

Zusammenstellung von kostengünstigen Lösungen im Gebäudebereich der Forschungsinitiative **ENERGIEWENDEBAUEN**

Dezember 2024

verfasst von Jessica Preuss (Fraunhofer IBP)



Inhalt

1. Kurzfassung	3
2. Hintergrund und Aufgabenstellung.....	4
3. Methodik.....	4
4. Kosten im Gebäudebereich.....	5
5. Entwicklungen der Bau- und Energiekosten	8
6. Zusammenstellung von Ergebnissen aus Förderprogrammen	12
7. Querauswertung der Energiewendebauen-Projekte	15
8. Zusammenfassung und Ausblick	18
9. Literaturverzeichnis.....	20
Anhang I – Liste der kosteneffizienten Lösungen	21
Anhang II – Kurzbeschreibung der Projektinterviews	25

1. Kurzfassung

Die Bundesregierung fördert die angewandte Energieforschung in Deutschland im Bereich der Gebäude und Quartiere im Rahmen der Forschungsinitiative ENERGIEWENDEBAUEN (EWB). In Bezug auf die Umsetzbarkeit innovativer Lösungen in der Praxis sind Kosten und Wirtschaftlichkeit von zentraler Bedeutung. In dieser Arbeit werden die Projekte der EWB-Forschungsinitiative mit kostengünstigen oder kostensparenden Ansätzen gebündelt und querausgewertet. Der erste Teil der Arbeit fasst Informationen zu Kosten im Gebäudebereich aus der Literatur zusammen. Es wird deutlich, dass eine Vielzahl an Lösungsansätzen zur Begrenzung der Baukosten in der Literatur identifiziert werden; die Herausforderung besteht vor allem darin, diese breitenwirksam in der Praxis umzusetzen. Der Verlauf der Bau- und Energiepreise in den letzten Jahren zeigt, dass diese im Vergleich zum allgemeinen Verbraucherpreisindex stärker, teilweise deutlich stärker, gestiegen sind. Die Ergebnisse aus dem BMUB-Forschungsprogramm „Variowohnungen“ zeigen, dass eine Senkung der Bau- und Betriebskosten bei einzelnen Projekten auf verschiedene Weise realisiert werden kann. Es scheint von zentraler Bedeutung, die Senkung der Bau- und Betriebskosten bei Bauprojekten hervorzuheben, verschiedene Möglichkeiten zu untersuchen und eine für das jeweilige Projekt passende Lösung auszuwählen. Um kostengünstiges Bauen und Betreiben stärker zu thematisieren, sind Benchmarks notwendig. Ein Ansatz zur Definition solcher Benchmarks für Neubauten im Wohngebäudebereich wird in der Förderrichtlinie zum klimafreundlichen Neubau im Niedrigpreissegment eingesetzt. Weitere Ansätze fehlen und sollten entwickelt werden.

Im zweiten Teil der Arbeit werden die Forschungsprojekte aus der EWB-Förderinitiative zum Thema kosteneffiziente Lösungen im Gebäudebereich querausgewertet. Insgesamt wurden 76 Projekte mit kostengünstigen oder kostensparenden Ansätzen identifiziert und analysiert. Informationen zu den einzelnen Projekten wurden anhand von Fragebögen und Kurzinterviews mit Projektnehmenden eingeholt. Bei der Querauswertung der EWB-Projekte wurde deutlich, dass eine Vielfalt an verschiedenen kosteneffizienten Ansätzen im Gebäudesektor erforscht wird. Der größte Anteil der Projekte liegt im Themenbereich Monitoring, Steuerung, Messtechnik und Betrieb gefolgt vom Themenbereich der Wärme- und Kälteversorgung. Betrachtet man den Gebäudelebenszyklus, werden bei den ausgewerteten Projekten schwerpunktmäßig Ansätze mit Kostenvorteilen im Bereich der Betriebs- bzw. Instandhaltungskosten, gefolgt von den Herstellungs-, Errichtungs- bzw. Investitionskosten erforscht.

2. Hintergrund und Aufgabenstellung

Mit der Forschungsinitiative ENERGIEWENDEBAUEN (EWB) fördert die Bundesregierung die Forschung, Entwicklung und Demonstration von energieeffizienten Gebäuden und Quartieren mit dem Ziel, bis zum Jahr 2045 die Treibhausgasneutralität in Deutschland zu erreichen. Die Erreichung der Klimaneutralität und damit auch die Energieeffizienz von Gebäuden und Quartieren sollte nicht isoliert, sondern im Kontext weiterer Herausforderungen im Gebäudesektor betrachtet werden. In einer vorangegangenen Querauswertung der EWB-Forschungsinitiative [1] wurden die Herausforderungen von innovativen Technologien gesammelt; unter anderem wurden als Hemmnis die Kosten genannt. Insbesondere mit Hinblick auf den Einsatz innovativer Lösungen in der Praxis spielen Kosten und Wirtschaftlichkeit eine zentrale Rolle. In dieser Arbeit werden die kosteneffizienten Lösungen der EWB-Forschungsinitiative im Gebäudebereich gebündelt und querausgewertet. Sie besteht aus zwei Teilen: Im ersten Teil werden Informationen zum Thema Kosten und kosteneffizientes Bauen bzw. Betreiben im Gebäudebereich aus der Literatur sowie aus anderen Forschungsinitiativen zusammengefasst. Im zweiten Teil werden die Projekte der EWB-Forschungsinitiative mit kostengünstigen bzw. kostensparenden Ansätzen beleuchtet.

Mit dieser Veröffentlichung beabsichtigt Modul 2 der EWB-Begleitforschung, die Arbeiten der EWB-Forschungsprojekte zum Thema kostengünstige und kostensparende Lösungen im Gebäudebereich zu bündeln. Die gesammelten Informationen und projektübergreifenden Auswertungen sollen einen Überblick des derzeitigen Forschungsstands geben, um so die weitere Anwendung, Verbreitung und Weiterentwicklung von kosteneffizienten Ansätzen zu unterstützen.

Der Begriff „kosteneffizient“ wird in dieser Arbeit als Oberbegriff für kostengünstig und kostensparend verwendet. Der Begriff „kostengünstig“ beschreibt Investitionskosten oder laufende Kosten in der mittleren bis unteren Kostenspanne. Bei der Querauswertung der EWB-Projekte hat sich gezeigt, dass einige der entwickelten Lösungen einen Kostenvorteil bieten, indem bestimmte Kosten aufgrund der gewählten Variante entfallen, hier wird der Begriff „kostensparend“ verwendet.

3. Methodik

Im ersten Teil werden anhand einer Literaturrecherche allgemeine Informationen zu Kosten im Gebäudebereich sowie zur Entwicklung der Bau- und Energiekosten in den letzten Jahren zusammengestellt. Darüber hinaus werden Ergebnisse aus anderen Forschungsprogrammen zum Thema kostengünstiges Bauen und Betreiben von Gebäuden präsentiert.

Im zweiten Teil der Arbeit erfolgt eine Querauswertung der EWB-Forschungsprojekte, die sich mit kosteneffizienten Lösungen befassen. Die Identifikation der Projekte erfolgte mithilfe von Fragebögen, die zweimal während der Begleitforschungsperiode (2021 und 2022) an die EWB-Projekte versendet wurden. Die erhobenen Daten basieren auf den Angaben der Projektnehmenden und bilden die Grundlage für die Querauswertung. Insgesamt gaben 76 Projektnehmende an, kosteneffiziente Lösungen im Gebäudebereich zu erforschen. Eine Liste der ausgewerteten Projekte findet sich in Anhang I. Um einen tieferen Einblick in die Projekte und vor allem deren kostengünstige Ansätze zu erhalten, wurden mit einigen Projektnehmenden Kurzinterviews durchgeführt. Eine Projektbeschreibung mit kurzen Stichpunkten zum jeweiligen kosteneffizienten Ansatz, die zur Dokumentation der Kurzinterviews erstellt wurde, findet sich in Anhang II.

4. Kosten im Gebäudebereich

Die Kosten im Gebäudebereich und deren Einflussfaktoren sind ein sehr umfassendes und komplexes Thema. In der DIN 276 [2] sind die Kosten für den Neubau, den Umbau und die Modernisierung von Bauwerken und Anlagen in acht unterschiedliche Kostengruppen (KG) gegliedert: KG 100 Grundstück, KG 200 Vorbereitende Maßnahmen, KG 300 Bauwerk – Baukonstruktionen, KG 400 Bauwerk – Technische Anlagen, KG 500 Außenanlagen und Freiflächen, KG 600 Ausstattung und Kunstwerke, KG 700 Baunebenkosten und KG 800 Finanzierung. Die jeweilige Kostengruppe wird in weitere Kostengruppen der zweiten und dritten Ebene unterteilt. Die Unterteilung nach DIN 276 wird vor allem bei der Planung und beim Bau oder der Sanierung eines Gebäudes zur Ermittlung der Projektkosten sowie als Grundlage der Honorarberechnung für Architekten und Ingenieure genutzt. Die Nutzungskosten im Hochbau werden in der DIN 18960 [3] beschrieben. Hier werden vier Nutzungskostengruppen definiert (NKG): NKG 100 Kapitalkosten, NKG 200 Objektmanagementkosten, NKG 300 Betriebskosten und NKG 400 Instandsetzungskosten. Eine weitere Untergliederung in Nutzungskostengruppen der zweiten und dritten Ebene ist auch in der DIN 18960 beschrieben. Die Festlegung von Begriffen und Grundsätzen der Kostenplanung im Hochbau dient der einheitlichen Vorgehensweise bei der Kostenplanung und ermöglicht die Vergleichbarkeit von Ergebnissen der Kostenermittlungen.

Eine besondere Bedeutung des kostengünstigen Bauens und Betriebens besteht bei Wohngebäuden und öffentlichen Gebäuden. Im Bericht der Baukostensenkungskommission [4] wird der Zusammenhang zwischen Baukosten, Wirtschaftlichkeit und Bezahlbarkeit von Wohngebäuden grafisch dargestellt. Abbildung 1 veranschaulicht, dass Faktoren wie Wagnis und Gewinn, die Grundstückskosten, Baukosten, Finanzierungskosten, Verwaltungskosten und Instandhaltungskosten die Kaltmiete bestimmen. Die Nebenkosten werden von den Energie- und Wasserkosten, öffentlichen Gebühren bzw. Beiträgen sowie weiteren Betriebskosten beeinflusst. Zudem wirkt sich die Standort-, Objekt- bzw. Wohnqualität und das „Image“ auf die Mietkosten aus. Der Fokus des Berichts liegt auf den grau hervorgehobenen Baukosten (KG 300 und 400 nach DIN 276). Die Darstellung verdeutlicht jedoch, dass viele Faktoren für die Bezahlbarkeit der Wohnkosten ausschlaggebend sind, darunter auch das zur Verfügung stehende Einkommen der Mieter. Nach [4] sind Wohnkosten bezahlbar, wenn sie aus dem verfügbaren Haushaltseinkommen ohne übermäßige Belastung getragen werden können.

Zusammenhang zwischen Baukosten, Wirtschaftlichkeit und Bezahlbarkeit

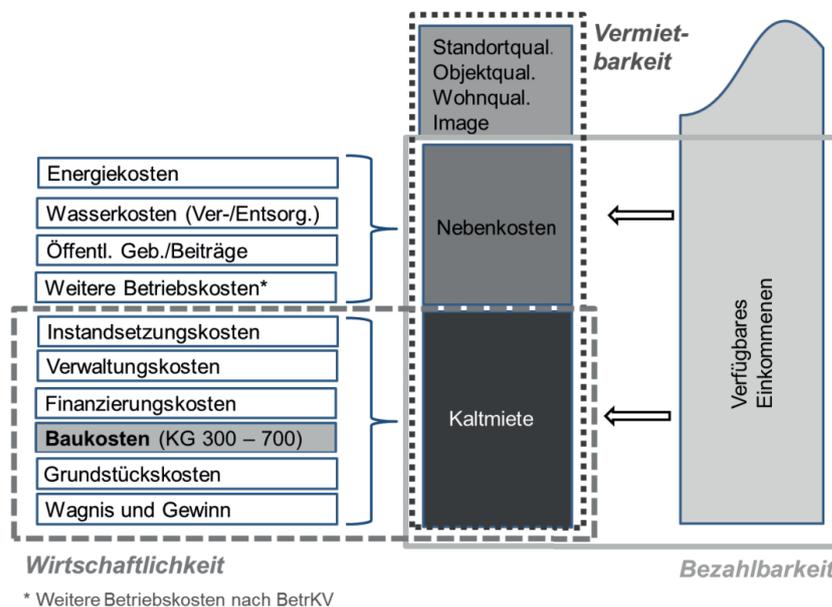


Abbildung 1: Zusammenhang zwischen Baukosten, Wirtschaftlichkeit und Bezahlbarkeit. Quelle: [4].

Das Maßnahmenpaket Baukostensenkung [5] stellt den Umsetzungsstand (2019) der Empfehlungen der Baukostensenkungskommission mit Ausblick auf zukünftige Aktivitäten dar. Der Bericht fasst verschiedene Themenschwerpunkte zur Baukostensenkung zusammen wie zum Beispiel das Bauordnungsrecht weiterentwickeln und harmonisieren sowie serielles und modulares Bauen weiter vorantreiben. In der Studie zu Maßnahmen für einen kostengünstigen nachhaltigen Wohnraum [6] wird der Forschungsstand zum Thema Baukosten systematisch erfasst und analysiert. Auf Basis der umfangreichen Analyse werden sechs Handlungsfelder zur Begrenzung der Baukosten identifiziert:

- Vereinfachung, Flexibilisierung und Harmonisierung des Bauordnungsrechts
- Verbreitung von Standardisierung und seriellem und modularem Bauen
- Vereinfachte, (digital) integrierte Planungs-, Ausführungs- und Genehmigungsprozesse
- Kooperative Planungskultur/Integration von Planung und Bauausführung
- Lowtech-Strategien und Reduktion auf Notwendiges
- Förderung von Fachkräfte- und Kompetenzaufbau und breitenwirksamer Wissens- und Erkenntnistransfer

Die Bandbreite der Handlungsfelder zeigt, wie vielfältig die Einflussfaktoren auf die Baukosten sind. In der Studie wird darauf hingewiesen, dass über die Baukosten hinaus zunehmend die gesamten Lebenszykluskosten in den Fokus der Kostendiskussion rücken. In der ISO 21931 [7] werden die Rahmenbedingungen und Grundlagen zur Nachhaltigkeitsbewertung von Gebäuden festgehalten. Der Lebenszyklus von Gebäuden wird in fünf Phasen aufgeteilt: Bauvorbereitung (pre-construction), Produktphase (product stage), Bauprozess (construction process), Nutzungsphase (use stage) und Lebensendphase (end-of-life stage).

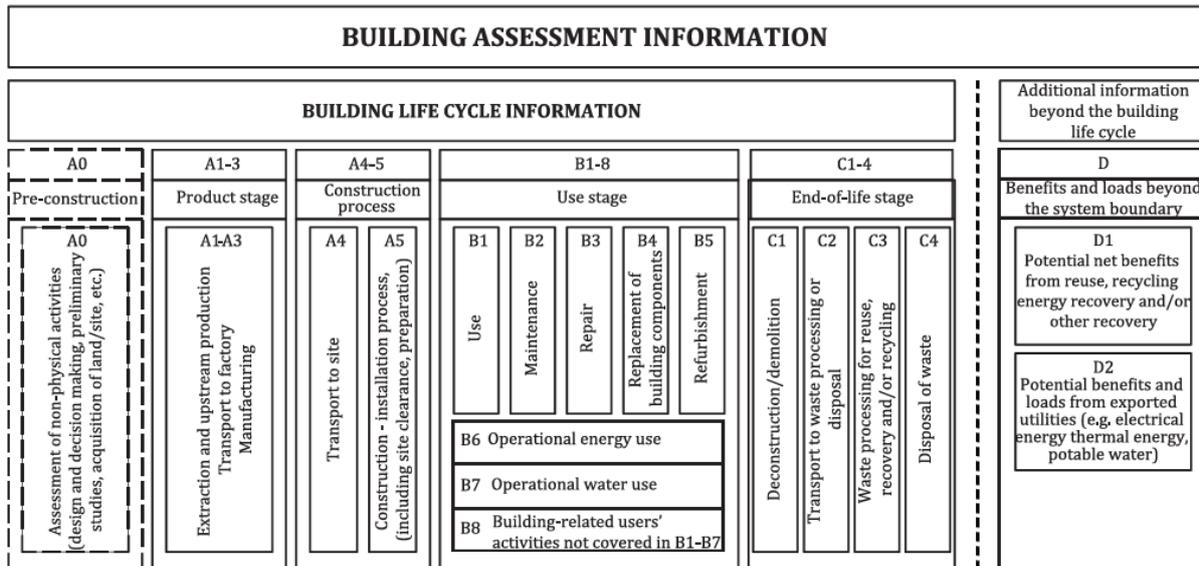


Abbildung 2: Lebenszyklusphasen A0 bis C4 eines Gebäudes nach ISO 21931. Quelle: [7].

In der Studie zu Maßnahmen für einen kostengünstigen nachhaltigen Wohnraum [6] wird darauf hingewiesen, dass die Datenbasis zur Analyse der Baukosten und deren Entwicklung begrenzt ist. Für die Datenbasis zur Analyse der Lebenszykluskosten von Gebäuden trifft dies verstärkt zu. Im Rahmen dieser Literaturrecherche konnten keine realen Datengrundlagen zur Analyse der Lebenszykluskosten von Gebäuden ermittelt werden. Das Programm PLAKODA WEB [8], welches im Auftrag der Bauministerkonferenz entwickelt wurde, dient der überschlägigen Ermittlung von Investitions- und Nutzungskosten von Gebäuden. Insgesamt soll die Datenbank etwa 3.900 abgerechnete Neubauprojekte und 700 abgerechnete Umbau- und Sanierungsmaßnahmen der Länder und des Bundes enthalten. Das Paket mit Daten zur Gebäudenutzung ist jedoch noch nicht verfügbar. Eine fundierte Analyse, welche Anteile der Gesamtkosten in den einzelnen Lebenszyklusphasen anfallen, ist ohne Datengrundlagen nicht möglich.

Da der Fokus der Forschungsinitiative Energiewendebauen (EWB) auf dem Bereich der Energieeffizienz liegt, wird der Schwerpunkt in dieser Arbeit auf die Bau- und Energiekosten gesetzt. Um trotz fehlender Datengrundlagen eine ungefähre Größenordnung der Kostenanteile von Bau- und Energiekosten zu erhalten, werden diese im Folgenden anhand eines stark vereinfachten Beispiels für eine Wohnung in einem Mehrfamilienhaus dargestellt. Nach dem Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern (BKl) liegen die durchschnittlich erfassten Baukosten (KG 300 und 400) für ein Mehrfamilienhaus (6 bis 19 Wohneinheiten) im Jahr 2024 zwischen 1.920 bis 3.695 €/m² Nutzfläche (Bandbreite einfacher bis hoher Standard) [9]. Geht man von einer 70 m² großen Wohnung mit einem 2-Personen-Haushalt und einer Nutzungsdauer von 50 Jahren aus, ergeben sich je nach Heizsystem Energiekosten zwischen 1.090 und 1.270 €/m². Eine Steigerung der Energiepreise über die Nutzungsdauer wurde dabei nicht berücksichtigt. Die Energiekosten wurden mit mittleren Verbrauchsdaten für das Abrechnungsjahr 2023 aus dem Heizspiegel¹ (Gebäude ab dem Baujahr 2022) und dem Stromspiegel² berechnet. Dabei wurde der durchschnittliche

¹ <https://www.heizspiegel.de/heizkosten-pruefen/heizspiegel/>, zuletzt abgerufen am 13.12.2024

² https://www.stromspiegel.de/fileadmin/ssi/stromspiegel/Downloads/StromspiegelFlyer_2023_Web.pdf, zuletzt abgerufen am 13.12.2024

Haushaltsstrompreis von 40,92 ct/kWh nach BDEW angesetzt³. Diese dargestellten Zahlen zu den Bau- und Energiekosten einer Wohnung in einem Mehrfamilienhaus basieren auf verschiedene Datenquellen und damit auf unterschiedliche Randbedingungen wie Energiestandards, Nutzerverhalten, etc. Unter diesen vereinfachten Randbedingungen ergibt sich, dass bei einem Neubau die anfänglichen Baukosten die Energiekosten für Wärme und Strom über einen Zeitraum von 50 Jahren übersteigen. Die Bau- und Energiekosten werden von vielen Faktoren wie z. B. dem Gebäudetyp (Wohngebäude, Bürogebäude, etc.), der Ausstattung, dem Energiestandard und dem Nutzerverhalten beeinflusst und können unter der Annahme anderer Randbedingungen unterschiedlich ausfallen.

5. Entwicklungen der Bau- und Energiekosten

Eine Zusammenstellung der relevanten Rahmenbedingungen und Voraussetzungen für kostengünstiges Bauen sowie deren Entwicklungen und Trends, z. B. die Entwicklung der Wohnpräferenzen, der Haushaltseinkommen und des Anteils der Wohnkosten sowie der Baukapazitäten und der Materialknappheit, kann im ersten Teil der Studie zu Maßnahmen für kostengünstigen nachhaltigen Wohnraum [6] nachgelesen werden. In der Aktualisierung der Baupreis- und Baukostenentwicklung [10] werden Daten der Baukosten zwischen den Jahren 2000 und 2019 aufbereitet.

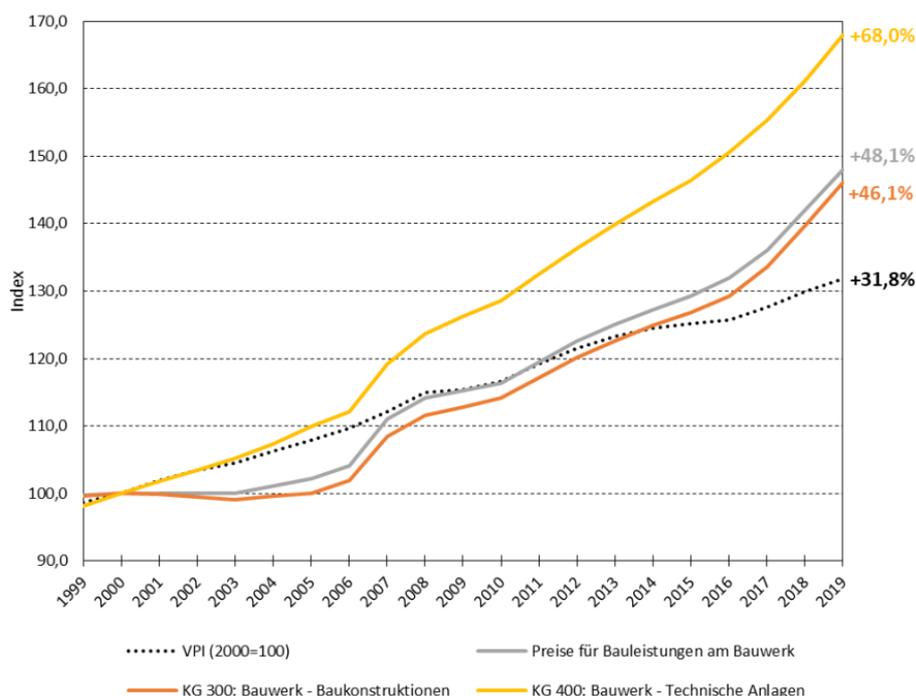


Abbildung 3: Darstellung der Indexreihen „KG 300: Bauwerk – Baukonstruktionen“ und „KG 400: Bauwerk – Technische Anlagen“ im Vergleich zum Verbraucherpreisindex (VPI). Quelle: [10].

In Abbildung 3 werden die Preisveränderungen für Bauleistungen am Bauwerk im Vergleich zum Verbraucherpreisindex (VPI) mit dem Basisjahr 2000 dargestellt. Im betrachteten Zeitraum sind die Preise für die Bauleistungen um 48,1 % gestiegen, der VPI um 31,8 %. Damit ist der Preisanstieg für

³ <https://www.bdew.de/service/daten-und-grafiken/bdew-strompreisanalyse/>, zuletzt abgerufen am 13.12.2024

Bauleistungen um 16,3 Prozentpunkte gestiegen. Der Anstieg der in KG 300 erfassten Kosten für das Bauwerk (Baukonstruktion) verläuft mit 46,1 % ähnlich zu der Entwicklung der Baupreise. Die Zunahme der Kosten der KG 400 (Technische Anlagen) mit 68 % liegt deutlich höher als die allgemeine Teuerungsrate und die durchschnittlichen Bauleistungspreise.

Die Auswertung der zweiten Ebene der KG 400 zeigt, dass ein deutlicher Anstieg in fast allen Kostenuntergruppen (KG 410–460) zu verzeichnen ist (siehe Abbildung 4). Die größten Steigerungen sind bei den Wärmeversorgungsanlagen (KG 420) mit 87,8 %, den Abwasser-, Wasser- und Gasanlagen (KG 410) mit 84,8 % und den raumlufttechnischen Anlagen (KG 300) mit 78,3 % zu erkennen. Auch die Kosten für elektrische Anlagen (KG 440) und kommunikations-, sicherheits- und informationstechnische Anlagen (KG 450) sind mit 67,2 % bzw. 56,6 % stärker gestiegen als der Durchschnitt der Bauleistungspreise. Allein bei den Förderanlagen liegt der Kostenanstieg mit 33,1 % in der Größenordnung des Verbrauchspreisindex (VPI).

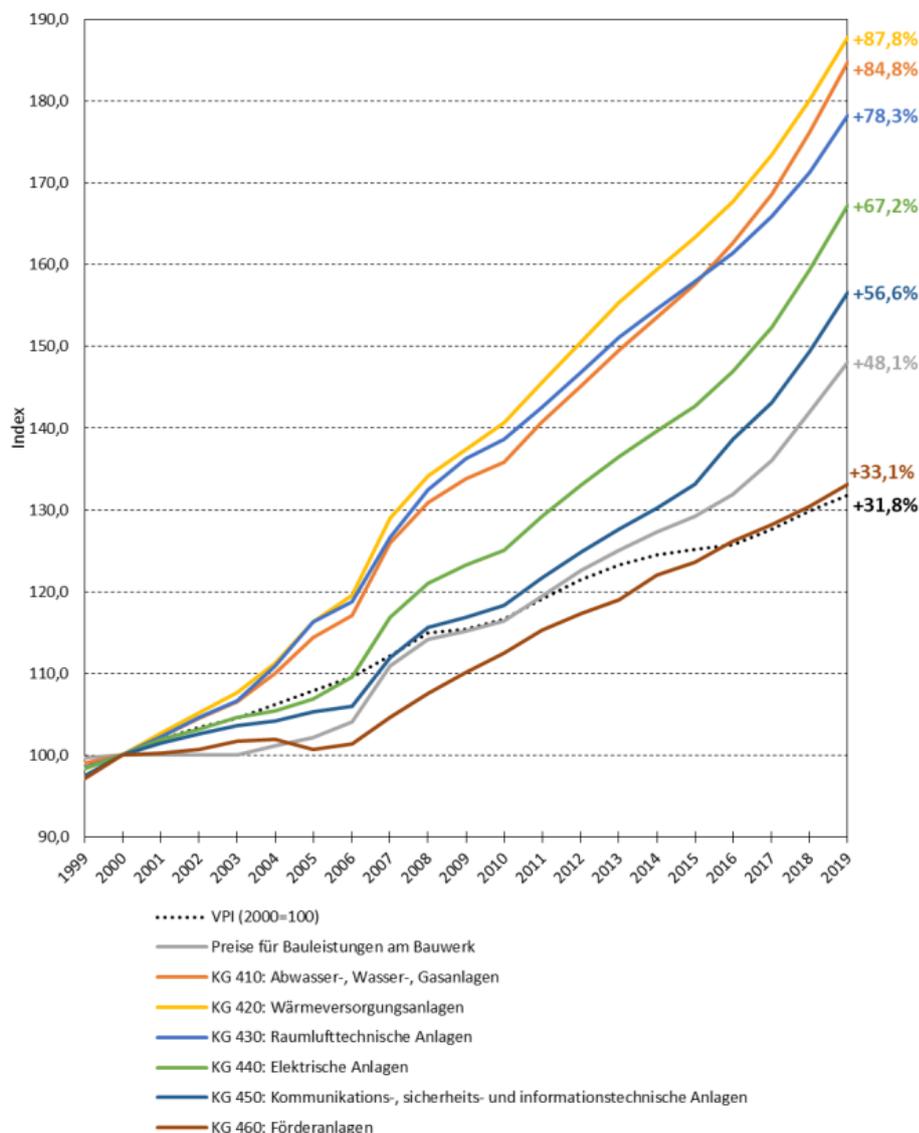


Abbildung 4: Darstellung der Indexreihen der Kostenuntergruppen 410–460 der „Kostengruppe 400: Bauwerk – Technische Anlage“. Quelle: [10].

Im Beitrag zu den Kosten der technischen Anlagen von Gebäuden im Wandel der Zeit in [9] wird die Entwicklung des Kostenanteils der technischen Anlagen an den Bauwerkskosten (KG 300 und 400) der letzten 25 Jahre anhand von Daten des BKI ausgewertet. Die Ergebnisse der Auswertung zeigen, dass sich der Anteil der Kosten der technischen Anlagen an den Bauwerkskosten bei einigen Gebäudearten kaum verändert, bei anderen dagegen deutlich zugenommen hat. Insgesamt wurden 12 Gebäudearten betrachtet. Kaum eine Veränderung des Anteils ist bei den Sportbauten und Betriebs- und Werkstätten erkennbar. Eine geringe Steigerung (0,9 bis 2,1 Prozentpunkte) ist bei den Pflegeheimen, Gaststätten/Kantinen/Mensen und den Lagergebäuden zu verzeichnen. Bei den Büro- und Verwaltungsgebäuden sowie den Ein- bzw. Zweifamilienhäusern und Doppel- bzw. Reihenhäusern nahm der Anteil mittelmäßig (2,7 bis 3 Prozentpunkte) zu. Eine Zunahme zwischen etwa 4 und 5 Prozentpunkten ist bei Kindergärten, Schulen und Mehrfamilienhäusern zu sehen. Die Zunahme des Anteils der technischen Anlagen an den Bauwerkskosten liegt am höchsten bei den Instituts- bzw. Laborgebäuden und Feuerwehrhäusern mit 6,3 bzw. 8,1 Prozentpunkten. Des Weiteren werden die Kosten der technischen Anlagen in der zweiten Ebene der Kostengliederung nach Anlagengruppe aufgeführt. Hohe bis sehr hohe Zunahmen der Kostenanteile sind nach dieser Auswertung für die raumlufttechnischen Anlagen, die elektrischen Anlagen, die kommunikations-, sicherheits- und informationstechnischen Anlagen, die Förderanlagen, die nutzungsspezifischen Anlagen und die Gebäude- und Anlagenautomation (KG 430 bis 480) gegeben. Die KG 410, 420 und 490 (Abwasser-, Wasser-, Gasanlagen, Wärmeversorgungsanlagen und sonstige Maßnahmen für technische Anlagen) sind in dieser Auswertung nicht unter den hohen bis sehr hohen Kostensteigerungen aufgeführt. Die Anteilsteigerungen der Kosten unterscheiden sich auch hier je nach Gebäudeart. Im zitierten Beitrag von [9] wird darauf hingewiesen, dass es innerhalb der einzelnen Gebäudearten Unterschiede geben kann.

Ein zentrales Ergebnis der Studie zu kostengünstigem nachhaltigem Wohnraum [6] ist, dass unter den derzeitigen Rahmenbedingungen eine signifikante Senkung der Baukosten nicht realisierbar scheint. Stattdessen sollten weitere Kostensteigerungen verhindert werden. Dies ist nicht durch Einzelmaßnahmen umzusetzen, sondern vielmehr durch übergreifende Lösungsansätze der sechs identifizierten Handlungsfelder (siehe Kapitel Kosten im Gebäudebereich). Zudem wird festgehalten, dass Lösungsansätze und Maßnahmen zur Schaffung von kostengünstigem nachhaltigem Wohnraum bekannt sind. Die Herausforderung liegt vielmehr an der breitenwirksamen Umsetzung dieser Maßnahmen in der Planungs- und Baupraxis.

Daten zur Entwicklung der Energiepreise werden regelmäßig vom Statistischen Bundesamt veröffentlicht. Dabei wird zwischen Primärenergieträgern und Sekundärenergieträgern unterschieden (siehe Abbildung 5). Die Primärenergieträger kommen in der Natur vor und werden in der Regel durch Förderung, Aufbereitung und Umwandlung zu Sekundärenergieträgern [11]. Die Preisentwicklung der Primärenergieträger beeinflusst daher stark die der Sekundärenergieträger.

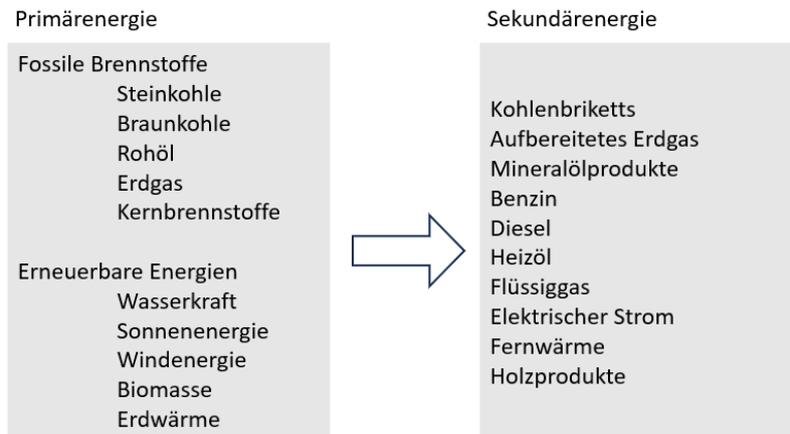


Abbildung 5: Einteilung in Primär- und Sekundärenergieträger. Quelle: Eigene Darstellung nach [11].

In den Rahmendaten der Treibhausgas-Projektionen 2024 für Deutschland [12] werden die historischen Preisentwicklungen und Preisprognosen der Primärenergieträger Rohöl, Steinkohle und Erdgas aufbereitet. Alle drei Primärenergieträger zeigen deutliche Schwankungen in der historischen Preisentwicklung mit einem starken Anstieg ab 2020. Dieser starke Anstieg ist vor allem auf die Covid-19-Pandemie sowie auf den Angriffskrieg der Russischen Föderation auf die Ukraine zurückzuführen. Während einige Studien einen Aufwärtstrend der Preise prognostizieren, gehen andere von einem Preisrückgang aus. Für die drei Primärenergieträger Rohöl, Steinkohle und Erdgas gehen die Empfehlungen von [12] von einem Abwärtstrend in Zukunft aus. Abbildung 6 zeigt beispielhaft die Darstellung der historischen Großhandelspreise und ausgewählte Prognosen sowie die Prognoseempfehlung für den Primärenergieträger Erdgas.

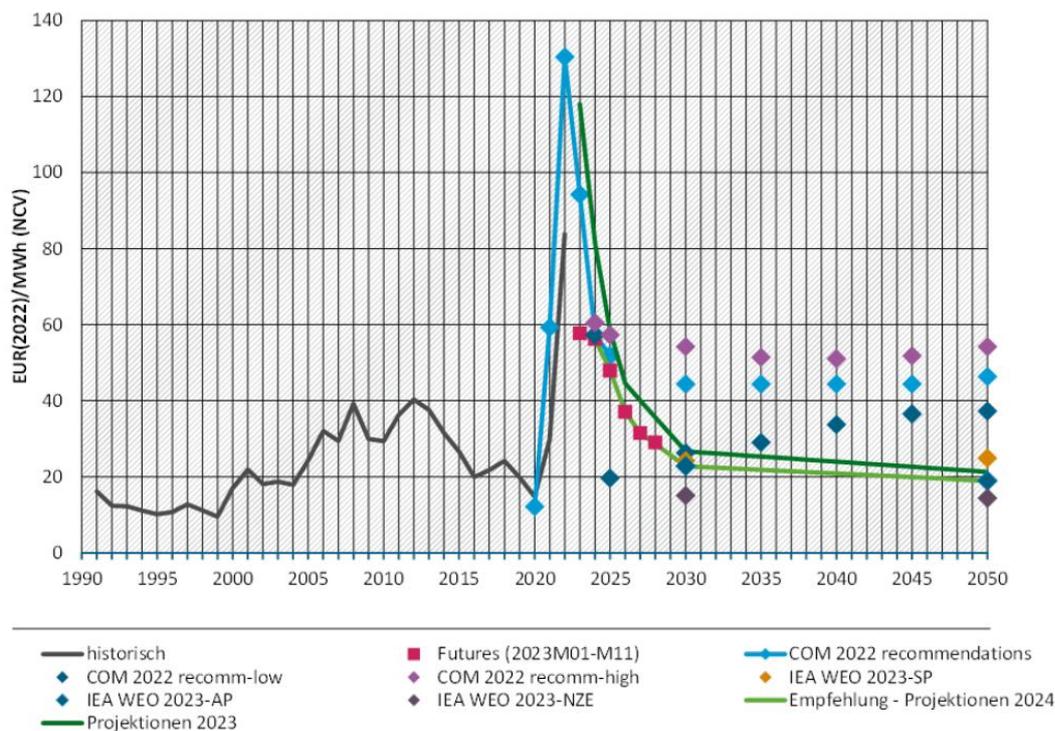


Abbildung 6: Großhandelspreis Erdgas NWE/THE im historischen Trend sowie für ausgewählte Projektionen und Empfehlung für die Projektionen 2024. Quelle: [12].

Für den Gebäudeeigentümer oder Mieter sind die Verbraucherpreise der im Gebäude verwendeten Energieträger, also auch der Sekundärenergieträger, relevant. Die zeitliche Entwicklung der Verbraucherpreise für Strom, Gas, Heizöl und feste Brennstoffe wird im Vergleich zur allgemeinen Teuerungsrate (VPI) dargestellt. Die Indexsteigerung mit dem Basisjahr 2000 wird einmal für das Jahr 2023 und zur besseren Vergleichbarkeit mit den Baukosten (siehe Abbildung 3 und Abbildung 4) auch für das Jahr 2019 dargestellt. Mit Teuerungsraten zwischen 44,8 und 49,2 % haben sich die Preise von Heizöl und festen Brennstoffen bis zum Jahr 2019 in ähnlicher Größenordnung zum allgemeinen Verbraucherpreisindex entwickelt. Deutlich über dem Gesamtdurchschnitt liegen hingegen die Preise für Gas und Strom mit 67,7 bzw. 114,6 % im Jahr 2019. Der Aufwärtstrend und insbesondere der deutlich höhere Anstieg im Vergleich zum VPI verstärken sich ab dem Jahr 2020. Der Preisindex mit Basisjahr 2000 steigt bis 2023 zwischen 113,6 und 228,5 % an.

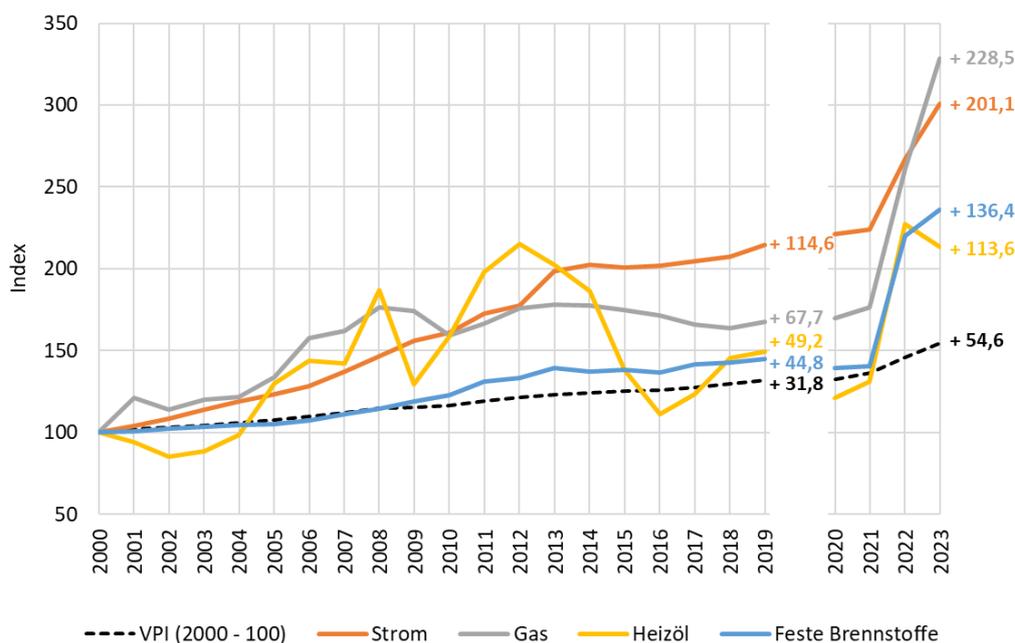


Abbildung 7: Darstellung der Indexreihen Strom, Gas, Heizöl und feste Brennstoffe im Vergleich zum Verbraucherpreisindex (VPI). Quelle: eigene Darstellung mit Daten von [13].

Zusammenfassend ist festzustellen, dass sowohl die Baukosten als auch die Energiepreise in den letzten Jahren gestiegen sind. Im Vergleich zum allgemeinen Verbraucherpreisindex bis 2019 sind die Baukosten in der KG 300 Baukonstruktion in ähnlicher Größenordnung gestiegen, während in der KG 400 Technische Anlagen ein deutlich stärkerer Anstieg zu verzeichnen ist. Für die Entwicklung der Baukosten nach 2019 liegen keine Daten vor. Bei den ausgewerteten Sekundärenergieträgern (Strom, Gas, Heizöl und feste Brennstoffe) sind bis 2019 Preissteigerungen zwischen 44,8 und 114,6 % zu beobachten. Ab 2020 nimmt der Preisanstieg bei allen betrachteten Energieträgern signifikant zu.

6. Zusammenstellung von Ergebnissen aus Förderprogrammen

Neben einer Literaturrecherche zum Thema Bau- und Energiekosten wurden auch Förderprogramme mit dem Schwerpunkt kostengünstiges Bauen und Betreiben von Gebäuden untersucht. Es konnten lediglich zwei Förderprogramme identifiziert werden: das bereits abgeschlossene Förderprogramm

Variowohnungen und ein kürzlich gestarteter Förderaufruf für nachhaltige Neubauten im Niedrigpreissegment. Beide Programme werden im Folgenden kurz beschrieben.

Das Förderprogramm vom Bundesbauministerium „Variowohnungen“ für Modellvorhaben zum nachhaltigen und bezahlbaren Bau von Wohnungen für Studenten und Auszubildende nahm bis Ende September 2016 Anträge entgegen. Die Auswertung der wissenschaftlichen Begleitung wurde im September 2021 abgeschlossen. Aus den 18 Modellprojekten wurden Erkenntnisse festgehalten und Handlungsempfehlungen zu verschiedenen Themenfeldern abgeleitet [14]. Ein Themenfeld umfasste das preiswerte Bauen sowie bezahlbares Wohnen. Dies soll in den Modellprojekten durch eine zehnjährige Bindung günstiger Mieten sowie durch begrenzte Baukosten durch Vorfertigung, Standardisierung und optimierte Bauabläufe sichergestellt werden.

Die zusammengestellten Ergebnisse der Variowohnungen zeigen, dass eine Vielzahl von Maßnahmen zu einer Reduzierung der Bau- und Betriebskosten führen kann. Für die Bewertung der Baukosten der Modellvorhaben wurden die durchschnittlichen Bauwerkskosten (KG 300 und 400) für Wohnheime und Internate gemäß BKI 2019 als Referenzwert herangezogen. Der Referenzwert beträgt demnach 1.580 Euro pro Quadratmeter Bruttogrundfläche bzw. 89.150 Euro pro Wohnplatz. Der Mittelwert der hierfür ausgewerteten Modellprojekte liegt mit 1.459 Euro pro Quadratmeter BGF bzw. 68.576 Euro pro Wohnplatz unter dem Referenzwert. Als Ansätze, die sich dämpfend auf die Baukosten auswirken können, lassen sich aus den Erfahrungen der Modellvorhaben eine hohe Flächeneffizienz, ein hoher Vorfertigungsgrad, die Verwendung von vergleichsweise kostengünstigen Konstruktionen sowie die Vermeidung einer hohen Installationsdichte an technischen Anlagen (z. B. geteilte Küchen und Bäder) ableiten. Ein hoher Vorfertigungsgrad kann auch zu einer höheren Kostensicherheit sowie zu kürzeren Bauzeiten und damit zu geringeren Kosten führen. Im Endbericht wird jedoch darauf hingewiesen, dass die Forschungsteams eine Verkürzung der Bauzeit eher als eine Verschiebung zwischen Planungs- und Bauzeit beobachteten und nicht als Gesamtverkürzung wahrnahmen. Im Zusammenhang mit den Ausgaben für die technische Gebäudeausrüstung wirken sich folgende Maßnahmen positiv auf den Material- und Installationsaufwand und damit die Kosten aus: Aufputzinstallationen von Elektroleitungen, kurze und geradlinige Leitungswege für Wasser und Abwasser, kurze Abstände zwischen Steif- und Stockwerksleitungen sowie gut zugängliche Schächte.

Auch im konzeptionellen Bereich wurden bei den Modellprojekten verschiedene kostendämpfende Maßnahmen umgesetzt, wie z. B. die Erschließung über Laubengänge, die Bereitstellung einer Küche für zwei Nutzungseinheiten oder eine vereinfachte Ausstattung der Wohnungen.

Um niedrige Betriebskosten in den Variowohnungen zu erreichen, wurden ebenfalls verschiedene Ansätze verfolgt. In sechs Projekten wurden Photovoltaik-Anlagen zur Nutzung regenerativer Energien installiert. Nur die Hälfte der Projekte wurde in einem Gebäudeeffizienzstandard umgesetzt, der besser als die damals geltenden gesetzlichen Mindestanforderungen an den Jahresprimärenergiebedarf der EnEV war. Bei einigen Projekten wurde ein höherer energetischer Standard befürwortet, da geringere Betriebskosten erwartet wurden. Zur Reduzierung des Wasserverbrauchs wurden niedrigschwellige Maßnahmen wie wassersparende Armaturen und kleinere Spülkästen eingesetzt. Die Komplexität der technischen Anlagen und deren Robustheit wurden ebenfalls thematisiert. Ein automatischer Sonnenschutz wurde in den Projekten, mit Ausnahme eines Projekts, nicht eingesetzt. In drei Projekten wurde auf Lüftungsanlagen verzichtet, um den Wartungsaufwand zu reduzieren. In anderen Projekten hingegen wurde der Einsatz von Lüftungsanlagen aufgrund geringerer Lüftungswärmeverluste und schlechter Erfahrungen mit dem Lüftungsverhalten der Nutzer befürwortet. In einigen Modellprojekten sollten die Nutzer für ein

sparsames Verhalten sensibilisiert werden. Die Umsetzung der Nutzersensibilisierung erfolgte auf unterschiedliche Weise z. B. durch Informationsblätter, Bildschirmanzeigen oder den Einsatz einer App.

Die verschiedenen Ansätze zur Reduzierung der Bau- und Betriebskosten der einzelnen Modellprojekte zeigen, dass eine Kostenreduzierung auf unterschiedliche Art und Weise umgesetzt werden kann. Zur Eindampfung der Baukosten wurden z. B. Konstruktionen mit Kostenvorteilen von Holztafelelementen bis hin zu massiven Außenwänden aus Porenbeton bei den Projekten eingesetzt. Auch bei den Betriebskosten wurden je nach Projekt unterschiedliche Maßnahmen ergriffen, um Kostenvorteile zu erzielen. Besonders deutlich wird dies beim Thema Lüftungsanlagen, bei einigen Projekten erhofft man sich Kostenvorteile durch den Verzicht, in anderen durch den Einsatz von Lüftungsanlagen. Aufgrund der unterschiedlichen Herangehensweisen bei den Variowohnungen erscheint es daher wichtig, die Reduzierung der Bau- und Betriebskosten zu thematisieren, verschiedene Möglichkeiten zur Erreichung dieses Ziels für das konkrete Projekt zu untersuchen und eine Lösung auf das konkrete Projekt anzupassen.

Um kostengünstige Bau- und Betriebskosten zu thematisieren, sind Benchmarks notwendig. Bis zu welcher Höhe die Bau- und Energiekosten als kostengünstig gelten, ist nicht allgemein definiert. Ein Grund dafür ist die subjektive Auslegung des Begriffs. Gerade im Wohnbereich hängt es stark vom verfügbaren Haushaltseinkommen ab, was als kostengünstig bzw. bezahlbar gilt. Trotz der subjektiven Interpretation des Begriffs wären Zielwerte zur Definition von kostengünstigen Bau- und Betriebskosten hilfreich, um die Auseinandersetzung mit dem Thema sowie die Umsetzung zu fördern.

Das Förderprogramm „Klimafreundlicher Neubau im Niedrigpreissegment“ wurde im August 2024 vom Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) ausgerufen. Ziel ist es, den Neubau von klimafreundlichen Wohn- und Nichtwohngebäuden im unteren bis mittleren Preissegment zu fördern [15]. Da das Programm erst vor kurzem gestartet ist, liegen noch keine Erfahrungen bzw. Erkenntnisse aus den Modellprojekten vor. Es wird jedoch kurz auf die kostenrelevanten Programmrichtlinien eingegangen, da hier ein Ansatz zur Definition von Benchmarks im Bereich der Bau- und Energiekosten von Wohngebäuden gegeben ist.

Bei Wohngebäuden dürfen vorgegebene Grenzwerte für die Wohnfläche sowie für ausgewählte gebäudebezogene Kosten im Lebenszyklus nicht überschritten werden. Die Begrenzung der Wohnfläche ist abhängig von den Individualräumen. Bei Wohnungen mit einem Individualraum (zzgl. Küchen- und Sanitärräume) darf die Wohnfläche z. B. 40 m² bzw. bei rollstuhlgerechter Ausführung 55 m² nicht überschreiten. Die ausgewählten Lebenszykluskosten für Wohngebäude umfassen die Herstellungskosten, die in den KG 300, 400 und 550 angesiedelt sind, sowie die Heizkosten, die über einen Betrachtungszeitraum von 50 Jahren evaluiert werden. Der einzuhaltende Anforderungswert der Baukosten entspricht dem Kennwert mittlerer Baukosten für Wohngebäude in Deutschland mit einfachem Standard und ist abhängig von Standort und Baujahr (berücksichtigt durch den spezifischen Baukosten-Regionalfaktor und Baupreisindex). Der zu unterschreitende Referenzwert der Energiekosten orientiert sich am Endenergiebedarf unter Annahme einer Luft-Wasser-Wärmepumpe (Jahresarbeitszahl = 4,0) und dem örtlichen Grundversorgertarif für Haushaltsstrom. Eine Berechnungsvorlage zur Prüfung der Einhaltung der Referenzwerte wird bereitgestellt. Das Förderprogramm bietet den Rahmen, um weitere Erkenntnisse und Erfahrungen zum kostengünstigen Bauen und Betreiben von Wohn- und Nichtwohngebäuden zu sammeln.

7. Querauswertung der Energiewendebauen-Projekte

Insgesamt wurden 76 EWB-Projekte identifiziert, die sich mit kostengünstigen bzw. kosteneinsparenden Lösungen im Gebäudebereich beschäftigen. Die Identifizierung der Projekte sowie die Datenerhebung zum Thema erfolgte mithilfe zweier Fragebögen, die während der Begleitforschungsperiode an die Projektnehmenden gesendet wurden. Zusätzlich wurden weitere Informationen zu einigen Projekten mithilfe von Kurzinterviews gesammelt. Eine Zusammenfassung der Kurzinterviews ist in Anhang II zu finden.

7.1 Einordnung der kostengünstigen bzw. kosteneinsparenden Lösungen im Gebäudebereich

Die EWB-Projekte, die sich mit kosteneffizienten Lösungen beschäftigen, wurden nach Themen kategorisiert. Mithilfe dieser Kategorisierung sollen die Themenschwerpunkte der EWB-Forschungsinitiative im Bereich der kostengünstigen bzw. kosteneinsparenden Lösungen identifiziert werden. Abbildung 8 zeigt die Zuordnung der kosteneffizienten Lösungen der EWB-Förderinitiative zu den identifizierten Themenfeldern.

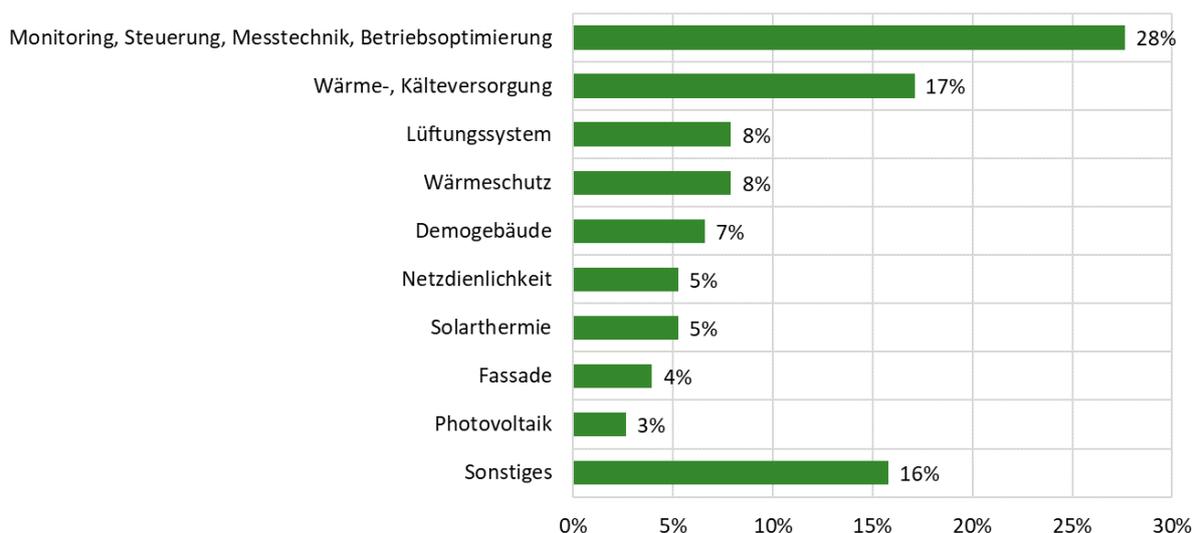


Abbildung 8: Zuordnung der kosteneffizienten Lösungen der EWB-Projekte in unterschiedliche Themenfelder mit jeweiligem Anteil. Quelle: eigene Darstellung.

Das mit Abstand größte Themenfeld der kosteneffizienten Lösungen in der EWB-Forschungsinitiative mit 28 % liegt im Bereich Monitoring, Steuerung, Messtechnik und Betriebsoptimierung. Einige Projekte, die in diesen Themenbereich fallen, beschäftigen sich mit der Optimierung der Regelung bzw. Steuerung der technischen Anlagen. Es werden zum Beispiel webbasierte, frei verfügbare Testumgebungen für Regelungsstrategien entwickelt (FKZ 03EN1014). Ansätze zur Entwicklung der Betriebsoptimierung und damit Senkung der Betriebskosten sind ebenfalls stark vertreten, wie zum Beispiel die Optimierung von Energieversorgungssystemen auf Basis von Prior-Modellen der Künstlichen Intelligenz (FKZ 03EN1051) oder die Betriebsoptimierung von Luft-Wärmepumpen mittels prädiktiver Regelung der Betriebszeiten auf Basis von Außenlufttemperaturprognosen (FKZ 03EN1054). Auch andere Schwerpunkte werden betrachtet, bei denen man sich einen Kostenvorteil erhofft, wie die Vermeidung von Schadenskosten durch eine korrosionssichere Inbetriebnahme energieoptimierter hydraulischer Systeme (FKZ 03ET1647).

Die Wärme- und Kälteversorgung ist mit 17 % der nächstgrößte Themenschwerpunkt der kosteneffizienten Lösungen im Gebäudebereich der EWB-Forschungsinitiative. In den hier zugeordneten Forschungsprojekten werden unter anderem ein partiell kristallisierender Absorptionskältespeicher zur Nutzung kostenloser Abwärme (FKZ 03EN6017), eine netzdienliche Wärmepumpe mit integriertem Latentwärmespeicher für den Einkauf günstiger Stromtarife (FKZ 03ET1600) sowie notwendige Maßnahmen zur Absenkung der Trinkwarmwassertemperatur in Niedertemperatur-Systemen zur Erreichung einer höheren Wirtschaftlichkeit der Erzeuger (FKZ 03EN1027) untersucht.

Bei den Lüftungssystemen (8 %) werden als kosteneffiziente Lösungen unter anderem die bedarfsgerechte Lüftung in Gesundheitszentren zur Einsparung von Betriebskosten untersucht (FKZ 03ET1568) und ein hochabsorbierendes Filtermaterial entwickelt, das zu einem geringeren Materialeinsatz bei der Herstellung und zu geringeren Druckverlusten im Betrieb führt (FKZ 03ET1655).

Unter dem Bereich Wärmeschutz mit einem Anteil von 8 % fallen Ansätze wie die Entwicklung von Wärmedämmverbundsystemen aus massenverfügbaren und kostengünstigen organischen Bestandteilen (FKZ 03EN1039) und die Erforschung einer Technologie für innovative, schaltbare Folien als Nachrüstlösung für energiesparende Fenster und Glasfassaden (FKZ 03EN1048).

Bei den Demonstrationsgebäuden, die 7 % der Projekte mit kosteneffizienten Lösungen ausmachen, liegt der Fokus meist auf der Betriebsoptimierung und damit auf der Reduzierung der Betriebskosten des Gebäudes. Auch eine Mustersanierung mit smarter Energiesystemregelung für den kosteneffizienten und klimaneutralen mehrgeschossigen Wohnungsbau wird erforscht (FKZ 03EN1053).

Ein Anteil von jeweils 5 % kann Ansätzen aus dem Bereich der Netzdienlichkeit sowie der Solarthermie zugeordnet werden. Bei der Netzdienlichkeit wird zum Beispiel die Integration intelligenter Wärmeabnehmer in ein intelligentes Wärmenetz untersucht (FKZ 03ET1598). Durch die entwickelte Lösung soll durch die Optimierung der Gebäudeheizung weniger Energie verbraucht und aufgrund der netzdienlichen Reaktion des Gebäudes diese zu einem geringeren Bezugspreis eingekauft werden. Im Bereich der Solarthermie werden unter anderem eine solarthermische Jalousie (FKZ 03ETW022) sowie stagnationssichere Anlagen (FKZ 03ETW005) weiterentwickelt. Beim letzteren Beispiel sollen Kostenvorteile durch die Verwendung von preiswerten Komponenten, die einfachere Installation und den wartungsärmeren Betrieb entstehen.

Bei den Fassaden (4 %) werden zum Beispiel natürlich belüftete Doppelfassaden untersucht, um die Kosten für mechanische Lüftungsanlagen zu reduzieren (FKZ 03ET1610). Im Bereich der Photovoltaik, der einen Anteil von 3 % der kostengünstigen Lösungen ausmacht, befasst man sich mit gebäudeintegrierten Photovoltaiksystemen (BIPV) und PV-Einhänge-Fassaden-Systemen. Die Entwicklung eines PV-Einhänge-Fassaden-Systems (FKZ 03SBE0003) soll durch Vorfertigung den Montageprozess beschleunigen und damit Installationskosten bei der Integration von Photovoltaik in Fassadensysteme dämpfen.

Im Bereich Sonstiges (16 %) wurden die Projekte mit kosteneffizienten Ansätzen gebündelt, die sonst keinem Themenfeld zugeordnet werden konnten. Die Forschungsthemen dieser Projekte sind beispielsweise eine energie- und kosteneffiziente Tageslichtbeleuchtung mittels mikrooptischer Baukomponenten (FKZ 03EN1031) oder die Entwicklung einer mobilen und digitalen Lernfabrik für das Handwerk 4.0 mit dem Ziel, Prozesskosten einzusparen (FKZ 03EN1016).

Insgesamt zeigt sich, dass in der EWB-Forschungsinitiative sehr vielfältige Ansätze erforscht werden, die zu einem Kostenvorteil im Gebäudebereich führen sollen. Bei einigen Projekten steht die Erzielung eines Kostenvorteils im Vordergrund, bei anderen dagegen ist der Kostenvorteil ein Nebenprodukt der Energieeinsparung bzw. der Erzielung einer höheren Energieeffizienz.

In der ersten Fragebogenrunde wurde nach der Höhe der erwarteten Kosteneinsparung durch den erforschten Lösungsansatz gefragt. Auf die Frage, ob die Höhe der Kosteneinsparung definiert werden kann, gaben lediglich sechs von 48 Projektnehmenden einen Richtwert an. Auch in den Kurzinterviews wurde die Frage, ob die Höhe der Kosteneinsparung im Rahmen des Forschungsprojektes quantifiziert wird, meist zurückhaltend beantwortet. Als Hauptgrund wurde oft die Schwierigkeit genannt, eine geeignete Referenz zur Berechnung der Kosteneinsparung zu bestimmen. Einige Projekte erklärten sich jedoch bereit, eine Kosteneinsparung der untersuchten Lösung im Abschlussbericht auszuweisen.

7.2. Kostenvorteile im Gebäudelebenszyklus

In der zweiten Fragebogenrunde gaben 28 Projektnehmende an, sich mit kosteneffizienten Lösungen zu beschäftigen. Diese Projekte wurden für die Durchführung von Kurzinterviews angeschrieben, um tiefergehende Informationen zum kosteneffizienten Ansatz des jeweiligen Projekts zu erhalten. 19 dieser Projekte nahmen an einem Kurzinterview teil und konnten von der Begleitforschung detailliert ausgewertet werden. Eine ausführliche Beschreibung der Kurzinterviews mit Stichpunkten zu den kosteneffizienten Ansätzen in unterschiedlichen Lebenszyklusphasen ist in Anhang II enthalten. In Abbildung 9 sind die Ergebnisse zu den verschiedenen Schwerpunkten der Kosten im Gebäudelebenszyklus dargestellt. Zur Auswahl standen die Planungskosten, Herstellungs- bzw. Errichtungskosten, Betriebskosten, Rückbau- bzw. Entsorgungskosten und sonstigen Kosten mit Möglichkeit zur Mehrfachnennung.

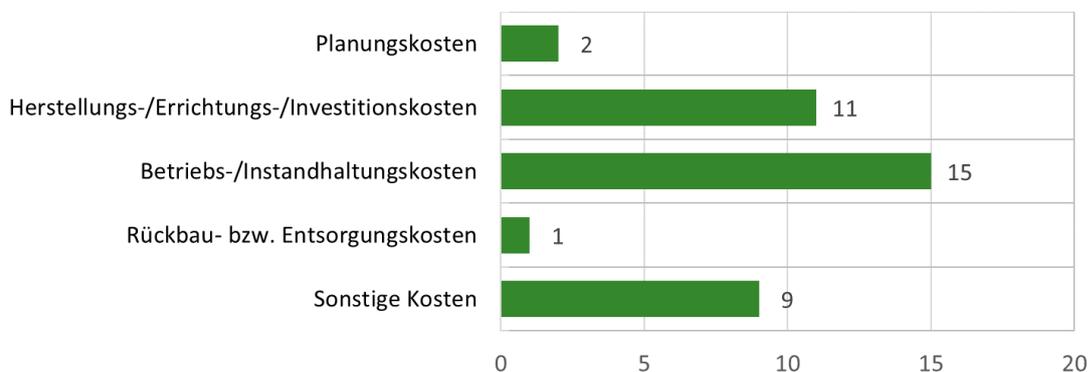


Abbildung 9: Zuordnung der kosteneffizienten Lösungen der EWB-Projekte aus den Kurzinterviews (insgesamt 18 Projekte) in unterschiedlichen Lebenszyklusphasen eines Gebäudes mit der jeweiligen Anzahl (Mehrfachnennung war möglich). Quelle: eigene Darstellung.

Zwei Projektnehmer gaben an, durch die Entwicklung ihres Forschungsprojekts einen Kostenvorteil im Bereich der Planung erzielen zu können, z. B. durch die Möglichkeit zur frühzeitigen Fehlererkennung durch die Darstellung in einer augmentierten Umgebung auf dem mobilen Endgerät (FKZ 03EN1059) oder durch die Reduzierung des Aufwands für komplexe Optimierungsanalysen von Energieversorgungssystemen (FKZ 03EN1051).

Mehr als die Hälfte der im Interview befragten Projektnehmenden (11 Projekte) gaben an, durch ihr Forschungsprojekt im Bereich der Herstellungs-, Errichtungs- bzw. Investitionskosten eine Kosteneinsparung bewirken zu können. Dies wird beispielsweise durch die Nachrüstung

minimalinvasiver Sensoren für die Betriebsdatenerfassung (FKZ 03EN1011) oder durch die Nutzung der Verteilungen und Übergabe der Heizungsanlage für die Nachrüstung einer Raumkühlung (FKZ 03EN6010) ermöglicht.

Da der Schwerpunkt der EWB-Forschungsinitiative im Bereich der Energieeffizienz liegt, ist der größte Anteil an kostengünstigen bzw. kosteneinsparenden Ansätzen im Bereich der Betriebs- und Instandhaltungskosten zu verzeichnen. Die entwickelten Lösungen in diesem Bereich zielen unter anderem auf höhere Effizienzen, Verbrauchsreduzierungen oder den Einsatz erneuerbarer Energien ab und bewirken damit als Nebeneffekt eine Betriebskosteneinsparung im Vergleich zu Vorgänger- bzw. Alternativlösungen. Zum Beispiel können durch eine selbsteinstellende Regelung von Gebäudeenergiesystemen (FKZ 03EN1066) oder durch ein autonom agierendes System zur Reduzierung des Energieverbrauchs von Kälteanlagen (FKZ 03EN6012) Betriebskosten eingespart werden. Weitere Ansätze sind die Entwicklung eines effizienteren Filtermaterials zur Reduzierung des Stromverbrauchs von Lüftungsanlagen (FKZ 03EN1106) oder die automatische Konfiguration der Datenaufnahme mit der Datenverarbeitung im Bereich der digitalen Dienstleistungen (z. B. Effizienzmonitoring), was auch den Zeitaufwand der Neukonfiguration reduziert, beispielsweise aufgrund von Datenpunktänderungen (FKZ 03EN1060).

Bei einem Projekt wird der Einsatz von nachhaltigen Materialien für die energetische Sanierung von Fachwerkhäusern untersucht (FKZ 03EN1063). Hier kann ein Kostenvorteil bei einem eventuellen Rückbau bzw. bei der Entsorgung der Materialien entstehen. Im Bereich der sonstigen Kosten können durch Ansätze aus neun befragten Forschungsprojekten Vorteile entstehen. Dies ist in den meisten Fällen auf die Optimierung für die Nutzung von dynamischen Energiepreisen (Energie wird bei geringen Marktpreisen eingekauft) zurückzuführen. Es werden jedoch auch andere Ansätze wie die Entwicklung eines Speichers mit einer deutlich höheren Energiespeicherdichte betrachtet (FKZ 03EN6017). Die Speicherung derselben Energiemenge benötigt weniger Bauvolumen, damit kann Technikfläche eingespart werden.

Die größte Anzahl der befragten Projektnehmenden gab an, kosteneffiziente Ansätze im Bereich der Betriebs- bzw. Instandhaltungskosten zu erforschen, gefolgt von den Herstellungs-, Errichtungs- bzw. Investitionskosten sowie den sonstigen Kosten.

8. Zusammenfassung und Ausblick

Die Erreichung der Klimaneutralität und damit die Nutzung erneuerbarer Energien sowie die Steigerung der Energieeffizienz von Gebäuden sollte nicht allein betrachtet werden, sondern im Zusammenhang mit anderen Herausforderungen im Gebäudesektor. In Bezug auf die Umsetzbarkeit innovativer Lösungen in der Praxis sind Kosten und Wirtschaftlichkeit von zentraler Bedeutung. Im ersten Teil dieser Arbeit werden Informationen aus der Literatur zu Kosten im Gebäudebereich sowie zur Entwicklung der Bau- und Energiekosten zusammengefasst. Darüber hinaus werden Erkenntnisse zu günstigen Bau- und Energiekosten aus dem Förderprogramm Variowohnungen festgehalten sowie ein Blick in die Förderrichtlinien des im August 2024 gestarteten Förderaufrufs für klimaneutrale Neubauten im Niedrigpreissegment geworfen. Im zweiten Teil der Arbeit werden die Forschungsprojekte aus der Energiewendebauen-Förderinitiative zum Thema kostengünstige und kostensparende Lösungen im Gebäudebereich querausgewertet.

Die Bau- und Energiekosten beeinflussen die Bezahlbarkeit bzw. Wirtschaftlichkeit von Wohn- und Nichtwohngebäuden. Eine Vielzahl an Handlungsfeldern und Maßnahmen zur Begrenzung der Baukosten werden in der Literatur (z. B [4], [5] und [6]) identifiziert, darunter die Verbreitung von

Standardisierung bzw. seriellem und modularem Bauen und die Förderung von Fachkräfte- und Kompetenzaufbau sowie der breitenwirksamen Wissens- und Erkenntnistransfer. Die Darstellung der Entwicklung der Bau- und Energiepreise seit dem Basisjahr 2000 zeigt, dass diese im Vergleich zum allgemeinen Verbraucherpreisindex (VPI) stärker gestiegen sind. Bei den Baukosten ist ein besonders hoher Anstieg in der Kostengruppe der technischen Anlagen (KG 400) zu verzeichnen. Nach [6] erscheint eine signifikante Senkung der Baukosten unter den gegebenen Rahmenbedingungen nicht realisierbar. Ziel ist vielmehr, weitere Kostensteigerungen zu verhindern. Dies kann nicht durch Einzelmaßnahmen erreicht werden, sondern durch ganzheitliche Lösungsansätze, die zum großen Teil bereits bekannt sind. Die Herausforderung besteht darin, diese Maßnahmen flächendeckend in der Planungs- und Baupraxis umzusetzen. Zukünftige Prognosen zur Entwicklung der Primärenergiepreisträger fallen unterschiedlich aus, Empfehlungen in den Rahmendaten der Treibhausgas-Projektionen 2024 für Deutschland [12] gehen von einem Abwärtstrend aus. Die Verbraucherpreise der ausgewerteten Energieträger Strom, Gas, Heizöl und feste Brennstoffe sind seit 2020 deutlich gestiegen, auch im Vergleich zum allgemeinen Durchschnitt (VPI).

Aus den Ergebnissen des Förderprogramms Variowohnungen [14] wird deutlich, dass eine Kostensenkung der Bau- und Betriebskosten bei den einzelnen Modellprojekten auf verschiedene Weise realisiert werden konnte. Es scheint daher von Bedeutung, die Senkung der Bau- und Betriebskosten bei Bauprojekten zu thematisieren und die verschiedenen Möglichkeiten zu untersuchen, um eine für das jeweilige Projekt passende Lösung auszuwählen. Um kostengünstiges Bauen und Betreiben stärker zu thematisieren, sind Benchmarks notwendig. Das kürzlich ausgerufene Förderprogramm „Klimafreundlicher Neubau im Niedrigpreissegment“ des BMWBS bietet einen ersten Ansatz zur Definition solcher Benchmarks im Bereich der Bau- und Energiekosten von Wohngebäuden. Weitere Ansätze, insbesondere im Bereich der öffentlichen Nichtwohngebäude wie Schulen, Kindertagesstätten etc. fehlen und sollten entwickelt werden, um die Umsetzung von kosteneffizientem Bauen und Betreiben stärker zu fördern.

Bei der Querauswertung der EWB-Projekte wurde deutlich, dass eine Vielfalt an verschiedenen kosteneffizienten Ansätzen im Gebäudesektor erforscht werden. Insgesamt konnten 76 Projekte mit kostengünstigen oder kostensparenden Ansätzen identifiziert und analysiert werden. Der größte Anteil der Projekte legt den Fokus auf den Bereich Monitoring, Steuerung, Messtechnik und Betrieb gefolgt vom Bereich der Wärme- und Kälteversorgung. Bei einigen Projekten steht die Erzielung eines Kostenvorteils im Vordergrund, bei anderen dagegen ist der Kostenvorteil ein Nebenprodukt der Energieeinsparung bzw. der Erzielung einer höheren Energieeffizienz. Anhand der durchgeführten Kurzinterviews mit Projektnehmenden wurden die verschiedenen Schwerpunkte der Kosten im Gebäudelebenszyklus ausgewertet. Hier gab die größte Anzahl der befragten Projektnehmenden an, kosteneffiziente Ansätze im Bereich der Betriebs- bzw. Instandhaltungskosten zu erforschen, gefolgt von den Herstellungs-, Errichtungs- bzw. Investitionskosten sowie den sonstigen Kosten.

9. Literaturverzeichnis

- [1] Preuss, J.; Erhorn-Kluttig, H.: Innovative Technologien im Gebäudebereich der Forschungsinitiative ENERGIEWENDEBAUEN.
- [2] DIN 276:2018-12, Kosten im Bauwesen, DIN Media GmbH. Berlin.
- [3] DIN 18960:2020-11, Nutzungskosten im Hochbau, DIN Media GmbH. Berlin.
- [4] Neitzel, M.; Dangel, D.; Gottschalk, W.; Schröder, H.; Raschper, N.; Wiblishauser, B.: Bericht der Baukostensenkungskommission, November 2015.
- [5] Lorenz-Hennig, K.: Maßnahmenpaket Baukostensenkung – Umsetzungsstand der Empfehlungen der Baukostensenkungskommission und Ausblick, Juli 2019.
- [6] Blum, S.; Lückert, A.; Barth, H.-M.: Studie zu Maßnahmen für kostengünstig-nachhaltigen Wohnraum – Systematische Analyse von Forschungen zu Maßnahmen zur Senkung der Baukosten von Wohngebäuden. Stand: Dezember 2022, Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR). Bonn, 2023.
- [7] ISO 21931-1:2022-06, Nachhaltigkeit von Gebäuden und Ingenieurbauwerken, ISO Internationale Organisation für Normung.
- [8] Vermögen und Bau Baden-Württemberg: Produktkatalog PLAKODA WEB.
- [9] BKI-Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern, B.-B.D.: BKI Baukosten Gebäude Neubau 2024 – Statistische Kostenkennwerte, BKI. Stuttgart, 2024.
- [10] Neitzel, M.; Nehls, P.; Schulze, T.: Aktualisierung der Baupreis- und Baukostenentwicklung, Dezember 2020.
- [11] Statistisches Bundesamt: Preise – Daten zur Energiepreisentwicklung - Lange Reihen von Januar 2005 bis Januar 2023, März 2023.
- [12] Mendelevitch, R.; Repenning, J.; Matthes, F.C.; Deurer, J.: Treibhausgasprojektionen 2024 für Deutschland - Rahmendaten, Dezember 2023.
- [13] Statistisches Bundesamt: Genesis-Online. Letzter Zugriff am 9. Dezember 2024.
- [14] Dorn-Pfahler, S.; Rexroth, S.; Pottgiesser, U.; Löhnert, G.; Dalkowski, A.; Gutt, S.; Wiederoder, I.; Wiwiorra, C.; May, F.; Singhal, K., (Hrsg.): Variowohnungen – Bezahlbar - anpassbar - nachhaltig: Zukunftbau Modellvorhaben. Stand: August 2021. Bonn, Bundesinstitut für Bau- Stadt- und Raumforschung (BBSR), 2021. Schriftenreihe Zukunft Bauen. Band 26. ISBN 978-3-87994-090-5.
- [15] Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen: Richtlinie für die Bundesförderung – Klimafreundlicher Neubau im Niedrigpreissegment (KNN), August 2024.

Anhang I – Liste der kosteneffizienten Lösungen

Folgend werden die Projekte mit kosteneffizienten Lösungen aufgelistet, die im Rahmen dieser Arbeit identifiziert und ausgewertet wurden. Über das Internet-Portal EnArgus⁴ können die beteiligten Projektnehmer ermittelt sowie eine Beschreibung zum Projekt abgerufen werden.

FKZ	Akronym	Kategorie	Kurzbeschreibung
0325862	Newton-Projekt	Demogebäude	Monitoring und Betriebsoptimierung einer solaren Wärme- und Stromversorgung von Plusenergiegebäuden mit rücklaufseitiger Fernwärmeanbindung
03EGB0028	coLLab	Demogebäude	Demonstrationsgebäude des Teams coLLab der HFT Stuttgart für den Solar Decathlon Europe 2021
03EN1053	sEnSys	Demogebäude	Demonstration einer Mustersanierung mit smarterer Energiesystemregelung für kosteneffizienten und klimaneutralen mehrgeschossigen Wohnungsbau
03ET1299	Plus-EQ-Net	Demogebäude	Netzneutrales Wohn- und Geschäftshaus pulsG in Geretsried
03ET1602	Plusenergieschule Stuttgart	Demogebäude	Monitoring und Betriebsoptimierung der Plusenergieschule
03ET1401	FIHLS	Fassade	Fassadenintegrierte Heizung, Kühlung, Lüftung und Sanitär
03ET1610	EnaPlanDF	Fassade	Natürlich belüftete Doppelfassaden
03ET1636	GreenFaBS	Fassade	Einsatz von Grünfassaden zur Reduzierung des Kühlbedarfs fassadenintegrierter dezentraler Gebäudetechnik
03EN1005	SLIM	Lüftungssystem	Semizentrale Lüftung
03EN1037	RLT-Opt	Lüftungssystem	Durchgängige Methoden für die ganzheitliche Betriebsoptimierung von raumlüfttechnischen Anlagen
03ET1454	EnEff-OP-Luft	Lüftungssystem	Energieeffiziente Belüftung in multifunktionalen Operationsräumen
03ET1568	dECONhealth	Lüftungssystem	Bedarfsgerechte Lüftung in Gesundheitszentren
03ET1606	LuftKonVerTer	Lüftungssystem	Berechnungs- und Bewertungsgrundlagen für den dynamischen Betrieb von Lüftungssystemen
03ET1655	HaLo-Filter	Lüftungssystem	Entwicklung eines hochabsorbierenden Grob- und Feinstaub-Luftfiltermaterials
03EN1007	EEBF	Monitoring/Steuerung/Messtechnik/Betrieb	Energetische Echtzeitbetriebsführung für Gebäude mit heterogener Haustechnik
03EN1011	KINERGY	Monitoring/Steuerung/Messtechnik/Betrieb	Ganzheitliche intelligente Heizungsanlagenüberwachung und Optimierung durch künstliche Intelligenz
03EN1014	BAWebConTest	Monitoring/Steuerung/Messtechnik/Betrieb	Webbasierte, frei verfügbare Testumgebungen für Regelungsstrategien zur Verbesserung von Gebäudeautomationssystemen
03EN1042	passPART2	Monitoring/Steuerung/Messtechnik/Betrieb	Partizipation und Raumwärmemanagement
03EN1051	SmartPrior	Monitoring/Steuerung/Messtechnik/Betrieb	Entwicklung einer hocheffizienten Optimierung von Energieversorgungssystemen im Gebäudebereich auf Basis von Prior-Modellen der Künstlichen Intelligenz
03EN1054	optLWP	Monitoring/Steuerung/Messtechnik/Betrieb	Optimierung der Betriebsstrategie von Luft-Wärmepumpen mittels prädiktiver Regelung der Betriebszeiten auf Basis von Außenlufttemperaturprognosen

⁴ Link zu EnArgus: <https://www.enargus.de/>

FKZ	Akronym	Kategorie	Kurzbeschreibung
03EN1060	N5GEH-SKAMO	Monitoring/Steuerung/ Messtechnik/Betrieb	Skalierbares Anlagenmonitoring in großen Liegenschaften
03EN1066	AGENT-2	Monitoring/Steuerung/ Messtechnik/Betrieb	Agentenbasierte datengetriebene Modellierung zur stochastischen und selbststellenden Regelung von Gebäudeenergiesystemen
03EN1068	TMon	Monitoring/Steuerung/ Messtechnik/Betrieb	Wissenschaftliche Evaluation von Leistungen zum technischen Monitoring und Inbetriebnahmemanagement
03EN6003	GOKAS	Monitoring/Steuerung/ Messtechnik/Betrieb	Gesamtsystemoptimierung von kältetechnischen Anlagensystemen
03EN6012	EISKIG	Monitoring/Steuerung/ Messtechnik/Betrieb	Energy Intelligence System für smarte Kältesysteme in Industriegebäuden
03ET1371	MFGeb	Monitoring/Steuerung/ Messtechnik/Betrieb	Methoden zur Fehlerdiagnose im Gebäudebetrieb
03ET1495	AGENT	Monitoring/Steuerung/ Messtechnik/Betrieb	Agentensysteme zur intelligenten und robusten Steuerung komplexer Energiesysteme in Nichtwohngebäuden als Bestandteil des übergeordneten Energiesystems
03ET1509	InSituNachweis	Monitoring/Steuerung/ Messtechnik/Betrieb	Entwicklung einer Methodik zur Bestimmung der Energieeffizienz von Gebäuden auf Basis von optimierten in-situ-Messungen
03ET1567	ARCHE	Monitoring/Steuerung/ Messtechnik/Betrieb	Architekturen und Entwurfsmethodik für selbstoptimierende Regelverfahren in verteilten Energiesystemen
03ET1573	FeBOP-MFH	Monitoring/Steuerung/ Messtechnik/Betrieb	Permanente Betriebs-Optimierung durch automatische Analyse im Feld
03ET1595	PL-Reg	Monitoring/Steuerung/ Messtechnik/Betrieb	Entwicklung einer allgemeingültigen Reglerplattform zum optimierten Betrieb von kombinierten Energiesystemen
03ET1604	EnEff_Clean_VentMonitoring	Monitoring/Steuerung/ Messtechnik/Betrieb	Energieeffizienz durch repräsentatives Monitoring in Reinräumen
03ET1613	ORSYGET	Monitoring/Steuerung/ Messtechnik/Betrieb	Entwicklung optimierter Regelungen hydraulischer Systeme in der Gebäudetechnik zur Steigerung der Energieeffizienz von Heizungs- und Klimatisierungssystemen
03ET1647	KENBOP	Monitoring/Steuerung/ Messtechnik/Betrieb	Korrosionssichere Inbetriebnahme energieoptimierter hydraulischer Systeme
03SBE0007	MAGGIE	Monitoring/Steuerung/ Messtechnik/Betrieb	Optimierter Anlagenbetrieb durch Künstliche Intelligenz
03EN3054	WOpS	Netzdienlichkeit	Wärmefluss-Optimierung zur Sektorenkopplung in Fernwärmenetzen mittels Model Predictive Control unter Berücksichtigung eines strommarktorientierten Betriebes
03EN6013	Windheizung 2.0-Demo	Netzdienlichkeit	Demonstration von Speicher- und Regelungs-Technologien der Windheizung 2.0
03ET1598	SmartProHeaT	Netzdienlichkeit	Integration intelligenter Wärmeabnehmer in ein intelligentes Wärmenetz
03ETS001	dynOpt-En	Netzdienlichkeit	Dynamisches Optimierungsmodul zur angebots- und bedarfsgerechten Zuschaltung von Energieträgern kombiniert mit wärmepumpentauglichem Wärmespeicher (dynOpt-En)
03EN1012	BIPVslim	Photovoltaik	Gebäudeintegrierte Photovoltaik
03SBE0003	PV-HoWoSan	Photovoltaik	PV-Einhänge-Fassaden-System
03ETW005	HP-SYS	Solarthermie	Entwicklung und Demonstration innovativer, stagnationssicherer solarthermischer Anlagen mit Heat-Pipes-Kollektoren

FKZ	Akronym	Kategorie	Kurzbeschreibung
03ETW013	Solar-VHF	Solarthermie	Solarthermische Aktivierung vorgehängter, hinterlüfteter Fassaden für den Geschosswohnungsbau
03ETW022	DESTINI	Solarthermie	Solarthermische Jalousie
03ETW023	HYDRA-RoS	Solarthermie	Entwicklung einer Demonstrations-Rohrbiegeanlage mit zugehöriger Füge-technik für ein neuartiges Rohrregister ohne Sammlerrohre
03EGB0017	CoSo	Sonstiges	Entwicklung von Maßnahmen zur Förderung von Energiespar- und Effizienz-Contracting in Sozialeinrichtungen
03EN1016	MobiDik	Sonstiges	Entwicklung einer mobilen und digitalen Lernfabrik für das Handwerk 4.0
03EN1019	SHARK	Sonstiges	Stabile H ₂ O-beständige Anti-Reflexschichten auf komplexen Substraten zur Verbesserung der Energieeffizienz
03EN1024	BIM_Scan_Modeler	Sonstiges	Erkennung von Raumgeometrien und Wandaufbauten für die effiziente Gebäudeanalyse
03EN1026	EnergyTWIN	Sonstiges	Neue sensorgestützte und KI-basierte Methoden für die digitale, BIM-basierte Inbetriebnahme von technischen Anlagen in Hochbauwerken und deren energetische Systemoptimierung
03EN1031	TaHo	Sonstiges	Energie- und kosteneffiziente Tageslichtbeleuchtung mittels mikrooptischer Baukomponenten
03EN1042	passPART2	Sonstiges	Partizipation und Raumwärmemanagement
03EN1059	N5GEH-LoCI4AR	Sonstiges	Location Intelligence im Bauwerk mit 5G für die augmentierte Realität
03EN1062	ANEMOS	Sonstiges	Entwicklung eines energieeffizienten, maschinen-optimierten Systems zur thermischen Entkeimung virenbelasteter Luft in Gebäuden
03EN6005	PCM-Screening-2	Sonstiges	Evaluierung von Salzsystemen für den Einsatz als PCM
03ET1563	DeckinVent	Sonstiges	Installation der integrierten Deckenventilatoren als passive Kühlungsstrategie
03ET1569	BIMLIFE	Sonstiges	Verbesserung der Energieeffizienz durch den Einsatz integrierter BIM-basierter Analyse- und Managementprozesse
03EN1020	PIK_II_Verbund	Wärme-/Kälteversorgung	Wissenschaftliches Monitoring des Neubaus und Ausbau der Abwärmenutzung des Hochleistungsrechners
03EN1027	Trans2NT-TWW	Wärme-/Kälteversorgung	Analyse und Erarbeitung notwendiger Maßnahmen zur Absenkung der Trinkwarmwassertemperatur in Niedertemperatur-Versorgungssystemen
03EN1035	EEFH-IO	Wärme-/Kälteversorgung	Erneuerbare Energieversorgung für Familienhäuser
03EN6002	EffKon	Wärme-/Kälteversorgung	Effizientes Wärmespeicher- und Energieerzeugungssystem zur thermischen Konditionierung von Gebäuden
03EN6010	KUEHASystem	Wärme-/Kälteversorgung	Ganzjährige Gesamtsystemoptimierung zur Reduzierung der CO ₂ -Emissionen von Bestandsheizungsanlagen
03EN6014	Effizientes Heizen	Wärme-/Kälteversorgung	Systematische Untersuchung und Bewertung der wirtschaftlichen und ökologischen Nachhaltigkeit von solarbasierten erneuerbaren Heizungssystemen im Vergleich mit alternativen Systemen

FKZ	Akronym	Kategorie	Kurzbeschreibung
03EN6017	PAKS	Wärme- /Kälteversorgung	Partiell kristallisierender Absorptionskältespeicher
03ET1537	BeHeWaDS	Wärme- /Kälteversorgung	Angepasster Ultra-Hochleistungsbeton für Heißwasser-Druckspeicher
03ET1600	smart-case- NZEB	Wärme- /Kälteversorgung	Flexible Wärmepumpen mit integriertem Latentwärmespeicher
03ET1605	futureheat- pump_II	Wärme- /Kälteversorgung	Erweiterung und Ausbau des Vordimensionierungsprogramms WPSOURCE
03ET1612	Windheizung2.0	Wärme- /Kälteversorgung	Entwicklung von zentralen Hochtemperatur- und Bauteil-Langzeit-Speichern für Windheizung 2.0 Wohngebäude
03ETW014	AnanaS	Wärme- /Kälteversorgung	Analyse der Kombination von Solarthermie und Kraft-Wärme-Kopplung für eine CO ₂ -arme Bereitstellung industrieller Prozesswärme
03ETW017	TABSOLAR III	Wärme- /Kälteversorgung	Wirtschaftliche Fertigungs- und Systemkonzepte für die nachhaltige Wärmeversorgung von Gebäuden mit durchströmbaren Bauelementen aus Ultrahochleistungsbeton (UHPC)
03EN1032	follow-e-demo	Wärmeschutz	ETFE-Kissen mit transparenter Sonnenschutz- sowie Wärmeschutzbeschichtung
03EN1039	OrganoPor_ Fassade	Wärmeschutz	Entwicklung großtechnisch herstellbarer Dämmstoffplatten für Wärmedämmverbundsysteme (WDVS) aus massenverfügbaren und kostengünstigen organischen Bestandteilen
03EN1040	HydroPhiber	Wärmeschutz	Hochdämmende Bau- und Werkstoffe aus Nachwachsenden Rohstoffen
03EN1048	FLEX-G 4.0	Wärmeschutz	Technologien für innovative schaltbare Folien als Nachrüstlösung für energiesparende Fenster und Glasfassaden
03EN1063	Fachwerk_2.0	Wärmeschutz	Entwicklung und Erforschung neuartiger Dämmsysteme zur energieeffizienten und ressourcenschonenden Fachwerkinstandsetzung an Versuchsgebäuden des Freilichtmuseums Hessenpark
03ET1565	BioFassade	Wärmeschutz	Fassadendämmsystems unter Verwendung von Biopolymeren und Celluloseacetat-Hohlfasern mit sehr hohen Dämmeigenschaften

Anhang II – Kurzbeschreibung der Projektinterviews

Im Folgenden werden die Projekte beschrieben, deren Projektnehmende im Rahmen dieser Arbeit an Kurzinterviews teilnahmen. Die Erläuterungen wurden von der Begleitforschung aus den EnArgus-Projektbeschreibungen und ergänzenden Informationen aus den Kurzinterviews erstellt. Die folgenden Projektbeschreibungen wurden von den interviewten Projektnehmenden inhaltlich geprüft und zur Verwendung in dieser Arbeit freigegeben. Die kostengünstigen bzw. kostensparenden Ansätze sind stichpunktartig aufgeführt.

AGENT-2 (FKZ: 03EN1066)

Die Integration erneuerbarer Energiequellen erhöht die Komplexität von Gebäudeenergiesystemen und damit die Anforderungen an deren Betriebsstrategie. Für einen effizienten Betrieb sind modellbasierte und prädiktive Regler notwendig. Aufgrund der hohen Komplexität der Energiesysteme ist die Entwicklung, Implementierung und Inbetriebnahme jedoch sehr aufwändig und somit mit hohen Kosten verbunden, weshalb modellprädiktive und optimierungsbasierte Regelstrategien bisher kaum in der Praxis eingesetzt werden. Im Projekt AGENT-2 wird ein selbsteinstellendes, selbstlernendes, modellprädiktives Regelungskonzept entwickelt, welches den Aufwand für die Implementierung und Inbetriebnahme reduziert. Der Ansatz basiert auf verteilten Agenten, die jeweils das Systemverhalten eines Teilsystems erlernen und das Teilsystem regeln. Der Betrieb des Gesamtsystems wird durch die Interaktion der selbstlernenden Agenten miteinander erreicht. So entsteht eine selbsteinstellende und skalierbare Regelungsstrategie für Gebäudeenergiesysteme. Die selbstlernende Regelungsstrategie wird simulativ mit State-of-the-Art-Konzepten verglichen und in zwei Demonstrationsgebäuden (ein Bürogebäude und eine Energiezentrale) im praktischen Betrieb erprobt.

Kosteneinsparender Einsatz im Bereich Herstellungs-/Errichtungskosten:

- Der Aufwand für die Aufrüstung einer klassischen Regelung auf eine modellbasierte und prädiktive Regelung von Gebäudeenergiesystemen soll durch den entwickelten Ansatz reduziert werden.

Kosteneinsparender Ansatz im Bereich Betriebskosten:

- Durch die selbsteinstellende Regelung von AGENT-2 werden die Betriebskosten von Gebäudeenergiesystemen optimiert.

Kosteneinsparender Ansatz im Bereich sonstige Kosten:

- Das Multi-Agenten-System wird so konzipiert, dass eine zukünftige Einbindung von dynamischen Energiepreisen möglich ist. Damit soll perspektivisch auch eine Optimierung der Energiepreise erreicht werden.

DynOpt-EN (FKZ: 03ETS001)

Im Projekt DynOpt-EN wurde ein dynamisches Optimierungsmodul zur angebots- und bedarfsgerechten Zuschaltung von Energieträgern entwickelt und erprobt. Bei Verfügbarkeit mehrerer Energiequellen werden die Energiequellen unter Kosten- und Emissionsgesichtspunkten dynamisch optimiert eingesetzt. Energiespeicher werden unter Verwendung verschiedener Modelle optimal bewirtschaftet. Das Optimierungsmodul kann sowohl Heizsysteme als auch Kühlsysteme steuern. Ein laufender Vergleich zwischen erwarteter Energieerzeugung bzw. -verbrauch ermöglicht

eine übergeordnete Effizienz- und Funktionsüberwachung. Das Modul wurde an drei Demonstratoren eingesetzt. Anhand von Jahressimulationen konnte eine Energiekosteneinsparung von etwa 15 % je nach Anlagenkonfiguration nachgewiesen werden.

Kosteneinsparender Ansatz im Bereich Betriebskosten:

- Der eigenerzeugte PV-Strom wird durch das Modul kostenoptimal für die Wärme- bzw. Kälteproduktion eingesetzt.
- Bei der Verfügbarkeit mehrerer Energiequellen werden diese unter Kosten- und Emissionsgesichtspunkten dynamisch optimiert eingesetzt.

Effizientes Heizen (FKZ: 03EN6014)

Die Vergleichbarkeit unterschiedlicher Heizsysteme ist erforderlich, um Endverbrauchern und Investoren die Möglichkeit zu geben, die objektiv nachhaltigste Lösung auszuwählen. Zudem erlaubt sie, volkswirtschaftlich vorteilhafte Lösungen zu identifizieren und die Wirkung von steuernden Maßnahmen abzuschätzen. Zur Ermittlung der Kosten und der ökologischen Wirkungen werden aktuell verschiedene Bewertungsansätze herangezogen und unterschiedlich ausgestaltet, wodurch Vergleiche nicht belastbar sind. Ein Mangel an aktuellen und gut zugänglichen Sachbilanzen erschwert die vergleichende Bewertung zusätzlich. Das Projekt „Effizientes Heizen“ will diese Lücken schließen und die vorhandenen Methoden zur Analyse der ökologischen und ökonomischen Wirkungen der Wärmebereitstellung in Wohngebäuden weiterentwickeln und ausdifferenzieren. Diese sollen sich an einheitlichen Grundsätzen orientieren und zu einem gemeinsamen methodischen Bewertungsansatz verknüpft werden. Dabei soll der gesamte Lebenszyklus der verschiedenen Heizsysteme von der Produktion bis zur Entsorgung berücksichtigt werden. Darüber hinaus sollen Variationen von Einflussgrößen, wie bspw. Energiekosten oder Umweltwirkungen der Strombereitstellung, durch den Bewertungsansatz abgebildet werden können.

Kosteneinsparender Ansatz im Bereich Herstellungs-/Errichtungskosten und Betriebskosten:

- Die entwickelte Methodik soll eine vergleichbare Bewertung der Ökonomie (und Ökologie) unterschiedlicher Heizsysteme über den gesamten Lebenszyklus ermöglichen. Damit soll eine objektive Grundlage zur Auswahl und Umsetzung von ökonomisch und ökologisch sinnvollen Heizungskonzepten geschaffen werden.

EISKIG (FKZ: 03EN6012)

Im Projekt EISKIG wird ein autonom agierendes System zur Reduzierung des Energieverbrauchs von Kälteanlagen in Industriegebäuden entwickelt. Durch daten- und KI-basierte Optimierungsverfahren sollen Energieeinsparpotenziale identifiziert und die Betriebsstrategie der Kälteanlagen entsprechend optimiert werden. Das System wird von drei Projektpartnern aus den Branchen Chemie-, Anlagen-/Maschinenbau- und IT-Branche im realen Anlagenbetrieb eingesetzt. Die Einsparung des jeweiligen Energieverbrauchs wird im Projekt quantifiziert, Ziel ist eine Energieeinsparung von mindestens 15 %. Durch die Umsetzung im realen Betrieb können Hemmnisse identifiziert und Erfahrungen für die Übertragbarkeit auf weitere Anlagen und Industriegebäude gesammelt werden.

Kosteneinsparender Ansatz im Bereich Betriebskosten:

- Durch die Reduzierung des Energieverbrauchs der Kälteanlagen können Betriebskosten eingespart werden.

Kosteneinsparender Ansatz im Bereich sonstige Kosten:

- Bei Bedarf werden dynamische Energiepreise im Optimierungsverfahren berücksichtigt, um nicht nur den Energieverbrauch, sondern auch die Energiekosten der betrachteten Kälteanlagen zu reduzieren.

Fachwerk_2.0 (FKZ: 03EN1063)

Im Projekt Fachwerk_2.0 wird untersucht, wie eine Steigerung der Energieeffizienz von Fachwerkgebäuden unter dem Aspekt der Dauerhaftigkeit und Nachhaltigkeit bei gleichzeitiger Wahrung ihrer Authentizität erzielt werden kann. Dazu werden insgesamt 12 Sanierungslösungen aus unterschiedlichen Fachwerkkombinationen mit Innendämmung baukonstruktiv und bauphysikalisch untersucht und mit Hilfe von hygrothermischen Messungen und Simulationen hinsichtlich ihrer Eignung und des Schadensbildes bewertet. Die im Projekt gewonnenen Daten und Erkenntnisse sollen es ermöglichen, verschiedene Sanierungsoptionen für Fachwerkgebäude zu bewerten und eine geeignete Lösung auszuwählen, um die Ziele Energieeffizienz, Nachhaltigkeit und Klimaanpassung für historisch wertvolle Gebäude zu erreichen.

Kosteneinsparender Ansatz im Bereich Betriebskosten:

- Durch die energetische Sanierung von Fachwerkgebäuden können die Wärmeverluste über die Gebäudehülle und damit auch der Energiebedarf des Gebäudes reduziert werden. Im Projekt Fachwerk_2.0 werden verschiedene Sanierungslösungen der Gebäudehülle untersucht und deren Auswirkungen auf den Gebäudeenergiebedarf und die Betriebskosten quantifiziert.
- Die energetische Sanierung der Gebäudehülle soll den Einsatz regenerativer Energiequellen zur Beheizung der historischen Gebäude ermöglichen. Der Einsatz regenerativer Energiequellen kann zu einer Reduzierung der Betriebskosten führen.

Kosteneinsparender Ansatz im Bereich Rückbau- bzw. Entsorgungskosten:

- Für die energetische Sanierung werden nachhaltige Materialien untersucht. Durch die Verwendung nachhaltiger Materialien können die Kosten bei einem eventuellen Rückbau bzw. der Entsorgung reduziert werden.

Kosteneinsparender Ansatz im Bereich sonstige Kosten:

- Im Projekt wird eine Methode entwickelt, mit der unterschiedliche Sanierungslösungen für die Gebäudehülle von Fachwerkgebäuden hinsichtlich ihrer bauphysikalischen Eignung bewertet werden können. Diese Grundlage soll helfen, nachhaltige und zukunftsfähige Sanierungslösungen für kulturhistorisch wertvolle Gebäuden zu finden und umzusetzen sowie mögliche Feuchteschäden durch ungeeignete Sanierungsmaßnahmen und die damit verbundenen Folgekosten zu vermeiden.

HaLo-Filter (FKZ: 03ET1655)

Im Projekt HaLo-Filter wird ein hochabsorbierendes Grob- und Feinstaub-Luftfiltermaterial auf Basis von Micro-/Nanofasern entwickelt. Aufgrund der Faserstruktur weist das Material eine deutlich höhere Durchströmungsgeschwindigkeit und Staubspeicherfähigkeit auf. Energieeffiziente Luftfilter mit einem hohen Staubspeichervermögen ermöglichen niedrigere Druckdifferenzverläufe und die Senkung des Energieverbrauchs von Lüftungsanlagen. Um eine Reduktion des Druckdifferenzverlaufs zu erzielen, muss die Absorptionsfähigkeit des Filtermaterials und damit die Eindringtiefe der Staubpartikel in den Luftfilter erhöht werden. Diese Eigenschaft macht jedoch – bei einem weiterhin

hohen Staubabscheidegrad – ein Feinstfasermaterial mit Durchmessern im Bereich von $< 1,0 \mu\text{m}$ notwendig. Grundlage dieses Filterkonzepts stellt die Entwicklung eines endlosen Multifilamentgarns dar. Die Verarbeitung des glatten Garns zu einem Material mit Luftfiltrationswirkung erfolgt durch das aus der Textilindustrie bekannte Verfahren der Texturierung. So ermöglicht die Entwicklung dieses Filtermaterials eine Verwendung auch an Einsatzorten mit hohen Strömungsgeschwindigkeiten. Anders als bei herkömmlichen Filtermedien ist die Gestaltung verschiedenster Bauformen möglich.

Kosteneinsparender Einsatz im Bereich Herstellungs-/Errichtungskosten:

- Das Filtermaterial hat bei gleicher Filterwirkung eine geringere Masse, was zu geringeren Materialkosten führt.

Kosteneinsparender Ansatz im Bereich Betriebskosten:

- Die hohe Staubspeicherfähigkeit des entwickelten Materials ermöglicht bei gleicher Filterwirkung einen geringeren Druckverlust der Lüftungsanlage. Dadurch kann der Stromverbrauch für die Lüftungsventilatoren reduziert werden. Das entwickelte Material weist eine um 20–30 % höhere Staubspeicherfähigkeit auf. Die Erhöhung der Staubspeicherfähigkeit führt zu Energie- und Kosteneinsparungen in ähnlicher Größenordnung.

KINERGY (FKZ: 03EN1011)

Im Projekt KINERGY wird ein System zur Entscheidungsunterstützung bei der Betriebsüberwachung bzw. -optimierung von Heizungsanlagen entwickelt. Herstellerunabhängig werden Sensordaten interpretiert und konkrete Handlungsempfehlungen für Betreiber und Handwerker abgeleitet. Die Anlagendaten werden in einem Dashboard visualisiert. Mithilfe eines Ampelsystems sind Auffälligkeiten, Fehler und Optimierungspotenziale der einzelnen Anlagenkomponenten für den Nutzer schnell erkennbar. Zudem werden Handlungsempfehlungen zur Optimierung des Anlagenbetriebs dem Nutzer angezeigt. Das System wird in ca. 20 Anlagen unterschiedlicher Komplexität und in verschiedenen Gebäuden (Wohngebäude, Schulen, Gewerbe, etc.) eingesetzt. Der Energieverbrauch vor und nach dem Einsatz des Systems wird im Rahmen des Forschungsprojektes ausgewertet.

Kostengünstiger bzw. kosteneinsparender Ansatz im Bereich Investitionskosten:

- Für die Betriebsdatenerfassung bestehender Anlagen ist die Nachrüstung minimalinvasiver Sensoren ausreichend (kein Eingriff in die Hydraulik erforderlich).

Kostengünstiger bzw. kosteneinsparender Ansatz im Bereich Betriebskosten:

- Mithilfe der abgeleiteten Handlungsempfehlungen des Systems kann der Anlagenbetrieb optimiert und somit Energie und Betriebskosten eingespart werden.

Kostengünstiger bzw. kosteneinsparender Ansatz im Bereich sonstige Kosten:

- Die Visualisierung des Anlagenbetriebes und die daraus abgeleiteten Handlungsempfehlungen schaffen eine Grundlage für Handlungssicherheit und damit reduzierte Instandhaltungskosten durch geringere Einsatzhäufigkeit und schnellere Fehlererkennung.

N5GEH-LoCI4AR (FKZ: 03EN1060)

Das Projekt LoCI4AR befasst sich mit der Entwicklung eines intelligenten Assistenzsystems in Form einer Web-Anwendung bzw. Smartphone-App für komplexe Energietechniksysteme von Gebäuden. Die wesentlichen Komponenten des Systems sind (1) eine automatische Innenraumlokalisierung und (2) die Visualisierung der augmentierten Realität (AR) mit externer Prozessierung sowie (3) mit der Integration von Sensordaten mittels IoT-Technologie. Die hohen Übertragungsraten und geringen Latenzzeiten der 5G-Technik werden zusammen mit Positionierungs- und Navigationslösungen untersucht, um AR-Anwendungen in Echtzeit auf mobilen Endgeräten zu realisieren. Mithilfe dieses Systems können beispielsweise folgende Fachapplikationen für mobile Endgeräte entstehen, die unterschiedliche Möglichkeiten zur Kosteneinsparung bieten.

Kosteneinsparender Ansatz im Bereich Planungskosten:

- Darstellung von Planungsdateien in der AR-Umgebung auf dem mobilen Endgerät für die frühzeitige Fehlerprüfung und -erkennung, z. B. Kollisionsprüfung.

Kosteneinsparender Ansatz im Bereich Herstellung und Errichtung:

- Visualisierung der Planung als virtuelle Information während der Ausführung in realer Umgebung, um schnelle und strukturierte Umsetzung zu ermöglichen sowie die tatsächliche Umsetzung zu dokumentieren.

Kosteneinsparender Ansatz im Bereich Betriebskosten:

- Zusätzliche Informationen und ergänzende Auswertungen (wie z. B. Messdaten von Sensoren) können virtuell in der realen Umgebung dargestellt werden, um ein schnelles Auffinden bzw. Zuordnen einzelner Komponenten zu ermöglichen.

optLWP (FKZ: 03EN1054)

Das Ziel des Forschungsvorhabens ist die Steigerung der Effizienz zu planender und bestehender Wärmepumpensysteme. Explizit soll der jährliche Bedarf an elektrischer Energie der Wärmepumpe durch Anpassung der Betriebsstrategie reduziert werden. Dies wird durch die Applikation einer prädiktiven Betriebsoptimierung anhand von Wetterprognosen in Kombination mit der Nutzungsoptimierung thermischer Speicherkapazitäten in Form aktivierter Bauteile erreicht. Durch die Entwicklung der Regelung als externe Einheit lassen sich nicht nur geplante Wärmepumpensysteme, sondern auch Bestandsanlagen durch Integration bestehender Schnittstellen optimiert betreiben. Die Regelung wird zunächst in Simulationen mit passenden Speicher-, Gebäude- und Heizungsmodellen entwickelt und getestet. Im Rahmen eines Feldtests wird die entwickelte Regelung in einem Demonstrationsgebäude unter realen Bedingungen messtechnisch untersucht. Als Vergleich dient eine mit Erdsonden gekoppelte Solewärmepumpe, welche im selben Demonstrationsgebäude verbaut ist. Der Betrieb beider Wärmepumpenarten wird über eine Heizperiode vermessen. Aufgrund der Selbstnutzung durch die Gebäudeeigentümer ist von gleichbleibenden Nutzungsprofilen während beider Messperioden auszugehen. Sobald das Potential nachgewiesen werden konnte, wird die entwickelte Regelung in einem Sanierungsobjekt im Rahmen eines weiteren Feldtests untersucht. Die Energieeinsparungen und damit verbundenen Kosteneinsparungen durch die Betriebsoptimierung sollen im Projekt dargestellt werden.

Kosteneinsparender Ansatz im Bereich Herstellungs- bzw. Errichtungskosten:

- Das Gesamtsystem ermöglicht die geeignete Einbindung der vorhandenen Gebäudemasse als thermischer Speicher. Gegenüber der Einbindung zusätzlicher Pufferspeicher entstehen dadurch keine zusätzlichen Investitionskosten.

Kosteneinsparender Ansatz im Bereich Betriebskosten:

- Die prädikative Betriebsoptimierung und die Nutzung der Gebäudemasse als thermischer Speicher sollen den Stromverbrauch und damit auch die Betriebskosten der Wärmepumpe reduzieren.

Kosteneinsparender Ansatz im Bereich sonstige Kosten:

- Der Regelalgorithmus kann angepasst werden, um einen variablen Strompreis zu berücksichtigen und damit die Energiekosten zu reduzieren.

PAKS (FKZ: 03EN6017)

Im Projekt PAKS wird ein Kältespeicher entwickelt, der ähnlich wie eine Absorptionskältemaschine funktioniert. Er basiert auf einem geschlossenen Absorptionsprozess mit dem Stoffpaar Wasser/Lithiumbromid (LiBr) und der zyklischen Kristallisation und Wiederauflösung eines Teils der wässrigen LiBr-Lösung. Im Vergleich zu heute gängigen Eisspeichern ermöglicht der Prozess eine um ein Vielfaches höhere Energiespeicherdichte (etwa 3 bis 5mal höher), woraus sich ein besonders kompaktes Speichersystem ergibt. Einsatzbereiche für den Speicher können u. a. im industriellen Umfeld zu finden sein. Dort werden häufig aus diskontinuierlichen Prozessen stammende Abwärmeströme ungenutzt an die Umgebung abgegeben, weil zum Zeitpunkt ihres Auftretens kein geeigneter Verbraucher zur Verfügung steht. Derartige Abwärmeströme können zukünftig zum Beladen des Absorptionskältespeichers verwendet werden, um einen kontinuierlichen oder zeitlich versetzten Kühlbedarf ohne zusätzliche CO₂-Emissionen zu decken. Im Rahmen des Projekts wird die Technologie in einer Laborumgebung im 10-kW- / 100 kWh-Maßstab getestet. Eine techno-ökonomische Betrachtung des Speichertyps und damit ein Vergleich mit konventionellen Technologien ist im Projekt vorgesehen.

Kosteneinsparender Ansatz im Bereich Betriebskosten:

- Die Kältebereitstellung erfolgt flexibel mithilfe von bisher ungenutzter Abwärme. Dadurch wird der hohe Strombedarf einer ansonsten üblicherweise verwendeten Kompressionskältemaschine vermieden, wodurch die Betriebskosten erheblich reduziert werden.

Kosteneinsparender Ansatz im Bereich sonstige Kosten:

- Im Vergleich zu herkömmlichen Speichern ist die Energiespeicherdichte deutlich höher. Dadurch wird für die Speicherung derselben Energiemenge weniger Bauvolumen bzw. Stellfläche benötigt.

passPART2 (FKZ: 03EN1042)

Im Projekt passPART2 werden zwei geringinvestive Maßnahmen zur Senkung des Energieverbrauchs im Gebäudebetrieb von Bestandsgebäuden evaluiert. Bei der ersten Maßnahme handelt es sich um einen Ansatz zur Energieeinsparung im Strom- und Wärmebereich durch Sensibilisierung der Nutzer. Über eine spielerische Online-Plattform werden die Nutzer über die Möglichkeiten der Energieeinsparung durch ihr Verhalten informiert und abgefragt. Zusätzlich besteht die Möglichkeit,

den tatsächlichen Verbrauch der Nutzer in die App zu integrieren. Die Verwendung der App soll die Nutzer durch Gamification dazu aktivieren, ein energieeinsparendes Verhalten umzusetzen. Bei der zweiten Maßnahme handelt es sich um ein Raumwärme-Managementsystem, das durch eine intelligente Regelung der Heizkörper den Wärmeverbrauch senken soll. Die Maßnahmen werden in einem Verwaltungsgebäude in Detmold umgesetzt und messtechnisch begleitet. Zur Evaluierung der Energieeinsparung der Maßnahmen werden drei unterschiedliche Bereiche ausgewertet: ein Bereich mit dem Gamification-Ansatz, ein Bereich mit Einsatz des intelligenten Raumwärme-Managementsystems und ein Bereich ohne Umsetzung der beiden Maßnahmen als Kontrollgruppe. Die Energie- und Kosteneinsparungen durch die Umsetzung der Maßnahmen werden im Rahmen des Forschungsprojektes quantifiziert.

Kosteneinsparender Ansatz im Bereich Herstellungs- bzw. Investitionskosten:

- Bei beiden Ansätzen (Gamification und intelligentes Raumwärme-Managementsystem) handelt es sich um geringinvestive Maßnahmen.

Kosteneinsparender Ansatz im Bereich Betriebskosten:

- Die Maßnahmen sollen den Energieverbrauch und damit auch die Kosten im Gebäudebetrieb senken.

sEnSys (FKZ: 03EN1053)

Das Projekt „sEnSys“ umfasst die Entwicklung und Umsetzung eines umfassenden Konzepts für energieeffiziente, wirtschaftliche und netzdienliche Gebäude, welche in der Jahresbilanz eine Energie- bzw. Klimaneutralität erreichen. Ziel des Projekts ist die Demonstration einer Sanierung im Bestand von mehrgeschossigen Mehrfamilienhäusern im Bereich des genossenschaftlichen Wohnungsbaus. Dafür wurde ein Wohngebäude aus dem Jahr 1968 mit etwa 32 Wohneinheiten ausgewählt. Die Schwerpunkte des Projekts umfassen technische und wirtschaftliche Aspekte sowie Nutzerakzeptanz der Bestandsanierung. Zur Erreichung eines wirtschaftlichen Betriebs werden Betreibermodelle für Strom- und Wärmekonzepte untersucht und umgesetzt. Die Mehrkosten für den Aufwand an Komponenten und Regelungsfunktionen sollen durch eine erhöhte Systemeffizienz und somit niedrigere Energieverbrauchskosten, den Wegfall einer externen Verbrauchsabrechnung sowie die volle Ausschöpfung der Möglichkeiten des Mieterstroms kompensiert werden. In einer Studie sollen die Kosten unterschiedlicher Varianten (z. B. minimal und ambitioniert) untersucht werden.

Kosteneinsparender Ansatz im Bereich Betriebskosten:

- Optimierung der Betriebskosten durch eine hohe Effizienz der Anlagentechnik und die Minimierung der Verluste.
- Ausschöpfung der Möglichkeiten des Mieterstroms (Untersuchung und Einsatz von Betreibermodellen für Strom- und Wärmekonzepte).
- Wegfall einer externen Verbrauchsabrechnung.

SKAMO (FKZ: 03EN1060)

Digitale Dienstleistungen (Energie- und Lastmanagement, Effizienzmonitoring, etc.) zur Optimierung des Gebäudebetriebs und zur Einsparung von Energie, Kosten und THG-Emissionen werden in Bestandsgebäuden häufig nicht genutzt. Gründe hierfür sind der Aufwand bzw. die Kosten für die Nachrüstung der notwendigen Sensoren und die Konfiguration der Datenaufnahme mit der

Datenverarbeitung. Um diese Hürden abzubauen, setzt das Projekt SKAMO auf zwei Komponenten: funkvernetzte (statt kabelgebundene) Sensorik und die automatische Konfiguration zwischen Datenerfassung/Datenbank und digitalen Diensten (Datenvisualisierung, Datenanalyse, etc.).

Kosteneinsparender Ansatz im Bereich Herstellungs- bzw. Investitionskosten:

- Die Kosten pro Datenpunkt sollen deutlich gesenkt werden.

Kosteneinsparender Ansatz im Bereich Betriebs- bzw. Instandhaltungskosten:

- Funkbasierte Sensoren erzeugen geringere Installationskosten, durch eine vollständig automatisierte Einbindung in das Informationsmanagement und damit Anbindung an alle laufenden Analyse-Services wird weiterer manueller Aufwand eingespart.
- Ein Wissensgraph speichert die Informationen zu Gebäude- und Anlagenstruktur sowie den entsprechenden Datenpunkten. Das Gebäudewissen steht so für eine Vielzahl von Anwendungen zur Verfügung und kann automatisiert genutzt werden.
- Die automatische Konfiguration (Verknüpfung von Datenbank und Datenanalyse) reduziert den Zeitaufwand sowohl bei initialer wie auch bei Neukonfiguration, z. B. bei Änderungen von Datenpunkten im Gebäude (geringerer Aufwand als bei manueller Pflege der Konfiguration).
- Durch wissensbasierte und automatische Service-Konfiguration (wie Datenvisualisierung, Fehlererkennung und Betriebsoptimierung) können Fehlbetriebe und Einsparmöglichkeiten im Gebäudebetrieb erkannt und umgesetzt werden.

smart-Case-NZEB (FKZ: 03ET1600)

Das Projekt smart-Case-NZEB verfolgt das Ziel, die Flexibilität beim Bezug elektrischer Energie aus dem Netz fürs Heizen und Kühlen durch eine optimierte Steuerung der Gebäudetechnik bzw. den Einsatz thermischer Speicher zu erhöhen. Dafür wurden Lösungen für die Integration von Latentwärmespeichern in den internen Kreislauf von Wärmepumpen und Kältemaschinen entwickelt. Die Steuerung der Anlagentechnik kann mit dem Stromnetz interagieren. Das neuartige Wärmepumpensystem wurde während der Projektlaufzeit als Simulationsmodell abgebildet, im Labor untersucht und in einer praktischen Anwendung eingesetzt.

Kosteneinsparender Ansatz im Bereich Betriebskosten:

- Gegenüber dem Vergleichssystem (Wärmepumpe mit gleich großem jedoch separatem Wärmespeicher) kann mit dem entwickelten System eine höhere Energieeffizienz erzielt werden. Dies führt zur Reduzierung des Energiebezugs und damit zu einer Verringerung der Betriebskosten.

Kosteneinsparender Ansatz im Bereich sonstige Kosten:

- Durch die Integration des Speichers wird die Flexibilität des Systems in Bezug auf das Stromnetz erhöht, damit können variable bzw. insbesondere günstige Stromtarife genutzt werden.
- Latentwärmespeicher ermöglichen im Vergleich zu konventionellen Wärmespeichern eine Platzersparnis. Dadurch wird für die Speicherung derselben Energiemenge weniger Bauvolumen bzw. Stellfläche benötigt.

SmartPrior (FKZ: 03EN1051)

Im Projekt SmartPrior wird eine Methode zur Optimierung von Energieversorgungssystemen im Gebäudebereich auf Basis von Prior-Modellen der Künstlichen Intelligenz entwickelt. Die Methode ermöglicht eine umfassende Optimierungsanalyse von Versorgungssystemen unter Berücksichtigung mehrerer Kriterien (in der Regel ökonomische und ökologische Kriterien, wie z. B. CO₂-Emissionen, Energiebedarf, Investitions- und Betriebskosten der Systeme) und soll damit die Auswahl eines geeigneten Systems unterstützen. Um die Anwendbarkeit der komplexen Optimierungsanalyse im kommerziellen Bereich zu ermöglichen, wird der Ansatz von Prior-Modellen implementiert. Hier wird die vorgelagerte rechenintensive Modellbildung und die nachgelagerte Zuordnung des individuellen Anwendungsfalls an das Modell entkoppelt. Damit können komplexe Optimierungsanalysen von Energieversorgungssystemen mit deutlich geringerem Zeitaufwand durchgeführt und auch in der Gebäudeplanung eingesetzt werden.

Kosteneinsparender Ansatz im Bereich Planungskosten:

- Ermöglichung komplexer und anwendungsorientierter Optimierungsanalysen von Energieversorgungssystemen in der Planungsphase, die sonst nur mit hohem Zeitaufwand durchführbar wären.
- Reduzierung der Rechenzeit von komplexen Analysen.

Kosteneinsparender Ansatz im Bereich Herstellung, Errichtung und Betriebskosten:

- Das Verfahren ermöglicht eine multikriterielle Optimierung von Energieversorgungssystemen in der Planungsphase, darunter auch die annualisierten Gesamtkosten des Gebäudes.

Solar VHF (FKZ: 03ETW013)

Im Projekt Solar VHF wird eine solarthermische Aktivierung von vorgehängten hinterlüfteten Fassaden entwickelt. Ziel ist es, konventionelle Fassaden solarthermisch zu aktivieren, ohne dabei den optischen Eindruck der Fassaden zu verändern. Die Integration der solarthermischen Aktivierung wird an drei unterschiedlichen Fassadenverkleidungen (Glas, Beton und Metall) untersucht.

Kosteneinsparender Ansatz im Bereich Herstellungs- bzw. Investitionskosten:

- Durch die multifunktionale Nutzung der Fassade als Gebäudehülle und Solarabsorber können Kosten im Vergleich zur Umsetzung der zwei einzelnen Komponenten (Fassade und Solarabsorber) eingespart werden (Referenz der Einsparung: zwei Komponenten (Fassade und Solarabsorber)).
- Im Demonstrationsprojekt wird die solar-aktivierte Fassade wärmequellenseitig zur Unterstützung von Erdsonden für den Betrieb einer Wärmepumpe eingesetzt. Die Anzahl der Erdsonden konnte durch den Einsatz der solar-aktivierten Fassade reduziert werden (Referenz der Einsparung: Wärmepumpe mit Erdsonden als monovalente Wärmequelle).

Kosteneinsparender Ansatz im Bereich Betriebskosten:

- Im Vergleich zur Wärmepumpe mit der Außenluft als Wärmequelle werden höhere Effizienzen erzielt (Referenz der Einsparung: Wärmepumpe mit Außenluft als Wärmequelle).

Windheizung 2.0-Demo (FKZ: 03EN6013A)

Die Windenergie stellt mittlerweile in Deutschland den größten Anteil an der Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien dar. Vor allem durch Starkwindereignisse herrscht im Winter im deutschen

Stromnetz häufig (d. h. alle ein bis zwei Wochen) ein Überangebot, das dann zu niedrigen bis negativen Preisen an der Strombörse führt. In manchen Regionen müssen Windkraftanlagen zur Sicherung der Netzstabilität reduziert oder zeitweise komplett abgeregelt werden. Gebäude in Deutschland bieten mit ihren großen thermischen Speichermassen enorme Potentiale als thermische Langzeitspeicher. Da Windkraft im Stromnetz der Zukunft eine wichtige Rolle spielen wird und diese überwiegend im Winter in Form von Starkwindereignissen überschüssig vorhanden ist, fallen der Heizwärmebedarf von hocheffizienten Gebäuden und die Verfügbarkeit von Überschussstrom zeitlich eng zusammen. Dadurch können die Windheizung 2.0-Gebäude der Zukunft durch die Erzeugung von Wärme (power-to-heat) aus erneuerbarem elektrischen Überschuss-Strom ihren Energiebedarf umwelt- und systemverträglich decken und gleichzeitig zur erfolgreichen Umsetzung der Energiewende beitragen. Die Systemverträglichkeit entsteht für das Stromnetz auch aus der Tatsache, dass Windheizung 2.0 Gebäude während längerer Phasen mit hoher Netzauslastung (ein bis zwei Wochen) auf den Bezug von Heizstrom verzichten können.

Im Rahmen des Vorprojekts „Windheizung 2.0: Langzeitspeicher“ (FKZ: 03ET1612A) wurden unterschiedliche Bauformen von Langzeit-Speichern (Hochtemperatur-Steinspeicher (HTSS) und raumseitig überdämmte Bauteilaktivierungs-Speicher (BTA)) für das Konzept Windheizung 2.0 entwickelt und am Feldtest erprobt. Parallel wurde für die Windheizung 2.0-Speicher ein prädiktives Regelungssystem erarbeitet und in den Versuchen erprobt. Die entwickelte Regelung lernt auf Basis von Temperatur- und Verbrauchswerten selbstständig die Charakteristik des Gebäudes und nutzt eine Wettervorhersage, um den Wärmebedarf des Windheizung 2.0-Gebäudes für die kommenden 7,5 Tage vorherzusagen (maximaler aktuell verfügbarer Wetterprognosezeitraum). Im Projekt Windheizung 2.0-Demo werden drei Gebäude (ein Einfamilienhaus, eine Doppelhaushälfte mit Einliegerwohnung und ein Mehrfamilienhaus mit vier Wohneinheiten) mit jeweils einer der Windheizung 2.0-Speichertechnologien (HTSS, BTA und großer Warmwasserspeicher) ausgestattet. Neben der Weiterentwicklung der gesamten Systemtechnik werden auch die Nutzer-Interaktion mit der Technik und Regelung sowie die Nutzer-Akzeptanz des Systems untersucht.

Kosteneinsparender Ansatz im Bereich Gesamtkosten (Kapitalwert-Methode nach 20 Jahren):

- Bei überschüssigem Strom aus Windenergie werden die Gebäudespeicher geladen. Bei dynamischen Strompreisen hat dies für den Endkunden wirtschaftliche Vorteile, da die Preise in Zeiten des Überangebots niedriger sind. Eine spezielle Regelungskomponente sorgt dafür, dass die Speicher nur dann geladen werden, wenn freie Kapazitäten im Stromnetz vorhanden sind, während sie bei Netzengpässen keine Energie beziehen und das Netz somit entlasten.

WOpS (FKZ: 03EN3054)

Im Projekt WOpS wird eine Modell- und Optimierungsbibliothek für die Betriebsführung von dezentralen Einspeisepunkten in Fernwärmenetzen entwickelt. Die Bibliothek bildet die zeit- und ortsabhängigen thermohydraulischen Eigenschaften der Wärmeströme ab und ermöglicht durch die Einbindung von Echtzeitdaten (Energiamarktpreise und aus dem Wärmenetz) eine modellprädikative Regelung der dezentralen Wärmeerzeuger. Damit kann auf die realen Gegebenheiten reagiert werden, um eine Reduktion der Wärmeerzeugungskosten und gleichzeitig eine ideale Wärmeversorgung des Netzes zu erzielen. Die Modell- und Optimierungsbibliothek wird an einem bestehenden Wärmenetz mit vier Einspeisepunkten eingesetzt und getestet, wobei die Anzahl der Einspeisepunkte im weiteren Ausbau erhöht wird.

Kostengünstiger bzw. kosteneinsparender Ansatz im Bereich sonstige Kosten:

- Die Betriebsführung der dezentralen Einspeisepunkte erfolgt marktorientiert und wird hinsichtlich der Wärmeerzeugungskosten optimiert.
- Durch die Einbindung von Echtzeitdaten sollen Betriebsstörungen (z. B. Unterversorgung im Netz) vermieden bzw. schnell erkannt und behoben werden. Dadurch können manuelle Eingriffe und der damit verbundene Zeit- bzw. Kostenaufwand reduziert werden.
- Durch die Modellierung der hydraulischen Eigenschaften des Wärmenetzes soll eine optimale Versorgung des Netzes erreicht werden. Als Nebeneffekt kann der Energieverbrauch der Wärmeerzeuger reduziert werden.