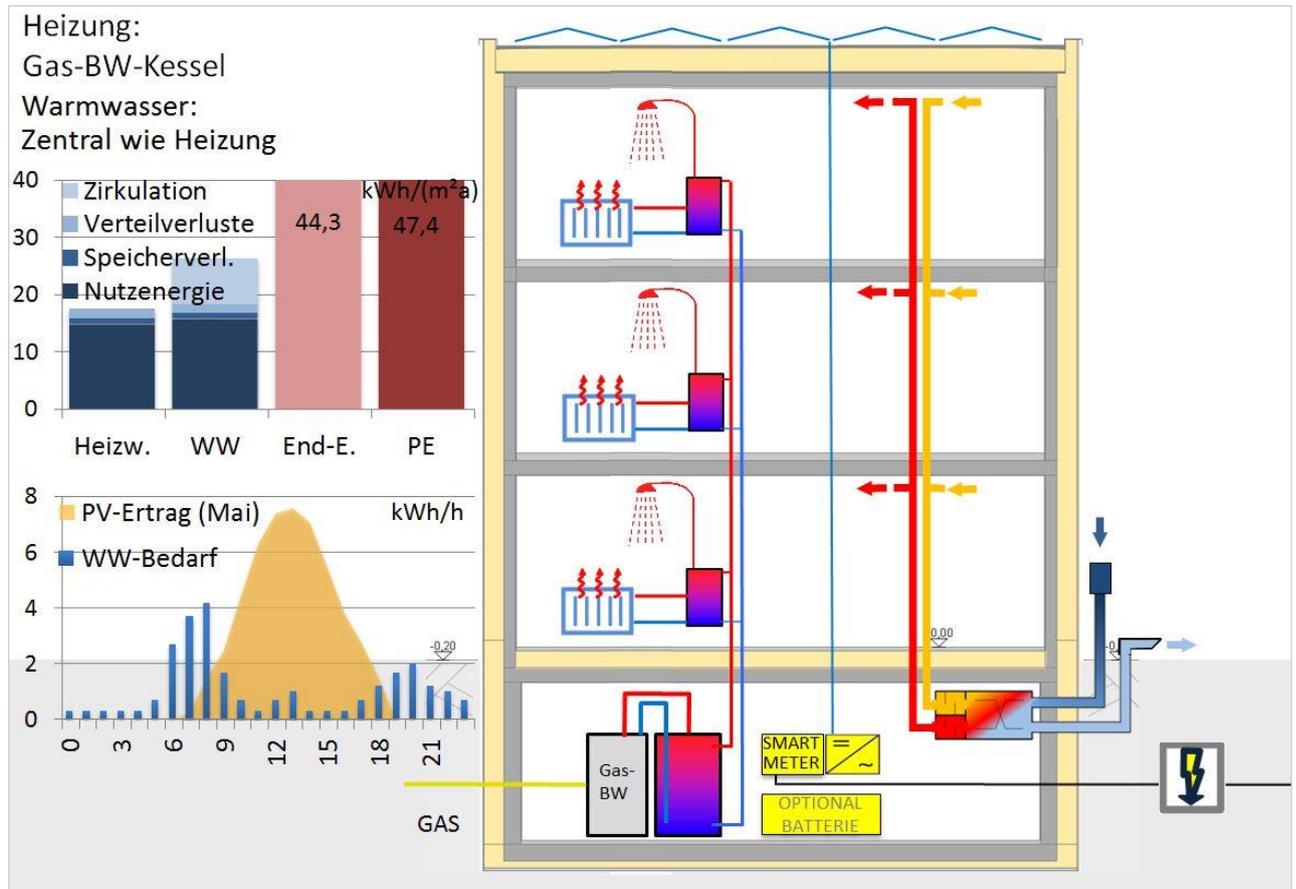


Abbildung 39 Schema für ein kesselbasiertes Heizsystem in Verbindung mit Komfortlüftung und PV

Das Diagramm oben links zeigt den charakteristischen Heizwärmebedarf für ein hocheffizientes Gebäude (Heizwärmebedarf $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$), den Bedarf für die Warmwasserbereitung und die daraus resultierenden Kennwerte für Endenergie- und Primärenergiebedarf (PE). Das Diagramm unten zeigt die Korrelation zwischen PV-Ertrag an einem sonnigen Tag und einem Tagesverlauf für den WW-Bedarf.

Monovalente Kessel-Lösungen sind neben der Fernwärmeversorgung aus investiver Sicht am kostengünstigsten. Aufgrund der EnEV-/GEG-Anforderungen ist aber ein erneuerbarer Anteil, z. B. in Form von Solarthermie zusätzlich einzuplanen, was die Systemlösungen verteuert. Brennwertgeräte haben sich seit den 1990er Jahren für dieses Segment durchgesetzt, werden aber im Zuge der Energiewende aus primärenergetischer Sicht zu einem Problemfall werden. Da sie in der Konsequenz langfristig mit synthetischem erneuerbarem Gas aus dem PtG-Prozess befeuert werden müssen, wird ihre primärenergetische Bewertung in einem erneuerbaren System bei etwa 1,7 liegen und deutlich erhöhte Brennstoffkosten verursachen.

Wenn heute kesselbasierte Anlagen gebaut werden, so kann dies bis zum nächsten Erneuerungszyklus in etwa 20 Jahren eine wirtschaftliche Lösung darstellen. Bei der Planung sollte allerdings bedacht werden, welche Versorgungsvariante sich ca. ab dem Jahr 2040 anschließen wird und wie hoch die Kosten für die Umstellung auf solch ein neues System ausfallen werden.

4.2.2 Biomasse-Kessel

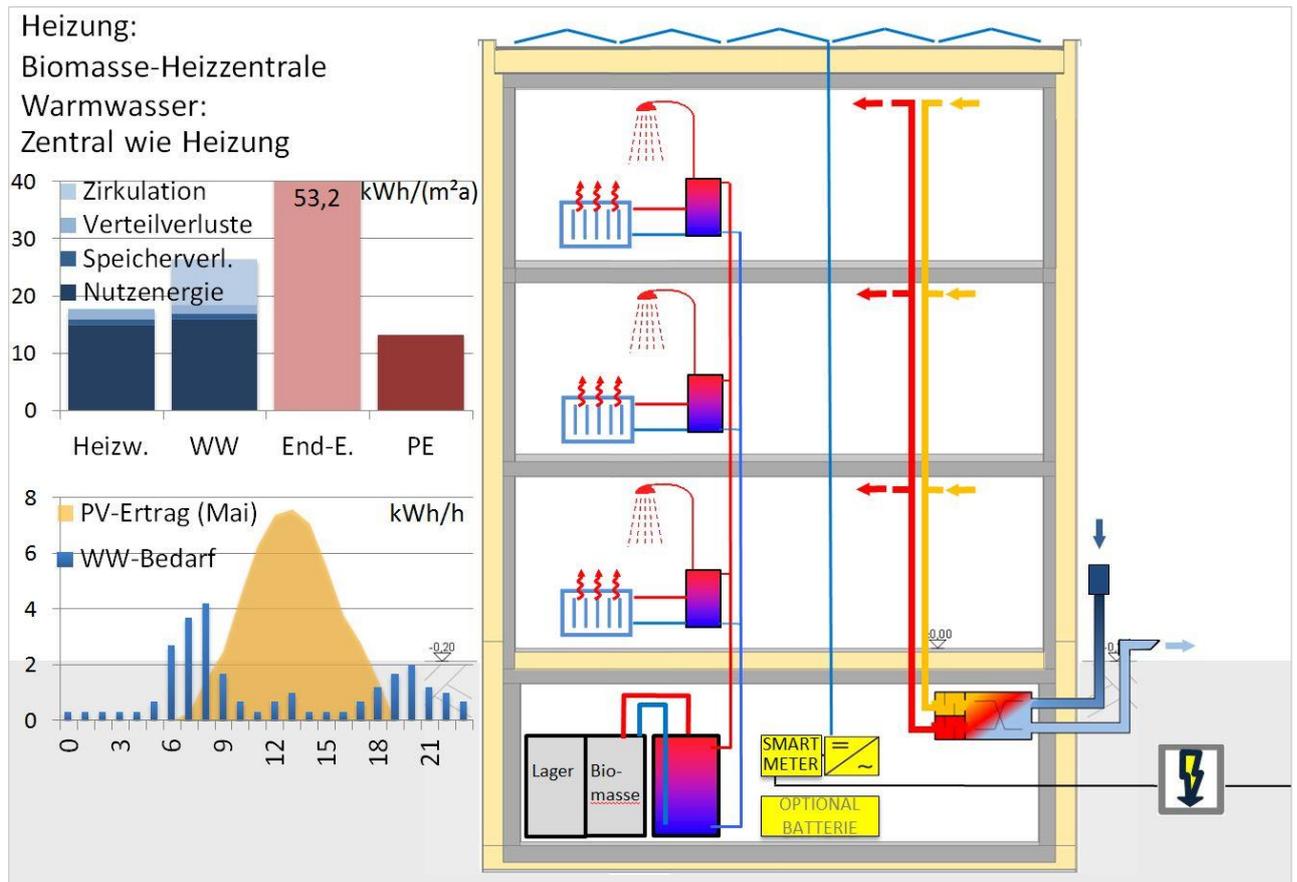


Abbildung 40 Schema Biomasse-Heizsystem in Verbindung mit Komfortlüftung und PV

Der Ersatz fossiler Brennstoffe durch Biomasse führt bei der aktuellen EnEV-Betrachtung zu einem günstigen Primärenergiebedarf. Mittelfristig werden biogene Brennstoffe für andere Sektoren benötigt, sodass mit hoher Wahrscheinlichkeit sukzessive eine deutliche Verteuerung stattfinden wird. Die Systeme sollten so konzipiert werden, dass bei dem Erneuerungszyklus in ca. 20 Jahren eine andere Wärmebereitstellung möglich ist.

Biomasse wird in der aktuellen GEG-Fassung mit einem Primärenergiefaktor von 0,2 bewertet. Das ist in der bisherigen Betrachtungsweise sinnvoll, wird sich im Zuge der Energiewende jedoch deutlich ändern. Biomasse wird mittelfristig in anderen Sektoren benötigt werden wie Schwerlast- und Flugverkehr, als Rohstoff für die chemische Industrie und für Hochtemperatur-Prozesswärme. Im Niedertemperatur-Segment ist es vor allem als chemisch gebundene Energie für Spitzenlastzeiten zu Zeiten der Dunkelflaute interessant.

Daraus resultiert, dass neue Bauvorhaben nur dann mit Biomasse beheizt werden sollten, wenn eine dauerhafte kostengünstige Lieferung mit dem Brennstoff sichergestellt ist. Das könnte vor allem in ländlichen Gebieten der Fall sein. Zudem weist Biomasse-Verbrennung aus Emissionsschutzgründen besonders in Ballungsgebieten Nachteile auf. Der Betrieb von Pellet-Anlagen erfordert zudem einen hohen Sachverstand bei der Wartung. Wenn die Wartung durch externe Firmen ausgeführt wird, können dafür recht hohe Kosten entstehen.

4.2.3 BHKW mit Spitzenkessel

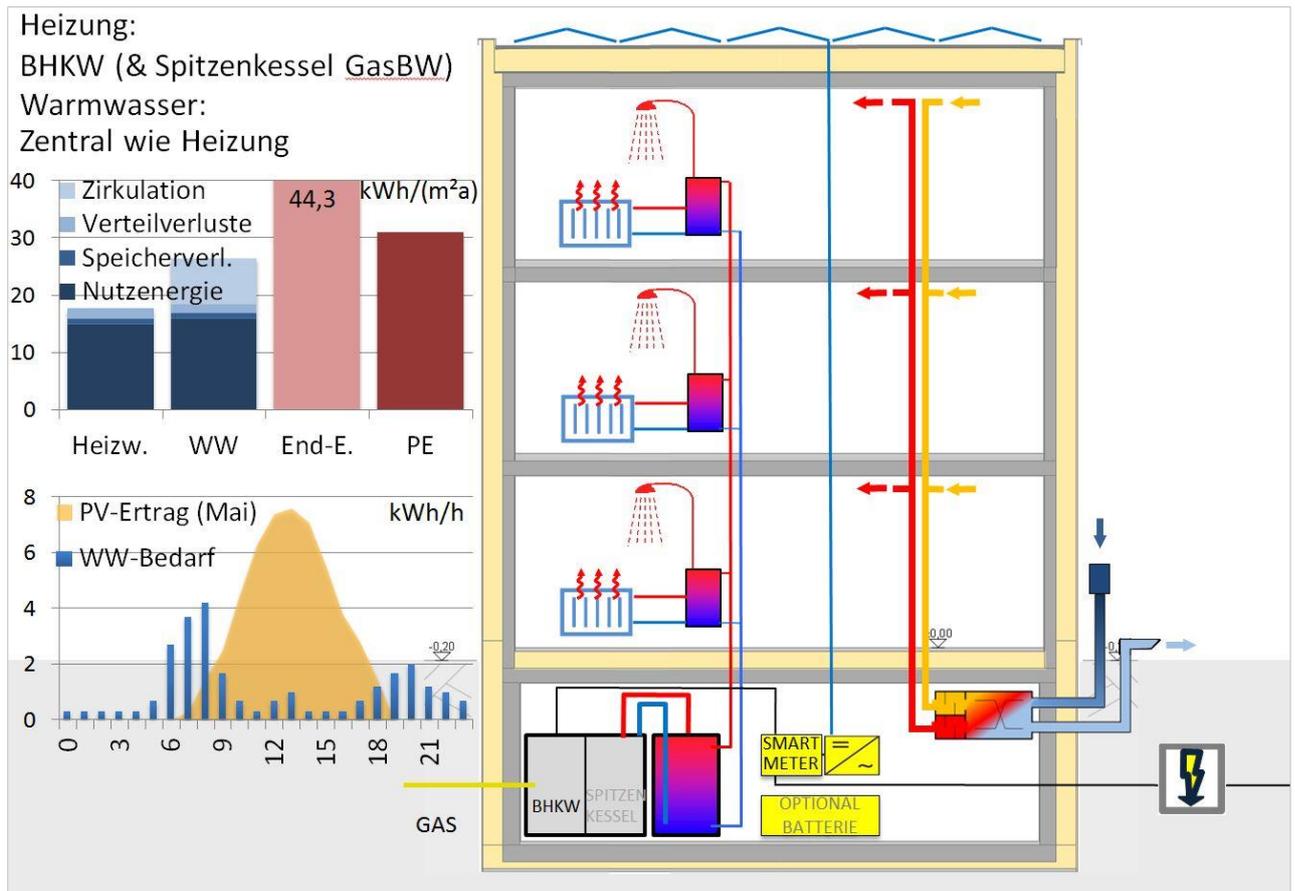


Abbildung 41 BHKW-Technik in Verbindung mit einem Spitzenkessel

Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) ermöglicht die dezentrale Bereitstellung von Wärme und Strom. Durch die Wärmenutzung kann der Wirkungsgrad der Gasverbrennung im Vergleich zu zentraler Kraftwerkstechnik um 30 bis 40 Prozent verbessert werden. Voraussetzung ist dabei, dass die damit verbundenen Nahwärmesysteme nur minimale Verteilverluste aufweisen. Werden die daraus entstehenden Vorteile gegen einen ungünstigen Strommix gerechnet, entsteht eine gute Bewertungsbilanz für KWK-Technik. Je günstiger und regenerativer sich jedoch die bundesweite Stromversorgung darstellt, desto ungünstiger schneidet KWK im Vergleich ab. Beim Einsatz erneuerbarer Brennstoffe liegt die primärenergetische Bewertung für KWK sehr günstig. Wenn allerdings Brennstoffe wie Biomethan und Synthetische Gase mittel- bis langfristig entweder nicht ausreichend zur Verfügung stehen, oder eine aufwändige Prozesskette wie PtG durchlaufen müssen, steigt ihr erneuerbarer Primärenergiebedarf auf Werte bis zu 1,7 an, was mittelfristig zu einer sehr ungünstigen Bewertung führt. Während bisher die Auslegung von Blockheizkraftwerken auf eine möglichst hohe Jahreslaufzeit von über 6.500 Stunden zielt, wird sich das Anforderungsprofil zukünftig sukzessive umkehren. KWK kann in einem erneuerbaren Versorgungssystem zum Lastmanagement genutzt werden, allerdings werden die Laufzeiten pro Jahr nur noch bei wenigen hundert Stunden liegen. Möglicherweise ergibt sich dadurch ein wirtschaftlicher Betrieb, indem in Zeiten kalter Dunkelflaute die Leistung auf Abruf bereitgestellt wird. Dabei ist betriebs- und volkswirtschaftlich aber zu fragen, ob zentrale GuD-Kraftwerke diese Aufgabe wirtschaftlicher übernehmen können. Wahrscheinlich wird sich ein Mix einstellen, bei dem günstig ausgelegte Kleinsysteme mit integrierter BHKW-Technik einen sinnvollen Beitrag leisten können.

4.2.4 Luft-Wasser-Wärmepumpe

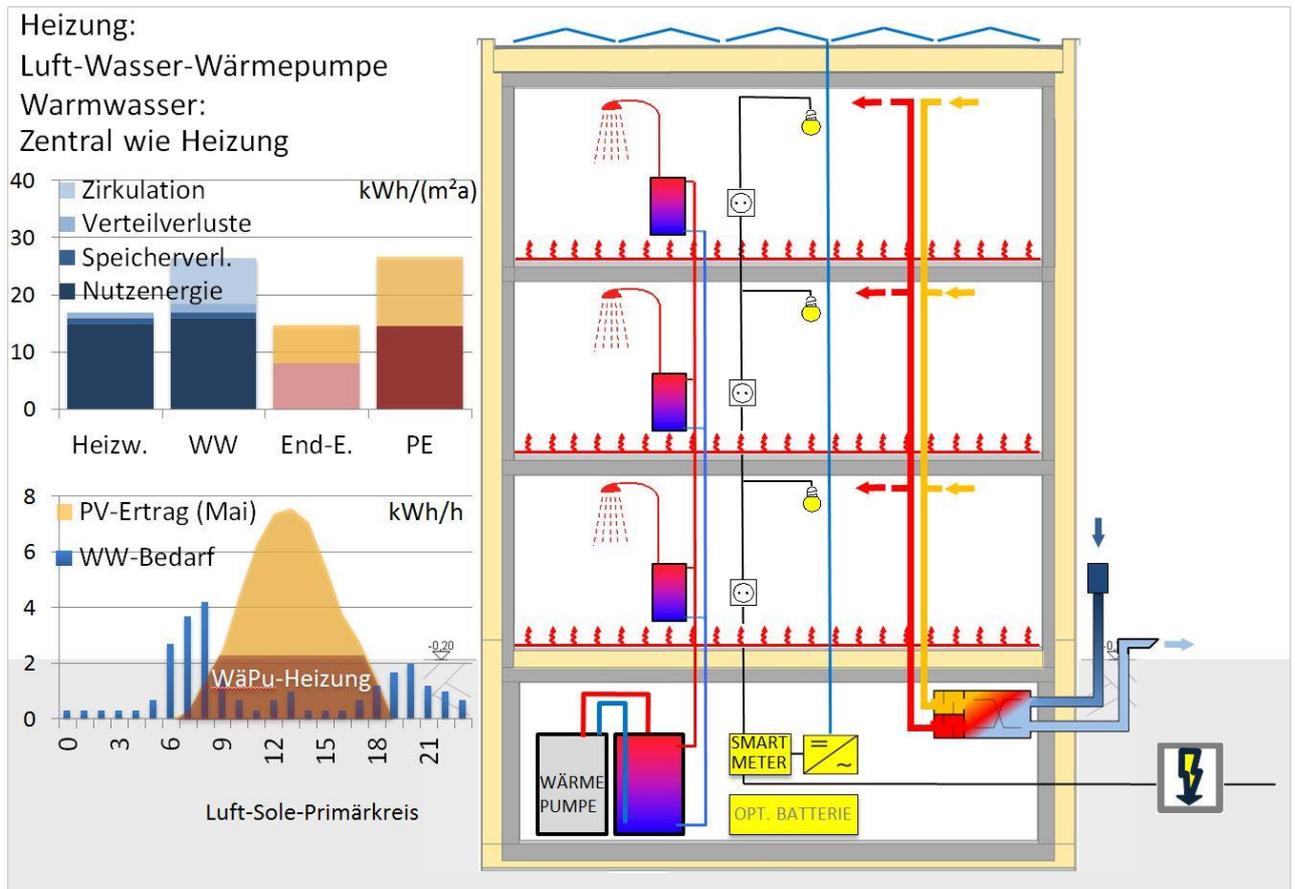


Abbildung 42 Schema Luft-Wasser-Wärmepumpe für Heizen und Warmwasserbereitung

Der Endenergiebedarf sinkt deutlich aufgrund der Arbeitszahl von etwa 3,0 und der Primärenergiebedarf stellt sich durch die Eigenstromnutzung, die im unteren Diagramm dunkel symbolisiert wird, äußerst günstig dar.

Wärmepumpentechnologie unterstützt die Sektorkopplung zwischen Strom und Wärme in bester Form, weil aus dem erneuerbaren Primärstrom mit einer Arbeitszahl von etwa 3 bis 4 ein Mehrfaches an Wärme bereitgestellt werden kann. Für eine monovalente Wärmepumpe ist es günstig, wenn die Heizlast möglichst gering ist. In dem Fall stehen den Mehrinvestitionen durch hochwertige Wärmedämmung und Lüftungstechnik mit Wärmerückgewinnung deutliche Einsparungen bei der Gebäudetechnik gegenüber.

Ein Wärmepumpensystem für hocheffiziente Gebäude nach KfW EH 40 bzw. Passivhaus-Standard kann gegenüber dem EnEV-Standard um 30 bis über 40 €/m²_{Wohnfläche} günstiger erstellt werden. Dadurch erhöht sich die Wirtschaftlichkeit solch eines Gebäudes deutlich.

Eine wesentliche Anforderung, die sich aus den Planungs-Workshops ergeben hat, liegt in der Entwicklung kostengünstiger Wärmepumpen-Lösungen für solche Gebäude mit niedrigem Bedarf.

Wärmepumpentechnik ist derzeit noch deutlich kostenträchtiger als andere Versorgungskonzepte. Im Einfamilienhausbereich werden bereits seit Jahren erfolgreich Splitgerät-basierte Systeme mit Erfolg eingesetzt. Diese Kleinsttechnik wird sehr kostengünstig industriell hergestellt und könnte selbstverständlich auch im Geschosswohnungsbau Anwendung finden. Als Komfortfaktor am Rande ergibt sich die Kühlmöglichkeit im Sommer.

4.2.5 Luft-Wasser-Wärmepumpe mit Spitzenkessel

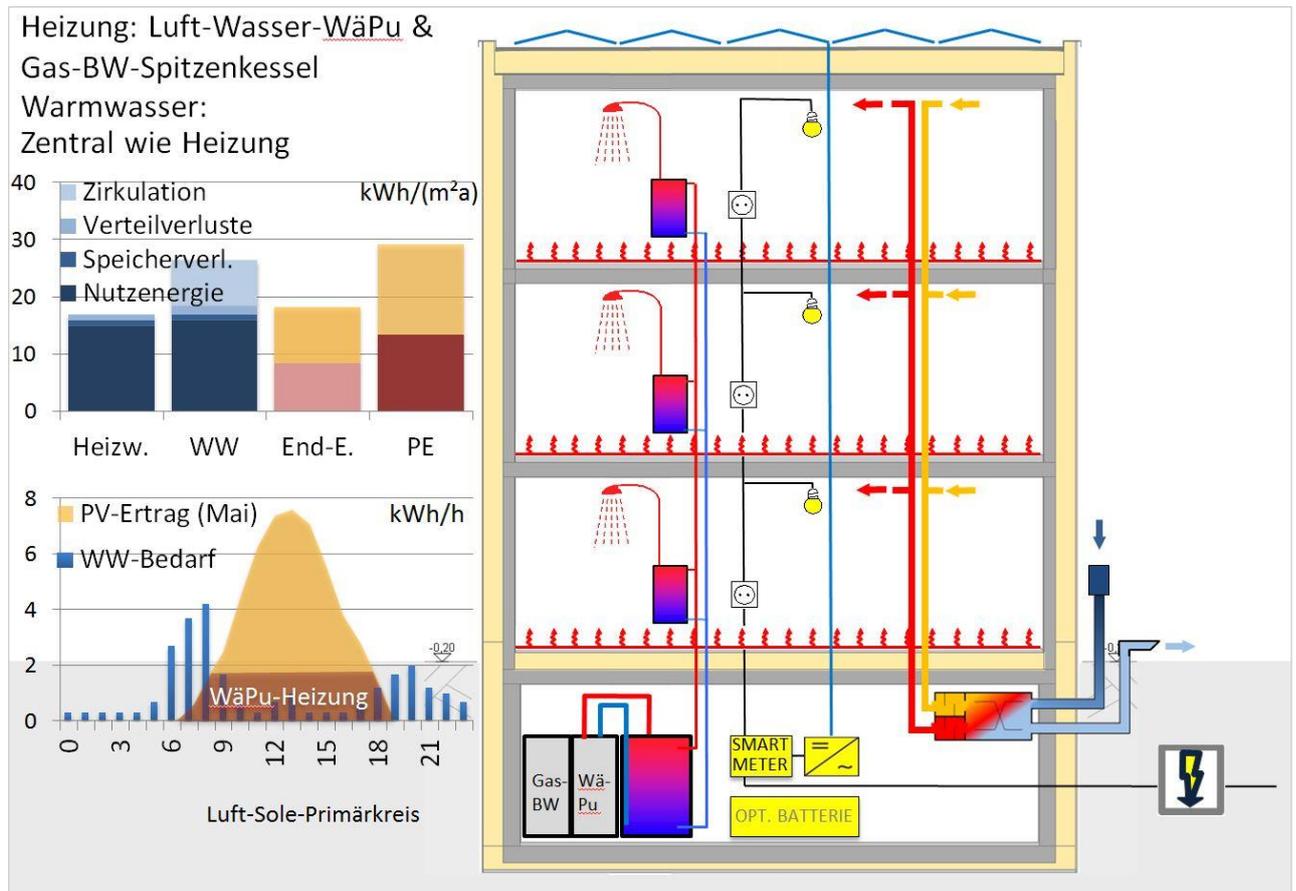


Abbildung 43 Schema Luft-Wasser-Wärmepumpe mit Gas-BW-Spitzenkessel

Ein Hybridsystem aus sparsam ausgelegter Luft-Wasser-Wärmepumpe in Verbindung mit einem Spitzenkessel ermöglicht wirtschaftliche Betriebskonzepte

Um den Nachteil der bisher relativ hohen Investitionskosten für Wärmepumpentechnik zum Teil aufzufangen, kann eine Hybridlösung gewählt werden mittels eines einfachen Spitzenkessels in Verbindung mit einer kostengünstigen Luft-Wasser-Wärmepumpe, die auf eine Leistung knapp oberhalb des Wertes für die Warmwasserversorgung begrenzt wird. Damit kann die Eigenstromnutzung via PV zu einem hohen Anteil betrieben werden. Außerdem kann der Winterbetrieb bei niedrigen Temperaturen reduziert werden, der einen Schwachpunkt bei Luft-Wasser-Wärmepumpen darstellt. Bei Luft-Wasser-Wärmepumpen ist zudem der Schallschutz des Primärkreises zu bedenken.

Das System ermöglicht bei einem Erneuerungszyklus in zwanzig Jahren eine vollständige Umstellung auf Wärmepumpentechnik.

4.2.6 Sole-Wasser-Wärmepumpe & Warmwasser zentral

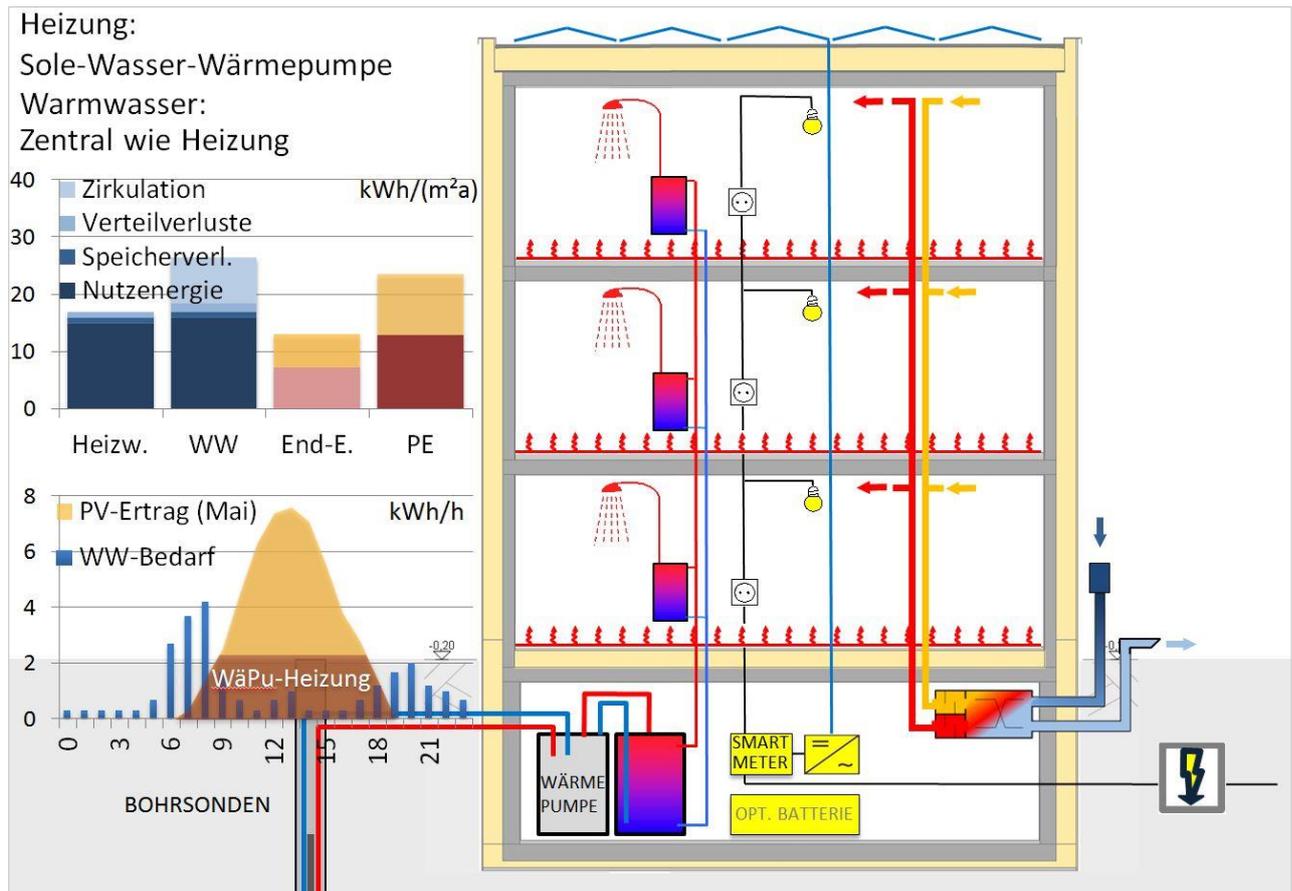


Abbildung 44 Schema Wasser-Wasser- oder Sole-Wasser-Wärmepumpen

Wasserbasierte Wärmepumpensysteme für den Primärkreis können die günstigsten Betriebsergebnisse erzielen, weisen hohe Investitionskosten auf, können aber im Sommer zur Kühlung genutzt werden.

Durch die höhere Arbeitszahl von Wasser-Wasser- oder Sole-Wasser-Wärmepumpen können die besten Betriebsergebnisse erzielt werden. Endenergie- und Primärenergiebedarf liegen in dieser Variante am günstigsten. Gleichzeitig sind damit aber auch die höchsten Investitionskosten verbunden. Außerdem schrecken wasserrechtliche Genehmigungsverfahren Planer ab. Langfristig handelt es sich aber um die wirtschaftlichste Wärmepumpenvariante, weil der Primärkreis über Jahrzehnte wartungsfrei ist und keine Folgeinvestitionen erfordert. Zudem werden relevante Förderungen gewährt. Sinnvoll kann die Einbindung von Spezialisten sein, die den Planungsprozess deutlich vereinfachen und frühzeitig Pauschalangebote mit Festpreisen beibringen können [Erdwärmeforschung 2018].

Eine hohe Wirtschaftlichkeit des Wärmepumpensystems kann erzielt werden, indem die heizseitige Systemtemperatur möglichst niedrig ausgelegt wird. Ein Dreileitersystem kann z. B. mit 35 bis 40 °C ausgelegt betrieben werden in Verbindung mit Wohnungsstationen, in denen für die Warmwasserbereitung direkt elektrisch mittels Durchlauferhitzer ein kleiner Temperaturhub erfolgt. Es kann aber auch ein Fünfleitersystem gewählt werden, bei dem der WW-Kreis mit Ultrafiltration ausgestattet wird und dadurch mit Betriebstemperaturen von 45 bis 50 °C gefahren werden kann.

Als angenehme Zusatzoption können Sole-Wasser Primärkreise im Sommer zur sanften Kühlung des Gebäudes genutzt werden. Dadurch wird gleichzeitig eine Regeneration des Kreises durchgeführt und die Temperatur wieder angehoben. Das ist insbesondere in Quartieren mit hoher Dichte von Bedeutung, damit das Sondenfeld bei intensiver Auslegung nicht über die Jahre in ein immer tieferes Temperaturniveau gerät.

4.2.7 Sole-Wasser-Wärmepumpe & Warmwasser dezentral

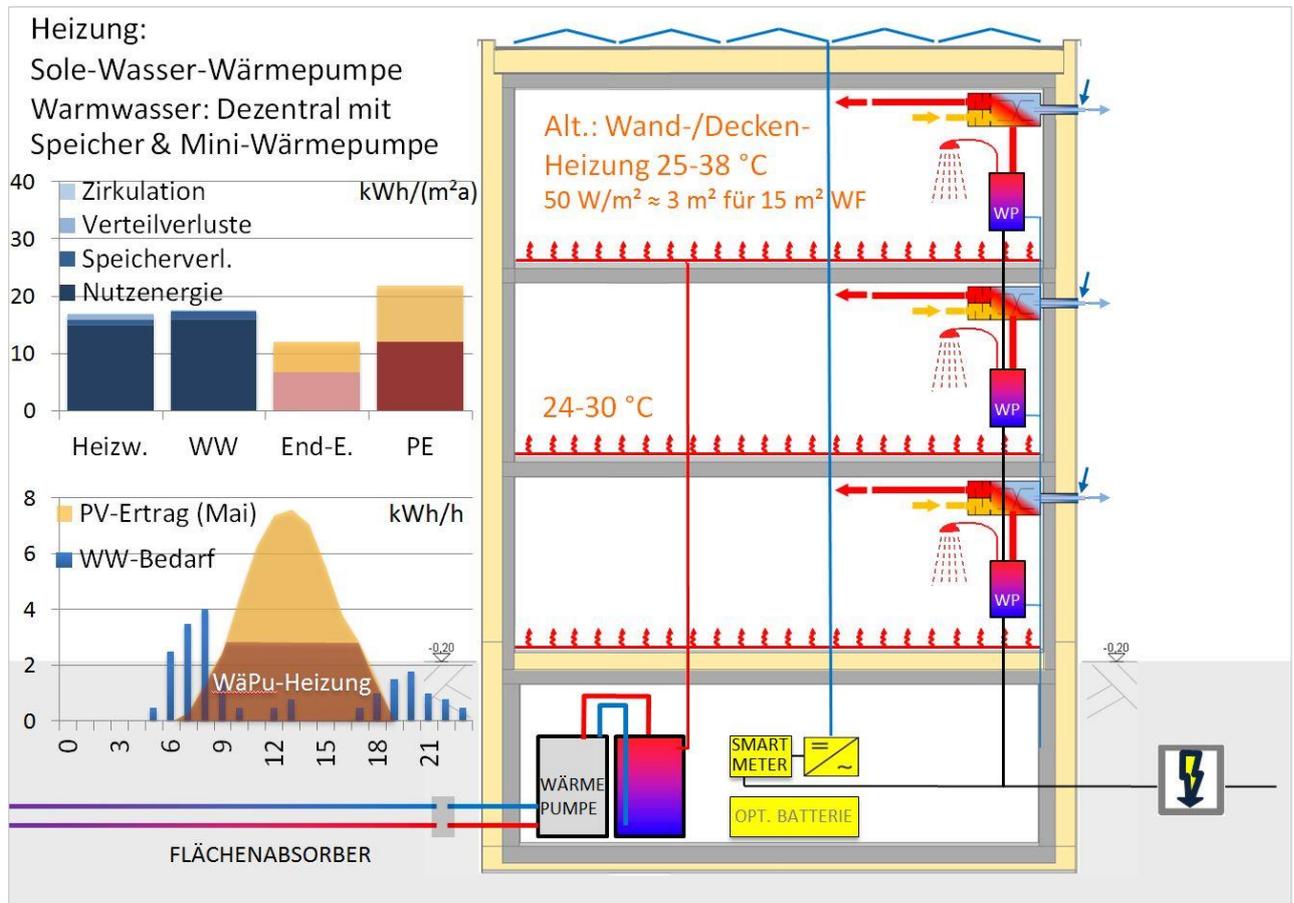


Abbildung 45 Schema Sole-Wasser-Wärmepumpe und dezentralen Trinkwassererwärmung

Strombasierte Lösungen ermöglichen grundsätzlich eine sehr dezentrale kleinteilige Technik. Seit Jahren sind Mini-Wärmepumpen auf dem Markt, die in Verbindung mit einem 60 bis 100-Liter-Speicher die Warmwasserbereitung für 2- bis 3-Zimmer-Wohnungen sicherstellen können. Diese Art von Technik könnte im Sinn Weißer Ware gefertigt und im Plug- & Play-System montiert werden, sodass die Wartung und ein eventueller Austausch kostengünstig möglich sind. Die Abrechnung wird bei solchen Systemen sehr einfach, sie erfolgt nebenbei über die Stromabrechnung. Weitere Optionen für dezentrale Warmwasserbereitung werden im folgenden Kapitel vorgestellt (Kap. 4.3.4 ff).

4.2.8 Zusammenfassung – Heizung

Standard zum Erreichen 2°-Ziel	Erneuerbare Wärmeversorgung ist vorrangig strombasiert. Sinnvoll sind alle Techniken, welche die erforderliche Wärme aus erneuerbarem Strom auf möglichst direktem Weg mit einer hohen Arbeitszahl generieren können.
Technische Werte	<ul style="list-style-type: none"> - Jahresarbeitszahl Wärmepumpen: 3,0 – 5,0 (erneuerbarer Strom zu Wärme) - Erneuerbares Gas- / Wasserstofftechnologie nur zum Lastmanagement in Zeiten der Dunkelflaute (ansonsten in einem voll-erneuerbaren Versorgungssystem zu teuer) - Möglichst geringer Leistungsbedarf zu Zeiten kalter Dunkelflaute

<p>Kosteneffiziente Planung</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Verhältnis Gebäudetechnik zu Gebäudehülle: Die Technik sollte so einfach wie möglich sein, da sie einem deutlich schnelleren Erneuerungszyklus (15-25 Jahre) ausgesetzt ist als die Gebäudehülle (40 bis möglichst über 60 Jahre) und damit kostentreibend bei Investition und Betrieb wirkt. - Die Energiewende ist elektrisch (s. o.). Mithin sind Systemlösungen gefragt, die eine sinnvolle Verbindung von Wärme mit erneuerbaren, strombasierten Energieträgern ermöglichen mit einer möglichst günstigen Arbeitszahl. - Optimierung der Leitungslängen und Stränge bzw. Eliminieren von Leitungslängen - Heizung: Nutzen der Kostenvorteile durch die geringere Heizlast für das Wandlungssystem, die Verteilung und Wärmeübergabe - Geringe Vorlauftemperatur mit einfacher heizseitiger Ausführung (Fläche oder Niedertemperatur-Heizkörper) - Vorfertigung bzw. Raumzellen-Lösungen mit Integration eines großen Teils der Gebäudetechnik in die vorgefertigten Elemente. Endmontage mittels Plug & Play-Anschlüssen. Darin enthalten sind z. B.: <ul style="list-style-type: none"> - Gesamte Badeinrichtung (Waschbecken/WC/Dusche/opt. Wanne etc.) - Heizverteilung in einfacher Form mit minimiertem Regelaufwand, alternativ: Heiz-/Frischwasserstation für Heizen und Warmwasserbereitung; alternativ dezentrale WW-Versorgung z. B. Speicher mit Mini-Wärmepumpe - Lüftungsgerät mit Verteilung (z. B. in der Decke ohne Platzverlust) - Elektroverteilung (Verteilung im Gebäude-/Wohnungskern, Stiche in die Räume) - Option: Planung ohne Leitungsverlegung auf der Rohdecke, dadurch Einsparung von 3 – 6 cm Gebäudehöhe je Geschoss - Gebäudetechnik-Regelung mit Smart-Grid-Modul - Optional: Rückwand mit Kücheninstallation (wenn die Küche so platzierbar ist). - Verbindung der Regel-/Monitoring-/Abrechnungssysteme mit aktueller IT-Technik bzw. Smart Grid Lösungen - Flatrate-Konzepte für die Abrechnung
<p>F & E</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Heizsysteme, die den Verbund von Wärme zu erneuerbaren Energien ermöglichen - Optimierung von Wärmepumpensystemen hinsichtlich Effizienz & Kosten - Industriell hergestellte Wärmepumpen mit Plug & Play-Montage - Kleinteilige Wärmepumpentechnik im Sinn Weißer Ware - Techniken zur Verbindung der erneuerbaren Energien mit Wasserstofftechnologie - Quartiers-„Tankstellen“ zum Management von Strom, Wärme & Mobilität als Verbund von erneuerbarem Strom, Batteriespeicher, Elektrolyse und Wasserstoff
<p>Kosten vs. EnEV-2016</p>	<p>Das Heizsystem kann kleiner ausgelegt werden, weil die Heizlast bei effizienten Gebäuden niedriger liegt. Die Minderkosten liegen bei den Techniken wie folgt:</p> <p>Gas-Brennwert/Solarthermie: 5-10 €/m² Wohnfläche Fernwärme: 3-5 €/m² Wohnfläche KWK mit Spitzenkessel: 5-15 €/m² Wohnfläche Wärmepumpensysteme: 20-40 €/m² Wohnfläche</p>

4.3 Gebäudetechnik – Warmwasser

Bei hocheffizienten Gebäuden liegt der Heizwärmebedarf für die Warmwasserbereitung über demjenigen für das Heizen. Ansätze für eine grundlegend effizientere Warmwasserbereitstellung besitzen also ein hohes Potenzial zur Energieeinsparung. Sinnvoll sind Lösungen mit niedrigen Systemtemperaturen bei gleichzeitiger Legionellensicherheit, mit optimierten Verteilsystemen und weitgehendem Verzicht auf Zirkulation. Ein hochwertiger Wärmeschutz der Verteilsysteme ist ebenso in die Planung zu integrieren wie Maßnahmen zur Einsparung und Wärmerückgewinnung in diesen Systemen.

Darüber hinaus wachsen durch die Rahmenbedingungen der Energiewende die Nachteile konventioneller Technik. In den Workshops wurde deutlich, dass in der Vergangenheit bei zahlreichen umgesetzten Projekten der Heizenergieverbrauch für die Warmwasserbereitung in Bereichen von 30 bis über 40 kWh/(m²a) lag. Darüber hinaus begünstigt das Spannungsverhältnis Brennstoff versus Erneuerbarem Strom zunehmend kleinteilige strombasierte Lösungen gegenüber großen Netzen. Im Folgenden werden Aspekte dargestellt, die mit Blick auf die Anforderungen an ein regeneratives Versorgungssystem an Bedeutung gewinnen werden. In der Tabelle werden am Beispiel einer Dreizimmerwohnung verschiedene Systeme verglichen. Ausgehend von einem Nutzwärmebedarf von 1.200 kWh/a werden charakteristische Größen für den Anlagenaufwand in Ansatz gebracht. Die resultierende jährliche Endenergie inkl. Umrechnung auf die jährlichen Kosten wird zunächst für den aktuellen Status dargestellt, danach inkl. PV-Nutzung zu heutigen Konditionen und prognostizierte Kosten für das Jahr 2040. Zu den Kostenannahmen werden detaillierte Angaben in Kapitel 4.5 gemacht. Um die Berechnung an dieser Stelle einfach zu halten werden Investitionskosten, Wartung, Abrechnung und Instandsetzung nicht betrachtet (Angaben dazu in Kapitel 2.3). Insbesondere in der Langfristspektive liegen kesselbasierte Anlagen äußerst ungünstig. Am besten schneiden optimierte zentrale und dezentrale Wärmepumpenlösungen inkl. Photovoltaiknutzung ab.

Tabelle 5 Vergleich des Heizwärmebedarfs und der daraus resultierenden Energiekosten

Warmwasserbereitung mit zentralen kesselbasierten Anlagen mit Wärmepumpen und mit dezentralen Anlagen – heute und im Jahr 2040 für eine Wohnung mit 75 m² Wohnfläche

Energiebedarf und Kosten für eine Wohnung mit 75 m ² Wohnfläche		Zentrale kesselbasierte Anlagen			Zentr. Wärmepumpen		Dezentrale Anlagen		
		Kessel ungünstig	BW-Kessel günstig	BW-Kessel & Solarth.	ungünstig	günstig	E-Durchl. Erhitzer	E-Durchl.-Erh. & Dusch-WRG	Dez. Mini-Wärmepu.
Nutzwärmebedarf 16 kWh/(m ² a)	kWh	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200
Anlagenaufwand Wandlung		1,25	1,05	1,05	0,36	0,28	1	1	0,35
Speicherverluste (Faktor)		1,2	1,15	1,15	1,2	1,15	1	1	1,1
Verteilverluste		1,25	1,15	1,15	1,2	1,15	1,02	1,02	1,02
Zirkulationsverluste (Faktor)		1,15	1	1	1,15	1	1	1	1
Energiebedarf pro Jahr (kWh)		2.588	1.666	1.666	715	444	1.224	1.224	471
Solarthermischer Anteil	50%			833					
Duschwärmerückgewinnung	35%							428	
Energiebedarf pro Jahr (kWh)	kWh	2.588	1.666	833	715	444	1.224	796	471
Kosten je kWh (Endenergie) in €	€	0,09 €	0,09 €	0,09 €	0,27 €	0,27 €	0,27 €	0,27 €	0,27 €
Energiekosten pro Jahr	€	232,88 €	149,97 €	74,99 €	193,16 €	119,98 €	330,48 €	214,81 €	127,23 €
Inkl. PV-Nutzung									
PV -Eigenstromnutzung	%				40%	80%	50%	60%	80%
Energiebedarf (Bezug)	kWh	2.588	1.666	833	429	89	612	318	94
Energiekosten pro Jahr	€	232,88 €	149,97 €	74,99 €	115,89 €	24,00 €	165,24 €	85,92 €	25,45 €
Prognostizierte Kosten 2040 (Kostenbasis: Strom leicht erhöht, PtG-Gas: deutlich erhöht entspr. Gestehungsaufwand)									
Kosten je kWh (Endenergie) in €	€	0,35 €	0,35 €	0,35 €	0,30 €	0,30 €	0,30 €	0,30 €	0,30 €
Energiekosten pro Jahr	€	905,63 €	583,22 €	291,61 €	128,77 €	26,66 €	183,60 €	95,47 €	28,27 €

4.3.1 Grundlagen – Hygiene

Die Konzeption von Warmwasser-Versorgungssystemen hängt sehr stark von der Einhaltung hygienischer Rahmenbedingungen ab. Eine wesentliche Rolle spielt dabei die Vermeidung hoher Keimkonzentrationen im Kalt- und Warmwasser. Legionellen sind ein natürlicher Bestandteil des Trinkwassers. Die Stäbchenbakterien haben nur eine Größe von 2 bis 5 µm. Eine Gefahr für Menschen besteht nicht durch Trinken, sondern durch das Einatmen von Aerosolen. Diese kleinsten Wassertröpfchen können vor allem bei einer feinen Verstäubung wie beim Duschen eingeatmet werden und zu Infektionen führen. Das Risiko ist bei gesunden Menschen niedriger, Gefahr besteht vor allem bei Risikogruppen wie älteren Personen, Kleinkindern oder gesundheitlich geschwächten Menschen. Die Infektion kann zur Legionellose führen, die sich als harmloser Infekt zeigen aber auch zu einer schweren Lungenentzündung führen kann.

Bei Mehrfamilienhäusern muss an den Entnahmestellen regelmäßig eine Überprüfung auf die Legionellenkonzentration stattfinden. Das Ergebnis einer hohen Anzahl von Messungen zeigt, dass bei fachgerecht montierten Anlagen und richtigem Betrieb kaum erhöhte Keimzahlen bei ordnungsgemäß errichteten Anlagen auftreten. Fast immer liegen konkrete Ursachen für hohe Legionellenkonzentrationen vor, wie z. B. tote Stränge in der Leitung oder längere Stillstandsphasen. Übersteigt der technische Maßnahmenwert 100 KBE (Kolonie bildende Einheiten) pro 100 ml für Legionellen, müssen Sanierungsmaßnahmen erfolgen. Ursächliche Maßnahme zur Behebung der Ursachen können z. B. folgende sein:

- Austausch von Duschköpfen und Armaturen
- Entfernung von Totsträngen
- Nachbessern von Isolierungen der Rohrleitungen, um Wärmeübertragungen zu vermeiden (besonders relevant für Kaltwasserleitungen, die auf diesem Weg ein hohes Kontaminationsrisiko bergen).

Eine genaue Benennung der Ursachen ist in vielen Fällen nicht möglich, sodass nach dem try & error-Prinzip gehandelt wird. Schritt für Schritt wird in Detektivarbeit die Ursache gesucht, was zu hohen Kosten führen kann. Alternativ zur ursächlichen Behebung kann eine dauerhafte symptomatische Wasserbehandlung durchgeführt werden. Dazu stehen u. a. folgende Verfahren zur Verfügung:

- Physikalischen Bekämpfung der Keime mittels UV-Bestrahlung oder Ultraschall-/UV
- Dauerhafte chemische Desinfektion durch Chlor o. ä.
- Regelmäßige thermische Desinfektion durch Erhitzung des Leitungssystem für mindestens 20 Minuten auf ≥ 70 °C
- Aktuell kann Ultrafiltration als Sanierungsmaßnahme eingesetzt werden, muss aber wie die anderen Verfahren auf den Erfolg hin überprüft werden.

Jede dieser Maßnahmen weist Nachteile auf. So erzeugt eine hohe Temperatur Ausfall von Kalk oder anderen Wasserinhaltsstoffen. Zudem reagieren verschiedene Leitungsmaterialien auf hohe Temperaturen mit Korrosion, Leitungsrissen oder Leckagen an Verbindungsstellen. Chemische Behandlungen können in ähnlicher Form für Nachteile sorgen und sind ungünstig für die Trinkwasserqualität. Zudem wird der Biofilm in den Rohrleitungen, der sich in Toträumen oder zwischen Verkrustungen durch Kalk und Rost bildet, durch Chemikalien und heißes Wasser in vielen Fällen nicht vollständig durchdrungen. Dadurch können die Maßnahmen bisweilen keine vollständige Wirkung entfalten. Am erfolgversprechendsten ist aktuell das Ultrafiltrations-Verfahren. Bisherige Erfahrungen zeigen, dass es sich dabei um eine sinnvolle Technik handelt zur Einhaltung von Grenzwerten auf lange Sicht. Zudem wird das Rohrleitungsnetz geschützt. Mit einer Porengröße unter 15 Nanometern verhindern die Filter, dass feste Partikel wie Sand, Rost und Schlamm ins Hausnetz gelangen. Sie halten aber auch Parasiten, Bakterien und Viren ab. Das Verfahren eignet sich nicht nur für Neuinstallationen, sondern auch für die Sanierung von Kontaminationen. Das gilt sowohl für das Warmwassernetz als auch die

Kaltwasserleitungen. Diese benötigen allerdings einen Zirkulationsrücklauf für den Steigleitungsbereich, um eine kontinuierliche Behandlung zu ermöglichen.

Unter Überwachung ist es durch Ultrafiltration zudem möglich, Warmwassersysteme mit niedrigeren Temperaturen von 45 bis 50 °C zu fahren. Dadurch entfallen die Folgeschäden durch hohe Temperaturen und zudem ist ein deutlich geringerer Anlagenverlust zu erzielen. Insbesondere zentrale Wärmepumpensysteme können auf diesem Weg eine deutlich höhere Wirtschaftlichkeit erzielen.

4.3.2 Zentrale kesselbasierte Systeme

Konventionelle kesselbasierte Lösungen stellen aufgrund der derzeit eher günstigen Primärenergiefaktoren und der niedrigen Kosten für Brennstoffe in vielen Fällen die aktuell günstigste Lösung dar. Angaben zu den Kesselsystemen befinden sich in Kapitel 4.2.1 ff. Die Primärenergiefaktoren werden sich sukzessive im Zuge der Energiewende verschieben von 1,1 (Gas) / 1,8-3,0 (Strom) im erneuerbaren Umfeld auf 1,7 (Synthetisches erneuerbares Gas) / 0,0 – 0,2 (erneuerbarer Strom). Mittelfristig ist also eine vollständig neue Bewertung gegeben, was sich auch preislich auswirken wird. Gas wird aus physikalisch-technischer Sicht in einem erneuerbaren Versorgungssystem teurer sein als Strom.

In den Projektworkshops wurde sehr intensiv diskutiert, inwieweit zentrale brennstoffbasierte Systeme mit hohen Verlusten belegt sind. Die theoretisch in der EnEV-Berechnung veranschlagten Bedarfswerte werden in vielen Fällen deutlich überschritten, oftmals um bis zu hundert Prozent. Grundsätzlich gelten die unten aufgeführten Aspekte auch für sonstige zentrale Systeme wie KWK-Anlagen oder Fernwärmeversorgung. Nahwärmenetze erhöhen das Potenzial für Verluste. Folgende Faktoren sind zu beachten:

4.3.2.1 Nutzwärmebedarf

Der Nutzwärmebedarf für die Warmwasserbereitung beträgt gemäß EnEV / DIN 4701-10 für Wohngebäude 12,5 kWh/(m²a). Die Bezugsfläche nach EnEV muss allerdings auf die tatsächliche Wohnfläche umgerechnet werden. Im Geschosswohnungsbau ist dafür ein Faktor von gut 1,25 realistisch, sodass ein Bedarf von etwa 16 kWh/(m²a) für die Wohnfläche resultiert.

Zudem kann der tatsächliche Verbrauch in Abhängigkeit vom Nutzerverhalten sowie der Belegungsichte der Wohnungen deutlich variieren. Weiterhin kommt es auf die Ausstattung der Sanitärinstallation an, welche Mengen letztendlich gezapft werden. Einflüsse haben dabei die Sanitärobjekte (z. B. Wanne versus Dusche) oder die Ausführung der Duschköpfe und Perlatoren an den Zapfstellen.

4.3.2.2 Verteilverluste

Die Grundrissplanung gibt bereits im Vorentwurf vor, wie vorteilhaft die Verteilung innerhalb des Gebäudes durchgeführt werden kann. Anzustreben ist jeweils ein zentral gelegener Steigstrang pro Wohnung (ggf. für je zwei Wohnungen). Alle übereinander gelegenen Wohnungen sind direkt auf minimalem Weg an den Strang angebunden, idealerweise mit identischen Bädern, die einen hohen Vorfertigungsgrad ermöglichen.

Auch innerhalb der Wohnungen sind die Stichleitungen zu den Verbrauchsstellen minimal kurz auszuführen, sodass Leitungsverluste minimiert werden können. Die Übergabe vom Netz an die Wohnungsverteilung mit Zählerinrichtung und ggf. Wohnungsstation muss detailliert geplant und in der Werk- und Detailplanung dargestellt werden. Das Delegieren dieser Aufgabe an die Handwerker ist in vielen Fällen nicht sinnvoll. Das Leitungsvolumen zu den Zapfstellen darf maximal drei Liter beinhalten, um die DVGW-Richtlinie zur Legionellenprophylaxe einzuhalten. Bei einem Rohrippendurchmesser von 12 mm

entspricht das einer Leitungslänge von 26,5 m, bei einem Rohr-Innendurchmesser von 15 mm einer Leitungslänge von 16,9 m. Zudem liegen aus rechtlicher Sicht Urteile vor (Amtsgericht Köpenick vom 15.11.2000 – 12 C 214/00 und AG Schöneberg 102 C 55/94). Danach muss spätestens nach 10 Sekunden warmes Wasser anliegen.

Optimierungen des Verteilsystems führen nicht nur zu geringen Betriebsaufwendungen, sondern auch zu günstigen Investitionskosten und einer preiswerten Wartung. Spätere Instandsetzungskosten lassen sich ebenfalls wirtschaftlicher durchführen, insbesondere wenn ausreichende Revisionsmöglichkeiten gegeben sind. Kann die Temperatur auf ein Niveau von 50 bis 45 °C gesenkt werden durch den Einsatz von Ultrafiltration (s. Kap. 4.3.1), sinken die Verteilverluste deutlich.

4.3.2.3 Zirkulationsverluste

Werden die benannten Aspekte möglichst optimal ausgeführt, ist keine Zirkulation erforderlich. Zirkulationslösungen haben neben den erhöhten Investitionskosten eine oftmals gravierende Erhöhung der Anlagenverluste zur Folge, zumal in Mehrfamilienhäusern kaum die Möglichkeit gegeben ist, Zirkulationszeiten exakt einzustellen. Sollen auf Wunsch der Nutzer die Zeiten erhöht werden, neigen Kundendienstmonteure dazu, die „sichere“ Variante vorzuschlagen mit der Folge einer langen Laufzeit mit den entsprechenden Verlusten. Da bei effizienter Gebäudehülle zudem die Heizzeit über das Jahr reduziert wird, kommt der synergetische Aspekt des Heizungsbeitrags aus den Zirkulationsverlusten zunehmend weniger zum Tragen. Im Gegenteil, die Problematik des sommerlichen Wärmeschutzes wird durch Zirkulationsleitungen relevant verschärft.

Durch optimierte Grundrissgestaltung kann fast immer eine Anlage ohne Zirkulation erzielt werden. Grundsätzlich sollte die Steigleitung in der Nähe der Hauptverbraucher, d. h. Waschbecken / Dusche / Wanne im Bad untergebracht werden. Bei der Werkplanung sollte sehr darauf geachtet werden, diese Wege möglichst kurz zu halten und z. B. auch innerhalb der Bäder möglichst kurze Anbindungsleitungen zu erhalten. Küchen können fast immer vom Bad aus mit gering dimensionierten Leitungen angefahren werden. Die Grundrissplanung sollte so erfolgen, dass möglichst Leitungslängen im Bereich von vier Metern ausreichen, maximal bis 10 m. Diese Leitungen sollten direkt an der Frischwasserstation beginnen und nicht die ersten Meter einen erhöhten Querschnitt aufweisen. Falls doch einmal eine Küche oder ein Bad am anderen Ende der Wohnung positioniert ist, sodass auf eine Zirkulation nicht verzichtet werden kann, sollte nur diese Einheit mit der Zirkulation versorgt werden. In diesen Fällen kann die Zirkulations-Regelung so erfolgen, dass eine Anforderung über kurze Betätigung der Warmwasser-Armatur oder einen Anforderungs-Taster erfolgt, ggf. in Verbindung mit einem Lichtschalter. Alternativ kann auch die Installation eines Untertisch-E-Speichers sinnvoll sein.

4.3.2.4 Speicherverluste

Kesselbasierte Anlagen weisen bei langen Laufzeiten ohne viel Taktungen die besten Wirkungsgrade und Emissionsbilanzen auf. Deshalb sind Speicher in den meisten Anlagen unumgänglich. Außerdem kann durch Speichersysteme die Kesselleistung niedrig gehalten und dennoch eine ausreichende Versorgungssicherheit auch bei Lastspitzen erreicht werden. Zugleich werden durch Speicher jedoch Verluste induziert. Diese können durch optimierte Planung und die Auswahl eines effizienten Systems möglichst gering gehalten werden. Speicher können zudem mittels Wärmepumpe oder Heizstab in Zeiten einer günstigen Strom-Angebotsituation sehr kostengünstig beladen werden und können in dieser Form als Puffer im Lastmanagement der Energiewende dienen. Spannend ist die Optionen durch Latentwärmespeicher. Marktverfügbar sind Einschieblinge, die diesen Effekt nutzen und nachträglich in bestehende Speicher eingebracht werden können und dadurch die Wärmekapazität verdoppeln.

4.3.3 Solarthermie

Solarthermische Anlagen zur Warmwasserbereitung galten seit den 1970er Jahren als die Systemlösung mit optimaler Nachhaltigkeitsbewertung, während Photovoltaik als elitäre Technik weit jenseits der Wirtschaftlichkeit lag. Seit etwa zehn Jahren hat sich diese Bewertung deutlich geändert. Die Kosten solarthermisch generierter Wärme nach wie vor bei 0,15 bis 0,25 € pro kWh liegen. Es gibt kaum dokumentierte Projekte mit niedrigeren Werten. PV-Strom kann dagegen dezentral zu Kosten von 0,08 bis 0,14 €/kWh bereitgestellt werden. Ermöglicht darüber hinaus eine Wärmepumpe eine Arbeitszahl von 3,0 bis 4,0, so liegt die Kilowattstunde Wärme bei 0,02 bis 0,06 €. In diese Berechnung ist noch nicht einbezogen, dass zahlreiche Solarthermieanlagen ungünstige Betriebseigenschaften aufweisen, die den Betreibern z. T. nicht bewusst sind oder die sie durch einen hohen Wartungsaufwand regelmäßig erfahren. Die extrem sympathische Technik der Sonnenwärme muss also sehr genau betrachtet werden, bevor sie in ein Gebäudetechnik-Konzept integriert wird. Ein weiterer Minuspunkt der Solarwärme liegt in der fehlenden Kompatibilität mit dem elektro-basierten Lastmanagement.

4.3.4 Zentrale Wärmepumpen-Systeme

Zentrale Wärmepumpen-Systeme verlieren an Effizienz, wenn die Systemtemperatur zu hoch liegt. Während beim Heizen mit Vorlauftemperaturen im Bereich von 26 bis 38 °C gefahren werden kann, benötigen standardmäßige Warmwassersysteme 60 bis 65 °C. Kann durch den Einsatz von Ultrafiltration die Temperatur auf ein Niveau von 50 bis 45 °C gesenkt werden (s. Kap. 4.3.1), werden zentrale Wärmepumpensysteme ausgesprochen konkurrenzfähig.

Ist es zudem möglich, für den Primärkreis der Wärmepumpe höhere Temperaturen heranzuziehen, verbessert sich die Situation nochmals. Eine gute Option stellt zentrale Abwasser-Wärmerückgewinnung (s. 4.3.7) durch Integration eines Wärmetauschers in die Sohle von Abwasserleitungen dar, die z. B. am Ende des Primärkreises durchströmt werden kann.

Wie bereits in Kapitel 4.2.6 dargestellt, gibt es eine weitere Alternative, um die Wirtschaftlichkeit zentraler Wärmepumpensysteme zu erhöhen. Die Warmwasserbereitung wird parallel zu den Systemtemperaturen der Heizung mit 35 bis 40 °C über eine Wohnungsstation betrieben. Ergänzend erfolgt direkt elektrisch mittels Durchlauferhitzer ein kleiner Temperaturhub beim Zapfen des Warmwassers. Diese Variante bietet sich allerdings nur an, wenn auf Badewannen verzichtet und eine Beschränkung auf Duschen vorgenommen wird. Außerdem sollte für diese Technik ein Monitoring bei einer Anzahl von Anlagen durchgeführt werden, um die Wirtschaftlichkeit zu überprüfen und sichere Planungsgrundlagen für Folgeprojekte zu erzielen.

4.3.5 Dezentrale Wärmepumpen-Systeme

In Kapitel 4.2.7 werden bereits dezentrale Wärmepumpen-Systeme für die Warmwasserbereitung dargestellt. Dabei handelt es sich um Geräte, die in Verbindung mit einem 60 bis 100-Liter-Speicher die Warmwasserbereitung für 2- bis 3-Zimmer-Wohnungen durchführen. Der Nachteil liegt im Platzverlust. Außerdem muss ein Wärmeangebot für den Primärkreis der Mini-Wärmepumpe gegeben sein. Die Fortluft von Abluftanlagen bietet sich an. Alternativ kann ein einfaches Konzept eines Wärmepumpenkompaktaggregats inkl. Lüftung mit Wärmerückgewinnung angedacht werden. Solche Anlagen sind bisher jedoch vornehmlich im Leistungsbereich von Einfamilienhäusern verfügbar. Diese an und für sich sehr einfache Technik hat grundsätzlich ein großes Potenzial und könnte mittelfristig im Sinn Weißer Ware gefertigt werden. Montage und Austausch könnten sehr einfach mit Plug- & Play-Logik erfolgen.

4.3.6 Dezentrale direktstrom-basierte Lösungen

Zu Zeiten fossiler Energieversorgung war direktelektrische Wärmebereitstellung mit Primärenergiefaktoren von 3,0 behaftet. Die erneuerbare Energieversorgung wird diese Bewertung deutlich verändern. Dennoch bergen direktstrom-basierte Systeme der Warmwasserbereitung auch zukünftig Probleme. Insbesondere geht es um Lastspitzen, die es gilt, sowohl gebäude- als auch netzbezogen zu vermeiden (vgl. Kapitel 4.1.1). Wenn jedoch Lösungen gefunden werden, die sparsam sind und in einem Gebäude mit einem günstigen Gleichzeitigkeitsfaktor betrieben werden können, möglicherweise unterstützt durch Elektro-Speicher, so ergibt sich eine sehr gute Gesamtbilanz.

Wohnungen mit einem sparsamen Warmwasserkonzept bieten sich dafür an: günstig sind Bäder mit Duschen. Außerdem ergänzt Duschwasser-Wärmerückgewinnung das Konzept und spart etwa 25 bis 45 Prozent Energie ein (s. 4.3.7). Bisher gibt es wenig dokumentierte Erfahrungen, die sowohl Aussagen zum Verbrauch, zur Verteilung der Leistungsspitzen sowie über verlässliche Gleichzeitigkeitsfaktoren für solch ein System machen. Wichtig wären auch Aussagen zur Akzeptanz der Bewohner. Zudem wäre eine Frage, ob die Nutzung mit gestaffelten Stromtarifen hinterlegt werden kann, die den Nutzern durch einfache Signale zugänglich gemacht werden. Die Abrechnung wird bei solchen Systemen sehr einfach, sie erfolgt über die Stromabrechnung des jeweiligen Haushalts. Entsprechend ist die Variante mit einem Bonus durch die eingesparten Abrechnungskosten versehen.

4.3.7 Abwasser-Wärmerückgewinnung

Für zentrale Wärmepumpenanlagen stellt eine zentrale Abwasser-Wärmerückgewinnung eine gute Option für das Erzielen einer hohen Effizienz dar. Durch gebäudezentrale Wärmerückgewinnung der im Abwasser enthaltenen Energie oder durch Integration eines Wärmetauschers in die Sohle von Abwasserleitungen kann die Effizienz des Primärkreises der Wärmepumpe deutlich verbessert und eine hohe Arbeitszahl für das Gesamtsystem erzielt werden. Dabei handelt es sich um praxiserprobte robuste Lösungen, die langfristig nutzbar sind.

Das dezentrale Pendant ist die Duschwasser-Wärmerückgewinnung. Im Ablauf der Duschwanne wird ein Wärmetauscher integriert, der seine Wärme auf den Vorlauf des Duschwassers überträgt. Die Kosten für diese sehr einfache Anlage (Abb. Foto Duschwasser-Wärmerückgewinnung) liegen derzeit noch bei gut 1.000 € pro Dusche. Die Wärmerückgewinnung beträgt etwa 25 bis 45 Prozent. Ideal ist die Kombination mit direktstrom-basierten Lösungen. Schnellduscher profitieren wenig aber haben bei dem System ohnehin keine hohe Stromrechnung. Bewohner, die länger duschen, erhöhen den Grad der Wärmerückgewinnung, weil die jeweiligen Anfangsverluste eines jeden Duschvorgangs einen geringeren Anteil einnehmen. Zudem besteht ein Optimierungspotenzial bei den Systemen. Wenn das Material der Duschwannen z. B. eine geringe Wärmekapazität besitzt, setzt die Wärmerückgewinnung schneller ein und es erhöht sich die Wirksamkeit. Bei Wannen ist das System leider nicht wirksam.

4.3.8 Systemvergleich

Abschließend wird für aktuelle und zukünftige Versorgungssysteme ein Vergleich angestellt. Im ersten Diagramm wird für gasversorgte Systeme und verschiedene strombasierte Varianten die Endenergiebilanz gegenübergestellt. Bei der zentralen Warmwasserversorgung gibt es Systeme mit hohen Anlagenverlusten, die einen Energieverbrauch von 35 bis über 45 kWh/(m²a) aufweisen. Optimierte Anlagen mit gut gedämmten Leitungen ohne Zirkulation kommen dagegen mit etwa 25 kWh/(m²a) aus. Durch Solarthermie kann ein Deckungsgrad von 40 bis über 70 Prozent erreicht werden. Bei günstigen Arbeitszahlen schneiden Wärmepumpenlösungen hinsichtlich der Endenergiebetrachtung sehr gut ab. Zentrale Wärmepumpenanlagen können allerdings mit hohen Verlusten behaftet sein, wenn sie ungünstig betrieben werden.

Wichtig sind ein optimiertes Verteilnetz und eine niedrige Systemtemperatur, die z. B. mittels Suprafiltration erzielt werden kann, wie sie in Kapitel 4.3.1 beschrieben wird. Direktelektrische Warmwasserbereitung kann eine gute Bilanz erzielen, wenn Duschwärmerückgewinnung und eine optimierte PV-Batteriespeicher-Anlage in das Konzept integriert wird.

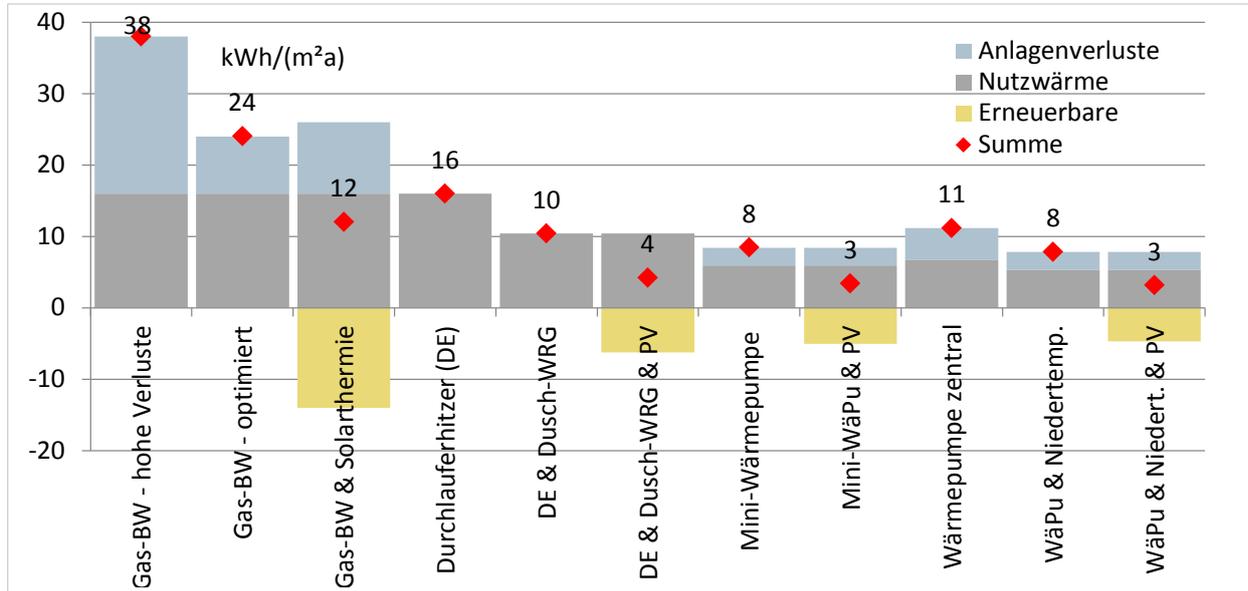


Abbildung 46 Endenergievergleich unterschiedlicher Warmwasser-Systeme

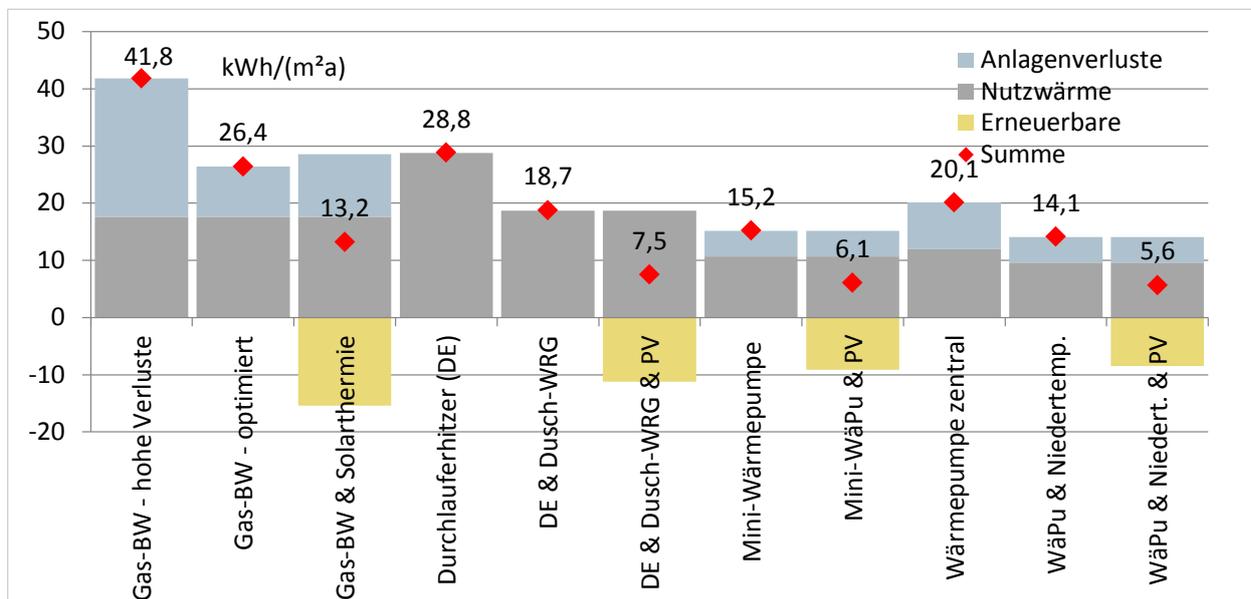


Abbildung 47 Primärenergievergleich der Warmwasser-Systeme aus der vorherigen Abbildung

Der Primärenergievergleich mindert die Differenz zwischen gas- und strom-basierten Systemen. Die direktelektrische Variante schneidet naturgemäß schlecht ab, wenn sie nicht mit Duschwärmerückgewinnung und PV verknüpft wird. Die Wärmepumpenlösungen liegen immer noch günstiger als die Versorgung mit Gas-Brennwerttechnik und befinden sich auf einer Linie mit der Solarthermie-Variante. Bei zusätzlicher Einbeziehung von PV verbessert sich die Bewertung deutlich. Bei

den Strom-Varianten muss bei der Auslegung allerdings darauf geachtet werden, dass keine hohen Leistungs-Peaks entstehen. Das ist ungünstig hinsichtlich möglicher Leistungspreise, die aktuell oder zukünftig in der Kostenbilanz durchschlagen könnten. Aus versorgungstechnischer Sicht sollten Varianten gewählt werden, die langfristig in einem erneuerbaren Energiesystem keine hohen Leistungen zu Zeiten möglicher Dunkelflauten erzeugen.

Wird die primärenergetische Betrachtung für ein erneuerbares System durchgeführt, verändern sich die Faktoren. Erneuerbares Gas für die Warmwasserbereitung weist mindestens einen PER-Faktor von 1,7 auf, da durch den Elektrolyseprozess und die Methanisierung nur in günstigen Fällen ein Wirkungsgrad von 60 Prozent erreicht wird. D. h. es wird davon ausgegangen, dass 1,7 kWh erneuerbare Energie generiert werden müssen, um einen Endenergie-Nutzen von einer Kilowattstunde zu erzielen. Die Stromvarianten stellen sich deshalb zukünftig deutlich günstiger dar als die Gasversorgung. Da der Primärenergieaufwand mit den Kosten für die Bereitstellung des Energieträgers korreliert, ist davon auszugehen, dass gasversorgte Systeme auf Dauer mit höheren Verbrauchskosten rechnen müssen. Wenn heute Gasversorgung geplant wird, sollte zumindest die Option für die Umstellung des Systems auf eine effiziente strombasierte Variante angedacht werden, um Langfrist-Risiken für die Immobilie zu minimieren.

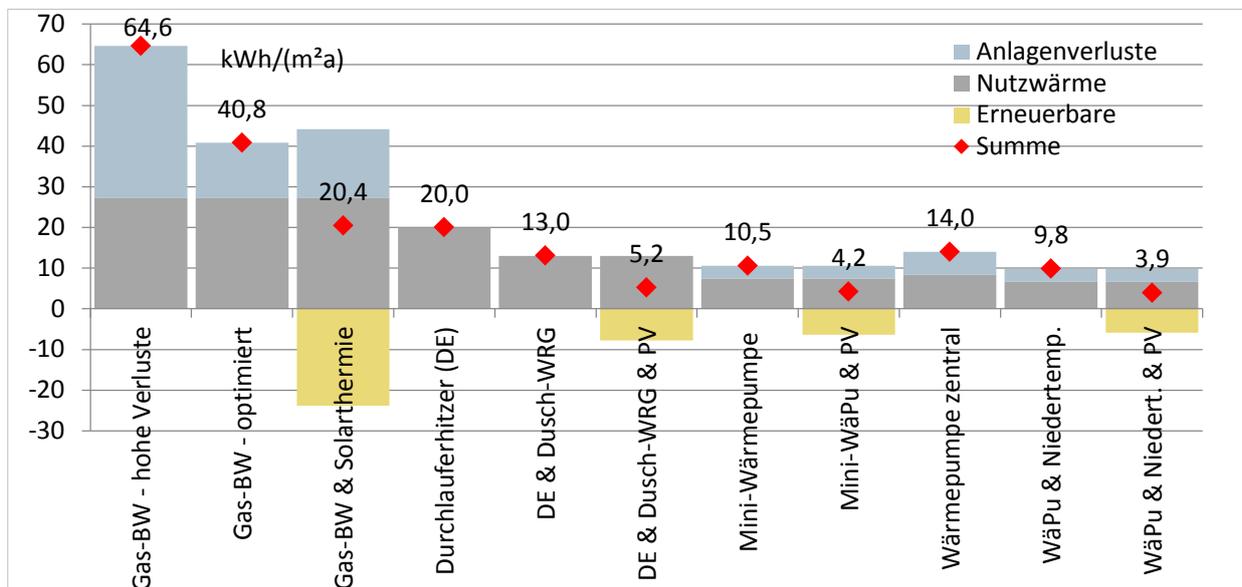


Abbildung 48 Primärenergiebetrachtung (PER) für ein erneuerbares Versorgungssystem

Die PER-Faktoren für Warmwasserversorgung mit Gas liegen bei etwa 1,7. Für Strom beträgt der PER-Faktor etwa 1,25, d. h. es müssen 1,25 kWh erneuerbarer Strom erzeugt werden, um einen Endenergie-Nutzen von 1 kWh zu erzielen. Alle Stromvarianten liegen deutlich günstiger als die Gasversorgung. Primärenergie und Kosten korrelieren zueinander, sodass gasversorgte Systeme auf Dauer ein Kostenrisiko beinhalten.

4.3.9 Zusammenfassung – Warmwasserbereitung

Standard zum Erreichen 2°-Ziel	Erneuerbare Warmwasserbereitung ist vorrangig strombasiert und ermöglicht kleinteilige Lösungen mit minimierten Anlagenverlusten. Techniken müssen bevorzugt werden, welche die erforderliche Wärme aus erneuerbarem Strom auf möglichst direktem Weg mit einer hohen Arbeitszahl generieren können und obendrein die Anlagenverluste fast auf Null bringen (=Vorteil dezentraler Lösungen).
Technische Werte	<ul style="list-style-type: none"> - Jahresarbeitszahl Wärmepumpen: 2,8 – 4,5 (erneuerbarer Strom zu Wärme), evtl. Direktelektrische (Teil)-Lösungen zur Vermeidung von Anlagen- und Speicherverlusten - Möglichst geringer Leistungsbedarf zu Zeiten kalter Dunkelflaute (Erreichbar durch (Strom)-Speichertechnologie)
Kosteneffiziente Planung	<ul style="list-style-type: none"> - Elektrisch basierte Systeme ermöglichen sehr kostengünstige Investitionskosten - Warmwasserbereitung sollten so einfach wie möglich ausgeführt werden zur Reduzierung der Kosten bei Investition und Betrieb. - Systemlösungen mit einer sinnvollen Verbindung von Wärme und erneuerbaren, strombasierten Energieträgern, Technik mit möglichst günstiger Arbeitszahl. - Optimierung der Leitungslängen und Stränge bzw. Eliminieren von Leitungslängen - Geringe Systemtemperatur zur Vermeidung von Anlagenverlusten, z. B. Frischwasserstation mit ca. 35 °C Vorlauf in Verbindung mit einem kleinen Durchlauferhitzer, der mit geringer Leistung die restlichen 3 bis 8 K erwärmt. Alternativ Ultrafiltration bei zentralen Systemen zur Senkung der Vorlauftemperatur auf etwa 45 °C. - Vorfertigung und Integration in Raumzellen-Lösungen - Flatrate-Konzepte für die Abrechnung mit einem begrenzten Warmwasserkontingent; bei Überschreitung (ggf. erst im zweiten Jahr) Nachzahlung - Einfaches Monitoring für die Mieter, sodass eigenes Verbrauchsverhalten transparent wird.
F & E	<ul style="list-style-type: none"> - Warmwassersysteme, die den Verbund von Wärme zu erneuerbaren Energien ermöglichen und zugleich Legionellenwachstum verhindern, z. B.: <ul style="list-style-type: none"> - Zentrale Wärmepumpen in Verbindung mit Ultrafiltern und niedrigen Vorlauftemperaturen um 45 °C - Mini-Wärmepumpen pro Wohnung - Frischwasserstationen (Systemtemperaturen 30 – 40 °C) mit Durchlauferhitzer - Durchlauferhitzer in Verbindung mit Batteriespeicher-Systemen zur Erhöhung des regenerativen Anteils - Optimierung von Warmwasserlösungen hinsichtlich Effizienz & Kosten - Industriell hergestellte Wärmepumpen mit Plug & Play-Montage - Kleinteilige Wärmepumpentechnik im Sinn Weißer Ware; Einsatz dezentral pro Wohnung oder als gebäudezentrale Versorgung, dabei sind Kaskadenlösungen mit mehreren Wärmepumpen auf unterschiedlichen Temperaturniveaus möglich.
Kosten vs. EnEV-2016	<ul style="list-style-type: none"> - Kostensenkungspotenzial der dargestellten Lösungen zwischen 10 und 30 €/m² Wohnfläche - Additiv kommt die erneuerbare Technik dazu (PV & Speicher), die daraus resultierenden Mehrinvestitionen amortisieren sich durch die Energieeinsparung

4.4 Gebäudetechnik – Lüftung

Lüftung und Raumluftqualität sind elementare Bestandteile gesunden Wohnens. Der Umgang damit ist aufgrund zahlreicher divergierender Diskussionen in den letzten Jahrzehnten emotional besetzt, sodass es gilt, die Thematik zu versachlichen und möglichst einfache aber zugleich gesundheitlich hochwertige und komfortable Lösungen zu finden.

In Mehrfamilienhäusern gab es bis vor etwa fünfzig Jahren einen funktionierenden Luftaustausch. Der Antrieb dafür lag in der Verbrennungsluft von Öfen und Feuerstellen in den Wohnungen. Die angesaugte Luft strömte über undichte Fenster oder Türen nach und sorgte so für eine beständige Lüftung. Als in den 1960er Jahren zunehmend Zentralheizungen eingebaut wurden, entfiel dieser „Antrieb“. Dazu kamen immer mehr Einrichtungsgegenstände aus Materialien, die belastende Stoffe enthielten. Als dann ab 1973 nach der ersten Energiekrise der – energetisch vernünftige – Trend zum Abdichten der Fenster und Türen einsetzte, entstand innerhalb weniger Jahre eine intensive Diskussion über „dicke Luft“ in unseren Wohnungen. Gute Raumluftqualität ist eine wesentliche Grundlage für unsere Gesundheit. Der Ausatem belastet die Raumluft mit Stoffwechselprodukten wie Kohlendioxid. Um die dadurch entstehende Raumluftbelastung auszugleichen, müssen bei normaler Tätigkeit etwa 30 Kubikmeter frische Luft pro Person und Stunde zugeführt werden. Das Lüften dient darüber hinaus einer angemessenen Raumluftfeuchte. In einem Drei- bis Vier-Personen-Haushalt werden täglich sechs bis über zehn Liter Wasser in die Raumluft eingetragen. Nahezu die gesamte Wassermenge muss fortgelüftet werden. In einer üblichen Wintersituation reichen bereits weniger als 90 Kubikmeter Luftaustausch pro Stunde (m^3/h), um innerhalb eines Tages 10 Liter Wohnfeuchte abzuführen. Ein deutlich höherer Luftwechsel würde dagegen zu einer unangenehm niedrigen Luftfeuchte im Raum führen. Deshalb ist es besonders in der kalten Jahreszeit wichtig, den Luftwechsel zu begrenzen. Hinsichtlich des Schallschutzes sind in Gebieten mit hohem Außenlärm Lüftungsanlagen Problemlöser. Wird die Außenhülle samt Fenstern mit hoher Schalldämmung gebaut, ist es selbst in stark lärmbelasteten Gebieten im Innenraum angenehm leise, weil die Lüftungsanlagen frische Luft ohne belastenden Außenlärm in die Wohnräume bringen.

Bei der Lüftungsplanung ist zu beachten, dass ein Zielkonflikt zwischen möglichst schadstoffarmer Raumluft und CO_2 -Minderung auf der einen Seite gegenüber zu trockener Luft auf der anderen besteht. Diesen gilt es möglichst sinnvoll zu lösen und insbesondere folgende Aspekte miteinander in Einklang zu bringen:

- Erzielen einer guten Raumluftqualität mit minimierter Schadstoffbelastung
- CO_2 -Konzentration im Mittel nicht höher als 1000 ppm (Amplitude von ca. 400 bis 1.500 ppm)
- Abtransport von in der Wohnung anfallender Wohnfeuchte
- Vermeidung von Kondensation an Bauteilen durch hochwertige Dämmung und Wärmebrückenfreiheit zur Vorbeugung gegen Schimmelpilzbildung.

In Mehrfamilienhäusern können Lüftungsanlagen dezentral pro Wohnung oder zentral für das gesamte Gebäude installiert werden. Zudem besteht die Möglichkeit reine Abluftanlagen oder Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung einzubauen. Bei der Planung sind Gesundheits-, Technik- und Kostenaspekte zu berücksichtigen sowie der Brandschutz.

Die folgenden Texte basieren auf einer Broschüre des Bayerischen Ministeriums für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologien [Schulze Darup 2018].

4.4.1 Abluftanlagen

Abluftanlagen sind ausreichend, um Anforderungen an gute Raumluftthygiene zu erfüllen. Die Luft wird in den Aufenthaltsräumen über die Fassade oder die Fenster angesaugt. Diese Durchlässe müssen einerseits gesichert sein gegen Winddruck, damit bei höheren Windstärken keine unkonfortablen Situationen

entstehen. Außerdem sollten sie Filter beinhalten, um Einträge von Staub und Insekten in den Wohnraum zu minimieren. Wichtig ist die Einregulierung des Sollvolumens, damit alle Räume angemessen durchlüftet werden. Da in den Wintermonaten kalte Außenluft einströmt, ist es vorteilhaft, wenn die Heizflächen im Bereich der Außenluftelemente platziert sind. Die Luft strömt durch die Räume in die Überströmbereiche wie Flure oder Treppenträume. Der dazu erforderliche Unterdruck wird mit einem oder mehreren Abluftventilatoren erzeugt, die in den Ablufträumen wie Küche, Bad und WC die Luft absaugen. Die Fortluft kann mittels Einzelgeräten pro Wohnung durch die Außenwand oder alternativ durch Schächte nach außen geleitet werden.

Bei Mehrfamilienhäusern können Abluftanlagen sehr unterschiedlich konzipiert werden: dezentrale Lösungen benötigen einen Ventilator pro Wohnung oder pro Abluftraum. Alternativ sind auch zentrale Anlagen für das gesamte Gebäude möglich. Grundsätzlich kann die Wärme aus der Fortluft über Wärmepumpen zu Teilen zurückgewonnen werden. Die dabei erzielbaren Arbeitszahlen liegen aber deutlich ungünstiger als bei Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung.

4.4.1.1 Kostenoptimierung & Planungsdetails

Obwohl das Anlagenkonzept einfach ist, erfordert die Planung viel Fachwissen, um Komfort und Funktionalität sicherzustellen. Die Lüftungsgeräte sollten einen minimalen Schallpegel und niedrigen Stromverbrauch aufweisen. Eine hochwertige Regelung ermöglicht hohe Luftqualität mit einem niedrigeren Luftvolumen als bei vergleichbarer manueller Lüftung. Wenn Feuchte, CO₂ und ggf. Schadstoffbelastungen in die Regelstrategie einbezogen werden, können die Luftvolumina entsprechend der Nutzung optimiert werden. Dabei müssen die Außenluftdurchlässe so einreguliert werden, dass alle Räume die geplante Luftmenge erhalten. Zudem geht es um eine hochwertige Gestaltung von Außenluft- und Fortluftdurchlässen. Sinnvoll sind gestalterisch hochwertige Durchlasselemente im Bereich von Fenstern. Eine elegante Alternative stellen Ansauggitter in der Fensterleibung dar. Inakzeptabel sind Ansaugstrategien, bei denen die frische Außenluft durch Bereiche strömt, die nicht auf einfache Art zu reinigen sind, wie z. B. durch Rollladenkästen.

4.4.1.2 Bau- und Betriebskosten

Abluftanlagen kosten 15 bis 30 € pro m² Wohnfläche. Es gibt aber auch Lösungen, die bis zu 60 € kosten. Diese Kosten sind der Raumlufthygiene geschuldet. Bei optimierter Regelung, die auf die Nutzer hin optimiert wird, kann gegenüber der Fensterlüftung Heizenergie eingespart werden bei gleichbleibend guter Raumlufqualität. Es gibt aber auch schlechte Beispiele für Abluftanlagen: hohe Lüftungsraten und zusätzliche Fensterlüftung führen zu einem hohen Energieverbrauch.

4.4.1.3 Lüftungswärmebedarf und Hilfsenergie

Die Lüftungswärmeverluste manueller Fensterlüftung betragen etwa 40 kWh/(m²a), wenn gute Raumlufqualität erreicht werden soll. Bei unsachgemäßem Lüften können die Werte auch höher liegen. Oft wird aber weniger gelüftet mit dem Ergebnis schlechter Raumlufqualität. Im Vergleich zur manuellen Lüftung können hochwertige Abluftanlagen den Luftwechsel durch gezielte Regelung reduzieren. Die möglichen Einsparungen sind dabei allerdings begrenzt. Durch gute Regelstrategien können die Lüftungswärmeverluste bei gleichzeitig guter Raumlufqualität in günstigen Fällen auf etwa 30 kWh/(m²a) reduziert werden.

4.4.1.4 Vorteile und Nachteile

Abluftanlagen bieten den Vorteil mit einfacher Technik gute Raumlufqualität bereitstellen zu können. Der Hauptnachteil liegt in der fehlenden Wärmerückgewinnung. Zudem schränkt die direkt einströmende kühle Außenluft den Komfort ein. Bei starkem Winddruck kann sich dieser Effekt erhöhen oder die

Luftmenge deutlich von den geplanten Werten abweichen. Aus Gestaltungssicht stellt es zudem eine Herausforderung dar, die zahlreichen Außenluftdurchlässe architektonisch angemessen auszuführen.

4.4.2 Zentrale Komfortlüftungsanlagen

Zentrale Lüftungssysteme eignen sich hervorragend für Mehrfamilienhäuser mit Mietwohnungen. Die Nutzer nehmen kaum etwas von der Anlage wahr – außer der angenehm frischen Innenraumluft.

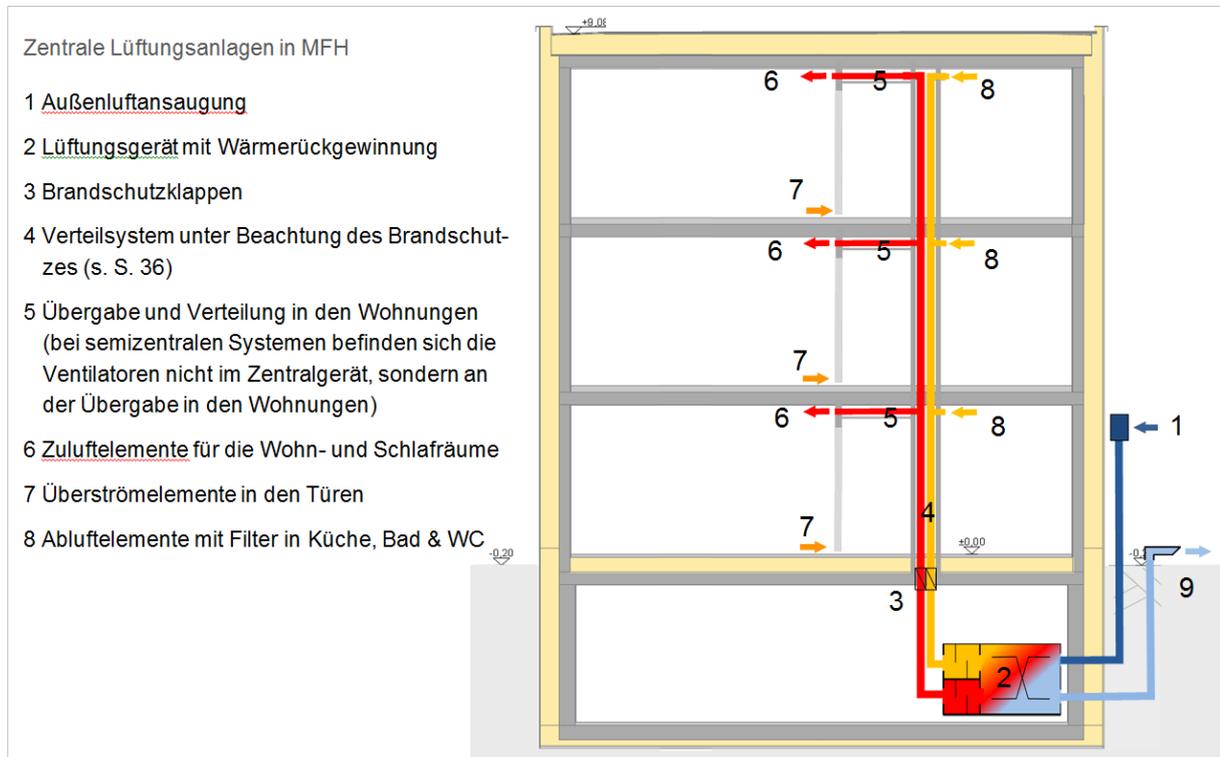


Abbildung 49 Schema einer zentralen Komfortlüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (MFH)

Die Technikzentrale befindet sich im Keller, auf dem Dachboden oder in einem Nebenraum. Die Ansaugung der frischen Außenluft [1] erfolgt auf möglichst kurzem Weg, da kalte Leitungen im Gebäude teuer gedämmt werden müssen und trotzdem Wärmeverluste verursachen. Das Lüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung [2] sollte zudem so positioniert werden, dass es einfach zu warten ist. Ein möglichst kompaktes Verteilsystem [5] ist günstig, mit dem die Luft auf kurzem Weg in die Wohnungen gebracht wird. Der Brandschutz stellt dabei einen relevanten Kostenfaktor dar. Wenn die Brandschutzklappen an den Übergängen zu den Wohnungen zentral zu warten sind, bietet das einen großen Vorteil [GEBA 2018]. Für die Luftverteilung innerhalb der Wohnungen bestehen zahlreiche Möglichkeiten. Bei semizentralen Lüftungsanlagen gibt es eine kleine Ventilatoreinheit je Wohnung statt im Gerät in der Lüftungszentrale. Die Zuluftleitungen [5] können in der Betondecke, unter dem Estrich oder in abgehängten Deckenbereichen verlegt werden. Zuluftelemente [6] leiten die Luft in die Aufenthaltsräume wie Wohnzimmer, Schlaf- und Kinderzimmer. Flure bilden den Überströmbereich zu den Ablufträumen wie Küche, Bad und WC. Die Abluftelemente [8] sollten dort möglichst nah unter der Decke positioniert sein. Die Abluft wird dann über den Verteilstrang zurück zum zentralen Lüftungsgerät geführt, wo sie ihre Wärme zu hohen Teilen mittels Wärmetauscher auf die einströmende frische Außenluft überträgt.

Die Festlegungen zur Regelung sind entscheidend für die Effizienz der Anlagen. Wird in den Wohnungen die Nennlüftung nach DIN 1946-6 eingestellt, kommt es bei niedriger Personenbelegung zu trockener Luft in den Wintermonaten. Besser ist es, nur eine Grundlüftung einzustellen, die ggf. durch die Nutzer erhöht

werden kann. Außerdem hat es sich bewährt, wenn die Bewohner bei erhöhtem Lüftungsbedarf kurz die Fenster öffnen.

4.4.2.1 Bau- und Betriebskosten

Zielgerichtete Grundrissplanung stellt die Voraussetzung für kostengünstige Lösungen dar. Es ist vorteilhaft, wenn Ablufträume beieinander liegen, die Steigstränge zusammengefasst und kurze Wege zu den Zulufräumen realisiert werden können. Wenn zudem über eine Kaskadenlösung z. B. der Wohnbereich als Überströmbereich versorgt wird, sind weitere Einsparungen für Investition und Betrieb möglich. Lüftungszentrale und Steigleitungen sollten möglichst platzsparend geplant und vor allem für den Brandschutz kostengünstige Lösungen gefunden werden.

Die Investitionskosten z. B. für eine 70 m² Wohnung liegen oftmals über 6.000 € (inkl. MWSt. und Montage), günstige Ausführungen kosten deutlich unter 4.000 €. Hinsichtlich der Finanzierung kann durch WRG-Anlagen oftmals eine bessere KfW-Förderstufe erzielt werden. Ist es zudem möglich bei der Heizanlage Kosten einzusparen, kann die jährliche finanzielle Belastung pro Wohnung für Heizen, Hilfsenergie, Wartung und Finanzierung bei einer günstigen Anlage mit Wärmerückgewinnung über 200 € günstiger liegen als gleiche Wohnungen mit Abluftanlagen.

4.4.2.2 Lüftungswärmebedarf und Hilfsenergie

Der Endenergiebedarf für Lüftungswärmeverluste und Hilfsenergie beträgt bei Abluftanlagen 30 bis 40 kWh/(m²a). Bei Anlagen mit Wärmerückgewinnung liegen die Vergleichswerte bei 6 bis 12 kWh/(m²a). Dabei handelt es sich um die Lüftungswärmeverluste beim Betrieb des Lüftungsgeräts und die Verluste über Leckagen sowie die Hilfsenergie für den Betrieb des Lüftungsgerätes. Diese beträgt im optimalen Fall weniger als 1,5 kWh/(m²a) für die Heizperiode. Bei schlechten Planungen und schlecht eingestellten Anlagen steigt dieser Wert auf 2 – 3 kWh/(m²a). Wird das Gerät im Sommer aus Komfortgründen betrieben, erhöht sich der Verbrauch um weitere 1,5 bis 2,5 kWh/(m²a).

4.4.2.3 Vorteile und Nachteile

Der große Vorteil zentraler Lüftungssysteme liegt in der Wartung. Bei richtiger Planung kann sie allein in der Lüftungszentrale stattfinden und ist mithin sehr kostengünstig ausführbar. Minimierte Technik in Wohnungen ist für die meisten Nutzer sehr angenehm.

Ein Nachteil liegt im Raumbedarf für die Lüftungszentrale, die mindestens 1 m² Fläche pro Wohnung erfordert, bei ungünstiger Planung auch deutlich mehr. Nicht zu vernachlässigen sind zudem die Lüftungsschächte. Wenn keine kostengünstige Lösung für den Brandschutz im Mehrfamilienhaus gefunden wird, können erhöhte Kosten auftreten.

4.4.3 Dezentrale Komfortlüftungsanlagen

Dezentrale Lüftungsanlagen sind derzeit kostengünstiger ausführbar als zentrale Lösungen. Besonders für 2 bis 3 Zimmerwohnungen, die einen Großteil der Bestands- und Neubauten ausmachen, reichen sehr kompakte Anlagen.

Dezentrale Lüftungsanlagen in MFH – Var. 1

- 1 Außenluftansaugung
- 2 Lüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung, z. B. oberhalb des WC's
- 3 Verteilbox mit Schalldämpfer und kurze Verteilungen zu den Zulufräumen
- 4 Zuluftelemente in die Aufenthaltsräume
- 5 Überströmelemente von den Aufenthaltsräumen zu Bad und Küche
- 6 Abluftelemente in Bad und Küche
- 7 Fortluftelement, integriert in den Außenluftdurchlass ohne Luftvermischung mit der Ansaugung

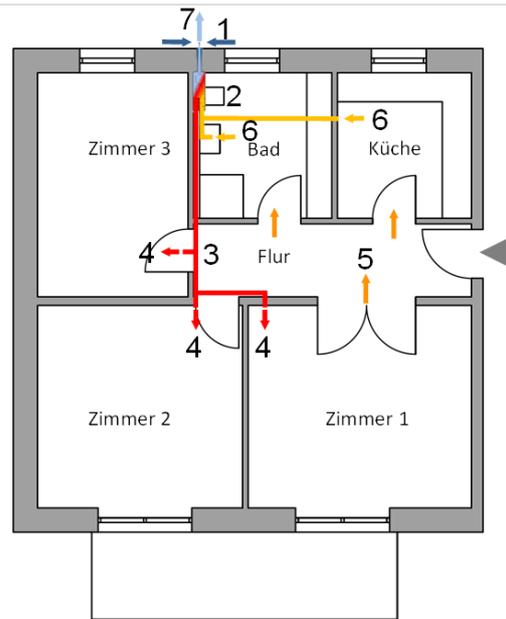


Abbildung 50 Schema einer dezentralen Komfortlüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (Dreizimmerwohnung in einem Mehrfamilienhaus, Variante 1)

Dezentrale Lüftungsanlagen in MFH
Var. 2 – Minimiertes Leitungssystem

- 1 Außenluftansaugung in einem verdeckten Bereich, z. B. Balkon
- 2 Lüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung integriert in die Außenwand ohne Platzverlust
- 3 Zuluft einbringung ohne Druckverlust direkt am Gerät (ergänzend sind 1-2 Zuluftleitungen zu Aufenthaltsräumen möglich)
- 4 Aktive Überströmelemente – der integrierte Ventilator schaltet bei Raumbelugung CO₂-gesteuert ein und durchlüftet den Raum
- 5 Abluftelement im Bad / das Element in der Küche könnte nach Bedarf geregelt werden

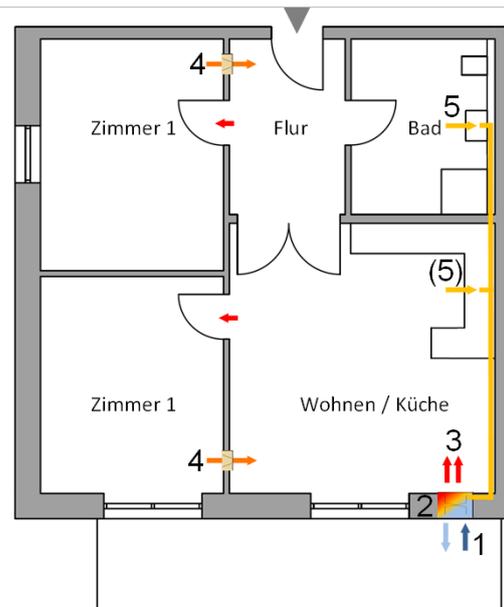


Abbildung 51 Lösung einer dezentralen Komfortlüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung Variante 2: Alternative mit einem Lüftungsgerät in der Außenwand und minimierten Leitungslängen durch die Nutzung des Kaskadeneffekts.

Der Vorteil dezentraler Systeme können liegt darin, dass sie sehr einfach und platzsparend konzipiert werden können. Die Lüftungsgeräte [2] beinhalten als bewegliche Teile gerade mal zwei kleine Ventilatoren, die für die Grundlüftung solch einer Wohnung etwa jeweils 10 Watt benötigen. Das entspricht der Leistung von zwei kleinen Energiesparleuchten. Das Gerät lässt sich z. B. über dem WC, unter der Bad-Decke, über der Küchenzeile oder in der Außenwand ohne Wohnflächenverlust montieren. Die frische Außenluft wird über ein Außenwandelement [1] angesaugt, das idealerweise direkt mit dem Gerät verbunden ist oder nur eine minimal kurze gedämmte Anbindung benötigt. Oftmals sind die Fortluftleitungen in diesen Außenwanddurchlass integriert. Die Zuluftleitungen vom Gerät in die

Aufenthaltsräume inkl. Schalldämmung sollten so kurz wie möglich sein. Das Beispiel oben zeigt drei sehr kurze Anbindungen zu den Zulufräumen. Alternativ kann die gesamte Zuluft zunächst in die beiden Schlafzimmer (Zi. 2 und 3) geführt und das Wohnzimmer (Zi. 1) mittels Überströmelement erschlossen werden.

In Variante 2 wird das Leitungssystem nochmals minimiert. Die Zuluft [3] wird vollständig in den Wohnbereich geführt. Nur wenn die beiden anderen Zimmer genutzt werden, schaltet der CO₂-Sensor die Überströmventilatoren [4] ein, welche die benötigte Luft in den jeweiligen Raum strömen lassen. Die Abluftseite [5] ist ebenfalls sehr einfach und kostengünstig ausführbar. Voraussetzung dafür ist die direkte Zuordnung der Ablufträume zueinander. In dem Fall reichen wenige Meter Abluftleitung und mithin eine geringe Aufwendung zur Verkleidung der Leitungen.

Ergänzend gibt es dezentrale Einzelraumgeräte mit Wärmerückgewinnung. Wandintegrierte Kleinstgeräte mit integriertem Gegenstrom-Wärmetauscher können für Appartements und auch 2- bis 3-Zimmer-Wohnungen eine gute Lösung darstellen.

Dagegen sind „Push-Pull“-Lösungen aufgrund einiger Nachteile problematisch. Sie sind zwar einfach montierbar, können durch die Ventilatorgeräusche und den regelmäßigen Richtungswechsel jedoch als störend empfunden werden. Sie weisen vor allem den Nachteil einer erhöhten erforderlichen Luftmenge auf, um die gleiche Raumluftqualität zu erzielen wie gerichtete Systeme. Dadurch wird die Wirtschaftlichkeit stark reduziert. Zudem benötigen sie Sonderlösungen für Abluftbereiche und haben hohe Wartungsaufwendungen zur Folge, weil für jedes Einzelgerät der Filter mindestens einmal jährlich gewechselt sowie der beidseitig durchströmte Wärmetauscher gereinigt werden muss.

4.4.3.1 Bau- und Betriebskosten

Dezentrale Komfortlüftungsanlagen kosten vielfach 6.000 Euro und mehr. Erste Hersteller bieten kostengünstige Anlagen, wie sie in den Varianten 1 und 2 beschrieben werden, inkl. Montage für 2.800 bis 3.500 € an (inkl. Montage und MWSt.). Wenn durch die Wärmerückgewinnung eine höhere Förderung erreicht wird, ist solch eine Anlage bereits in der Anschaffung günstiger als eine Abluftanlage. Das gilt insbesondere, wenn bei der Heizung aufgrund der geringeren erforderlichen Leistung Kosteneinsparungen erreicht werden. Die jährliche Belastung für Heizen, Hilfsenergie, Wartung und Finanzierung liegt bei kostengünstigen Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung ab dem ersten Tag günstiger als bei Abluftanlagen.

4.4.3.2 Lüftungswärmebedarf und Hilfsenergie

Die energetische Betrachtung stellt sich vergleichbar zu den zentralen Anlagen dar. Während der Endenergiebedarf für Lüftungswärmeverluste und Hilfsenergie bei Abluftanlagen meist zwischen 30 und 40 kWh/(m²a) liegt, weisen Anlagen mit Wärmerückgewinnung Vergleichswerte von 6 bis 13 kWh/(m²a) zzgl. der Hilfsenergie von 1,5 bis 3 kWh/(m²a) auf.

4.4.3.3 Vorteile und Nachteile

Dezentrale Anlagen haben vor allem den Vorteil, dass sie bei optimierter Planung nahezu ohne Wohnflächenverlust integrierbar sind. Die Geräte samt Verteilung können sehr einfach ausgeführt werden. Zudem ist eine individuelle Regelung nach den Bedürfnissen der Nutzer möglich. Der größte Nachteil liegt in der Wartung, weil die Filterwechsel in der Wohnung erfolgen müssen. Bei guten Systemen ist das mit zwei einfachen Handgriffen durch die Nutzer möglich. Ein weiterer Nachteil liegt in der Ansaugung über die Gebäudehülle. Die Außen- und Fortluftelemente müssen gestalterisch hochwertig integriert – oder in nicht einsehbaren Bereichen wie Balkons etc. untergebracht werden.

4.4.4 Planung und Auslegung von Lüftungsanlagen

Gebäudeplanung muss sicherstellen, dass der CO₂-geführte Luftwechsel zu einer hohen Raumluftqualität führt. Dazu sollten möglichst schadstoffarme Produkte mit minimiertem Emissionsverhalten eingebaut werden. Eine gute Grundlage für die Beurteilung von Materialien und die Ausschreibung bietet das ökologische Baustoffinformationssystem WECOBIS [WECOBIS (2017)] sowie Sicherheitsdatenblätter der Bauprodukte. Absolute Sicherheit bieten aber nur Schadstoffmessungen der konkret eingebauten Materialien oder zertifizierte Produkte. Ein weiteres Augenmerk gilt den Einbauten und Möbeln. Schadstoff-zertifizierte Produkte sollten den Vorzug erhalten. Es gibt zahlreiche Ökosiegel und Zertifikate, die schadstoffarme Möbel zuverlässig kennzeichnen wie z. B. den Blauen Engel [BLAUER ENGEL 2017].

Planer sind verpflichtet Lüftungskonzepte zu erstellen, in denen sie den notwendigen Luftaustausch für Hygiene und Bautenschutz gemäß DIN 1946 Teil 6 nachweisen. Es geht darum, eine gute Luftqualität und angemessene Feuchte mit möglichst geringem Energieaufwand bzw. Heizenergieverlusten zu erzielen bei wechselnden An- und Abwesenheiten. Die Auslegung basiert auf vier Lüftungsstufen:

- Lüftungsstufe 1: Lüftung zum Feuchteschutz ist ständig nutzerunabhängig zu sichern und sorgt für Bautenschutz und Feuchteabfuhr zur Vermeidung von Schimmelpilzbildung aufgrund von Kondenswasserniederschlag.
- Lüftungsstufe 2: Reduzierte Lüftung muss weitestgehend nutzerunabhängig erfolgen als hygienischer Mindeststandard zur Abfuhr von Schadstoffen.
- Lüftungsstufe 3: Die Nennlüftung ist als Auslegungsgröße zu wählen und sorgt für hygienisch-gesundheitliche Anforderungen sowie Bautenschutz.
- Lüftungsstufe 4: Intensivlüftung sorgt für den Abbau von Lastspitzen z. B. durch Besuch, Waschen und Kochen. Dabei kann aktive Fensterlüftung einbezogen werden.

In Abhängigkeit von der Fläche der Wohnung werden Mindestwerte für den Luftwechsel nach DIN 1946-6 aufgeführt. Anforderungen für die Außenluftvolumenströme der vier Lüftungsstufen befinden sich in der folgenden Tabelle. Dabei betragen die mindestens notwendigen Abluftvolumenströme nach DIN 1946-6 für Küchen, Bäder und Duschen 45 m³/h, für WCs und Hausarbeitsräume 25 m³/h.

Tabelle 6 Mindestwerte der Gesamt-Außenluftvolumenströme in Abhängigkeit von der Fläche der Wohnung [Angaben in m³/h] nach DIN 1946-6. Als Beispiel: Die Nennlüftung für eine Wohnung mit 70 m² Wohnfläche beträgt 95 m³.

Fläche (m ²)	50	70	90	130	170	210
1 Lüftung zum Feuchteschutz	25	30	35	45	55	65
2 Reduzierte Lüftung	55	65	80	105	130	150
3 Nennlüftung	75	95	115	155	185	215
4 Intensivlüftung	100	125	150	200	245	285

Die geforderten Luftvolumina nach Passivhaus-Projektierung liegen oftmals im Bereich der reduzierten Lüftung. Ziel einer optimierten Planung ist es, mit der Reduzierten Lüftung für die Schlafzimmer 20 m³ pro Stunde und Person zu erzielen. Das ist möglich, wenn Kaskadenlüftung angewandt wird. D. h. entweder wird die gesamte Zuluft zunächst in die Schlafzimmer geleitet (z. B. bei Lüftungsstufe 2/Reduzierter Lüftung: 40 m³/h in Schlafzimmer, 20 m³/h in Kinderzimmer), danach durchströmt diese Luft den Wohnbereich. Das funktioniert auch umgekehrt: die Zuluft wird zunächst in den Wohnbereich geführt und dann bei Bedarf mittels aktiver Überströmer in die Schlafzimmer gezogen. Es ist sinnvoll, bereits bei der Vorentwurfsplanung die Grundrisse in diesem Sinn zu gestalten.

4.4.5 Kostenentwicklung

Für Lüftungsanlagen in Mehrfamilienhäusern entstehen sukzessive neue Systemlösungen, die hoch effizient und einfach in der Betriebsführung sind und dennoch kostengünstig im Betrieb. Während Abluftanlagen seit Jahren 15 bis 35 €/m Wohnfläche kosten (inkl. Montage und MWSt.), werden im Bereich der Komfortlüftung zunehmend Anlagensysteme angeboten, die bei 40 bis 50 €/m²_{WF} liegen. Dadurch ergeben sich bei optimierter Planung nur noch Differenzkosten zwischen den Systemen von unter 20 €/m².

Die günstigen Systeme sind vor allem bei den wohnungszentralen Lösungen zu finden. Gebäudezentrale Lüftungsanlagen liegen aufgrund der Brandschutzanforderungen z. T. deutlich höher. In diesem Segment sollten Grundsatzlösungen gesucht werden in einem interdisziplinären Prozess von Gebäudetechnikern, Architekten, Industrie und Brandschützern, um einfache aber sichere Lösungen zu ermöglichen, die deutlich kostengünstiger realisierbar sind. Insbesondere können effiziente aber einfache Beispiellösungen für den Brandschutz geschaffen werden, bei denen die Wartung von Rauch- und Brandschutzklappen sehr kostengünstig ohne Begehen der Wohnungen möglich ist. Bisher gibt es dazu nur singuläre Einzellösungen, die bei Fachplanern nur bedingt bekannt sind.

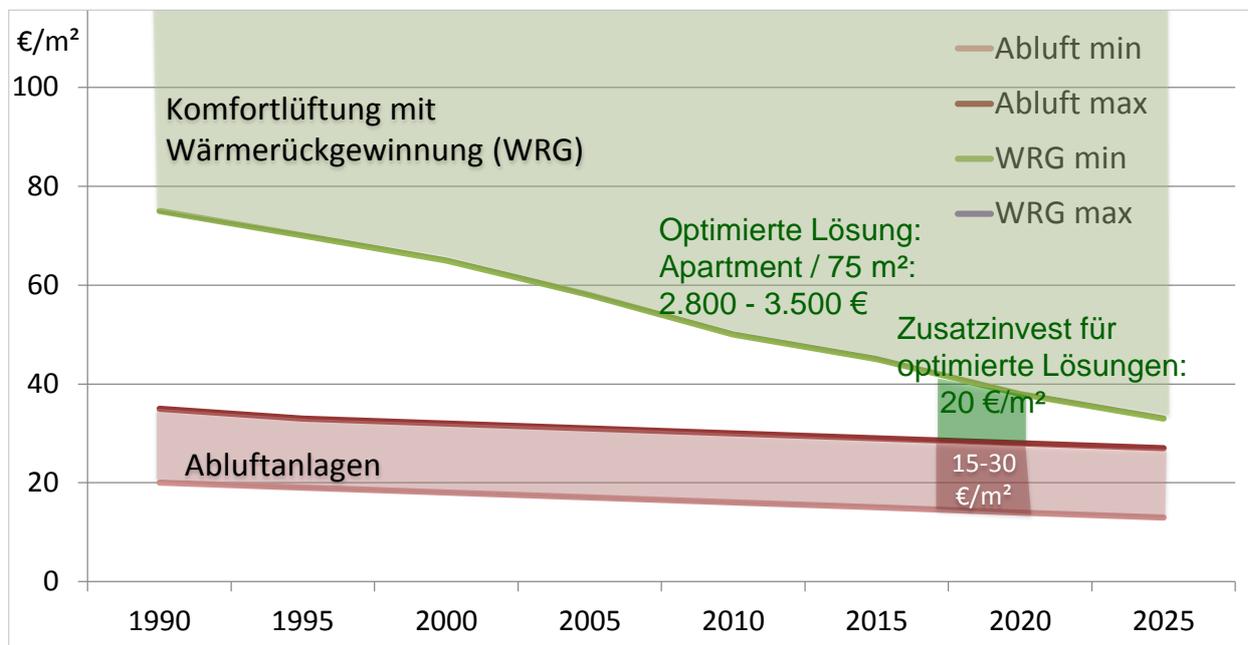


Abbildung 52 Kostenentwicklung für Lüftungsanlagen in Mehrfamilienhäusern

Während Abluftanlagen seit Jahren im Bereich von 15 bis 35 €/m Wohnfläche liegen, werden im Bereich der Komfortlüftung zunehmend Anlagensysteme angeboten, die inkl. Montage nur noch 40 bis 50 €/m²_{WF} kosten. Dadurch ergeben sich Differenzkosten zwischen den Systemen von unter 20 €/m².

4.4.6 Zusammenfassung – Lüftung

Standard zum Erreichen 2°-Ziel	Lüftungssysteme mit Wärmerückgewinnung, um den Heizwärmebedarf bei effizienter Gebäudehülle nochmals zu halbieren
Technische Werte	- Der Wärmebereitstellungsgrad beträgt mindestens 75 %, besser 85 bis 93 %, dadurch liegt die Arbeitszahl (eingesparter Heizwärmebedarf pro kWh, die das Lüftungsgerät benötigt) bei 15 bis über 20

	<ul style="list-style-type: none"> - Strombedarf pro gefördertem Kubikmeter Luft maximal 0,45 Wh/m³, gute Geräte schaffen deutlich unter 0,3 Wh/m³ - Die Anlage darf akustisch kaum wahrnehmbar sein, der Schalldruckpegel in Wohnräumen sollte unter 25 dB(A) liegen, in Ablufträumen unter 30 dB(A)
Kosteneffiziente Planung	<ul style="list-style-type: none"> - Ventilatorgestützte Lüftungsanlagen sind aus hygienischen Gründen geboten. Nach DIN 1946-6 sind sie bei konsequent kosteneffizienter Planung das Mittel der Wahl. - Durch Komfortlüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung werden Heizwärmebedarf und Heizlast von Gebäuden mit guter Gebäudehülle in etwa halbiert. Dadurch kann bei Heizsystemen eine Einsparung von 15 bis 40 €/m² Wohnfläche erzielt werden. Bei sehr wirtschaftlicher Planung ist die Einsparung bei der Heizung höher als die Mehrkosten von einer Abluftanlage zu einer Komfortlüftungsanlage. - Durch Kaskadenlüftung (Zuluft z. B. zuerst in die Schlafräume, dann in Wohn- und Überströmbereiche und von dort in die Ablufträume) kann mit niedrigen Luftvolumina eine hohe Raumluftqualität erzielt und mit der 2. Lüftungsstufe nach DIN 1946-6 (reduzierte Lüftung) eine effiziente und kostengünstige Lüftung realisiert werden. - Kompakte Lüftungsgeräte ermöglichen die Montage ohne Wohnflächenverlust (Montage in Außenwände, unter der Decke in Bad/Küche/Flur, über dem WC etc.), Leitungslängen können durch Kaskadenlüftung reduziert werden - Integrales Ziel der Planung liegt in minimiertem Wartungsaufwand
F & E	<ul style="list-style-type: none"> - Forschungsziel: kostengünstige ventilatorgestützte Anlagen mit hoher Effizienz und hohem Komfort; Ziel sind Grundlüftungskonzepte zur Sicherstellung von Feuchteschutz und Raumlufthygiene ohne Entmündigung der Nutzer; fehlertolerante Systeme mit niedrigen Wartungs- und Betriebskosten - Für 2 – 3-Zi.-Wohnungen sind wohnungszentrale Komfortlüftungsanlagen zu Kosten von 3.000 €/m² Wohnfläche am Markt verfügbar. Die weitere Entwicklung muss dafür sorgen, dass dies reproduzierbar von zahlreichen Herstellern gewährleistet werden kann. - Entwicklung von gebäudezentralen Systemen zu gleichen Kosten. Voraussetzung dafür sind neue Komponenten für den Brand- und Rauchschutz, die selbstwartend sind oder mit einem selbstregelnden zentralen Wartungssystem arbeitet. - Entwicklung einfacher Systeme, die mit Lüftungsstufe 2 (reduzierte Lüftung) nach DIN 1946-6 eine hygienische Grundlüftung (insbesondere während des Schlafens) sicherstellen. Tagsüber können Hybridkonzepte mit unterstützender Fensterlüftung zu Bedarfszwecken genutzt werden. - Enthalpiewärmetauscher etc. zur Vermeidung zu niedriger Luftfeuchte im Winter. - Regelungssysteme zur Frostschutzsicherung. - Wartungssysteme für wohnungszentrale Anlagen ohne Betreten der Wohnung und zu jährlichen Kosten unter 40 €/Wohnung.
Kosten vs. EnEV-2016	<p>Abluftanlagen kosten 15 bis 35 €/m² Wohnfläche (z. T. auch darüber). Wohnungszentrale Komfortlüftungsanlagen liegen bei kostenoptimierten Systemen zwischen 40 und 50 €/m²WF. Wirtschaftlich geplante gebäudezentrale Komfortlüftungsanlagen kosten 50 bis 80 €/m²_{WF}. In der Praxis liegen die Kosten oftmals deutlich höher.</p>

4.5 Erneuerbare Energien & Versorgungskonzepte

Versorgungskonzepte unterliegen einem grundlegenden Paradigmenwechsel (vgl. Kapitel 2.1.4). Es geht um die Verknüpfung neuer Ansätze von erneuerbarer Wärme mit erneuerbarer Stromgewinnung und Strommanagement im Geschosswohnungsbau. Photovoltaik stellt eine zentrale Technik bei den siedlungsintegrierten Erneuerbaren Energien dar. Das Forschungsvorhaben stellte klar heraus, dass quartiersbezogene Versorgungskonzepte besondere Chancen für die Energiewende bieten, insbesondere wenn Wärme, Strom und zukünftig auch Mobilität integral geplant werden. Ziel des Vorhabens waren Musterkonzepte und innovative Systemlösungen, die andernorts multiplizierbar sind.

Derzeit fehlen für viele Fragestellungen verlässliche Rahmenbedingungen. Es besteht eine hohe Unsicherheit selbst unter versierten Planungsbüros. Technisch-physikalisch optimierte Konzepte sind nur eine Seite der Medaille. Ungleich größere Herausforderungen ergeben sich von der administrativen Seite. Das Gesetz zur Förderung des Mieterstroms bietet nur bedingt Hilfestellungen aufgrund schwieriger Rahmenbedingungen und liegt weit hinter avisierten Umsetzungszielen zurück.

Hohe bauliche Verdichtung macht Plusenergiekonzepte schwieriger. Während bei geringgeschossiger Bebauung mit z. B. zwei Geschossen einfache Lösungen möglich sind, ergeben sich bei hoher Geschossigkeit sehr komplexe Herausforderungen, die auch bei Förderkonzepten Berücksichtigung finden müssen. Zudem stellt sich grundsätzlich die Frage, ob zukunftsfähige Versorgungsstrukturen für Quartiere auf Fernwärme- oder Nahwärmenetzen beruhen oder ob gebäudezentrale Systeme oder gar dezentrale kleinteilige Techniken sinnvoll sind, die monovalent durch Stromnetze miteinander verbunden sind. Bei der Warmwasserbereitung könnten sogar Module zum Tragen kommen, die pro Wohnung oder Zapfstelle installiert werden und sich hoch wirtschaftlich darstellen, weil sie im Sinn Weißer Ware produziert und betrieben werden können. Derzeit gibt es keine klaren Aussagen, welcher der Systemansätze sich durchsetzen wird. Es ist allerdings erkennbar, dass durch die Entwicklung zu einer vorrangig strombasierten erneuerbaren Versorgung kleinteilige Konzepte hoch attraktiv werden. Es könnte der Fall eintreten, dass die Entwicklung dieses Segments zu derart kosteneffizienten und nachhaltigen Lösungen führt, dass die großtechnischen Systeme sukzessive unter Druck geraten.

Im Folgenden werden diese Fragestellungen diskutiert und Vor- und Nachteile der vielfältigen Möglichkeiten gegenüber gestellt.

4.5.1 Techniken für erneuerbare Energieversorgung

Wie in Kapitel 4.1 beschrieben, wird sich der Versorgungsmix in den nächsten zwei Jahrzehnten kontinuierlich von den brennstoffbasierten Systemen zu strombasierten Versorgungsvarianten mit ausschließlich erneuerbar bereitgestellten Energieträgern entwickeln. Welche Auswirkungen hat das auf die Versorgung von Quartieren und Gebäuden? Oder anders gefragt, welche erneuerbaren Energieträger sind dafür entscheidend? Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde eine Vielzahl von Ansätzen diskutiert. Die wichtigsten Komponenten werden im Folgenden dargestellt.

4.5.1.1 Photovoltaik

Photovoltaik stellt die wesentliche Form der erneuerbaren Energiegewinnung innerhalb von Siedlungsstrukturen dar. Ein hoher Anteil der erforderlichen Energie kann direkt vor Ort generiert werden. Das Ziel ist nicht eine autarke Versorgung, sondern ein Quartiers- und Netzverbund, der auf möglichst sinnvoller Weise Synergien ermöglicht. Es wird die architektonische Herausforderung der kommenden Jahre sein, eine gestalterisch hochwertige Integration dieser Techniken bei der Planung zu erreichen. Dabei liegt der Vorteil der Photovoltaik grundsätzlich in der Ortsungebundenheit. Gestehungsort und Nutzungsort können bedingt voneinander abweichen. Die Gebäude der Zukunft werden miteinander durch

das Stromnetz verbunden sein und interaktiv als virtuelles Kraftwerk wirken. Der Vorteil gegenüber Wärmenetzen liegt in der nahezu verlustfreien Verteilung. Es muss allerdings ein Weg gefunden werden, wie die geltenden administrativen Rahmenbedingungen mit solche einem System in Einklang gebracht werden können. In dem Sinn liegt ein weiterer grundsätzlicher Vorteil der dezentralen Stromerzeugung in der Möglichkeit eines hohen Anteils an Eigenstromnutzung. Das sollte nicht nur pro Gebäude sondern auch für Quartiere und Stadtteile gelten. Daraus resultieren Modelle mit hohem Versorgungsgrad, sodass regionale Netze und das europäische Verbundnetz auf sinnvolle Weise entlastet werden können.

Durch PV-Nutzung kann im Vergleich zu anderen regenerativen Energieträgern innerhalb von Siedlungsstrukturen eine vergleichsweise hohe Energiedichte erreicht werden. Die PV-Lösungen der Wohnungsunternehmen in Kapitel 5 zeigen sehr unterschiedliche Herangehensweisen auf. Im Folgenden werden zunächst grundsätzliche Überlegungen dazu zusammengefasst.

Für die Auslegung einer Photovoltaikanlage gelten überschlägig folgende Zahlen: Die PV-Leistung von 1 kW_{peak} benötigt bei kristallinen Zellen ca. 6 bis 7 m² Modulfläche und bringt einen Ertrag von 850 bis 1.050 kWh pro Jahr. An dieser Stelle soll keine detaillierte Planung zur Auslegung erfolgen, sondern anhand von zwei charakteristischen Beispielen auf einfache Form das Potenzial an PV-Erträgen abgeschätzt werden.

Bei ein- und zweigeschossigen Gebäuden ist eine Plusenergiebilanz völlig problemlos nachweisbar. Bei Mehrfamilienhäusern, insbesondere im verdichteten innerstädtischen Bereich mit vier, fünf und mehr Geschossen, ist nur mit hohem Engagement ein Überschuss an erneuerbarem Strom mit dem eigenen Gebäude zu erzielen. In diesen Fällen müssen zum Erreichen einer Plusenergiebilanz nicht nur die Dachflächen, sondern ggf. auch Fassaden oder weitere Ressourcen aus dem Quartier oder auch darüber hinaus aktiviert werden.

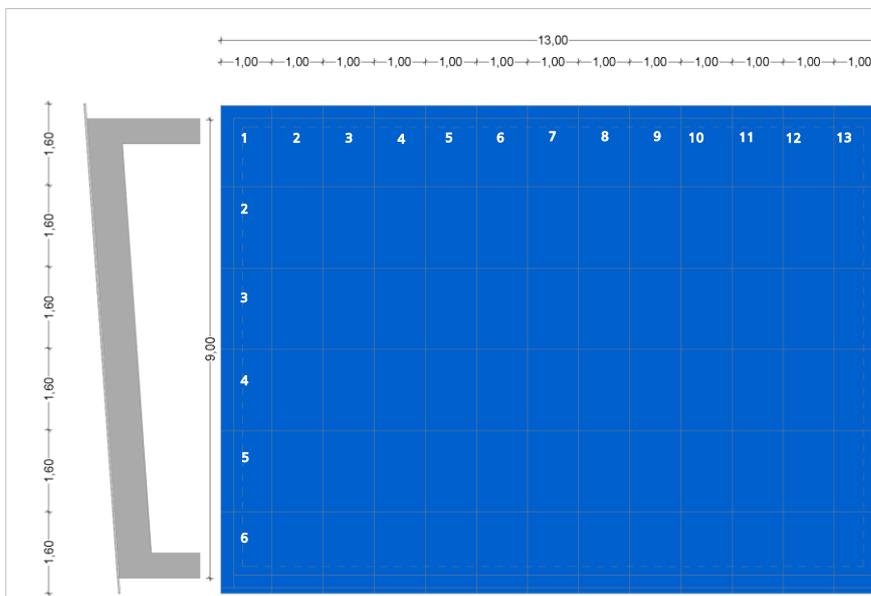


Abbildung 53 Schema einer PV-Anlage mit leichter Südneigung vollflächig über eine Dachfläche mit einem Ertrag von 160 bis 200 kWh pro m² Dachfläche.

Die Abbildung oben symbolisiert ein flaches Pultdach mit 4 ° Südneigung und einer vollflächigen PV-Belegung. Dort werden im Jahr pro m² Dachfläche 160 bis 200 kWh Strom generiert. Diese Variante stellt sich im Vergleich zu anderen Lösungen am günstigsten dar. Bei hochverdichteter Bebauung ergibt sich daraus allerdings eine erhöhte Verschattung der nördlich gelegenen Gebäude. In vielen Fällen bietet sich deshalb die Unterbringung der Photovoltaik auf Flachdächern an. In der Abbildung unten wird eine optimierte Variante mit einer Ost-West-Ausrichtung der PV-Module dargestellt. Der Ertrag liegt bei guter Ausnutzung zwischen 110 und 150 kWh pro m² Dachfläche. Die Ausrichtung ist günstig für die

Eigenstromnutzung, weil sich der Ertrag über den gesamten Tag gleichmäßiger verteilt als bei Südausrichtung. Bei dreigeschossigen Mehrfamilienhäusern kann mittels Ost-West-Ausrichtung der Module ein Ertrag von etwa 40 bis 50 kWh pro m² Wohnfläche erzielt werden. Hocheffiziente Module können jeweils einen etwas höheren Ertrag realisieren.

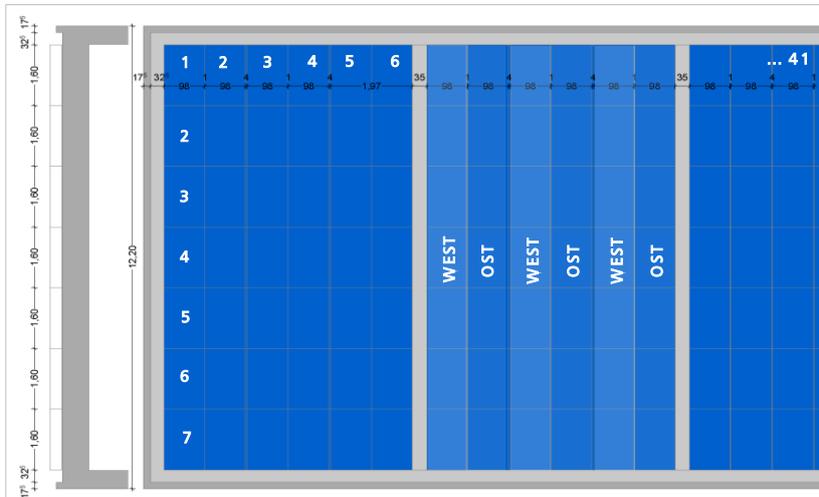


Abbildung 54 Schema einer Flachdach-PV-Anlage: Ost-West ausgerichtete Module mit gegenläufiger Aufstellung zueinander. Ca. 80 Prozent der Dachfläche können genutzt werden. Der Ertrag liegt bei 110 bis 150 kWh pro m² Dachfläche.

Die folgende Tabelle zeigt überschlagsmäßig mögliche PV-Erträge pro m² Wohnfläche für Gebäude mit Flachdach in Abhängigkeit von der Geschossigkeit. Bei der Südausrichtung, wie in Variante 1 beschrieben, ergibt sich bei Dreigeschossigkeit ein Ertrag von knapp 60 kWh pro m² Wohnfläche im Jahr. Bei Sechsgeschossigkeit sind es nur noch knapp 30 und bei Neugeschossigkeit 20 kWh/(m²_{WFA}). Die Werte für die Flachdachvariante liegen jeweils etwa 25 Prozent niedriger. Aus den Zahlen lässt sich ablesen, dass bei verdichteter Bebauung zusätzliche erneuerbare Quellen erforderlich sind. Die aktuelle KfW-40_{PLUS}-Förderung erfasst diesen Aspekt bisher nicht, sondern ist vor allem auf geringgeschossige Gebäude ausgerichtet.

Tabelle 7 PV-Erträge pro m² Wohnfläche für optimal genutzte Dachflächen

Die Süd-Ausrichtung bezieht sich auf ein flach geneigtes Süddach (4 °DN), bei dem die gesamte Dachfläche belegt wird. Die Ost-West-Ausrichtung ist über ein Flachdach gegenläufig zueinander aufgestellt und weist eine Belegung von ca. 80 % der Dachfläche auf. Die Umrechnung auf die Geschossigkeit zeigt, dass Quartiere mit dichter Bebauung allein mit Dach-PV keine Plusenergie-Bilanz erzielen können.

kWh/(m ² _{WFA})	Süd	Ost-West
Dreigeschossig	59	45
Viergeschossig	44	34
Sechsgeschossig	29	23
Neugeschossig	20	15

Photovoltaik weist den großen Nachteil auf, dass die tägliche und jahreszeitliche Ausbeute stark variiert. Deshalb stellen der Netzverbund und die Option von Zwischenspeicherung wichtige Komponenten im Versorgungssystem dar. Dazu können Quartierslösungen wichtige Impulse geben, insbesondere was Gleichzeitigkeitsfaktoren und gemeinsames Lastmanagement angeht. Physikalisch gesehen ist Speicherung in einem großen Verbund deutlich sinnvoller als die Installation von Batterie-Speichern pro Gebäude. Die aktuellen Rahmenbedingungen stehen solch synergetischen Quartierslösungen aber deutlich entgegen. Das Forschungsvorhaben zeigt eine hohe Zahl von Anregungen dazu auf.

4.5.1.2 Solarthermie

Solarthermie war die Leittechnik für erneuerbare Wärme über mehrere Jahrzehnte und gehörte zu jedem nachhaltig gebauten Gebäude. Trotz des einfachen Konzepts der Solarwärme stellten sich viele Anlagen als relativ wartungsintensiv dar oder liefen in nicht optimalen Bereichen. Nach wie vor gibt es Anwendungen, die als sehr sinnvoll zu bewerten sind, wobei aber jeweils die konkurrierende Photovoltaik vergleichend betrachtet werden sollte. Das betrifft nicht nur die Wirtschaftlichkeit, sondern auch die Flächennutzung. Hybride Systeme, die beide Techniken vereinen, sind relativ teuer und möglicherweise zum Ende ihrer Nutzungsdauer nur noch in Teilfunktionen zu nutzen. Der relevante Punkt bei der Bewertung werden allerdings die resultierenden Wärmekosten sein. Während bei der Solarthermie die erhoffte Kostendegression nicht in einem höheren Umfang eingetreten ist, sinken die Kosten für Photovoltaik-Strom nach wie vor. Während Solarthermie-Wärme 0,12 bis 0,30 € pro Kilowattstunde kostet, liegt PV-Strom derzeit bei etwa 0,12 €/kWh (extrem optimierte Anlagen bei 0,08 €/kWh), in Verbindung mit einer Wärmepumpe für die Wärme mithin bei 0,03 bis 0,05 €/kWh.

Die Visionen einer Solarstadt mit Solarthermie und Saisonspeicherung aus den 1990er Jahren [Fisch / Möws / Zieger 2001] weichen deutlich von den heutigen erneuerbaren Lösungen ab. Das gilt auch für die aktuellen Konzepte der damaligen Protagonisten saisonaler Großspeicher. Die Lösungsansätze zur Versorgung von Quartieren haben sich zu einfacheren, kleinteiligeren Lösungen mit Schwerpunkten auf PV und Wärmepumpen-Technik gewandelt. Die Ursache dafür liegt in der nicht erwarteten Erfolgsgeschichte der Photovoltaik, die in den letzten fünfzehn Jahren die Solarthermie deutlich überholt hat.

Solarthermische Saisonspeicher werden trotz der schwierigen Erfahrungen der letzten dreißig Jahre immer wieder in die Debatte gebracht. Aktuelle Studien zu dem Thema sind zu Teilen sehr gut in der Darstellung, lassen aber sowohl präzise Angaben über die Kosten als auch das Monitoring mit der Bestätigung der avisierten Ziele vermissen [Holthuizen, Kiesewetter et al 2018]. Parallel dazu lässt die Entwicklung von Sonnenhaus-Konzepten erkennen, dass zunehmend erhöhte Dämmstandards und Wärmerückgewinnung bei der Lüftung zur Anwendung kommen, um in Zusammenhang mit Bauteilaktivierung einen höheren solaren Deckungsanteil zu erhalten. Dadurch können bisherige Schwachpunkte reduziert werden, indem z. B. die bisher notwendige Zusatzheizung deutlich kleiner ausfallen kann. Gleiches gilt für Speichergrößen, was sowohl aus wirtschaftlichen Erwägungen heraus als auch aufgrund der Probleme mit der sommerlichen Überhitzung von Bedeutung ist.

Solarthermische Lösungen bleiben weiterhin ein hohes Anliegen zur Erzielung hochregenerativer Projekte. Die Messlatte hat sich durch die Entwicklung bei der Photovoltaik aber deutlich verändert. Solarthermie wird dauerhaft nur dann zum Einsatz kommen, wenn sie kostengünstiger und einfacher in der Systemkonfiguration wird.

4.5.1.3 Windkraft

Erneuerbare Energie durch Windkraft ist die zweite große Säule der Energiewende. Der Vorteil liegt im höheren Ertrag im Winterhalbjahr, was den Anforderungen auf der Heizseite entgegenkommt. Die Beteiligung von Quartiers-Trägern an Windkraftanlagen zum Nachweis der erneuerbaren Versorgung kann als sinnvoll angesehen werden, aber auch als Green-Washing. Die Diskussionen in den Workshops zeigten, dass beide Sichtweisen Berechtigung aufweisen. Es ist wenig sinnvoll, ein energetisch mangelhaftes Konzept zu erstellen und durch den Einkauf von erneuerbarem (Wind)-Strom eine Plusenergiebilanz zu erzielen. Umgekehrt kann es nicht sein, dass in dichten Siedlungsstrukturen die gleichen Anforderungen gelten wie im zweigeschossigen Einfamilienhausbereich, in dem PV-Lösungen sehr einfach den Nachweis des KfW-40_{PLUS}-Standards oder auch eines ermöglichen.

Dezentrale kleine Windanlagen haben den Nachteil, dass sie bei Montage innerhalb von Siedlungsstrukturen durch die geringe Höhe in den meisten Fällen einen enttäuschend geringen Ertrag aufweisen. Darüber hinaus muss es klare Richtlinien zu Geräuscentwicklungen hinsichtlich des Strömungs- und Geräteschalls geben. Zudem wäre es fatal, wenn die Anlagen nach einigen Betriebsjahren z. B. durch Verschleiß am Laufwerk zu kontinuierlichen Lärmquellen werden.

De facto wird in verdichteten Quartieren die sinnvolle Einbeziehung des Netzverbunds eine relevante Rolle spielen, d. h. extern erzeugter Windstrom stellt einen wesentlichen Teil der Versorgung sicher.

4.5.1.4 Biomasse und biogene Brennstoffe

Biomasse und biogene Brennstoffe werden mittelfristig für Niedertemperatur-Anwendungen nur noch sehr bedingt verfügbar sein. Stattdessen werden sie als Rohstoff, für Flug- und Schiffs-Treibstoff sowie für Hochtemperaturprozesse genutzt werden. Im ländlichen Raum kann es davon Ausnahmen geben. Biogene Materialien können auch noch Bedeutung als gespeicherter Brennstoff für Lastmanagement in Zeiten der kalten Dunkelflaute haben. Ganz sicher werden sie in zwanzig Jahren nur noch sehr bedingt als kostengünstiger Grundbrennstoff für verdichtete Quartiere zur Verfügung stehen.

4.5.1.5 Tiefengeothermie

In Regionen mit gut erschließbarer Wärme aus Tiefengeothermie stellt diese Versorgungsart eine gute Option dar. Die Stadt München gibt dafür ein gutes Beispiel. Planungen müssen allerdings sehr gewissenhaft erfolgen, um geologisch ungünstige Auswirkungen zu verhindern.

4.5.1.6 Oberflächennahe geothermische Wärme und Umweltwärme

Umweltwärme wird in der öffentlichen Diskussion oftmals als erneuerbare Energie wahrgenommen. De facto handelt es sich jedoch um effiziente Stromnutzung mittels Wärmepumpen. Die EnEV 2016 fungierte durch die Umstellung des Primärenergiefaktors von 2,4 auf 1,8 als starkes Argument für die Nutzung von Wärmepumpensystemen. Einen besonders starken Schub erfuhren dabei Luftwärmepumpen, die als Primärkreis Umweltwärme aus der Außenluft nutzen. Insbesondere in kalten Winterperioden führt das allerdings zu ungünstigen Arbeitszahlen, was in Zeiten der kalten Dunkelflaute zu einer Belastung des Versorgungssystems führen kann. Bei der Planung muss zudem das Schallproblem der Luft-Wasser-Tauscher gelöst werden.

Geothermie mit Bohrungen bis zu etwa 100 m Tiefe oder mit Primärkollektoren im oberflächennahen Erdreich können in den kalten Winterphasen deutlich günstigere Arbeitszahlen ermöglichen. Durch den Anfrageboom der letzten Jahre entstanden in einigen Regionen allerdings Preise für Erdbohrungen, die nicht angemessen waren. Die Branche würde sich einen Gefallen tun, wenn sie in den nächsten Jahren durch Innovationen ein günstigeres Preis-Leistungs-Verhältnis erzielt. Nur dann wird sich die Technik in der Breite durchsetzen. Das komplexe Planungs-, Genehmigungs- und Ausschreibungsprozedere stellt einen weiteren Kostenfaktor dar. Es gibt Start Ups, die diese Leistungen als Service anbieten [Erdwärmeinformation 2018].

4.5.1.7 Abwärme aus Wohnprozessen

Wärmerückgewinnung bei Lüftungsanlagen ist die wichtigste Abwärmenutzung beim Wohnen. Gute Konzepte ermöglichen eine Arbeitszahl von 15 bis über 20, d. h. pro eingesetzter Kilowattstunde Strom im Gerät werden 15 bis über 20 kWh Wärme zurückgewonnen. Die Kombination von Abluftanlagen mit Fortluftwärmepumpen erzielen demgegenüber nur Arbeitszahlen um 4 bis 6.

Duschwärmerückgewinnung ist sehr kostengünstig umsetzbar und spart 30 bis 40 Prozent der erforderlichen Duschwärme ein. Aktuell angebotene Systeme sind allerdings noch übersteuert.

Wärmerückgewinnung aus Abwasser stellt für Neubauquartiere eine sehr sinnvolle Option dar. Bereits bei der Erstellung der Kanalisation wird an geeigneten Stellen durch einen Inlinerkreislauf im Kanalboden ein Primärkreis für Wärmepumpenkonzepte geschaffen, die zu günstigen Arbeitszahlen im Bereich von 4 bis 7 führen können. Dabei können immer nur Teilbereiche des Quartiers mit diesem Primärkreis versorgt werden. Sinnvoll ist deshalb möglicherweise die Verbindung mit einem geothermischen Primärkreis, wobei der Kanalwärmetauscher mit der höheren Temperatur am Ende durchflossen wird.

Gebäudetechnik nähert sich Leistungskennwerten an, die im Bereich von Haushaltsgeräten liegt. Diese geben zudem Abwärme ab, die in Form interner Gewinne der Heizwärmebilanz zugute kommt. Bei kleinteiliger Gebäudetechnik im Wohnungsmaßstab können grundsätzlich Überlegungen von Interesse sein, wie diese Energiequellen genutzt und zugleich hinsichtlich des sommerlichen Wärmeschutzes Synergien geschaffen werden können. Diese Frage sollte in Form eines Forschungsvorhabens grundlegend durchdacht werden. Gemeinsam mit innovativen Herstellern Weißer Ware könnten in der Folge Überlegungen zu Marktpotenzialen angestellt werden.

4.5.1.8 Abwärme aus Industrie- und Gewerbeprozessen

Quartierskonzepte erhalten einen besonders hohen Stellenwert, wenn unterschiedliche Nutzungsarten zu Synergien und Kaskadennutzungen von Wärme genutzt werden können. Bei solchen Konzepten ist es hilfreich drei grundlegende Fragen zu beantworten:

1. Überwiegt der Vorteil aus der Abwärmenutzung die Nachteile der Netzverluste?
2. Gibt es ein Gesamtkonzept, das die Abwärme qualitativ hochwertig nutzen kann oder ist ein vergleichbares Ergebnis auch mit kleinerer und kostengünstiger Technik möglich?
3. Wird die Abwärme sicher auf Dauer der Abschreibungszeit der Anlage zur Verfügung stehen und die Lieferung vertraglich gesichert?

Nur wenn alle drei Fragen mit einem klaren „Ja“ beantwortet werden können, ist ein Wärmenetz mit Einbindung von Abwärme sinnvoll.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens gab es kontroverse Diskussionen zum Thema Wärmenetze. Als einvernehmliches Ergebnis wurde vor allem festgestellt, dass Nah- und Fernwärmenetze in sehr verdichteten Stadtteilen und Quartieren sinnvoll sind, bei geringerer Verdichtung eine sehr kritische Prüfung durchgeführt werden sollte. Bei der Planung sollte aber immer der Blick auf die zukünftigen erneuerbaren Versorgungsmodelle gelenkt werden. Die Auffassung, dass Netze immer den Vorteil haben, neueste erneuerbare Technik in angemessenen Zyklen bereitstellen zu können, wird in Zukunft nicht mehr für alle Fälle stimmen.

4.5.2 Versorgungsprofil von Quartierskonzepten – Wärme- & Stromnetze

Die klare Trennung in Wärme- und Stromanwendungen ist in Zukunft nicht mehr gegeben. Ein wesentliches Ergebnis des Forschungsvorhabens liegt in der Feststellung, dass zukünftig nicht nur Heizen, Warmwasserbereitung und Hilfsstrom in das Versorgungskonzept eingebunden werden müssen, sondern Haushaltsstrom und Mobilität integrale Bestandteile sein werden. Daraus ergibt sich ein Vorteil für die elektrische Vernetzung. Im Gegensatz zur bisherigen Praxis ist ein Verbund all dieser Verbrauchsbereiche für ein sinnvolles Lastmanagement ausschlaggebend.

Aus den Workshops des Forschungsvorhabens erwuchs die Frage, wie sich Wärmenetze entwickeln werden und wie Elektronetze eine möglichst sinnvolle Versorgung für ein Quartier sicherstellen. Können vergleichbare oder sogar höhere Synergien als bei Nah- oder Fernwärmenetzen erzielt werden?

Es ist ein deutlicher Forschungsbedarf zu erkennen, welche Versorgungsform für Quartiere sowohl primärenergetisch als auch hinsichtlich der Kosten die günstigere Variante darstellt. Das Ziel solch eines

Gutachtens liegt darin, langfristig wirtschaftliche Investitions- und Betriebskosten unter den veränderten Rahmenbedingungen der Energiewende zu erhalten. Vor allem müssen günstige Wohnkosten für die Mieter erzielt werden.

4.5.2.1 Änderung der Bedarfswerte

Ein wichtiger Aspekt für die Versorgung ergibt sich aus den Bedarfswerten für Heizen und Warmwasser: sie sinken bei hocheffizienten Systemen in den Bereich von vergleichbaren Haushaltsgeräten. Für eine 2-3-Zimmer-Wohnung mit 65 m² Wohnfläche beträgt der Heizwärmebedarf bei einem spezifischen Wert von 20 kWh/(m²a) nur noch 1.300 kWh im Jahr. Wenn eine Wärmepumpe mit einer Arbeitszahl von 3,5 die Arbeit erledigt, verbleiben 370 kWh Strombedarf im Jahr. Das entspricht dem Jahresbedarf eines mäßigen Kühlschranks oder eines gut genutzten Wäschetrockners. Der Paradigmenwechsel bei der Warmwasserbereitung wird in Kapitel 4.3 beschrieben. Auch wenn der Nutzenergiebedarf sich nur geringfügig ändert, differieren die Endenergie-Kennwerte deutlich von heutigen Lösungen.

4.5.2.2 Änderung des Verbrauchsspektrums

Während vor wenigen Jahren der Bereich Heizen die relevanteste Größe im Verbrauchsspektrum darstellte, wird in Zukunft der Bereich des Haushaltsstroms dominieren. Zudem wird der Energiebedarf für Mobilität nicht mehr vorrangig an Tankstellen gezapft, sondern belastet sukzessive die Stromnetze in den Quartieren.

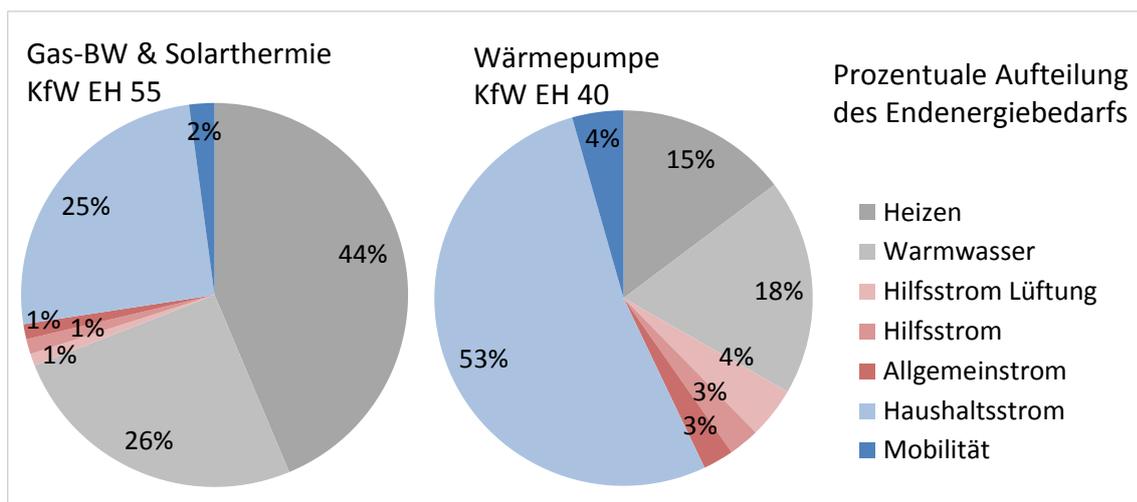


Abbildung 55 Vergleich des Verbrauchsspektrums unterschiedlicher Standards

Noch stellt Heizen die relevanteste Größe im Verbrauchsspektrum dar. In Zukunft wird der Haushaltsstrom dominieren und sukzessive der Bedarf für Mobilität zunehmen. Die 4 % für Mobilität im Diagramm rechts erfassen nur einen PKW für jeden vierten Haushalt, bis zum Jahr 2040 werden es wahrscheinlich 75 % oder mehr sein, sodass der Anteil bei 10 bis 15 Prozent liegt.

Das Diagramm weist den Paradigmenwechsel sehr deutlich aus. Das Segment links zeigt das Verbrauchsspektrum des bisherigen Verbrauchs mit brennstoffbasierten Energieträgern für die Wärme bei einem Standard KfW EH 55. Rechts daneben wird die zukünftige Verteilung dargestellt für Wärmepumpenbasierte Wärmeversorgung beim Standard KfW EH 40. Der Warmwasser-Anteil überwiegt den Heizungsbedarf. Vor allem nimmt der Bedarf für Haushaltsstrom zukünftig mehr als die Hälfte des gesamten Bedarfs ein. Im folgenden Kapitel werden Untersuchungen zu unterschiedlichen Versorgungssystemen dokumentiert. Dazu werden im Folgenden die Grundannahmen dargestellt.

4.5.2.3 Änderung des Lastprofils

Falls ein Elektrizitätsnetz eine sinnvolle Versorgung eines Quartiers sicherstellen kann und vergleichbare oder höhere Synergien als ein Wärmenetz erzielt, führt dies zu deutlich sinkenden Investitions- und Betriebskosten. Zudem ergibt sich aus der oben beschriebenen deutlichen Senkung des Heizenergiebedarfs für eine 2-3-Zimmer-Wohnung auf 350 bis 400 kWh Wärmepumpenstrom im Jahr eine deutliche Verschiebung bei den Lastprofilen. Entsprechend verhalten sich die Leistungswerte: sie liegen bei einer Heizlast von 15 W/m² bei 975 Watt für eine 65 m²-Wohnung. Die Wärmepumpe benötigt dafür in Abhängigkeit von der jeweiligen Arbeitszahl eine elektrische Leistung zwischen 250 und 400 W. Daraus ergeben sich völlig neue Optionen für die Versorgung von Gebäuden, insbesondere, wenn die Warmwasserbereitung unabhängig von der Heizung ebenfalls elektrobasierend und dezentral mit guten Arbeitszahlen bereitgestellt wird.

Mobilität stellt eine hohe Herausforderung an die Versorgung und das Lastmanagement, weil die Lastspitze für das Laden der Batterien extrem hoch sein kann, im Mittel jedoch der anteilige Verbrauch deutlich unter dem des Haushaltsstroms liegt, was bezogen auf die Jahresdauerlinie zu einem sehr anspruchsvollen Profil führt.

4.5.2.4 Wärmenetze versus Stromnetze

Versorgungskonzepte für Quartiere können im Idealfall Synergien innerhalb eines Stadtteils nutzen und durch eine Vernetzung hochregenerative und rationelle Systeme schaffen. Wie die Diskussionen im Forschungsvorhaben gezeigt haben, muss daraus nicht zwangsläufig die Entscheidung für Wärmenetze resultieren. Möglicherweise ist das Stromnetz der Verbund zukünftiger Quartierslösungen. Im Zuge der erneuerbar-elektrischen Entwicklung sollte bei jeder Planung abgewogen werden, welche Energieträger und welche Übertragungsmedien in Frage kommen. Dabei ist es wichtig die Entwicklung des Energie-Mix' in den kommenden zwei bis drei Jahrzehnten zu betrachten. Da es sich bei Versorgungssystemen um Investitionen mit hohen Kosten und langfristiger Nutzungszeit handelt, muss die Frage der vollständig erneuerbaren Versorgung stimmig beantwortet werden. Ansonsten drohen bei den nächsten Technik-Anpassungen in 15 bis 25 Jahren möglicherweise hohe Folgekosten.

Mögliche erneuerbare Energieträger wurden im vorhergehenden Kapitel beschrieben inklusive Anmerkungen zu ihren Einsatzmöglichkeiten. Die Diskussion darum prägte zahlreiche Workshops im Rahmen des Forschungsvorhabens. Im Zusammenhang damit stehen die Gebäudetechniklösungen der einzelnen Gebäude und die Frage nach der Vernetzung innerhalb des Gebietes. Zukunftsfähige Lösungen müssen sowohl unter aktuellen Rahmenbedingungen wirtschaftlich zu betreiben sein als auch in einer voll-erneuerbaren Versorgungswelt in zwanzig bis dreißig Jahren. Dazwischen liegt genau ein Innovationsschritt, d. h. einmal können im Zuge der üblichen Instandsetzung bewegliche Aggregate ausgetauscht werden. Das Versorgungssystem mit Verteilung, Heizseite, ggf. Zentrale und den dafür erforderlichen Räumen muss bei einem Neubau aber bereits heute erstellt werden. Das erfordert eine planerische Weitsicht und vor allem ein Wissen um die Technik von Übermorgen. Sehr einfache Fragen dazu lauten: sind erneuerbare Ressourcen verfügbar, z. B. Flächen für PV, gibt es Raum für Elektro-Speicher, Technikoptionen für Power-to-Heat oder Ressourcen für den Primärkreis von Wärmepumpen? Das kann ein schallgeschützter Aufstellort für Luft-Wasser-Außenteile oder eine Option für den Primärkreis von Wasser-Sole-Wärmepumpen sein.

Eine grundsätzliche Frage muss bei jeder Gebietsplanung beantwortet werden. Wird das Quartier durch ein Wärmenetz verbunden oder wird der Verbund durch ein Stromnetz getragen bzw. eine Mischung aus beiden? Im Folgenden wird zu dieser Frage eine Sammlung von Pro- und Contra-Argumenten aufgelistet.

Pro Wärmenetz

- Leitsatz der Gebäudetechnikplanung: Kostenvorteil zentraler Versorgungstechnik pro Wohneinheit im Vergleich zu dezentraler Technik
- Zentrale Technik mit der Möglichkeit der Einbindung innovativer Techniken
- Im günstigen Fall niedrige Wartungskosten der zentralen Technik
- Kein Zugang zu den Wohnungen erforderlich
- Möglichkeit zur Nutzung von Abwärme aus Industrie und Gewerbe
- Möglichkeit zur zentralen Power-to-Heat-Einspeicherung aus Überschussstrom mit zentralem Lastmanagement
- Großvolumige zentrale Wärmepumpen zur Nutzung von Niedertemperaturquellen
- Option für Großwärmespeicher für die saisonale Speicherung von Wärme
- Grundsätzliche Frage: wo kann die Versorgungstechnik aus logistischer Sicht am sinnvollsten untergebracht werden?

Contra Wärmenetz

- Hohe Investitions- und Betriebskosten eines Wärmenetzes konterkarieren den Kostenvorteil zentraler Technik
- Hohe Verluste des Wärmenetzes, insbesondere außerhalb der Heizzeit (besonders ungünstig bei stark reduzierter Heizzeit hocheffizienter Gebäuden von November bis März)
- Zusätzliche Investitionskosten für die Räume der Zentrale und der Verteilungen
- Hinweis Großwärmespeicher mit saisonaler Speicherung: keine Beispiele für wirtschaftliche Anlagen ohne Sonderförderung / keine Dokumentation über erfolgreichen Betrieb.

Daraus ergeben sich folgende Aspekte für das Pro und Contra eines elektrobasiereten Versorgungsverbunds für Quartiere:

Pro: elektrisches Verbundnetz & dezentrale Versorgung

- Im Allgemeinen sehr günstige Investitionskosten
- Kompatibel mit der zukünftigen erneuerbar-elektrischen Versorgung
- Kleinteilige kostengünstige Technik möglich
- Keine oder minimale Anlagenverluste
- Hohe Kompatibilität mit zukünftigen Lastmanagement-Systemen
- Synergien zu Haushaltsstrom (integrales Lastmanagement / Flatrate) und Mobilität (Speicherverbund / Lastmanagement) möglich
- Gebäudezentrale Lösungen für Heizen sehr kostengünstig möglich (alternativ inklusive Warmwasserbereitung mit Temperaturniveau 45 °C & Ultrafiltration oder in Verbindung mit separater Warmwasserbereitung dezentral in den Wohnungen)

Contra: Nachteile eines elektrischen Verbundnetzes mit dezentraler Versorgung

- Derzeit hohe Kosten für Wärmepumpen-Lösungen
- Derzeit hohe Kosten für Strom
- Technik innerhalb der Wohnungen von zahlreichen Wohnungsunternehmen nicht gewünscht (d. h.: die Technik innerhalb der Wohnungen muss wartungsarm oder besser wartungsfrei sein)
- Kleinteilige Lösungen im Sinn weißer Ware sind für Heizung kaum vorhanden, für Warmwasserbereitung erst bedingt akzeptiert
- Wichtig: Mieterstrom derzeit nur bedingt möglich aufgrund geltender Rahmenbedingungen.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens liegt der Schwerpunkt bei Wärmenetzen, weil die aktuellen Rahmenbedingungen den Stromnetzverbund erschweren. Näheres dazu im Kapitel zum Mieterstrom (4.6.2).

4.5.3 Primärenergiefaktoren – aktuell & zukünftig

Die derzeit gültigen Primärenergiefaktoren (PE-Faktoren) [Deutscher Bundestag 2016 / DIN V 18599-1 / GEMIS 2018] bilden die Energieversorgung in der aktuellen Form ab. Ausgehend von der Primärquelle zeigt der PE-Faktor auf, welche Energiemengen durch vorgelagerte Prozessketten bei der Rohstoffgewinnung, der Umwandlung und im Verteilsystem aufgewandt werden.

Für eine zukünftige erneuerbare Energieversorgung gelten allerdings völlig andere Rahmenbedingungen und Kennwerte. Es erfolgt eine Umstellung von brennstoffbasierter Versorgung auf elektrobasierter erneuerbare Energiebereitstellung (s. Kapitel 4.1.1). Um diesen Veränderungsprozess erfolgreich umsetzen zu können, benötigen wir für diese zukünftige Energieversorgung ein Regelwerk über erneuerbare Primärenergiefaktoren (PER). Günstig zu bewerten sind alle Prozesse, die einen hohen Anteil an Primärstrom aus Wind und PV direkt nutzen können. Problematisch verhalten sich demgegenüber diejenigen Prozesse, die zu ungünstigen Zeiten Energie benötigen. Das gilt vor allem für die Zeiten der Dunkelflaute im Winter. Der Sektor Heizen schneidet dabei besonders ungünstig ab. Ein relevanter Anteil der Heizenergie muss zwischengespeichert werden, um im Anforderungsfall bereitgestellt zu werden.

Die Kosten unserer zukünftigen Energieversorgung hängen wesentlich davon ab, inwieweit die Leistung des redundanten, zweiten Kraftwerksparks niedrig gehalten werden kann, den wir für die Versorgungssicherheit in Zeiten der Dunkelflaute benötigen. Wesentliche Stellschrauben dafür liegen in folgenden Aspekten:

1. Niedrige Leistungsanforderung in Zeiten der Dunkelflaute, d. h. hohe Netzverträglichkeit von Gebäuden und Quartieren
2. Nutzung von Gleichzeitigkeitsfaktoren, Ausgleichsmöglichkeiten und Synergien innerhalb von Quartieren
3. Lastmanagement und Tarifpolitik in Verbindung mit gezielter Wärmespeicherung in Gebäuden & Quartieren
4. Einbeziehen aller Sektoren in die Lastmanagement-Strategie: Wärme, Kälte, Strom & Mobilität
5. Speicherstrategien für den Verbund aus Quartieren, Kommunen und Regionen
6. Aktives Last- und Speichermanagement durch elektrische (z. B. Batterien) und chemische (z.B. Wasserstoff) Speicher & PtG
7. Verhältnis Speicherung zu Lastmanagement: ein leistungsstarkes nationales und EU-weites Leitungsnetz ist erforderlich, um ein ausgleichendes Lastmanagement für erneuerbare Energien in möglichst hohem Ausmaß ohne Zwischenspeicherung durchführen zu können
8. Quartierslösungen und regionale Energieversorgung mit wirtschaftlich austariertem Autarkiegrad ermöglichen nicht nur hohe Versorgungssicherheit, sondern reduzieren sehr deutlich den Aufwand für die übergeordneten Netze und den redundanten zweiten Kraftwerkspark.

Im Kapitel zum Lastmanagement (4.6.1) werden die Ableitungen aus diesen Anforderungen für die Planung von Quartierskonzepten dargestellt. Aus diesen Angaben und durch Simulation der Lastverläufe bei vollerneuerbarer Versorgung lassen sich Strukturen für zukünftige erneuerbare Primärenergie-Faktoren (PER-Faktoren) ableiten (Feist 2014 / Krick 2015 / GEMIS 2018). Ausgehend von einer qualitativen Aussage werden dazu Aussagen zur Quantifizierung dieser Faktoren sowie der praktischen Auswirkungen für die Planung getroffen.

Kann erneuerbarer Primärstrom direkt genutzt werden, wird er mit dem Primärenergiefaktor 1,0 bewertet. Muss jedoch eine Zwischenspeicherung erfolgen, so kann die Energiedienstleistung nur mit

Sekundärstrom erfolgen. Eine relevante Technik dazu wird die Elektrolyse mit anschließender Rückverstromung in GuD-Kraftwerken darstellen. Bei Wandlung von Strom per Elektrolyse in Wasserstoff wird ein Wirkungsgrad von gut 60 Prozent erreicht. Eine Metanisierung reduziert den Wert um ca. weitere 5 Prozent. Bei Rückverstromung beträgt der Wert für die gesamte Kette 34 bis 44 Prozent bei Wasserstoff als Zwischenprodukt und 30 bis 38 Prozent bei Methan. Wird daraus auf einfachem Weg ein Faktor für den Sekundärstrom ermittelt, ergibt sich als reziproker Wert ein Faktor von 2,3 bis 3,3. Der Faktor von Strom zu Gas beträgt 1,7 bis 1,8.

Methodisch erscheint es sinnvoll, unterschiedliche Arten der Stromnutzung mit einem jeweiligen PER-Faktor zu versehen. Handelt es sich um ganzjährige Nutzungsprozesse mit gleichem Bedarf, so kann davon ausgegangen werden, dass über lange Zeiteile eine direkte Nutzung von erneuerbarem Primärstrom möglich ist. Es hängt von den Anteilen der erforderlichen Sekundärstromnutzung (z. B. zu Dunkelflautezeiten) ab, wie der PER-Faktor ausfällt. Für Nutzungen wie Haushaltsstrom und Warmwasserbereitung werden sich Werte zwischen 1,2 und 1,3 einstellen. Deutlich schlechter fällt der Heizbereich aus mit einem PER-Wert von etwa 1,7, im ungünstigen Fall bis 2,2. Da synthetisches Gas mit einem Faktor von 1,7 behaftet ist, erscheint es nicht sinnvoll, Gas direkt zum Heizen zu verwenden. Deutlich günstiger liegt das Ergebnis für erneuerbaren Strommix, wenn eine Wärmepumpe zur Heizwärmebereitstellung genutzt wird. In dem Fall wird aus dem Sekundärstrom mit einer Arbeitszahl von 3,0 bis 4,5 Wärme bereitgestellt. Bezogen auf den ursprünglich eingesetzten erneuerbaren Primärstrom wird damit immerhin ein Wirkungsgrad von 1,7 bis 2,6 erzielt.

Die Primärenergiefaktoren symbolisieren zugleich sehr deutlich, in welche Richtung die Kosten der jeweiligen Energieträger und Segmente gehen könnten. Während heute Strom deutlich teurer ist als die Brennstoffe Gas und Heizöl, wird zukünftig direkt genutzter erneuerbarer Primärstrom aus rein technisch-physikalischer Sicht günstiger sein als synthetisches Gas, das auf dem oben beschriebenen komplexen Bereitstellungsprozess beruht. Erneuerbar bereitgestelltes Gas weist jedoch den Vorteil eines chemisch gebundenen Brennstoffs auf, der in Zeiten der Dunkelflaute zur Sicherung der Energieversorgung genutzt werden kann.

Tabelle 8 Aktuelle Primärenergiefaktoren und zukünftige erneuerbare PER-Faktoren

	Primärenergiefaktor	
	aktuell	erneuerbar
Haushaltsstrom	1,8	1,2 – 1,3
Hilfsstrom	1,8	1,2 – 1,3
Strom für WW	1,8	1,2 – 1,3
Strom für Heizen	1,8	1,7 – 2,2
Strom für Mobilität	1,8	1,4 – 1,6
Gaswendungen	1,1	1,6 – 1,8

Primärenergievergleich von Versorgungssystemen – 2020 und 2040

In Kapitel 4.6 werden Versorgungssysteme für Quartiere näher untersucht und dabei ein Vergleich der aktuellen fossilen Versorgung mit einer zukünftigen erneuerbaren Energiebereitstellung durchgeführt. Eine Zusammenfassung der Ergebnisse wird in den folgenden Diagrammen gezeigt. Zunächst geht es um die Primärenergiebilanz nach aktueller Bewertung. Die Versorgung auf Basis von Gas und Solarthermie erzielt einem Primärenergiebedarf von 124 kWh/(m²a). Kraft-Wärme-Kopplung liegt fast gleichauf mit 125

kWh/(m²a). Bei Einsatz von erneuerbarem Brennstoff läge der Wert bei 88 kWh/(m²a). Die Wärmepumpen-Lösungen liegen zwischen 93 und 103 kWh/(m²a). Eine deutliche Reduzierung wird durch den Einsatz von Photovoltaik erzielt mit resultierenden Werten von 38 und 26 kWh/(m²a).

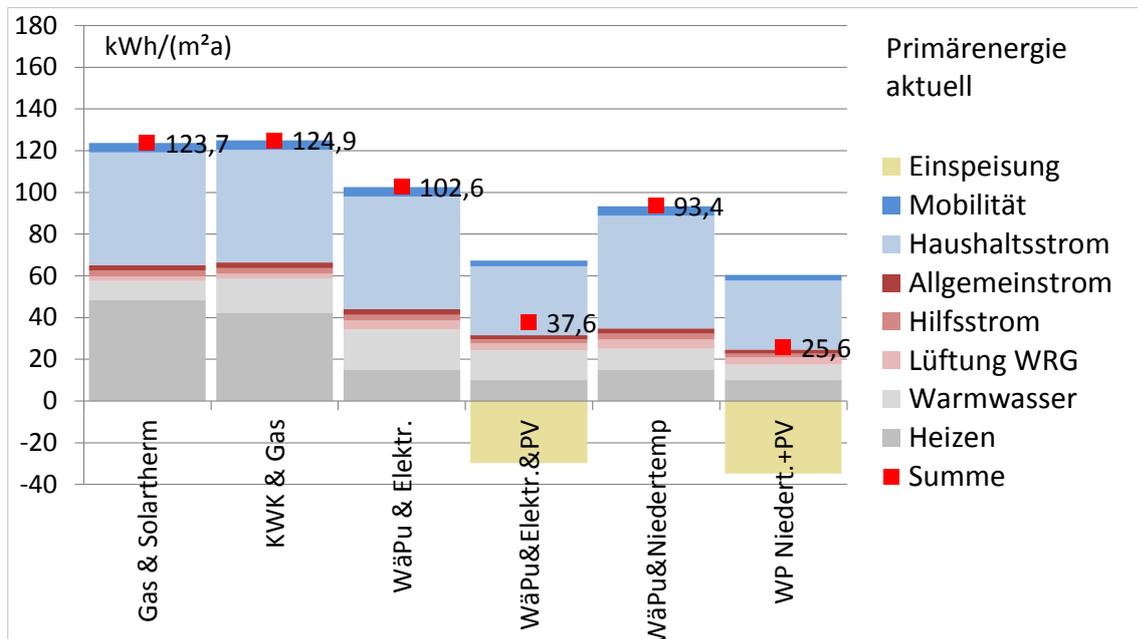


Abbildung 56 Primärenergiebewertung aktuell

Wärmepumpenlösungen schneiden günstiger ab als Gas-Solar und KWK. Deutlich besser liegen die Varianten mit Photovoltaik.

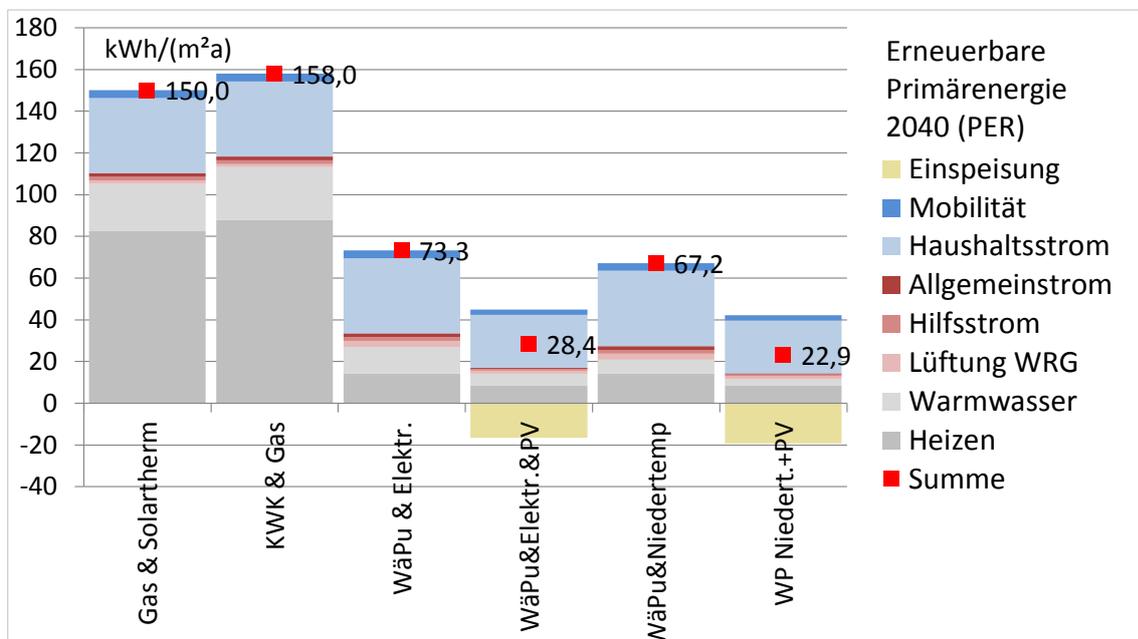


Abbildung 57 Bilanzierung der PER-Werte für ein vollständig erneuerbares System im Jahr 2040

Da in einem erneuerbaren System synthetisches Gas einen komplexen Weg durchläuft und erneuerbarer Strom günstig verfügbar ist, schneiden die strombasierten Systeme deutlich besser ab. Bei Einsatz von PV und Eigenstromnutzung verbessert sich Bilanz nochmals deutlich.

Unter den Prämissen einer vollständig erneuerbaren Versorgung, wie sie weiter oben beschrieben wird, schneiden die strombasierten Systeme deutlich günstiger ab als die brennstoffbasierten Gas- und KWK-Lösungen, da in einem erneuerbaren System synthetisches Gas einen ungünstigen PER-Wert aufweist, während erneuerbarer Strom günstig verfügbar ist. Wird Photovoltaik eingesetzt, verbessern sich die Primärenergiekennwerte nochmals deutlich.

4.5.4 Strom- und Gaspreise – aktuell und zukünftig

Marktentwicklungen werden vor allem durch die Entwicklung und Gestaltung von Preisen gelenkt. Die Frage ist unerlässlich: Wie werden sich in einem erneuerbaren System die Preise für Strom und Brennstoffe entwickeln. Kann ein freier Markt zugelassen werden oder müssen politische Rahmenbedingungen geschaffen werden? Diese Überlegungen warfen im abschließenden Workshop des Forschungsvorhabens kontroverse Fragen auf. Es wurde zu Recht darauf hingewiesen, dass der hier dargestellte Ausblick möglicherweise etwas zu weit in die Zukunft reicht und entsprechend spekulativ ist. Auf der anderen Seite wurde argumentiert, dass Forschungsvorhaben die Aufgabe haben, mögliche zukünftige Entwicklungen vorauszudenken.

Wie in Kapitel 4.1.1 beschrieben, erfordert die Energiewende eine Transformation von der brennstoff- zur vorrangig strombasierten Versorgung. Wenn diese Herausforderung gelingen soll, müssen dafür Leitplanken geschaffen werden, die diesen Prozess unterstützen. Die wesentliche Lenkungsgröße stellt dabei – wie oben beschrieben – der Energiepreis dar. Derzeit liegt der Strompreis pro kWh für Verbraucher vier- bis fünfmal höher als der Gaspreis. Im Strompreis von durchschnittlich knapp 0,30 €/kWh sind 19,3 Prozent für Erzeugung und Vertrieb enthalten sowie 25,6 Prozent für Netzentgelte, Messung und Abrechnung. Die restlichen 55,1 Prozent sind Stromsteuer (7,0 %), Konzessionsabgabe (5,7 %), KWK-Umlage (1,4 %), EEG-Umlage (23,6 %) und Umsatzsteuer (16 %) [BDEW 2017]. Die Abgaben liegen also bei etwa 0,16 €/kWh. Der korrespondierende Wert pro kWh Erdgas liegt bei 1,5 Eurocent. Es stellt sich die Frage, wie sich Strom- und Gaspreise in den nächsten Jahren entwickeln müssen, um den Prozess der Energiewende zu unterstützen.

Die folgenden Tabellen zeigen Überlegungen auf, welche Umschichtungen notwendig sein werden, um ein erneuerbares Versorgungssystem zu erzielen. Grundsätzlich geht es darum, Preise verursachergemäß zu gestalten, um marktwirtschaftliche Mechanismen für den Prozess zu aktivieren. So müssen fossile Energieträger verursachungsgemäß mit Kosten für die CO₂-Emissionen belastet werden. Die Forderungen nach einer CO₂-Abgabe werden von weiten Teilen des Marktes erhoben.

In der folgenden Aufstellung wird die primärenergetische Betrachtung aus dem vorausgehenden Kapitel aufgenommen. Sie übersetzt die Entwicklung von Primärenergiefaktoren für unterschiedliche Nutzungsfelder aus rein technisch-physikalischer Sicht in Kosten. Gaspreise in einem vollerneuerbaren System sind aus dieser Sichtweise höher als die Kosten für Strom.

Tabelle 9 Primärenergiefaktoren und Kosten für fossile und erneuerbare Versorgung
 Primärenergiefaktoren bilden den Aufwand für die Bereitstellung eines Energieträgers ab. Bei erneuerbarer Energieversorgung werden sich deshalb die Kosten aus rein technisch-physikalischer Sicht verändern. Strom für Heizen wäre rein marktwirtschaftlich teurer als Haushaltsstrom. Gas ist in dieser Logik aufgrund des Elektrolyseprozesses ebenfalls teurer als Primärstrom.

	Primärenergiefaktor		Kosten pro kWh	
	aktuell	erneuerbar	aktuell	erneuerbar
Haushaltsstrom	1,8	1,2 – 1,3	0,27 €	0,30 €
Hilfsstrom	1,8	1,2 – 1,3	0,27 €	0,30 €
Strom für WW	1,8	1,2 – 1,3	0,27 €	0,30 €
Strom für Heizen	1,8	1,7 – 2,2	0,27 €	0,35 €
Strom für Mobilität	1,8	1,4 – 1,6	0,27 €	0,32 €
Gasanwendungen	1,1	1,6 – 1,8	0,06 €	0,35 €

Wenn aktuell eine Belastung von 30 € pro Tonne CO₂-Emission auf den Gaspreis angerechnet würde, entspricht das 0,75 Cent/kWh. Eine schrittweise Steigerung innerhalb von fünf Jahren auf 120 €/Tonne ist im Sinn der gesetzten Ziele mindestens notwendig. Das entspricht einer Belastung, die in anderen europäischen Staaten bereits heute eingeführt ist. Damit würde die CO₂-Belastung auf den Gaspreis um weitere 2,25 Cent/kWh steigen [Umrechnung nach GEMIS 2018: Gas: 0,25 kg CO₂/kWh_{End}; daraus errechnet sich: 40 €/t entsprechen 1,00 Ct/kWh / 100 €/t entsprechen 2,5 Ct/kWh]. Diese Anpassung ist aus marktwirtschaftlicher Sicht unumgänglich. Wenn das Ziel der Klimaneutralität ernst gemeint ist, muss Gas im Zeitraum 2040 bis 2050 zunehmend vollständig erneuerbar bereitgestellt werden.

Die folgenden beiden Tabellen stellen auf dieser Basis die mögliche Gestaltung von Strom- und Gaspreis im Jahr 2040 modellhaft gegenüber. Es wäre vermessen, dies als realen Vorschlag aufzufassen. Es geht vielmehr darum, einen Denkanstoß für einen relevanten Aspekt der zukünftigen Energiewende zu geben. Da Entscheidungen über Infrastruktur- und Versorgungssysteme Festlegungen für eine lange Abschreibungszeit von 30 bis über 50 Jahre schaffen, ist es eine dringende Aufgabe der Politik, an dieser Stelle vorzudenken und sichere Rahmenbedingungen zu schaffen. Ansonsten ist vorhersehbar, dass im Jahr 2050 eine Vielzahl von Investitionsentscheidungen möglicherweise rückgängig gemacht werden müssen.

Tabelle 10 Strompreis aktuell (BDEW 2017) und im Jahr 2040 (Preisindex 2018)

Mögliche Kosten- und Abgabenstruktur für einen Strompreis in 2040 auf heutigem Niveau (preisbereinigt).

Komponente	Strompreis aktuell		Strompreis 2040
	Anteil in %	Anteil in Cent/kWh	Anteil in Cent/kWh
Stromsteuer & Sonstiges	7,0	2,05	6,0
Konzessionsabgabe	5,7	1,66	1,0
KWK – Umlage	1,4	0,41	0,0
EEG – Umlage	23,6	6,88	0,0
§ 19 Umlage	1,4	0,41	0,0
Erzeugung / Vertrieb	19,3	5,63	8,0
Netzentgelte, Messung, Abrechn.	25,6	7,48	6,0
Lastmanagement/Speicherung			4,0
Umsatzsteuer	16,0	4,66	5,0
Strompreis Cent/kWh		29,18	30,0

Grundlage: Strompreis 2017 von 29,16 Cent / kWh, Datenquelle: BDEW 2017

Tabelle 11 Gaspreis aktuell (BDEW 2017) und im Jahr 2040 (Preisindex 2018)

Die Symmetrie der Belastung zwischen Strom und Gas muss marktwirtschaftlich im Sinn der Energiewende vollzogen werden. Gegenüber den sehr niedrigen heutigen Kosten für Beschaffung und Vertrieb steigen die Kosten 2040 für die Gaserzeugung mittels PtG deutlich und liegen aus physikalisch-technischer Sicht über den Stromkosten. Die Gassteuer liegt bei diesem Modell niedriger als die Stromsteuer und könnte als zusätzliche Stellschraube für die Preisfindung genutzt werden.

Komponente	Gaspreis aktuell	Gaspreis 2025	Gaspreis 2040
	fossil	weitgehend fossil	erneuerbar
	ct/kWh	ct/kWh	ct/kWh
Beschaffung / Vertrieb	2,67 / 2,49	5,00	
Netzentgelte & Speicherung	1,53 / 1,25	2,00	4,00
Steuern, Abgaben, Umlagen	1,49 / 1,40		
CO2-Abgabe (ant. EEG-Ablöse)		3,00	
Gas Erzeugung (PtG) / Vertrieb			15,00
Gassteuer & Sonstiges			5,00
Netzentgelte, Messung, Abrechn.			6,00
Lastmanagement/Speicherung			3,00
Umsatzsteuer		2,00	6,00
Gaspreis Cent/kWh	5,69 / 5,14*	12,00	35,00

* Durchschnittlicher Gaspreis Einfamilienhäuser / Mehrfamilienhäuser (80.000 kWh/a)

Grundlage: Gaspreis Anfang 2018 – Quelle: BDEW-Pressegrafik-Gaspreis-fuer-Haushalte-2018

<https://www.bdew.de/presse/pressemappen/wie-setzt-sich-der-gaspreis-fuer-haushalte-zusammen/>

Die Gestehungskosten für Power-to-Gas-Verfahren (PtG) liegen derzeit bei 25 bis weit über 30 Cent/kWh. In der obigen Tabelle zu den Strompreisen wird davon ausgegangen, dass Kosten für Erzeugung und Vertrieb von 15 Cent/kWh bis 2040 erreicht werden. Dort wird auch skizziert, wie eine Gleichbehandlung von Gas und Strom hinsichtlich Abgaben aussehen könnte. In jedem Fall wird Gas in einem vollständig erneuerbaren System nach derzeitigem Technikstand teurer sein als Strom, wenn die Energiewende marktwirtschaftlich abgebildet wird. Natürlich gibt es darüber hinaus einen politischen Gestaltungsspielraum.

So weist die dena-Gebäudestudie zur Klima- und Ressourcenschutzpolitik [dena 2017] für Strom aktuelle Großhandelspreise von 3,6 Eurocent pro Kilowattstunde aus und für Gas 1,8 Eurocent. Bei prozentual gleicher Belastung wäre der Strompreis also nur doppelt so teuer wie Gas. Das dena-Gutachten geht für das Jahr 2050 von 9,8 bis 12,6 Eurocent/kWh für Strom und 3,1 bis 8,5 Eurocent/kWh Gas aus. Auf dieser Grundlage wird für das Jahr 2050 zunächst ein Szenario dargestellt, das einen hohen Anteil erneuerbarer Energien aus Wind und PV mit hochwertiger Entwicklung des Gebäudebestands verbindet (EL80 / EL95). Dem wird ein Zielszenario (TM80) mit einem jährlichen Gesamtbedarf von 396 TWh gegenübergestellt, das einen Versorgungsanteil durch Gas- und Öl inkl. synthetischen Anteilen von 185 TWh enthält. Das entspricht 46,7 Prozent, die laut Angabe des Gutachtens „zu großen Teilen aus außereuropäischen Ländern (Afrika, Asien) importiert werden“ [dena 2017]. Dieses wirtschaftlich favorisierte Szenario steht in seinem Ansatz kontrovers zu den meisten sonstigen Untersuchungen, die davon ausgehen, die Energieversorgung der Zukunft weitestgehend mit eigenen Ressourcen zu realisieren. Es ist evident, dass die weitgehende Aufrechterhaltung vorhandener fossiler Strukturen zu günstigeren wirtschaftlichen Rahmenbedingungen führt. Die Diskussion muss genau an diesem Punkt ansetzen: wie günstig und sicher kann der Import synthetischen Gases sein? Wie stellt sich die Klimarelevanz dieser Technologie in der Realität dar? Wie kann Wasserstoff z. B. aus Ländern des Nahen Ostens kostengünstig methanisiert werden, wenn dort als erneuerbare Kohlenstoff-Ressource nur CO₂ aus der Luft bereitsteht? Und wie effizient werden dezentrale heimische Elektrolyse-Systeme im Vergleich zu importiertem Synthesegas sein? Kontrovers zur dena-Studie fällt das Ergebnis der aktuellen Agora-Studie mit dem Titel „Wert der

Effizienz im Gebäudesektor in Zeiten der Sektorenkopplung“ [Agora 2018] aus. Der kostengünstigste und strategisch sinnvollste Weg zu einer klimafreundlichen Wärmeversorgung wird durch höhere Effizienz im Gebäudebereich erreicht, ist die zentrale Botschaft des Gutachtens, das vom Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg, dem Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik sowie dem Beratungsunternehmen Consentec im Auftrag von Agora Energiewende und der European Climate Foundation erstellt und von Bundesministerien und einem hochkarätigen Begleitkreis begleitet wurde. Der flächendeckende Einsatz von synthetischen Brennstoffen als Alternative zu mehr Effizienz würde die deutschen Haushalte der Studie zufolge bis zu 8,2 Milliarden Euro im Jahr mehr kosten. In der Untersuchung wurden fünf Szenarien untersucht: Das „Effizienz²-Szenario“ als Effizienzstrategie des Bundeswirtschaftsministeriums aus dem Jahr 2015, drei „Effizienz-plus-X“-Szenarien, in denen ein realistisch-ambitioniertes Energieeffizienzniveau mit mehr erneuerbaren Energien, mehr Wärmepumpen beziehungsweise mehr synthetischen Brennstoffen kombiniert wird, und als Fünftes ein „Niedrig-Effizienz-Szenario“, in dem die Klimaschutzdefizite mit sehr hohen Anteilen synthetischer Brennstoffe kompensiert werden. Die Ergebnisse für die Kosten der ersten vier Szenarien liegen vergleichbar, während das fünfte Szenario mit geringer Effizienz und viel synthetischen Brennstoffen deutlich höhere volkswirtschaftlichen Kosten mit sich bringt. „Effizienz ist der Schlüssel, mit dem Deutschland seine verbindlichen Klimaschutzziele kostengünstig erreichen kann. Es bringt nichts, auf einzelne klimafreundliche Wärmetechnologien zu schielen, denn für ein Entweder-Oder ist es nach den Jahren des Zauderns im Gebäudeklimaschutz zu spät. Die Wärmewende gelingt nur, wenn alle Technologien flächendeckend zum Einsatz kommen und zwar in effizienten Gebäuden. Dafür ist eine ambitionierte Effizienzpolitik die Voraussetzung“, ist das Resümee zur Studie seitens Patrick Graichen, Direktor von Agora Energiewende [Agora 2018].

4.5.5 Grundlagen für zukunftsfähige Quartiersversorgung

Das zentrale Ergebnis des Forschungsvorhabens liegt für die Quartiersversorgung in der übereinstimmenden Einschätzung, dass die Synergieanforderungen zwischen Wärme, Strom und Mobilität neue Systemlösungen verlangen. Wir sind nah dran an den Techniken, die einen hohen Autarkiegrad für solch einen Versorgungsverbund innerhalb von Quartieren ermöglichen. Es geht darum die erneuerbaren Energien möglichst effizient zu nutzen und sie so zu speichern und verfügbar zu machen, dass die täglichen Lastgänge weitgehend gedeckt werden können und zudem ein hoher jahreszeitlicher Autarkiegrad erreicht wird, der auch für längere Dunkelflauten im Winter eine hohe Deckung ermöglicht. Solche integralen Lösungen umfassen folgende Anforderungen. Dabei können die Techniken sowohl in einer Zentrale zusammengefasst oder auch als virtuelle Versorgungseinheit gesehen werden:

- Grundlage 1: Best Practice Techniken im Bereich Effizienz & Energieeinsparung mit der Folge niedriger Lastspitzen zu Zeiten der Dunkelflaute
- Grundlage 2: Optimierter erneuerbarer Ertrag innerhalb der Siedlungsstrukturen mit hohem Anteil an Eigenversorgung und Eigenstromnutzung
- Smart Grid Optimierung im Quartier mit hoher Netzverträglichkeit zur regionalen Stromversorgung
- Energiespeicherung elektrisch: vor allem Batterien
- Energiespeicherung chemisch: Elektrolyse von erneuerbarem Überschuss-Strom und günstig verfügbarem börsenbasiertem Strom zu Wasserstoff (und Sauerstoff)
- Energiespeicherung thermisch: dezentrale Speicher & in der Gebäudemasse
- optional bei hoher Dichte: zentrale Speicher- und Verteillösungen mit einem verlustarmen Wärmenetz (Nutzung von Abwärme aus der Elektrolyse und KWK/GuD-Technik)
- Rückverstromung (KWK – oder vorrangig GuD-Technik)
- Lademanagement und Schnell-Ladestation für E-Mobilität (unter Nutzung der Batterie-Kapazität)

- Wasserstoff-Tankstelle (& Sauerstoff-Management aus Elektrolyse)
- Mobilitätsmanagement – Last Mile Logistik, Car- & Ridesharing
- Schaffen von Organisationsstrukturen und Geschäftsmodellen für diese Aufgaben.

Als Aufgabenstellung aus dem aktuellen Forschungsvorhaben lassen sich diese Anforderungen für weiteren Forschungsbedarf ableiten. Zugleich erscheint es aber dringend notwendig, entsprechende Versorgungslösungen möglichst zeitnah praktisch umzusetzen.

4.5.6 Sozialverträglichkeit der neuen Versorgungsstrukturen

Neue Entwicklungen können Angst erzeugen und Vorbehalte induzieren. Deshalb ist es wichtig, von vorneherein die sozialen Rahmenbedingungen so zu gestalten, dass die Bewohner der Quartiere zu den Gewinnern der Energiewende zählen. Verantwortliche Energiepolitik verlangt vorausschauende Planungssicherheit, sodass Hausbesitzer in der Lage sind, die richtigen Langfristentscheidungen zu treffen. Die Energieversorger und Akteure tragen eine bedeutsame Verantwortung bei der Gestaltung der Energiewende gemeinsam mit den Entscheidern in der Politik. Der Transformationsprozess muss äußerst sensibel als gesamtgesellschaftliche Aufgabe gesehen werden.

Modelllösungen der Forschungspartner zeigen, dass eine Win-win-Situation absehbar ist. Sie erfordern in der Anfangszeit Mut zu unkonventionellen Lösungen und möglicherweise die Übernahme von Risiken. Mieterstrommodelle und Flatrate-Lösungen können so konfiguriert werden, dass Mieter eine verlässliche Entwicklung ihrer Mietverhältnisse, Kostensicherheit und hohen Komfort gleichermaßen erhalten können. Vor allem ermöglichen erneuerbare Versorgungskonzepte eine sichere Langzeitprognose über kostengünstige Entwicklung der Nebenkosten und mithin der gesamten Wohnkosten.

Belastungen von Haushalten, z. B. durch eine erhöhte CO₂-Abgabe, müssen so gestaltet werden, dass von den daraus generierten staatlichen Einnahmen ein angemessener Teil auf möglichst direktem Weg an Haushalte zurückfließt. Die Höhe muss so gestaltet sein, dass für Haushalte mit geringem Einkommen unter dem Strich keine Belastung entsteht.

4.6 Kostenvergleich von Systemen zur Quartiersversorgung – 2020 versus 2040

In diesem Kapitel werden Versorgungssysteme für Quartiere hinsichtlich der zukünftigen Kostenentwicklung untersucht. Die Betriebskosten für Heizen, Warmwasserbereitung, Haushaltsstrom und E-Mobilität werden miteinander verglichen und in den folgenden beiden Diagrammen die Ergebnisse zusammengestellt. Die Annahmen zur Methodik befinden sich im folgenden Kapitel 4.6.1 und die Berechnungen in den darauf folgenden Kapiteln.

Die Versorgungsvariante mit Gas & Solarthermie stellen sich aktuell etwas günstiger dar als Wärmepumpenvarianten. Einen deutlichen Sprung nach unten machen die Betriebskosten allerdings, wenn bei Wärmepumpenlösungen Photovoltaik und Eigenstromnutzung dazu kommen. Die Ergebnisse liegen für die gewählten Beispiele bei 4,00 bzw. 3,00 € pro m² Wohnfläche im Jahr. Diese Größenordnungen sind bestens vereinbar mit Flatrate-Lösungen. Dadurch können Kosten für das Abrechnungsprozedere eingespart und die Wohnkosten relevant reduziert werden.

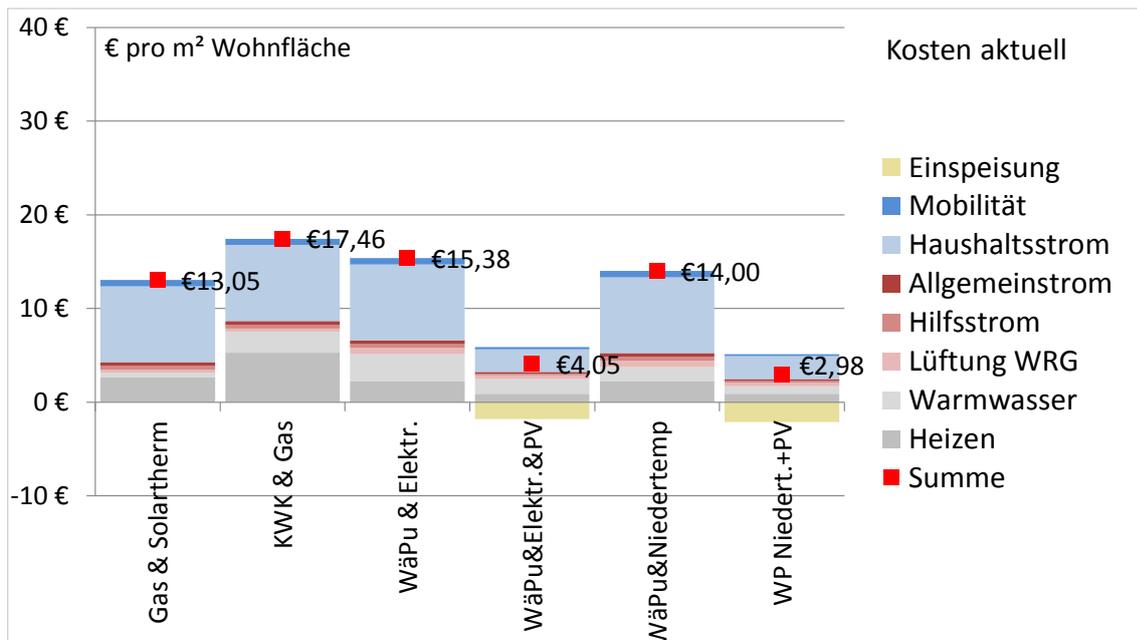


Abbildung 58 Quartiersversorgung: Kostenvergleich von Versorgungsvarianten

Beim Kostenvergleich nach aktuellen Werten schneidet die Versorgungsvariante mit Gas & Solarthermie etwas günstiger als die Wärmepumpenvarianten. Deutlich günstiger liegen die Varianten mit Photovoltaik und Eigenstromnutzung.

In einem vollständig erneuerbaren Versorgungssystem ändern sich die Rahmenbedingungen grundlegend. Die Betriebskosten für brennstoffbasierte Versorgungslösungen steigen deutlich, während sie für die elektro-basierten Wärmepumpenvarianten weitgehend stabil bleiben. Auch in diesem Szenario liegen die Varianten mit Photovoltaik mit Abstand am günstigsten.

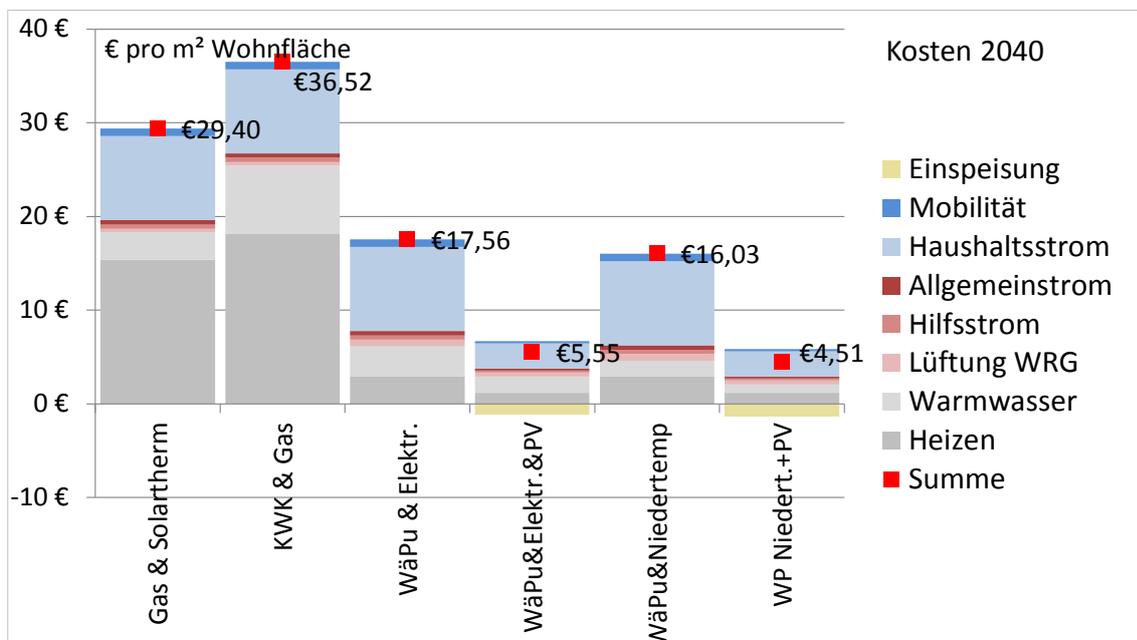


Abbildung 59 Kostenvergleich bei vollständig erneuerbarer Versorgung

Bei erneuerbarer Versorgung zeigt sich z. B. im Jahr 2040 ein deutlichen Vorteil für die Wärmepumpen-Systeme. PV verbessert die Situation nochmals deutlich.

Auf Basis der Überlegungen in den vorausgegangenen Kapiteln werden Beispiele für Versorgungskonzepte von Quartieren in diesem Kapitel im Detail betrachtet. Ausgehend von brennstoffbasierten Anlagen wie Gas-Brennwerttechnik in Verbindung mit Solarthermie oder Kraft-Wärme-Kopplung mit Gas-Spitzenkessel werden zum Vergleich strombasierte Techniken gegenüber gestellt. Ergänzend wird dabei jeweils eine Variante mit PV-Nutzung berechnet. Folgende Grundlagen wurden für die Berechnung gewählt:

Beispiel-Quartier: Das Quartier besteht aus zehn Gebäuden mit jeweils 24 Wohneinheiten. Im Mittel haben die Wohnungen eine Fläche von 65 m^2 . Die insgesamt 240 Wohnungen weisen eine Gesamtwohnfläche von 15.600 m^2 auf. Beim Zuschnitt des Beispiels wurden die Annahmen so getroffen, dass bei größeren Gebieten die spezifischen Kennwerte für die Ergebnisse vergleichbar sind.

Energiebedarf Heizen & WW: Der Heizwärmebedarf beträgt für die ersten beiden Beispiele $45 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Das entspricht dem Standard KfW EH 55. Bei den Wärmepumpen-basierten Varianten wurden zusätzlich Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung angenommen, sodass ein Heizwärmebedarf von $25 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ gegeben ist. Die Nutzwärme für Warmwasser beträgt $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Allerdings differieren die Anlagenverluste in Abhängigkeit vom System und den Betriebstemperaturen deutlich.

Strombedarf: Haushaltsstrom wird mit $30 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ angenommen. Für Hilfsstrom und Allgemeinstrom jeweils zusätzlich $1,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Der Strombedarf für die Lüftung beträgt darüber hinaus $1,2 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ für die ersten beiden Beispiele des KfW EH 55 mit Abluftsystem. Die Varianten mit Wärmerückgewinnung liegen bei $2,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$.

Mobilität: Es wird für das Beispiel angenommen, dass 25 % der Haushalte ein E-Mobil besitzen und innerhalb der Wohnanlage im Mittel für 5.000 km Strom laden. Für Reisen und berufliche Fahrten wird davon ausgegangen, dass extern geladen wird, z. B. an öffentlichen Ladestellen und an den Arbeitsplätzen. Pro Haushalt mit E-Mobil ist ein Bedarf von 650 kWh/a gegeben, das sind pro Quadratmeter Wohnfläche $10 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Gemittelt auf alle Haushalte liegt der Bedarf durch den nur 25 prozentigen E-Mobilitäts-Anteil bei $2,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Eine theoretische Lastspitze für 60 PKW läge bei 1.320 kW , wenn pro Ladesäule 22 kW Leistung bereitstünden und alle Fahrzeuge gleichzeitig geladen werden. Im Mittel liegt die Leistung allerdings bei dem Beispiel nur bei $4,5 \text{ kW}$. Wenn hundert Prozent der Haushalte ein E-Mobil besäßen, liegt der Mittelwert über das Jahr bei 18 kW .

Photovoltaik: Es wird von einer Viergeschossigkeit ausgegangen, wodurch sich bei Flachdächern für das Beispielquartier eine Dachfläche von 4.875 m^2 ergibt. Bei einer PV-Nutzbarkeit von 80 Prozent und einer spezifischen Leistung von $180 \text{ W}_p/\text{m}^2$ sowie einem niedrigen spezifischen Ertrag von $850 \text{ kWh}/\text{kW}_p$ wird ein Ertrag von 596.700 kWh/a gewonnen. Das sind bezogen auf die Wohnfläche $38 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$.

Endenergie und Primärenergie: jeweils im linken Teil der Diagramme werden die Beträge für Endenergie und Primärenergie gegenüber gestellt. PE 2020 beschreibt die fossile Primärenergie nach aktueller Bewertung. PER 2040 beschreibt die erneuerbare Primärenergie, wie sie in Kapitel 4.5.3 beschrieben wird.

Betriebs-, Wartungs- und Investitionskosten: Es werden nur die Betriebskosten betrachtet. Investitions- und Wartungskosten finden bewusst keine Berücksichtigung, um möglichst direkte Aussagen zu den unterschiedlichen Versorgungssystemen zu erhalten. Die Gesamtbetrachtung mit der Methodik des Vollständigen Finanzplans wird in Kapitel 2.4.5 beschrieben.

4.6.1 Gas und Solarthermie

Als erste Variante wird eine klassische Versorgungsvariante dargestellt, bei der Gas-Brennwerttechnik solarthermisch unterstützt wird. Der Anteil der solaren Warmwasserbereitung beträgt 60 Prozent, fürs Heizen fünfzehn Prozent. Für die Lüftung kommen Abluftanlagen zum Einsatz.

Die Heizung ist in einer Zentrale untergebracht mit einem Verteilnetz, das für den Bereich Heizen mit einem Anlagenaufwand von 115 Prozent arbeitet, für die Warmwasserbereitung mit 140 Prozent. Bei vielen Netzen sind besonders im WW-Bereich deutlich schlechtere Kennwerte gegeben.

Im linken Diagramm unten wird einerseits der spezifische Wert für den Endenergiebedarf ausgewiesen. Im Vergleich dazu die primärenergetische Betrachtung, die für die aktuelle Situation einen Kennwert von 124 kWh/(m²a) ergibt. Unter den Maßgaben erneuerbarer Energieversorgung ändert erfolgt eine Änderung auf einen PER-Wert von 150 kWh/(m²a) erneuerbarer Energie. Bei aktuellen Rahmenbedingungen betragen die jährliche Kosten für Heizen, Warmwasser, Strom und Mobilität gut 13 € pro m² Wohnfläche. Unter den Rahmenbedingungen für das Jahr 2040 steigen die Kosten auf knapp 30 €/m².

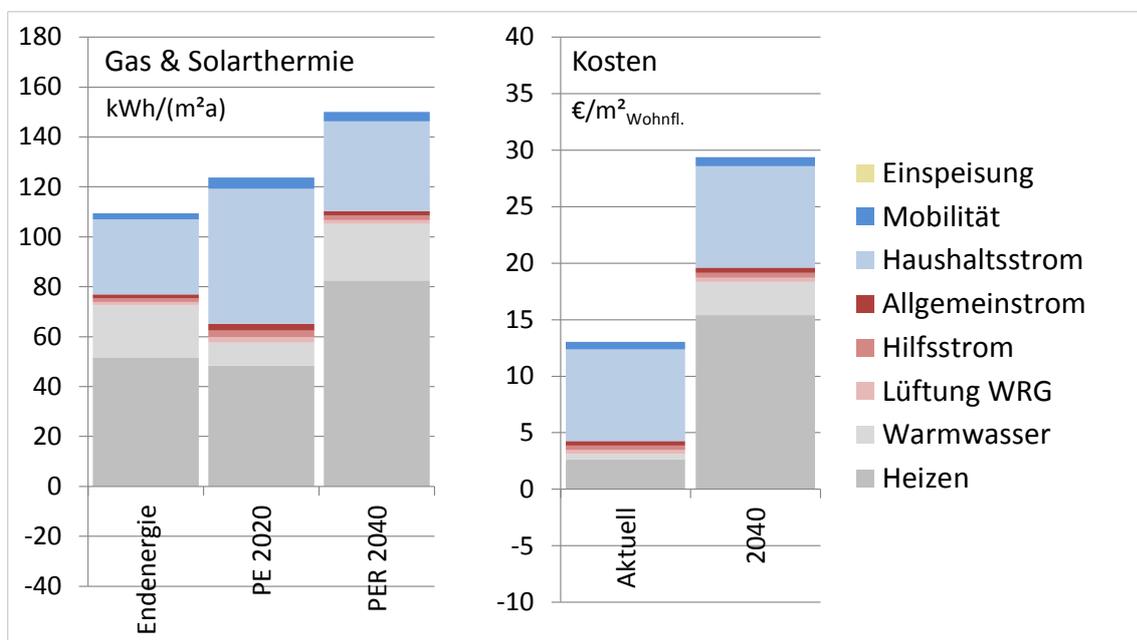


Abbildung 60 Quartiersversorgung mit Gas und Solarthermie im Standard KfW EH 55

Vergleich von Endenergie, Primärenergie nach aktuellen Werten und Primärenergie (PER) bei vollständig erneuerbarer Versorgung. Auf der rechten Seite Vergleich der Kosten heute und zukünftig.

4.6.2 Kraft-Wärme-Kopplung mit Gas-Spitzenkessel

Die zweite Variante besteht aus einer gasbetriebenen Kraft Wärme Kopplung (KWK) in Verbindung mit einem Gas-Brennwert-Spitzenkessel. Die KWK erreicht für den Bereich Heizen 70 Prozent der Arbeit, für die Warmwasserbereitung 80 Prozent. Die Lüftung wird mit Abluftanlagen bewerkstelligt.

KWK-Anlage und Spitzenkessel sind in einer Heizzentrale untergebracht. Das Verteilnetz arbeitet wie bei der Gas-Variante für den Bereich Heizen mit einem Anlagenaufwand von 115 Prozent, für die Warmwasserbereitung mit 140 Prozent.

Die Primärenergiekennwerte betragen aktuell 125 kWh/(m²a) und im Jahr 2040 belaufen sie sich auf 158 kWh/(m²a). Die aktuellen jährliche Kosten für Heizen, Warmwasser, Strom und Mobilität liegen bei etwa 17,50 € pro m² Wohnfläche. Bei 2040-er Rahmenbedingungen steigen die Kosten auf etwa 36,50 €/m².

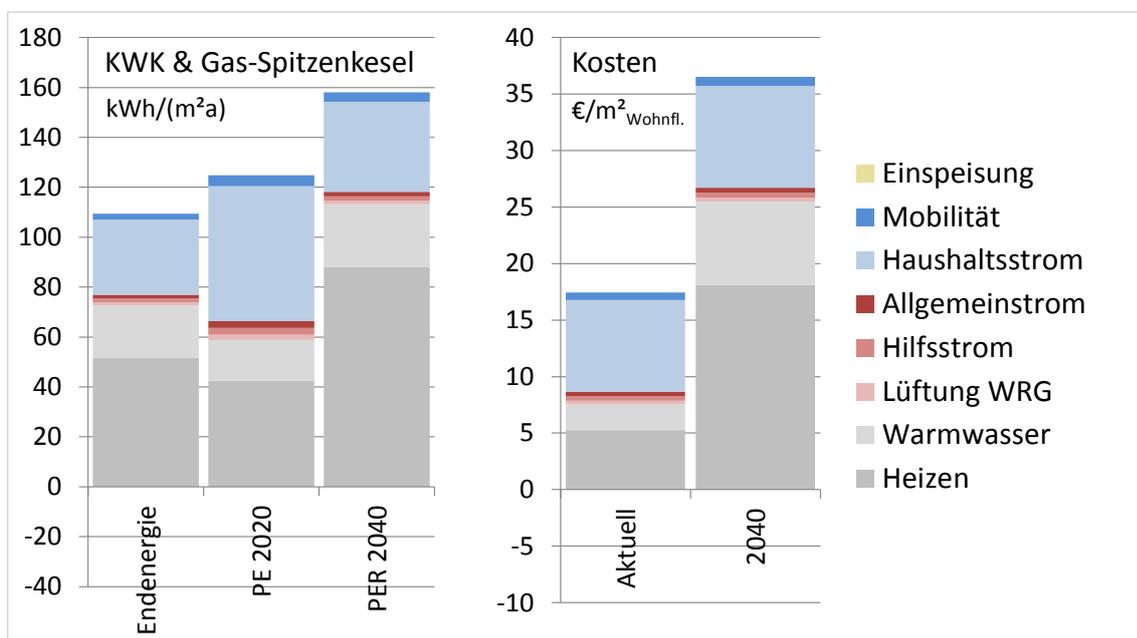


Abbildung 61 Quartiersversorgung KWK und Gas-BW-Spitzenkessel im Standard KfW EH 55
 Energetischer Vergleich und Gegenüberstellung der Kosten heute und zukünftig. Aktuell ist die Lösung primärenergetisch günstiger, kostenmäßig ungünstiger als Gas & Solarthermie.

4.6.3 Heizen Wärmepumpe – WW Direktelektrisch

Als erste elektrisch basierte Variante wird eine Versorgung des Quartiers mit gebäudezentralen Wärmepumpen für den Heizbetrieb gewählt. Die Verteilung verläuft jeweils auf kürzestem Weg mit optimierter Grundrissgestaltung und daraus resultierenden kurzen Steigleitungen. Der Anlagenaufwand für das Verteilsystem beträgt 1,08. Der Arbeitszahl für die Wärmepumpen wird mit einem eher konservativen Wert von 3,2 in Ansatz gebracht. Die Warmwasserbereitung erfolgt direktelektrisch mit Durchlauferhitzern. Ergänzend wird Duschwärmerückgewinnung mit 30 Prozent Einsparung angesetzt. Die Lüftung wird als Zu- Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung betrieben.

Die Primärenergiekennwerte betragen aktuell 57 kWh/(m²a) und im Jahr 2040 belaufen sie sich auf 73 kWh/(m²a). Die jährliche Kosten für Heizen, Warmwasser, Strom und Mobilität betragen für die aktuelle Situation 15,40 € pro m² Wohnfläche. Für die Rahmenbedingungen im Jahr 2040 steigen die Kosten auf 17,60 €/m².

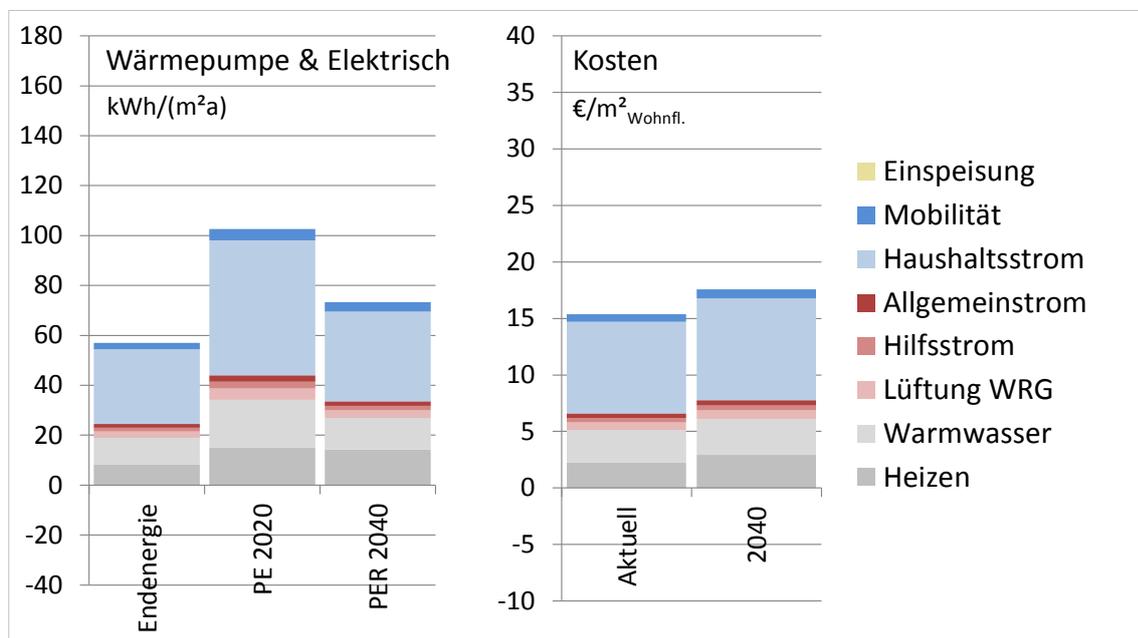


Abbildung 62 Wärmepumpe für Heizen, direktelektrische Warmwasserbereitung (KfW EH 40)
Primärenergetisch wiegen WW-Bereitung und Haushaltstrom am schwersten. Die Kosten sind günstiger als bei den vorhergehenden Varianten, besonders bei langfristiger Betrachtung.

4.6.4 Heizen Wärmepumpe – WW Direktelektrisch – PV

Wird zur vorherigen Variante zusätzlich eine PV-Anlage installiert, die bei Viergeschossigkeit zu einem Ertrag von 38 kWh pro m² Wohnfläche führt, so verbessert sich die wirtschaftliche Situation für den Betrieb deutlich.

Die Primärenergiekennwerte betragen aktuell 38 kWh/(m²a) und im Jahr 2040 liegen sie bei 28 kWh/(m²a). Die jährliche Energiekosten für Heizen, Warmwasser, Strom und Mobilität belaufen sich bei aktuellen Rahmenbedingungen auf 4,00 € pro m² Wohnfläche. Bei den prognostizierten Rahmenbedingungen im Jahr 2040 steigen die Kosten geringfügig auf 5,50 €/m².

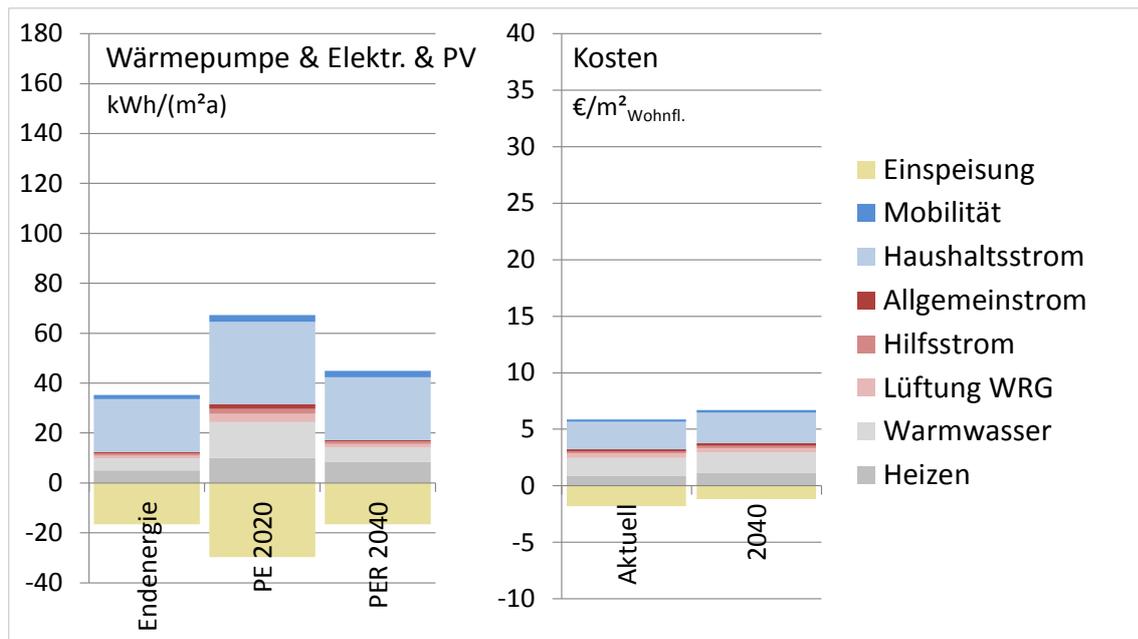


Abbildung 63 Heizen mit Wärmepumpe, WW direktelektrisch und PV (KfW EH 40):

Photovoltaik mit Eigenstromnutzung verbessert die Kennwerte deutlich und ermöglicht langfristig eine hohe Wirtschaftlichkeit.

4.6.5 Heizen und WW mit gebäudezentraler Wärmepumpe

Als Alternative zu den vorhergehenden Varianten wird ein System mit gebäudezentralen Wärmepumpen für Heizen und Warmwasserbereitung dargestellt. Das Verteilnetz wird einerseits planerisch optimiert, um minimierte Längen zu erhalten. Außerdem wird mittels Ultrafiltration (s. Kapitel 4.3.1) eine hygienische Situation geschaffen, durch welche die Systemtemperatur auf bis zu 45 °C gesenkt werden kann. Die Lüftung wird als Zu- Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung betrieben.

Aktuell betragen die Primärenergiekennwerte 93 kWh/(m²a) und im Jahr 2040 belaufen sie sich die PER-Werte auf 67 kWh/(m²a). Die jährliche Kosten für Heizen, Warmwasser, Strom und Mobilität betragen für die aktuelle Situation 14 € pro m² Wohnfläche. Für die Rahmenbedingungen im Jahr 2040 steigen die Kosten geringfügig auf 16 €/m².

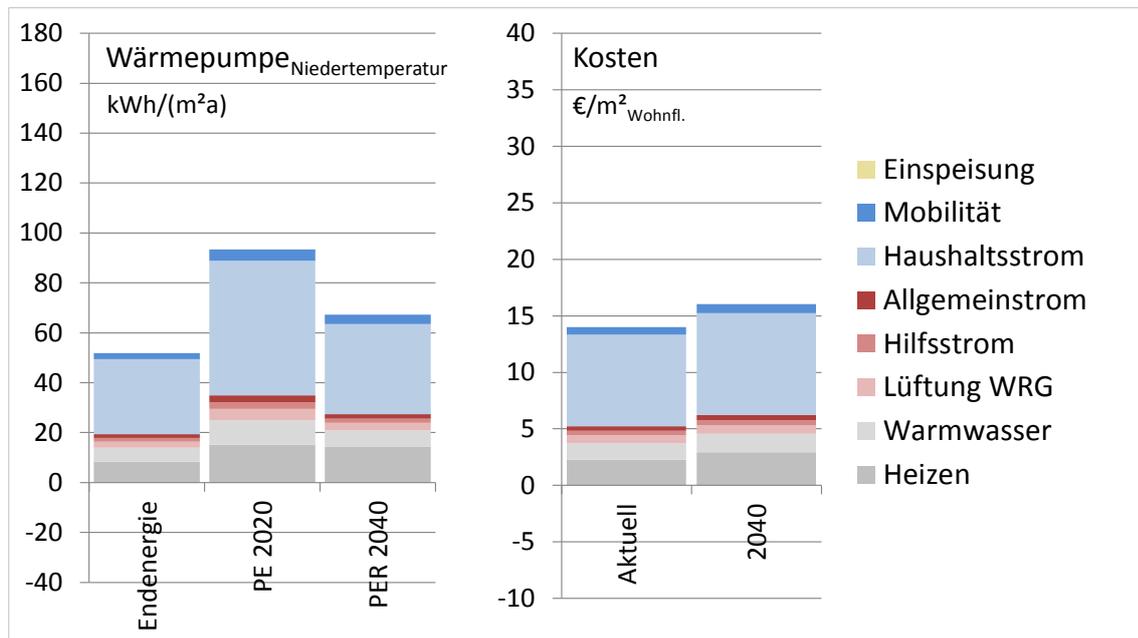


Abbildung 64 Gebäudezentrale Wärmepumpe für Heizen und WW (Standard KfW EH 40)

Die Kennwerte sind vergleichbar zur vorhergehenden Variante mit direktelektrischer Warmwasserbereitung, werden bei optimierten Lösungen mit niedrigen Systemtemperaturen und geringen Anlagenverlusten günstiger.

4.6.6 Heizen und WW mit gebäudezentraler Wärmepumpe & PV

Zusätzlich zur vorhergehenden Systemlösung mit gebäudezentralen Wärmepumpen und einem Verteilnetz mit niedriger Systemtemperatur wird eine Photovoltaik-Anlage installiert. Wie bei der vorletzten Variante ergibt sich bei Viergeschossigkeit und 80-prozentiger Flachdach-Belegung mit PV ein Stromertrag von 38 kWh pro m² Wohnfläche.

Die Primärenergiebetrachtung weist aktuell 26 kWh/(m²a) auf und im Jahr 2040 verändert sich der spezifische Wert auf 23 kWh/(m²a). Die Jahreskosten für Heizung, Warmwasserbereitung, Strom und Mobilität liegen für die jetzigen Rahmenbedingungen bei 3,00 € pro m² Wohnfläche. Bei den prognostizierten Rahmenbedingungen im Jahr 2040 steigen die Kosten auf 4,50 €/m².

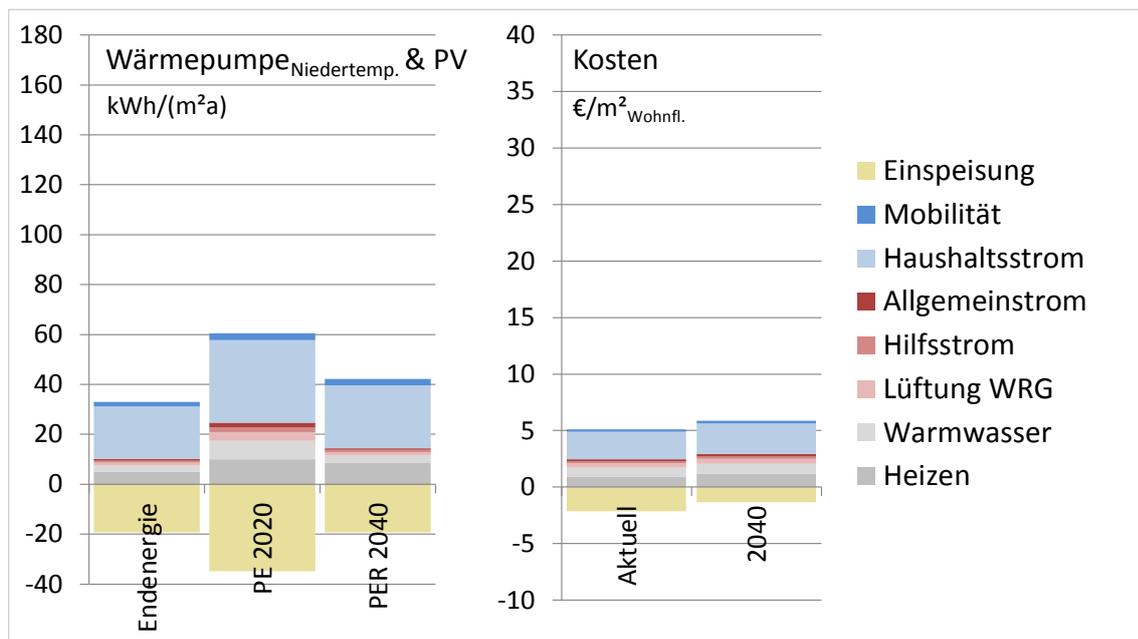


Abbildung 65 Gebäudezentrale Wärmepumpen in Verbindung mit PV (KfW EH 40)

Die Langfristwerte für die erneuerbare Primärenergie und die Kosten liegen im Vergleich zu den anderen Versorgungssystemen sehr günstig, sodass langfristig die wirtschaftlichste Lösung mit dieser Variante erreicht wird.

4.7 Lastmanagement

Die Entwicklung hin zu einer vollständig erneuerbaren Versorgung erfordert sukzessiv erhöhte Anforderungen an Lastmanagement und Speicherung. Je höher der Anteil regenerativer Energien liegt, desto anfälliger ist das Energiesystem für die Angebotsschwankungen, die insbesondere Windenergie und Photovoltaik als zentrale Säulen zukünftiger Versorgung mit sich bringen. An dieser Stelle kann keine umfassende Betrachtung dieser extrem komplexen Thematik erfolgen. Es werden jedoch Hinweise zusammengefasst, die sich im Laufe des Forschungsvorhabens als relevante Fragestellungen gezeigt haben.

4.7.1 Lastmanagement in Gebäuden

Zunächst werden Optionen für Lastmanagement in Einzelgebäuden beschrieben. Gebäude und einzelne Wohnungen stellen die Grundlage für Lasteinflussgrößen auf Quartiersebene dar. Es gibt ein nicht zu unterschätzendes Potenzial von Regelungsmöglichkeiten. Das gilt insbesondere, wenn die Bereiche des Heizens und der Warmwasserbereitung elektrobasiert, d. h. vor allem auf Basis von Wärmepumpen arbeiten. Folgende Aspekte können dabei von Bedeutung sein:

Wärmeschutz

Grundlage für viele Möglichkeiten von Lastmanagement ist eine minimierte Leistungsanforderung der Gebäude zu Zeiten der Dunkelflaute. Insbesondere in den Wintermonaten führt eine hohe Spitzenlast einer großen Anzahl von Einzelgebäuden zu einer hohen Leistung für den redundanten zweiten Kraftwerkspark, den wir zukünftig benötigen. Je höher die erforderliche vorzuhaltende Leistung sein wird, desto teurer gestaltet sich bundesweit das Lastmanagement mit der Folge deutlich erhöhter Kosten für diesen Sektor. Als Konsequenz müssen Gebäude gerade im Winter eine möglichst geringe Leistung aufweisen. Daraus ergibt sich vor allem die Anforderung eines sehr guten Wärmeschutzes. Ebenso wichtig ist ein effizientes Heizsystem, das möglichst auf Basis von Wärmepumpen mit hoher Arbeitszahl arbeitet. Dabei ist nicht die Jahresarbeitszahl ausschlaggebend, sondern der System-COP bei niedrigen Außentemperaturen. Da Gebäudetechnik allerdings nach einem Instandsetzungszyklus von 15 bis 20 Jahren erneuert wird, liegt die Priorität des Wärmeschutzes mit seiner Nutzungszeit von 40 bis 60 Jahren deutlich höher.

Heizen

Wird die Heizanlage auf Basis von Strom, also z. B. durch Wärmepumpen, betrieben, lässt sie sich sehr gut in das Lastmanagement eines Quartiers einbinden. Zu Zeiten eines hohen regenerativen Stromangebots können Gebäude „aufgeladen“ werden. Wärmespeicherung in der Gebäudemasse wird über mehrere Tage durch Anhebung der Raumtemperatur um ein bis zwei Kelvin ermöglicht, wenn das Gebäude sehr guten Wärmeschutz aufweist. Weiterhin können kostengünstig thermische Speicher in den Gebäuden untergebracht werden, die ebenfalls zu Zeiten eines Überangebots aufgeladen werden. Hocheffiziente Gebäude kommen mit einer Heizlast von 10 bis 15 W/m² aus, bei Erhöhung der Vorlauftemperatur können aber auch höhere Leistungen erbracht werden, sodass temporär pro m² Wohnfläche z. B. 25 W als Spitzenleistung eingebracht werden können. Im Fall einer Dunkelflaute können diese Gebäude über ein bis drei Tage ohne erneute Energiezufuhr von außen auskommen. Völlig problemlos sind Lastabwürfe der Heizung für einige Stunden, um temporären Lastspitzen des Netzes entgegen zu lenken. Hochwärmegeädämmt Gebäude verlieren bei Abschalten der Heizung nur 0,5 bis 0,8 Kelvin pro Tag. Wenn solare Gewinne an solchen Tagen zu verzeichnen sind, liegen die Werte nochmals niedriger.

Im Bestandsbereich mit schlechtem Wärmeschutz liegen die Heizleistungen deutlich höher. Dort kann nur bedingt antizyklisch geheizt werden, weil die Raumtemperatur nach Abschalten des Heizsystems innerhalb weniger Stunden merklich absinkt.

KWK-Anlagen bieten sich in erneuerbaren Versorgungssystemen nicht für die Grundlast an, weil die Brennstoffe zu teuer sein werden. Sie können aber hervorragend genutzt werden zur Kappung von Lastspitzen und dadurch mit vergleichsweise kurzen Jahreslaufzeiten Wirtschaftlichkeit erzielen. Die Schwarmnutzung von KWK zur Sicherung des Versorgungssystems von Quartieren oder Regionen ist eine realistische Option für die Zukunft. Voraussetzung ist aber eine hybride Versorgung des Gebäudes durch einen weiteren Wärmeerzeuger.

Warmwasserbereitung

Warmwassersysteme erlauben Lastmanagement im Stundenbereich bis zu wenigen Tagen, wenn die Speicher entsprechend dimensioniert sind. Das gilt sowohl für thermische als auch für elektrische Speicher. Bei einem Überangebot an regenerativem Strom können kurzzeitig relativ hohe Leistungen gefahren werden, wenn das System dies ermöglicht. Die einfachste Lösung stellt in diesem Fall ein Heizstab dar. Leistungen von 20 bis 40 W pro m² Wohnfläche sind auf diesem Weg abrufbar. Umgekehrt ist es bei Nutzung von üblichen Speichersystemen möglich, Lastabwurf für mehrere Stunden im Fall einer Unterversorgung im Netz zu nutzen.

Haushaltsstrom

Ein eher günstiger jährlicher Stromverbrauch von 30 kWh/(m²a) (z. B. 1800 kWh für eine Wohnung mit 60 m²) entspricht einer mittleren Leistung von gut 0,2 kW für die Wohnung oder 3,5 Watt pro m² Wohnfläche. Obwohl es sich dabei um eine sehr geringe Größe handelt, ergeben sich daraus fast 12 GW für die BRD, was einen relevanten Anteil an der Gesamtversorgung bei einer mittleren Gesamtleistung von etwa 70 GW ergibt. Es ist auch deshalb interessant, aktives Lastmanagement für Haushalte durchzuführen, weil Spitzenleistungen selbst für Zwei- bis Drei-Zimmerwohnungen bei fünf kW liegen können, mithin bei 80 W/m² Wohnfläche. Zudem besteht eine hohe Bereitschaft bei Stromkunden, Tarife zu wählen, die Lastmanagement bzw. Lastabwurf ermöglichen, wenn es sich dabei um ein einfach verständliches System handelt. Dazu können unterschiedliche Komfort-Stufen in Form von Tarifen gewählt werden, von kaum spürbar bis zum aktiven Mitwirken. Bei Überangebot von regenerativem Strom können Haushaltsgeräte mit höherem Bedarf zugeschaltet und bei Unterangebot ein Lastabwurf für bestimmte Geräte durchgeführt werden.

E-Mobilität

Bereits bei kleineren Gebäuden kann durch Ladesäulen für E-Mobile eine extrem hohe Lastspitze erzeugt werden, wenn kein gezieltes Lastmanagement durchgeführt wird. Wenn für zehn Wohnungen jeweils ein Fahrzeug zur gleichen Zeit geladen wird, ergibt sich eine Leistung von z. B. 220 kW. Das liegt bei einem Vielfachen aller sonstigen Anforderungen. Die mittlere Leistung der E-Mobil-Beladung liegt für das Beispiel jedoch nur bei 0,7 kW, wenn jedes Fahrzeug für jeweils 5.000 km Jahresleistung geladen wird. Angepasstes Lastmanagement ist Voraussetzung für einen wirtschaftlichen Betrieb der Elektrofahrzeuge und es bietet sich an, einen Quartiersverbund zu organisieren. Auf der Gegenseite ermöglicht es der Batteriepark von E-Mobilen, dass sie in Zeiten von temporärer Dunkelflaute oder von Lastspitzen entladen werden, um das Netz zu stabilisieren.

4.7.2 Lastmanagement in Quartieren

Quartiere bieten zusätzliche Chancen für Lastmanagement gegenüber einzelnen Gebäuden. Grundsätzlich ist der Vorteil durch Gleichzeitigkeitsfaktoren gegeben. Lastprofile werden durch eine hohe Anzahl von Haushalten geglättet. Dadurch tritt das Problem von einzelnen hohen Lastspitzen deutlich seltener und weniger ausgeprägt auf. Im Umkehrschluss gelten die gleichen Überlegungen für die erneuerbare Versorgung, z. B. durch Photovoltaik in Verbindung mit einem elektrischen Speichersystem. Während

diese Modelle technisch nur noch sehr geringe Probleme darstellen, behindern die aktuellen Rahmenbedingungen eine breite Umsetzung maßgeblich.

Quartiersversorgungen können auf sehr unterschiedlichem Weg erfolgen. Vor allem muss unterschieden werden nach einem Verbundnetz auf Wärmebasis, auf Strombasis oder eine Mischung von beiden. Im Folgenden werden dazu Erfahrungen aus dem Forschungsvorhaben zusammengestellt.

Wärmenetze

Wärmenetze ermöglichen für Heizwärme und Warmwasserbereitung die Nutzung von Synergien innerhalb eines Quartiers. In Kapitel 4.5.2 werden die Vorteile und Grenzen bereits angesprochen. Durch Abwärmenutzung und Anwendung günstiger Gleichzeitigkeitsfaktoren können Einsparungen erzielt werden. Gezieltes Lastmanagement ist allerdings nur begrenzt möglich und muss immer die Minimierung von Anlagenverlusten im Focus haben. Es gibt viele Beispiele von Wärmenetzen, in denen aufgrund fehlerhafter Funktionen in der Regelung mehr Verluste auftreten als dass positive Synergien gehoben werden können. Aus dem Grund ist ein hochwertiges Lastmanagement in komplexen Systemen Voraussetzung für einen sinnvollen Betrieb. Ein Vorteil größerer Systeme liegt in der Möglichkeit, erneuerbare Energien aus PV und Wind gezielt einzuspeichern. Dazu ist ein Management erforderlich, das im Sinn von Angebot und Nachfrage gesteuert wird. Sinnvoll ist bei größeren Systemen die Teilnahme am Strommarkt, um günstige Angebotsituationen nutzen zu können. Darüber hinaus ermöglicht ein Wärmenetz Techniken mit Großwärmepumpen, die aufgrund ihrer Arbeitszahl eine höhere Effizienz als einfache Heizstäbe aufweisen. Dabei muss allerdings die Frage beantwortet werden, ob dezentrale kleinere Wärmepumpen mit der Folge geringerer Netzverluste nicht die sinnvollere Lösung darstellen.

Ein wesentliches Argument pro Wärmenetze muss in Zukunft überprüft werden. In Fachkreisen wird Großanlagen grundsätzlich eine höhere Wirtschaftlichkeit zugesprochen, was selbstverständlich ein deutliches Argument für Nahwärmelösungen darstellt. Angesichts des Paradigmenwechsels bei der erneuerbaren Stromversorgung ist es gut möglich, dass relativ zeitnah sehr kostengünstige dezentrale Lösungen mit minimalem Wartungsaufwand entstehen, die den Betrieb von aufwendigen Netzen mittelfristig als zu kostenintensiv erscheinen lassen.

Ein Nachteil von Wärmenetzen liegt zudem in dem Aspekt, dass die Bereiche Haushaltsstrom und Mobilität nicht in das Lastmanagement einbezogen werden. KWK kann diesen Nachteil etwas verbessern. Langfristig wird KWK-Technik, wie oben bereits beschrieben, nicht für die Grundlast sondern nur in Zeiten von Lastsenken zur Sicherung der Netzfrequenz betrieben werden. Das ist ein relevanter Aspekt fürs Lastmanagement, reduziert die Bedeutung dieser Technik aber deutlich. Dies gilt angesichts der Tatsache, dass GuD-Technik zum gleichen Zweck pro MW deutlich kostengünstiger erstellt und betrieben werden kann.

Zentrale große Wärmespeicher, die als Langzeit- oder Saisonspeicher genutzt werden, wurden über viele Jahre von wechselnden Seiten als regenerative Lösung in die Diskussion getragen und immer wieder mit Fördermitteln versehen (s. Kapitel 4.5.1.2). Es gibt kein publiziertes präzises Monitoring, was einen wirtschaftlichen und effizienten Betrieb bescheinigt. Als Schlussfolgerung ist davon auszugehen, dass diese Systeme unwirtschaftlich sind. Bei Saisonspeichern gibt es dazu eine sehr plausible Erklärung: die gesamten Kosten des Speichers müssen mit zwanzig bis vierzig Ladezyklen amortisiert werden, wenn der Speicher zwanzig bis vierzig Jahre hält. Diese Rechnung geht bei keiner bisher dokumentierten Anlage auf, wenn keine hohen Förderungen gewährt werden.

Stromnetze

Es gibt ein klares Argument für die Nutzung von Stromnetzen: die relevanten Erneuerbaren sind elektrisch. Innerhalb der Siedlungsstrukturen geht es vornehmlich um Photovoltaik und deren direkte Nutzung. Das lässt sich mit einem Stromverbund sehr günstig bewerkstelligen. Dabei geht es nicht um einen autarken

Betrieb, sondern um eine netzgekoppelte Anlage. Technisch-physikalisch ist ein möglichst großes Verbundnetz sehr günstig, weil Gleichzeitigkeitsaspekte und Speichertechnologien günstiger genutzt werden können. Bei dieser Art von neuer Technik gilt es allerdings eine Balance zwischen den Interessen der Bewohner bzw. des Wohnungsunternehmens auf der einen Seite und dem Versorgungsunternehmen auf der anderen zu schaffen. Zu den rechtlichen Rahmenbedingungen bestehen erhebliche Unsicherheiten. Das Gesetz zur Förderung von Mieterstrom [Bundesrat Drucksache 538/17] bringt nur vordergründig Vorteile. Im Folgekapitel werden Mieterstrommodelle näher betrachtet, die sich bisher aufgrund der ungünstig aufgestellten Rahmenbedingungen nicht durchsetzen.

Folgende Vorteile könnte ein Quartiers-Stromnetz vorweisen:

Heizen: Bei vorwiegender Nutzung von Wärmepumpen ist es gleich, ob diese zentral, dezentral oder als Kleinstwärmepumpen wohnungsweise installiert werden. Je kleinteiliger, desto geringere Anlagenverluste durch Verteilleitungen fallen an. Alle Varianten können durch das Stromnetz sehr gut bedient und geregelt werden. Es ist möglich, einen hohen Anteil an Eigenstromnutzung zu erzielen und gleichzeitig eine hohe Effizienz. Durch das weiter oben beschriebene Einspeichern in die Gebäudemasse oder in kleine thermische Speicher wird zudem eine hohe Flexibilität erreicht und unter Einbeziehung von wettergeführten Regelungen kann eine Dunkelflaute von mehreren Tagen vorausschauend überbrückt werden.

Warmwasserbereitung: Es bestehen mehrere sinnvolle Varianten der Versorgung. Gebäudezentrale Anlagen mit Wärmepumpen können gemeinsam mit der Heizanlage oder getrennt davon geplant werden. Mini-Wärmepumpen in den Wohnungen stellen eine zweite Option dar. Die technisch einfachste, aber primärenergetisch etwas schlechtere Option ist die direktelektrische Warmwasserbereitung. Sie kann mit Duschwärmerückgewinnung gekoppelt werden, um etwa dreißig Prozent Einsparung zu erzielen. Alle Varianten ermöglichen ein differenziertes Lastmanagement. Insbesondere die direktelektrische Variante sollte durch Batteriespeicher ergänzt werden.

Haushaltsstrom: Die Einbeziehung des Haushaltsstroms in die PV-Eigenversorgung ist Voraussetzung für einen erfolgreichen Betrieb, da dieser Teil des Strombedarfs den mit Abstand höchsten Bedarf ausmacht. Für Lastmanagement-Optionen gelten die gleichen Hinweise.

E-Mobilität: Die sehr großen Differenzen im Lastprofil von Ladestationen können am besten in einem größeren Netz abgefedert und gemanagt werden. Die Einbindung von Batteriespeichern wirkt dabei durch deren Kapazität synergetisch. In Kapitel 4.5.5 wird bereits ein Beispiel für Elektromobilität beschrieben. Wenn z. B. sechzig Haushalte innerhalb eines kleineren Quartiers ein E-Mobil besitzen und innerhalb der Wohnanlage im Mittel für 5.000 km Strom laden, entsteht eine theoretische maximale Lastanforderung von 1.320 kW, wenn pro Ladesäule 22 kW Leistung bereitstehen und alle Fahrzeuge gleichzeitig geladen werden. Dem steht gerade einmal eine mittlere Ladeleistung über das Jahr von 4,5 kW gegenüber. Für Reisen und weitere Fahrten wird davon ausgegangen, dass extern geladen wird, z. B. auch an Arbeitsstellen. Pro Haushalt mit E-Mobil ist ein Bedarf von 650 kWh/a gegeben, das sind pro Quadratmeter Wohnfläche der Haushalte mit E-Mobil im Mittel 10 kWh/(m²a). Diese hohe Diskrepanz zwischen Maximal- und Durchschnittsleistung zeigt, wie relevant ein sinnvolles Lastmanagement ist. Innerhalb eines Quartiers kann zudem die Option genutzt werden, die Batteriespeicher der Fahrzeuge als Stromquelle in Fällen ohne erneuerbares Energieangebot zu nutzen.

Stromspeicher: Das Speichern von elektrischem Strom in Batterien wird wirtschaftlich, wenn die Kosten pro kWh Ladekapazität bei unter 400 € liegen. Bei großen Anlagen kommen wir allmählich in diesen Kostenbereich. Dazu kommen die Kosten für den Raumverlust und die Sicherheitsvorkehrungen. Dies könnte für eine zentrale Unterbringung von Batterien innerhalb eines Quartiers sprechen statt der Verteilung auf alle Häuser. Dadurch wird zudem die Wartung vereinfacht. Dennoch werden dezentrale kleinteilige Speicher mittelfristig ebenfalls wirtschaftlich werden. Es ist absehbar, dass Hauskonzepte, wie

sie derzeit im „Gesetz zur Förderung von Mieterstrom“ eher verhindernd formuliert sind, sehr bald wirtschaftlich werden. In dem Fall könnte innerhalb kürzester Zeit aus rein marktwirtschaftlicher Sicht eine hohe Innovationsdynamik entstehen und eine sehr weitreichende Umstellung des Versorgungssystems im Gebäudesektor erfolgen. Dies sollte bei der Planung von Quartierskonzepten bedacht werden. Sehr starke Auswirkungen hätte solch eine Entwicklung auch auf das bundesweite Versorgungssystem.

4.7.3 Makroökonomische Auswirkungen

Die Anforderungen an die Versorgungssysteme in Quartieren und mithin den einzelnen Gebäuden leiten sich aus den makroökonomischen Rahmenbedingungen der Energiewende ab. Dieser immense Umstrukturierungsprozess erfordert ein hohes Maß an Fachwissen bei der Gestaltung der Rahmenbedingungen seitens Politik und Verwaltung. Da Entscheidungen zu langfristigen Investments führen, verursachen Fehler relevante Mehrkosten, die letztendlich die Verbraucher zu zahlen haben.

In Kapitel 4.1.1 werden die technischen Grundlagen beschrieben, die zu bewältigen sind. Für den Bereich Wohnen war bisher vor allem der Energiebedarf für Heizen und Warmwasserbereitung im Focus der Planer. In Zukunft werden die Bereiche Haushaltsstrom und Mobilität grundsätzlich in die Systemlösungen einbezogen werden müssen. In Kapitel 4.7 wird die Entwicklung des zukünftigen Energiebedarfs abgeschätzt. Vereinfacht ausgedrückt muss der Endenergiebedarf bis 2050 um gut 50 Prozent gesenkt werden, um die Klimaschutzziele der Bundesregierung zu erfüllen. Nur dann ist es mit wirtschaftlich angemessenen Mitteln möglich, den verbleibenden Energiebedarf vollständig erneuerbar zu decken. Es versteht sich von selbst, dass der Weg dorthin durch Leitplanken begleitet werden muss und Zwischenziele präzise definiert werden. Die aktuelle Logik der Politik, die gesetzten Ziele bis 2020 zu verfehlen, jedoch bis 2030 wieder im Plan zu sein, ist kein Vorgehen, das in einem Wirtschaftsunternehmen zum Erfolg führen würde. Das Problem liegt darin, dass ein Teil der erforderlichen Maßnahmen nicht nur Gewinner generiert, sondern auch Verluste und Umstrukturierungen bewältigt werden müssen. Es ist selbstverständlich, dass die Maßnahmen sozialverträglich durchgeführt und Akteure angemessen begleitet werden, die Verluste hinnehmen müssen. Das bedeutet aber nicht, dass unternehmerische Fehler im Nachhinein durch die Allgemeinheit beglichen werden. Folgende Aspekte gilt es für den Bereich Wohnen in den nächsten zwei bis drei Jahrzehnten zu bewältigen:

Erneuerbare Energien: Insbesondere Windkraft und Photovoltaik stehen an der Schwelle zur marktwirtschaftlichen Nutzung. Dieser Effekt muss unterstützt werden, um Förderungen möglichst schnell gegen Null gehen lassen zu können. Das ist nur möglich, wenn die Abgaben auf erneuerbaren Strom sinken und die Abgaben für fossile Energieträger steigen.

CO₂-Abgabe: Kohlendioxid-Emissionen müssen im Sinn der Klimaschutzziele schnell und gezielt gesenkt werden. Die naheliegende Maßnahme dazu ist eine progressiv verlaufende Besteuerung. Bis spätestens zum Jahr 2025 ist eine Abgabe von 120 € pro Tonne CO₂-Emissionen notwendig. Die Einnahmen können wie bisher in einen Klimafond einfließen, der auf der Gegenseite Förderungen und Entlastungen ermöglicht, insbesondere für Haushalte mit geringem Einkommen. Die Entwicklung der CO₂-Abgabe muss möglichst bald verlässlich festgeschrieben werden, sodass Investitionen zukunftsicher getätigt werden können. Bis 2035 ist eine CO₂-Abgabe von 250 € pro Tonne erforderlich. Auch wenn es abschreckend klingt: Danach muss eine deutlichere Steigerung der CO₂-Kosten vorgesehen werden, um fossilen Techniken rein marktwirtschaftlich zu begegnen und eine endgültige Entwicklung zu den Erneuerbaren zu bewerkstelligen.

Strompreis: Während die Abgaben auf fossil hergestellten Strom im jetzigen Bereich bleiben können zzgl. der bereits dargestellten CO₂-Abgabe, muss erneuerbarer Strom von Abgaben sukzessive befreit werden. Der Ausgleich kann über den CO₂-Klimafond abgewickelt werden. Alternativ steigt der Preis für fossile

Energieträger sukzessive bis oberhalb des Strompreises, wie dies in Kapitel 4.5.4 als technisch-physikalisch notwendiger Prozess dargestellt wird.

Brennstoffbasierte Systeme: Es gilt die Betreiber von Versorgungssystemen, die z. B. auf Öl- und Gas basieren, für eine festgelegte Laufzeit zu schützen. Der Zeitrahmen sollte ab jetzt bei etwa 15 Jahren liegen, in denen die Brennstoffe zwar teurer werden, aber noch in einem sozialverträglichen Rahmen liegen. Danach muss für die Betreiber und Investoren klar sein, dass alternative Lösungen zur Versorgung erforderlich sind, um langfristig kostengünstiges Heizen und Warmwasserbereitung sicherzustellen.

Mobilität: Analog zur brennstoffbasierten Wärmebereitstellung kann die Kostenentwicklung für Treibstoffe liegen. Wichtig ist auch in diesem Bereich eine langfristige Entwicklung, die Verbraucher davon abhält, bei Neukäufen Fehlentscheidungen zu treffen. Nach aktuellem Entwicklungsstand ist davon auszugehen, dass ein hoher Teil des Verkehrs in den Städten und Gemeinden über E-Mobilität abgewickelt wird, während beim Schwerlast- und Fernverkehr Hybridsysteme mit Wasserstoff-Option von vielen Seiten als realistisch angesehen werden.

Versorgungssicherheit in Verbindung mit Netz- & Lastmanagement sowie Speicherung: Für die Versorgungssicherheit müssen verlässliche Leitplanken entwickelt werden. Es ist selbstverständlich, dass in einem vollständig erneuerbaren Energiesystem Kosten für diese Aufgaben anfallen. Diese müssen so geregelt werden, dass die beteiligten Interessen ausgewogen beachtet werden. Die Stromnetzentgeltverordnung (StromNEV), welche die „Entgelte für den Zugang zu Elektrizitätsversorgungsnetzen“ regelt, gilt es in den kommenden Jahren weiterzuentwickeln. Netze gelten derzeit als sehr sichere Kapitalanlage, während Stromerzeugung keine sicheren Renditen mehr gewährleistet. Es zeichnet sich derzeit ab, dass der Netzbereich von sehr wenigen Akteuren geprägt wird, die in diesem Segment ein renditestarkes Betätigungsfeld sehen. Das könnte die Energiewende nachhaltig schädigen. Es ist von hoher Bedeutung, dass Versorgergenossenschaften oder Wohnungsunternehmen und deren Partner faire Rahmenbedingungen für ihre Leistungen erhalten. Die Stärke der Energiewende liegt in ihrer Kleinteiligkeit. Die Siedlungsstrukturen werden für erneuerbare Techniken nur dann angemessen erschlossen werden können, wenn ein dauerhaft wirtschaftlicher Betrieb der Techniken möglich ist. Gerade Wohnungsunternehmen und deren Partner sind dabei wichtige Partner. Dazu gibt es derzeit offensichtlich nicht die angemessenen Rahmenbedingungen. Das Forschungsvorhaben hat den hohen Grad von Unsicherheiten aufgezeigt, der mit dem Betrieb erneuerbarer Systeme verbunden ist. Notwendig sind einfache und rechtssichere Regelungen, die wirtschaftlich betrieben werden können und dafür sorgen, dass die Wohnkosten niedrig bleiben.

Für die Sicherung des Fluktuationsausgleichs von volatilen PV- und Windstrom im Netz müssen proaktiv Modelle geschaffen werden. Selbstverständlich sind dafür Netzbeiträge in Ansatz zu bringen, die auch das notwendige Lastmanagement auf nationaler Ebene abdeckt. Diese müssen allerdings in einem (sozial-)verträglichen Rahmen bleiben. Auf keinen Fall darf dieser Bereich monopolhafte Strukturen annehmen, die zu überhöhten Renditen führen, während die Betreiber von dezentralen erneuerbaren Erzeugungsanlagen als Bittsteller für die Einspeisung mit schlechten Vergütungen bedacht werden.

Zu der vorausschauenden Planung gehört dazu, dass Versorgungsstrukturen auf Gebäude- und Quartiersebene geschaffen werden, die zu einer möglichst geringen Leistung eines zweiten redundanten Kraftwerksparks führen. Selbstverständlich muss ein anschlagssicheres Netz von verlustarmen Supraleiter zur Glättung von Unter- und Überangeboten im nationalen und internationalen Austausch geschaffen werden. Lastmanagement durch Verteilung ist sinnvoller als kostenintensive Speicherung von Strom. Schließlich geht es noch darum, dass Kommunen und Regionen einen möglichst hohen Autarkiegrad schaffen, allerdings immer mit Verbindung zum Gesamtnetz. Das gilt allein schon aus Sicherheitsgründen [Spiegel online 2018], um in Krisensituationen die Stabilität in kleinteiligen regionalen Netzen bewahren zu können und z. B. zur Reaktivierung eines möglicherweise ausfallenden EU-Verbundnetzes zu nutzen.

4.8 Mieterstrom

Mieterstrommodelle bilden eine wesentliche Grundlage, um vor Ort regenerativ erzeugten Strom sinnvoll nutzen zu können und zugleich zukunftsfähige Quartierslösungen zu ermöglichen. Für die Wohnungswirtschaft liegt die Motivation für Mieterstrom in der Reduzierung der Nebenkosten. Dadurch wird Mietparteien mit begrenztem Budget bezahlbarer Wohnraum ermöglicht. Zudem kann durch attraktive Stromtarife Mieterbindung erfolgen. Aus planerischer Sicht verbessert der Einsatz von PV den Nachweis von EnEV/GEG bzw. von KfW-Förderprogrammen. Ab 2021 werden die Konzepte im Rahmen des GEG voraussichtlich zum Standard. Schließlich sind Wohnungsunternehmen attraktiv für Mieter, die sich frühzeitig innovativen Lösungen öffnen. Zum Thema Mieterstrom wurde vom Institut für Wohnen und Umwelt in Darmstadt (IWU) ein umfassendes Praxishandbuch herausgegeben, das die Thematik sehr fundiert beschreibt. Daraus ist der folgende Text entlehnt [Behr, Großklos 2017].

„Was ist Mieterstrom?“

Mieterstrom bezeichnet die dezentrale Erzeugung und Lieferung elektrischer Energie in direktem räumlichen Zusammenhang. Mieterstrom wurde erst durch die Liberalisierung im Strommarkt in Deutschland ab 1998 möglich, bei der die Gebietsmonopole der Stromversorgung aufgehoben wurden und Letztverbraucher ihren Stromanbieter frei wählen konnten. In den ersten Jahren nach der Liberalisierung wurden kaum Mieterstromprojekte umgesetzt, da die Volleinspeisung in das Netz der allgemeinen Versorgung für Investoren bzw. Betreiber einer dezentralen Stromerzeugungsanlage wirtschaftlich günstiger war. Mit der Novelle des Kraft-Wärmekopplungs-Gesetzes (KWKG) wurde 2009 auch eine Vergütung für elektrischen Strom gezahlt, der nicht in das Netz der allgemeinen Versorgung eingespeist, sondern direkt im Gebäude verbraucht wurde. Dies verbesserte die Möglichkeit für Mieterstrom mit Blockheizkraftwerken (BHKW). Ebenfalls im Jahr 2009 wurde im Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) eine Vergütung für den Eigenverbrauch von erzeugtem Photovoltaikstrom eingeführt, die im Jahr 2012 wieder abgeschafft wurde. Gleichzeitig sank die garantierte Einspeisevergütung für PV-Strom unter die Stromgestehungskosten bei Dachanlagen, so dass eine Einspeisung nicht mehr wirtschaftlich war. Es mussten somit andere Möglichkeiten gefunden werden, um dezentrale Energieerzeugung noch wirtschaftlich betreiben zu können. Ein Ansatz hierzu ist die Vermarktung als Mieterstrom.

Der Begriff Mieterstrom war bis zur Verabschiedung des Mieterstromgesetzes im Juli 2017 in keinem Regelwerk definiert, das sich mit Stromerzeugung und –vertrieb befasst. Basierend auf der Untersuchung in [Großklos, Behr, Paschka 2015] können als wesentliche Elemente des Mieterstroms identifiziert werden:

- Dezentrale Erzeugung von Strom, die entweder regenerativ oder mit hoher Effizienz in Kraft-Wärme-Kopplung erfolgt.
- Die Energieerzeugungsanlage befindet sich in einem Gebäude oder auf dem Gelände der Belieferung.
- Zwischen der Energieerzeugungsanlage und den Kunden besteht ein räumlicher Zusammenhang.
- Der Strom wird ohne die Nutzung der Netze der allgemeinen Versorgung über eine Kundenanlage an die Endverbraucher (Mieter) geliefert.

Diese Eckpunkte für Mieterstrom (die im Mieterstromgesetz aufgegriffen werden) resultieren aus Regelungen in unterschiedlichen Gesetzen und Verordnungen und werden im Laufe des Buches [Behr, Großklos 2017] ausführlich erläutert.

Kernpunkte des Mieterstroms sind somit die Erzeugung von Strom (ggf. inklusive Wärme) in der Liegenschaft durch den Vermieter oder einen Kooperationspartner und die anschließende Nutzung durch die Mieter. Nicht im Gebäude genutzter Strom wird in der Regel ins Netz der allgemeinen Versorgung eingespeist. Zwar hat das Mieterstromgesetz (noch) nicht zu dem erwarteten Durchbruch geführt, doch wächst das Interesse vor allem bei Stromerzeugern zusammen mit Wohnungsunternehmen Mieterstromprojekte durchzuführen weil sie der dezentralen Energieerzeugung strategische Bedeutung beimessen.

Techniken für Mieterstrom

Mit Photovoltaik-Anlagen (PV) kann auf dem Dach des Hauses oder auf einem Nebengebäude regenerativer Strom aus dem Sonnenlicht erzeugt werden. Es ist kein Brennstoff erforderlich, und es treten keine lokalen Schadstoffe oder Treibhausgasemissionen auf. Photovoltaik ist ein wichtiger Baustein für die angestrebte Transformation in Deutschland hin zur Klimaneutralität.

Beim Einsatz der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) wird die Abwärme der Stromerzeugung zur Beheizung von Gebäuden benutzt und damit ein höherer Gesamtnutzungsgrad gegenüber einer getrennten Erzeugung von Strom und Wärme erreicht. In Wohngebäuden werden meist motorische Blockheizkraftwerke (BHKW) eingesetzt. Diese können mit flüssigen oder gasförmigen Brennstoffen betrieben werden. Zwar kann ein BHKW auch mit nachwachsender Biomasse betrieben werden, in der Regel wird aus Kostengründen aber fossiler Brennstoff eingesetzt. Dennoch erfüllen BHKW im zukünftigen Energiesystem eine wichtige Rolle, da sie einerseits die Effizienz der Wärme und Stromerzeugung insgesamt verbessern, andererseits kommt ihnen in Zukunft eine wichtige Bedeutung beim Ausgleich von Schwankungen der Stromerzeugung aus Sonne und Wind zu. Aus diesem Grund werden KWK-Anlagen bei einer nahezu klimaneutralen Energieversorgung für Gebäude auch in Zukunft ihre Nische finden.

Weitere Techniken, die ebenfalls für Mieterstrom in Frage kommen, wie z. B. Windkraft am Gebäude, stehen entweder nur an wenigen Orten zur Verfügung oder ihr Potenzial ist in der Regel eher gering. Dennoch sollte für die Zukunft Mieterstrom nicht auf Photovoltaik und Kraft-Wärme-Kopplung beschränkt werden.

Argumente für Mieterstrom

Um die Aufmerksamkeit zu verstehen, die Mieterstrom von Teilen der Wohnungs- und Energiewirtschaft, aber auch bei Mieterverbänden und umweltpolitisch Aktiven erhält, ist es wichtig die Vorteile, die sich für unterschiedliche Akteure durch Mieterstrom ergeben können, zu betrachten.

Mieter profitieren durch kostengünstigen Mieterstrom, d. h. Strompreise, die mit örtlichen Anbietern konkurrieren können. Bestimmte Haushaltsgruppen wie Familien, einkommensschwache Haushalte sind besonders auf bezahlbaren Wohnraum mit begrenzten Betriebskosten angewiesen. Diese Haushalte sind eine vorrangige Zielgruppe der Wohnungswirtschaft soweit es sich um sozial orientierte Unternehmen handelt. Daneben kommt der Mieterstrom dem ideellen Interesse an dezentraler, regenerativer und von großen Stromanbietern unabhängige Stromerzeugung entgegen. Mieter können durch den Abschluss eines Liefervertrages für Mieterstrom in begrenztem Umfang auch auf die Ausgestaltung der Energiewende mit vermehrt dezentraler Energieerzeugung Einfluss nehmen. Zusätzlich schafft Mieterstrom die Chance sich mit dem eigenen Stromverbrauch auseinanderzusetzen, besonders wenn zusätzlich Dienstleistungen wie Verbrauchsrückmeldungen oder Anreize zur Steuerung des individuellen Verbrauchs damit verbunden werden.

Die Motive bzw. Interessen der Vermieter sind vielfältig. ... Der Verkauf des erzeugten Stroms an die eigenen Mieter statt der Netzeinspeisung, deren Vergütung kontinuierlich abnimmt, stellt einen wichtigen Treiber für die Beschäftigung mit dem Geschäftsmodell Mieterstrom dar. ...

Neben die harten wirtschaftlichen Notwendigkeiten tritt die von vielen Wohnungsunternehmen eingegangene Selbstverpflichtung und ihr unternehmerisches Selbstverständnis, wonach die Unternehmen ihren Mietern „bezahlbaren Wohnraum“ einschließlich bezahlbarer und überschaubarer Betriebskosten bieten wollen. Gerade die öffentlich gehaltenen Wohnungsunternehmen stellen sich dieser Aufgabe. Zum sozialen Engagement der Wohnungsunternehmen tritt die Selbstverpflichtung, die kommunalen Klimaziele durch einen eigenen Beitrag zu unterstützen. Mieterstrom ist hierfür ein gutes Instrument, das sowohl den Vermietern als auch den Mietern Nutzen bringt. ...

Bedeutung des Mieterstroms für die Energiewende Deutschland

Verfechter des Mieterstroms sind überzeugt, dass die verbrauchsnahe, dezentrale regenerative Stromerzeugung aus Photovoltaik oder die hoch effiziente Stromerzeugung mit Kraft-Wärme-Kopplung einen maßgeblichen Beitrag zur Energiewende leistet. Mit einem Blick auf die bundesdeutschen Klimaziele lässt sich diese Aussage bestätigen. Angestrebt wird neben der Reduktion der Treibhausgasemission und der Verbesserung der Energieeffizienz auch der Ausbau der erneuerbaren Energien. Die angestrebte Dekarbonisierung verlangt neben dem Ausbau der erneuerbaren Energieträger auch die dezentrale

Stromerzeugung. Dies findet sich im Klima-schutzplan 2050 der Bundesregierung vom November 2016 [BMU 2016], in welchem auf die Notwendigkeit der Kopplung von Stromerzeugung, Wärmeversorgung und Mobilität (Sektorkoppelung) und die weitere Stärkung der erneuerbaren Energien hingewiesen wird. Aussagen zur Dezentralität von Energieerzeugung und –versorgung finden sich nur in dem Hinweis auf lokal verankerte Bürgerenergieprojekte, ohne die Bedeutung der dezentralen Energieerzeugung für die Energiewende zu thematisieren. ...

Auch wenn die Forderung nach dezentraler Stromerzeugung und dezentralem Stromvertrieb gegenwärtig auf der bundespolitischen Ebene nachgeordnet zu sein scheint bzw. gar als Störung gesehen wird, so wird auf der kommunalen Ebene die dezentrale Wärme- und Stromerzeugung als ein wichtiger Baustein in Klimaschutzkonzepten auf dem Weg zur klimaneutralen Stadt gesehen. Auch für die Erfüllung der Forderung nach klimaneutralen Gebäuden oder Häusern, die sogar Energieüberschüsse produzieren, kann Mieterstrom durch die Perspektive für eine wirtschaftliche Stromvermarktung wertvolle Beiträge liefern. Eng verbunden mit der Stärkung der erneuerbaren Energien ist die Frage der dafür nötigen Netzstrukturen und die der Speicherung von zeitweilig überschüssigem Strom. Für die Einschätzung des notwendigen Ausbaus der Übertragungsnetze („Stromautobahn“) kommt der dezentralen Stromerzeugung und dem dezentralen Verbrauch große Bedeutung zu: Die verbrauchsnahe Stromerzeugung kann bei geeigneter Regelung den Bedarf an Übertragungsnetzen reduzieren. Abnahmemöglichkeiten für den Mieterstrom bieten nicht nur der Haushaltsstrom und der Hilfsstrom sondern auch die Energie, die für Elektromobilität benötigt wird. Die Energiewende „gewinnt“ durch die verbrauchernahe Stromproduktion, da übergeordnete Stromverteilnetze entlastet werden [Grumann, Rascher 2015].

Bei der Erreichung der Ziele der Energiewende wird zunehmend auch die Frage nach deren Sozialverträglichkeit und nach einer gerechten Lastenverteilung gestellt.

Hier ist die EEG-Umlage kritisch zu debattieren. Der Anspruch, dass die EEG-Umlage auf alle Stromverbraucher umgelegt wird, wird mehrfach durchbrochen: So zunächst durch den Tatbestand, dass selbstnutzende Gebäudeeigentümer für Stromerzeugung und Stromnutzung mit einer Befreiung oder einer reduzierten Umlage begünstigt werden, hingegen Mietern keine entsprechende Vergünstigung zusteht. Stromkosten stellen zunehmend für einkommensschwache Haushalte eine große Belastung dar. Dies wird im größeren Zusammenhang unter „Energiearmut“ diskutiert [Tews 2013]. Durch Mieterstrom, wenn er mit attraktiven Preisen verbunden ist, können auch Mieter nun zumindest in begrenztem Umfang durch niedrigere Stromtarife profitieren und sind nicht mehr nur die Zahler der Energiewende.

Mieterstrom bringt ein starkes Moment für die Identifikation mit der Energiewende. Dies liegt in der Nutzung des „selbst erzeugten“ Stroms (und der Wärme) durch das BHKW bzw. die PV-Anlage. Dass dies gewünscht ist, wird deutlich durch die Zunahme von Bürgersolaranlagen, Bürgerenergiegenossenschaften und von genossenschaftlichen Wohnprojekten, die die Versorgung mit Wärme, Strom etc. in die eigenen Hände nehmen wollen. Mieterstrom trägt somit zur gesamtgesellschaftlichen Klima-Zielerreichung bei, indem individueller Nutzen beim Endverbraucher und betriebswirtschaftlichen Nutzen beim Anbieter zusammenkommen.

Selbstverantwortung für und Einfluss auf den Stromverbrauch können durch neue Zählerkonzepte und Smart Metering unterstützt werden. Die zeitnahe Beobachtung über die eigenen Verbräuche, gerne gekoppelt mit Vergleichsgruppen (z. B. die anderen Mieter im Haus) kann zu messbaren Verhaltensänderungen und Energieeinsparungen führen.“ [Behr, Großklos 2017]

4.8.1 Gesetz zur „Förderung von Mieterstrom“

Das Gesetz zur „Förderung von Mieterstrom“ [Bundesrat Drucksache 538/17] bringt keine deutliche Hilfestellung für die Integration erneuerbarer Energien im Bereich des Geschosswohnungsbaus oder gar auf Quartiersebene. Von den zahlreichen Anregungen die im Verlaufe des Gesetzgebungsverfahrens gemacht worden waren [BMWi 2017-1], sind nur wenige aufgegriffen worden so dass von der aktuellen Fassung nur wenig Impulse ausgehen. Bereits die Form des Gesetzestextes mit den zahlreichen kaum nachvollziehbaren Querverweisen macht es selbst juristisch bewanderten Personen schwer, die Intention zu verstehen. Zudem gibt es zahlreiche Punkte, die nicht als förderlich im Sinn des Gesetzstitels eingestuft werden können. Beispielhaft seien folgende Hemmnisse und daraus resultierende Anregungen genannt:

1. Obwohl Mieterstrom technisch dasselbe ist wie Eigenversorgung von z. B. Einfamilienhäusern, wird er dieser nicht gleichgestellt. Stattdessen muss die EEG-Umlage gezahlt werden. Das ist eine Benachteiligung von Mietern gegenüber Eigentümern.
2. Vermieter können aus steuerlichen Gründen keinen Mieterstrom anbieten und sind deshalb zur Gründung von Tochterfirmen oder zur Zusammenarbeit mit externen Anbietern gezwungen. Es fehlt die Änderung im Gewerbesteuer- und im Körperschaftsteuerrecht, um das Ziel der Förderung von Mieterstrom nicht zu gefährden.
3. In § 42 EnWG wird zu Mieterstromverträgen folgendes ausgesagt. „Ein Vertrag über die Belieferung von Letztverbrauchern mit Mieterstrom (Mieterstromvertrag) darf nicht Bestandteil eines Vertrags über die Miete von Wohnräumen sein. Bei einem Verstoß gegen dieses Verbot ist der Mieterstromvertrag nichtig.“ Sinnvoll wäre eine Regelung im Zivilrecht analog zur Vertragsfreiheit des BGB und Schutz des AGBG.
4. Weiterhin wird unter § 42a Absatz (4) EnWG vorgegeben: „Der für den Mieterstrom und den zusätzlichen Strombezug ... zu zahlende Preis darf 90 Prozent des in dem jeweiligen Netzgebiet geltenden Grundversorgungstarifs, auf Basis des Grund- und Arbeitspreises, nicht übersteigen.“ Das ist grundsätzlich sinnvoll, jedoch ist diese Regelung nicht notwendig, weil jeder Vermieter ohnehin einen günstigen Tarif anbieten wird, um alle Mieter zu erreichen. Es wird mit diesem Absatz eine zusätzliche bürokratische Hürde aufgebaut.
5. Nach § 21 Abs. 3 EEG wird der Verbrauch in „unmittelbarem räumlichen Zusammenhang“ gefordert. Dadurch wird die Chance auf Quartierslösungen konterkariert. Mehrere Hausaufgänge innerhalb derselben Gebäudehülle können nach strenger Auslegung nicht gemeinsam mit einer Versorgung versehen werden. Diese sehr enge räumliche Begrenzung als Voraussetzung zu Teilbefreiung von der EEG-Zahlung ist hoch kontraproduktiv. Die dadurch induzierten Mehrinvestitionen sind kaum durch den EEG-Nachlass gegen zu finanzieren. Das widerspricht dem Quartiersgedanken vor allem deshalb vehement, weil auf der Wärmeseite im Modellvorhaben Wärmenetzsysteme 4.0 [Wärmenetze 4.0 2018] mit hohen Förderbeträgen quartierszentrale Lösungen ohne diese Einschränkung unterstützt werden.
6. Der Auslegung zum räumlichen Zusammenhang könnte ein Urteil des Bundesfinanzhofs (AZ: VIIR 54/03 vom 18.10.2004) mit 4,5 km zugeordnet werden, wie dies für § 9 Abs.1Nr.3 StromStG oder „Kundenanlage“ § 3 Nr.24a,b EnWG wirksam ist. Diese Zuordnung könnte positive Impulse geben.
7. Als „Atmender Deckel“ gilt seitens des Gesetzgebers die Begrenzung von Mieterstromförderung auf 500 MW pro Jahr. Diese Leistung wird bei Weitem nicht erreicht. Die kumulierte PV-Mieterstromleistung betrug bis zum Ende Juni 2018 nur 3,7 MW_{Peak} und liegt damit gerade einmal bei 0,7 Prozent des intendierten Betrags.
8. Aus der Sachlage ergibt sich, wie oben bereits erwähnt, eine Benachteiligung für Mieter. Das Gesetz ist damit sozial unausgewogen und hemmt weite Teile der Bevölkerung, sinnvoll an der Energiewende teilzunehmen.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens zeigte sich, dass Wohnungsunternehmen hohe Hemmnisse in der Anwendung von Mieterstrommodellen sehen. Notwendig sind klare, einfache und rechtssichere Vorgaben, die konstruktive Impulse für konkrete Projekte geben und es ermöglichen, quartiersbezogene Lösungen zu realisieren. Das ist mit der aktuellen Fassung nur sehr bedingt möglich.

4.8.2 Modelle für Erzeugung und Vertrieb von Mieterstrom

Grundsätzlich gibt es mehrere Varianten, wie Mieterstrommodelle umgesetzt werden können.

- Das Wohnungsunternehmen investiert in die Erzeugungsanlage, ein Tochterunternehmen betreibt die Anlage und vertreibt den Strom an die Mieter

- Energietöchter werden seitens des Wohnungsunternehmens zu Investition, Betrieb und Vertrieb beauftragt
- Ein Energiedienstleister (z. B. Stadtwerke) investiert in die Anlage, betreibt sie und vertreibt den erzeugten Strom.

Als relevante Frage stellt sich in jedem dieser Fälle die Art der Abrechnung. Es müssen Festlegungen zum Messstellenbetreiber (für Wärme und Strom MsbG) und zur elektronischen Auslesung z. B. durch den Stromversorger (§ 9 MessZV) getroffen werden. Der angebotene Strompreis muss um mindestens 0,01 €/kWh günstiger sein als Angebote lokaler Konkurrenten. Möglichst sollte kein Grundpreis, sondern nur der Arbeitspreis zu bezahlen sein. Die Wohnungsunternehmen können weitere Anreize wie Zuschuss zu hocheffizienten Haushaltsgeräten oder ein Strombudget für das Laden eines Elektroautos geben. Noch durchgreifender ist das Angebot einer Strom-Flatrate oder ein Strom-Kontingent als „Geschenk“ für den Mieter. Beim Aktivhaus der ABG FRANKFURT HOLDING wurde solch ein Konzept angewandt (s. Kapitel 5).

4.9 Klimaneutralität im Gebäudebestand bis 2050

Die Klimaschutzziele der Bundesregierung sehen bis zum Jahr 2050 einen nahezu klimaneutralen Gebäudebestand vor. Zum Erreichen dieses Ziels gibt es zahlreiche Studien [u. a. UBA 2016 / Prognos 2015], die im Wesentlichen davon ausgehen, dass ein Zusammenwirken von Effizienzmaßnahmen und Erneuerbaren Energien auf Best Practice Niveau notwendig ist, um dieses ambitionierte Ziel zu erreichen. „Die aktuelle Umsetzung der Wärmewende ist mangelhaft, das Erreichen des Gebäudesektorziels 2030 ist stark gefährdet. Um die Emissionen von heute 130 Millionen Tonnen CO₂ auf 70 bis 72 Millionen Tonnen in den nächsten elf Jahren zu senken, brauchen wir ein flächendeckendes Hochskalieren aller verfügbaren Technologieoptionen: Dämmung, Wärmepumpen, Wärmenetze, dezentrale Erneuerbare und Power-to-Gas. Die Zeit des Entweder-oder beim Einsatz verschiedener Gebäudetechnologien ist angesichts der Versäumnisse der Vergangenheit vorbei.“ [AGORA 2018] Hohe Energieeffizienz bildet dabei die Voraussetzung für hohe Technologieoffenheit und den betriebs- und volkswirtschaftlich sinnvollen Einsatz erneuerbarer Energien. Insbesondere der Gebäudebereich besitzt das technische Potenzial, dass bis 2050 in etwa 50 Prozent Endenergieeinsparung erzielt werden muss. Hohe Effizienz ermöglicht es, den verbleibenden Bedarf mit wirtschaftlichen Rahmenbedingungen erneuerbar zu decken. Wird der Blickwinkel auf die gesamte Wirtschaft der BRD gerichtet, verfügt der Gebäudebereich bereits über die erforderlichen Techniken. Demgegenüber stellen insbesondere Sektoren wie die Industrie, Landwirtschaft und Mobilität Herausforderungen dar, bei denen eine dritte Säule nahezu unabdingbar ist – das Verhalten der Menschen [Oehler 2018 / Drexel 2018].

4.9.1 Anforderungen an Effizienz & Energieeinsparung

Auf Basis von zahlreichen regionalen und kommunalen Projekten [EAN 2012 / Schulze Darup 2012-1 / Schulze Darup 2013 / Schulze Darup 2014-1] wurden in einer Studie zahlreiche Sensitivitätsanalysen zu Parametern der Klimaneutralität im Gebäudebestand für die BRD durchgeführt [DGS, Schulze Darup 2015].

Die Ergebnisse zeigen klare Leitplanken für den Weg zur Klimaneutralität. Die Entwicklung des Endenergiebedarfs für die Beheizung des Gebäudebestands wird bei einem „Weiter-So“ gerade einmal zu einer Einsparung von 32 Prozent gegenüber dem aktuellen Stand führen, wobei eine eher erhöhte Sanierungsquote von 1,2 Prozent p. a. bei der Sensitivitätsanalyse vorausgesetzt wurde. Bei Erhöhung der Sanierungsquote auf 1,6 % p. a. erhöht sich die Einsparung auf etwa 38 Prozent. Um auf 50 Prozent Reduktion zu kommen, ist es unabdingbar ab 2020 eine effiziente Sanierungstiefe umzusetzen und mit einem Sanierungsstandard von etwa KfW EH 55 zu arbeiten, wobei Denkmalobjekte und stadtbildprägende Gebäude einen höheren Bedarf aufweisen dürfen.

Sanierungsfahrpläne müssen so gestaltet sein, dass bei Abschluss der energetischen Ertüchtigung alle Bauteile diese Qualität aufweisen. Das gilt unabhängig davon, ob die Maßnahmen in einem Zug oder in mehreren Bauabschnitten durchgeführt werden. Sanierungen oder Neubauten mit mäßigen Standards führen für die Eigentümer zu einem Dilemma: nach etwa zwanzig Jahren würde für solche Gebäude eine erneute energetische Ertüchtigung anstehen, die jedoch in keinem Fall wirtschaftlich durchführbar ist. Insofern ergibt sich zum Erreichen des Klimaschutzziels im Jahr 2050 genau einmal die Möglichkeit, den notwendigen Zukunftsstandard auszuführen.

Es wird ein ungeheurer Kraftakt sein, die aktuelle Sanierungsquote von 1,0 Prozent auf 1,6 bis 1,8 Prozent zu erhöhen. Dieser Wert stellt zugleich aus Nachhaltigkeitssicht ein Optimum dar, weil die daraus resultierende Nutzungszeit der Baukonstruktionen etwa 60 Jahren entspricht. Als Ergebnis ist in der BRD-Bilanz eine Energieeinsparung von etwa 50 % bis zum Jahr 2050 erzielbar.

Im Neubaubereich müssen spätestens ab 2021 in etwa die Standards realisiert werden, die im Rahmen dieses Gutachtens jeweils unter der Kategorie „Standard zum Erreichen 2°-Ziel“ bei den jeweiligen

Zusammenfassungen aufgeführt sind. Die Abbildung oben zeigt die Entwicklung des Endenergiebedarfs für die Beheizung nach diesem Szenario in Verbindung mit einer Sanierungsquote von 1,6 Prozent pro Jahr.

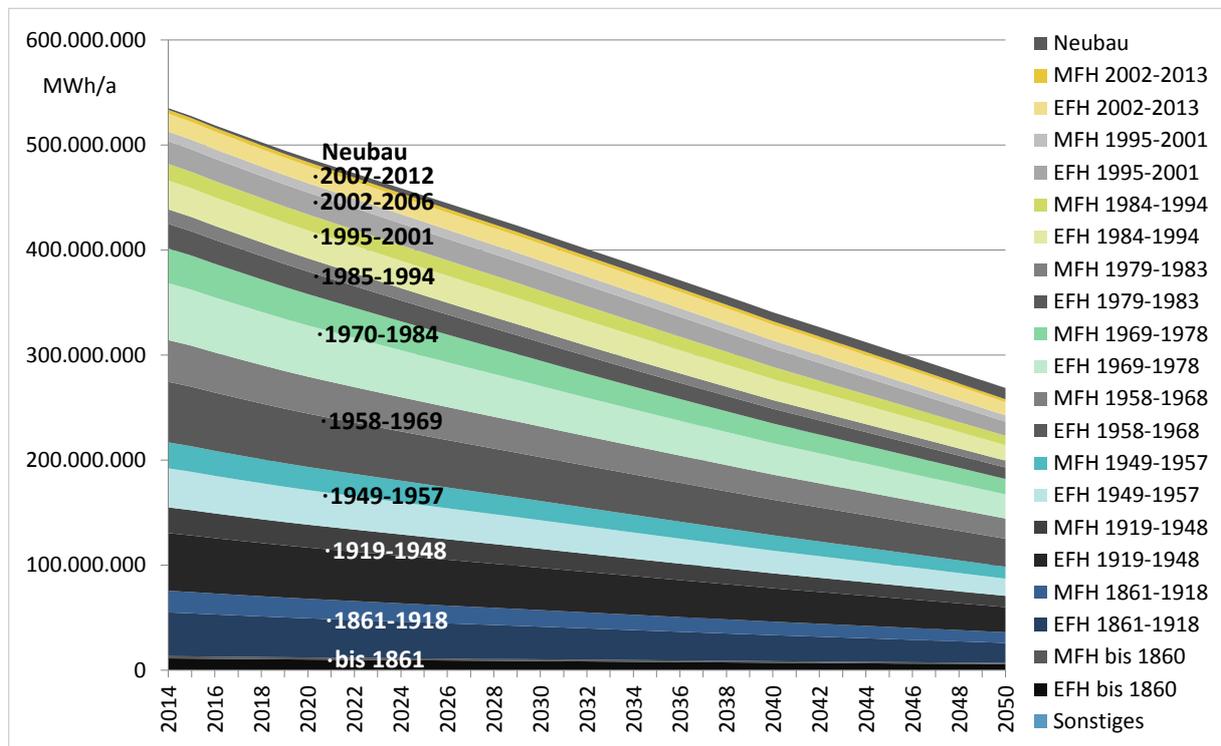


Abbildung 66 Entwicklung des Endenergiebedarfs für die Beheizung des Gebäudebestands (BRD) mit einer Sanierungsquote von 1,6 % p. a. und ab 2020 mit einem mittleren Sanierungsstandard KfW EH 55. Denkmalobjekte und stadtbildprägende Gebäude dürfen dabei einen höheren Bedarf aufweisen. Die Reduktion bis 2050 beträgt etwa 50 %. [DGS, Schulze Darup 2015]

4.9.2 Entwicklung der Erneuerbaren Energien

Um den Weg der Decarbonierung zu gehen, ist es in allen Ländern erforderlich die Balance zwischen Energieeinsparung und Erneuerbaren auszuloten und umzusetzen. Deutschland hat aufgrund seiner Rohstoffsituation und der hohen Bevölkerungsdichte eine eher ungünstige Ausgangsposition. Auf der anderen Seite ist ein hohes Maß an Wissen vorhanden, das es gilt, zielstrebig umzusetzen und Lösungswege aufzuzeigen, die auch für andere Länder Gültigkeit besitzen. Wie beschrieben, reichen im Gebäudebereich die in diesem Bericht dargestellten Komponenten und Techniken aus, um Klimaneutralität bis 2050 zu erzielen. Auf dieser Grundlage ist es möglich, den Restbedarf mit wirtschaftlich sinnvollen Rahmenbedingungen regenerativ zu decken. Aus technischer Sicht könnten erneuerbare Energien einen weit höheren Anteil stellen. Es ist die Flächennutzung, die begrenzend wirkt. Bereits heute wird um Gebiete für Solar-, Wind- und Biomasseflächen gerungen. Einen großen Teil der erneuerbaren Techniken gilt es in die Gebäude- und Siedlungsstrukturen zu integrieren und dabei eine hohe gestalterische Qualität zu erzielen. Die eigentliche Herausforderung ist eine kulturverträgliche Lösung, die Belange von Landschaftsschutz, Stadtplanung und Baukultur gleichermaßen berücksichtigt. Die folgende Abbildung zeigt, dass auch im Bereich der Erneuerbaren Energien eine sehr ambitionierte Entwicklung notwendig ist, um die Klimaschutzziele zu erreichen.

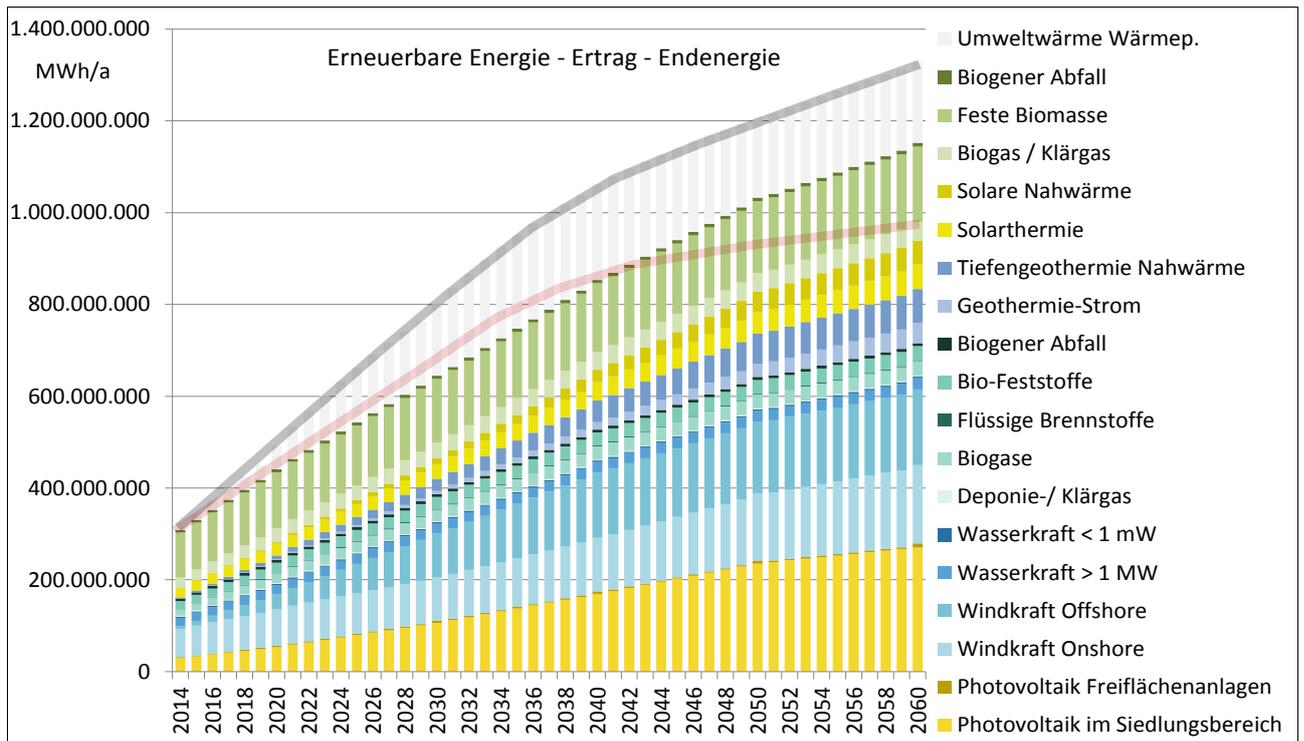


Abbildung 67 Notwendige Entwicklung der Erneuerbaren Energien

Das Zielszenario (graue obere Linie = 1.300 TWh/a in 2050) liegt um 25 % oberhalb des aktuellen Referenzszenarios (rote Linie), das wir nach derzeitiger Entwicklung in der BRD eher verpassen werden. Es ist also im erneuerbaren Sektor eine hohe Kraftanstrengung erforderlich, um die Klimaschutzziele zu erreichen. [DGS, Schulze Darup 2015]

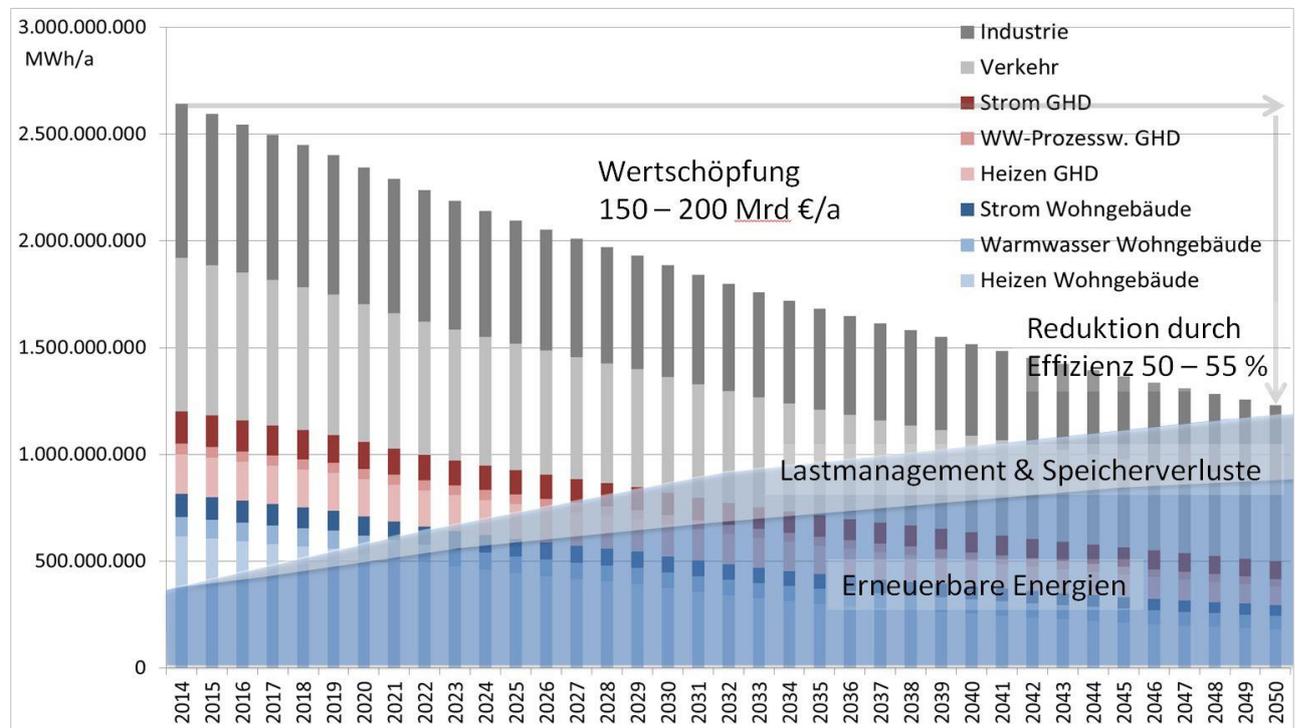


Abbildung 68 Entwicklung Richtung Klimaneutralität in der BRD bis 2050

Die Abbildung zeigt auf der Effizienzseite eine Einsparung um etwa 50 Prozent, bei den Erneuerbaren Energien wird das Zielszenario aus der vorherigen Abbildung dargestellt. Dabei müssen die Verluste für Lastmanagement und Speicherung abgezogen werden. [DGS, Schulze Darup 2015]

4.9.3 Verhältnis Effizienz zu Erneuerbaren

Wie bereits oben beschrieben ist das Erreichen der Klimaziele kein Selbstläufer, sondern verlangt ein Engagement im Best Practice Bereich sowohl bei der Effizienz als auch bei den Erneuerbaren. Die vorausgehende Abbildung zeigt eine mögliche Balance zwischen den beiden Bereichen. Bei hoher Effizienz wird über die Sektoren eine Energieeinsparung von etwa 50 % zu erreichen sein. Auf dieser Basis kann eine weitgehende Versorgung mit Erneuerbaren Energien unter wirtschaftlichen Rahmenbedingungen erfolgen. Bei der Ausgestaltung des erneuerbaren Systems ist es wichtig, die Aufwendungen für Lastmanagement und Zwischenspeicherung zu optimieren, also den erneuerbaren Primärenergieaufwand gering zu halten, wie dies im Kapitel 4.5 beschrieben wird. Das bedeutet, aufwendige Technologien, die für die Versorgungssicherheit bei Dunkelflaute erforderlich sind, auf ein Mindestmaß zu beschränken. PtG-Technologie mittels Elektrolyse erneuerbaren Stroms, Speicherung und Rückverstromung weist einen Wirkungsgrad von etwa 35 Prozent auf, d. h. es muss etwa die dreifache Menge erneuerbaren Stroms generiert werden im Vergleich zur späteren Nutzenergie. Solch ein erneuerbarer Primärenergiefaktor von fast 3 ist nicht nur primärenergetisch ungünstig, sondern führt zu erhöhten Kosten. Während erneuerbarer Strom 2040 für etwa 3 bis 5 Cent verfügbar sein wird, liegen die Kosten für importiertes erneuerbares Gas (PtG) bei etwa 10 bis 15 Cent pro kWh [AGORA 2018 / dena 2018]. Aus volkswirtschaftlicher Sicht geht es also darum, den Anteil der PtG-Energieträger so gering wie möglich zu halten. Wenn es gelingt, den Anteil z. B. auf 8 Prozent zu begrenzen, beträgt der primärenergetische Aufwand zur Bereitstellung dennoch fast ein Viertel des gesamten erneuerbaren Ertrags. „Power-to-Gas kann eine ambitionierte Effizienzpolitik im Gebäudebereich nicht ersetzen, sondern nur ergänzen. Synthetische Brennstoffe sind zwar im Jahr 2050 in allen Klimaschutzszenarien ein relevanter Bestandteil der Energieversorgung, aber sie können bis 2030 nur einen kleinen Beitrag liefern und sind auch für den Zeitraum 2030 bis 2050 deutlich teurer als die meisten Energieeffizienzmaßnahmen im Gebäudesektor. Zudem dürfte der Großteil der dann erzeugten Power-to-Gas-Mengen von anderen Märkten (Industrieprozesse, Schiffs-, Flug- und Lkw-Verkehr) absorbiert werden.“ [AGORA 2018]

Die Bauschaffenden können einen großen Beitrag zum Gelingen der Energiewende beitragen. Zugleich stellt dieser herausfordernde Prozess eine Chance dar, unsere gebaute Umwelt hochwertig weiterzuentwickeln. Last but not least darf darauf hingewiesen werden, dass die Wertschöpfung durch Effizienz und Erneuerbare bei konsequenter Umsetzung der Energiewende in Deutschland 150 bis 200 Mrd. Euro jährlich betragen wird. Das entspricht zwei bis drei Millionen Arbeitsplätzen. Diejenigen Regionen und Akteure werden Gewinner der Energiewende sein, die bei diesem Prozess vorneweg gehen und die Erfahrungen der Best Practice Techniken in der Folge „exportieren“ können.

4.9.4 Geopolitische Aspekte

Abschließend soll ein kurzer Blick auf die geopolitische Situation geworfen werden und auf Veränderungen, die sich aus der notwendigen Klimapolitik ergeben. Wir sind dabei, fossile Energieträger sukzessive überflüssig zu machen. Wenn wir die Klimaschutzziele ernst nehmen, wird ein großer Teil der bereits explorierten fossilen Brennstoffe nicht mehr genutzt werden können. Deshalb könnten Erdöl-Verteilungskriege demnächst umgekehrte Vorzeichen aufweisen. Es muss die Frage beantwortet werden, was mit den Regionen geschieht, in denen über Jahrzehnte eine Abhängigkeit von ihren Ölexporten entstanden ist. Diese Länder müssen wir dabei unterstützen, frühzeitig gegenzusteuern und Industriezweige mit anderer Schwerpunktsetzung voranzutreiben, damit sie die fossile Energieproduktion sukzessive drosseln können.

Auf der anderen Seite ist es unabdingbar darüber nachzudenken, welche Folgeprodukte und Rohstoffe für eine Wirtschaft mit erneuerbarer Energieversorgung bereitstehen müssen. Es handelt sich um die

Rohstoffe für Produkte wie IT-Produkte, Batterien, Elektromotoren oder PV-Module [O’Sullivan, Overland, Sandalow 2017]. Die Sicherung und gerechte Verteilung von Rohstoffressourcen ist ein wichtiger Aspekt zukünftiger globaler Wirtschaftspolitik. Falls Ressourcenengpässe erkennbar werden, müssen frühzeitig durch Umschwenken auf andere Technologien Konflikte vermieden werden.

Darüber hinaus gilt es Fragen zu klären, wie sicher die zukünftigen Energie- und Kommunikationssysteme sind. Wie verhält es sich mit Risiken durch Cyber-Angriffe und welche Vorsorge ist dagegen möglich? Weist eine zentrale oder dezentrale Energieversorgung höhere Verwundbarkeit auf? Es sprechen Argumente dafür, quartiersbezogene und regionale Netze mit einem bedingten Autarkiegrad zu konzipieren. In Konfliktsituationen könnten solche dezentralen Strukturen eine geringere Anfälligkeit aufweisen und zumindest eine Grundversorgung sicherstellen. Selbstverständlich stellen die nationalen und EU-weiten Netze die Grundlage für ein ökonomisch sinnvolles Lastmanagement dar, das teure Speichertechnologien vermindert nach dem Motto „Irgendwo in Europa weht immer ein Wind!“

Die Anforderungen des Klimaschutzes stellen eine große Generationenaufgabe dar, beinhalten zugleich aber die Chance auf hohe Wohn- und Lebensqualität, die im Zuge des Umbaus entstehen. Städte und Gemeinden können in mancherlei Hinsicht den Menschen zurückgegeben werden. Gebäude und Stadtteile werden im Sinn der Bewohner umgestaltet und die Zukunft der Mobilität ermöglicht es, Verkehrsräume zurückzugewinnen für Grün, Aufenthaltsflächen und ein hochwertiges Wohnumfeld ohne Lärm und Abgase. Zudem identifizieren sich viele Menschen mit erneuerbarer Energiegewinnung. Das gilt nicht nur bei uns, sondern macht gerade in Ländern Mut, die in der Breite noch nicht elektrifiziert waren. Der alte Wahlspruch „Global denken – lokal Handeln“ gewinnt dadurch eine neue Dimension. Am Wichtigsten ist es jedoch, die globalen Herausforderungen anzunehmen und gleichzeitig die Kosten für das Wohnen so gestalten zu können, dass auch Menschen mit niedrigem Einkommen ein hochwertiges Lebensumfeld ermöglicht wird.



5 Projektberichte der Wohnungsunternehmen

Die Projektworkshops zu den Bauvorhaben der beteiligten Wohnungsunternehmen stellten das zentrale Element des Forschungsvorhabens dar. Bei jedem der fünf Wohnungsunternehmen fand ein Tagesworkshop jeweils in der Planungs- und in der Umsetzungsphase des eingebrachten Projektes statt. Für alle Beteiligten ergaben sich aus diesen gemeinsamen Diskussionen über sehr konkrete Fragestellungen intensive Erkenntnisgewinne. Äußerst professionelle Planungsteams trafen dabei auf hochkarätige Fachleute mit einem weiten interdisziplinären Fachwissen. Am spannendsten waren die Situationen, in denen nicht nur kontrovers diskutiert wurde, sondern in denen Beschränkungen und Grenzen erkennbar waren, die bisweilen gemeinsam überwunden werden konnten. Besonders bemerkenswert war die Offenheit in der Diskussionsweise und dem gegenseitigen Respekt vor unterschiedlichen Sichtweisen.

Zusätzlich zu den fünf zentralen Projekten der Wohnungsunternehmen wurden weitere innovative Bauvorhaben vorgestellt und z. T. besichtigt, die Schwerpunktthemen im Sinn des Forschungsvorhabens aufweisen. Im Folgenden werden die Projekte jeweils auf einigen Seiten vorgestellt. Von der ursprünglichen Idee eines wiederkehrenden Schemas zur besseren Vergleichbarkeit wurde Abstand genommen, weil die Vorhaben sehr unterschiedliche Qualitäten und Schwerpunkte beinhalten, denen jeweils ein angemessener individueller Raum eingeräumt werden soll.

5.1 Herzkamp Bothfeld, Hannover-Hilligenwöhren – Gundlach GmbH & Co.KG

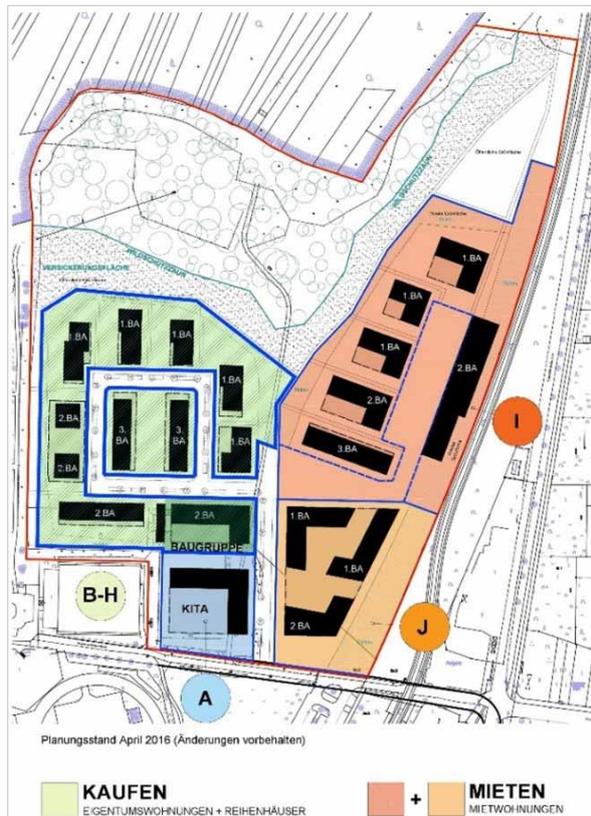


Abbildung 69 Lageplan der Bauabschnitte

Die Firma Gundlach hat in Hannover ein Grundstück zwischen der Burgwedler Straße und An den Hilligenwöhren mit einer Größe von 9,2 ha im Stadtteil Hannover-Bothfeld erworben. Die Fläche des Nettobaulandes beträgt ca. 4,5 ha.

Der Masterplanung berücksichtigt die Belange des Artenschutzes durch die Ausbildung der Bebauungskante zum Waldrand und einen differenzierten Waldabstand. Eine zentrale trichterförmige Öffnung der Bebauung zum Wald und eine weitere Grünschneise in Nord-Süd-Richtung ermöglichen die Durchströmung des Gebietes mit Kaltluft.

Im Nord-Osten befindet sich das das Baufeld I. Dort sind 101 Wohneinheiten als Mietwohnungsbau in einer IV-geschossigen Bauweise um einen Nachbarschaftsplatz angeordnet. Der ruhende Verkehr wird in einem II-geschossigen Parkhaus untergebracht. Das Parkdeck ist Teil eines Landschaftsbauwerks zur Abgrenzung gegenüber der Straßenbahntrasse.

Planungsrechtliche Situation

Das Grundstück liegt im Geltungsbereich des B- Plan Nr. 1784 (Satzungsbeschluss am 25.08.2016).

Die textlichen Festsetzungen beinhalten unter anderem folgende Punkte:

Art der baulichen Nutzung:	Allgemeines Wohngebiet
Maß der baulichen Nutzung (Z):	IV
Grundflächenzahl (GRZ):	0,4
Geschossflächenzahl (GFZ):	1,0

Projektziele und Beschreibung der Planung

Drei Schwerpunkte galten für die Projektziele. Sehr wesentlich war das Thema des Kostengünstigen Wohnens. Weiterhin sollte ein Null- bzw. Plusenergiequartier entstehen. Als drittes ehrgeiziges Ziel gilt der Bezugstermin Ende 2019 für den ersten Bauabschnitt.

Der Entwurf ist das Ergebnis eines Architektenwettbewerbs mit Beteiligung der LH Hannover. Ein wesentliches Kriterium war die Materialität der Fassade mit rotem Klinker. Die Architekten legten von Beginn an einen Fokus auf kostengünstiges Bauen. Ein beispielhaftes Element ist die Beschränkung auf nur zwei Fensterformate im gesamten Baufeld.

Als Zielgruppe für die Mietwohnungen sieht Gundlach Menschen mit mittleren Einkommen. Zusätzlich werden etwa ein Drittel der Wohnungen im Baufeld I öffentlich gefördert. Ein wesentlicher Hebel für kostengünstiges Wohnen sind effiziente Grundrisse. Mehr Zimmer sind für die Zielgruppe wichtiger als großzügige Räume.

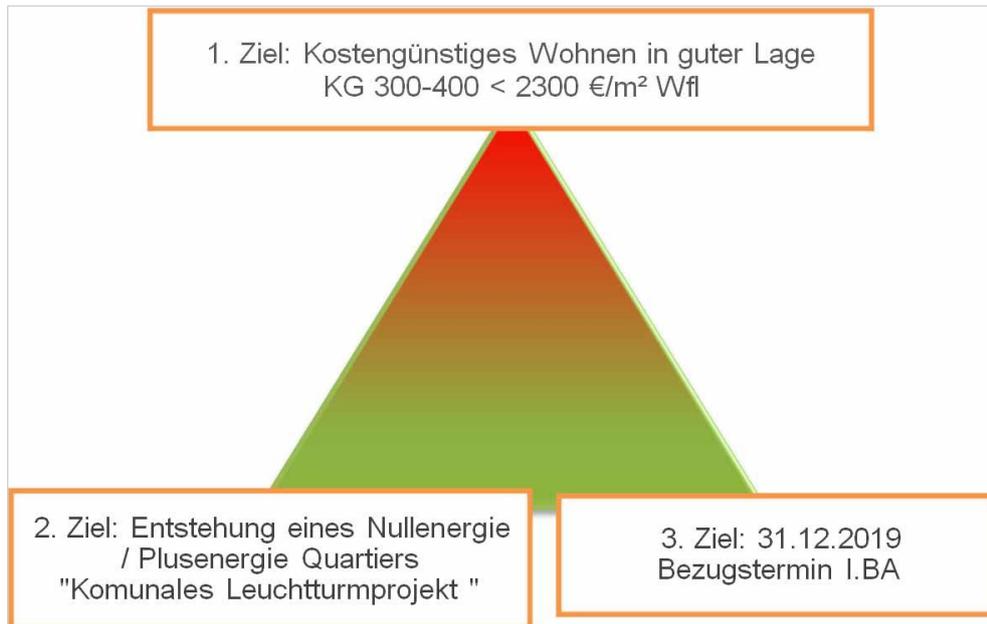


Abbildung 70 Projektziele

Die Grundstruktur der Häuser erlaubt effiziente und konsequent gestapelte Grundrisse. Im ersten Ansatz war der KfW-55-Standard vorgegeben. Nach Diskussion und Beratung im Projekt „Kostengünstiger und zukunftsfähiger Geschosswohnungsbau im Quartier“ wurde der Standard KfW-40 erreicht.

Es entstehen fünf Baukörper mit 3.5° geneigtem Dach Die leichte Anhebung des Erdgeschosses um 50 cm über das Straßenniveau sorgt in dem naturnahen Quartier für die Privatsphärenqualitäten von Hochparterregeschossen. Öffentlich zugänglich vom östlichen Anger und westlichen Fußweg spannen sich zwischen den Häusern breite Nachbarschaftshöfe auf, Lediglich Haus 15 orientiert seine ebenerdigen Zugänge zum südlichen Quartiersplatz.

Die Nachbarschaftshöfe sind stärker den jeweils anrainenden Häusern zugeordnet und werden durch Hauseingänge und Balkone belebt. Die Zugänglichkeit der Balkone im Hochparterre über Sitzstufen vermittelt zwischen den privaten Innenräumen sowie den Nachbarschaftshöfen und lädt zum Zusammensein ein. Letztere werden durch lose Heckenabschnitte und Sitzbänke gesäumt und können sowohl den Rahmen für Grillabende und Nachbarschaftsfeste, als auch für ein Fußballspiel oder Wettrennen bieten. Gleichzeitig wird über die zentrale Zone die Möglichkeit der Feuerwehraufstellung offengehalten. Hinter den säumenden „Nutzungsstreifen“, welche auch die Rasenrinnen des Entwässerungskonzeptes sowie Stellflächen für Gästefahrräder und Mülleimer integrieren, schließen sich Wiesenbereiche an, welche als gemeinschaftliche Gärten genutzt werden können. Diese tragen dem Anspruch Rechnung, das gesamte anfallende Regenwasser über Versickerung abführen zu können. In diesem Sinne sind auch die straßenbegleitenden Mulden durch Hecken in den Außenraum integriert.

Auf dem Baufeld I werden für die Bewohner 82 Stellplätze in einem zweigeschossigen Parkhaus östlich der Wohngebäude untergebracht.



Abbildung 71 Visualisierung Herzkamp – Bauabschnitt I

Planungskennzahlen

Der Planung lagen folgende Kennzahlen zum Maß der baulichen Nutzung (GRZ, GFZ, BMZ) zu Grunde:

GRZ 1	0,16
GRZ 2 (einschl. GRZ 1)	0,45
GFZ:	0,59
Die Nettoflächen (WF / NF) weisen folgende Aufteilung auf:	
WF (inkl. Terrassen, Balkone, Loggien zu 25%):	7.445,83 m ²
I1 (inkl. Terrassen, Balkone, Loggien zu 25%):	1.433,56 m ²
I2 (inkl. Terrassen, Balkone, Loggien zu 25%):	913,99 m ²
I3 (inkl. Terrassen, Balkone, Loggien zu 25%):	1.431,67 m ²
I4 (inkl. Terrassen, Balkone, Loggien zu 25%):	1.862,64 m ²
I5 (inkl. Terrassen, Balkone, Loggien zu 25%):	1.803,97 m ²
Bruttoflächen und Volumen (BGF / BRI):	
Bruttogeschossfläche (BGF) oi (a+b+c):	11.98,93 m ²
I1 (gesamt ui +oi):	2.284,27 m ²
I2 (gesamt ui +oi):	1.639,35 m ²
I3 (gesamt ui +oi):	2.284,28 m ²
I4 (gesamt ui +oi):	2.827,88 m ²
I5 (gesamt ui +oi):	2.946,15 m ²
Bruttorauminhalt (BRI) oi:	
I1 (gesamt ui +oi.):	41.354,21 m ³
I2 (gesamt ui +oi):	7.837,92 m ³
I3 (gesamt ui +oi):	5.553,14 m ³
I4 (gesamt ui +oi):	7.814,25 m ³
I5 (gesamt ui +oi):	9.797,49 m ³
I5 (gesamt ui +oi):	10.351,41 m ³



Abbildung 72 Lageplan für den ersten Bauabschnitt

Gebäudetechnik mit Geothermie

Die Grundversorgung mit Wärme für die Raumheizung und das Warmwasser erfolgt über elektrisch betriebene Wärmepumpen, die als Wärmequelle je nach Gebäudegröße 6 bis 10 Erdsonden mit einer Tiefe von 150 nutzen.

Die energetische Effektivität einer Wärmepumpe ist signifikant an das Niveau der Zieltemperatur gebunden. Aus diesem Grunde erfolgt die Wärmeverteilung für die Raumwärme über Flächenheizungen (Fußbodenheizungen) und für die Warmwasserbereitung über dezentrale Trinkwasserstationen je Wohnung mit elektrischer Nachheizung (keine thermische Desinfektion mit mehr als 60°C).

Um die Zahl der Erdsonden in der technisch notwendigen Zahl so klein wie möglich zu halten, wird parallel zur Wärmeerzeugung mit Wärmepumpen, die als Wärmequelle Erdsonden nutzen, eine Solarthermiefläche installiert. Die Solarthermiefläche dient der Warmwasserbereitung in den Sommermonaten und in den Übergangszeiten über die Wärmepumpen der Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser.

Um die CO₂ Bilanz für die Gebäude zu optimieren, werden 2 Power-Module (d.h. Module mit paralleler Solarthermie und Photovoltaiknutzung) installiert. Der Photovoltaikstrom kann somit bilanziell in der Primärenergiebilanz der Gebäude für den Eigenstrombedarf, Wärmepumpen, Heizungsumwälzpumpen usw. genutzt werden. Um den Jahreswärmebedarf so klein wie möglich zu halten, werden die Wohnungen mit einer dezentral kontrollierten Wohnraumlüftung ausgestattet, deren Wärmerückgewinnungsgrad deutlich über 80% im Jahresdurchschnitt liegt. Durch diese Maßnahme werden die Lüftungswärmeverluste auf das technisch notwendige Maß begrenzt und ein ausreichender Feuchteschutz für die Wohnungen sichergestellt.

Über Wärmetauscher erfolgt die parallele Anbindung von Erdwärmesonden und Solarthermiekollektoren an die „kalte Seite“ der Wärmepumpe. Auf der „heißen Seite“ der Wärmepumpe befindet sich ein 1000

Liter Pufferspeicher, der das System Wärmepumpe hydraulisch von den Wärmeverteilsystemen Fußbodenheizung und der dezentraler Trinkwarmwassererwärmung entkoppelt.

Die Verteilung des Heizwassers auf die Etagen erfolgt durch ein Zweileitersystem (Vor- und Rücklauf aus der Technikzentrale). Die notwendige Rücklaufbeimischung für die Fußbodenheizung, und raumweise Leistungsanpassung, erfolgt durch Mengenregulierventile in den wohnungsweisen Fußbodenheizverteilern.

Das Kaltwasser aus der Technikzentrale wird in den dezentralen Trinkwasserstationen durch Wärmetauscher und gegebenenfalls durch eine elektrische Nachheizung auf die notwendige Brauchwassertemperatur erwärmt.

In den Sommermonaten, und bei ausreichender solarer Einstrahlung in den Übergangsmonaten, erfolgt der Eintrag der notwendigen thermischen Energie über die Solarkollektorflächen – die Erdsonden können in dieser Zeit thermisch regenerieren.

5.2 MFH Brüxer Straße – GEWOBAU Erlangen



Abbildung 73 Ansicht Brüxer Straße in Erlangen

In der Brüxer Straße wird in zentrumsnaher Wohnanlage im Stadtviertel „Am Röthelheim“ ein Neubau mit 164 barrierefreien Wohnungen inklusive Tiefgarage entwickelt und umgesetzt. Die Bestandsgebäude mit 80 Wohneinheiten wurden hierfür zurückgebaut. Die neue Wohnanlage schließt an das nahegelegene Quartier „Housing Area“ (s.u.) an. Die Fertigstellung der Baumaßnahme erfolgt Ende 2018.



Abbildung 74 Luftbild Stadtteil „Am Röthelheim“

Projektziele

Im Wesentlichen sollte hier nachgewiesen werden, dass Sozialer Wohnungsbau unter der Vorgabe der Einhaltung der Fördergrenzen sowohl stadtplanerisch als auch architektonisch hochwertig und nachhaltig umgesetzt werden kann. Die Vorgaben der Förderung in den Kostengruppen 300 und 400 (max. 2.400 €/m²) werden mit rund 2.100 €/m² deutlich unterschritten.

Umsetzung Städtebau und Freiraumplanung

Als Ergebnis eines Architektenwettbewerbs orientiert sich die städtebauliche Ausrichtung an der Struktur der vormaligen Bebauung mit vier Nord-Süd gerichteten viergeschossigen Baukörpern. Durch die kompakte Bauweise entteht auch ein geringer Flächenverbrauch für den Neubau. Zur Schaffung von ruhigen Hofbereichen wurden einerseits zweigeschossige Riegel gegenüber dem Freibad geplant und zudem der Baukörper zur östlich begrenzenden Hartmannstraße fünfgeschossig ausgeführt. Eine fußläufige Erschließung des Gebiets erfolgt sowohl in der Nord-Süd-Richtung als auch West-Ost zur direkten Anbindung des angrenzenden Parks. Die Tiefgarage unter dem „privaten“ Hofbereich bietet Platz für 82 KfZ- und 328 Fahrradabstellplätze. Zusätzliche überdachte Fahrradständer sind direkt neben den Hauseingängen angeordnet. Der Straßenraum der südlichen Sackgasse wird als „Shared Space“ für Fußgänger, Fahrradfahrer und Anliegerverkehr beruhigt gestaltet und so zur einladenden Spiel- und Flanierstraße. Allen Erdgeschosswohnungen sind private Mietergärten zugeordnet.



Abbildung 76 Lageplan Brüxer Straße

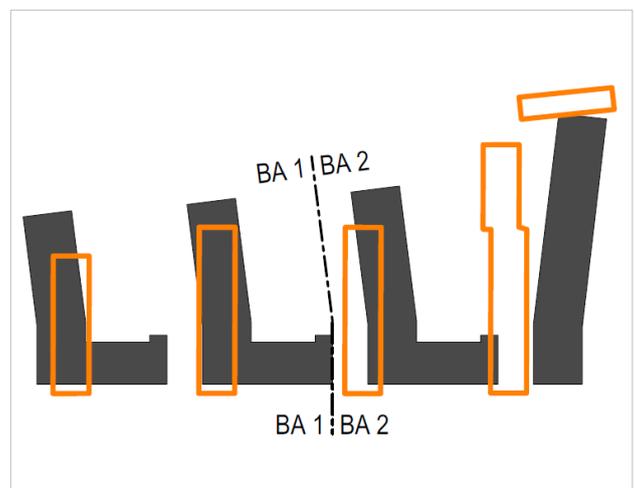


Abbildung 75 Abbruch und Neubau

Planungsrechtliche und allgemeine Voraussetzungen

- reduzierter Stellplatzschlüssel auf 0,5 für den Sozialen Wohnungsbau
- vorhandenes Fuß- und Radwegenetz und Anbindung an Öffentlichen Personennahverkehr
- Aufhebung der Notwendigkeit von öffentlicher Ausschreibung
- Vergabe an zumeist regionale Firmen mit handelbarem Auftragsvolumen
- Gebäudenetzwerk (Glasfaser) mit MSR (Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik) inklusive Störungsmeldung und Fernwartung nachrüstbar zur Gebäudeleittechnik (z.B. AAL, smart meter)
- rationelle Bauweise mit vier fortlaufenden Bauabschnitten, einhergehend mit geringfügigeren Belastungen für das nachbarschaftliche Umfeld und zumutbarer Arbeitsleistung für regionale Betriebe.

Umsetzung Objektplanung und Gebäudetechnik

- kompakte Gebäudekonfiguration und thermische Gebäudehülle ohne Vor- und Rücksprünge
- ökonomische Anordnung der Nassbereiche mit durchlaufenden Installationssträngen (alle übereinanderliegenden Wohnungen haben gemeinsame Installationsstränge)

- Schaffung eines neuen Fernwärmeanschlusses; Rückbau des bestehenden Gasanschlusses
- deutlich kürzere Bauzeit durch den Einsatz von vorgefertigten Installationswänden
- Trinkwasserstationen für hygienische Warmwasserbereitung in allen Wohnungen (keine Wasserbevorratung notwendig)
- zentrale Lüftungsanlage auf dem Dach mit geringfügigem Wartungsaufwand (Abluft über Küchen und Bäder mit Nachströmung über Fensterfalz)
- Nachhaltigkeit durch robuste Bauweise z.B. wenige, nur notwendige Türen mit Stahlzargen
- durch optimierte Grundrissanordnung wirtschaftliches Erschließungssystem mit nur wenigen Treppenhäusern möglich
- kleine, funktionale Bäder
- Raum- und Flächengewinn durch preisneutrale Fußbodenheizung und günstige Balkonflächen für Balkonschränke (zusätzliche Abstellfläche)
- übereinanderliegende Wohnungs-Typen (auch Rollstuhl-Wohnungen mit größerem Flächenbedarf)
- hohe Anzahl an gleichen Fensterformaten
- Ausführung einer Tiefgarage nicht als Großgarage sondern als zwei kostengünstigere Mittelgaragen



Abbildung 77 Gemeinschaftliche Freifläche Innenhof
– © GEWOBAU/HOCH5

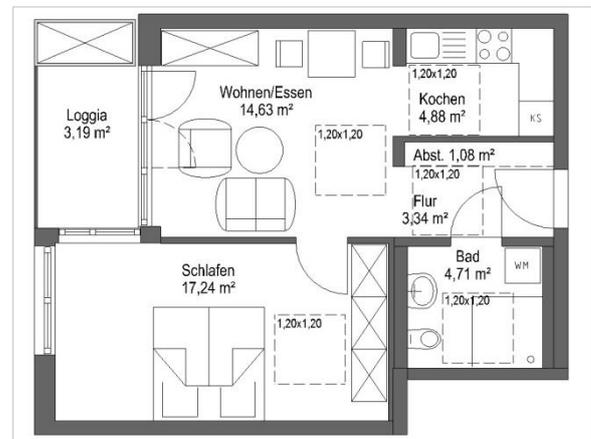


Abbildung 78 Darstellung kompakter Grundriss mit Abstandsflächen

Umsetzung Konstruktion und Materialien

- durch WU-Betonbauweise im Untergeschoss und auf den Flachdächern der Tiefgarage keine zusätzliche Abdichtung nötig
- Dämmung des Untergeschosses nur im Rahmen des Wärmeschutznachweises
- Preisvorteil durch Verwendung von regionalen Baustoffen wie z. B. Kalksandstein-Konstruktion in den Obergeschossen
- Dreischeiben-Wärmeschutzverglasung mit Kunststoffprofilen und Folienbeschichtung
- Bodenbelag aus hochabriebfesten Vinyl in Dielenform (auch leichtes Austauschen bei Beschädigung möglich)
- Wände nur mit Farbbeschichtung (keine Tapeten- oder Vliesbeschichtung)
- Wärmedämmverbundsystem-Fassaden mit Dünnputz
- günstiges Dämmsystem im Dachbereich (EPS + PU)
- keine mechanische Entwässerung im Untergeschoss (Tiefgarage mit Verdunstungsrinnen, Lichtschächte ohne Anschluss an die Entwässerung)
- Tiefgarage mit natürlicher Be- und Entlüftung
- günstige Materialien auch im Außenbereich und auf den Terrassen (Betonpflaster, einfache Bepflanzung, sparsame Ausstattung)



Abbildung 79 Neubau Brüxer Straße
© GEWOBAU/HOCH5

Kostentreiber

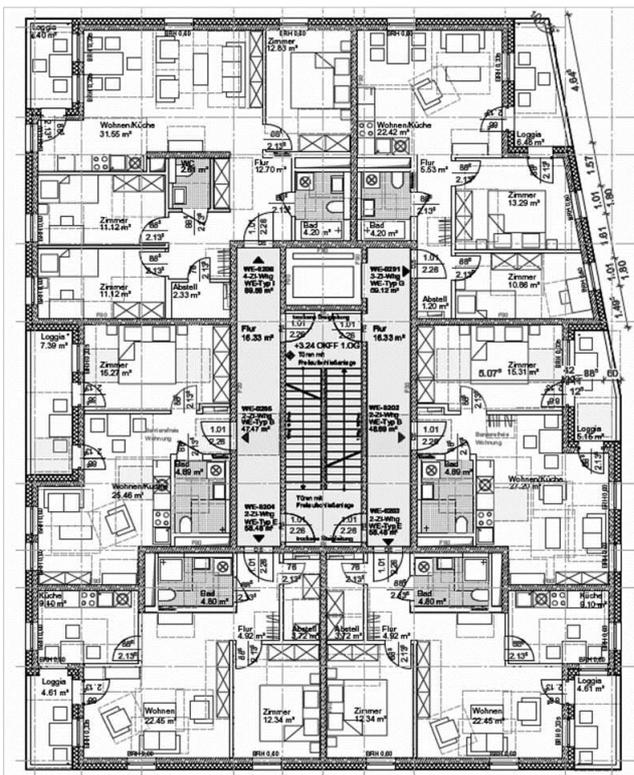
Bei der Bauabwicklung entstanden erhebliche Mehraufwendungen durch die erhöhten Anforderungen an die Behandlung des Aushubs und die Baugrubensicherungsmaßnahmen. Es wurden überschnittene Bohrpfehlwände inklusive einer Bauwasserhaltung notwendig, um die angrenzenden Leitungstrassen zu schützen. Zusätzlich musste eine Baubrücke über den benachbarten Bach errichtet werden, um eine angemessene Andienung durch LKWs zu ermöglichen. Hier entstanden Mehrinvestitionen von rund 100 €/m² Wohnfläche.

5.3 Achtgeschossiger als KfW EH 40 PLUS, Sewanstraße – HOWOGE Berlin



Abbildung 80 Visualisierung von zwei Gebäuden in der Sewanstraße

In zentrumsnaher Lage Nähe Ostkreuz entsteht im Bereich von vier- bis achtgeschossigen Bestandsgebäuden eine Nachverdichtung mit zwei achtgeschossigen Baukörpern. Die Bruttogeschossfläche der beiden Gebäude beträgt 8.200 m², die Wohnfläche 5.400 m². Es handelt sich insgesamt um 99 WE, von denen 50% Zwei-Zimmer-Wohnungen sind. Die durchschnittliche Wohnfläche beträgt 56m² pro Wohneinheit. Die lichte Geschosshöhe im Erdgeschoss beträgt 3,10 m, in den Obergeschossen 2,66 m. Das A/V Verhältnis liegt sehr günstig mit 0,28 (1/m). Dadurch wird mit nur 20 cm Dämmdicke der Außenwand und einem U-Wert von 0,16 W/(m²K) der Standard KfW EH 40 Plus erreicht. Das umbaute Volumen der



beiden Gebäude beträgt 12.690m³, die Hüllfläche 3.527m². Fahrradstellplätze werden im Außenbereich nachgewiesen mit einem Stellplatzschlüssel von 2 je WE. Die Gebäude wurden so geplant, dass der Baumbestand auf dem Grundstück zu großen Teilen erhalten bleiben kann. Dazu trägt auch der Umstand bei, dass keine Unterkellerung geplant wurde. Bei der Grundrissgestaltung wurde das HOWOGE-Anforderungsprofil sehr präzise eingehalten, sodass sehr funktionale und sehr gut möblierbare Wohnungen zur Verfügung stehen.

Abbildung 81 Grundriss für ein Normalgeschoss des BV Sewanstraße. Der Baukörper ist sehr kompakt und weist deshalb einen sehr hohen Effizienzstandard auf.

Energetische Berechnung

Für das Bauvorhaben Sewanstraße waren energetische Berechnungen nach drei Verfahren erstellt worden. Die Rechenwege nach DIN 18599, nach DIN 4108-6/4701-10 und nach Passivhaus Projektierungspaket (PHPP) konnten gegenüber gestellt werden. Wie zu erwarten gab es trotz kongruenter Eingabeparameter deutliche Unterschiede in den Ergebnissen. Das am wenigsten realistische Ergebnis wurde nach DIN 18599 erzielt.

In einem integralen Planungsprozess wurden Verbesserungen gegenüber dem ursprünglich geplanten Standard diskutiert und in das Leistungsverzeichnis übernommen. Auf dem Weg konnte der Standard KfW EH 40_{PLUS} erreicht werden. Die Heizung kann bei der verbesserten Gebäudehülle und Einbau einer Komfortlüftung deutlich geringer ausgelegt werden.

Wirtschaftlichkeit

In das Wirtschaftlichkeitstool, das im Zuge des DBU-Projektes entwickelt wurde, wurden die Kennwerte der Sewanstraße eingetragen. Die Ergebnisse aus dem Planungsprozess werden in den folgenden beiden Diagrammen dargestellt.

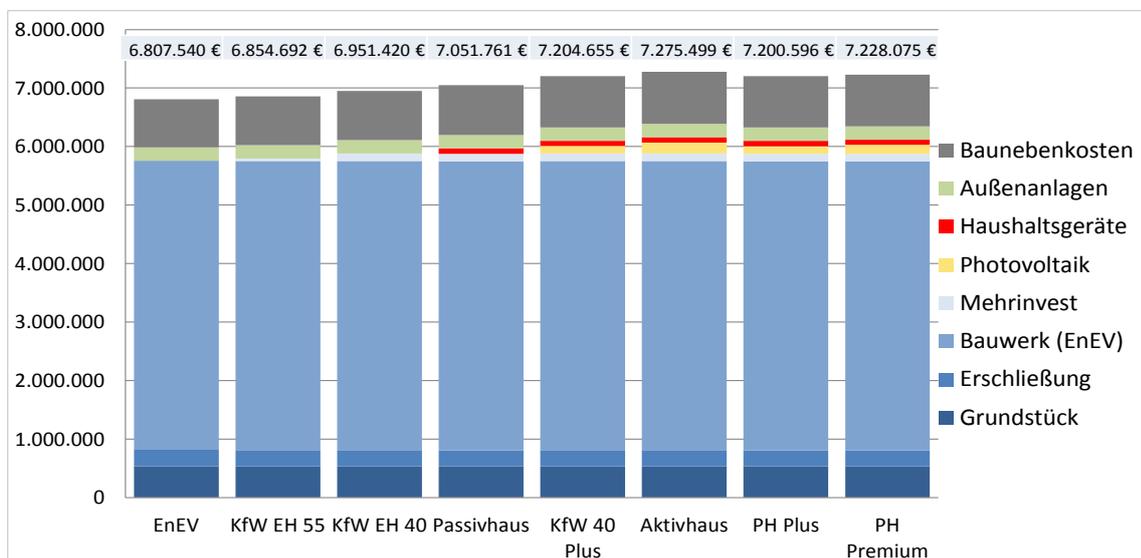


Abbildung 82 Investitionskostenvergleich von Effizienzstandards während der Planungsphase

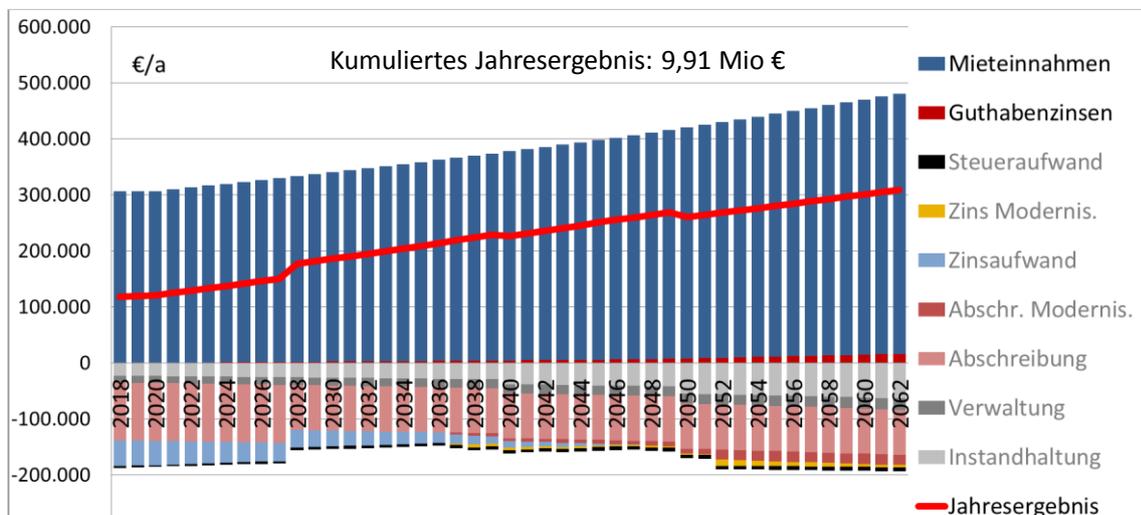


Abbildung 83 Kumuliertes Jahresergebnis der VoFi-Berechnung – Standard KfW EH 40_{PLUS}

Gebäudetechnik

Für die beiden Gebäude liegt ein Fernwärmeanschluss vor. Die Heizung und Warmwasserbereitung erfolgt dezentral über Wohnungsstationen. Pro Wohnung wurde eine wohnungszentrale kontrollierte Wohnraumlüftung installiert. Die Plusenergie-Komponenten konnten über sehr hochwertige Photovoltaikmodule auf dem Dach in Verbindung mit Batteriespeicher im EG sichergestellt werden. Die PV-Anlage hat eine Leistung von $145 \text{ kW}_{\text{peak}}$. Sie wurde in Ost-West-Ausrichtung aufgestellt mit einem Reihenabstand von 40 cm. Der spezifische Ertrag pro kW_{peak} beträgt 863 kWh/a . Es mussten 402 hochwertige Module mit einer mittleren Leistung von $360 \text{ W}_{\text{peak}}$ pro Modul verwendet werden. Die PV-Anlage wird von der HOWOGE WÄRME betrieben und der Strom an die Mieter verkauft. Die Achtgeschossigkeit bringt die Umsetzung der KfW-Anforderungen an ihre Grenzen. Das Plusenergiekonzept wird durch zwei Stellplätze mit Elektroladestation abgerundet.

Die Wohnungsstationen mit Warmwasser Aufbereitung und Heizkreis-Verteiler für Fußbodenheizung weisen folgende Vorteile auf:

- Entfall von Untersuchungen zur Legionellenproblematik
- weniger Leitungsführung im Haus
- Entfall der Zirkulation
- Entfall von WW – Zähler in den Wohnungen
- geringere Wärmeverluste, da die Warmwassertemperatur sehr nah an der Entnahmestelle erzeugt wird. Dadurch werden die Verluste reduziert und mithin die Kosten.

Batteriesysteme & Mieterstrom

Batteriesysteme sind in den letzten vier Jahren auf die Hälfte des derzeitigen Preises gefallen, Batteriezellen sogar auf ein Viertel. Wie bereits beschrieben beträgt die PV-Anlagengröße $145 \text{ kW}_{\text{peak}}$. Die Module wurden in Ost-West-Richtung auf dem Dach montiert mit Hochleistungsmodulen LG electronics 370 W . Das Wechselrichterkonzept sieht $4 \times 33 \text{ kVA}$ von Solaredge vor. Notstromfähigkeit wurde nicht eingeplant. Für die Batteriespeicher war eine platzsparende Unterbringung im EG-Bereich erforderlich. Aufgrund des fortgeschrittenen Bauablaufs waren die Einbringungsöffnungen für die Batteriespeicher zu beachten mit einer Tür-Engstelle von $1,00 \text{ m}$ Breite und $2,10 \text{ m}$ Höhe. Günstig war die Unterbringung direkt neben dem Elektro-Anschlussraum, um Leitungen kurz halten zu können. Auf dieser Basis wurde Mitte 2018 der Markt für das Projekt Sewanstraße analysiert: Von 40 Anbietern konnten 19 potentielle Lieferanten identifiziert werden. Die Ausschreibung ergab Kosten für das Batteriesystem zwischen 550 und 950 €/kWh . Fast alle angebotenen Systeme waren Li-Ionen basiert.

Die alte KfW EH 40 Plus Regelung führt zu unnötig großen Batteriespeichern. Durch die neue Berechnungsvorschrift sind die Speicher ca. 17% kleiner möglich. Ohne relevanten Verlust hinsichtlich des Versorgungsgrades könnte der Speicher sogar nochmals kleiner ausgelegt werden.

Variante	Solar PV-Anlage	Batteriespeicher	Zyklen pro Jahr	Netzeinspeisung	Vor-Ort Verbrauch	Versorgungsgrad
1. KfW 40 plus alt	149 kWp	150 kWh	198	44,9 MWh	66,8 %	42,6 %
2. KfW 40 plus neu	149 kWp	125 kWh	234	45,4 MWh	66,5 %	42,4 %
3. Batteriespeicher-optimiert	149 kWp	80 kWh	323	48,8 MWh	64 %	41 %
4. Kosten-optimiert	99,5 kWp	80 kWh	266	18,5 MWh	78,6 %	32,2 %

Abbildung 84 Sensitivitätsanalyse zur Auslegung des Batteriespeichers

Bis zu einer Verkleinerung auf 80 kWh ist der Versorgungsgrad nach wie vor bei knapp über 40 Prozent.

Die HOWOGE WÄRME führt das Mieterstrom-Modell als Investor und Betreiber durch für den Gebäudeeigentümer HOWOGE. Das „Mieterstromgesetz“ stellt genau genommen eine Änderung des EEG 2017 dar und ist kein eigenes Gesetz. Die Förderung erfolgt als Mieterstromzuschlag gem. §§ 19, 21 Abs. 3 EEG E. Die Förderdauer beträgt 20 Jahre zzgl. des Restjahrs bis zum 31.12. Die Förderhöhe entspricht der Differenz zwischen EEG Vergütung bei Inbetriebnahme minus 8,5 €ct./kWh (§23b). Das entspricht derzeit etwas weniger als 2 €ct./kWh, Tendenz fallend und stellt im Vergleich zu den Gesamtinvestitionen und dem Aufwand keinen sehr hohen Anreiz dar.

Kosten

Die Mehrinvestitionen für den Standard KfW EH 40 betragen inklusive Lüftungsanlage 500.000 €. Dem steht der Teilschulderlass für 99 Wohnungen á 5.000 € in Höhe von 495.000 € gegenüber. Das heißt der erhöhte zukunftsfähige Standard wird kostenneutral erreicht bei gleichzeitiger Erhöhung des Gebäudewertes. Bezogen auf die 5.400 m² Wohnfläche betragen die spezifischen Mehrkosten für Kostengruppen 300/400 pro m² Wohnfläche 76 €, bei einer Annahme von 18 % für die Nebenkosten (KG 700). Dabei ist zu beachten, dass die Standards im Nachhinein geändert wurden, was üblicherweise etwas höhere Kosten erzeugt als eine direkte Optimierung auf den Standard KfW EH 40. Zudem war die Vergabe bereits durchgeführt worden, sodass es sich um eine Nachverhandlung handelt, die in den aktuellen Zeiten hoher Baunachfrage grundsätzlich zu einem eher höheren Ergebnis führt.

Photovoltaikanlage und Batteriespeicher erforderten zum Erreichen des Standards KfW EH 40 Plus eine Mehrinvestition von 370.000 €, das sind 69 €/m². Zu berücksichtigen ist dabei, dass die sehr hohe Modulqualität zu deutlichen Mehrkosten geführt hatte. Hocheffizienzmodule mit Leistungsoptimierern sind gegenüber standardisierten Modulen um den Faktor 1,5 bis 2 teurer. Die Module haben einen Anteil am Preis einer PVA von ca. 40 %. Zudem ist zu beachten, dass es Batteriesysteme nur in „Kapazitätspaketen“ gibt, sodass im Allgemeinen etwas höhere Kapazitäten gebaut werden müssen als in den KfW Kriterien gefordert. Es ist davon auszugehen, dass ohne die beschriebenen Erschwernisse mit Standardmodulen Kosten für die PV-Anlage inkl. Batterie um 50 € pro m² Wohnfläche zu erreichen gewesen wäre.

Zusammengefasst lässt sich resümieren:

- Die geringe Dachfläche im Verhältnis zur Wohnfläche durch die Achtgeschossigkeit führt zu einer

kostenträchtigen „High- End“ PV Anlage.

- Da die PV Anlage eine höhere Leistung als 100 kW_{peak} aufweist, ist seitens des Betreibers eine Direktvermarktung erforderlich, was einen zusätzlichen Kostenpunkt darstellt.
- Erzeugungsanlagen größer 100 kVA müssen nach VDE 4105 mit einem sehr teurem Netzanschluss ausgestattet werden.
- Große PV Anlagenleistung führte aufgrund der KfW-Förderregelungen vor dem 17.04.2018 zu einem großen Batteriespeicher. Durch die neuen Förderregularien stellen sich die Anforderungen günstiger dar.
- Unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten wurden die Anlagen im Mieterstromkonzept umgesetzt. Aus dem Grund ist eine Ost- West Auslegung vorteilhaft, weil ein gleichmäßigerer Tageslastgang erzielt wird.

Die gesamten Mehrinvestitionen für den Standard KfW EH 40 Plus betragen 870.000 €. Im Vergleich zum Standard KfW EH 55 steht dem ein erhöhter Teilschulderlass für 99 Wohnungen á 10.000 € in Höhe von 990.000 € gegenüber. Trotz der beschriebenen Besonderheiten, die zu erhöhten Kosten führten, ist der erhöhte Standard bereits aus Sicht der Investitionskostenseite durch die Förderung ein Gewinn. Dazu kommt der höhere und zukunftsfähige Gebäudestandard. Nicht zu vergessen ist der Ertrag durch die PV-Anlage, der bei 145 kW_{peak} und einem kalkulierten spezifischen Ertrag 863 kWh/kW_{peak} einen Gesamtertrag von über 125.000 kWh pro Jahr bringt. Bei einem Mischerlös von 0,10 €/kWh, der bei einer hohen Eigenstromnutzung zu erzielen sein müsste, ergibt das Erträge von 12.500 €/a bzw. 250.000 € in 20 Jahren, die dem Cashflow für das Gebäude hinzuzurechnen sind.

Das Projekt Sewanstraße stellt ein hervorragendes Beispiel für hohe Wirtschaftlichkeit durch die KfW Effizienzhausförderung dar, die trotz sehr schwieriger Rahmenbedingungen zu einem wirtschaftlichen Erfolg geführt hat.



Abbildung 85 Bautafel Sewanstraße 20 – 22



Abbildung 86 Fassadendetail mit Außenluftdurchlass der wohnungszentralen Lüftungsanlagen

Die Rohbauten der Sewanstraße wurden im September 2018 fertiggestellt. Beim Projektworkshop Ende Oktober 2018 befand sich der Ausbau in vollem Gange und es konnte bereits eine Musterwohnung besichtigt werden, in der Estrich und Trockenbau fertiggestellt waren. In den sonstigen Wohnungen war ein großer Teil der Rohmontage erkennbar, insbesondere die bereits eingebauten Lüftungsanlagen. Die Gebäudetechnik-Zentrale im Erdgeschoss befand sich im Rohmontage-Stadium. Die Fassaden der beiden Gebäude waren zum Teil fertig gestellt inklusive Teilflächen mit Riemchen-Bekleidung.



Abbildung 87 Aufbau des Wärmedämmverbundsystems mit Riemchenbekleidung



Abbildung 88 Innenansicht eines Wohnzimmers



Abbildung 89 Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung – Montage unter der Baddecke



Abbildung 90 Ansicht am Tag der Besichtigung

5.4 Günstig wohnen „Im Wiener“ – ABG FRANKFURT HOLDING



Abbildung 91 Projektansicht „Im Wiener“ von der Erschließungsseite

In Frankfurt-Oberrad erstellte die ABG FRANKFURT HOLDING 46 Wohnungen in der Gräfendeichstraße 52-56 und Ludwig-Gallmeyer-Straße 13-19. In Zusammenarbeit mit dem Architekturbüro schneider+schumacher wurde ein Neubau realisiert, in dem die Nettokaltmiete maximal 10 Euro je Quadratmeter beträgt. Auf dem Grundstück wurde das Konzept durch zwei Gebäude mit Satteldach umgesetzt. Sie umfassen 2-, 3- und 4-Zimmer-Wohnungen auf drei bzw. vier Vollgeschossen und eine Tiefgarage mit 20 Stellplätzen.

Optimierte Grundrissplanung

Es wurde bei der Planung konsequent auf kostengünstige Lösungen geachtet. Städtebaulich stellen klare und einfache Baukörper die Grundlage für eine optimierte Entwurfsplanung dar. Ein einfaches Gebäudekonzept in Schottenbauweise mit günstigen statischen Rahmenbedingungen ist Voraussetzung für die kostengünstigen Lösungen. Bei der Grundrissplanung wurden optimierte Raumgrößen erzielt und die Erschließungsflächen reduziert. Zudem war es Ziel der Überlegung, einen variablen Wohnungstypus zu entwickeln, der mit gleicher Grundkonzeption variabel einsetzbar ist. Auf Kellerräume wurde verzichtet. Es wurden jeweils 6 m² Abstellraum in den Wohnungen untergebracht. Die Treppenhäuser der beiden Gebäude liegen außen, wodurch das beheizte Bauvolumen reduziert wird und keine Einhausung stattfinden muss. Die Erschließung erfolgt über den Laubengang. Ein Aufzug wurde nicht erstellt, es ist jedoch eine Nachrüstung möglich. Stellplätze wurden auf ein Minimum reduziert, was in Verbindung mit Mobilitätskonzepten möglich war.

Kostengünstige Konstruktionsaufbauten

Einfache Konstruktionen und Wiederholung von Bauelementen wie Treppen und Fenster tragen zu niedrigen Baukosten bei. Die Konstruktionsaufbauten für die Außenbauteile konnten konsequent einfach ausgeführt werden. Das Mauerwerk der Außenwände wurde einschalig und nicht tragend aus LHL mit einer Wärmeleitfähigkeit von 0,07 W/(mK) erstellt, was bei 4 cm hochwertigem Dämmputz zu einem U-Wert von gut 0,16 W/(m²K) führt bei einer Gesamtwanddicke von 41 cm. Vollständiger Verzicht auf Schneiden von Steinen durch konsequentes Ausführen des Mauerwerk-Rasters senkt den Arbeitsaufwand beim Mauern deutlich. Die Spannweite der Decken mit einem Raster von 6 m führt zu Deckendicken von 22 cm, was zugleich den Schallschutz optimiert. Aufgrund des zentralen Gebäudetechnikkonzepts konnte der Fußbodenaufbau auf 1,5 cm Dämmung, 4,5 cm Estrich und 1 cm Oberboden beschränkt werden. Diese sehr geringe Aufbauhöhe von 6 cm ermöglicht Einsparungen bei der Rohbauhöhe, die mit genau 2,51 m Rohbauhöhe mit 5 Steinlagen á 50 cm bzw. 10 Lagen á 25 cm ausgeführt wurde. Die Zwischenwände bestehen aus 22 cm Stahlbetonwänden. Die Spachtelung der Wände und Decken erfolgte mit nur 2 mm Dicke.

Gebäudetechnik

Das Grundziel des Energiekonzepts lag darin, möglichst Passivhausstandard und optimierte Kosten zu verbinden. Abweichungen davon ergeben sich aus dem geringfügig ungünstigeren U-Wert der Außenwand und vor allem aus dem Lüftungskonzept. Das Planungsteam hatte im Fokus sowohl niedrige Investitions- als auch Verbrauchskosten unter Berücksichtigung von Flächenverbrauchskosten. Die Heizung ist in jeweils einer Dachzentrale je Gebäuderiegel untergebracht. Es befindet sich keine Gebäudetechnik im Keller. Gas-Brennwerttechnik in Verbindung mit einer Abluft-Wärmepumpe aus dem Lüftungssystem sorgen für die Wärmebereitstellung. Deshalb wurde das Lüftungskonzept nicht mit Komfortlüftung, sondern einem Abluftsystem erstellt, das hinsichtlich des Luftvolumens optimiert ist, um die Lüftungswärmeverluste zu minimieren. Das Heizungs- und Warmwasserkonzept wurde in Bezug auf folgende Punkte optimiert: Vertikale Heizungsverteilung an nur drei Stellen je WE mit kostengünstigen Heizkörpern und Verzicht auf Heizung im Abstellraum. Die vertikalen Heizleitungen verlaufen in den Leichtbauwänden mit optimierter Ausführung, sodass die Verlegung in 10-cm-Gipskartonwänden möglich ist.

Alle Wasserstellen sind in der Mitte konzentriert, wodurch sehr kurze Verteilungen für die Warmwasserbereitung möglich waren. Frischwasserstationen wurden mit niedriger Systemtemperatur unter Wahrung der Trinkwasserhygiene ausgeführt, indem die Verteilungen innerhalb der Wohnungen sehr kurz waren mit einem Leitungsvolumen deutlich unter den geforderten 3 Litern im Sinn der Legionellenprophylaxe. Es fand eine Bündelung der Gebäudetechnik weitestgehend in einem vertikalen Schacht (S/H/L/E) mit kurzen Anbindungen zu Sanitärelementen und Küche statt. Im Planungsteam wurde um die Reduktion eines jeden Meters Heizleitung und E-Kabels gekämpft. Durch konsequent kostenoptimierte Planung wurde eine sehr wirtschaftliche Lösung in der Wohnanlage erreichen. Es fand keine TGA-Installation in Decken, Betonwänden (Gebäudetrennwänden), Außenwänden im und Estrichbereich statt. Die E-Verteilung erfolgte nicht auf der Rohdecke und nicht auf der Bodenplatte, bei Deckenauslässen lag die Kabelführung in einem Edelstahlrohr. Installation an der Decke wurde nur im Flurbereich zugelassen, da dort ohnehin eine Gipskarton-Verkleidung in diesem kleinen Bereich angebracht wurde.

Ergänzend wurde eine Photovoltaikanlage installiert mit einer Leistung von 0,5 kW_{peak} je Wohneinheit. Der Strom wird weitestgehend für die Eigenversorgung der Gebäudetechnik und den Gemeinschaftsstrom verwandt.

Ausschreibung

Die Ausschreibung erfolgte nach Gewerken, allerdings gebündelt, sodass möglichst wenig unterschiedliche Ansprechpartner auf der Baustelle sind. Folgende Pakete wurden angestrebt:

- Rohbau
- Dachdecker, Blecharbeiten & Zimmerer
- Fenster, Haustüren
- Trockenbau, Maler, Putz, Innentüren
- Estrich, Oberboden, Fliesen
- Außenputz
- Gebäudetechnik.

Die ABG arbeitet bevorzugt mit Bauteams. Im Vergleich dazu führen Vergabeverfahren für öffentliche Ausschreibungen zu fünfzehn bis zwanzig Prozent höheren Baukosten nach Einschätzung der Diskussionsbeteiligten.

Kosten und Wirtschaftlichkeit

Die angestrebten Kosten von etwa 1.500 €/m² (KG 300/400 inkl. MWSt.) wurden eingehalten, obwohl zur Bauzeit ein hoher Kostendruck in Frankfurts Baubranche herrschte.

Der Mietpreis liegt ca. 20 Prozent unter üblichen Neubaumieten und ca. 33 Prozent unter den Preisen auf dem freien Wohnungsmarkt in Frankfurt. Die beiden Wohnhäuser wurden erstmals im „Frankfurter Modell“ gebaut. Die ABG als Bauherr setzte bei diesem Projekt gemeinsam mit den Architekten, Tragwerksplanern und Gebäudetechnikern ein Experiment um, mit dem aufgezeigt werden soll, wie ein Wohnungsneubau bei heutigen Rahmenbedingungen qualitativ hochwertig und energieeffizient aber dennoch preisgünstig dargestellt werden kann. Dabei wird auch zukünftig nicht an der Energieeffizienz gespart, sondern es werden Effizienz und erneuerbare Systeme konsequent weiterentwickelt, um dauerhaft niedrige Nebenkosten für die Mieter zu erhalten – oder eine Flatrate für Heizen, Warmwasser und Haushaltsstrom wie im Aktivhaus in der Speicherstraße.

5.5 Quartier Brockeiche mit 58 Wohnungen – BGW Bielefeld

Im Zuge der Quartierentwicklung Milse rund um die Brockeiche sollen 4 Gebäude mit nicht zukunftsfähigen Wohneinheiten abgerissen werden. Gemäß ursprünglicher Planung sollte eine dreigeschossige Bauweise mit 58 Wohneinheiten in zwei Baukörpern errichtet werden.

Der nördliche U-förmige Baukörper umfasst 5 Gebäude, die durch einen Laubengang miteinander verbunden werden sollten.

Konzeptionell ist der Neubau als „Bielefelder Modell“ geplant. Dieses Konzept steht für ein quartiersbezogenes Wohnen mit umfassender Versorgungssicherheit ohne Servicepauschale und wird von der BGW bereits seit Mitte der 1990er in vielen Stadtteilen erfolgreich umgesetzt.

Es basiert auf folgende Säulen:

- Barrierefreie Wohnungen, z.T. rollstuhlgerechte Wohnungen
- Servicestützpunkt mit 24h Präsenz eines ambulanten sozialen Dienstleisters (Pflege, Betreuung, Eingliederungshilfe etc.)
- Wohncafé als Treffpunkt und zusätzlichem „Wohnraum“ für die Nachbarschaft im Quartier
- Angebot eines täglichen, selbstorganisierten Mittagstisches
- Vielfältige weitere ehrenamtlich getragene Angebote
- Aktive Nachbarschaftshilfe
- Begegnung von Generationen u.v.m



Abbildung 92 Brockeiche – Lageplan der ursprünglichen Planung

Im der südlichen Grundstückshälfte soll eine Mehrfamilienhausbebauung u.a mit 4-Raum-Wohnungen entstehen. Durch die Neustrukturierung wird die Erschließung von Süden erfolgen.

Die Gebäude im östlichen Teil des Grundstücks wurden bereits auf ein energieeffizientes Niveau modernisiert.

Der energetische Zielstandard wird als KfW-Effizienzhaus 55 angestrebt. Da das Gebäude aufgrund der

städtebaulichen Anforderungen eher feingliedrig strukturiert ist und das Staffelgeschoss versetzt zu den beiden unteren Ebenen liegt, gibt es zahlreiche Zwangspunkte, die eine kompakte Bauweise mit günstigem A/V-Verhältnis nicht ermöglichen. In der Folge hätte eine höhere Effizienzklasse zu deutlich erhöhten Kosten geführt. Erd- und Obergeschoss sind in Massivbauweise geplant, das Staffelgeschoss in Leichtbauweise. Kellergeschoss und Sohle erfolgen in Stahlbetonbauweise (WU-Beton) mit Flächengründung. Das Gebäude ist teilunterkellert. Eine besondere Herausforderung der Planung stellen die Laubengänge durch den Höhenversatz zum Wohnraum dar, vor allem durch die Wohnbereiche, die unter dem Laubengang liegen. Dort ist eine hochwertige Dämmung unterzubringen bei gleichzeitiger Einhaltung der korrelierenden Höhen von Decke und Fertigbelag. Hinsichtlich des Energiekonzepts waren sechs Varianten hinsichtlich der Dämmstoffstärken und des Förderstandards untersucht worden, um zwischen Standard KfW EH 55 und KfW EH 40 entscheiden zu können. Aufgrund der erschwerenden Besonderheiten fiel die Entscheidung auf den 55er Standard. Insbesondere die Dämm-Einschränkungen im Bereich des Laubengangs spielen dabei eine wichtige Rolle aber auch das ungünstige A/V-Verhältnis der Baukörper.

Entscheidend ist allerdings das Heizsystem. Zunächst wurde eine Wärmepumpen-Lösung favorisiert, um eine Kopplung zwischen erneuerbaren Energien (PV) und Wärme herzustellen. Dem stehen die hohen Kosten auf der Elektro-Seite ebenso entgegen wie die erhöhten Kosten der Wärmepumpe. Dies gilt trotz der Notwendigkeit, bei der nunmehr intendierten Pelletvariante einen zusätzlichen Kellerraum als Lager errichten zu müssen.

Als Kalkulationsgröße für die Kostengruppen 300/400 ist die BGW von ca. 2.000,-€ /m² Wohn-/Nutzfläche ausgegangen.

Ende 2017 wurde das Projekt „Brockeiche“ ausgeschrieben. Das Ergebnis der Ausschreibung ergab eine deutliche Kostenüberschreitung. Bei Mieten von 5,25€/m² für die öffentlich geförderten Wohnungen und 8,50€/m² für freifinanzierte Wohnungen ergab sich ein unwirtschaftliches Ergebnis für die BGW.

Derzeit wird die Planung so angepasst, dass ein tragfähiges Ergebnis erreicht werden kann.

Erste kostensparende Veränderungen konnten bereits ermittelt werden:

- Kopplung der Gebäudeteile und Reduzierung von Vorsprüngen in der Fassade
- Reduzierung der Verkehrsflächen
- Reduzierung der Kellerflächen
- Veränderung des „Staffelgeschosses“, nach neuer Bauordnung NRW (Januar 2019) möglich, mit einer Verschiebung auf Außenwände der unteren Geschosse.
- Planung von mehr vermietbarer Wohnfläche

Es müssen alle Möglichkeiten der Kostenreduzierung genutzt werden, damit hier ein Neubau überhaupt realisiert werden kann. Dies führt durch die angespannte Kostensituation evtl. auch zu einer Verschlechterung des Versorgungssystems und mithin des energetischen Standards. Eine hochwertig gedämmte Gebäudehülle wird aber unbedingt umgesetzt, damit die Zukunftsfähigkeit des Quartiers erhalten bleibt.

Die weiteren Schritte im Planungsverfahren sind die Abstimmungen der Grundrisse mit den Projektbeteiligten, mit dem Bauamt und den Fördergebern. Danach erfolgt die Aktualisierung des Angebotes durch den Mindestbieter der Ausschreibung. Auf dieser Basis kann die Umsetzung des Projektes erneut geprüft werden.

5.6 Wohnprojekt 5 im Lipizzanerweg – BGW Bielefeld

Die Idee für das „Wohnprojekt 5“ entstand im Jahr 2012, als sich eine Gruppe formierte, die gemeinsames Wohnen realisieren wollte. Die Lebensziele und Werte der Gruppe sind vor allem durch folgende Aspekte geprägt:

- Generationsübergreifend in gegenseitiger Verantwortung
- Gemeinsam und zugleich individuell
- Unabhängig von kulturellen, sozialen und religiösen Hintergründen
- Wertschätzend und solidarisch.

Im Jahr 2014 wurde ein Kooperationsvertrag zwischen BGW und „Wohnprojekt 5“ geschlossen. Zudem erfolgte ein Vertragsabschluss mit dem Bielefelder Architekten Klaus Beck, der Erfahrungen mit Baugruppen und nachhaltigem Bauen aufweisen konnte. Der Kauf des Grundstücks erfolgte durch die BGW.

Im Jahr 2015 hat das Architekturbüro in Zusammenarbeit mit der Kooperationsgruppe die Entwurfsplanung durchgeführt. Die zukünftigen Nutzer des Wohnprojekts konnten dabei maßgeblich mitgestalten und ihre Vorstellungen einbringen. Es fanden in kurzen regelmäßigen Abständen Kooperationsgruppentreffen statt, in welchen u.a. Wünsche und Umsetzungsmöglichkeiten mit der BGW abgestimmt wurden. Der Bauantrag wurde Ende 2015 eingereicht.



Abbildung 93 Lipizzanerweg – Perspektive der Planung

Auf dem ca. 4.500 m² großen Grundstück sind 40 Wohnungen inkl. einer Gemeinschaftswohnung entstanden. Die Gemeinschaftswohnung sowie 13 weitere Mietwohnungen sind öffentlich gefördert, 17 weitere Mietwohnungen sowie die 9 Eigentumswohnungen sind freifinanziert.

Die Wohnungsgrößen liegen zwischen 30 und 120 m² mit einem bis zu fünf Zimmern. Die Investitionssumme betrug ca. 7,9 Mio. Euro. Der Baubeginn erfolgte im Juni 2016. Bezugsfertig war die Anlage im Oktober 2017.



Abbildung 94 Lageplan „Wohnprojekt 5“ mit 40 Wohnungen

Das Gebäude wurde in den beiden unteren Geschossen in Massivbauweise erstellt mit einer Fassade aus KS-Mauerwerk mit WDVS in Mineralwolle. Innenwände ebenfalls aus KS-Mauerwerk, wobei Wohnungstrennwände aus Schallschutzgründen eine Dicke von 30 cm aufweisen. Verputzt sind die Wände innenseitig mit Kalkzementputz.

Die Fassade im Staffelgeschoss wurde als Holzrahmenbau mit Zellulosedämmung und Lärchenverschalung außen erstellt, die Innenwände mit Gipskarton. Das Dach weist eine Sparrenkonstruktion mit Zellulosedämmung und Bitumenbahnabdichtung auf. Die Fenster wurden als Kunststofffenster ausgeführt mit 3-fach Wärmeschutz-Verglasung, Südfenster ohne Überdachung mit elektrischem Rollladen außen, leicht zugängliche Fenster in Sicherheitsklasse RC 2N, Terrassentüren schwellenlos mit Magnetschwelle. Für die vertikale Erschließung wurden Hydraulikaufzüge gewählt. Die Erschließung der Laubengänge erfolgt über eine Sichtbetontreppe, die Brüstung besteht aus Lärche-Brettstapelelementen. Die Wohnungen wurden barrierefrei nach DIN 18040-2 ausgeführt.

Das Energiekonzept erreicht den Standard KfW Effizienzhaus 55. Die Außenwände in den beiden unteren Geschossen weisen einen U-Wert von $0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$ auf. Die Außenwand im Staffelgeschoss in Holzkonstruktion mit 22cm Zellulose $\lambda=0,040 \text{ W/mK}$ ergibt $U=0,21 \text{ W/m}^2\text{K}$ und das Pultdach $U = 0,19 \text{ W/m}^2\text{K}$. Der Flachdachbereich wurde mit Polyurethan $\lambda = 0,025 \text{ W/mK}$ ausgeführt und erreicht mit 14 cm Dämmung einen U-Wert von $0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$. Die Wärmebrücken wurden detailliert errechnet mit einem resultierenden Wert für das Wärmebrücken-Delta des U-Wertes mit $0,022$ bis $0,024 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Tabelle 12 Zusammenstellung der Ergebnisse für die Förderung nach Standard KfW EH 55 (2014)

Ergebnisse	Ist-Wert	Soll-Wert	% vom Soll-Wert	Soll-Wert für KfW-Effizienzhaus 55
H_T' bzgl. Referenzgebäude [W/(m ² K)]	0,296	0,433	68 %	70 %
H_T' bzgl. EnEV-Sollwert [W/(m ² K)]	0,296	0,500	59 %	100 %
spezifischer Primärenergiebedarf [kWh/(m ² a)]	37,3	71,6	52 %	55 %
Primärenergiebedarf [kWh/a]	48.029,0	92.294,1	52 %	55 %

Beheizung und WW-Bereitung erfolgen in der Grundlast mittels Holzpelletkessel zu ca. 60 – 70% und einem Gasbrennwertkessel als Spitzenkessel. Die Entscheidung zur Nutzung eines Holzpelletkessels wurde aus Kostengründen getroffen und zum anderem auch von den Mietern gewünscht.

Die Aufwendige Betreuung der Anlage wird zum Teil durch die Wohngruppe erledigt.

Die Wärmeverteilung wird durch Heizkörper im Außenwandbereich bereitgestellt mit einer Auslegungstemperatur von 55°/45°C.

Das Lüftungskonzept beinhaltet eine Abluftanlage aus Kleinstlüftern. Eine sehr geringe Grundlüftung zum Feuchteschutz wird durch Lüfter in der Küche mit Hygrostaten sichergestellt, die mittels Drehzahlsteller in der Grundstellung z.B. auf 10 m³/h einstellbar sind. Gleiches gilt für den Badlüfter. Die Zuluftführung erfolgt über Fensterfalzlüfter.

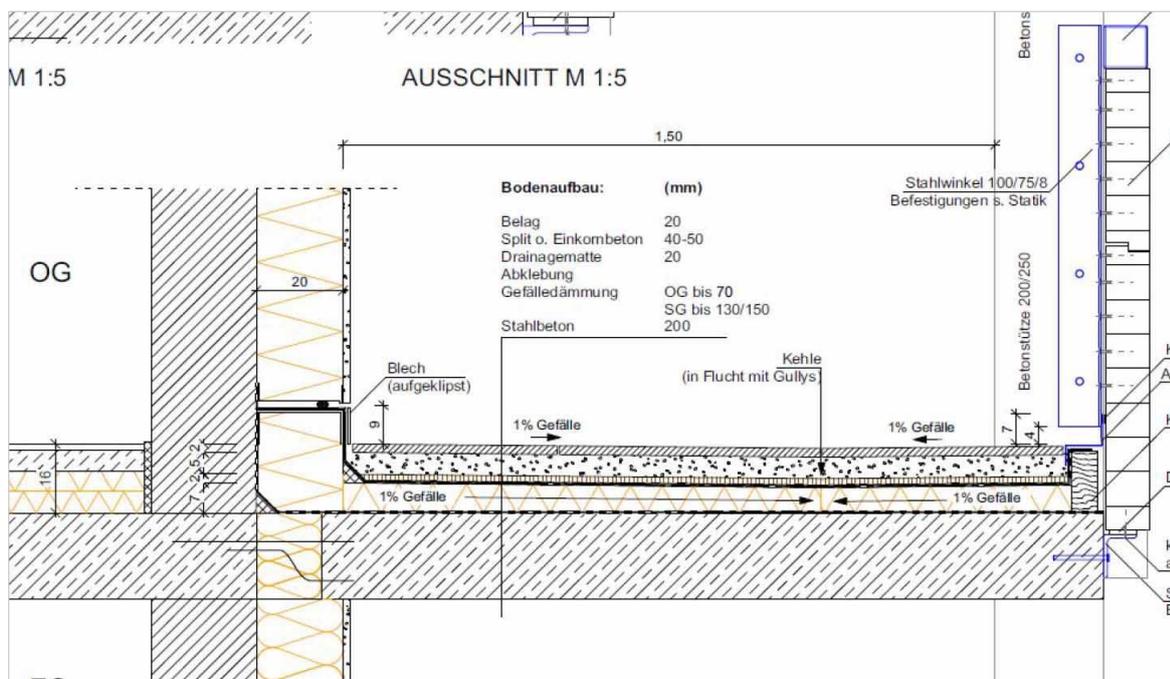


Abbildung 95 Detail der Laubengang-Ausführung

Die Kosten für das Projekt lagen inkl. Mehrwertsteuer bei 1.444 €/m² für die Kostengruppe 300 nach DIN 275 und für die Kostengruppe 400 bei 429 €/m², woraus sich für die Bauwerkskosten 1.873 €/m² ergeben. Dazu kommen die Außenanlagen mit 98 €/m² und die Baunebenkosten mit 338 €/m², sodass in der Summe für die Kostengruppen 300 bis 700 ein Betrag von 2.310 €/m² (Brutto) entstanden ist.



Abbildung 96 Südansicht der nördlichen Bebauung

5.7 Aktivhaus Speicherstraße – ABG FRANKFURT HOLDING



Abbildung 97 Südansicht des Aktivhauses zur Speicherstraße

In der Speicherstraße in Frankfurt, zentral zwischen Hauptbahnhof und Main, errichtete die ABG FRANKFURT HOLDING ein achtgeschossiges, rund 160 Meter langes, aber nur knapp neun Meter breites Wohngebäude. Das „Aktiv-Stadthaus“ beinhaltet 74 Wohnungen auf 6.444 qm weitestgehend barrierefreie Wohnfläche. Das Gebäude erzeugt mehr Energie für Heizung, Warmwasser, Haushaltsstrom und Aufzug, als seine Nutzer tatsächlich verbrauchen. Erst die Mieter machen das Aktiv-Stadthaus zu einer wirklichen Innovation. Denn ein Mehr an Energieeffizienz ist nur dann zu schaffen, wenn seine Bewohner die Sparpotenziale konsequent nutzen. Über ein neu entwickeltes Touchpad-Display ist jeder Mieter jederzeit über seinen Energieverbrauch informiert und kann diesen mit der aktuellen Stromerzeugung vergleichen, kann sein Konsumverhalten beobachten und gegebenenfalls verändern – das hat der Mieter selbst in der Hand.

Die Idee für dieses gestalterisch sehr hochwertige Projekt lieferte der Architekt Manfred Hegger, die Gebäudetechnik erfolgte durch EGS-plan. Die Planer des Gebäudes kombinierten dabei die passive Energieeinsparung auf Basis einer hoch wärmedämmten Gebäudehülle mit aktiver Energiegewinnung. Aufgrund des sehr geringen Heizwärmebedarfs konnte die Wärmebereitstellung relativ günstig durch Wärmepumpentechnik erfolgen. Der Primärkreises nutzt die Abwärme des Abwasserkanals direkt vorm Gebäude.

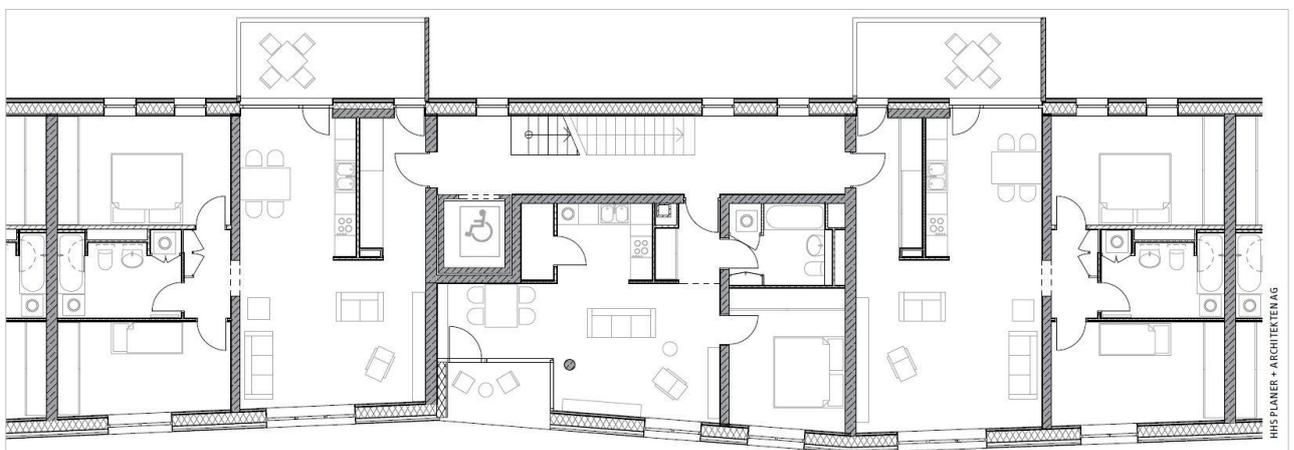


Abbildung 98 Grundriss der Regelgeschosse 1. Bis 6. OG [Quelle: HHS PLANER + ARCHITEKTEN AG]

Plusenergiekonzept

Nach den Vorgaben des BMUB zum Effizienzhaus Plus erzeugt das Gebäude den Gesamtenergieverbrauch der Wohnungen in der Jahresbilanz komplett selbst über eine Photovoltaik-Anlage. Auf dem Dach des Gebäudes befinden sich 769 Hocheffizienzmodule mit einer Leistung von 251 kW_{peak}, in der Fassade weitere 348 Module mit 118 kW_{peak}. Ein weiterer zentraler Baustein des Projektes ist der Stromspeicher aus Lithium-Eisen-Phosphat-Batterien mit einer Speichergröße von 250 kWh. Der Speicher steht für eine unterbrechungsfreie Stromversorgung und ermöglicht es, dass die Eigenstromnutzung um 15 bis 30 Prozent erhöht wird. Ein Energiemanagementsystem optimiert das Lastmanagement des Gebäudes. Eine Stromtankstelle und Stellplätze für E-Autos runden das Plusenergiekonzept ab.

Betreibermodell und Flatrate

Die Gebäude- und Anlageninvestition tätigte die ABG FRANKFURT HOLDING, während die Betriebsführung von der Mainova AG durchgeführt wird. Im Warmmietvertrag wird eine gut auskömmliche Grundmenge an Energie für Heizung, Warmwasser und Strom als "Geschenk" gewährt im Sinn einer Flatrate mit Obergrenze. Die Mieter haben ständig einen Überblick über den Stand ihres Energieverbrauchs, u. a. durch eine anonymisierte Rankingliste, auf der die eigene Position erkennbar ist. Dieses Feature wird von den Nutzern sehr gerne aufgerufen. Verbraucht ein Haushalt eine höhere Energiemenge als im Vertrag vereinbart, erfolgt eine Nachzahlung für den Mehrbetrag mit einem Vertrag ohne Grundpreis.



Abbildung 99 Ansicht von Südost [Quelle: HHS PLANER + ARCHITEKTEN AG]

5.8 Campus Ohlauer Straße in Berlin-Kreuzberg – HOWOGE Berlin

Der Campus Ohlauer Straße wird am nördlichen Ende der Ohlauer Straße zum Görlitzer Park in Berlin-Kreuzberg errichtet. Es wird ein sehr ambitioniertes Kostenziel von 1.550 €/m² WF (Kostengruppen 300-500, inkl. MWSt.) verfolgt. Zugleich weist das Nutzungskonzept starke soziale Ziele auf. So werden Flüchtlingsfamilien, Studenten und Alleinerziehende in dem Gebäude wohnen. Die Miethöhe soll bei 50 Prozent der Fläche nur 6,50 €/m² (kalt) liegen, die restliche Fläche unter 10,00 €/m². Hinsichtlich der Konstruktion und Bauabwicklung stellt Vorfertigung ein zentrales Thema dar. Zusätzlich zur elementierten Modulbauweise sollen Raumzellen für die Bäder mit vorgefertigter Gebäudetechnik zum Einsatz kommen.

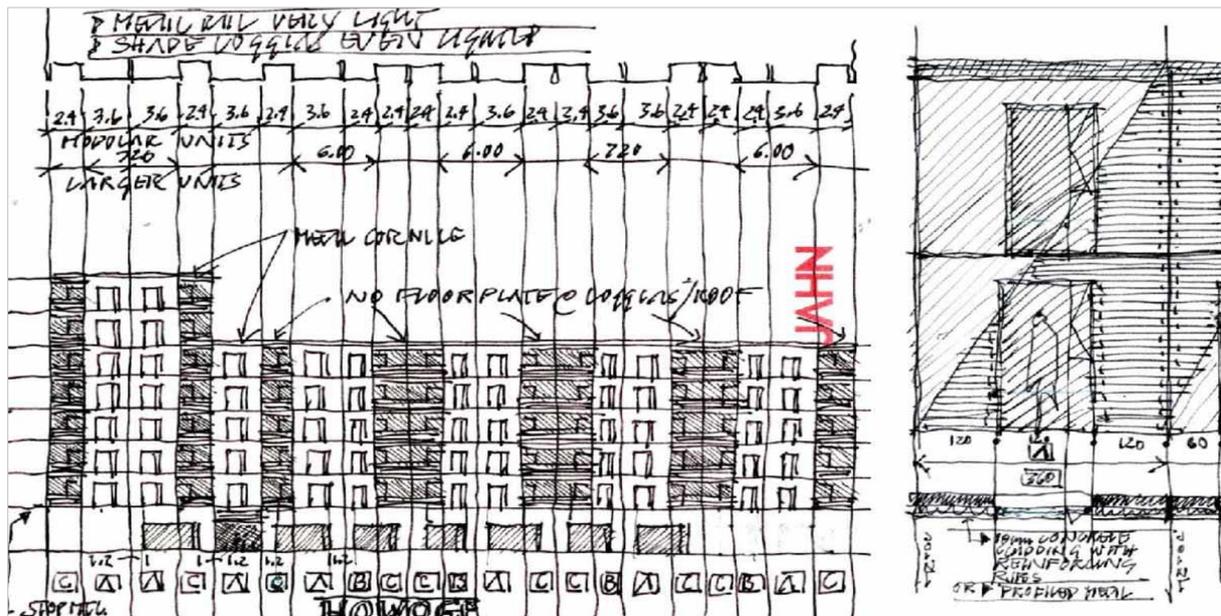


Abbildung 100 Entwurfskonzept Ohlauer Straße

Die charakteristische Jahn-Skizze oben zeigt das Grundkonzept des Gebäudes mit den Achsmaßen [HOWOGE-JAHN 2017]

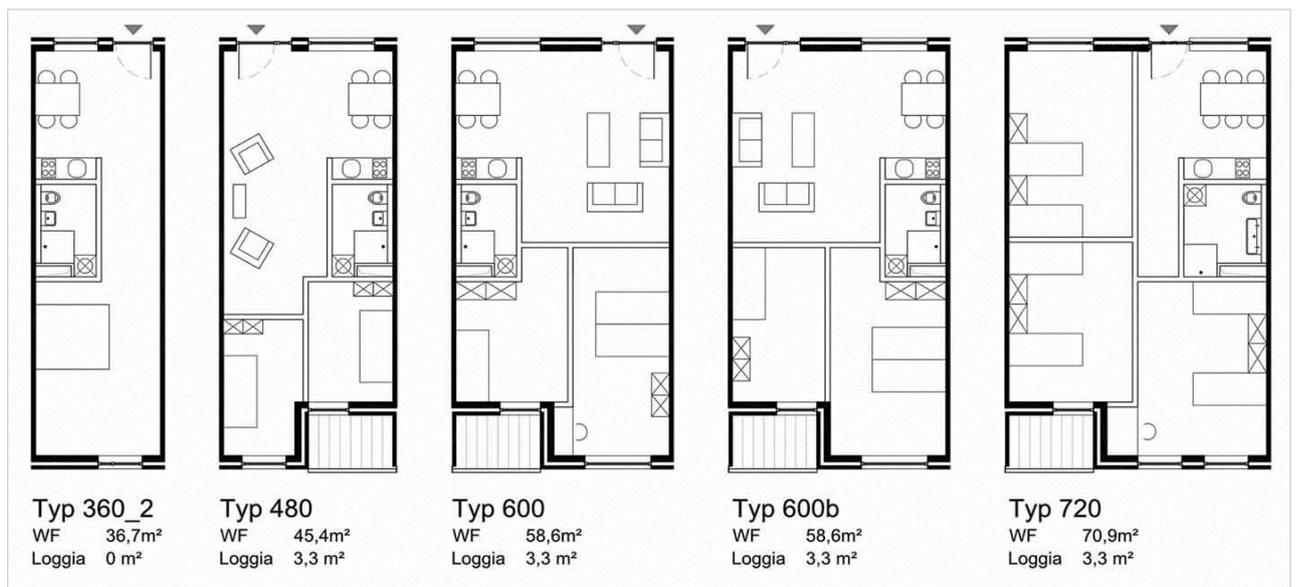


Abbildung 101 Schema der Wohnungstypen [HOWOGE-JAHN 2017]

Die Planung basiert auf fünf Gebäudetypen. Ein-Personen-Appartements mit Wohnflächen von 37 m² werden mit einem Achsmaß von 3,60 m geplant, Zweizimmer-Wohnungen mit zusätzlicher Wohnküche mit 49 m² (Achsmaß 4,80) und 62 m² Wohnfläche (Achsmaß 6,00 m) und schließlich Dreizimmerwohnungen mit 74 m² (Achsmaß 7,20 m).

Das modulare Bauen wird mittels Stahlbeton-Fertigbauweise geplant. Der Schwerpunkt hinsichtlich des avisierten Kosteneffekts liegt dabei aber auf den Gebäudetechnik-Modulen, die in möglichst identischer Form mit hoher Auflage umgesetzt werden sollen, um eine möglichst hohe Wirtschaftlichkeit zu erzielen.

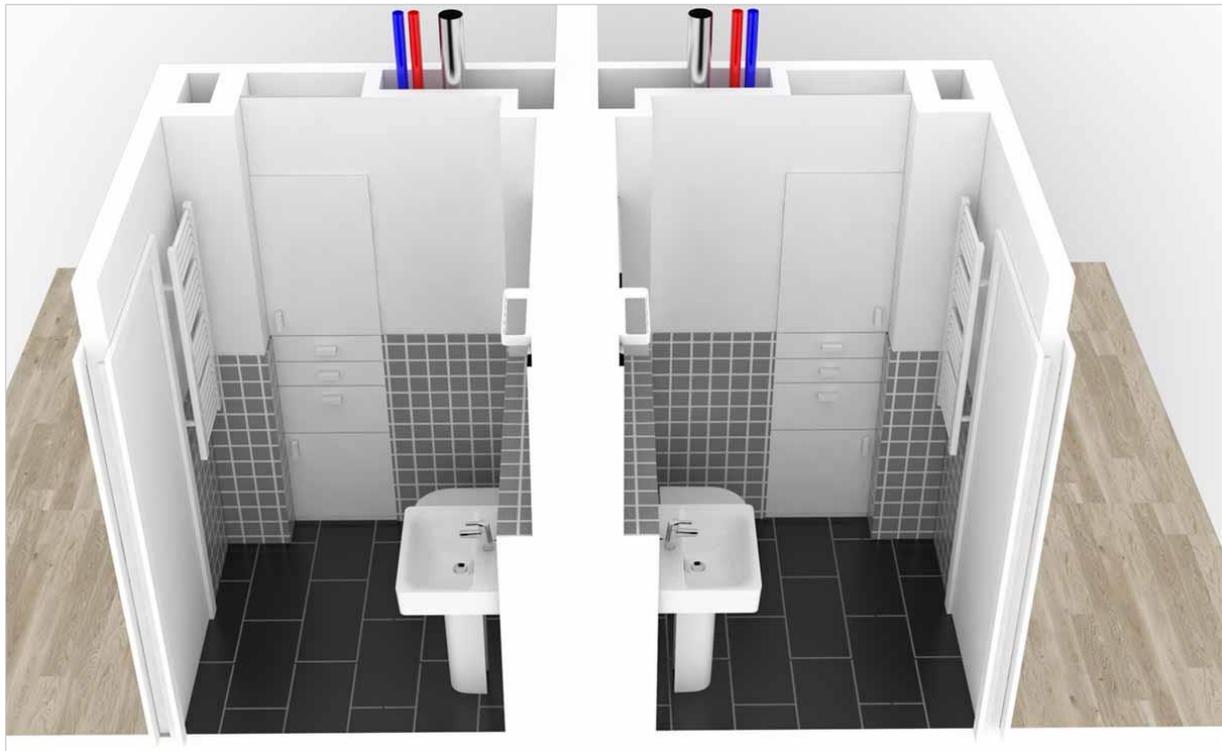


Abbildung 102 Schema des vorgefertigten Bad-Blocks [HOWOGE-JAHN 2017]



Abbildung 103 Visualisierung von der Ohlauer Straße [HOWOGE-JAHN 2017]

5.9 Teilerhöfe Rothfeld, Bothfelder Kirchweg 6, Hannover – Gundlach



Abbildung 104 Teilerhöfe mit Aufnahme der Bezüge zur historischen Hofstelle

Der Name ist Programm. Bei dem Projekt geht es ums Teilen. Errichtet wurde das Areal durch Gundlach / Hannover im Bereich einer Hofstätte, die um fünf weitere Wohnhöfe erweitert wurde. Das Quartier umfasst 42 Mietwohnungen und eine Mietwohnung in den Bestandsgebäuden. Mit funktionalen Grundrissen wird die private einzelne Wohnfläche reduziert und ein gemeinschaftlich nutzbares Angebot wie z. B. Gemeinschaftsräume geschaffen. Dadurch können die Bau- und Mietkosten gemindert werden. Der Wohnraum soll sich für Familien bzw. Alleinerziehende sowie Senioren (-gruppen) eignen. Die historische Hofstelle mit zwei Bestandsgebäuden wird in das Quartier integriert, sie ist ortsbildprägend und wirkt identitätsstiftend. Die Neubauten orientieren sich an den Größenverhältnissen der Bestandsgebäude sowie der umgebenden Bebauung und werden somit genauso wie die historische Hofstelle passend in die Nachbarschaft eingebunden. Ein Neubau-Wohnhof besteht aus zwei rechtwinklig zueinander angeordneten Gebäudekörpern mit dazwischenliegendem offenes Treppenhaus und einer wohnungsnahen Freifläche, die von einem Fahrradschuppen begrenzt wird. Die Gebäude haben jeweils zwei Vollgeschosse mit Satteldach und ausgebautem Dachraum. Es sind dem Konzept des kostengünstigen Bauens zufolge keine Balkone und Terrassen vorgesehen. Folgende Aspekte wurden zudem in die Überlegungen einbezogen: gut erreichbare Fahrradabstellräume, möglichst viel Raum für Gemeinschaftsnutzung, Mieter-App zur Kommunikation und zur Vorbestellung von Gemeinschaftseinrichtungen und Mobilitätsangeboten.

(Hinweis – ein Teil des Textes wurde übernommen aus: <https://www.gundlach-bau.de/zuhause-finden/aktuelle-neubau-projekte/teilerhoefe-bothfelder-kirchweg/das-projekt/>)

5.10 Recyclinghaus am Kronsberg, Hannover (RECYC) – Gundlach

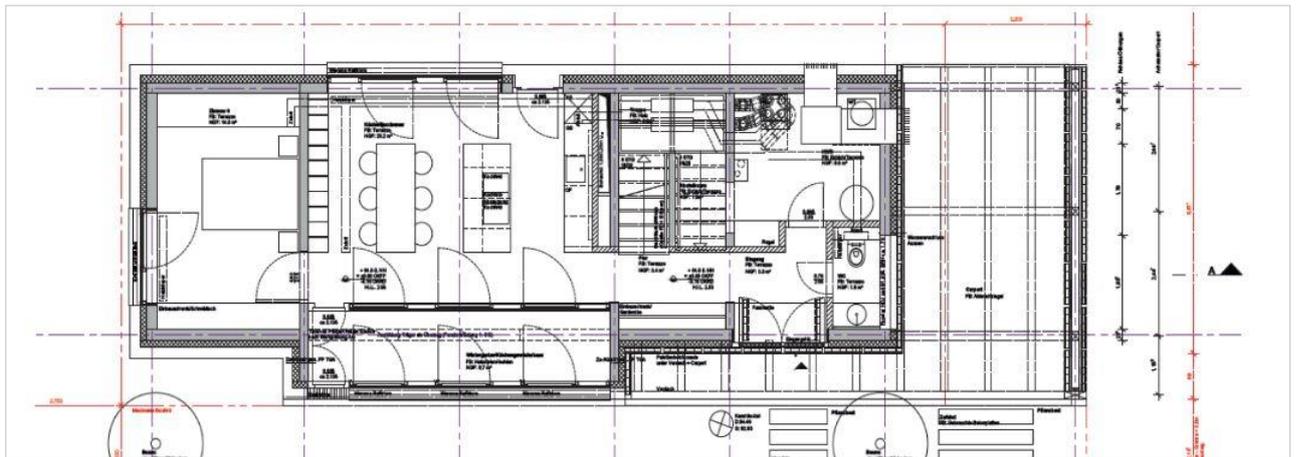


Abbildung 105 Grundriss des Recyclinghauses am Kronsberg

Ziel war es ein Gebäude aus vollständig recycelten Materialien zu erstellen und im Idealfall vorhandene Bauteile einer zweiten Nutzung zuzuführen. Die cityförster-Architekten beschreiben das Konzept folgendermaßen (<https://www.cityfoerster.net/projekte/218.html>): „Das Gebäude wird aus recycelten (wiederverwendeten) und recyclingfähigen (wiederverwendbaren) Bauteilen in recycling gerechter Bauweise (Nutzung und Demontierbarkeit der Bauteile ohne Qualitätsverlust durch z.B. Schadstoffbelastung o.ä.) erstellt. Die Bauteile sollen möglichst aus „gundlach eigenen“ oder lokalen Quellen stammen. Das Gebäude wird auf einer Gründung aus Recyclingbeton und Schaumglasschotter in leimfreier Massivholzbauweise erstellt. Fassaden, Fenster und der Innenausbau werden aus anderen Abbruchbauvorhaben „geerntet“ und nach einer Überarbeitung wieder eingebaut. Einzelne Objekte werden vor der Entsorgung gerettet und als Readymade wiederverwertet. Die Bauindustrie ist einer der größten Abfallproduzenten und Energieverbraucher. Das Forschungsprojekt Recyclinghaus von Gundlach / Hannover liefert einen wichtigen Beitrag zum Nachhaltigkeitsdiskurs. Bei der Betrachtung von energetischer Effizienz ist nicht nur der Energieverbrauch eines Gebäudes im Betrieb von Bedeutung, sondern auch die graue Energie, die mit der Herstellung des Gebäudes einhergeht. Sowohl dem Produkt- und Materialrecycling als auch recycling-gerechten Bauweisen werden in Zukunft eine immer wichtigere Rolle spielen.“

Folgende Problemstellungen waren u. a. zu bewältigen:

- „Für gebrauchte Bauelemente und –materialien fehlen Normen
- Einzelnachweise über die tatsächliche Tragfähigkeit etwa von Stahlträgern müssten einzeln erbracht werden
- daher Ausweichen auf Tragstruktur aus leimfreiem Holz
- Haustechnik: Einbau gebrauchter Haustechnik ist nicht sinnvoll
- Kooperation: Das Leuchttumprojekt soll weitgehend fehlende Erfahrungswerte erbringen und so eine Grundlage für weitere Recycling-Bauprojekte schaffen.“

Aus Bauherrnsicht war das Sammeln von Erfahrungen in diesem zukünftig wichtigen Segment von besonderer Bedeutung. Die „Materialernte“ aus Restbeständen, Abbruchvorhaben oder aus Fehlproduktionen von Herstellern stellte eine Herausforderung dar. Das Resümee aus wirtschaftlicher Sicht: Finanziell ist es nicht lohnend, es wurde draufgezahlt. Es ist deutlich kostengünstiger neue Materialien zu kaufen.

5.11 Kleinstwohnungen an der Matthiaskirche, Roderbruchstraße 4 – Gundlach



Abbildung 106 Balkonansicht der Wohnanlage mit den Kleinstwohnungen

Die Errichtung von kostengünstigen Kleinstwohnungen mit hohem Wohnwert war das Ziel des Projektes von Gundlach / Hannover (vgl.: <https://www.gundlach-bau.de/zuhause-finden/infos-fuer-interessierte/mietinteressiert/referenzen/das-projekt/>). Das Grundstück wurde frei, weil die Matthiasgemeinde in Hannover im Rahmen einer Neugestaltung ihr altes Gemeindehaus in einem direkten Anbau an das Gotteshaus untergebracht hatte. Das ehemalige Gemeindehaus mit einem Teil des Kirchengrundstücks wurde vom Gundlach Wohnungsunternehmen erworben. Nach Abriss des ehemaligen Gemeindehauses wurde im Frühjahr 2017 mit dem Bau begonnen und das Gebäude im Winter 2017/2018 fertiggestellt. Das zweigeschossige Wohnhaus umfasst insgesamt 18 Miet-Wohnungen mit jeweils ca. 41 m² Wohnfläche. Jede der Wohnungen ist mit zwei gleichwertigen Zimmern und einem Bad ausgestattet. Das Zimmer zum Laubengang hat die Funktion des Eingangsbereiches und der Küche. Das Zimmer nach Südosten hat die Funktionen Wohnen und Schlafen. Daran angeschlossen ist ein Balkon, der über einen kleinen Abstellraum verfügt. Zwischen den beiden Zimmern liegt das Bad, das über einen Flur zu erreichen ist. Alle Bäder sind mit WC, Dusche und Waschbecken ausgestattet und rollstuhlgerecht.



Abbildung 107 Fassadendetail der Holzbekleidung auf der Balkonseite

Das Gebäude ist teilunterkellert. Dort befinden sich die technischen Räume und die Abstellräume für alle Wohnungen. Für die Fassadengestaltung ist an den Giebelseiten eine vorgehängte Ziegelfassade angebracht. Die Laubengänge und die Balkone sind aus Kalksandsteinen mit Hanfdämmung errichtet. Teilflächen aus Holzschindeln ergänzen die Fassade nach Südosten.



Abbildung 108 Gebäudezentrale mit Wärmepumpe und Gasbrennwerttechnik als Spitzenkessel

Das Energiekonzept umfasst einen hochwertigen Wärmeschutz. Die Außenfassade ist mit Hanfdämmung versehen. Die Gebäudetechnik beinhaltet eine Heizanlage mit Wärmepumpe und Gasbrennwerttechnik als Spitzenkessel. Die zentrale Lüftungsanlage ist mit Wärmerückgewinnung ausgestattet. Die Lüftungszentrale befindet sich ebenso auf dem Dach wie eine Photovoltaik-Anlage.



Abbildung 109 Gebäudetechnik im Dachbereich
Zentrale Zu-/Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung auf dem Dach. Photovoltaik für die Teil-Bereitstellung des Hilfsstroms und des Wärmepumpenstroms



Abbildung 110 Display der Regelung mit der Darstellung der PV-Erträge und des Strombedarfs

Die Miete für die Bewohner ist nach Einkommen gestaffelt und liegt zwischen 5,60 € und 7,00 € pro m² Wohnfläche. Das führt zu Kaltmieten zwischen 235 und 294 € und Warmmieten von 335 bis 394 € pro Monat.

Folgende Erkenntnisse wurden im Zuge des Projekts gewonnen:

- Laubengänge sind teuer
- Vorstellbalkone müssen sehr einfach sein
- Hab weniger Geduld mit der Ausführungsplanung
- TGA: mehr Transparenz schaffen.

Für die Mieter wurden sehr kostengünstige Wohnungen mit hohem Komfort geschaffen. Die relativ geringe Wohnfläche wird durch den guten Wohnungszuschnitt ausgeglichen, sodass die Rückmeldungen der Bewohner zu ihrer Wohnsituation sehr positiv sind.

5.12 Nachverdichtung Housing Area – GEWOBAU Erlangen

Das Quartier der Housing Area im Stadtteil Röthelheimpark besteht aus 15 Wohnblöcken der ehemaligen US-Armee. Die Nachverdichtung im Gebiet ist gekennzeichnet durch Doppelaufstockungen von drei auf fünf Geschosse (rund 270 zusätzliche Wohneinheiten), den Neubau von 130 Wohneinheiten nach vorangegangenem Abriss eines Bestandsgebäudes in der Schenkstraße sowie der Vollmodernisierung aller Bestandswohnungen im Quartier (ca. 500 Wohneinheiten) und die Errichtung von zwei Parkhäusern. Bis Ende 2019 erfolgt die Fertigstellung von 8 vollmodernisierten und aufgestockten Wohngebäuden, des Neubaus und der Parkhäuser.



Abbildung 111 Luftbild Stadtteil „Am Röthelheim“

5.12.1 Sanierung und Aufstockung

Projektziele

Neben der Verdoppelung der Wohnungsanzahl durch Aufstockung und Neubau (Kaltmieten von 4,80 €/m² und 6,80 €/m²) war ein wesentliches Ziel, durch die Bestandssanierung den zusätzlichen Wärmebedarf der Aufstockung zu kompensieren. Die Anschlussleistung der bestehenden Fernwärmeversorgung konnte unverändert bleiben. Insgesamt hat sich damit auch die gesamte CO²-Bilanz der jeweiligen Wohngebäude verbessert. Bei der Planung und Umsetzung des Projektes wurde ein umfassender

Mieterbeteiligungsprozess implementiert. So wählen die Mieter den Sieger des Architektenwettbewerbs und sind während der gesamten Bau- und Umsetzungsphase u. a. über sogenannte „Runde Tische“ laufend in die Entscheidungsprozesse eingebunden.

Die Vorgaben der Förderung in den Kostengruppen 300 und 400 (max. 2.400 €/m²) werden mit rund 2.150 €/m² deutlich unterschritten. Die Sanierung der Bestandswohnungen erfolgt ebenfalls öffentlich gefördert. Die Mieterhöhungen für die Bestandsmieter sind auf 1,-€/m² Wohnfläche nach der Sanierung begrenzt. Durch die Einsparung von Verbrauchskosten werden die Mieterhöhungen weitgehend kompensiert.

Umsetzung/Einbindung Städtebau und Freiraumplanung

Die vorhandenen „Durchwegungsmuster“ im Quartier Röthelheimpark werden aufgenommen, verfeinert und einheitlich mit den neuen Parzellen vernetzt. Einfache Eingriffe in die Ordnungsmuster und die Topographie wie z.B. Mietergärten im Erdgeschoss, Aufwertung der Spielplätze im Thymianweg und in der Schenkstraße und Neugestaltung der gesamten Freiflächen im Quartier verbessern die Wohn- und Aufenthaltsqualität zwischen den Parzellen. Es erfolgt somit auch eine stärkere Anbindung an das Naherholungsgebiet „Exerzierplatz“.



Abbildung 112 Freiflächenplan Gesamtareal

Planungsrechtliche und allgemeine Voraussetzungen

- reduzierter Stellplatzschlüssel auf 0,5 für den Sozialen Wohnungsbau
- Aufhebung der Notwendigkeit von öffentlicher Ausschreibung
- vorhandens Fuß- und Radwegenetz und Anbindung an Öffentlichen Personennahverkehr, Carsharing-Konzept
- Anschluss an bestehendes Fernwärmenetz
- die Hausanschlüsse aus dem Bestand können trotz Aufstockung bleiben, die Fernwärmeleistung muss durch die Sanierung nach KfW 55 Standard nicht erhöht werden
- Gebäudenetzwerk (Glasfaser) mit MSR (Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik) inklusive Störungsmeldung und Fernwartung nachrüstbar zur Gebäudeleittechnik (z.B. AAL, smart meter)
- rationelle Bauweise mit fortlaufenden Bauabschnitten, einhergehend mit geringfügigeren Belastungen für das nachbarschaftliche Umfeld und zumutbarer Arbeitsleistung für regionale Betriebe



Abbildung 113 Ansichten einer Wohnzeile mit Aufstockung

Umsetzung Objektplanung allgemein

- Neubau von flächensparenden Parkdecks
- durch eine neue Aufzugsanlage vor dem vorhandenen Treppenhaus durchgehend barrierefreier Zugang in den Aufstockungen
- Nutzung der Bestandstreppenhäuser zur Erschließung der Aufstockungsgeschosse einhergehend mit Flächenmaximierung in den Aufstockungsgeschossen
- zusätzliche Wohnfläche aufgrund durchlaufender Balkone in den Neubau- und großzügige Balkone in den Sanierungsgeschossen
- Erneuerung der Grundleitungen im Zuge der Sanierung (keine spätere Nachrüstung bzw. Ertüchtigung erforderlich)
- Nutzung der vorhergehenden Strangsanierung der Bestandsgebäude für die neuen Aufstockungsgeschosse (lediglich punktuelle Erweiterung der Installationsstränge erforderlich)

Umsetzung Konstruktion und Materialien

- Reduzierung der Bauzeit durch Ausführung der Aufstockungsgeschosse mittels technisch einfacher Konstruktionen
- Baukonstruktionen ohne aufwendige Vorfertigung zugunsten einer wirtschaftlichen Realisierung von Toleranzen zwischen Neubau und Bestand (Außenwände, Gebäudetrennwände, Treppenhauswände und Aufzugskern in Massivbau, Decken in Holz-Leichtbauweise)

- Kunststofffenster inkl. Fensterfalzlüftung und Abluft in den Bädern
- Erneuerung und Optimierung der großflächigen Treppenhausverglasung auf ein energetisch sinnvolles Maß
- Wärmedämmverbundsystem mit 160mm beim Bestand und 180 mm EPS in Kombination mit Kalksandsteinziegel beim Neubau und Kellerdeckendämmung
- zeitgemäße Metallbau-Haustürelemente
- Raum- und Flächengewinn durch preisneutrale Fußbodenheizung
- Optimierung der Anzahl an Steckdosen und Lichtauslässen zur Reduzierung der Strom- und Lichtkreise auf ein Minimum



Abbildung 114 Aufstockung/Sanierung
Housing Area – © GEWOBAU/HOCH5



Abbildung 115 Ansicht von der Erschließungsseite
Housing Area – © GEWOBAU/HOCH5

5.12.2 MFH Schenkstraße mit 130 Wohneinheiten

Projektziele

Im Wesentlichen soll auch hier nachgewiesen werden, dass Sozialer Wohnungsbau unter Vorgabe der Einhaltung der Fördergrenzen, sowohl stadtplanerisch, als auch architektonisch hochwertig und nachhaltig umgesetzt werden kann. Die Vorgaben der Förderung in den Kostengruppen 300 und 400 (max. 2.400 €/m²) werden mit rund 2.200 €/m² unterschritten.



Abbildung 116 MFH Schenkstraße in der Housing Area

© GEWOBAU/HOCH5

Planungsrechtliche und allgemeine Voraussetzungen

- reduzierter Stellplatzschlüssel auf 0,5 für den Sozialen Wohnungsbau
- vorhandens Fuß- und Radwegenetz und Anbindung an Öffentlichen Personennahverkehr
- Aufhebung der Notwendigkeit von öffentlicher Ausschreibung
- Vergabe an zumeist regionale Firmen mit handelbarem Auftragsvolumen
- Anschluss an bestehendes Fernwärmenetz
- Gebäudenetzwerk (Glasfaser) mit MSR (Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik) inklusive Störungsmeldung und Fernwartung nachrüstbar zur Gebäudeleittechnik (z.B. AAL, smart meter)

Die Umsetzung von Objektplanung und Gebäudetechnik entspricht sowohl beim Gebäude als auch bei der Tiefgarage weitgehend der in der Brüxer Straße (s.o.). Entsprechendes gilt für dein Einsatz optimierter Konstruktionen und kostengünstigen Materialien.

5.13 Quartierskonzept Büchenbach & Neubau Odenwaldallee – GEWOBAU Erlangen

Im Stadtteil Büchenbach saniert die GEWOBAU in zwei ersten Bausabschnitten rund 600 Wohneinheiten, die Anfang der 70er Jahre errichtet worden sind. Bei den Wohnblöcken handelt es sich um in Reihe stehende Geschosswohnungsbauten mit einem ähnlichen Wohnungstyp von 3-4 Zimmerwohnungen und ca. 75 – 100 m² Wohnfläche. Zielsetzung sind eine umfangreiche Sanierung der vorhandenen Gebäudesubstanz, Errichtung eines wärmegeführten Arealnetzes mit innovativen Anlagenkomponenten inklusive Mieterstrommodell und Schaffung von weiterem dringend benötigten sozialem Wohnraum durch Überbauung eines sich im Gebiet befindenden Parkplatzes (90 Wohn- und Gewerbeeinheiten). Auch hier wurde bei der Planung und der Umsetzung des Projektes ein umfassender Mieterbeteiligungsprozess implementiert. So fanden zum Beispiel bisher acht Runde Tische statt, an denen Multiplikatoren des Stadtteils eng in die Entscheidungsprozesse eingebunden wurden.

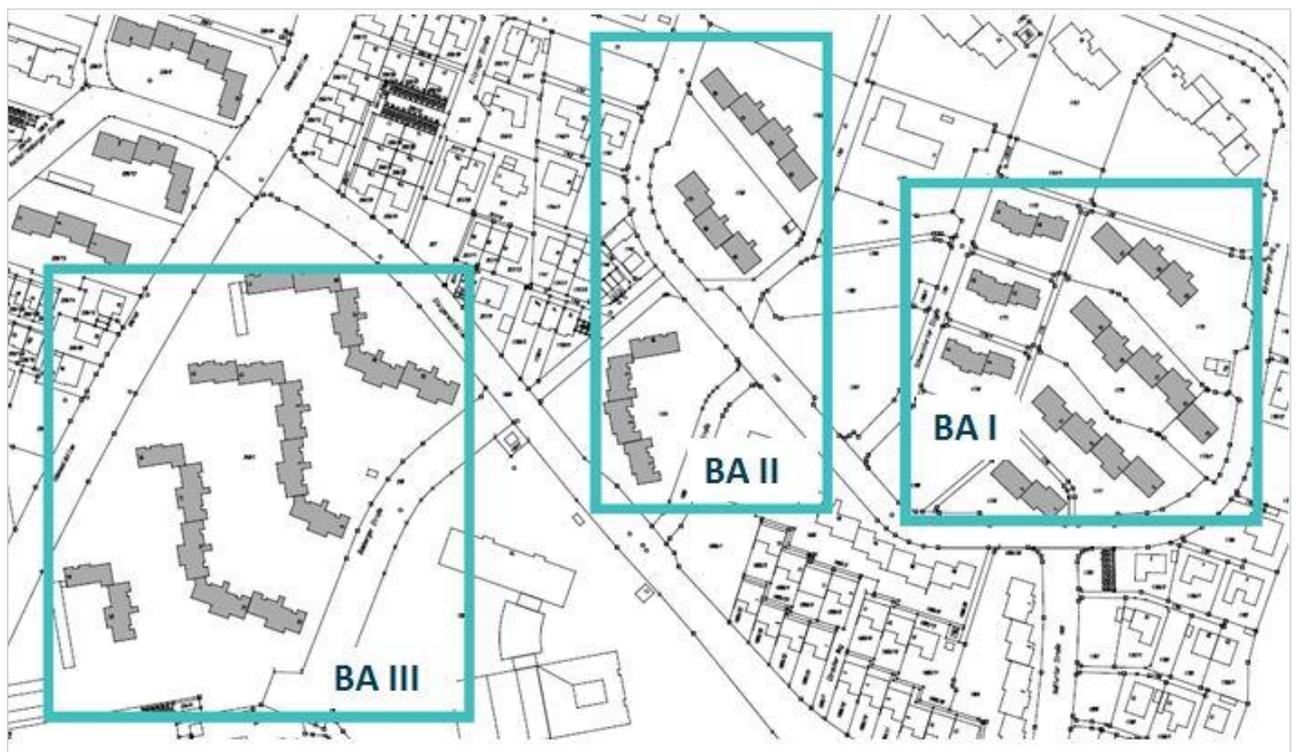


Abbildung 117 Lageplan mit Bauabschnitten

Projektziele und allgemeine Voraussetzungen bei der Sanierung

- Sanierung im bewohnten Zustand
- maximale Mieterhöhung von rund 50 ct/m² Wohnfläche nach Sanierung (insgesamt werden nur rd. 2% der umlagefähigen Modernisierungskosten auf die Mieter umgelegt)
- Kompensation der Mieterhöhungen durch die Reduzierung der Verbrauchskosten für Wärme und Strom
- keine nachträgliche Strangausbildung im Wohnbestand für zentrale Brauchwasserbereitstellung
- wärmegeführtes Arealnetz mit Übergabestationen
- innovative Wärmeerzeugungseinheiten durch Kraft-Wärme-Kopplung und Spitzenlastkessel
- Mieterstrommodell mittels Eigenerzeugung aus dezentralen BHKW und PV-Anlagen
- Aufhebung der Notwendigkeit von öffentlicher Ausschreibung

Vollzogene thermische Sanierung der Gebäudehülle im 1. Bauabschnitt



Abbildung 118 Sanierung Würzburger Ring – © GEWOBAU / HOCH5

- Kunststofffenster inkl. Fensterfalzlüftung ohne zusätzliche Energieversorgung
- Wärmedämmverbundsystem auf vorhandene Hochlochziegel
- Erhöhung der Attikakonstruktion nach zeitgemäßen Anforderungen mit Flatpoor
- Sanierung und Aufdoppelung der Dachfläche mit Thermohaut und Kellerdeckendämmung
- zeitgemäße Metallbau-Haustürelemente
- Rückbau der massiven Vordächer und Ersatz durch thermisch entkoppelte Glaskonstruktionen
- Balkonbelagssanierung der bestehenden Fertigteilkonstruktion nach thermischer Anforderung



Abbildung 119 Sanierung Würzburger Ring – © GEWOBAU / HOCH5

Geplante Gebäudetechnik im 1. Bauabschnitt

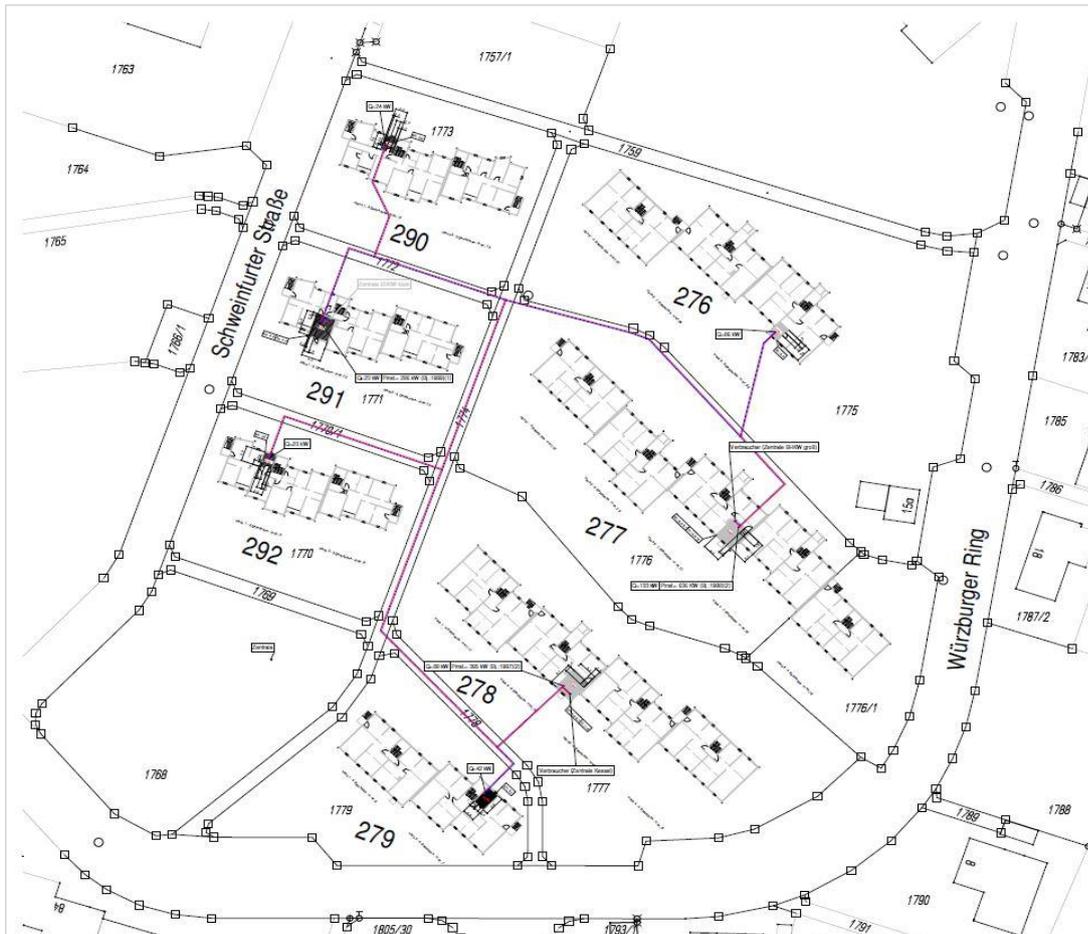


Abbildung 120 Wärmenetz im ersten Bauabschnitt

Für den ersten Bauabschnitt werden folgende Maßnahmen vorgesehen:

- Rückbau von ca. 1.300 kW_{therm} Feuerungsleistung der Erdgaskessel nach der Heizperiode 2018/2019
- Errichtung eines Wärmenetzes unter Berücksichtigung der besonders großzügigen und erhaltenswerten Baubsubstanz und Grünflächen
- Installation von regenerativen Erzeugungseinheiten in Form von zwei gasbetriebenen Blockheizkraftwerken mit ca. 80% Lastabdeckung und einem Brennwertkessel zur Vervollständigung der Spitzenheizlast.
- Reduktion des Heizwärmebedarfs inkl. Netzbetrieb gegenüber dem Bestand um ca. 60 %
- Anschluss von rund 175 kW_{peak} Photovoltaik mittels Montagesystem innerhalb der Flachdachabdichtung ohne Durchdringung und Auflastung der Dachhaut
- mögliche Teilhabe für die Mieter an einem „echten Mieterstrommodell“ mit weitestgehender autarken Stromversorgung vor Ort über den gesamten Jahreszyklus

Angedachte Umsetzung im 2. Und 3. Bauabschnitt

In den folgenden beiden Bauabschnitten wird das Netz ergänzt in Verbindung mit energetischer Sanierung und Maßnahmen zum Erreichen eines hohen Anteils von Eigenstromnutzung aus den PV-Anlagen durch innovative Wasserstofftechnologie.

- bauliche Sanierung ab Frühjahr 2019 (siehe oben)
- Sanierungsprogramm Effizienzhaus KfW 55 mit Wärmenetz (ähnlich zum Bauabschnitt 1)

- Anschluss an das neue Wärme- u. Versorgungsnetz der GEWOBAU
- Errichtung in KfW-Effizienzhaus 40 Standard
- Umsetzung eines Mieterstrommodells
- Baubeginn 2019



Abbildung 122 Visualisierung der Nachverdichtung – © Gräbel Architekten



Abbildung 123 Lageplan Odenwaldallee

6 Anmerkungen und Ergänzungen zu den Ergebnissen

Das Forschungsvorhaben war geprägt durch intensive Diskussionen und Erfahrungsaustausch. Besonders fruchtbar war die sehr unterschiedliche Sichtweise der beteiligten Partner. Dadurch konnten Fragestellungen vertieft und bisweilen in unkonventioneller Weise neue Erkenntnisse gewonnen werden.

An dieser Stelle werden besondere Erkenntnisse und Ergänzungen von den Partnern des Projekts eingebracht. Durch die hohe gesellschaftliche Relevanz des Forschungsthemas ist es notwendig, ein möglichst breites Spektrum der Aspekte darzustellen. Während der Forschungsbericht sich vor allem die technischen Inhalte beschränkt und Ausblicke auf zukünftige Entwicklungen gibt, werden hier auch darüber hinausgehende wirtschaftliche, soziale und politische Aspekte angesprochen.

6.1 Wohnungsunternehmen

Kooperationspartner des Projekts waren fünf Wohnungsunternehmen, die mit hohem Engagement drei Jahre lang das Forschungsvorhaben mit ihrer hohen Fachkompetenz begleitet haben. In den folgenden Texten werden Eindrücke zur Zusammenarbeit und den Erkenntnissen eingebracht und ein persönliches Resümee gezogen.

6.1.1 ABG FRANKFURT HOLDING

Frank Junker, Vorsitzender der Geschäftsführung

(Foto rechts)

Jürgen Braun, Technischer Prokurist

(Foto links)



Die Optimierung von Nachhaltigkeitsaspekten im Wohnungsbau führt vordergründig zu steigenden Kosten und erfordert den offensiven Umgang mit ökonomischen Anforderungen. Wie kann trotz steigender Qualitätsansprüche und ordnungsrechtlicher Verschärfungen zukunftsfähiger Geschosswohnungsbau mit Blick auf steigendes Bewusstsein für Umweltanforderungen und Klimaschutzaspekte realisiert werden?

Auch bei der ABG FRANKFURT HOLDING führen erhöhte Anforderungen zwangsläufig zu anwachsenden Investitionskosten. Insbesondere gilt das für die Diskussion um steigende energetische Standards. Bei jedem ABG-Projekt gilt es zu klären, inwieweit erhöhten Effizienzanforderungen entlastende Aspekte entgegen stehen. Ein integraler Bestandteil sorgfältiger Planungsprozesse ist die Aktivierung des Potenzial zur Kostenoptimierung, insbesondere durch Einsatz innovativer Komponenten und Systemlösungen sowie Sicherung der Qualität von Planung und Ausführung. Zugleich gilt es Lösungen zu finden, die nicht nur hinsichtlich der Investitionskosten, sondern auch des Komforts und der Lebenszyklusbetrachtung von Gebäuden zukunftsfähig sind. Dazu gehören langlebige Konstruktionen und Konzepte ebenso wie zukunftsfähige Effizienz- und Gebäudetechnikkonzepte mit niedrigen Wartungs- und Betriebskosten sowie Behaglichkeitsaspekte für die Bewohner. Anhand zahlreicher Neubauprojekte konnte die ABG belegen, dass zukunftsfähige und energieeffiziente Gebäude hoch wirtschaftlich sind und die Basis für einen nachhaltig zu bewirtschaftenden Gebäudebestand darstellen. Es war eine Herausforderung des Forschungsvorhabens diese übergreifenden Themen praxisorientiert gemeinsam zu untersuchen und die Ergebnisse in den konkreten Planungsprozess einzubringen. Der Austausch zwischen den Projektpartnern war dabei sehr gewinnbringend.

6.1.2 Bielefelder Gemeinnützige Wohnungsgesellschaft mbH

Dipl. Ing. Tobias Kühn

Bauingenieur mit dem Studienschwerpunkt konstruktiver Ingenieurbau.

Arbeitet seit 2000 im Bereich Energiemanagement bei der größten Ostwestfälischen Wohnungsgesellschaft BGW.

Arbeitsschwerpunkt ist die Erarbeitung von nachhaltigen Modernisierungskonzepten und Neubauprojekten.



Mit einer durchschnittlichen Nutzungsdauer von 50 bis 80 Jahren sind Wohnimmobilien die langlebigsten Wirtschaftsgüter überhaupt. Da ist es nur folgerichtig, dass wir uns verstärkt mit dem Thema Nachhaltigkeit beschäftigen.

Während der Projektlaufzeit stellte sich heraus, dass es mit durchaus leistbaren finanziellen als auch technischen Mehraufwendungen eine sehr hohe Energieeffizienz erreichbar ist.

Voraussetzung hierfür sind jedoch kompakte und vielgeschossige Baukörper.

Eine großen Hilfe zur Erreichung dieser Ziele sind dabei innerstädtische Versorgungslösungen mit Fernwärmeanschluss, die primärenergisch günstig sind.

Werden neue Quartiere mit freifinanziertem und öffentlich gefördertem Wohnraum geplant, sollte bei der Planung darauf geachtet werden, dass einfache quaderförmige Baukörper mit möglichst vielen gleichen Wohnungsgrundrissen vorhanden sind.

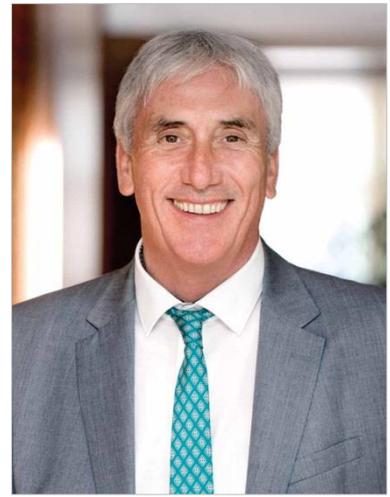
So ist es möglich, dass Energiestandards im Bereich von Effizienzhaus 55 und besser auch mit schwierigen Randbedingungen erreicht werden können. Dies bedingt allerdings dass eine angepasste Förderung mit marktgerechten Zinsen zu Verfügung steht.

Selbst unter der zur Zeit angespannten Situation im Baugewerbe, mit stark gestiegenen Baukosten und hohen Grundstückspreisen muss es weiterhin möglich sein, ausreichend, bezahlbaren und zukunftsfähigen Wohnraum für alle Bevölkerungsschichten zu schaffen.

6.1.3 GEWOBAU Erlangen

Diplom-Volkswirt Gernot Kuchler

Gernot Kuchler studierte an den Universitäten Heidelberg und Freiburg Volkswirtschaftslehre und Rechtswissenschaften. Seine immobilienwirtschaftliche Tätigkeit hat er als Prüfer des Berliner Verbands „Berlin Brandenburgische Wohnungsunternehmen“ begonnen. In der Folge war er über mehr als zwei Jahrzehnte als Geschäftsführer verschiedener kommunaler und privater Wohnungsbaugesellschaften beschäftigt. Seit Anfang 2010 ist Gernot Kuchler als Geschäftsführer der Konzerngesellschaften bei der GEWOBAU Erlangen, Wohnungsbaugesellschaft der Stadt Erlangen mbH (Tochtergesellschaft der Stadt Erlangen und Sparkasse Erlangen), tätig.



Die GEWOBAU Erlangen ist eine Wohnungsbaugesellschaft der Stadt Erlangen und der Sparkasse Erlangen. Sie ist Eigentümerin von rund 8.400 Wohnungen, davon unterliegen annähernd 4.000 Wohnungen einer Belegungsbindung. Zum 31.12.2018 beschäftigt die GEWOBAU Erlangen im Konzern 121 Mitarbeiter/-innen. Die Bilanzsumme sowie Umsatzerlöse betragen 591 Mio. € bzw. 52 Mio. €. Aufgrund des angespannten Wohnungsmarkts in der Metropolregion Nürnberg-Erlangen hat die GEWOBAU Erlangen die Initiative „Fair Wohnen 2016-2023“ ins Leben gerufen. Das Programm sieht den Neubau von rund 2.000 Wohnungen vor. Da die GEWOBAU Erlangen über keine geeigneten Grundstücke verfügt, beschränkt sie die Nachverdichtung in Erlangen überwiegend auf Aufstockungen von Bestandsbauten, die Schaffung von zusätzlichem Wohnraum nach Abriss von nicht mehr sanierungsfähigen Bestandsbauten sowie die Überbauung von Grün- und Parkplätzen. Geplant sind darüber hinaus Kooperationen mit privaten Bestandshaltern. Etwa 600 Wohnungen wird die GEWOBAU Erlangen im Landkreis errichten. Zum einen hat sie dort Grundstücke erworben, zum anderen hat die GEWOBAU Erlangen zusammen mit acht Umlandgemeinden eine gemeinsame Wohnungsbaugesellschaft, die GEWOLand GmbH, gegründet. Die GEWOBAU Erlangen wird die neue Gesellschaft als erfahrener Projektpartner im bezahlbaren Wohnungsbau betreuen. Aufgrund optimierter Grundrisstypen und standardisierter Bauweisen wird eine wirtschaftliche und zügige Realisierung gewährleistet. An sämtliche Projekte stellt die GEWOBAU Erlangen die Anforderung, dass kostengünstiger sozialer Wohnungsbau nicht auf städtebauliche und architektonische Ansprüche sowie zukunftsorientierte Wohnqualitäten (wie z.B. Barrierefreiheit) verzichten muss. Dieses wird auch bei den in das BDU-Projekt eingebrachten Baumaßnahmen (Brüxer Straße, Housing Area und Büchenbach-Nord) umgesetzt.

Allen Nachverdichtungsmaßnahmen ist gemein, dass sie überwiegend durch Fördermittel vor allem des Freistaats Bayern finanziert werden. Dies führt zu geförderten Mieten von 4,80 €/m² bis 6,80 €/m². Unter Berücksichtigung der sich aus den Förderprogrammen ergebenden baulichen Vorgaben, war es vorrangiges Ziel, die Wohnquartiere mit den gegebenen Mitteln insgesamt in Objektqualität, Standortqualität aber auch in Bezug auf den Vermietungserfolg zu optimieren. Die Mieterhöhungen für Bestandsmieter nach energetischer Sanierung oder Vollmodernisierung sollen 0,5 €/m² bzw. 1,00 €/m² Wohnfläche nicht übersteigen.

6.1.4 Gundlach GmbH & Co.KG Wohnungsunternehmen

Franz-Josef Gerbens

Jahrgang 1959

Dipl. Bau-Ing. (TU-Hannover 1986)

Seit 1992 bei der Firmengruppe Gundlach

Ab 2003 Technischer Leiter des Wohnungsunternehmens Gundlach

Ab 2007 zusätzlich Ökologiebeauftragter für die Unternehmensgruppe



Bei Start des Projektes hatte ich die Erwartung, dass wir uns gegenseitig die Ideen für herausragende Projekte vorstellen und dann einfach zusehen, wie aus den Plänen Häuser werden. Schließlich sind alle Projektpartner nachweislich kompetent, lange im Markt und wissen, was sie tun. Der zweite Teil dieser Erwartung wurde –zum Glück- enttäuscht. Der offene Informationsaustausch erlaubte es uns auch das zu zeigen, was nicht funktionierte, wo die Hürden liegen und wie Lösungen gefunden wurden. Wir haben die Karten auf den Tisch gelegt. Dafür möchte ich mich bei alle Beteiligten bedanken.

Als innovationsfördernd haben sich die Projektworkshops erwiesen. Die Lösungen und Lösungswege der Projektpartner waren für uns Ideenpool und Anreiz. Das Projekt im Herzkamp haben wir vom KfW-55-Standard auf den KfW-40-Standard gehoben.

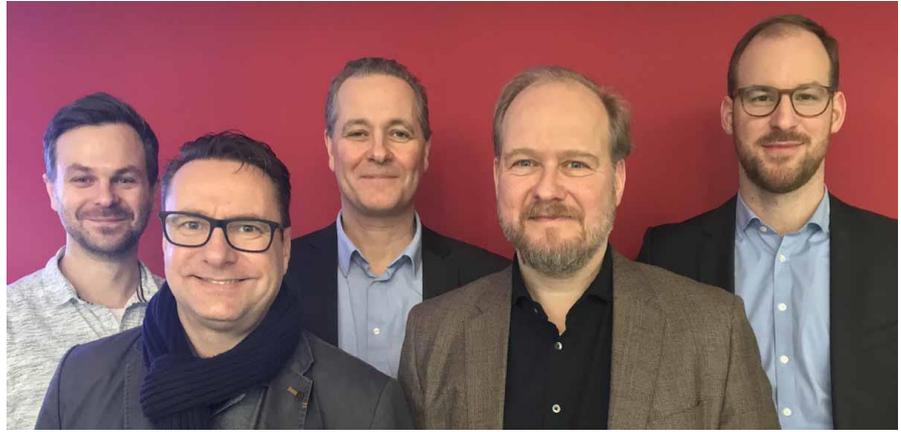
Klassische Planungsprozesse entlang der Leistungsphasen 1-9 HOAI haben systembedingt Probleme mit Innovationen. Entscheidungen dazu müssen in einer sehr frühen Phase getroffen werden. Die tatsächliche Realisierbarkeit stellt sich aber erst sehr spät, oft nach Ausführungsplanung und Ausschreibung mit Auswertung von Angeboten heraus. Das kostet zu viel Zeit und verbraucht wertvolle Kapazitäten bei allen Beteiligten. Aus dem Gefühl, umsonst gearbeitet zu haben, entsteht Frust. Gleiches gilt beim Auftauchen neuer Ideen. Welcher Planer bringt die freiwillig ein, wenn er damit seine bisherige Arbeit entwertet? Der Ansatz des Design Thinking kann uns nach meiner Überzeugung helfen, lähmende Strukturen zu öffnen. Konsequentes Denken aus Nutzersicht sortiert die Prioritäten neu.

Die große Herausforderung bleibt eine valide Kostenermittlung zu einem möglichst frühen Zeitpunkt. Im Projektverlauf dominierte die allgemeine Baupreisentwicklung die Kostenentwicklung stärker, als die technischen Varianten. Leider erlaubt die Projektlaufzeit keine abschließende Auswertung mit Vergleich von Soll und Ist.

Schlichte Checklisten – auch das hat das Projekt gezeigt - wünschen wir uns zwar sehr, werden aber den dynamischen Entwicklungen beim Bauen und Wohnen nicht gerecht. Den vorliegenden Projektbericht werden wir nutzen, um schneller zu Ersteinschätzungen zu gelangen. Das entbindet uns nicht von der Aufgabe, für jeden Einzelfall das Optimum z.B. für Energieversorgung oder Gebäudehülle zu finden.

6.1.5 HOWOGE Wohnungsbaugesellschaft mbH, Berlin

Stefan Schautes
Bereichsleiter Neubau, Prokurist



Team der HOWOGE (von links): Kay Gröne (Projektleiter Stromgewinnung/-Speicherung bei der Wärme), Burghard Fleischhauer (HOWOGE Gebäudetechnik), Matthias Schmitz-Peiffer (Geschäftsführer der HOWOGE Wärme GmbH), Stefan Schautes und Torben Maier (Projektleitung Sewanstraße und Projektbegleitung des DBU-Projektes)

Die HOWOGE ist mit über 60.000 Wohnungen eines der großen kommunalen Wohnungsunternehmen des Landes Berlin und einer der zehn größten Vermieter Deutschlands. Mit über 700 Mitarbeitern entwickeln, bauen, modernisieren, verwalten und vermieten wir – und das mit Erfolg seit 28 Jahren. Unsere Leidenschaft gehört jedoch nicht nur Häusern, sondern zuerst den Menschen, dem Quartier und dem Zusammenleben in Berlin. Unseren Auftrag, die Menschen in Berlin mit sozialem, preiswertem, qualitativ hochwertigem und nachhaltigem Wohnraum in lebenswerten Quartieren zu versorgen, nehmen wir sehr ernst. Wir sind ein ausgezeichneter Dienstleister sowohl gegenüber unseren Mietern als auch unseren Mitarbeitern. Die HOWOGE ist mit über 3.000 fertiggestellte Wohneinheiten seit 2014 und einer Projektpipeline von weiteren 15.000 WE bis 2026 einer der größten Projektentwickler Deutschlands.

Den von Herrn Dr. Schulze Darup und dem DBU initiierten Forschungsansatz haben wir gern mit unserem Projektteam in der Projektleitung Torben Maier, Stefan Schautes (Bereichsleiter Neubau, Prokurist) und Matthias Schmitz-Peiffer (Geschäftsführer der der HOWOGE Wärme GmbH) und Kay Gröne (Projektleiter Stromgewinnung/-Speicherung bei der Wärme) aufgegriffen und unterstützt. Wir haben ihn zum Anlass genommen, unser Projekt in der Sewanstraße in Berlin Lichtenberg nochmals auf wirtschaftliche Nachhaltigkeitsaspekte hin zu hinterfragen und zu optimieren. Dem Forschungsvorhaben, unseren Partnern und den gemeinsam erzielten Ergebnissen ist zu verdanken, dass ein gutes Projekt in dem Quartier im Stadtteil Rummelsburg mit Fertigstellung im Frühjahr 2019 als Wegweiser in der nachhaltigen Entwicklung von Wohnungsbau sicht- und erlebbar wird. Als Partner möchten wir explizit neben den Partnern im Forschungsvorhaben die Firmen thoma Architekten, ebert Ingenieure sowie die B+O Gebäudetechnik GmbH + Co. KG nennen.

Bei den Partnern im Forschungsvorhaben, insbesondere bei Herrn Dr. Schultze-Darup, möchten wir uns ganz besonders für den kollegialen, fachlich innovativen, ziel- und lösungsgerichteten Austausch und die gemeinsam erzielten und stets qualitativ hinterfragten Ergebnisse bedanken.

Nachhaltigkeit wird bei der HOWOGE ganzheitlich geplant, umgesetzt und gelebt. Wir werden unsere Bemühungen in der wirtschaftlichen Umsetzung von nachhaltigen Baustoffen und Bauteilen, sowie dem dauerhaft nachhaltigen Einsatz und Gewinnung von Energie auch auf der Grundlage der hiermit dokumentierten Ergebnisse weiter entwickeln.

Ziel ist, dass Nachhaltigkeit nicht teuer ist, sozial auch nicht teuer sein darf und selbstverständlicher Bestandteil von Planung, Bau und Betrieb ist.

6.2 Beiräte

6.2.1 Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

MinR Dr. Alexander Renner

II C 1

Energiepolitische Grundsatzfragen im Gebäudesektor



Im Gebäudebereich konnten insgesamt bereits substanzielle Effizienzverbesserungen und Minderungen des CO₂-Austoßes erreicht werden. In den letzten 28 Jahren wurden bis heute rund 40% auf 120 Mio. t CO₂ gemindert. Die Bundesregierung hat sich das Ziel gesetzt, dass der Gebäudebereich die direkten Emissionen um weitere 40% auf max. 72 Mio. t CO₂ im Jahr 2030 reduzieren wird. Auch wird er seinen Beitrag zu den Zielen der Energiewirtschaft (Strom, Fernwärme) leisten.

Das gelingt nur durch Energieeffizienz, durch die Dekarbonisierung von Strom und Wärmeinfrastruktur und die direkte Nutzung erneuerbarer Energien. Die „Energieeffizienzstrategie Gebäude“ der Bundesregierung zeigt auf, wie durch eine gute Kombination dieses Dreiklangs das Ziel erreicht werden kann. Dazu sind neben der richtigen Planung und Umsetzung von Bauprojekten auch Innovationen und Wissenstransfer unabdingbar. In der Umsetzung wird auf den bewährten Mix aus Anforderungen, bspw. in der EnEV, Förderung und Information, z.B. über die Energieberatung, gesetzt. Gerade die Effizienzhaus-Förderung trägt dazu bei, die energetischen Standards der Zukunft zu entwickeln, die Breitenanwendung zu ermöglichen und Kostendegressionen zu erzielen.

In diesem DBU Projekt wurden anhand von Neubauprojekten übergreifende Themen zum kostengünstigen und zukunftsfähigen Geschosswohnbau im Quartier beleuchtet. Hierbei sind innovative Lösungsansätze geplant und in ersten konkreten Bauprojekten bereits umgesetzt worden. Gerade der kostenoptimierte und gleichzeitig energetisch hochwertige Ansatz der ABG Frankfurt, der zeigt, dass Energieeffizienz nicht zwangsläufig mit Kostensteigerungen verbunden sein muss, oder das Effizienzhaus 40 plus Konzept der HOWOGE Berlin, welches neben Energieeffizienz auch die Eigenversorgung mit Strom in den Blickpunkt rückt, sind aus der Liste der beteiligten Projekte zwei Beispiele für die Machbarkeit der Energiewende. Auch die weiteren Projekte zeigen, dass die Erweiterung von bestehenden Quartieren durch Neubauten nicht im Widerspruch stehen, sondern gut geplant und umgesetzt einen enormen Mehrwert bedeuten. Wichtig sind deshalb insbesondere die gewonnenen Erkenntnisse aus den Planungs- und Bauphasen der Projekte sowie die Entwicklung von Alternativen auch im Sinne des nachhaltigen Bauens. Das DBU Projekt zeigt aber auch eindrucksvoll auf, wie sich die Angebotspreise und Baukosten im Laufe dieser relativ kurzen Projektzeit verteuert haben und dass der Markt für Bau- und Handwerksleistungen stark ausgelastet ist. Gleichzeitig zeigt das DBU Projekt, dass die Preise in den Regionen sehr unterschiedlich sind. Nur die ABG Frankfurt konnte ihre ursprüngliche Kostenkalkulation einhalten. Man sollte daher versuchen, die gewonnenen Erkenntnisse zu übertragen.

Die Schlussfolgerungen aus dem DBU Projekt können durchaus unterschiedlich ausfallen. Als Beiratsmitglied vertrete ich die Ansicht, dass die Mindeststandards für Energieeffizienz nach Abwägung von Kosten, Aufwand und Nutzen durchaus ausgewogen erscheinen. Aus der Projekterfahrung ziehe ich den Schluss, dass wir Energieeffizienz durch Förderung weiter begleiten müssen. Auch sollten wir den Blick noch stärker auf den Ausbau der erneuerbaren Energieversorgung in Gebäuden und Quartieren lenken. Zwischen dem volkswirtschaftlichen Optimum der Energiewende durch mehr Effizienz und dem einzelwirtschaftlich Tragbaren, das gilt für Investoren und Mieter, besteht eine gewisse Lücke. Es ist daher als sehr ungewiss einzustufen, ob die im Abschlussbericht abgeleiteten Entwicklungen, z.B. hinsichtlich der Kosten für Energieträger, eintreten werden. Hierfür sind sicherlich mehr Aspekte einzubeziehen, um die Energiewende mit dem richtigen und für alle Beteiligten angemessenen Instrumentenmix zum Erfolg zu führen.

6.2.2 GdW: Ingrid Vogler / Fabian Viehrig

Leiterin Energie und Technik, Bundesverband deutscher
Wohnungs- und Immobilienunternehmen e.V.



Das Projekt „Kostengünstiger und zukunftsfähiger Geschosswohnungsbau im Quartier“ hat gute Lösungen für neuerrichtete Wohngebäude erfolgreich unterstützt und vernetzt. Notwendige Weiterentwicklungen wurden im Austausch mit Wohnungsunternehmen klar herausgearbeitet: Für Quartiere wird es auf übergreifende Konzepte hinauslaufen, das heißt Heizenergie, Warmwasserbereitung, Haushalts- und Allgemeinstrom sowie Elektromobilität werden gemeinsam betrachtet werden. Dafür sind insbesondere die energiewirtschaftlichen (aber z.B. auch die steuerlichen) Regeln nicht ausgelegt.

Als Mitarbeiterin eines wohnungswirtschaftlichen Verbandes liegt mir am Herzen, dass Lösungen gefunden werden, die eine möglichst hoher Klimaschutzwirkung bei möglichst geringer Erhöhung der Wohnkosten erreichen. Neben Konzeptstudien müssen wir daher verstärkt die tatsächlichen Wohnkosten und Treibhausgasemissionen gebauter Häuser analysieren, um Aufwand und Nutzen besser zu verstehen. Mein Wissensstand z.B. zu Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung ist folgender (ich würde mich gern durch neue Analysen ausgeführter Projekte korrigieren lassen): in vermieteten Wohnungen sind fast immer die erwarteten Einspareffekte kleiner und die Folgekosten höher als erwartet.

Um Klimaschutz zur Zielgröße werden zu lassen benötigen wir auch eine durchgängige Orientierung von Anforderungen und Förderung an Treibhausgasemissionen. Das heißt natürlich nicht, Effizienzregeln abzuschaffen oder Gebäude mit hohem Wärmebedarf mit erneuerbarem Strom zu beheizen. Es heißt aber, zur Vermeidung von Treibhausgasen differenziert vorzugehen, indem die Energieeffizienz von Gebäuden und Quartieren in Abhängigkeit von der Versorgungslösung optimiert wird. Dafür könnte man durchaus einen „energiesparenden Mindestwärmeschutz“ erfinden, und ansonsten auf die Treibhausgasminderung setzen.

6.2.3 Deutsche Unternehmensinitiative Energieeffizienz

Christian Noll

Geschäftsführender Vorstand der DENEFF



Ein Energieeffizienznetzwerk für die Wohnungswirtschaft!

Zeitgleich, als klar wurde, dass Deutschland seine eigenen Klimaschutzziele für 2020 verfehlen wird, entbrannte eine Diskussion über die Bezahlbarkeit zielkompatibler energetischer Gebäudestandards. Schnell wurde die Energieeffizienz zum Feind des bezahlbaren Wohnens erklärt – ein perfekter Zielkonflikt. Dabei spielt Energieeffizienz gegenüber den Baulandpreisen, Stellplatzanforderungen oder Nachfrageeffekten nur eine nachrangige Rolle – und entlastet die Bewohner sogar von Betriebskosten.

Zahlreiche Beispiele zeigen, dass klimafreundliche Gebäude kostengünstig gebaut werden können und berechnete Werte sicher in der Praxis erreicht werden. Es klappt, nur noch nicht in der erforderlichen Breite. Statt bewährte Standards in Frage zu stellen, sollte also gefragt werden, wie das erforderliche Know-How weiterverbreitet und Erfahrungen und Lösungsansätze ausgetauscht werden können. Vor allem, da lange galt: „Deutschland ist gebaut“ besteht immenser Nachholbedarf.

Genau diese Lücke will das Projekt „Kostengünstiger und zukunftsfähiger Geschosswohnungsbau im Quartier“ endlich schließen. Der Austausch über Möglichkeiten zur Energieeffizienzsteigerung zwischen verschiedenen Unternehmen ist ein in der Industrie bereits bewährtes Konzept: Lernende Energieeffizienznetzwerke. Es ist daher wünschenswert, dass dieses Projekt schnell Schule macht, etwa in Form regionaler Kompetenz- und Netzwerkzentren.

Natürlich kann auch ein guter politischer Rahmen Leitplanken für eine bessere Praxis setzen. Die im Rahmen des Gebäudeenergiegesetzes diskutierte, sogenannte Innovationsklausel leistet dies aber nicht, sondern droht die Ziele weiter ins Belieben zu stellen. Es reicht nicht, nur die Anforderungsgrößen zu ändern, Ziele nur teilweise zu erreichen oder gar die Verantwortung in andere Sektoren abzuschieben. Vermeintlich „einfach“ CO₂-freies Heizen mit Grünstrom aus dem Netz unter Verzicht auf optimale Energieeffizienz kehrt de facto die Emissionen nur unter den Teppich der Energiewirtschaft. Dort verlängert dies die Nachfrage nach Kohlestrom und gefährdet die Akzeptanz der Energiewende durch einen vervielfachten Bedarf an Kraftwerken, Leitungen, Importen und die damit verbundenen Kosten.

Innovativ heißt, kostengünstige und einfachere Lösungen, die Möglichkeiten der Digitalisierung oder smartere Planung gemessen an tatsächlichen Ergebnissen voranzubringen. Politik kann hier den Rahmen vorgeben – lebendige Netzwerke zum Wissenstransfer aber nicht ersetzen.



6.2.4 KfW Bankengruppe

Dirk Markfort

Seit 2011 KfW (Kreditanstalt für Wiederaufbau): Senior Technischer Sachverständiger, Prokurist: Betreuung und Weiterentwicklung der wohnwirtschaftlichen Programme der KfW

2009 bis 2011 BBR: Referent für Energieeffizienz von Gebäuden, Mitwirkung bei Entwicklung öffentlich-rechtlicher Anforderungen an Gebäude

1998 bis 2008 IEMB: politikbegleitende Forschung zum Energiesparrecht

1991 bis 1998 TU Berlin: Studium der Techn. Gebäudeausrüstung

Das BMWi fördert mit dem CO₂-Gebäudesanierungsprogramm seit Jahren den energieeffizienten Neubau und die energetische Sanierung von Gebäuden. Die geförderten energetischen Standards sind dabei deutlich anspruchsvoller als durch das Ordnungsrecht gefordert. Insbesondere beim Neubau haben sich die KfW-Effizienzhaus-Standards erfolgreich am Markt etabliert und sind Wegbereiter sowohl für den energieeffizienten als auch kostengünstigen Wohnungsbau. Durch die finanzielle Unterstützung aus der Förderung werden auch anspruchsvolle energetische Standards in der Breite wirtschaftlich umgesetzt. Jedes Jahr wird rund die Hälfte des deutschen Wohnungsneubaus mit Mitteln aus dem CO₂-Gebäudesanierungsprogramm mitfinanziert. Die wesentlichen Kennwerte der Neubauförderung aus den Jahren 2006 bis 2016 sind in der nachfolgenden Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1 Energieeffizient Bauen / Ökologisch Bauen: Kennwerte der Förderung 2006 bis 2016

Förderfälle aus	Betroffene Wohneinheiten	Geplantes Investitionsvolumen* [Mio. €]	CO _{2e} -Reduktion [Tonnen pro Jahr]	Endenergieeinsparung** [GWh pro Jahr]	Gesamtbeschäftigungseffekte [Personenjahre]
2006	55.000	7.500	75.000	250	107.000
2007	48.000	7.400	67.000	230	103.000
2008	49.000	8.000	69.000	240	109.000
2009	64.000	9.900	103.000	340	135.000
2010	84.000	14.300	93.000	290	192.000
2011	81.000	14.600	85.000	290	199.000
2012	115.000	21.600	103.000	360	278.000
2013	129.000	27.700	94.000	340	341.000
2014	108.000	26.400	101.000	330	305.000
2015	142.000	31.900	139.000	380	355.000
2016	159.000	39.600	182.000	430	429.000
Kumuliert 2005 - 2016	1.035.000	208.800	1.111.000	3.470	2.553.000

* Gesamtbaukosten der Neubauten ** Fernwärme, Strom, fossile Brennstoffe, Biomasse

Im Jahr 2016 gab es die bislang letzte Veränderung in den energetischen Standards des KfW-Produkts „Energieeffizient Bauen“. Infolge der verschärften Anforderungen aus der Energieeinspar-Verordnung (EnEV) entfällt der energetische Standard KfW-Effizienzhaus 70 und das „KfW Effizienzhaus 40 Plus“ wird eingeführt. Wesentliches Merkmal dieses Standards ist, dass zunächst die energetischen Anforderungen eines Effizienzhauses 40 erfüllt werden müssen. Darüber hinaus bestehen zusätzlich technologische Anforderungen, wie der Einbau einer stromerzeugenden Anlage, der Einbau eines Stromspeichers, der Einbau einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung sowie der Betrieb eines Benutzerinterfaces zur Nutzerinformation über den erzeugten und den verbrauchten Strom.

Bereits im ersten Förderjahr wurde dieser Standard für rund 6.700 Wohneinheiten in Ein- und Zweifamilienhäusern sowie in Mehrfamilienhäusern beantragt. Die HOWOGE in Berlin zeigt aktuell in dem Projekt „Sewanstraße“ wie für zwei Punkthochhäuser mit insgesamt 99 Wohneinheiten dieser zukunftsweisende energetische Standard auch unter anspruchsvollen Randbedingungen erfolgreich umgesetzt werden kann.

Bei dem Projekt Sewanstraße hat sich die HOWOGE für eine Photovoltaikanlage als Technik zur Stromerzeugung entschieden. Die besondere Herausforderung besteht darin, die für ein KfW Effizienzhaus 40 Plus erforderliche Peakleistung auf der begrenzten Dachfläche zu installieren. Mit einer sehr guten Planung sowie der Wahl von hocheffizienten PV-Modulen wird die für diesen Anwendungsfall anspruchsvolle Anforderung erfolgreich eingehalten.

Erste überschlägliche Berechnungen der Planer weisen darauf hin, dass der zu erwartende Stromertrag der installierten Photovoltaikanlage den Eigenverbrauch des Gebäudes übersteigen kann. Der Eigenverbrauch setzt sich dabei aus den zwei Anteilen Haushaltsstrom der Wohnungen und Stromverbrauch der gebäudetechnischen Systeme zusammen. Der überschüssige Anteil des Ertrages, der nicht im Gebäude selber verbraucht werden kann, wird dann in das öffentliche Netz einspeist werden.

Von Seiten der KfW gilt es nun, die Erkenntnisse und Erfahrungen aus den Projekten des Forschungsvorhabnes als Input für die Fortschreibung des KfW-Effizienzhaus-40-Plus-Standards zu verwerten.

6.3 Industriepartner

Zehnder Group Deutschland GmbH

Bodo Zimmer

Jahrgang 1974, ist gelernter Kaufmann mit betriebswirtschaftlicher Zusatzausbildung, 20 Jahre Erfahrung im Vertrieb, seit 10 Jahren Branchenerfahrung im Umfeld erneuerbarer Energien und der Heizungs-Sanitärtechnik, derzeit Key-Account Manager bei der Fa. Zehnder mit bundesweitem Netzwerk zu Entscheidern in der Bau- und Wohnungswirtschaft



Das Forschungsvorhaben war geprägt durch intensive Diskussionen und Erfahrungsaustausch. Besonders erkenntnisreich war die sehr unterschiedliche Sichtweise der beteiligten Partner. Dadurch konnten Fragestellungen zum Teil vertieft und bisweilen in unkonventioneller Weise neue Sichtweisen gewonnen werden.

Die zentrale Frage ist: Wie kann trotz steigender Qualitätsansprüche und ordnungsrechtlicher Verschärfungen zukunftsfähiger Geschosswohnungsbau mit Blick auf steigendes Bewusstsein für Umweltaforderungen und Klimaschutzaspekte realisiert werden? Zehnder trug mit seiner Fachexpertise und beständigem Engagement dazu bei, dass die komfortable Wohnraumlüftung heute im zukunftsfähigen Geschosswohnungsbau nicht nur energetische Vorteile bietet, sondern den Wohnkomfort spürbar steigert. Innovationen wie Wärme- und Feuchterückgewinnung durch leistungsstarke Enthalpietauscher sowie Laibungsmodule zur dezenten Außen- und Fortluftführung in der Fensterlaibung bestätigen die Anforderungen des Marktes.

Durchaus skeptische Projektentwicklungen haben aber auch gezeigt, dass die kontrollierte Be- und Entlüftung unbeachtet blieb. Die Motive dafür waren zum einen emotional historisch bedingt und zum anderen dem vermeintlich geringen Budgetrahmen geschuldet. Anwendungsbeispiele in der Praxis zeigten jedoch, dass die komfortable Wohnraumlüftung kein Kostentreiber sein muss, sondern sich nachhaltig wertsteigernd auswirkt. KFW-Fördermittel und landeseigene Förderinstrumente kompensieren die Anschaffungs- und Installationskosten in nicht unerheblichem Maße. Weiterhin sind Einsparungen beim Wärmebedarf obligatorisch und dank Abführung von zu hoher Luftfeuchte schützt ein Komfort-Lüftungssystem zudem nachhaltig die Bausubstanz.

Gleichwohl werden wir als Hersteller weiter daran arbeiten die vorhandenen Systeme und Services für unsere Kunden ständig weiterzuentwickeln, um gewerbliche Kunden sowie Endanwender stärker zu motivieren die ökonomischen und ökologischen Vorteile eines Komfort-Lüftungssystems wahrzunehmen und dafür zu begeistern. Unumgänglich bleibt ein angeregter Dialog um die Klimaschutzziele bis 2050 mit Technologien wie diesen nachhaltig zu erfüllen.

7 Literatur & Quellen

- Agora 2018 Wert der Effizienz im Gebäudesektor in Zeiten der Sektorenkopplung. – Endbericht einer Studie vom Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg (ifeu), dem Fraunhofer IEE und Consentec, im Auftrag von Agora Energiewende, Berlin 2018
- ARGE 2014 Walberg (Hrsg.): Optimierter Wohnungsbau. Untersuchung und Umsetzungsbetrachtung zum bautechnisch und kostenoptimierten Mietwohnungsbau in Deutschland. – ARGE e. V. Bauforschungsbericht Nr. 66, Kiel 2014
- ARGE 2015 Walberg, Gniechwitz, Halstenberg: Kostentreiber für den Wohnungsbau. – ARGE e.V. Bauforschungsbericht Nr. 67 Kiel 2015
- ARGE 2016 Walberg (Hrsg.): Kostengegenüberstellung: Wärmedämmverbundsysteme (WDVS). – ARGE e. V. Bauforschungsbericht Nr. 73, Kiel 2016
- ARGE 2017 Walberg (Hrsg.): Kostengegenüberstellung: Wärmedämmverbundsysteme (WDVS). – Im Auftrag des Fachverbands Mineralwollindustrie, Auftragnehmer ARGE e. V. Bauforschungsbericht Nr. 73, Kiel 2017
- Bauindustrie 2017 Serieller Wohnungsbau: Der Schlüssel für mehr kostengünstigen Wohnraum in unseren Städten. Herausgegeben vom Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V. mit Unterstützung des GdW
- Bauverein Darmstadt 2011 Bauverein Darmstadt (2011): Geschäftsbericht 2011. Bericht über das 147. Geschäftsjahr. Hrg. V. Bauverein Darmstadt. Darmstadt.
- Behr, Großklos 2017 Behr, Großklos (Hrsg.): Praxishandbuch Mieterstrom. – Wiesbaden 2017
Hinweis: der im Bericht eingefügte Text wurde vollinhaltlich übernommen, jedoch in Abstimmung mit den Autoren formal und hinsichtlich der Textauswahl angepasst
- BBSR 2018 BBSR: eLCA – Werkzeug zur Ermittlung von Lebenszyklusanalysen von Bauteilen und Gebäuden. – Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, <https://www.bauteileditor.de/>
- Bermich 2014 Bermich, Ralf: Kostenvergleich unterschiedlicher Baustandards Wohngebäude. – Amt für Umweltschutz, Gewerbeaufsicht und Energie der Stadt Heidelberg 2014
- BetrKV 2003 Betriebskostenverordnung vom 25. November 2003 (BGBl. I S. 2346, 2347)
- BINE 2018 BINE Informationsdienst „Gebäude und Stadt“. – <http://www.bine.info/themen/gebäude-stadt/> Karlsruhe / Bonn 2018
- BKI 2018 BKI Baukosten: Statistische Kostenkennwerte für Positionen 2005 – 2018. Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern (BKl). 2005 – 2018
- BMU 2016 Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2016): Klimaschutzplan 2050. Kabinettsbeschluss vom 14.11.2016
- BMUB 2015 Neitzel, Dangel, Gottschalk: Bericht der Baukostensenkungskommission im Rahmen des Bündnisses für bezahlbares Wohnen und Bauen. – Im Auftrag BMUB Berlin 2015

- BMVBS 2012 Kosten energierelevanter Bau- und Anlagenteile bei der energetischen Modernisierung von Wohngebäuden, Berlin, Juni 2012 (BMVBS-Online-Publikation 07/2012), S. 15
- BMVBS-DGNB 2009 BMVBS und Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen: Deutsches Gütesiegel Nachhaltiges Bauen 2009 <http://www.nachhaltigesbauen.de/deutsches-guetesiegel-nachhaltiges-bauen.html>, Berlin 2009
- BMVI 2019 BMVI: Masterpläne „Green City“ <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/K/masterplaene-green-city.html>
- BMWi 2014 Bekanntmachung zur Forschungsförderung im 6. Energieforschungsprogramm „Forschung für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung“. – BMWi Berlin 8. Dezember 2014
- BMWi 2017 Bundesbericht Energieforschung 2017. – BMWi 2017 <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/bundesbericht-energieforschung-2017.html>
- BMWi 2017-1 Stellungnahmen der Bundesländer und Verbände zum Referentenentwurf zum Gesetz zur Förderung von Mieterstrom. – BMWi 2017 <https://www.bmwi.de/Navigation/DE/Service/Stellungnahmen/Mieterstrom/stellungnahmen-mieterstrom.html>
- BMWi 2018 Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: Forschung für energieoptimierte Gebäude und Quartiere. – <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Textsammlungen/Energie/forschungsfoerderung-fuer-gebaeude-und-quartiere.html>
- Bundesrat Drucksache 538/17 Gesetz zur Förderung von Mieterstrom und zur Änderung weiterer Vorschriften des Erneuerbare-Energien-Gesetzes. Bundesrat Drucksache 538/17 vom 30.06.17
- dena 2017 Deutsche Energie-Agentur GmbH (Hrsg.): Szenarien für eine marktwirtschaftliche Klima- und Ressourcenpolitik 2050 im Gebäudesektor. – Berlin 2017
- Destatis 2017 Antwort seitens Destatis vom 10. Mai 2017 13:21 zum Betreff: Bautätigkeitsstatistik, Statistisches Bundesamt, GZ 397637 / 557318 – an_eicke-hennig@energieinstitut-hessen.de
- Destatis 2018-1 *Glossar Baupreisindizes*. Statistisches Bundesamt. Wiesbaden 2018 <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesamtwirtschaftUmwelt/Preise/Glossar/Baupreisindizes.html> (Zugriff 30.8.2018)
- Destatis 2018-2 Bau- und Immobilienpreisindices. Statistisches Bundesamt. Wiesbaden 2018 – https://www.destatis.de/DE/Publikationen/StatistischesJahrbuch/Preise.pdf?__blob=publicationFile (Zugriff 30.8.2018)
- Destatis 2018-3 *Neubau (konventionelle Bauart) von Wohn- und Nichtwohngebäuden*. Statistisches Bundesamt. Wiesbaden 2018 https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Indikatoren/Konjunkturindikatoren/Preise/bpr110.html?cms_gtp=145848_list%253D1#Fussnote1a (Zugriff 30.8.2018)

Deutscher Bundestag 2016	Deutscher Bundestag: Bestimmung der Werte der Primärenergiefaktoren im Sinne der Energieeinsparverordnung. – Sachstandsbericht des Wissenschaftlichen Dienstes, Deutscher Bundestag WD 5 – 3000 – 026/16, Berlin 2016
DGS, Schulze Darup 2015	DGS, Schulze Darup: Klimaschutzszenario – Strategien zur Klimaneutralität im Gebäudebestand bis 2050. – Im Auftrag der DGS, gefördert durch das BMUB Berlin 2015
Drexel 2018	Drexel: Zwei Grad – Eine Tonne. – Wolfurt 2018
EAN 2012	EAN, Schulze Darup: Energieeffizienzstrategie Nürnberg 2050. – Im Auftrag des Umweltreferats der Stadt Nürnberg 2011 – 2012
Ecofys 2014	Ecofys, Schulze Darup: Preisentwicklung Gebäudeenergieeffizienz. – Im Auftrag der DENEFF, Berlin 2014
EGS-Plan 2016	EGS-Plan 2016 Beispielberechnung für ein MFH mit 1.800 m ² Wohnfläche
eLCA 2018	BBSR: Webbasierte Lebenszyklusanalyse von Baukonstruktionen – eLCA. – https://www.bauteileeditor.de/
energieinstitut hessen 2018	Werner Eicke-Hennig: Was darf die Zukunft kosten? – Präsentation, eicke-hennig@energieinstitut-hessen.de, Energieinstitut Hessen 2018
Energiesprong 2018	Energiesprong Deutschland. – DENA, Berlin 2018, https://www.dena.de/themenprojekte/projekte/gebaeude/serielles-sanieren-von-mehrfamilienhaeusern/
Energiewendebauen 2018	Energiewendebauen https://projektinfos.energiewendebauen.de/ BMWi Berlin 2018
EnEV 2016	Energieeinsparverordnung 2016
Erdwärmeinformation 2018	Die Erdwärmebohrer: Beratung, Auslegung und Beibringen von Bohrgenehmigungen. – Verbund von Bohrunternehmen. https://erdwaermeinformation.de Berlin 2018
Erhorn-Kluttig, Jank et al 2011	Erhorn-Kluttig, Jank, Schrepf et al: Energetische Quartiersplanung. – Gefördert im Rahmen der Forschungsinitiative „Energieeffiziente Stadt“ des BMWi, Stuttgart 2011
F+B 2016	F+B: Analyse des Einflusses der energetischen Standards auf die Baukosten im öffentlich geförderten Wohnungsbau. – Hamburg 2016
Feist 2014	Wolfgang Feist: Passivhaus – das nächste Jahrzehnt. – Tagungsband der Internationalen Passivhaustagung Aachen 2014
Fisch / Möws / Zieger 2001	Fisch / Möws / Zieger: Solarstadt – Konzepte, Technologien, Projekte. – Stuttgart 2001
FIW 2017	Holm, A. Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München: Energetische Standards als Kostentreiber für den Neubau? – Vortrag 10. November 2017
Frick/Knöll 2015	Hestermann, Rongen: Frick/Knöll Baukonstruktionslehre. – Springer Vieweg 2015
GdW 2017	Erstellung eines VoFi-Rechentools im Rahmen des Forschungsvorhabens: Besonderer Dank an Christian Gebhardt und Ingrid Vogler vom GdW für die Unterstützung

GEBA 2018	Produktthinweis auf eine zentral zu wartende Brandschutzklappe: GEBA Typ WFK
GEG 2018	Referentenentwurf des Gebäudeenergiegesetzes (Vorabversion). – Berlin 2018
GEMIS 2018	GEMIS (Globales Emissions-Modell integrierter Systeme), frei verfügbares Lebensweg- und Stoffstromanalyse-Modell mit integrierter Datenbank. – IINAS, Darmstadt 2018
Graumann, Rascher 2015	Graumann, Rascher: Wohnungsgenossenschaften als strategische Partner beim Klimaschutz und einer nachhaltigen, sozial ausgewogenen Energiewende, Düsseldorf 2015
Großklos, Behr, Paschka 2015	Großklos, Behr, Paschka: Möglichkeiten der Wohnungswirtschaft zum Einstieg in die Erzeugung und Vermarktung elektrischer Energie, Forschungsinitiative Zukunft Bau, Darmstadt 2015
Gundlach 2016	Gundlach / gruppeomp Architektengesellschaft GmbH: Wohnquartier Hilligenwöhren, Baufeld 1 – Gebäudehülle. – Präsentation zum Projekttreffen am 08.12.2016
Hauptverband der deutschen Bauind. 2017	Hauptverband der deutschen Bauindustrie: Serieller Wohnungsbau. – Unter Mitwirkung des GdW Bundesverband deutscher Wohnungs- und Immobilienunternehmen e.V., Berlin 2017
Heitel, Kämpf-Dern et al 2012	Heitel, Stephanie; Kämpf-Dern, Annette; Pfnür, Andreas (2012): Nachhaltiges Management von Stakeholderbeziehungen kommunaler Wohnungsunternehmen. Eine empirische Untersuchung am Beispiel der Bauverein AG Darmstadt (Arbeitspapiere zur immobilienwirtschaftlichen Forschung und Praxis, Band Nr. 27)
Holthuisen, Kiesewetter et al 2018	Holthuisen, Kiesewetter et al: Energiewende – Irrtümer aufbrechen, Wege aufzeigen. – eZeit Ingenieure GmbH im Auftrag des BBU Verband Berlin-Brandenburgischer Wohnungsunternehmen e. V., Berlin 2018
HOWOGE-JAHN 2017	Jahn architecture: Serielle Vorfertigung im Wohnbau – Campus Ohlauer Strasse, Berlin Kreuzberg. – Planung im Auftrag der HOWOGE, Berlin 2017
InWIS 2009	Neitzel: Wirtschaftlichkeitsberechnungen im Rahmen des Forschungsvorhabens „Energieeffizienz mit städtebaulicher Breitenwirkung“, Antragsteller gdw, Bearbeitung durch Schulze Darup & Partner Nürnberg und InWIS Bochum, Förderung durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Berlin-Bochum-Nürnberg 2009
INWIS 2015	InWIS: Übersicht zu kostengünstigen Projekten im sozialen Wohnungsbau, Ergebnisvorstellung im Rahmen der 6. Sitzung der Baukostensenkungskommission, 21. April 2015
INWIS 2017	Neitzel, M.: Baukosten und Energieeffizienz Nachweis des Einflusses von Energieeffizienzstandards auf die Höhe von Baukosten, Januar 2017
KNBau 2018	Lerm, Lützkendorf, Rambow, Schulze Darup: Was tun – im Wohnungsbau? – Handlungsempfehlungen für den nachhaltigen Wohnungs- und Städtebau. – Zwischenruf der Expertenkommission Nachhaltiges Bauen (KNBau) am Umweltbundesamt, Dessau 2018
Krick 2015	Krick: Das Konzept der erneuerbaren Primärenergie. – In: Passiv-, Nullenergie- oder Plusenergiehaus, Kissing 2015

Krick, Schulze Darup 2019	Krick, Schulze Darup: 25 years of cost degression and life cycle costs – from pilot project to universally affordable consumer good. – Darmstadt/Berlin 2019
Klupp, Memmler, Nowa 2017	Klupp, Memmler, Nowa: Marktstudie 2017 – Serielles Bauen. – Verband norddeutscher Wohnungsunternehmen e.V., Verband Thüringer Wohnungs- und Immobilienwirtschaft e.V. 2017
LfU Bayern 2018	Schulze Darup, Burkhard: Wohnungslüftung. – Broschüre im Auftrag des LfU Bayern, Augsburg 2018 (Inhalte in Kap. 4.4 wurden z. T. daraus entnommen)
Markfort 2019	Dirk Markfort, KfW: Präsentation auf dem Abschlusskongress des Forschungsvorhabens „Kostengünstiger und zukunftsfähiger Geschosswohnungsbau im Quartier“ am 24.1.2019 in Hannover
Mc Kinsey 2018	Mc Kinsey: Infrastruktur & Wohnen – Deutsche Ausbauziele in Gefahr. – www.mckinsey.com Februar 2018
Mieterbund 2019	https://www.mieterbund.de/mietrecht/ueberblick/nebenkosten.html (Download 5.2.2019)
Mieterbund 2018	Deutscher Mieterbund, Betriebskostenspiegel für Deutschland 2016/2017, veröffentlicht 2018
Mieterbund 2019	Quelle: https://www.mieterbund.de/mietrecht/ueberblick/nebenkosten.html
Müller, Pfnür 2016	Nikolas D. Müller, Andreas Pfnür (2016): Wirtschaftlichkeitsberechnungen bei verschärften energetischen Standards für Wohnungsneubauten aus den Perspektiven von Eigentümern und Mietern – Methodisches Vorgehen und Fallbeispiel. In: Andreas Pfnür (Hrsg.), Arbeitspapiere zur immobilienwirtschaftlichen Forschung und Praxis, Band Nr. 32.
nachhaltiges bauen 2018	Bundesministerium des Innern: www.nachhaltigesbauen.de ; „Leitfaden Nachhaltiges Bauen“: http://www.nachhaltigesbauen.de/fileadmin/pdf/Leitfaden_2015/LFNB_D_final-barrierefrei.pdf
NaWoh 2018	NaWoh-Zertifizierung. – Verein zur Förderung der Nachhaltigkeit im Wohnungsbau e.V. Berlin 2018 (www.nawoh.de)
NaWoh 2018 a	Kriteriensteckbriefe zur NaWoh-Zertifizierung. – http://www.nawoh.de/downloads/kriteriensteckbriefe
Neitzel 2017	Neitzel: Baukosten und Energieeffizienz, Nachweis des Einflusses von Energieeffizienzstandards auf die Höhe von Baukosten. – Bochum 2017
Neitzel, Schulze Darup 2010	Neitzel, Schulze Darup: Energieeffizienz mit städtebaulicher Breitenwirkung – Technische und wirtschaftliche Voraussetzungen zur flächenhaften Umsetzung von energetisch hochwertigen Modernisierungen in zusammenhängenden Wohnquartieren. - Abschlussbericht zum DBU-geförderten Forschungsprojekt, AZ: 26422 – 25
Neitzel, Walberg 2016	Neitzel, Walberg (Hrsg.): Instrumentenkasten für wichtige Handlungsfelder der Wohnungsbaupolitik. – Studie im Auftrag des Verbändebündnis Wohnungsbau Bochum 2016

ökobaudat 2018	Informationsportal Nachhaltiges Bauen des Bmi: https://www.oekobaudat.de/
O'Sullivan, Overland, Sandalow 2017	O'Sullivan, Overland, Sandalow: The Geopolitics of Renewable Energy. – Center on Global Energy Policy, Columbia University, New York 2017
Oschatz, Hartmann, Werding 2018	Oschatz, Hartmann, Werding: Anteil der Energieeffizienz an Kostensteigerungen im Wohnungsbau. – ITG Dresden im Auftrag des Bundesverbands Erneuerbare Energie e.V., Dresden 2018
PHI 2017	Passivhaus Institut Darmstadt: PER-Faktoren – in: PHPP (Passivhaus Projektierungs Paket) des Passivhaus Instituts Darmstadt 2017
PHPP 2007	Passivhaus Projektierungs Paket. – Passivhaus Institut Darmstadt www.passiv.de Darmstadt 2007
Prognos 2015	Thamling, Pehnt, Kirchner: Hintergrundpapier zur Energieeffizienzstrategie Gebäude. – Erstellt im Rahmen der Wissenschaftlichen Begleitforschung zur Erarbeitung einer Energieeffizienzstrategie Gebäude im Auftrag der Bundesstelle für Energieeffizienz; Prognos et al, Berlin, Heidelberg, Darmstadt 2015
Rongen, Schulze Darup et al 2015	Rongen, Schulze Darup, Tribus, Vallentin: Passiv-, Nullenergie oder Plusenergiehaus. – WEKA 2015
Saliger 2018	Dr. Rainer Saliger, Siemens AG, Vortrag beim Projekttreffen bei der GEWOBAU Erlangen am Di. 30.1.2018; Grundlagen: CoC Dezentrale Energiesysteme; LBNL, Wind technologies market report 2014, Fraunhofer ISE PV report 2014, IHS Technology Battery report 2015, BNEF 2015 (Visualisierung der Grundlagendaten: Schulze Darup)
sirAdos 2014	sirAdos Bauhandbuch Baukosten Neubau 1989 / 1992 / 2004 / 2014. WEKA Media GmbH. 1989 – 2014
Schubert 2018	Schuberth: Deutscher Bauherrenpreis – eine Auswertung. – Dessau 2018
Schulze Darup 1998	Schulze Darup: Adaption von US-Leichtbaukonstruktionen zum kostengünstigen Wohnungsbau in Deutschland. – Untersuchung im Auftrag von Brochier, Nürnberg 1998
Schulze Darup 2012	Schulze Darup: Energieeffiziente Wohngebäude. – Fraunhofer IRB Verlag, 2012
Schulze Darup 2012-1	Schulze Darup: Plusenergiekonzept für ein Baugebiet mit etwa 100 Gebäuden / Wohneinheiten, Baugebungsplan 411, Erlangen-West, Häuslinger Wegäcker Mitte; Auftraggeber: Stadt Erlangen 2012
Schulze Darup 2013	Schulze Darup, EAN: Klimaschutzgutachten Gemeinde Kulmain. - Im Auftrag der Gemeinde Kulmain 2013
Schulze Darup 2014-1	Schulze Darup: Energieeffizienzstrategie zur Erreichung der Klimaneutralität Erlangens bis zum Jahr 2050. - Auftraggeber: Stadt Erlangen 2014
Schulze Darup 2014	Schulze Darup: Leistungsverzeichnisse 1990 – 2014. – Architekturbüro schulze darup und partner architekten, Nürnberg 1990 – 2014

Schulze Darup 2017	Schulze Darup: Nachfrage auf den Energieberater tagen Rheinland-Pfalz am 16.11.2017 und Hessen am 23.11.2017 im Plenum der Veranstaltung
Schulze Darup 2018	Schulze Darup: Richtig lüften mit Komfortlüftungsanlagen. – Herausgeber: Bayerisches Ministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie, München 2018
Spiegel online 2018	Vertraulicher Lagebericht – Cyber-Abwehrzentrum warnt vor Stromausfall in ganz Europa. – Spiegel online 24.8.2018 http://www.spiegel.de/netzwelt/netzpolitik/sicherheitsbehoerden-halten-europaweiten-stromausfall-nach-hackerangriff-fuer-moeglich-a-1224727.html
SRU 2018	Sachverständigenrat für Umweltfragen: Wohnungsneubau langfristig denken – Für mehr Umweltschutz und Lebensqualität in den Städten. – Berlin 2018
Statistisches Bundesamt 2015	DESTATIS: Vom Bauherren/Architekten veranschlagte Baukosten nach DIN 276 zum Zeitpunkt des Bauantrags. – Statistisches Bundesamt 2015 (Daten aufbereitet durch Werner Eicke-Hennig / Burkhard Schulze Darup)
Tews 2013	Tews: Energiearmut definieren, identifizieren und bekämpfen – eine Herausforderung der sozialverträglichen Gestaltung der Energiewende Vorschlag für eine Problemdefinition und Diskussion des Maßnahmenportfolios. FFU-Report 04-2013
UBA 2016	Bürger, Hesse, et al: Klimaneutraler Gebäudebestand 2050. – Öko-Institut e.V. und Fraunhofer ISE im Auftrag des Umweltbundesamtes, Forschungskennzahl 3713 49 101, UBA-FB 002280, Freiburg 2016
UBA 2016	Expertenkommission Nachhaltiges Bauen im Umweltbundesamt: Unterbringung von Flüchtlingen in Deutschland. Hinweise für den Übergang von einer Erstversorgung zu nachhaltigen Lösungen. – Umweltbundesamt Dessau 2016
Vakuum-Ver- glasung 2008	Mehrere Anbieter aus Südkorea und Japan sind auf dem Markt, Deutsche Anbieter wollen folgen: https://www.baulinks.de/fensterbau/vakuumglas-vakuumverglasung.php
Vogler 2014	Ingrid Vogler: Untersuchung von mittel- und langfristigen Auswirkungen verschiedener Energie-Einsparstrategien von Wohnungsunternehmen auf die Wohnkosten. – Dissertation Universität Kassel 2014
VNW vtw 2017	Marktstudie 2017 - Serielles Bauen. - Beauftragt durch VNW Verband norddeutscher Wohnungsunternehmen e.V. & vtw Verband Thüringer Wohnungs- und Immobilienwirtschaft e.V., Erstellt durch ANALYSE & KONZEPTE 2017
Wärmenetze 4.0	Modellvorhaben Wärmenetzsysteme 4.0. – Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle http://www.bafa.de/ Referat: 513, 2018
WBS 2018	Wohnungsbewertungssystem des Bundesamts für Wohnungswesen BWO, Grenchen, Schweiz (WBS - http://www.wbs.admin.ch/de)
Weeber 2008	Weeber, Rotraut; Weeber, Hannes; Baumann, Dorothee; Bosch, Simone (2008): Die zweite Miete. Strategien zur Eindämmung der Betriebskosten insbesondere in großen Wohnanlagen der 60er und 70er Jahre. Hg. v. Weeber+Partner. Stuttgart
Wuppertal Institut 2018	Wuppertal Institut; Viebahn, Zelt et al (Hrsg.): Technologien für die Energiewende Band 1 und 2. - Berichte zum Teilprojekt A im Rahmen des strategischen BMWi-Leitprojekts „Trends und Perspektiven der Energieforschung“ Wuppertal 2018

8 Impressum & Abbildungsnachweis

Der Projektbericht stellt die Ergebnisse des Forschungsvorhabens dar und basiert auf dem Austausch in den zahlreichen Projektworkshops der Wohnungsunternehmen und auf den Erfahrungen der Projektbeteiligten. Für den Bericht wurden diese Inhalte gemäß der vorliegenden Gliederung zusammengestellt und durch zusätzliche Informationen ergänzt.

Autor des Projektberichts

Dr. Burkhard Schulze Darup

Sundgauer Straße 54, 14169 Berlin

Mail: schulze-darup@schulze-darup.de

Kapitel 2.4.5: Dank an Christian Gebhardt, GdW und Ingrid Vogler, GdW für die fachliche Unterstützung bei Erstellung des VoFi-Tools

Autorin Kapitel 2.5: Ingrid Vogler, GdW

Kapitel 4.8.1: Dank an Iris Behr, IWU für die Beratung und Bereitstellung des Textes

Kapitel 5: Dank an die Wohnungsunternehmen für die Bereitstellung der Texte und Materialien:

Jürgen Braun, ABG FRANKFURT HOLDING

Tobias Kühn, BGW Bielefeld

Gernot Kuchler, GEWOBAU Erlangen

Franz-Josef Gerbens, GUNDLACH Hannover

Stefan Schautes, Torben Maier, HOWOGE Berlin

Kapitel 6: Persönliche Stellungnahmen der Projektpartner zum Forschungsvorhaben

Herzlichen Dank an die Industriepartner für Ihre Unterstützung und den fachlichen Input: Mainova, Rockwool, Viessmann, Xella, Zehnder und Züblin

Ganz besonderer Dank an die Beiräte für die sehr konstruktive Mitwirkung, die vielen Anregungen und den Austausch beim Erstellen des Projektberichts:

Frank Junker – ABG FRANKFURT HOLDING

Dirk Markfort – KfW

Christian Noll – DENEFF

Alexander Renner – BMWi

Ingrid Vogler – GdW

Abbildungen

(Seitenangaben und Reihenfolge auf der Seite)

ABG FRANKFURT HOLDING

Seite 35.2, 210, 230

ABG FRANKFURT HOLDING/schneider+schumacher

Seite 19, 34.4, 201

ABG FRANKFURT HOLDING/HHS PLANER+ARCHITEKTEN AG

Seite 210, 211

BGW Bielefeld

Seite 34.5, 35.1, 204, 206, 207, 208, 231

GEWOBAU Erlangen

Seite 36.2, 190, 191, 192, 219, 220, 224, 226, 227, 228, 232

GEWOBAU Erlangen / Gräbel Architekten

Seite 36.3, 228,

GEWOBAU Erlangen / HOCH5

192, 193, 221, 222, 223, 225,

GUNDLACH Hannover

Seite 35.4, 35.5, 97, 98, 185, 186, 214, 215, 233

GUNDLACH / gruppeomp architekten

Seite 34.1, 96, 187, 188

HOWOGE Berlin

Seite 83, 197, 234

HOWOGE / Thoma Architekten

Seite 1 (Titel), 34.3, 194,

HOWOGE / Jahn Architecture

Seite 35.3, 212, 213

DBU, Djahanschah: Seite 10

Eicke-Hennig/Schulze Darup: Seite 62

BMWi, Renner: Seite 235

GdW, Vogler: Seite 236

DENEFF, Noll: Seite 237

KfW, Markfort: Seite 238

Zehnder, Zimmer: Seite 240

B. Schulze Darup: alle sonstigen Abbildungen

Berlin, Februar 2019

Förderung durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt

DBU AZ 33119/01-25

gefördert durch



Deutsche
Bundesstiftung Umwelt

www.dbu.de

