

Julika Weiß, Mark Bost, Elisa Dunkelberg



Gebäude-Energiewende Arbeitspapier 9

Regionale Sanierungsszenarien und deren Bewertung

**Transformation kleinerer Wohngebäude in den Regionen
Spreewald-Lausitz und Potsdam/Potsdam-Mittelmark**



Impressum

Autor/innen:

Dr. Julika Weiß (IÖW), Mark Bost (IÖW), Dr. Elisa Dunkelberg (IÖW)

Als Forschungspartner kooperieren

Projektleitung:

Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW), Berlin

Potsdamer Str. 105, 10785 Berlin

www.ioew.de

Kooperationspartner:

Brandenburgische Technische Universität Cottbus - Senftenberg (BTU CS)

Großenhainer Str. 57, 01968 Senftenberg

www.b-tu.de

RWTH Aachen | E.ON Energieforschungszentrum, Lehrstuhl für Gebäude- und Raumklimatechnik

Mathieustraße 10, 52074 Aachen

www.eonerc.rwth-aachen.de

Zitiervorschlag

Weiß, Julika, Bost, Mark, Dunkelberg, Elisa (2017): Regionale Sanierungsszenarien und deren Bewertung - Transformation kleinerer Wohngebäude in den Regionen Spreewald-Lausitz und Potsdam/Potsdam-Mittelmark. Gebäude-Energiewende Arbeitspapier 9. Institut für ökologische Wirtschaftsforschung, Berlin

Der vorliegende Beitrag entstand im Forschungsprojekt „Gebäude-Energiewende – Systemische Transformation der Wärmeversorgung von Wohngebäuden“. Das Projekt ist Teil des vom deutschen Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Schwerpunktprogramms "Umwelt- und gesellschaftsverträgliche Transformation des Energiesystems" der Sozial-ökologische Forschung (SÖF; Förderkennzeichen 03EK3521). Für nähere Informationen zum Projekt siehe www.gebaeude-energiewende.de.

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



b-tu

Brandenburgische
Technische Universität
Cottbus - Senftenberg

RWTHAACHEN
UNIVERSITY



| i | ö | w

INSTITUT FÜR ÖKOLOGISCHE
WIRTSCHAFTSFORSCHUNG

Zusammenfassung

Das durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderte Projekt "Gebäude-Energiewende" nimmt Wohngebäude im Eigentum von Privatpersonen in schrumpfenden und wachsenden Regionen in den Blick und ermittelt nachhaltige Sanierungsmaßnahmen unter Berücksichtigung regional-ökonomischer Faktoren. Das vorliegende Arbeitspapier stellt die Entwicklung und Bewertung von unterschiedlichen Sanierungsszenarien für die zwei Untersuchungsgebiete des Projekts dar. Ausgehend von der These, dass der demografische Wandel und die wirtschaftliche Entwicklung einer Region die ökonomische und ökologische Bewertung beeinflussen, untersucht das Projekt eine schrumpfende und eine wachsende Region. Beide Untersuchungsgebiete liegen in Brandenburg. Als schrumpfende Region wird im Projekt die Planungsregion Lausitz-Spreewald (LS) und als wachsende Region die Stadt Potsdam und der umgebende Landkreis Potsdam-Mittelmark (PPM) betrachtet.

Im Vorhaben wurden vier Szenarien bis zum Jahr 2050 entwickelt und hinsichtlich ihrer ökologischen und ökonomischen Wirkung bewertet. Die Szenarien gehen von einer gebäudeindividuellen Betrachtung für sieben Prototypen sowie insgesamt 42 Subprototypen aus, wodurch Unterschiede im Sanierungszustand und den Sanierungsmöglichkeiten berücksichtigt werden. Betrachtet wurden in der Summe vier Szenarien: ein Trendszenario, zwei Szenarien mit unterschiedlichen Optimierungsbedingungen sowie ein Szenario, das die finanziellen Restriktionen der Gebäudeeigentümer/innen mit einbezieht. Die Ergebnisse zeigen, dass die bisherigen Sanierungsaktivitäten selbst bei hohen Sanierungsraten und –niveaus nicht ausreichen, um die Klimaschutzziele zu erreichen. Denn was bisher weitgehend fehlt, ist der Wechsel zu erneuerbaren Energien. Insgesamt sind nach diesen Berechnungen ehrgeizige Klimaschutzziele aber nur bei einer umfassenden energetischen Sanierung in Kombination mit einem Ausbau der erneuerbaren Stromerzeugung für die untersuchten Gebäude erreichbar. Der Umsetzung stehen jedoch zahlreiche Hemmnisse entgegen. Im Vorhaben hat sich gezeigt, dass die Finanzierbarkeit durch die Eigentümer/innen ein zentrales Hemmnis darstellt. Das Szenario mit Berücksichtigung der aufgrund unterschiedlicher Einkommen verfügbaren finanziellen Mittel zeigt, dass Haushalte mit mittleren und insbesondere niedrigen Einkommen kaum in der Lage sind, eine umfassende Sanierung ihres Hauses zu einem klimaneutralen Gebäude zu finanzieren. Insgesamt werden die Mittel bei den optimierten Maßnahmenkombinationen aus Klimaschutzsicht effizienter eingesetzt als bei einem „Weiter So“. Auch die finanziellen Restriktionen führen dazu, dass nicht die langfristig kostengünstigsten Lösungen gewählt werden. Ein effizienter Mitteleinsatz ist jedoch angesichts der knappen verfügbaren Mittel wichtig.

Die Betrachtung zeigt Unterschiede zwischen den beiden Regionen. Da in der schrumpfenden Region LS mehr Haushalte mit geringen Einkommen wohnen, wirkt sich das Finanzierungshemmnis im Szenario Fin+ stärker aus als in der wachsenden Region PPM. Zudem wird davon ausgegangen, dass in der Region Lausitz-Spreewald der beheizte Gebäudebestand bis zum Jahr 2050 durch Abriss oder Leerstand deutlich zurückgeht. Hierdurch werden Klimaschutzziele leichter erreicht, wenn sie sich auf die gesamten regionalen Emissionen beziehen als in der wachsenden Region PPM. Entsprechend der unterschiedlichen Wachstumsdynamik unterscheiden sich in den beiden Regionen auch die Diskussionen, in die die energetische Sanierung des Gebäudebestands eingebettet wird. Dabei entspricht die grundsätzliche Problemlage in den Untersuchungsregionen denen in anderen Regionen insbesondere in Ostdeutschland.

Kommunen und Regionen können und müssen zu wichtigen Akteuren der Wärmewende werden. Sie beeinflussen, ob es vor Ort förderliche oder hemmende Bedingungen für die energetische Sanierung gibt. In kommunalen und regionalen Klimaschutzkonzepten sollten Ziele für die energetische Sanierung des Gebäudebestands verankert werden, etwa hinsichtlich der Sanierungsraten oder dem energetischen Niveau. Dabei sollten auch Maßnahmen entwickelt werden, die die privaten Gebäudeeigentümer/innen dabei motivieren und unterstützen, ihr Eigenheim energetisch fit zu machen. Um die vorhandenen Angebote vor

Ort sichtbar zu machen und zu bündeln ist der Aufbau regionaler Träger beispielsweise in Form von Energie- und Klimaschutzagenturen wichtig. In den Untersuchungsregionen wird der wichtige Bereich der privaten Einzeleigentümer/innen bisher jedoch kaum adressiert und in den Klimaschutz- und Energiekonzepten auf regionaler und kommunaler Ebene meist kaum berücksichtigt. Ansprechpartner vor Ort sind - wo sie vorhanden sind – häufig nur die Klimaschutzmanager, die mit der Aufgabe alleine überfordert sind. Zur Erreichung der Klimaschutzziele spielt jedoch auch die Bundesebene eine zentrale Rolle. Diese kann zum einen die Kommunen und Regionen bei ihren Aufgaben unterstützen, zum anderen spielt sie für die Frage der Finanzierung von Sanierungsmaßnahmen sowie auch der Energiepreisgestaltung eine zentrale Rolle.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----------|
| Impressum | 2 |
| Zusammenfassung | 3 |
| Tabellenverzeichnis | 8 |
| Abkürzungsverzeichnis | 9 |
| 1 Einführung und Zielsetzung | 10 |
| 2 Gebäudebestand: Ausgangslage und Zielsetzung | 11 |
| 2.1 Status quo und Prototypen | 11 |
| 2.2 Veränderung des Gebäudebestands bis 2050 | 14 |
| 2.3 Ziel klimaneutraler Gebäudebestand | 15 |
| 2.3.1 Klimaschutzziele und Szenarien auf Bundesebene | 15 |
| 2.3.2 Klimaschutzziele und Szenarien auf regionaler Ebene | 16 |
| 2.3.3 Ableitung von Zielwerten für die Studie | 17 |
| 3 Entwicklung der Sanierungsszenarien | 18 |
| 4 Ergebnisse und Bewertung | 21 |
| 4.1 Sanierungsmaßnahmen und Energieträger | 21 |
| 4.2 Ökologische Bewertung | 24 |
| 4.2.1 Endenergie- und Wärmebedarf | 24 |
| 4.2.2 Primärenergiebedarf | 26 |
| 4.2.3 Treibhausgasemissionen | 29 |
| 4.3 Ökonomische Bewertung der Szenarien aus Sicht der Eigentümer/innen | 31 |
| 5 Fazit und Schlussfolgerungen | 34 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 5.1 | Übergreifende Auswertung der Szenarien | 34 |
| 5.2 | Politische Handlungsempfehlungen | 37 |
| 6 | Literaturverzeichnis | 41 |
| 7 | Anhang | 44 |
| 7.1 | Daten zum Gebäudebestand | 44 |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Abb. 4.1: Umgesetzte Sanierungsmaßnahmen bis 2050 in der Region Lausitz-Spreewald | 21 |
| Abb. 4.2: Anteil erneuerbarer Energien am Raumwärme- und Warmwasserbedarf 2050 | 22 |
| Abb. 4.3: Verbreitung der Heizungssysteme in den unterschiedlichen Szenarien in der Region Lausitz-Spreewald 2050 | 23 |
| Abb. 4.4: Reduktion des spezifischen Endenergiebedarfs..... | 25 |
| Abb. 4.5: Reduktion des spezifischen Primärenergiebedarfs | 27 |
| Abb. 4.6: Reduktion des spezifischen Primärenergiebedarfs in den unterschiedlichen Gebäudeprototypen in der Region Lausitz-Spreewald | 28 |
| Abb. 4.7: Reduktion der CO ₂ -Emissionen durch die umgesetzten Sanierungsmaßnahmen in den untersuchten Gebäuden (Nettoeffekte: inkl. CO ₂ -Emissionen durch Herstellung, Transport, etc.) | 29 |
| Abb. 4.8: Investitionskosten bis 2050 | 31 |
| Abb. 4.9: Spezifische Betriebskosten auf Basis derzeitiger Energiekosten | 32 |
| Abb. 4.10: Spezifische Betriebskosten auf Basis von prognostizierten Energiekosten 2050 | 33 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|---|----|
| Tab. 2.1: Anteil der Prototypen am Wohngebäudebestand in den Untersuchungsregionen | 12 |
| Tab. 2.2: Verteilung der Heizungstechnologien / Energieträger nach Prototypen | 12 |
| Tab. 3.1: Szenarien für den deutschen Strommix: Primärenergiefaktoren (PEF) und THG-Emissionsfaktoren | 20 |
| Tab. 4.1: Strombedarf 2050 für den Betrieb der Wärmepumpen | 24 |
| Tab. 4.2: Spezifischer Wärmebedarf (Heizung und Warmwasser) in den Untersuchungsregionen | 25 |
| Tab. 4.3: Primärenergiebedarf im Status quo und je nach Szenario 2050 | 28 |
| Tab. 4.4: Reduktion der CO ₂ -Emissionen von 1990 bis 2050 in den untersuchten Gebäuden | 30 |
| Tab. 4.5: Gesamte und direkte Treibhausgas-Emissionen 2010 und 2050 | 30 |
| Tab. 6.1: Verteilung der Heizungstechnologien / Energieträger nach Prototypen | 44 |
| Tab. 6.2: Baulicher und energetischer Zustand verschiedener Bauteile der Prototypen | 44 |

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|------|--------------------------------|
| BEI | Bremer Energie Institut |
| EE | Erneuerbare Energien |
| EZFH | Ein- und Zweifamilienhäuser |
| HEV | Heizenergieverbrauch |
| IWU | Institut für Wohnen und Umwelt |
| LS | Lausitz-Spreewald |
| MFH | Mehrfamilienhäuser |
| ODG | Oberes Dachgeschoss |
| PEE | Primärenergieeinsparung |
| PEF | Primärenergiefaktor |
| PPM | Potsdam/Potsdam-Mittelmark |
| PV | Photovoltaik |
| ST | Solarthermie |

1 Einführung und Zielsetzung

Das Energiekonzept der Bundesregierung hat eine Reduktion des Primärenergiebedarfs um 80 % im Gebäudebestand bis zum Jahr 2050 zum Ziel. Zentrale Elemente, um dieses Ziel zu erreichen, sind eine umfassende energetische Sanierung der Gebäudehülle sowie der breite Einsatz erneuerbarer Energien zur Wärmeerzeugung. Während im Stromsektor in den vergangenen Jahren ein deutlicher Ausbau erneuerbarer Energien zu verzeichnen war, geht die Energiewende im Wärmesektor und insbesondere im Gebäudebestand nur schleppend voran. Während im Neubau Gasbrennwertkessel etwa 50 % und Wärmepumpen etwa 20 % der in 2011 installierten Heizungssysteme stellten, waren es im Wohnungsbestand etwa 50 % mit Gas und 30 % mit Heizöl betriebene Kessel (Vohrer et al. 2013). Ziel der Energiewende im Wärmesektor muss es demnach sein, den Anteil erneuerbarer Energien im Gebäudebestand zu steigern.

Wohngebäude in Privateigentum stellen die größte Anzahl an Gebäuden und sind daher für die Zielerreichung besonders wichtig. Deutschlandweit existieren etwas mehr als 18 Millionen Wohngebäude – diese bestehen zu 83 % aus Ein- und Zweifamilienhäusern (EZFH) und zu 17 % aus Mehrfamilienhäusern (MFH). 85 % der Wohngebäude in Deutschland sind im Eigentum von Privatpersonen (Statistisches Bundesamt 2011). Das Projekt Gebäude-Energiewende adressiert deshalb die Zielgruppe der selbstnutzenden Hauseigentümer/innen sowie privaten Kleineigentümer/innen. Ziel des Projektes ist es, die Entscheidungssituation und das Sanierungsverhalten dieser Zielgruppen zu analysieren, nachhaltige Sanierungslösungen für unterschiedliche Gebäudetypen zu identifizieren und diese vor dem Hintergrund der regionalen Rahmenbedingungen zu Sanierungsszenarien zusammen zu führen.

Das vorliegende Arbeitspapier stellt die Entwicklung und Bewertung von unterschiedlichen Sanierungsszenarien für die zwei Untersuchungsgebiete des Projekts dar. Ausgehend von der These, dass der demografische Wandel und die wirtschaftliche Entwicklung einer Region die ökonomische und ökologische Bewertung beeinflussen, untersucht das Projekt eine schrumpfende und eine wachsende Region. Beide Untersuchungsgebiete liegen in Brandenburg. Als schrumpfende Region wird im Projekt die Planungsregion Lausitz-Spreewald (LS) und als wachsende Region die Stadt Potsdam und der umgebende Landkreis Potsdam-Mittelmark (PPM) betrachtet. Die Ausprägung diverser regionalökonomischer und soziodemografischer Indikatoren für die Untersuchungsregionen ist in Großmann (2015) beschrieben. Bei nahezu allen der fast 30 untersuchten Indikatoren wurden Unterschiede zwischen den Regionen gefunden, die die Unterschiede bei der Wachstumsdynamik bestätigen.

Die Szenarien gehen von einer gebäudeindividuellen Betrachtung für sieben Prototypen sowie insgesamt 42 Subprototypen aus, wodurch Unterschiede im Sanierungszustand und den Sanierungsmöglichkeiten berücksichtigt werden. Betrachtet wurden in der Summe vier Szenarien: ein Trendszenario, drei Szenarien mit unterschiedlichen Optimierungsbedingungen sowie ein Szenario, das die finanziellen Restriktionen der Gebäudeeigentümer/innen mit einbezieht. Es wurden für beide Regionen auf Basis der bisherigen Bauaktivitäten und der prognostizierten Bevölkerungsentwicklung Neubauraten sowie die Zahl der aus der Nutzung fallenden Wohngebäude abgeleitet. Die finanziellen Spielräume der Eigentümer/innen wurden in Form einer vom Haushaltseinkommen bzw. den Mieteinnahmen abhängigen „energetischen Sanierungsrücklage“ abgeschätzt. Beide Abschätzungen erfolgten durch den Projektpartner BTU (Großmann 2017). Im Trendszenario wird ein Fortbestehen vergangener Sanierungsaktivitäten mit höheren Standards an der Gebäudehülle angenommen. In den anderen Szenarien wird von einer durchgängigen Sanierung aller Gebäude entsprechend der Optimierungsannahmen ausgegangen. Als Zielzeitpunkt wurde das Jahr 2050 gesetzt, wobei insgesamt ausgehend vom Gebäudebestand im Jahr 2010 von einem Zeitraum von 40 Jahren ausgegangen wird.

Das Ergebnis der Szenarien sind unterschiedliche Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle sowie an der technischen Gebäudeausrüstung. Hieraus resultieren Reduktionen des Wärme-, Endenergie- und Primärenergiebedarfs sowie ein Rückgang der CO₂-Emissionen, die im Rahmen der ökologischen Bewertung ermittelt wurden. Dabei wurden neben den direkten Emissionen auch die Effekte über den gesamten Lebenszyklus der eingesetzten Materialien und Energieträger berücksichtigt. Zudem werden die regionalen erneuerbaren Potenziale betrachtet. Verglichen werden die Ergebnisse mit Zielwerten, die sich insbesondere aus den nationalen Klimaschutzziele ergeben. Als ökonomische Parameter werden die Investitions- und Betriebskosten betrachtet.

Basierend auf den Ergebnissen werden Schlussfolgerungen zu den Unterschieden zwischen den Szenarien und den Ergebnissen für beide Untersuchungsregionen gezogen. Dabei werden auch die Ergebnisse einer regionalökonomischen Bewertung (Salecki 2017) berücksichtigt. Abschließend werden in dem Arbeitspapier Handlungsempfehlungen für politische Akteure insbesondere auf regionaler Ebene abgeleitet.

2 Gebäudebestand: Ausgangslage und Zielsetzung

2.1 Status quo und Prototypen

Das Projekt Gebäudeenergiewende konzentriert sich auf EZFH und kleine MFH in Privateigentum, da diese den Großteil des Wohngebäudebestandes ausmachen und zugleich besondere Hemmnisse bezüglich der Umsetzung energetischer Sanierungsmaßnahme aufweisen. Im Projekt wurden zunächst sieben Gebäudeprototypen definiert, die mit fünf EZFH und zwei MFH den Wohngebäudebestand bezüglich der Verteilung in den Baualtersklassen und der Lage (freistehend, Mittellage) repräsentieren. Nicht berücksichtigt sind dabei MFH aus den Baujahren 1949 bis 1990, da diese überwiegend nicht in Privatbesitz und deutlich größer sind, sowie neuere Wohngebäude mit Baujahr nach 2001, da diese bereits niedrige Primärenergiebedarfswerte aufweisen und in naher Zukunft voraussichtlich nicht an der Gebäudehülle saniert werden. Um die Anzahl an Prototypen überschaubar zu halten, wurde die sehr geringe Anzahl an EZFH in Mittel- oder Endlage aus den Baujahren 1949 bis 1990 den freistehenden EFZH aus diesem Zeitraum zugerechnet. Bei den MFH aus den Baujahren bis 1948 und 1991 bis 2001 wurde ein Gebäude in Endlage als Prototyp gewählt, eine Unterscheidung in freistehend, Mittel- und Endlage erfolgte hier nicht, ebenfalls aufgrund der geringen Anzahl an Gebäuden dieser Art.

Insgesamt befinden sich in der Untersuchungsregion PPM laut Zensus 2011 81.312 Wohngebäude, und in LS 159.636 Wohngebäude. Die in den Szenarien anhand der Prototypen berücksichtigten Wohngebäude umfassen 64.541 Wohngebäude in PPM und 135.781 Wohngebäude in LS. Die Prototypen repräsentieren somit 85 bzw. 79 % der Wohngebäude in den Untersuchungsregionen. In PPM ist der Anteil etwas geringer, da mit insgesamt 16 % ein größerer Anteil der Wohngebäude nach 2001 erbaut wurde (LS: 9 %). Der Anteil an Gebäuden in Privateigentum (Selbstnutzer) liegt in beiden Regionen bei etwa 85 %; die Gebäude in sonstigem Eigentum werden bei der Hochrechnung aufgrund ihres recht geringen Anteils mitberücksichtigt. Vertiefende Informationen zum Gebäudebestand in den Untersuchungsregionen werden in einem weiteren Arbeitspapier präsentiert (Dunkelberg und Weiß 2015).

Tab. 2.1: Anteil der Prototypen am Wohngebäudebestand in den Untersuchungsregionen

| Prototyp | LS | PPM |
|---|-----|-----|
| 1 – EZFH freistehend – bis 1948 | 34% | 30% |
| 2 – EZFH Mittel-/Endlage – bis 1948 | 9% | 10% |
| 3 – EZFH freistehend – 1949 – 1990 | 21% | 14% |
| 4 – EZFH freistehend – 1991 – 2001 | 14% | 13% |
| 5 – EZFH Mittel-/Endlage – 1991 – 2001 | 4% | 8% |
| 6 – MFH – Mittel-/Endlage – bis 1948 | 2% | 3% |
| 7 – MFH – Mittel-/Endlage – 1991 – 2001 | 1% | 1% |
| Summe | 85% | 79% |

Die Prototypen unterscheiden sich hinsichtlich der Verteilung der Heizungssysteme beziehungsweise Energieträger. Während bei den älteren EZFH vielfach Öl-Heizungen vorliegen, ist dies bei den neueren Gebäuden und den MFH deutlich seltener der Fall (siehe Tab. 2.12). Die Auswertung bezieht sich aufgrund der geringen Stichprobengröße auf beide Untersuchungsregionen.

Tab. 2.2: Verteilung der Heizungstechnologien / Energieträger nach Prototypen

Quelle: Auswertung eines Datensatzes der CO2online GmbH

| Prototypen | Erdgas | Öl | FW | EE |
|------------|--------|-------|-------|-------|
| GP 1 | 61,3% | 37,0% | 0,02% | 1,6% |
| GP 2 | 66,1% | 31,1% | 2,3% | 0,6% |
| GP 3 | 47,9% | 51,0% | 0,8% | 0,3% |
| GP 4 | 78,1% | 20,4% | 1,2% | 0,2% |
| GP 5 | 83,0% | 8,2% | 8,5% | 0,3% |
| GP 6 | 80,4% | 9,8% | 9,8% | 0,00% |
| GP 7 | 76,9% | | 23,1% | 0,00% |
| Summe | 61,3% | 37,0% | 0,02% | 1,6% |

Da im Gebäudebestand unterschiedliche Sanierungszustände bestehen, wurden des Weiteren jeweils vier bis acht **Subtypen** für die sieben Prototypen gebildet. Im Gebäudebestand kommen unterschiedlichste Kombinationen an bereits (teil)gedämmten Bauteilen vor. Aufgrund der großen Anzahl an Kombinationsmöglichkeiten können nicht alle berücksichtigt werden. Zur Ermittlung des Anteils der bereits gedämmten Bauteile wurde daher auf einen Datensatz der co2online GmbH zurückgegriffen¹. Dieser

¹ Dieser Datensatz basiert auf freiwilligen Eingaben vor allem von Gebäudeeigentümer/innen aber auch von Hausverwaltungen und Mieter/innen in die interaktiven Beratungsinstrumente von co2online, z. B. Modernisierungsratgeber, HeizCheck und Heizgutachten. Die Eingaben erfolgten im Zeitraum 2003 bis 2013. Der Datensatz ist nicht repräsentativ für die Wohngebäude in den Untersuchungsregionen. Ein Bias (systematischer Fehler) entsteht insb. dadurch, dass vor allem Gebäudeeigentümer/innen solche

Datensatz erlaubt eine Auswertung für die Untersuchungsregionen im Vergleich zu Deutschland. Ergänzend erfolgte eine prototypenspezifische Auswertung eines Datensatzes aus dem Forschungsprojekt „Datenbasis Gebäudebestand“ vom Institut für Wohnen und Umwelt (IWU) und dem Bremer Energie Institut (BEI)². Der räumliche Bezug ist dabei Ostdeutschland, wozu die Bundesländer Berlin, Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen zählen. Für diese Region stehen Daten zu etwa 1.400 Wohngebäuden zur Verfügung. Eine feinere räumliche Auflösung war nicht möglich, da es dann keine Übereinstimmung mehr mit der Bautätigkeitsstatistik gibt und die Daten entsprechend nicht mehr belastbar sind. Aus den beiden Datensätzen lassen sich als Annäherung für den energetischen Zustand der Wohngebäude in den Untersuchungsgebieten die Anteile der bereits gedämmten Gebäude für die einzelnen Bauteile (Außenwand, OGD/Dach etc.), bauliche Hemmnisse wie Denkmalschutz sowie auch die Verteilung bezüglich beheizter und unbeheizter Dachgeschosse ableiten (siehe Tab. 7.1 im Anhang). Bezüglich der Keller existieren verschiedenste bauliche Zustände (nicht unterkellert, beheizt, unbeheizt, gedämmt und ungedämmt). Vereinfachend wird an dieser Stelle davon ausgegangen, dass immer eine Unterkellerung besteht und die Keller nicht beheizt werden.

Auf Basis dieser Datengrundlage wurden die Subtypen so gewählt, dass sie verschiedene typische Sanierungszustände wie unsaniert, teilsaniert, vollsaniert repräsentieren. Die Verteilung der Subtypen im Gebäudebestand der jeweiligen Prototypen wurde so festgelegt, dass für die Prototypen in der Summe die prozentualen Anteile für die einzelnen Bauteile aus (siehe Tab. 7.2 im Anhang) erzielt werden. Bei den MFH wurde zudem jeweils ein Subtyp mit Fernwärmeanschluss definiert, da aufgrund des deutlich geringeren Primärenergiebedarfs solcher Gebäude andere Sanierungsmaßnahmen als optimal gelten. Bei EZFH wurde aufgrund des geringen Anteils an Gebäuden mit Fernwärmeanschluss auf entsprechende Subtypen mit Fernwärmeanschluss verzichtet. Auf Basis der unterschiedlichen Ausprägungen ergeben sich insgesamt 42 Subtypen der insgesamt 7 Prototypen. Die Entwicklung von Szenarien erfolgt für diese Subtypen.

Die Prototypen für die Untersuchungsregionen wurden so gewählt, dass sie die Verteilung der EZFH und MFH nach Größe, Lage und Baualtersklasse möglichst gut wiedergeben. Dadurch stellt sich die Frage, inwiefern die Prototypen auch zur Abbildung **bundesweiter Bestände** geeignet sind. Eine Besonderheit der ostdeutschen Regionen ist die geringe Bautätigkeit zwischen 1949 und 1990 insbesondere bei den EZFH im Vergleich zu westdeutschen Regionen. Aus diesem Grund wurde nur ein Prototyp aus diesem Zeitraum definiert, um die gesamt- bzw. westdeutsche Situation widerzuspiegeln wäre es zu empfehlen, für diese Baualtersklasse ebenso wie bei den älteren und jüngeren Gebäuden einen weiteren Prototyp in Mittellage zu definieren. Da sich auch die Bauweise gerade in diesem Zeitraum zwischen Ost- und Westdeutschland

Beratungs-tools verwenden, die bereits ein Interesse an dem Thema Energieeffizienz und energetische Gebäudesanierung haben. Außerdem sind möglicherweise ältere Eigentümer/innen über 70 Jahre unterrepräsentiert, da davon auszugehen ist, dass in dieser Gruppe das Internet weniger intensiv als Informations- und Beratungsquelle genutzt wird. Deutschlandweit enthält der Datensatz über eine Millionen Gebäudedaten, die trotz der fehlenden Repräsentativität gut mit den Eigenschaften der Gesamtheit der Wohngebäude übereinstimmen (Jahnke 2013). Es wird daher angenommen, dass die Abweichungen zur Gesamtheit der Wohngebäude auch in den Untersuchungsregionen des Projektes Gebäude-Energiewende gering sind.

² Die beteiligten Institute führten in den Jahren 2009 und 2010 eine repräsentative Umfrage von Hauseigentümern/innen, Wohnungsunternehmen und Eigentümergemeinschaften durch. Der Fragebogen beinhaltet Fragen zu allgemeinen Angaben zum Gebäude, wie Bauweise und bereits umgesetzten Sanierungsmaßnahmen, sowie detaillierte Fragen zur Art und Dicke der Dämmung und zur Wärmeerzeugung. Als Ergebnis der Umfrage ergaben sich bei einer Teilnahmequote von 53 % der ausgelosten Gebäude 7.510 auswertbare Datensätze, darunter 7.364 Wohngebäude und 146 Nichtwohngebäude. Die Datenerhebung erfolgte durch Schornsteinfeger, da durch die Einteilung in Kehrbezirke eine flächendeckende und überlappungsfreie Erfassung der Daten möglich war. Insgesamt konnten 5,4 % der deutschen Kehrbezirke abgedeckt werden. Die Ergebnisse stammen aus 241 Stadt- und Landkreisen, was 56 % aller deutschen Kreise abdeckt. Die hochgerechneten Stichproben wurden mit der Bautätigkeitsstatistik verglichen und zeigten eine gute Übereinstimmung. Abweichungen wurden im Zuge einer Anpassungsrechnung behoben (Diefenbach et al. 2010). Spezifische Auswertungen der Daten werden auch Dritten zur Verfügung gestellt. Das IÖW hat diese Möglichkeit für das Projekt Gebäude-Energiewende genutzt.

deutlich unterschied, sind für diesen Zeitraum ggf. andere Prototypen anzunehmen. Bei MFH sind die Unterschiede in der Bautätigkeit zwischen dem bundesweiten Durchschnitt und den Untersuchungsregionen weniger deutlich. Allerdings befinden sich MFH aus den Jahren der DDR kaum in Privateigentum von Einzelpersonen, so dass für diesen Zeitraum kein Prototyp entwickelt wurde. Hier wäre es zur Abbildung des bundesdeutschen Durchschnitts ebenfalls zu empfehlen, einen weiteren Prototyp zu definieren, da auch Gebäude aus diesen Baualtersklassen in Westdeutschland häufiger im Privatbesitz befindlich sind. Wie bei den EZFH sind auch hier die Unterschiede in der Bauart zwischen BRD und DDR zu berücksichtigen.

Bezüglich der Übertragbarkeit der Verteilung der Subtypen auf andere Regionen ist zu beachten, dass der Anteil der bereits sanierten Bauteile in den Untersuchungsregionen höher liegt als im bundesweiten Durchschnitt (vgl. Dunkelberg und Weiß 2015). Diese Unterschiede sind auf eine überdurchschnittlich hohe Sanierungsaktivität in den 90er Jahren in den ostdeutschen Untersuchungsregionen im Vergleich zu Gesamt-Deutschland zurückzuführen. Entsprechend ist bezüglich einer Verteilung der Subtypen in westdeutschen Regionen zu erwarten, dass geringere Häufigkeiten bei den vollsanierten bzw. den an vielen Bauteilen teilsanierten Subtypen vorliegen. Die Sanierungsstandards sind in den Untersuchungsregionen aufgrund der höheren Sanierungsaktivität in den 90er Jahren und der teilweise geringeren in den 2000ern im Vergleich zum bundesdeutschen Durchschnitt jedoch vermutlich geringer. Die bei voll- und teilsanierten Gebäuden deutlich höheren durchschnittlichen Heizenergieverbräuche in den Untersuchungsregionen im Vergleich zum bundesweiten Durchschnitt bestätigen diese Annahme (vgl. Dunkelberg und Weiß 2015). Entsprechend ist zu erwarten, dass das Potenzial zur Reduktion des Endenergiebedarfs in westdeutschen Regionen höher liegt.

2.2 Veränderung des Gebäudebestands bis 2050

Neubauraten sowie Annahmen zum Rückgang der Nutzung der Gebäude (Leerstand oder Abriss) wurden für den Zeitraum bis 2050 durch die BTU C-S abgeschätzt (vgl. Großmann 2017). Die Werte werden für die Szenarien übernommen und nachfolgend kurz dargestellt.

Die Neubauraten für Ein- und Zweifamilienhäuser den Zeitraum 2012 bis 2050 wurden basierend auf der jeweiligen Bevölkerungs- und Haushaltsentwicklung und dem Anteil der Haushalte mit Wohneigentum berechnet. Die Neubauraten liegen über den gesamten Zeitraum gemittelt bei 0,74 % in PPM und 0,58 % in LS. Die betrachteten Bestandsgebäude wurden bis zum Jahr 2001 errichtet. Dies führt zu einem Zubau von 3,48 Mio. m² Wohnfläche in neugebauten Ein- und Zweifamilienhäusern in PPM und 4,16 Mio. m² in LS bis 2050. Auch in der schrumpfenden Region LS wird davon ausgegangen, dass noch in erheblichem Maße Neubauten errichtet werden, da auch bei leerstehenden Gebäude ein Teil der Haushalte einen Neubau präferiert und Lage und Ausstattung der Bestandsgebäude nicht immer dem Bedarf entsprechen. Zudem wird davon ausgegangen, dass vor allem im Ballungsraum Berlin der Bedarf nach Einfamilienhäusern noch steigt während in anderen Teilen der Region viele Gebäude leer stehen. Und die Auswirkungen des Bevölkerungsrückgangs werden sich voraussichtlich erst ab 2020 und noch mehr nach 2030 auf dem Immobilienmarkt auswirken, so dass vorher noch von mehr Zubau auszugehen ist. Im Bereich der kleineren Mehrfamilienhäuser wird von einem Zubau von 942.000 m² Wohnfläche in PPM und 333.000 m² in LS zwischen 2012 und 2050 ausgegangen.

Abhängig von der Entwicklung der Haushalte wird gleichzeitig angenommen, dass bis zum Jahr 2050 ein Teil des heutigen Gebäudebestands abgerissen wird bzw. leer steht. Die Abschätzung der Zahl der nicht mehr genutzten Gebäude basiert auf der prognostizierten Bevölkerungs- bzw. Haushaltsentwicklung im Vergleich zum Gebäudebestand (inkl. Neubau). Hier sind die Unterschiede zwischen LS und PPM noch deutlicher: So wird bei den betrachteten Gebäuden davon ausgegangen, dass im jährlichen Schnitt 0,01 % der Ein- und Zweifamilienhäuser und kleineren Mehrfamilienhäuser in PPM nicht mehr genutzt bzw.

abgerissen werden, in LS sind es dagegen 0,91 %. Dabei werden die unterschiedlichen Gebäudeprototypen in unterschiedlichem Maß abgerissen, besonders hoch ist die Abrissrate bzw. der Leerstand bei den älteren Einfamilienhäusern. Diese weisen die geringsten energetischen Standards auf und ihre Grundrisse entsprechen oft nicht mehr den heutigen Anforderungen. Aus diesen Gründen kann es sein, dass auch in PPM die Abriss- und Leerstandsraten höher als hier angenommen liegen und vielfach Ersatzneubauten gebaut werden.

2.3 Ziel klimaneutraler Gebäudebestand

Ziel des Vorhabens ist es, Wege zu einem klimaneutralen Gebäudebestand in den Untersuchungsregionen aufzuzeigen. Um dieses Ziel zunächst genauer zu definieren, wurden regionale sowie bundesweite Klimaschutzziele und Studien hinsichtlich ihrer Aussagen zur zukünftigen Raumwärmeversorgung analysiert.

2.3.1 Klimaschutzziele und Szenarien auf Bundesebene

Ziel der energetischen Modernisierung des Gebäudebestands ist vor allem die Einhaltung von Klimaschutzzielen. So hat die Bundesregierung es sich zum Ziel gesetzt, bis 2050 die Treibhausgas-Emissionen um 80 bis 95 % gegenüber 1990 zu senken. Zwischenziele sind minus 40 % bis 2020, minus 55 % bis 2030 und minus 70 % bis 2040. Im Jahr 2014 wurde Bilanz über die bisherige Zielerreichung gezogen und festgestellt, dass mit den bisher ergriffenen Maßnahmen nur eine Reduktion um ca. 33 bis 34 % erzielt wird (BMUB 2014). Konkret für den Gebäudesektor wurden eigene Ziele definiert. So soll bis 2050 ein nahezu klimaneutraler Gebäudebestand erreicht werden mit einer Reduktion des Primärenergiebedarfs um 80 % gegenüber dem Referenzjahr 2008. Der verbleibende Energiebedarf soll überwiegend mit erneuerbaren Energien gedeckt werden (BMW i 2015). Im Energiekonzept 2010 war darüber hinaus noch als Ziel die Verdoppelung der energetischen Sanierungsrate von bisher rund 1 % auf rund 2 % genannt (vgl. BMW i 2010).

Auf dem Pariser Abkommen 2015 wurde als Ziel eine Erderwärmung von deutlich unter 2°C gesetzt, nach Möglichkeit auf nur 1,5°C. Höhne et al. (2016) zeigen auf, was das Erreichen des 1,5 C Ziels u.a. für den Gebäudebestand bedeutet. Ihren Berechnungen nach müssten dann bereits 2035 die CO₂-Emissionen von Energieerzeugung und -nutzung bei null liegen. Hierfür müsste auch im Wärmebereich ein Erneuerbaren Energie (EE)-Anteil von 100 % erreicht werden sowie eine Sanierungsrate von 5 %. Außerdem müssten Neubauten ab sofort einen Null-Emissions-Standard erreichen. Vor dem Hintergrund der aktuellen internationalen Klimaschutzziele zeigt sich, dass die bereits vor einigen Jahren festgelegten nationalen Ziele keinesfalls zu hoch angesetzt sind, um dem globalen Problem des Klimawandels adäquat zu begegnen.

In der Studie „Klimaschutzszenario 2050“ im Auftrag des Bundesumweltministeriums (Repenning et al. 2015) werden zwei Szenarien entwickelt die aufzeigen sollen, wie die Reduktion der Treibhausgasemissionen um 80 % bzw. 95 % aussehen könnte. Als Referenz dient ein Szenario auf Basis der bisher ergriffenen politischen Maßnahmen. In der sektorübergreifenden Studie kommen die Autor/innen zu dem Ergebnis, dass die privaten Haushalte je nach Szenario eine Reduktion von 93 % (bei insg. 80 %) bzw. 99 % (bei insg. 95 %) erzielen müssten. Die Einsparungen fallen höher aus als im Schnitt, da in anderen Bereichen nur geringere Reduktionen möglich sind (Landwirtschaft etc.). In den Szenarien wird von einer Reduktion des Endenergiebedarfs zur Raumwärmebereitstellung um 58 % bzw. 66 % von 2008 bis 2050 ausgegangen. Hierfür wird eine Sanierungsrate von 2 bzw. 3 % angenommen.

Studien haben untersucht, wie die Ziele der Bundesregierung im Wohngebäudebestand erreicht werden können. Henning (2013) kommen unter Berücksichtigung der bis 2050 zur Verfügung stehenden Techniken

für den Nutzwärmebedarf der Wohngebäude auf ein maximal erreichbares Reduktionsniveau von rund 70 % bezogen auf den heutigen Stand. „Für die Zielerreichung kommt der Dekarbonisierung der Wärmeversorgung also eine zentrale Rolle zu.“ (ebd., S. 58). Aus einer Grafik lässt sich ablesen, dass man bei einer Reduktion des Nutzenergieverbrauchs um 70 % und einem EE-Anteil von über 50 % eine Reduktion der Primärenergie um 84 % erreichen würde und somit die politischen Ziele einhalten könnte. Dies entspricht aufgrund des deutlichen Rückgangs des Wärmeverbrauchs weniger als einer Verdopplung der absoluten EE-Menge zur Wärmebereitstellung (Vergleichsjahr 2008).

Im Auftrag des Umweltbundesamts wurden vom Öko-Institut Szenarien zur Erzielung eines klimaneutraler Gebäudebestand bis 2050 erstellt (Bürger et al. 2016). Es werden dabei drei Varianten mit unterschiedlicher Reduktion des Endenergieverbrauchs der Wohngebäude gerechnet: minus 40 %, 55 % und 70 % gegenüber 2008. Das Ziel minus 70 % ist basierend auf den getroffenen Annahmen zu Dämmrestriktionen nicht realisierbar. Wenn alle sanierbaren Wohngebäude bereits auf den Standard Vollsanierung plus (entspricht in etwa Passivhausniveau) saniert werden, wird nur eine Reduktion um 68 % erzielt. In allen drei Varianten sinkt der nicht erneuerbare Primärenergiebedarf um 80 %, so dass sich entsprechend der Anteil erneuerbarer Energien zwischen den Szenarien unterscheidet. Die Ergebnisse zeigen, dass es nur geringe Unterschiede bezüglich der Treibhausgasemissionen und der Kosten gibt, so dass die Autor/innen zu dem Ergebnis kommen, dass die Wahl eines Reduktionsweges (hohe Effizienz vs. hoher Anteil erneuerbarer Energien) v.a. von deren Akzeptanz und anderer Faktoren abhängt. Sie haben dabei nicht untersucht, wie sich die Kosten auf unterschiedliche Akteure verteilen.

Aus den genannten Reduktionszielen kann für den gesamten Bestand ein zu erreichendes Niveau abgeleitet werden. In einer Studie des IWU im Auftrag des BMVBS (Renner und Ahrens 2013) werden aus den allgemeinen Zielen spezifische Bedarfs- bzw. Verbrauchsziele abgeleitet. Das Ziel einer Reduktion des Primärenergiebedarfs um 80 % bedeutet, dass dieser 2050 im Schnitt nur noch bei rund 35 kWh/(m²*a) liegen darf. Dieser Wert bezieht sich auf die Wohnfläche; bezogen auf die Gebäudenutzfläche liegt er bei 27 kWh/(m²*a) – ausgehend von einem Umrechnungsfaktor von 1,30. Dieses Ziel müsste entsprechend ab ca. 2020 für Neubauten gelten, sollen diese klimaneutral sein. Dies entspricht ungefähr den Mindestanforderungen eines KfW40-Hauses (vgl. Renner und Ahrens 2013). Die Höhe des spezifischen Wärmebedarfs zum Erreichen dieses Ziels ist abhängig von der Art der Energieerzeugung (siehe oben). In der Studie (Renner und Ahrens 2013) wird ein Zielszenario berechnet, bei dem der spezifische Wärmebedarf (Brutto für Raumwärme und Warmwasser) im Bestand bezogen auf die Wohnfläche bei rund 80 kWh/(m²*a) liegt³.

2.3.2 Klimaschutzziele und Szenarien auf regionaler Ebene

In den **regionalen Energiekonzepten** in Lausitz-Spreewald und Havelland-Fläming sind keine Ziele für die Reduktion des Raumwärmebedarfs enthalten. Es wird jedoch jeweils ein Effizienzpotenzial ausgewiesen.

- + Der Raumwärmebedarf (Endenergie) betrug für die Region Lausitz-Spreewald im Jahr 2010 6.896 GWh. 73,8 % davon entfallen auf den Raumwärmebedarf privater Haushalte (Regionale Planungsgemeinschaft Lausitz-Spreewald (2013), S. 84 ff). Damit betrug der Raumwärmebedarf privater Haushalte 5.089 GWh. Das verbleibende Einsparpotenzial wird im Raumwärmebereich

³ Ausgehende von 3,73 Mio. m² Wohnfläche, davon 3,09 Mio. m² im Bestand; Als Wärmebedarf werden 290 TWh, davon 37 TWh im Neubau, angegeben. Somit ist der Durchschnitt insgesamt 79 kWh/m²*a und im Neubau 58 kWh/m²*a.

insgesamt auf 3.443 GWh abgeschätzt (ebd. S. 126). Damit wird von einer weiteren Reduktion des Bedarfs um maximal rund 50 % ausgegangen.

- + In der Region Havelland-Fläming lag der Wärmebedarf der privaten Haushalte 2010 bei 3.687 GWh pro Jahr (Regionale Planungsgemeinschaft Havelland-Fläming 2013, S. 61). Bei dieser Zahl handelt es sich um den anhand der Wohnfläche abgeschätzten Wärmebedarf. Als Reduktionspotenzial wird auch hier ca. 50 % angegeben (1.856 GWh), wovon 1 % auf die Bevölkerungsentwicklung und 49 % auf Effizienzsteigerungen entfallen (Regionale Planungsgemeinschaft Havelland-Fläming 2013, S. 83)

Die **Energiestrategie 2030** für Brandenburg enthält ebenfalls kein klares Ziel hinsichtlich der Reduktion des Raumwärmebedarfs privater Haushalte (Ministerium für Wirtschaft und Europaangelegenheiten 2012). Als Ziele verankert sind eine Reduktion des Endenergieverbrauchs um 23 % (bezogen auf 2007) – wobei der Wert im Wärmebereich eher höher sei, und konkret bei Haushalten „deutlich über 20 %“. Hinsichtlich des Anteils erneuerbarer Energien an der Wärmeerzeugung wird bis 2030 ein Anteil von 39 % anvisiert.

2.3.3 Ableitung von Zielwerten für die Studie

Da auf regionaler Ebene keine Zielwerte für das Jahr 2050 vorliegen, werden die bundesweiten Klimaschutzziele herangezogen. Für den **Rückgang der CO₂-Emissionen** werden die Ziele der Studie „Klimaschutzszenario 2050“ (Repenning et al. 2015) für die privaten Haushalte übernommen, die bei einem Rückgang von 93 % bis 99 % gegenüber 1990 liegen.

Hinsichtlich des **Primärenergiebedarfs** werden zum einen die oben abgeleiteten **spezifischen Ziele** verwendet, also bezogen auf die Wohnfläche ein Primärenergiebedarf von 35 kWh/(m²*a) bzw. bezogen auf die Gebäudenutzfläche von 27 kWh/(m²*a). Das Anforderungsniveau liegt dann für Bestandsgebäude ebenso hoch wie für Neubauten, in denen in der Regel leichter höhere Niveaus erreicht werden können. Im Rahmen des Projekts Gebäude-Energiewende wurden Datensätze aus den Untersuchungsregionen ausgewertet, um den derzeitigen spezifischen, klimabereinigten Heizenergieverbrauch (HEV) abzuschätzen (Dunkelberg und Weiß 2015). Der mittlere HEV in den Untersuchungsregionen liegt demnach für EFH und kleinere MFH bei rund 140 kWh/(m²*a). Für die Warmwasserbereitung kann allgemein von einem spezifischen Wärmebedarf von 17 kWh/(m²*a) ausgegangen werden (vgl. Loga und Imkeller-Benjes 1997). Somit liegt der Wärmebedarf insgesamt für Raumwärme und Warmwasser bei rund 157 kWh/(m²*a). Zum Primärenergieverbrauch liegen aus dieser Auswertung keine Daten vor, aber angesichts der derzeitigen Beheizungsstruktur ist davon auszugehen, dass dieser höher liegt.

Alternativ können basierend auf dem bisherigen Energieverbrauch in den Regionen **Gesamtziele** abgeleitet werden. Dabei werden auch Abrissraten und Neubauten berücksichtigt. Zu beachten dabei ist, dass ein Gesamtziel tendenziell leichter in Entleerungs- als in Wachstumsregionen erreicht werden kann, da Leerstand und Abriss durch die damit verbundene Energieverbrauchsreduktion sich tendenziell positiv auswirken, Neubauten dagegen (wenn es sich nicht um „Ersatzneubau“ handelt) negativ. Auf Basis der Gebäudeprototypen und Annahmen zu deren energetischem Zustand wurden folgende Werte für den bisherigen Primärenergiebedarf der betrachteten Gebäudebestände berechnet: Region Lausitz-Spreewald 5,07 TWh pro Jahr, Potsdam / Potsdam-Mittelmark 2,57 TWh pro Jahr (siehe Kapitel 4.2.2). Dadurch

ergeben sich bei einer Reduktion des **Primärenergiebedarfs** um 80 % Zielwerte von 1,01 TWh und in PPM bei 0,51 TWh pro Jahr⁴.

Um die Zielwerte für den Bestand zu ermitteln, sind bei einer absoluten Betrachtung die Energiebedarfe des Neubaus von 2002 bis 2050 zu berücksichtigen. Neubauten müssen nach der EBPD ab 2021 „nearly zero-energy buildings“ sein, das heißt sie dürfen nur einen minimalen Energiebedarf aufweisen und sollen diesen überwiegend mit erneuerbaren Energien decken. Noch ist nicht genau definiert, was dies bedeutet. Das IWU (Renner und Ahrens 2013) nimmt an, dass dies in etwa dem heutigen KfW-40-Effizienzhaus entspricht. Für dieses wird - von heutigen Primärenergiefaktoren ausgehend - von einem Primärenergiebedarf von 35 kWh/m²*a (bezogen auf die Wohnfläche) ausgegangen. Damit entsprechen die Neubauten bereits dem oben abgeleiteten spezifischen Klimaschutzziel für Wohngebäude. Es wird für den gesamten Neubau von diesen Effizienzstandards ausgegangen, auch wenn ein Teil der Gebäude noch vor in Kraft treten der neuen Grenzwerte erbaut wird. Es wird angenommen, dass andere Gebäude durch Unterschreitung dieser Werte dies ausgleichen. Sollten in den nächsten Jahrzehnten im Neubau Nullenergie- und Plusenergiehäuser eine größere Rolle spielen, so kann der Primärenergiebedarf der neu gebauten Gebäude sogar noch deutlich geringer ausfallen. Ausgehend von den im Kapitel 2.2 angegebenen Neubauplänen und einem Primärenergiebedarf von 35 kWh/(m²*a) resultiert aus den ab 2012 neu errichteten Gebäuden ein Primärenergiebedarf von 155 GWh in PPM und 157 GWh in LS. Angesichts der deutlich sinkenden Primärenergiefaktoren von Strom ist jedoch bei einem hohen Anteil von Wärmepumpen im Neubau auch von sinkenden Primärenergiebedarfen der Neubauten auszugehen. Wird von einem Anteil von 50 % Stromheizungen ausgegangen sowie um einen Rückgang des Primärenergiefaktors von Strom auf nur noch 21 % des heutigen Werts, so sinkt der durchschnittliche Primärenergiebedarf der Neubauten auf 21 kWh/(m²*a). Dadurch würde der Primärenergiebedarf der Neubauten in 2050 nur bei 92,9 GWh in PPM bzw. 94,4 GWh in LS liegen. Dies sind jedoch in PPM immer noch fast 15 % des 2050 noch zulässigen Primärenergiebedarfs der untersuchten, kleineren Wohngebäude.

3 Entwicklung der Sanierungsszenarien

Die Entwicklung der Sanierungsszenarien erfolgte durch eine zweistufige Optimierung nach unterschiedlichen Optimierungskriterien. Die erste Optimierung erfolgte durch die RWTH, die einen genetischen Algorithmus zur kombinatorischen Optimierung von Gebäudehülle und Anlagentechnik entwickelte⁵. Dabei wurden basierend auf den zentralen Entscheidungskriterien der Eigentümer/innen als Optimierungskriterien die Minimierung der Zielgrößen Endenergie und Investitionskosten verwendet. Als Ergebnis liefert diese Optimierung eine Pareto-Front optimaler Sanierungsoptionen, welche sich durch unterschiedliche Maßnahmenkombinationen auszeichnen und sich dementsprechend auch hinsichtlich der End- und Primärenergieeinsparungen, Betriebs- und Investitionskosten etc. unterscheiden. Die untersuchten Sanierungsmaßnahmen sind in Ansoerge und Streblow (2017) dargestellt. Berücksichtigt werden hierbei energetische Standardsanierungsmaßnahmen und deren Kombination. Nicht berücksichtigt werden können

⁴ Als Bezugsjahr dient hier 2010 während das Bundesziel sich auf das 2008 als Referenzjahr bezieht. Da jedoch der Wärmeverbrauch bundesweit 2010 sogar etwas höher als 2008 war und der Primärenergieverbrauch auch nur minimal geringer wird davon ausgegangen, dass dadurch der Zielwert allenfalls sehr geringfügig abweicht.

⁵ Die grundsätzliche Methodik ist bei Streblow und Ansoerge (2017) dargestellt. Allerdings beziehen sich die dort dargestellten Ergebnisse auf andere Prototypen, die für den bundesweiten Bestand passen, und bei der Optimierung wurde dort noch als dritte Größe die Betriebskosten aufgenommen.

dagegen neue und innovative Konzepte wie beispielsweise die Sanierung zu einem Sonnenhaus oder die Einbeziehung eines Eisspeichers.

Durchgeführt wurde die Optimierung jeweils für die in AP1 entwickelten regionalen Gebäudeprototypen, wobei die sieben ursprünglichen Prototypen weiter differenziert wurden, um zu berücksichtigen, dass der Sanierungsstand und aufgrund baulicher Unterschiede die Sanierungsmöglichkeiten der Gebäude unterschiedlich sind. Als Sanierungshemmnis wurde dabei auch der Denkmalschutz berücksichtigt, der bei älteren Wohngebäuden ein zentrales bauliches Hemmnis für die Dämmung der Außenwand darstellt. Insgesamt erfolgte die Optimierung für 42 Subprototypen.

Die Ergebnisse der Optimierung der RWTH wurden durch das IÖW einer weiteren Optimierung nach unterschiedlichen Kriterien unterzogen, woraus sich drei Szenarien ergaben:

1. **„MAX PEE“ – Maximale Primärenergieeinsparung:** Dieses Szenario dient als Referenz, was aus Klimaschutzsicht maximal möglich wäre. Dadurch ergeben sich recht teure Maßnahmenkombinationen, deren Realisierung in der Breite unwahrscheinlich ist.
2. **„MIN Ges€/kWh“ – Minimierung der Gesamtkosten je Kilowattstunde**
Primärenergieeinsparung: Diese Optimierung bestimmt die Option mit dem primärenergetisch besten Preis-/Leistungsverhältnis über einen Betrachtungszeitraum von 40 Jahren. Für die Optimierung wurden zunächst die Gesamtkosten über einen Zeitraum von 40 Jahren berechnet, welche sich aus der Summe der Investitionskosten und der Betriebskosten über diesen Zeitraum ergeben. Diese Gesamtkosten wurden durch die Kilowattstunden Primärenergieeinsparung im gleichen Zeitraum geteilt. Die Minimierung des resultierenden Wertes stellte die Optimierungszielgröße dar.
3. **„Fin+“ – Maximale Primärenergieeinsparung unter Beachtung von Finanzierungs-Restriktionen:** Für diese Optimierung wurden nur Maßnahmenkombinationen berücksichtigt, deren Investitionskosten gewisse Budgetrestriktionen nicht überschritten. Diese zur Verfügung stehende „energetische Sanierungsrücklage“ wurde durch den Kooperationspartner BTU CS ermittelt. Dabei wurden, basierend auf regionalen statistischen Daten zu den Einwohnern/innen und den Miethöhen, je Gebäudeprototyp drei Budget-Obergrenzen mit unterschiedlicher relativer Verteilung ermittelt (vgl. Großmann 2017)⁶. Es zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen den Regionen: in LS sind die Budgetrestriktionen damit im Szenario Fin+ ausgeprägter als in PPM. Unter den verfügbar bleibenden Maßnahmenkombinationen wurde jeweils diejenige mit der maximalen Primärenergieeinsparung ausgewählt. Für jeden der 42 Gebäude-Subprototyp ergeben sich somit bis zu drei Maßnahmenkombinationen mit unterschiedlichen relativen Anteilen.

Neben diesen drei weiter optimierten Szenarien wurde noch ein **Trend-Szenario („Trend+“)** entwickelt. Dieses Szenario geht davon aus, dass sich die derzeitigen Sanierungs-Trends fortsetzen. Bei den Maßnahmen an der Gebäudehülle basieren die Sanierungsraten je Bauteil auf einer Auswertung der regionalen Sanierungsaktivitäten (Dunkelberg und Weiß 2015), wobei von zukünftig höheren Sanierungsstandards bei der Dämmung und dem Fensteraustausch ausgegangen wird. Dabei wurde aufgrund fehlender Informationen zu den Sanierungsraten bei den MFH in Privatbesitz unterstellt, dass die Sanierungsraten bei diesen MFH mit denen der EZFH identisch sind. Da einige Subtypen bereits an den jeweiligen Bauteilen gedämmt sind, ergeben sich für die verbleibenden Subtypen entsprechend höhere Sanierungsraten. Für die zwischen 1991 und 2001 erbauten Gebäude wurden im Vergleich zu den älteren

⁶ Da innerhalb von 40 Jahren eher von einem zweimaligen Austausch der Wärmeerzeuger auszugehen ist wurde bei der Betrachtung der Kosten davon ausgegangen, dass in einem ersten Schritt in der Regel zunächst ein Brennwertkessel eingebaut wird.

Gebäuden vereinfachend nur halb so hohe Sanierungsraten angenommen. Zur Berechnung der Endenergieeinsparung musste neben den Sanierungsraten auch festgelegt werden, welche Sanierungen jeweils in Kombination durchgeführt werden. Hierfür wurde angenommen, dass diejenigen Maßnahmen, die selten umgesetzt werden, in der Regel zusammen mit häufigeren Maßnahmen erfolgen. Dies kann zeitgleich oder auch schrittweise erfolgen. Beim Wechsel des Wärmeerzeugers wurden die derzeitigen bundesweiten Trends als Grundlage genommen (Shell und BDH 2013, 33). Zu berücksichtigen ist, dass es sich im bundesweiten Vergleich um sehr hohe Sanierungsraten handelt und auch in den Untersuchungsregionen bei einem reinen „Weiter So“ eher mit geringeren Sanierungsraten zu rechnen ist. Die Sanierungsraten für Fensteraustausch, Fassaden- und Dachdämmung waren zwischen 1990 und 2009 in den Untersuchungsgebieten LS und PPM nahezu doppelt so hoch wie im bundesweiten Durchschnitt. Die höheren Sanierungsraten in LS und PPM lassen sich auf den hohen Sanierungsbedarf und die hohe Motivation zur Modernisierung nach den Jahren der DDR zurückführen. Im Zeitraum 2005 bis 2009 sind die Unterschiede weniger deutlich. Eine hohe Übertragbarkeit der Sanierungsraten ist somit vor allem für andere ostdeutsche Regionen anzunehmen, da sich die Besonderheiten der Nachwendezeit deutlich im Sanierungsverhalten der Gebäudeeigentümer/innen widerspiegeln. Aktuellere Daten zum Vergleich der Sanierungsraten bei EZFH in West- und Ostdeutschland liegen nicht vor, so dass nicht überprüft werden kann, ob die beobachteten Unterschiede weiterhin bestehen.

Bei allen Szenarien wurden die Ergebnisse der Optimierung in ein für die Szenarien erweiterte Ökobilanz-Tool eingespeist (Dunkelberg und Weiß 2016). In diesem Tool wurden erstens die mit den Maßnahmenkombinationen verbundenen indirekten Umweltbelastungen errechnet. Zweitens wurden die so ermittelten Daten für die jeweiligen Untersuchungsregionen aggregiert. Bei der Aggregation auf Ebene der Regionen wurden auch deren prognostizierte Bevölkerungsentwicklung und der damit verbundene Abriss bzw. Leerstand alter Gebäude berücksichtigt. Im Ergebnis wird in den Szenarien davon ausgegangen, dass in LS bis 2050 ein sehr viel größerer Anteil der Gebäude leer steht oder abgerissen wird als in PPM, wo aufgrund des Bevölkerungsanstiegs der Bedarf nach Gebäuden noch wächst.

Hinsichtlich der primärenergetischen Bewertung ist anzumerken, dass bei der Bewertung von Strom nicht die heutigen Primärenergiefaktoren (PEF) verwendet wurden, sondern die Zielfaktoren, die sich entsprechend der Energiereferenzprognose (Schlesinger et al. 2014b) aus dem von der Bundesregierung geplanten EE-Ausbau im Jahr 2050 ergeben (mindestens 80 % EE-Anteil im Stromsektor). Tab. 3.1 zeigt eine Gegenüberstellung der Primärenergiefaktoren und Treibhausgasemissionsfaktoren vom Jahr 2011 bis 2050 gemäß dieser Trendprognose und dem Bundesziel. Für die Optimierungen wurde ausschließlich der nicht erneuerbare Primärenergiefaktor für das Zielszenario 2050 verwendet (PEF = 0,45).

Tab. 3.1: Szenarien für den deutschen Strommix: Primärenergiefaktoren (PEF) und THG-Emissionsfaktoren

Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis von Schlesinger et al. (2014a), Fritsche und Greß (2015) und UBA (2012)

| Strommix-Szenario | EE-Anteil am Strom | PEF gesamt | PEF nicht erneuerbar | CO ₂ -Äquiv. [g/kWh] |
|------------------------|--------------------|------------|----------------------|---------------------------------|
| 2011 | 19,8 % | 2,72 | 2,15 | 587 |
| 2030: Referenzprognose | 46,1 % | 2,18 | 1,36 | 546 |
| 2030: Ziel | 59,6 % | 2,07 | 1,00 | 421 |
| 2050: Trend | 63,0 % | 1,89 | 0,88 | 298 |
| 2050: Ziel | 80,9 % | 1,77 | 0,45 | 172 |

Um mit den neuen Primärenergiefaktoren konsistent zu bleiben, wurden die Treibhausgasemissionsfaktoren für den Strommix ebenfalls entsprechend dem Zielwert für 2050 verwendet (172 g CO₂-Äquivalente je kWh; vgl. Tab. 3.1). Strombetriebene Wärmepumpen werden also sowohl primärenergetisch als auch auf Seiten der Treibhausgasemissionen besser bewertet als sie heute sind, nämlich so gut, wie sie laut den Zielen des Energiekonzepts der Bundesregierung im Jahr 2050 sein werden. Dieses Vorgehen ergibt sich aus dem Ziel die langfristige Erfüllung der Klimaschutzziele bis 2050 zu bewerten. Zur Erreichung der ermittelten Ergebnisse muss demnach auch ein entsprechender EE-Ausbau bis zum Jahr 2050 realisiert werden.

4 Ergebnisse und Bewertung

4.1 Sanierungsmaßnahmen und Energieträger

Zunächst werden die Sanierungsmaßnahmen dargestellt, die in den Szenarien jeweils umgesetzt werden. Abb. 4.1 zeigt nach Bauteilen den Anteil bis 2050 zusätzlich an der Gebäudehülle energetisch sanierter Gebäude. Dabei zeigen sich Unterschiede zwischen den Szenarien. In dem Szenario MAX PEE sind bis 2050 die meisten Gebäude – unter Berücksichtigung von bautechnischen Hemmnissen bei der Sanierung der Außenwand – weitgehend durchsaniert. Dagegen gehen die Anteile gedämmter Bauteile unter Berücksichtigung finanzieller Restriktionen deutlich zurück.

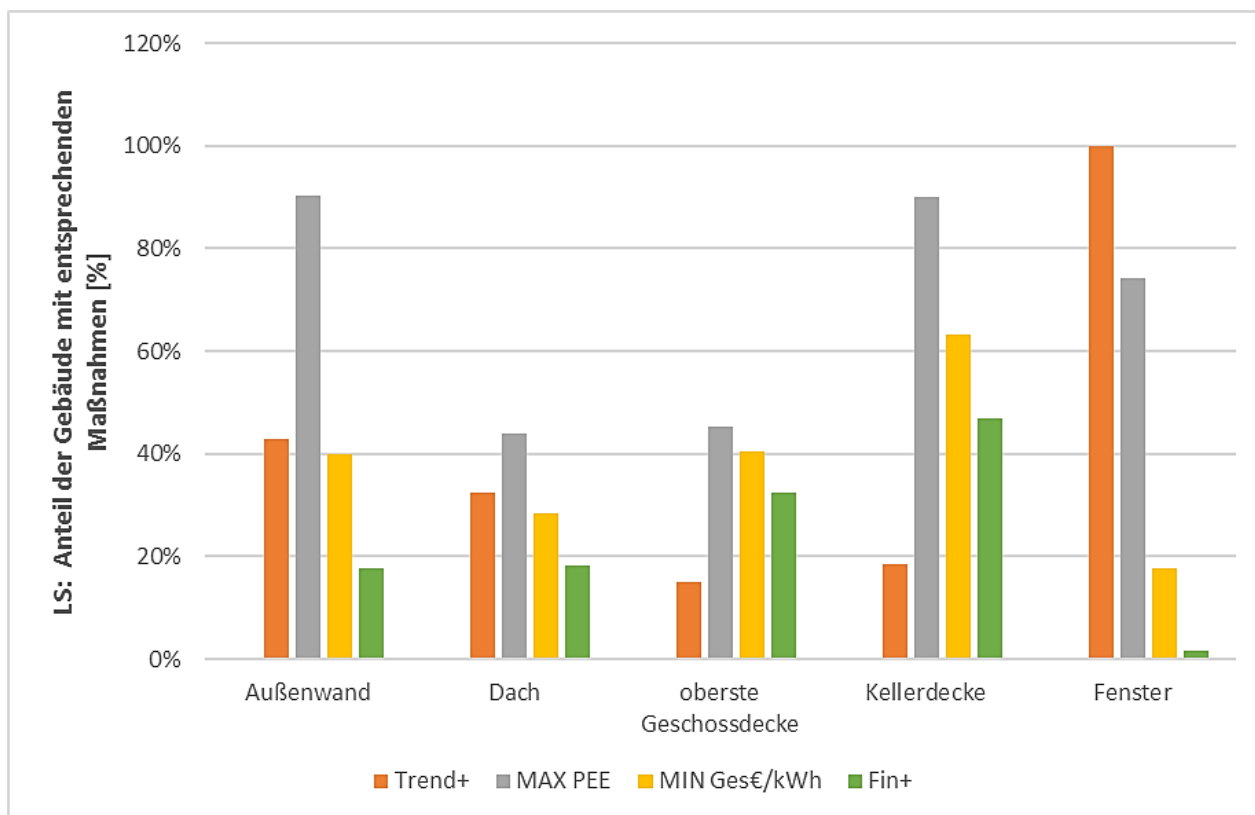


Abb. 4.1: Umgesetzte Sanierungsmaßnahmen bis 2050 in der Region Lausitz-Spreewald

Im Vergleich zum Trend, in dem weiterhin vor allem die Fenster ausgetauscht sowie häufig Außenwände und Dach gedämmt werden kommt es in den optimierten Szenarien eher zur Dämmung der Kellerdecke und

der obersten Geschossdecke. Insbesondere Fenster werden – da dies aus energetischer Sicht nur eine geringe Einsparung erbringt – bei der Optimierung eher weniger ausgetauscht. Zu berücksichtigen ist, dass hier in den optimierten Szenarien sowie im Szenario Fin+ nur die aus energetischer Sicht besonders lohnenswerten Maßnahmen durchgeführt werden. Da der Fensteraustausch vielfach auch aus anderen Gründen (Ästhetik, Komfort, Instandsetzung) durchgeführt wird, ist es möglich, dass dieser auch in Zukunft häufiger erfolgt als gemäß den Szenarien. Dies wird hier jedoch nicht weiter berücksichtigt, da es keine primäre Klimaschutzmaßnahme ist.

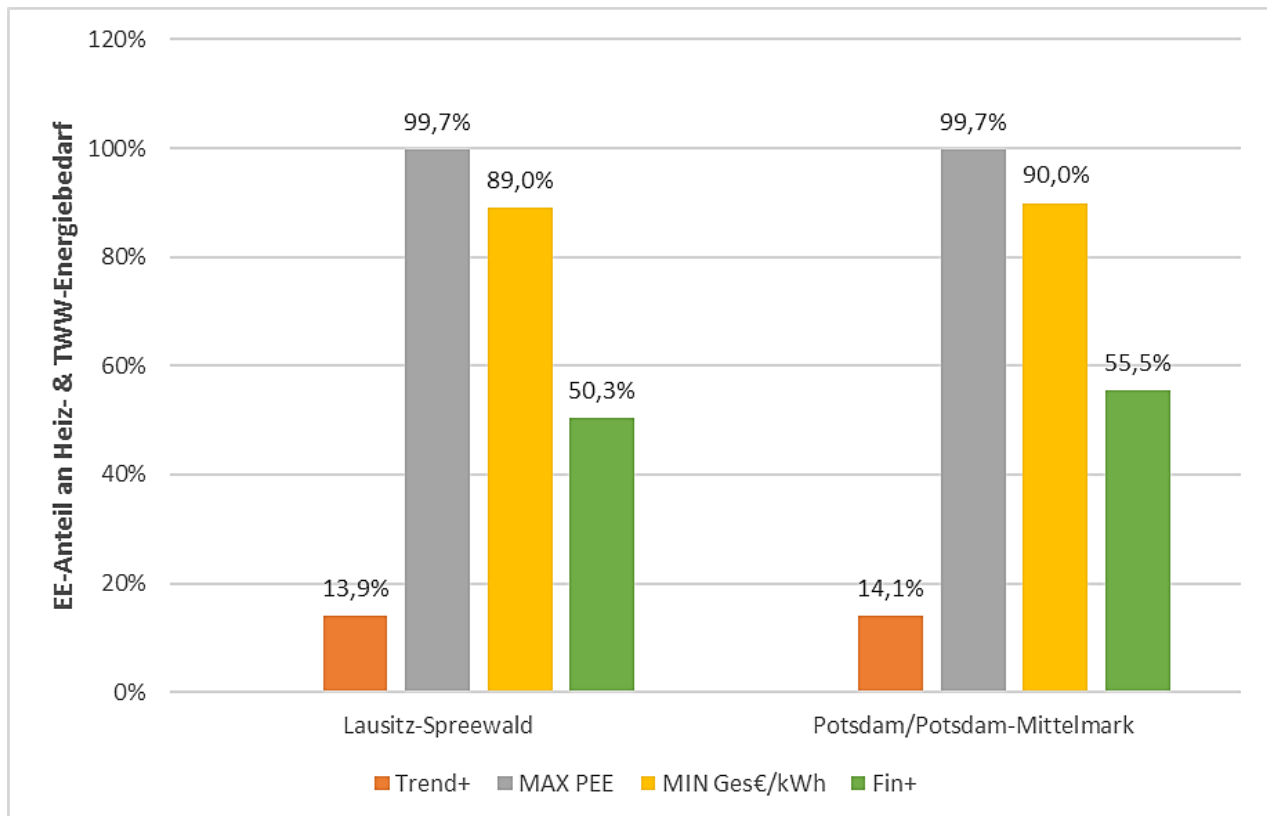


Abb. 4.2: Anteil erneuerbarer Energien am Raumwärme- und Warmwasserbedarf 2050

In den Szenarien MAX PEE und MIN Ges€/kWh findet ein fast vollständiger Wechsel zu erneuerbaren Energieträgern statt (siehe Abb. 4.2). Dieser Wechsel wird durch die finanziellen Restriktionen im Szenario Fin+ deutlich eingeschränkt, was zu einem weiterhin hohen Anteil an fossilen Heizungen führt. Im Trendszenario behalten die erneuerbaren Energien auch mittelfristig einen sehr geringen Anteil. Hier sind die Unterschiede zwischen den Szenarien deutlicher als bei der Dämmung. Der geringe Anteil erneuerbarer Energien ist auch der Grund, weshalb im Trend-Szenario trotz umfangreicher Dämmmaßnahmen die Klimaschutzziele deutlich verfehlt werden. Dies zeigt die Bedeutung des Energieträgerwechsels auf. Erwartungsgemäß wirken sich die finanziellen Restriktionen in LS mehr aus als in PPM.

Der Anteil erneuerbarer Energien an der gesamten Wärmebereitstellung ist insbesondere im Szenario Fin+ deutlich geringer als der Anteil von Gebäuden, die eine EE-Heizung haben (siehe Abb. 4.3). Dies liegt daran, dass vor allem in den Gebäuden mit einem hohen Energiebedarf kein Umstieg auf erneuerbare Energien erfolgt. Denn die Haushalte mit geringem Einkommen können sich weder eine umfassende Sanierung der Gebäudehülle noch ein Wechsel zu erneuerbaren Energieträgern leisten. Im

Trend ist der EE-Wärmeanteil im Vergleich zum EE-Heizungsanteil ebenfalls eher gering, da es sich überwiegend um Solarthermie handelt, die jeweils nur einen eher geringen Anteil der Wärme bereitstellt.

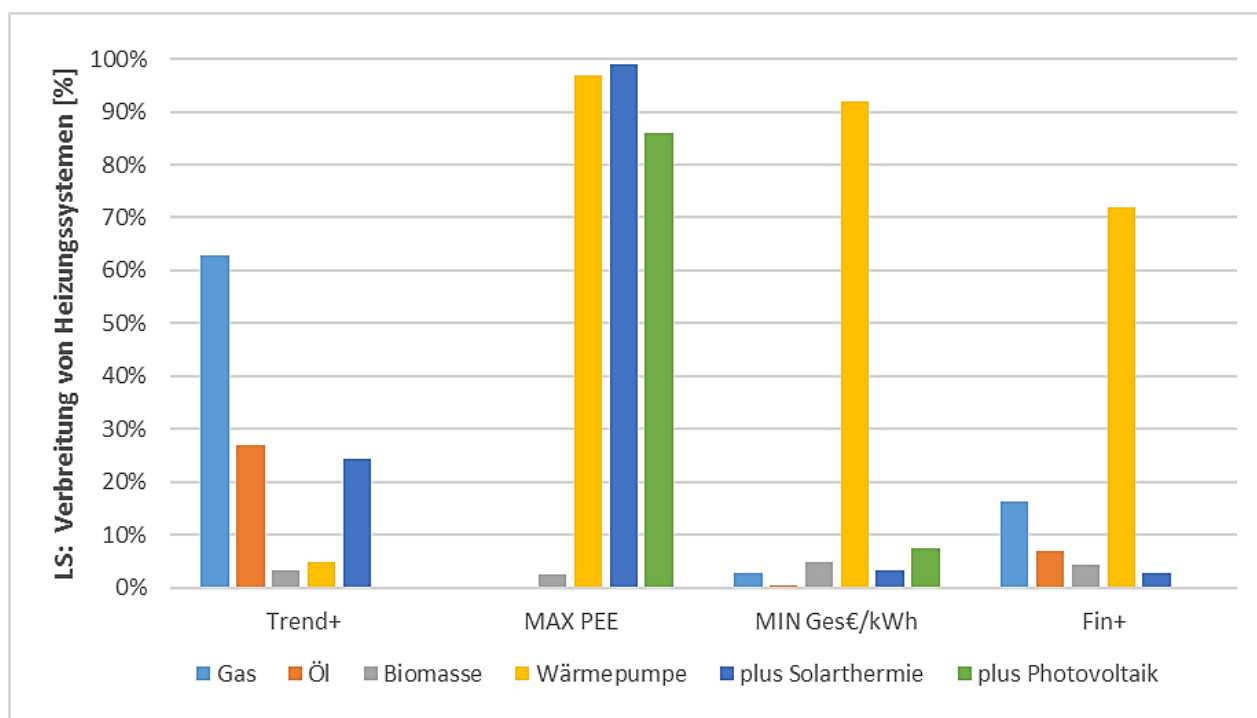


Abb. 4.3: Verbreitung der Heizungssysteme in den unterschiedlichen Szenarien in der Region Lausitz-Spreewald 2050

In den optimierten Szenarien wird die Wärme vor allem durch Wärmepumpen erzeugt. Im Szenario MAX PEE werden zusätzlich noch Solarthermie und PV (nur zur Bereitstellung von Wärmepumpen-Strom) bei vielen Gebäuden genutzt. Unter den finanziellen Restriktionen des Szenario Fin+ spielen zudem die fossilen Energieträger eine größere Rolle. In dem Trendszenario behalten diese ihre dominante Stellung, dabei werden die Heizkessel häufiger mit einer Solarthermieanlage kombiniert. Im Szenario MIN Ges€/kWh entfällt dagegen weitgehend die Kombination von Wärmepumpen mit Solaranlagen, da diese wegen der geringen Primärenergiefaktoren von Strom nur zu einer sehr geringen zusätzliche Reduktion des Primärenergiebedarfs führt. Im Szenario Fin+ entfällt die Kombination mit Solaranlagen aufgrund der zusätzlichen Investitionskosten. Dennoch kann die Kombination von Photovoltaikanlagen und Wärmepumpen auch aus ökonomischer Sicht durchaus sinnvoll sein: Diese Kombination ist zusammen mit einer Batterie und einem entsprechend hohen Eigenanteil am erzeugten Strom wirtschaftlich (vgl. Moshövel et al. 2015). Die Kombination mit Speichern wurde hier jedoch nicht berücksichtigt. Auch aus gesamtgesellschaftlicher Sicht kann es wünschenswert sein, dass der Strombedarf aus dem Netz für die Wärmebereitstellung gesenkt wird, da hierfür bei hohen EE-Anteilen eine umfassende Infrastruktur und Systemleistungen wie Speicher, Regelenergie, etc. notwendig sind. Entsprechend sind in anderen Studien in den Szenarien bis 2050 häufig die Anteile der Solarthermie deutlich höher (vgl. Kunz und Kirrmann 2015). Ähnliches gilt für die Biomasse, die zwar aufgrund der Verfügbarkeit bis 2050 nur in einem ähnlichen Maß zur Verfügung steht wie heute – aber bei geringeren spezifischen Wärmeverbräuchen dann einen größeren Teil an der Wärmeversorgung bereitstellen kann.

Der Einsatz von Wärmepumpen hat einen Strombedarf zur Folge (siehe Tab. 4.1). Insgesamt ist der Strombedarf für die Wärmepumpen im Trendszenario am niedrigsten. Auch im Szenario MAX PEE ist er aufgrund des hohen ST- und PV-Anteils (der hier nicht als Strombedarf ausgewiesen wird) sowie des

insgesamt geringen Energiebedarfes noch sehr niedrig. Dagegen ist der Strombedarf in den anderen optimierten Szenarien deutlich höher – und im Szenario Fin+ am höchsten aufgrund des höheren Heizenergiebedarfs und dem gleichzeitig teilweise stattfindenden Umstieg auf Wärmepumpen.

Tab. 4.1: Strombedarf 2050 für den Betrieb der Wärmepumpen

| | | Trend+ | MAX PEE | MIN Ges€/kWh | Fin+ |
|-----------------------------|-----|---------------|----------------|-------------------------|-------------|
| Strombedarf 2050 [GWh/a] | LS | 94 | 134 | 282 | 387 |
| | PPM | 71 | 107 | 203 | 301 |

Die Strombedarfe sind in der Region LS im Vergleich zu den bis 2050 erzielbaren Erzeugungüberschüssen an erneuerbarem Strom gering: Dieser liegt nach Plenz (2016) bei 2.850 GWh pro Jahr. Diese Menge würde sogar ausreichen um den zusätzlichen Strombedarf für die Wärmepumpen in beiden Regionen zu decken. Dagegen wird in der Region PPM bis 2050 kein Überschussstrom erwartet. Auch wenn die erzeugten Mengen zum Betrieb der Wärmepumpen ausreichen, so ist dennoch zu berücksichtigen, dass hierfür neben den Investitionen in den Ausbau der erneuerbaren Energien zudem auch in weitere Infrastrukturen investiert werden muss. So führen Wärmepumpen zu einer zusätzlichen Belastung des Stromsystems, wenn Ort und Zeit von Erzeugung und Abnahme auseinanderfallen. Deshalb ist bei einer hohen Zahl an Wärmepumpen zumindest eine systemdienliche Führung notwendig (vgl. Plenz 2016).

4.2 Ökologische Bewertung

4.2.1 Endenergie- und Wärmebedarf

Der Vergleich der Szenarien (siehe Abb. 4.4) zeigt, dass der Rückgang des spezifischen Endenergiebedarfs (ohne Umweltwärme) in allen optimierten Szenarien sehr viel höher ist als im Trendszenario. Die Unterschiede zwischen den beiden Regionen sind hierbei gering und zeigen sich insbesondere im Szenario Fin+, wo aufgrund der stärkeren finanziellen Restriktionen ein geringerer Rückgang festzustellen ist.

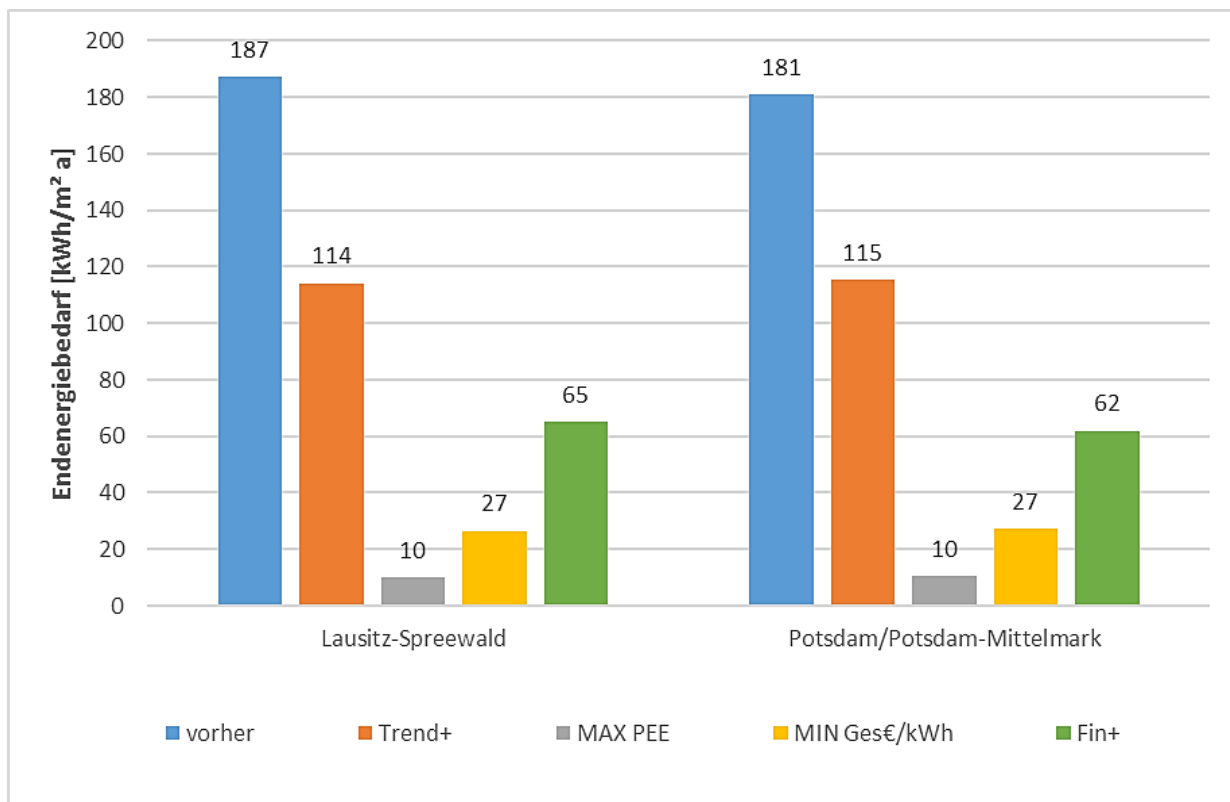


Abb. 4.4: Reduktion des spezifischen Endenergiebedarfs

Die ermittelten Wärmebedarfe für den Status quo und entsprechend der Szenarien 2050 sind Tab. 4.2 zu entnehmen. Die Ergebnisse zeigen, dass der Wärmebedarf erwartungsgemäß in allen Szenarien sinkt, am stärksten im Szenario MAX-PEE, wo Werte von 33 bzw. 34 kWh/m²*a erreicht werden. In einem ähnlichen Bereich liegen die Ergebnisse der anderen optimierten Szenarien sowie im Trendszenario, das heißt hier wird der Wärmeverbrauch in einem ähnlichen Maß gesenkt. Der deutlich stärkere Rückgang in den optimierten Szenarien beim Endenergiebedarf ist entsprechend auf den hohen Anteil EE und insbesondere Umweltwärme zurückzuführen. Deutlich zeigt sich auch, dass die finanziellen Restriktionen zu einem deutlichen Rückgang der Wärmeeinsparung führt, da hier kostenintensive Maßnahmen an der Gebäudehülle in einem erheblichen Teil der Gebäude nicht ausgeführt werden können bzw. im Vergleich zum Trendszenario die vorhandenen Mittel anteilig auch in den Wechsel zu erneuerbaren Energien fließen, was sich bei den Endenergiebedarfen zeigt.

Tab. 4.2: Spezifischer Wärmebedarf (Heizung und Warmwasser) in den Untersuchungsregionen

| | | 2010 | Trend+ | MAX PEE | MIN Ges€/kWh | Fin+ |
|-------------------------|-----|------|--------|---------|-----------------|------|
| Wärmebedarf | LS | 151 | 86 | 33 | 88 | 115 |
| [kWh/m ² *a] | PPM | 157 | 88 | 34 | 86 | 113 |

Jochum et al. (2012) haben vertiefend die technischen und wirtschaftlichen Dämmrestriktionen bei der Gebäudesanierung untersucht. Die Studie kommt zu dem Ergebnis, dass die Wärmeverluste der untersuchten gebäudebezogenen Dämmrestriktionen für 5 % des Heizwärmebedarf 2011 verantwortlich sind. Bei einer vollständigen Durchsanierung des Gebäudebestands kommen sie zu dem Ergebnis, dass dennoch 42 % des Heizwärmebedarfs von 2011 bestehen bleiben, davon rund ein Drittel aufgrund der

Dämmrestriktionen. In der vorliegenden Studie sind die Werte nicht aufgeteilt nach Warmwasser- und Heizwärmebedarf. Wird jedoch von konstant 17 kWh/m²*a) an Warmwasserbedarf ausgegangen (siehe Kapitel 2.3.3), so liegen die Heizenergiebedarfe 2050 im Szenario MAX-PEE nur noch bei rund 12 % des Wertes von 2010, was vor dem Hintergrund der Ergebnisse von Jochum et al. (2012) eher unrealistisch wenig erscheint. Eine Ursache ist, dass in der vorliegenden Studie nicht alle Dämmrestriktionen berücksichtigt werden konnten. Hinzu kommen außerdem Unterschiede in der Bedarfsberechnung. In den anderen Szenarien beträgt der Rückgang des Heizwärmebedarfs deutlich weniger als 50 % und bleibt damit in dem nach Jochum et al. (2012) erzielbaren Bereich. Andere Studien geben in Szenarien zum Wärmebedarf (Raumwärme und Trinkwarmwasser) bis 2050 ebenfalls eine Reduktion um rund 50 % gegenüber heute an (vgl. Kunz und Kirrmann 2015). Allerdings sind die Einsparpotenziale bei Wohngebäuden etwas höher, Bürger et al. (2016) kommen zu einem Wert von 68 % unter Berücksichtigung der Dämmrestriktionen.

Beim Wärmebedarf kann der durch die Bedarfsberechnung ermittelte Status quo-Wert verglichen werden mit Ergebnissen zum Verbrauch des Gebäudebestands in den Untersuchungsregionen, der 2013 bei rund 157 kWh/(m²*a) lag (siehe Kapitel 2.3.3). Dieser entspricht genau dem berechneten Wert für 2010 in PPM, in LS liegt dieser etwas darunter. Damit kann hier kein Prebound-Effekt festgestellt werden, also dass die berechneten Bedarf in unsanierten Gebäuden deutlich über den tatsächlichen Verbräuchen liegen. Dies kann auch an der dynamischen Berechnung des Wärmebedarfs liegen.

4.2.2 Primärenergiebedarf

Zunächst wird der spezifische Primärenergieverbrauch betrachtet (siehe Abb. 4.5). Hier wurde als Zielwert bezogen auf die Gebäudenutzfläche für einen klimaneutralen Bestand 27 kWh/(m²*a) angenommen (siehe Kapitel 2.3.3). Diesen Wert unterschreiten die Gebäude in den beiden Szenarien MAX PEE und MIN Ges€/kWh deutlich, wobei sich auch Unterschiede zwischen den Optimierungsszenarien MAX PEE und MIN Ges€/kWh zeigen. Zu berücksichtigen ist, dass bei den Primärenergiebedarfen von dem für 2050 anvisierten Strommix mit einem hohen Anteil EE ausgegangen wird, wodurch die Wärmepumpen einen noch niedrigeren Primärenergiebedarf aufweisen als heute.

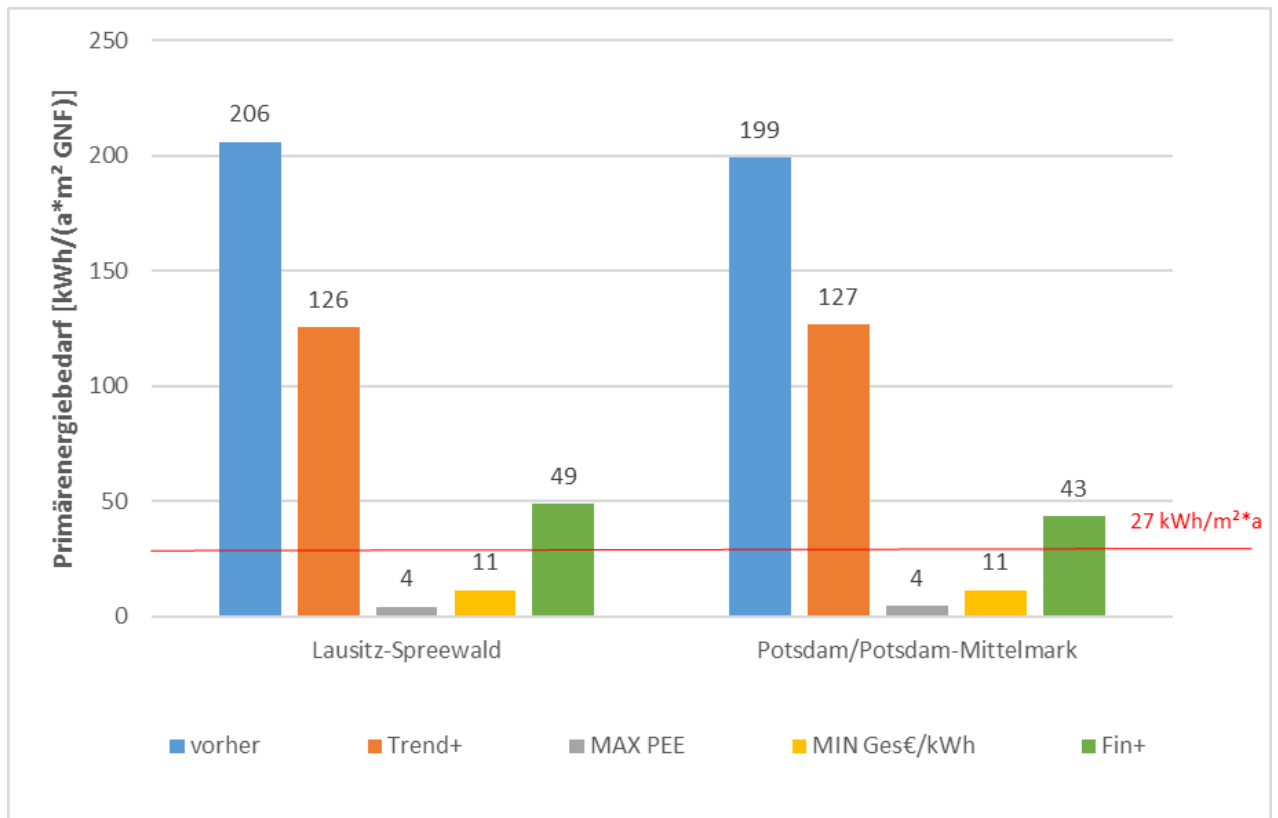


Abb. 4.5: Reduktion des spezifischen Primärenergiebedarfs

Dagegen liegt auch hier das Trendszenario deutlich über den Zielwerten. Unter Berücksichtigung der finanziellen Restriktionen wird das Ziel um rund 80 % in LS und 60 % in PPM überschritten. Bei der Betrachtung spezifischer Werte ist demnach die Zielerreichung in LS schwieriger als in PPM, denn hier spielt der Rückgang der Gebäude keine große Rolle. Deshalb zeigt sich hier, dass in Lausitz-Spreewald mehr Eigentümerhaushalte über geringe Einkommen und somit geringe Investitionsmöglichkeiten verfügen und somit der Primärenergieverbrauch durchschnittlich höher ausfällt als in PPM. Eine Betrachtung nach Gebäudetypen zeigt, dass die Finanzierung insbesondere bei den älteren EZFH dazu führt, dass die Zielwerte nicht erreicht werden (siehe Abb. 4.6). Hier sind vergleichsweise hohe Investitionen notwendig, da der energetische Gebäudezustand besonders schlecht ist.

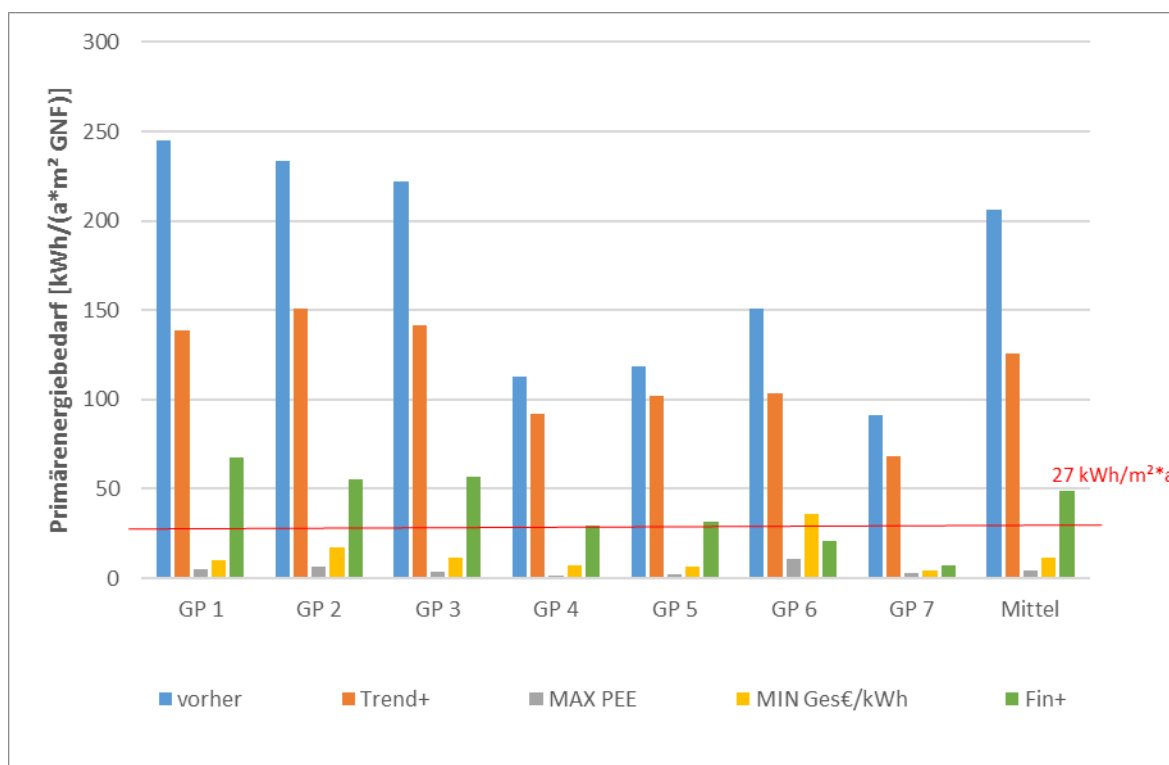


Abb. 4.6: Reduktion des spezifischen Primärenergiebedarfs in den unterschiedlichen Gebäudeprototypen in der Region Lausitz-Spreewald

Die Reduktion des gesamten Primärenergiebedarfs in der Region zeigt Tab. 4.3. Der Rückgang gegenüber 2010 liegt in den optimierten Szenarien in beiden Regionen bei 94-98 %. Unter Berücksichtigung der finanziellen Restriktionen liegen die Rückgänge bei 84 % in LS und 78 % in PPM. Damit würden noch ungefähr die Zielwerte der Bundesregierung gegenüber 2008 erreicht. Bereits berücksichtigt ist bei diesen Zahlen der Gebäudeabriss bzw. der Rückgang der beheizten Fläche, nicht jedoch der Neubau. Die Wirkung des Abrisses/Leerstands zeigt sich am deutlichsten bei den Trendszenarien. Diese verfehlen zwar in beiden Regionen deutlich die Klimaschutzziele, in Lausitz-Spreewald sind die relativen Reduktionen mit 56 % deutlich höher als in Potsdam / Potsdam-Mittelmark (35 %).

Tab. 4.3: Primärenergiebedarf im Status quo und je nach Szenario 2050

| | | 2010 | Trend+ | MAX PEE | MIN Ges€/kWh | Fin+ |
|-----------------------------|-----|-------|--------|---------|--------------|------|
| Primärenergiebedarf [GWh/a] | LS | 5.068 | 2.224 | 81 | 227 | 824 |
| | PPM | 2.568 | 1.661 | 63 | 167 | 555 |

Für den Neubau wurde 2050 ein Primärenergiebedarf von 92,9 GWh in PPM bzw. 94,4 GWh in LS abgeschätzt (siehe Kapitel 2.3.3). Der Bestand darf damit bei einer Reduktion um 80 % insgesamt nur einen Primärenergiebedarf von 916 GWh in LS und in PPM bei 417 GWh pro Jahr aufweisen. Dieser Wert wird im Szenario Fin+ in PPM deutlich verfehlt, wohingegen in LS der Wert eingehalten werden kann. Die Berücksichtigung des Neubaus erhöht bei einer Betrachtung von absoluten Grenzwerten somit die

Anforderungen an den energetischen Standard vor allem in Regionen, in denen viele Gebäude neu errichtet werden.

4.2.3 Treibhausgasemissionen

In einem ähnlichen Maß wie die Primärenergiebedarfe gehen auch die CO₂-Emissionen zurück. Basierend auf Bedarfsberechnungen vor und nach den energetischen Sanierungen führen in beiden Untersuchungsregionen die optimierten Szenarien für die untersuchten Gebäude zu Treibhausgaseinsparungen von 96 bis 98 % (siehe Abb. 4.7). Unter Berücksichtigung der finanziellen Restriktionen werden immerhin noch Rückgänge von 81 bzw. 86 % erzielt. Deutlich geringer ist die Reduktion im Trend-Szenario trotz hoher Sanierungsraten und -standards. Hier zeigt sich auch besonders deutlich der Unterschied zwischen der schrumpfenden und der wachsenden Region: Durch den Rückgang der beheizten Fläche ergibt sich in LS im Trend ein Rückgang um 63 %, in PPM dagegen von nur 48 %.

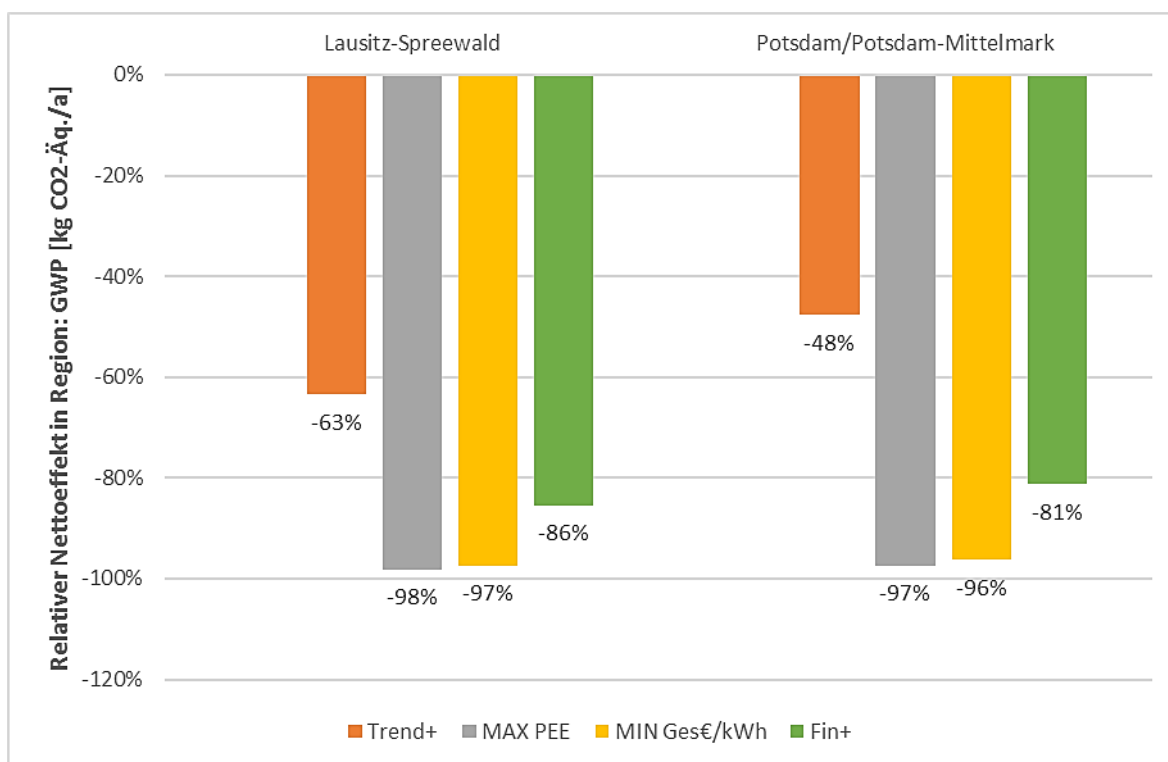


Abb. 4.7: Reduktion der CO₂-Emissionen durch die umgesetzten Sanierungsmaßnahmen in den untersuchten Gebäuden (Nettoeffekte: inkl. CO₂-Emissionen durch Herstellung, Transport, etc.)

Die im Vorhaben basierend auf den Bedarfswerten der untersuchten Gebäude ermittelten Reduktionen beziehen sich nur auf den Zeitraum 2010 bis 2050. Die identifizierten Zielwerte von minus 93 bis 99 % bis 2050 (siehe Kapitel 2.3.3) haben als Referenzjahr dagegen das Jahr 1990. Zur Entwicklung der CO₂-Emissionen zwischen 1990 und 2010 durch die Raumwärmebereitstellung privater Haushalte in den Untersuchungsregionen liegen keine Daten vor. Bundesweit fand in diesem Zeitraum ein Rückgang um

19 % statt⁷. Wird diese Größe für die Untersuchungsregionen angesetzt so erhöht sich der Gesamtrückgang bis 2050 etwas (siehe Tab. 4.4). Die Zielwerte werden dennoch nur durch die optimierten Szenarien erreicht, die finanziellen Restriktionen führen zu einer deutlichen Zielverfehlung, noch deutlicher trifft das auf das Trend-Szenario zu. Und dies ohne dass in den Berechnungen bisher der Neubau berücksichtigt wurde.

Tab. 4.4: Reduktion der CO₂-Emissionen von 1990 bis 2050 in den untersuchten Gebäuden

Von 1990 bis 2010 ausgehend vom bundesweiten Trend

| | Trend+ | MAX PEE | MIN Ges€/kWh | Fin+ |
|-----|---------------|----------------|---------------------|-------------|
| LS | 70% | 99% | 98% | 88% |
| PPM | 58% | 98% | 97% | 85% |

In den Berechnungen berücksichtigt wurden hier neben den direkten Treibhausgasemissionen der Raumwärme- und Trinkwarmwasserbereitstellung auch noch – basierend auf einer Ökobilanz - die Emissionen, die durch die Sanierungsmaßnahmen anfallen. In Tab. 4.5 sind diesen gesamten Emissionen nur die direkten Emissionen gegenübergestellt. Die Ergebnisse zeigen, dass die Unterschiede insbesondere beim Szenario MAX-PEE groß sind: Hier sind die direkten Emissionen sehr gering, dafür aber aufgrund der sehr umfangreichen Sanierungsmaßnahmen die Emissionen, die aus der Dämmung und der Installation der Gebäudetechnik resultieren, hoch. Daraus resultiert, dass das Szenario MAX-PEE bei einer reinen Betrachtung der direkten Emissionen deutlich besser abschneidet als im Szenario MIN Ges€/kWh. Werden dagegen die gesamten Emissionen betrachtet ist der Unterschied gering. Insgesamt ist der Unterschied zwischen gesamten und direkten Emissionen jedoch gering, und auch die prozentualen Reduktionen weichen maximal um 1-2 Prozentpunkte ab.

Tab. 4.5: Gesamte und direkte Treibhausgas-Emissionen 2010 und 2050

| | | 2010 | Trend+ | MAX PEE | MIN Ges€/kWh | Fin+ |
|-------------------------------------|-----|-------------|---------------|----------------|---------------------|-------------|
| THG-Emissionen gesamt [Mt/a] | LS | 1.407 | 514 | 24 | 36 | 204 |
| | PPM | 709 | 371 | 18 | 27 | 133 |
| THG-Emissionen nur direkt [Mt/a] | LS | 1.407 | 498 | 2 | 26 | 199 |
| | PPM | 709 | 363 | 7 | 22 | 130 |

⁷ Eigene Berechnung basierend auf den Nationalen Trendtabellen für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen 1990 – 2015 des Umweltbundesamts vom 30. Januar 2017 (<https://www.umweltbundesamt.de/dokument/nationale-trendtabellen-fuer-die-deutsche-2>)

4.3 Ökonomische Bewertung der Szenarien aus Sicht der Eigentümer/innen

Die Summe der Investitionskosten liegt im Szenario MAX PEE deutlich höher als in allen anderen Szenarien. Sie liegt – trotz nur geringfügig höherer Primärenergieeinsparung - etwas mehr als doppelt so hoch als in dem Szenario MIN Ges€/kWh. Die letzten paar Prozent an Primärenergieeinsparung führen also zu enormen Kosten. Durch die finanziellen Restriktionen dagegen sinken die Investitionskosten, insbesondere in LS. Am geringsten sind die Investitionen im Trendszenario, das heißt, dass in allen Szenarien mehr investiert werden müsste als im derzeitigen Trend. Allerdings liegen die Investitionen im Szenario Fin+ in LS nur 17 % über dem Trendszenario, in PPM um 28 % (siehe Abb. 4.8) Bei den Investitionskosten wurden hier die Vollkosten betrachtet, nicht nur die energiebedingten Mehrkosten. Da bei einer Sanierung der Gebäudehülle in der Regel energetische Maßnahmen aufgrund der EnEV verpflichtend sind, besteht häufig in der Praxis nicht die Alternative einer nicht-energetischen Sanierung. Insofern entspricht die Betrachtung von Vollkosten auch der Sicht der Eigentümer/innen, die sich basierend auf dieser Kostenhöhe für eine Maßnahme entscheiden.

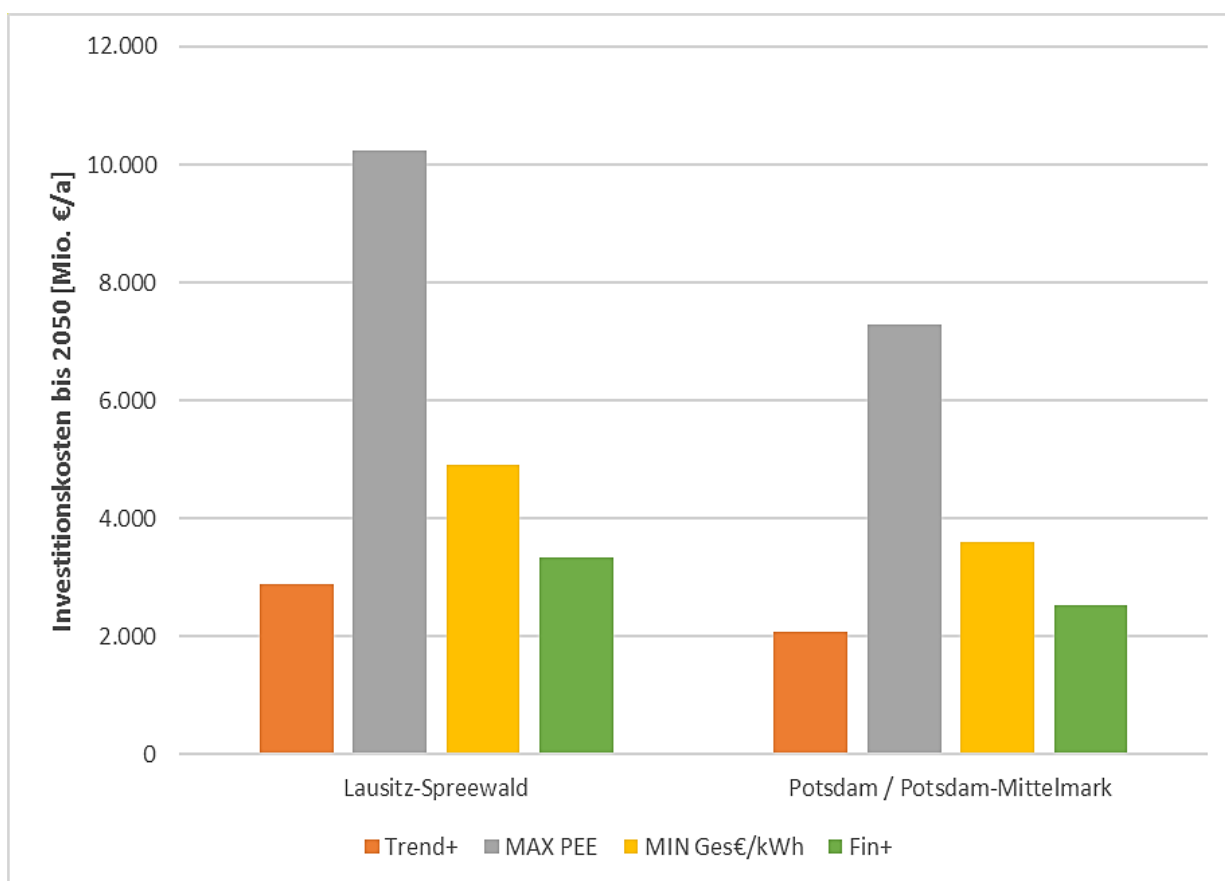


Abb. 4.8: Investitionskosten bis 2050

Bei einer Betrachtung der Betriebskosten zeigt sich, dass ausgehend von heutigen Energiepreisen alle Szenarien im Vergleich zum Status quo geringere Kosten haben. Da momentan Gas und insbesondere Öl günstig sind, Strom dagegen auch aufgrund hoher Steueranteile und Umlagen teuer, führt der Umstieg auf

die erneuerbaren Energien und insbesondere die Wärmepumpen erstmal zu erhöhten Betriebskosten. Erst bei einer gleichzeitigen deutlichen Reduktion der Wärmebedarfe liegen die Energiekosten geringer als im Trendszenario. Deshalb sind die Betriebskosten insbesondere im Szenario Fin+ hoch (siehe Abb. 4.9).

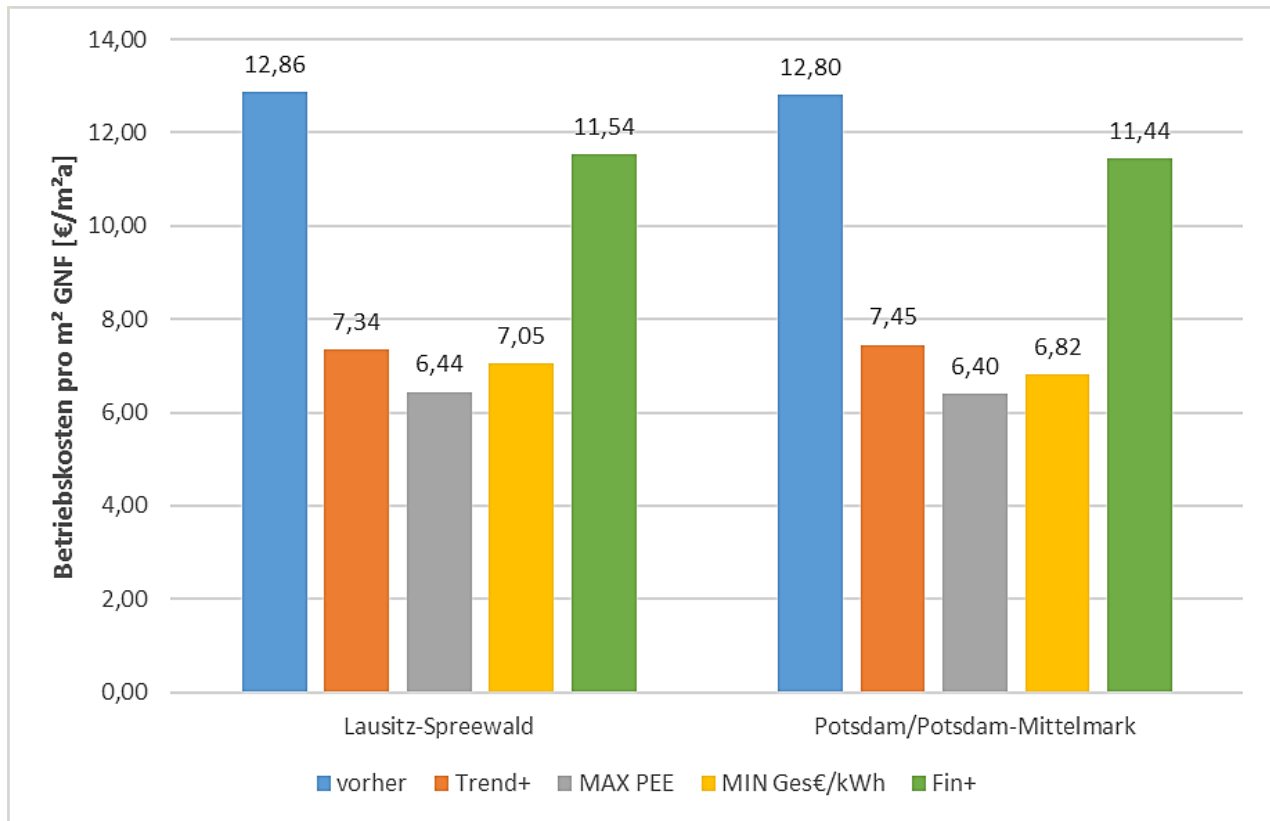


Abb. 4.9: Spezifische Betriebskosten auf Basis derzeitiger Energiekosten

Wird von Energiekosten ausgegangen, wie sie für 2050 erwartet werden (Energiepreissteigerung nach Bürger 2014), so zeigt sich, dass dann auch im Trendszenario aufgrund des hohen Anteils fossiler Energieträger hohe Betriebskosten anfallen im Vergleich zu den Szenarien MAX PEE und MIN Ges€/kWh (siehe Abb. 4.10). Und zwar sind die Betriebskosten in den Szenarien Fin+ und Trend+ im Vergleich dazu dann ungefähr doppelt so hoch. Dies zeigt dass die Kosten insbesondere ohne einen Umstieg auf erneuerbare Energien langfristig teuer werden können. Das Szenario MIN Ges€/kWh ist bei einer Gesamtbetrachtung von Investitionen und Betriebskosten dagegen im Jahr 2050 am kostengünstigsten. Das Szenario MAX PEE bleibt aufgrund der sehr hohen Investitionskosten auch dann noch sehr teuer.

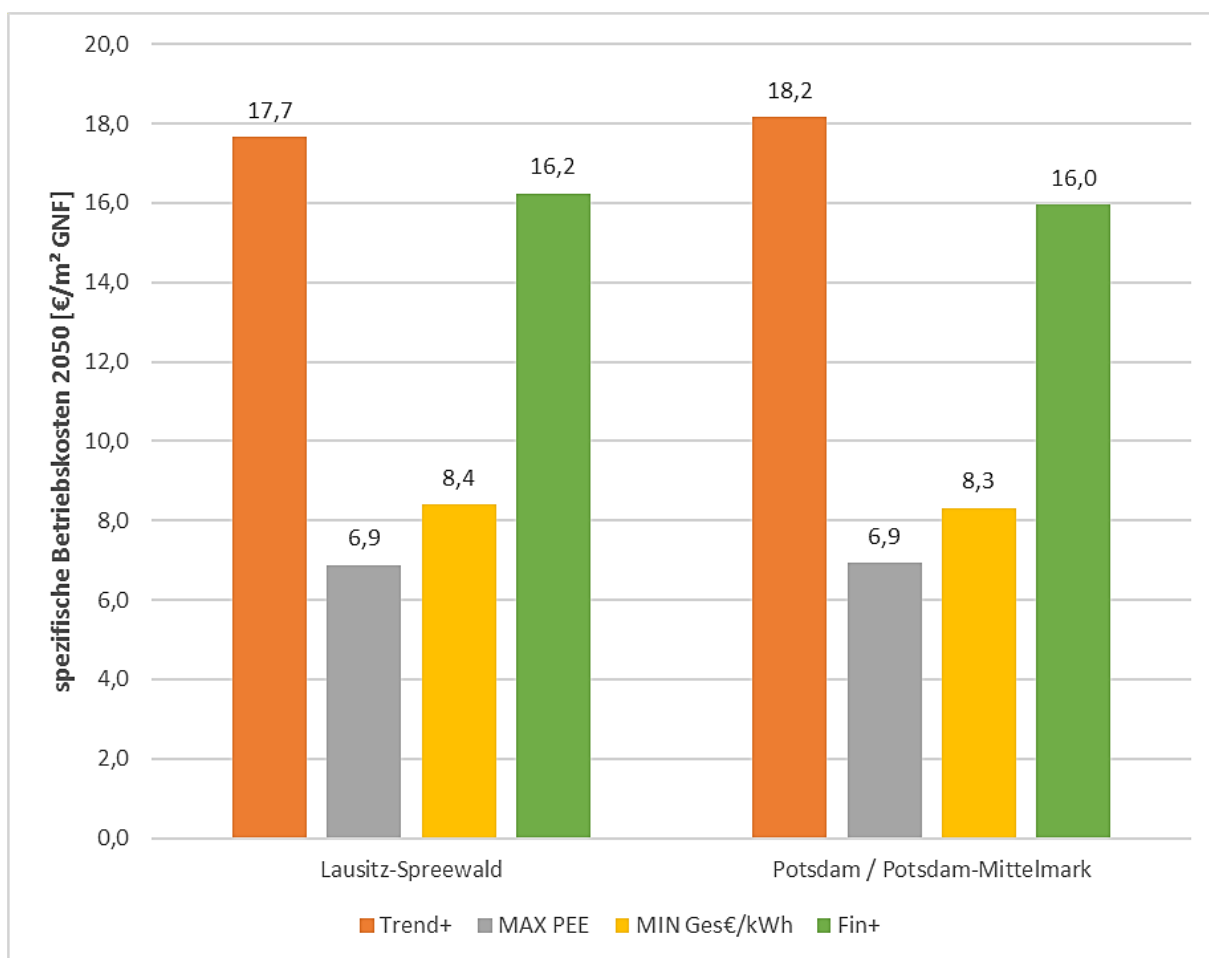


Abb. 4.10: Spezifische Betriebskosten auf Basis von prognostizierten Energiekosten 2050

Das Szenario MIN Ges€/kWh beruht auf einer Optimierung der Kosten und der Primärenergieeinsparung. Dadurch werden die Klimaschutzziele mit möglichst geringen Kosten erreicht. Etwas höher liegen die spezifischen Einsparkosten bei den Szenarien MAX PEE und Fin+ - bei ersterem da hier zwar etwas mehr Primärenergie eingespart wird und die Betriebskosten etwas geringer sind, die Investitionskosten aber rund doppelt so hoch. Bei letzterem sind die Primärenergieeinsparungen deutlich geringer. Am höchsten aber sind die Kosten pro kWh Primärenergieeinsparung beim Trendszenario. Insgesamt führen entsprechend alle Optimierungen dazu, dass Energieeinsparungen mit geringeren spezifischen Kosten erreicht werden.

Inwiefern sich die in den Szenarien angenommenen Sanierungsmaßnahmen wirtschaftlich rechnen, muss für jedes Gebäude individuell betrachtet werden und hängt auch davon ab, in welchem Jahr und bei welchen Energiepreisen die Investitionen durchgeführt werden. Mittelfristig können zudem auch die Investitionskosten sich durch Innovationen und andere Effekte verringern – oder auch erhöhen (zum Beispiel bei Fachkräftemangel). Insgesamt ist bei der ökonomischen Bewertung außerdem zu berücksichtigen, dass in den optimierten Szenarien nur die aus energetischer Sicht besonders lohnenden Maßnahmen umgesetzt wurden. Der Austausch von Fenstern findet deshalb nur in sehr geringem Maß statt. Werden dagegen aus anderen Gründen die Fenster auch in diesen Szenarien ausgetauscht so steigen die gesamten Investitionskosten hier ebenfalls.

5 Fazit und Schlussfolgerungen

5.1 Übergreifende Auswertung der Szenarien

Im Vorhaben wurden vier Szenarien entwickelt und hinsichtlich ihrer ökologischen und ökonomischen Wirkung bewertet. Nachfolgend werden zunächst die Ergebnisse für die **Szenarien vergleichend** zusammengefasst:

- Im **Trendszenario** werden die Ziele nicht erreicht, obwohl die ermittelten Sanierungsraten und angenommenen Sanierungsstandards bei der Dämmung der Gebäudehülle hoch sind. Dieses Ergebnis zeigt, dass neben den bisherigen Aktivitäten dringend der Umstieg auf erneuerbare Energien notwendig ist. Zudem ist der Mitteleinsatz aus Klimaschutzsicht beim Trendszenario nicht optimal. Insbesondere bei Betrachtung von zukünftigen Energiepreisen zeigt sich, dass in dem Szenario die Betriebskosten langfristig sehr hoch ausfallen können – auch wenn der Wärmebedarf erheblich gesenkt wird. Allerdings zeigt sich bei einem Vergleich mit den optimierten Szenarien, dass vor allem die Dämmung von Kellerdecke und oberster Geschossdecken bisher in zu geringem Maß umgesetzt wird. Dagegen erfolgt sehr häufig ein Austausch der Fenster, der energetisch nur geringe Wirkung erzielt.
- Im Szenario der maximalen Primärenergieeinsparung (**MAX PEE**) werden die höchsten Energieeinsparungen erzielt, sowohl was den Wärme- als auch End- und Primärenergiebedarf angeht. Dies wird durch ein hohes Maß an Dämmmaßnahmen in Kombination mit einem fast vollständigen Wechsel zu erneuerbaren Energien erreicht. Aus ökonomischer Sicht ist das Szenario wenig attraktiv, da sehr hohe Investitionen notwendig sind und auch unter der Annahme steigender Energiepreise bis 2050 sich diese durch die Einsparungen bei den Betriebskosten nicht tragen. Zudem ist das Szenario auch aus Klimaschutzsicht kaum besser bewertet als das Szenario MIN Ges€/kWh, da bei einer Betrachtung über den gesamten Lebenszyklus die zusätzlichen Aufwendungen für die Materialien sich gerade noch so durch die eingesparten direkten Emissionen lohnen. Dies ist verständlich, wenn man sich betrachtet, dass hier häufig Wärmepumpen plus PV und Solarthermie installiert wird und fast alle Bauteile mit sehr hohem Standard vollständig durchsaniert werden, soweit dem keine Hemmnisse entgegenstehen.
- Werden dagegen bezüglich der Primärenergieeinsparung besonders kosteneffiziente Maßnahmen ausgewählt (**MIN Ges€/kWh**), so werden die Klimaschutzziele ebenfalls weitgehend erreicht, die Investitionskosten sinken jedoch deutlich und unter Berücksichtigung steigender Energiepreise ist das Szenario insgesamt auch aus Sicht der Eigentümer/innen langfristig finanziell lohnend. In diesem Szenario werden noch in vielen Gebäuden umfangreichere Dämmmaßnahmen an der Gebäudehülle umgesetzt und es findet ein weitgehender Wechsel hin zu erneuerbaren Energien und insbesondere Wärmepumpen statt.
- Im letzten Szenario werden die Auswirkungen finanzieller Restriktionen bei den Haushalten mit mittlerem und niedrigem Einkommen bzw. mit geringen Mieteinnahmen berücksichtigt (**Fin+**). Durch die finanziellen Restriktionen werden die Klimaschutzziele nicht erreicht. Hinzu kommt, dass hierdurch die Effizienz des Einsatzes der Mittel aus Klimaschutzsicht geringer ist. Besonders negativ wirkt sich aus, dass die Haushalte mit geringen Einkommen weder den Umstieg auf erneuerbare Energien noch eine umfassende Dämmung finanzieren können – und somit gerade diese Gebäude einen hohen Wärmebedarf aufweisen, die noch mit Öl oder Gas beheizt werden. Auch wenn der Anteil dieser Haushalte eher gering ist, haben diese somit einen erheblichen Einfluss auf die Zielerreichung.

Insgesamt zeigt sich, dass für das kosteneffiziente Erreichen der Klimaschutzziele insbesondere das Szenario MIN Ges€/kWh interessant ist. Deren Umsetzung stehen aber finanzielle Restriktionen entgegen. Außerdem muss eine Änderung der Sanierungspräferenzen erfolgen, wie ein Vergleich mit dem Trend zeigt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die ökonomische Bewertung abhängig ist von der Art der Kosten, die berücksichtigt werden. In der vorliegenden Studie wurden Vollkosten betrachtet, da aufgrund der häufig ohnehin verpflichtenden energetischen Maßnahmen im Rahmen einer Sanierung eine Aufteilung in Sowieso-Kosten und energiebedingte Mehrkosten nicht der Entscheidungssituation der Eigentümer/innen entspricht.

Insgesamt sind ehrgeizige Klimaschutzziele (Reduktion der CO₂-Emission um 95 %) im Gebäudebestand bis 2050 nur bei einer umfassenden energetischen Sanierung in Kombination mit einem Ausbau der erneuerbaren Stromerzeugung nach diesen Berechnungen für die untersuchten Gebäude erreichbar. Auch wenn dabei gebäudeindividuelle Sanierungshemmnisse nur eingeschränkt berücksichtigt werden konnten, entsprechen die Reduktionen im Wärmebedarf in dem kostenoptimierten Szenario (MIN Ges€/kWh) in etwa denen, die auch nach anderen Szenarien erreicht werden können. Durch einen Umstieg auf erneuerbare Energien können dann die Treibhausgasemissionen umfassend reduziert werden. Der Umsetzung stehen jedoch zahlreiche Hemmnisse entgegen. Im Vorhaben hat sich gezeigt, dass die Finanzierbarkeit durch die Eigentümer/innen ein zentrales Hemmnis darstellt. Das Szenario mit Berücksichtigung der aufgrund unterschiedlicher Einkommen verfügbaren finanziellen Mittel zeigt, dass Haushalte mit mittleren und insbesondere niedrigen Einkommen kaum in der Lage sind, eine umfassende Sanierung ihres Hauses zu einem klimaneutralen Gebäude zu finanzieren. Insgesamt werden die Mittel bei den optimierten Maßnahmenkombinationen aus Klimaschutzsicht effizienter eingesetzt als bei einem „Weiter So“. Auch die finanziellen Restriktionen führen dazu, dass nicht die langfristig kostengünstigsten Lösungen gewählt werden. Ein effizienter Mitteleinsatz ist angesichts der knappen verfügbaren Mittel wichtig. Da die Eigentümer/innen in der Regel schrittweise sanieren (wollen), ist hierfür eine gute Abstimmung und Planung der Sanierungsmaßnahmen wichtig.

In den untersuchten Szenarien wurden nur dezentrale Lösungen berücksichtigt. Zudem werden aufgrund der Optimierungsparameter beispielsweise Wärmepumpen gegenüber Biomasse bevorzugt. Dies ist aufgrund der begrenzten Biomassepotenziale grundsätzlich auch sinnvoll, dennoch kann im Einzelfall auch eine Lösung mit Biomasseheizung sinnvoll sein, beispielsweise wenn Restholz aus Gärten und Wäldern zur Verfügung steht. Ebenfalls nicht weiter berücksichtigt wurden hier Lösungen mit einem hohen Anteil an Stromeigenerzeugung, die zu einer wirtschaftlichen Strom-Wärme-Kopplung innerhalb des Hauses führen können. Bei der PV-Stromerzeugung wurde hier nur die Eigenerzeugung für die Wärmeversorgung berücksichtigt. Insgesamt sind die Lösungen somit hier eher prototypisch, für einzelne Gebäude und Quartiere ist dagegen zu untersuchen, inwiefern aufgrund der spezifischen Rahmenbedingungen auch andere Lösungen attraktiv sind. Dies gilt ebenfalls für andere finanzielle Rahmenbedingungen sowie in Abhängigkeit vom weiteren Ausbau des Stromsystems.

Die dargestellten Ergebnisse basieren auf dynamisch berechneten Bedarfswerten. Auch wenn diese näher am tatsächlichen Verbrauch liegen als statisch berechnete Werte so bleibt dennoch das Problem, dass bei energetischen Sanierungen **Pre- und Rebound-Effekte** beobachtet werden, so dass die tatsächlichen Reduktionen ggf. geringer ausfallen. Vergleiche der berechneten Wärmebedarfswerte vor Sanierung mit dem Verbrauch kommen zu keinen Abweichungen, so dass von eher geringen Prebound-Effekten auszugehen ist. Weitere Rebound-Effekte können hier nicht berücksichtigt werden, da deren Höhe unter anderem abhängig von den Bedarfswerten und deren Berechnung, den verwendeten Technologien sowie dem Nutzerverhalten sind.

Für drei der Szenarien erfolgte eine Abschätzung der **Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte** für das Jahr 2050 (vgl. Salecki 2017). Es handelt sich dabei um das Trendszenario, das optimierte Szenario MIN Ges€/kWh sowie das Szenario unter Berücksichtigung finanzieller Restriktionen (Fin+). Die regionale

Wertschöpfung und Beschäftigung hängt zusammen mit der Höhe der Investitionen sowie dem Anteil, der davon in der Region verbleibt. Dieser ist insbesondere hoch bei Maßnahmen, bei denen Vorleistungen einen geringen Anteil ausmachen und die arbeitsintensiv für das häufig regional ansässige Handwerk sind. Der Vergleich der Szenarien zeigt, dass aus diesen beiden Gründen vor allem der hohe Anteil an Fenstersanierungen sowie Dämmmaßnahmen zu einer hohen Wertschöpfung beim Trendszenario führt. Trotz der insgesamt höheren Investitionen ist die Wertschöpfung dagegen im optimierten Szenario geringer, da hier ein großer Teil der Kosten auf die Anlagentechnik entfällt. Die Budgetrestriktionen im Szenario Finanzierung führen zu nochmals geringeren Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekten. Durch den Einbau von Wärmepumpen ist in diesen beiden Szenarien jedoch ein erhöhter Strombedarf gegeben. Sofern dieser mit regional erzeugtem erneuerbarem Strom bedient werden kann, ergeben sich dadurch weitere Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte (vgl. bspw. Hirschl et al. 2015).

Bisher wurden die Szenarien übergreifend bewertet. Eine genauere Betrachtung zeigt darüber hinaus **Unterschiede zwischen den beiden Regionen**. Da in der schrumpfenden Region LS mehr Haushalte mit geringen Einkommen wohnen, wirkt sich das Finanzierungshemmnis im Szenario Fin+ stärker aus als in der wachsenden Region PPM. Dies wirkt sich insbesondere bei den spezifischen Werten aus. Zudem wird davon ausgegangen, dass in der Region Lausitz-Spreewald der beheizte Gebäudebestand bis zum Jahr 2050 durch Abriss oder Leerstand deutlich zurückgeht. Hierdurch werden Klimaschutzziele leichter erreicht, wenn sie sich auf die gesamten regionalen Emissionen beziehen als in der wachsenden Region PPM. Dies zeigt sich am deutlichsten bei den Unterschieden in den Trendszenarien. Werden zudem noch die neugebauten Wohngebäude bis 2050 in der Betrachtung berücksichtigt, zeigt sich, dass bei einer Übertragung der Ziele auf die Regionen PPM höhere spezifische Ziele erreichen muss als LS. Um die Frage zu beantworten, ob Klimaschutzziele in einer wachsenden oder schrumpfenden Region leichter zu erreichen sind, ist demnach zu klären, wie nationale Klimaschutzziele auf die Regionen verteilt werden. Anhand der Untersuchungsregionen kann gezeigt werden, dass unter Berücksichtigung finanzieller Restriktionen die Zielerreichung ausgehend von spezifischen Zielen in der schrumpfenden Region mit hohen Hemmnissen schwieriger ist. Dagegen hat die Region Vorteile bei absoluten Zielen aufgrund des zurückgehenden Gebäudebestands, da dann die spezifischen Ziele höher ausfallen dürfen. Beide Effekte reduzieren sich damit im Szenario Fin+ bei der Betrachtung absoluter Größen.

In LS ist davon auszugehen, dass bis zum Jahr 2050 ein erheblicher Teil des Wohngebäudebestands leer stehen wird oder aber abgerissen wird. Wenn auch diese Gebäude energetisch saniert werden, so erhöhen sich in der Region die Investitionen. Je nach Nutzungsdauer nach Sanierung sind die Sanierungsmaßnahmen aus ökonomischer und ggf. sogar ökologischer Sicht nicht vorteilhaft. Insbesondere umfangreichere Maßnahmenkombinationen haben längere Amortisationszeiten. Von daher stellt sich die Frage, wieviele „gestrandete“ Investitionen es in LS geben wird. Dies ist auch davon abhängig, ob der energetische Zustand von Gebäuden zukünftig am Immobilienmarkt eine größere Rolle spielt, so dass gerade die bereits sanierten Gebäude gut verkauft und vermietet werden können. Zudem können Kommunen und Regionen versuchen die Schrumpfungsprozesse zu gestalten, so dass auch für die privaten Eigentümer/innen mehr Planungssicherheit vorhanden ist. Abriss kann jedoch auch in PPM verstärkt zu einem Thema werden, gerade weil ein hoher Nachfragedruck vorhanden ist. Dies kann zu Nachverdichtungen in zentraler Lage führen, verbunden mit dem Abriss kleinerer Gebäude zugunsten von Ersatzneubauten. Dadurch käme es dann auch in PPM zu der Frage, bei welchen Gebäuden eine energetische Sanierung perspektivisch lohnend ist.

Ein Unterschied zwischen den Regionen ist auch das unterschiedlich hohe **EE-Potenzial** insbesondere was die Erzeugung von Überschussstrom angeht. Hier zeigt sich jedoch, dass die in LS erzeugte Menge sogar ausreicht um beide Regionen mit Strom für die Wärmepumpen zu versorgen. Dabei wurden jedoch noch keine weiteren neuen Stromabnehmer berücksichtigt, wie Elektromobilität oder Power-to-Heat für Prozesswärme oder andere Gebäudebestände. Zur Gesamtbewertung des Strombedarfs müssten diese auch berücksichtigt werden. In den vorliegenden Szenarien erfolgte die Optimierung zunächst aus Sicht der

Gebäudeeigentümer/innen aufgrund deren knappe verfügbarer Mittel. Aus Sicht von Bund und Regionen sind jedoch auch die Makroeffekte zu berücksichtigen, was zur Folge hat, dass aus makroökonomischer Sicht womöglich Lösungen mit Solaranlagen oder einer geringeren Strom-Wärmekopplung zu präferieren sind. Die in der vorliegenden Studie auf der gebäudeindividuellen Optimierung basierenden Szenarien führen durch die dominierende Stellung der Wärmepumpen zu einer zukünftig engeren Kopplung des Strom- und Wärmesektors. Dies gilt es bei der Formulierung von Zielen auch zum Ausbau von Strom aus erneuerbaren Energien zu berücksichtigen. In der vorliegenden Studie wurde davon ausgegangen, dass bis 2050 einen hohen Anteil an EE-Strom gibt und ausreichend Strom für Wärmepumpen zur Verfügung steht. Entwickelt sich das Stromsystem anders so kann sich die Bewertung der hier gefundenen Lösungen ändern. Darüber hinaus kann die Bewertung unter Berücksichtigung der notwendigen Infrastrukturen zu dem Ergebnis kommen, dass Lösungen mit höheren Anteilen an dezentralen Solaranlagen oder Bioenergie zu präferieren sind. Dies konnte in der vorliegenden Studie nicht untersucht werden. Ebenfalls nicht untersucht wurden netzbasierte Lösungen da es sich hier überwiegend um Bestände in weniger dicht besiedelten Gebieten handelt. Jedoch kann auch dies für einige Kommunen eine attraktive Lösung sein.

Die grundsätzliche Problemlage entspricht in den Untersuchungsregionen denen **in anderen Regionen**, insbesondere jeweils in schrumpfenden und wachsenden. Allerdings gibt es insbesondere zu westdeutschen Beständen Unterschiede, was die Verteilung der Gebäudeprototypen betrifft. Auch unterscheidet sich der Sanierungszustand der Gebäude und ist in den untersuchten Regionen eher besser – ohne dass allerdings die Verbräuche entsprechend geringer wären. Von daher ist unklar, inwiefern die Potenziale dort höher sind. Trotz dieser Unterschiede ist jedoch davon auszugehen, dass die grundsätzlichen Aussagen zu den Bezugsgrößen von Klimaschutzzielen sowie der Wirkung unterschiedlicher Szenarien ebenso wie die Differenzen zwischen schrumpfenden und wachsenden Regionen grundsätzlich übertragbar sind, da diese weniger auf den Spezifika der betrachteten Gebäudebeständen beruhen. Die höchste Übertragbarkeit besteht dabei auf andere ostdeutsche Regionen. Unterschiede gibt es jedoch was die vorhandenen EE-Potenziale angeht ebenso wie beispielsweise den Anteil denkmalgeschützter Gebäude. Für die Entwicklung regionaler Strategien sind diese Aspekte wichtig, ebenso wie die Frage, welche Teilbestände jeweils besonders relevant sind.

5.2 Politische Handlungsempfehlungen

Kommunen und Regionen können und müssen zu **wichtigen Akteuren der Wärmewende** werden. Sie beeinflussen, ob es vor Ort förderliche oder hemmende Bedingungen für die energetische Sanierung gibt. In kommunalen und regionalen Klimaschutzkonzepten sollten Ziele für die energetische Sanierung des Gebäudebestands verankert werden und Maßnahmen entwickelt, die die privaten Eigentümer/innen dabei unterstützen, ihr Gebäude energetisch fit zu machen. In den **Untersuchungsregionen** wird der wichtige Bereich der privaten Einzeleigentümer/innen bisher jedoch kaum adressiert. Wie die Workshops in den Regionen ergeben haben, gibt es bisher kaum Ansprechpartner und Konzepte, wie die privaten Eigentümer/innen erreicht werden können. In den regionalen Klimaschutz- und Energiekonzepten wird zwar die Zielgruppe der Haushalte als Handlungsfeld angesprochen, die Handlungsmöglichkeiten werden aber als sehr begrenzt wahrgenommen (z.B. RPG LS, S. 280). Insgesamt liegt sowohl bei den kommunalen als auch regionalen Klimaschutzkonzepten bei der Umsetzung der Schwerpunkt in der Regel auf der erneuerbaren Stromerzeugung sowie den kommunalen Liegenschaften.

Kommunen und Regionen haben **verschiedene Möglichkeiten**, wie sie Eigentümer/innen bei der Entscheidung für eine energetische Sanierung unterstützen können. Besonders wichtig sind dabei Informations- und Beratungsangebote sowie die Unterstützung der Finanzierung. Um entsprechende Angebote zu bündeln und vor Ort sichtbar zu machen, ist es wichtig, regionale Träger etwa in Form von Energieagenturen zu schaffen. Darüber hinaus ist es förderlich, wenn auf regionaler Ebene konkrete Ziele benannt werden und den Eigentümer/innen veranschaulicht wird, was die Gebäude-Energiewende für ihr

Haus bedeutet, zum Beispiel durch Demonstrationsprojekte. Nachfolgend werden diese unterschiedlichen Maßnahmen genauer dargestellt.

Die Ergebnisse zeigen, dass die bisherigen Sanierungsaktivitäten selbst bei hohen Sanierungsraten und –niveaus nicht ausreichen, um die **Klimaschutzziele** zu erreichen. Denn was bisher weitgehend fehlt, ist der Wechsel zu erneuerbaren Energien. Deshalb reicht ein weiter so nicht aus. Insbesondere um Klimaschutzmaßnahmen auch kosteneffizient umzusetzen ist es wichtig, dass die Gebäude planvoll saniert werden. Hierzu ist eine gute Beratung und klare Ziele wichtig. Dabei sind auch andere Sanierungsmotive zu berücksichtigen, die ggf. dazu führen, dass andere Maßnahmenkombinationen präferiert werden. Darüber hinaus ist es hierfür aber auch notwendig zu klären, welche Zielwerte anvisiert werden. Dies ist weder in Bezug auf einzelne Gebäudetypen noch auf Teilbestände geklärt. Dadurch fehlt den Eigentümer/innen, aber beispielsweise auch Berater/innen, das notwendige Orientierungswissen für die zukünftige Gestaltung ihrer Gebäude. Zudem fehlen entsprechende anschauliche Beispiele, die aufzeigen, was die Gebäude-Energiewende konkret für einzelne Gebäude bedeutet und wie diese umgesetzt werden kann. Der im Vorhaben entwickelte Sanierungs-Check sowie die auf dieser Basis gebildeten Steckbriefe können eine Orientierung bieten, welches Zielniveau mit welchen Maßnahmenkombinationen kostengünstig erreichbar ist (siehe Ansorge und Streblov 2017).

Bisher nicht geklärt ist ebenfalls, welchen Beitrag einzelne Regionen leisten können und wollen. Die Betrachtung von einer **wachsenden und einer schrumpfenden Region** zeigt, dass je nach Verteilungsschlüssel die eine oder die andere Region vor besonderen Herausforderungen beim Erreichen der Klimaschutzziele steht. Dementsprechend gilt es zu klären, welche Bezugsgröße bei den Zielen zu wählen ist – geht es um Ziele pro Einwohner/in, je Wohnfläche oder aber werden diese mit einem festen Verteilungsschlüssel auf die Regionen und Kommunen verteilt? Diese Frage gilt es für die Ausgestaltung regionaler Zielwerte zu klären. Die Diskussionen unter anderem im Rahmen der regionalen Workshops des Vorhabens haben gezeigt, dass sich in wachsenden und schrumpfenden Regionen die Diskurse unterscheiden, in die das Thema energetische Gebäudesanierung eingebettet ist. In schrumpfenden Regionen ist ein zentrales Thema das fehlende Budget, und zwar nicht nur in Bezug auf die Eigentümer/innen, sondern insbesondere auch bei Regionen und Kommunen. Diese sind vielfach mit sinkenden Einnahmen konfrontiert und müssen dennoch häufig Infrastrukturen aufrecht erhalten, die für höhere Bevölkerungszahlen ausgelegt sind. Zudem ist in diesen Regionen die Frage relevant, welche Gebäudeteilbestände je nach Zustand und Lage zukünftig noch Bestand haben wird und wo ein Rückgang zu erwarten ist – und inwiefern sich dies planen und gestalten lässt. In der wachsenden Region zeigt sich dagegen, dass die Frage von ausreichender Bereitstellung von (kostengünstigem) Wohnraum, die steigenden Immobilienpreise und Mieten sowie das Thema Nachverdichtung eine größere Rolle spielen. Vor diesem Hintergrund haben beide Regionen spezifischen Herausforderungen, vor deren Hintergrund die Ziele und Maßnahmen diskutiert werden müssen.

Im Hinblick auf die Ziele ist auch zu klären, welche **Zielgrößen** adressiert werden sollen. Die Ergebnisse der Szenarien zeigen, dass bei sinkenden direkten Emissionen die indirekten Emissionen zunehmend an Bedeutung gewinnen. Deshalb stellt sich die Frage, ob die Einsparung von Primärenergie die richtige Bezugsgröße für mittel- bis langfristige Ziele ist. Oder ob stattdessen nicht die CO₂-Einsparungen unter Berücksichtigung der indirekten Effekte durch Herstellung, Transport, etc. nicht die richtige Zielgröße aus Klimaschutzsicht sein sollte.

Jenseits der Klärung von Zielen können auch auf Ebene der Regionen und Kommunen die zentralen Sanierungshemmnisse adressiert werden. Für viele Eigentümerinnen und Eigentümern sind fehlende Kenntnisse über die Effekte energetischer Sanierungen, den Zustand des eigenen Gebäudes, sowie das Fehlen von adäquaten Informationen bzw. unzureichendes Wissen wichtige Hemmnisse dar (Weiß et al. 2011; Gossen und Nischan 2015). Um diese Hemmnisse abzubauen sollten Kommunen und Regionen

gezielt **Informations- und Beratungsangebote** ausbauen und sichtbar machen sowie Netzwerke initiieren. Dies sind vergleichsweise wenig kostenintensive Maßnahmen, die aber große Wirkung erzielen können. Beispiele für solche Maßnahmen sind das Bauzentrum mit Beratungsangeboten in München, der Bauraum als Teil eines Modernisierungsnetzwerks sowie regionale Sanierungsnetzwerke in Bremen, oder aufsuchende Beratung in einzelnen Quartieren (z.B. Energiekarawane im Rhein-Neckar-Gebiet). Aufsuchende Beratungen können selbstnutzende Eigentümerinnen und Eigentümer sensibilisieren, denn diese unterschätzen häufig die Potenziale zur Reduktion ihres Energieverbrauchs. Ein weiterer Ansatz stellt die gezielte Ansprache von Eigentümer/innen dar, die die Bestandsgebäude erben oder kaufen. Dieser Ansatz wurde beispielsweise durch den „Wegweise Hauskauf“ verfolgt. Aufgrund der unterschiedlichen Ausgangslage der Eigentümer/innen sind insgesamt passförmige Instrumente für unterschiedliche Zielgruppen wichtig. Umfassende und kompetente Beratung gewinnt bei der Frage nach einer kosteneffizienten Zielerreichung sogar noch an Bedeutung. Hier setzt als neues Instrument auf Bundesebene der gebäudeindividuelle Sanierungsfahrplan an, der über die Bafa gefördert wird. Noch offen ist, ob dieses Angebot eine hohe Nachfrage erzielen kann.

Teilweise ist bei den Gebäudeeigentümer/innen auch einfach das Interesse am Thema gering, so dass auch **Motivationskampagnen und -maßnahmen** wichtig sein können. Diese sollten mit anderen Motiven zur energetischen Sanierung verknüpft sein und auch zielgruppenspezifische Motivlagen berücksichtigen.

Um die vorhandenen Angebote vor Ort sichtbar zu machen und zu bündeln ist der Aufbau regionaler Träger beispielsweise in Form von **Energie- und Klimaschutzagenturen** wichtig. In den Untersuchungsregionen sind bisher vor allem die kommunalen Klimaschutzmanager – wo sie vorhanden sind – Ansprechpartner. Diese sind jedoch mit der Aufgabe der direkten Ansprache und Beratung von Hauseigentümer/innen überfordert und teilweise dafür auch nicht ausgebildet, wie sich in den regionalen Workshops gezeigt hat. Darüber hinaus gehende, regionale Strukturen scheitern bisher auch an der Finanzierung – auch da das Thema Klimaschutz häufig nicht als Kernaufgabe angesehen wird. Für einen flächendeckenderen Ausbau von neutralen, kompetenten Ansprechpartnern und „Kümmerern“ ist deshalb möglicherweise eine Finanzierung durch Bund oder Länder notwendig.

Da die **Finanzierung** ein zentrales Hemmnis darstellt, sollten die auf Bundesebene existierenden Förderangebote auf kommunaler Ebene bekannter und gut zugänglich gemacht werden. Darüber hinaus können auf kommunaler und regionaler Ebene auch spezifische Förderungen die bundesweiten Angebote ergänzen. So gibt es beispielsweise Gemeinden, die gezielt den Einsatz ökologischer Dämmstoffe fördern (Beispiele Düsseldorf, Hamburg, Hannover, München, Münster). Darüber hinaus gilt es gerade die Finanzierung von Maßnahmen bei einkommensschwachen Haushalten zu ermöglichen. Hierfür reichen Förderprogramme nicht aus, bei denen nur ein geringer Teil der Kosten übernommen wird: Selbst bei einem Zuschuss von etwa zwanzig Prozent steigen die finanziellen Mittel von Haushalten mit geringen bis mittleren Einkommen nicht ausreichend an, um umfassende Sanierungen durchführen zu können. Gleichzeitig kommt für diese Haushalte aus unterschiedlichen Gründen die Aufnahme eines Kredits häufig nicht in Frage. Gefragt sind deshalb hier neue Finanzierungsmodelle wie regionale Energieeffizienzfonds oder Contracting-Angebote. Diese können regional angesiedelt sein, darüber hinaus ist dies jedoch auch ein Thema für die Bundesebene.

Zur Erreichung der Klimaschutzziele spielt insgesamt auch die **Bundesebene** eine zentrale Rolle. Die Ergebnisse zeigen, dass aufgrund der geringen Energiepreise von Öl und Gas energetische Sanierungen sowie ein Umstieg auf die aus Klimaschutzsicht häufig besseren Wärmepumpen finanziell bisher häufig nicht vorteilhaft ist. Neben der Förderung von Forschung- und Entwicklung, die zu einer Senkung der Kosten beitragen kann, hat der Staat auch durch die Verteilung von Steuern und Abgaben einen großen Einfluss auf die Preisgestaltung. Um im Wärmebereich den Umstieg auf erneuerbare Energien zu schaffen, wäre es sinnvoll, diese Getaltungsmöglichkeiten gezielt zugunsten der klimafreundlicheren Energieträger zu nutzen.

Dadurch käme es allerdings zunächst zu einer Verschärfung der Situation der Haushalte mit geringen Einkommen, da der Umstieg gleichzeitig mit hohen Investitionskosten verbunden ist. Damit diese Bevölkerungsgruppen von der Energiewende nicht abgehängt werden und um die Klimaschutzziele zu erreichen, ist deshalb die Frage der Finanzierung energetischer Sanierungen durch Haushalte mit geringen Einkommen von großer Bedeutung. Hier greifen die bisherigen Angebote zu kurz, da diese zumindest Einzelmaßnahmen nur mit geringen Zuschüssen refinanzieren – oder Kredite anbieten, die für diese Haushalte wenig attraktiv oder nicht zugänglich sind. Neue Unterstützungsmodelle, die beispielsweise über die eingesparten Energiekosten finanziert werden oder aber das Ansparen von Geld für energetische Sanierungen unterstützen sind deshalb notwendig. Die in den bundesweiten Kampagnen häufig festzustellende starke Verknüpfung von Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit greift zu kurz und läuft Gefahr, dass aufgrund der Erwartung von einer schnellen Refinanzierung der Maßnahmen dann solche mit längeren Amortiationszeiten oder solche, die sich nicht rentieren, unattraktiv erscheinen. Andere Zugänge um weniger motivierte Eigentümer/innen zu adressieren sind darüber hinaus finanzielle Anreize und das Ordnungsrecht.

6 Literaturverzeichnis

- Ansorge, Katrin und Rita Streblov (2017): Gebäudesteckbriefe, Gebäude-Energiewende. Arbeitspapier 8. Gebäude-Energiewende. Berlin: Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW).
- BMUB (2014): Informationspapier: Aktionsprogramm Klimaschutz 2020. http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Aktionsprogramm_Klimaschutz/aktionsprogramm_klimaschutz_2020_hintergrund_bf.pdf.
- BMWi, Hrsg. (2010): Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung. https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/E/energiekonzept-2010.pdf?__blob=publicationFile&v=3.
- BMWi, Hrsg. (2015): Energieeffizienzstrategie Gebäude. Wege zu einem nahezu klimaneutralen Gebäudebestand. 18. November. https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/energieeffizienzstrategie-gebäude.pdf?__blob=publicationFile&v=23.
- Bürger, Veit, Tilman Hesse, Dietlinde Quack, Andreas Palzer, Benjamin Köhler, Sebastian Herkel und Peter Engelmann (2016): Klimaneutraler Gebäudebestand 2050. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Dessau-Roßlau: Öko-Institut, Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/climate_change_06_2016_klimaneutraler_gebaeudebestand_2050.pdf.
- Diefenbach, Nikolaus, Holger Chischinsky, Markus Rodenfels und Klaus-Dieter Clausnitzer (2010): Datenbasis Gebäudebestand. Datenerhebung zur energetischen Qualität und zu den Modernisierungstrends im deutschen Wohngebäudebestand. Endbericht. Darmstadt: Institut für Wohnen und Umwelt, Bremer Energie Institut (BEI).
- Dunkelberg, Elisa und Julika Weiß (2015): Energetischer Zustand von Wohngebäuden in zwei Regionen mit unterschiedlicher Wachstumsdynamik. Gebäudeeigenschaften, Sanierungszustand und Energieverbrauch von Wohngebäuden in den Regionen Lausitz-Spreewald und Potsdam/Potsdam-Mittelmark. Gebäude-Energiewende Arbeitspapier 3. Berlin: Institut für ökologische Wirtschaftsforschung.
- Dunkelberg, Elisa und Julika Weiß (2016): Ökologische Bewertung energetischer Sanierungsoptionen. Arbeitsbericht/Forschungsbericht. Berlin: Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW). https://www.ioew.de/fileadmin/user_upload/DOKUMENTE/Publikationen/Dunkelberg__Wei%C3%9F_%C3%96kologische_Bewertung_energetischer_Sanierungsoptionen.pdf.
- Fritsche, Uwe und Hans-Werner Greß (2015): Development of the Primary Energy Factor of Electricity Generation in the EU-28 from 2010-2013. Darmstadt: Prepared by IINAS for the European Heat Pump Association (EHPA). http://www.iinas.org/tl_files/iinas/downloads/GEMIS/2015_PEF_EU-28_Electricity_2010-2013.pdf.
- Gossen, Maike und Carolin Nischan (2015): Regionale Differenzen in der Wahrnehmung energetischer Sanierungen. Ergebnisse einer qualitativen Befragung von Gebäude-eigentümerInnen zu energetischer Sanierung in zwei unterschiedlichen Regionen. Gebäude-Energiewende Arbeitspapier 4. Berlin: Institut für Ökologische Wirtschaftsforschung.
- Großmann, Doreen (2015): Soziodemografische Untersuchung von zwei Regionen mit unterschiedlicher Wachstumsdynamik. Charakterisierung der Regionen sowie von selbstnutzenden Ein- und Zweifamilienhaus-Eigentümer-Haushalten am Beispiel der Regionen Lausitz-Spreewald und Potsdam / Potsdam-Mittelmark. Gebäude-Energiewende Arbeitspapier 2. Senftenberg.
- Großmann, Doreen (2017): Energetische Sanierungsrücklage. Abschätzung der zukünftigen Investitionshöhen für energetische Sanierungsmaßnahmen in Deutschland, Brandenburg und zwei

Regionen mit unterschiedlicher Wachstumsdynamik. Arbeitspapier 6. Gebäude-Energiewende. Senftenberg.

Henning, Hans-Martin (2013): Energiewende im Wärmemarkt: Perspektiven 2050 des Wärmeverbrauchs und der Erneuerbaren Energien - Überblick über Szenarien und Ergebnisse. BMU Fachtagung. 24. Juni, Berlin.

Hirschl, Bernd, Katharina Heinbach, Andreas Prah, Steven Salecki, André Schröder, Astrid Aretz und Julika Weiß (2015): Wertschöpfung durch Erneuerbare Energien. Ermittlung der Effekte auf Länder- und Bundesebene. *Schriftenreihe des IÖW* 210.
https://www.ioew.de/fileadmin/user_upload/BILDER_und_Downloaddateien/Publikationen/Schriftenreihe/IOEW_SR_210_Wertsch%C3%B6pfung_durch_erneuerbare_Energien_auf_Landes-_und_Bundesebene.pdf.

Höhne, Niklas, Takeshi Kuramochi, Sebastian Sterl und Lina Röschl (2016): Was bedeutet das Pariser Abkommen für den Klimaschutz in Deutschland. NewClimate Institute im Auftrag von Greenpeace.
https://newclimateinstitute.files.wordpress.com/2016/02/160222_klimaschutz_paris_studie_02_2016_fin_neu1.pdf.

Jahnke, Katy (2013): co2online Gebäudedaten. Auswertungen und Nutzen für die Forschung und Praxis.

Jochum, Patrick, Peter Mellwig, Funda Bülbül, Martin Pehnt, Lars Brischke, Mathias Jarling und Mario Kelavic (2012): Technische Restriktionen bei der energetischen Modernisierung von Bestandsgebäuden. Endbericht. Heidelberg, Berlin: Beuth Hochschule für Technik Berlin, ifeu.
https://prof.beuth-hochschule.de/fileadmin/user/jochum/Downloads/Endbericht_Daemmrestriktionen.pdf.

Kunz, Claudia und Sven Kirrmann (2015): Die neue Stromwelt. Szenario eines 100% erneuerbaren Stromversorgungssystems. Agentur für Erneuerbare Energien. <http://www.unendlich-viel-energie.de/mediathek/studien/die-neue-stromwelt-szenario-eines-100prozent-erneuerbaren-stromversorgungssystems>.

Loga, Tobias und Ulrich Imkeller-Benjes (1997): Energiepaß Heizung/Warmwasser - Energetische Qualität von Baukörper und Heizungssysteme. Darmstadt: IWU - Institut Umwelt und Wohnen.

Ministerium für Wirtschaft und Europaangelegenheiten (2012): Energiestrategie 2020 des Landes Brandenburg. Potsdam: Ministerium für Wirtschaft und Europaangelegenheiten des Landes Brandenburg - Referat Energiepolitik und -wirtschaft.
http://www.energie.brandenburg.de/media/bb1.a.2865.de/Energiestrategie_2030.pdf.

Moshövel, Janina, Dirk Magnor, Dirk Uwe Sauer, Swantje Gährs, Mark Bost, Bernd Hirschl, Moritz Cramer, Baris Özalay, Claas Matrose, Christoph Müller, et al. (2015): Analyse des wirtschaftlichen, technischen und ökologischen Nutzens von PV-Speichern. Gemeinsamer Ergebnisbericht für das Projekt PV-Nutzen. Institut für Stromrichtertechnik und Elektrische Antriebe (ISEA), RWTH Aachen; Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW); Institut für Hochspannungstechnik (IFHT), RWTH Aachen.

Plenz, Maik (2016): Potenzialanalyse Überschussstrom für P2H und P2G. Arbeitspapier. Gebäude-Energiewende. Senftenberg.

Regionale Planungsgemeinschaft Havelland-Fläming (2013): Integriertes regionales Energie- und Klimaschutzkonzept. Teltow: Ernst Basler + Partner GmbH.

Regionale Planungsgemeinschaft Lausitz-Spreewald (2013): Regionales Energiekonzept für die Region Lausitz-Spreewald. Endbericht. Cottbus.

Renner, Alexander und Christian Ahrens (2013): Maßnahmen zur Umsetzung der Ziele des Energiekonzepts im Gebäudebereich – Zielerreichungsszenario –. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Straßenentwicklung (BMVBS).

http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BMVBS/Online/2013/DL_ON032013.pdf?__blob=publicationFile&v=5.

- Repenning, Julia, Lukas Emele, Ruth Blanck, Günter Dehoust, Hannah Förster, Benjamin Greiner, Ralph Harthan, Klaus Henneberg, Hauke Hermann, Wolfram Jörß, et al. (2015): KLimaschutzszenario 2050. Zusammenfassung des 2. Endberichts. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Berlin: Öko-Institut e.V. und Fraunhofer ISI. <https://www.oeko.de/oekodoc/2441/2015-598-de.pdf>.
- Salecki, Steven (2017): Regionalökonomische Bewertung energetischer Gebäudesanierung - Wertschöpfung und Beschäftigung in den Regionen Lausitz-Spreewald und Potsdam / Potsdam-Mittelmark. Arbeitspapier 10. Gebäude-Energiewende. Berlin: Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW).
- Schlesinger, Michael, Dietmar Lindenberger und Christian Lutz (2014a): Entwicklung der Energiemärkte – Energierferenzprognose. Endbericht. Basel, Köln, Osnabrück: Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie.
- Schlesinger, Michael, Dietmar Lindenberger und Christian Lutz [00002] (2014b): Entwicklung der Energiemärkte - Energierferenzprognose. Basel/Köln/Osnabrück: Prognos AG, Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln (EWI) und Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforshung mbH (GWS) im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi). <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Publikationen/entwicklung-der-energiemaerkte-energierferenzprognose-endbericht,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf>.
- Shell und BDH [00000] (2013): Klimaschutz im Wohnungssektor - wie heizen wir morgen? (Fakten, Trends und Perspektiven für Heiztechniken bis 2030). Hamburg, Köln. <http://s08.static-shell.com/content/dam/shell-new/local/country/deu/downloads/pdf/comms-shell-bdh-heating-study-2013.pdf>.
- Statistisches Bundesamt (2011): Zensus 2011. Gebäude und Wohnungen sowie Wohnverhältnisse der Haushalte. Wiesbaden.
- UBA [Umweltbundesamt] (2012): Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger. Durch Einsatz erneuerbarer Energien vermiedene Emissionen im Jahr 2011. Aktualisierte Anhänge 2 und 4 der Veröffentlichung „Climate Change 12/2009“.
- Vohrer, Philipp, Jörg Mühlenhoff, Alena Müller und Clemens Nawroth (2013): Erneuerbare Wärme. Klimafreundlich, wirtschaftlich, technisch ausgereift. Berlin: Agentur für Erneuerbare Energien e. V.
- Weiß, Julika, Immanuel Stieß und Stefan Zundel (2011): Motive und Hemmnisse für eine energetische Sanierung von Eigenheimen. In: *Wesen und Wege nachhaltigen Konsums. Ergebnisse aus dem Themenschwerpunkt "Vom Wissen zum Handeln – Neue Wege zum nachhaltigen Konsum"*, S. 181–196. München: Oekom.

7 Anhang

7.1 Daten zum Gebäudebestand

Tab. 7.1: Verteilung der Heizungstechnologien / Energieträger nach Prototypen

Erläuterungen: GP = Gebäudeprototyp, FW = Fernwärme, EE = Erneuerbare Energien

Quelle: Die Werte wurden basierend auf einem Datensatz der co2online GmbH sowie statistischer Daten, die im Rahmen des Zensus erhoben wurden, abgeleitet (s. Kapitel 2.1)

| Prototypen | Erdgas | Öl | FW | EE |
|------------|--------|-----|-------|------|
| GP 1 | 61% | 37% | 0,0% | 1,6% |
| GP 2 | 66% | 31% | 2,3% | 0,6% |
| GP 3 | 48% | 51% | 0,8% | 0,3% |
| GP 4 | 78% | 20% | 1,2% | 0,2% |
| GP 5 | 83% | 8% | 8,5% | 0,3% |
| GP 6 | 80% | 10% | 9,8% | 0,0% |
| GP 7 | 77% | | 23,1% | 0,0% |

Tab. 7.2: Baulicher und energetischer Zustand verschiedener Bauteile der Prototypen

Quelle: Die Werte wurden basierend auf einem Datensatz der co2online GmbH sowie einer spezifischen Auswertung der Datenbasis Gebäudebestand des IWU berechnet und abgeleitet (s. Kapitel 2.1)

| Bauteil | Zustand | GP 1 | GP 2 | GP 3 | GP 4 | GP 5 | GP 6 | GP 7 |
|-----------|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| Außenwand | ungedämmt, Hemmnisse | 10% | 15% | 5% | 0% | 0% | 35% | 0% |
| | ungedämmt | 59% | 56% | 66% | 39% | 16% | 42% | 18% |
| | gedämmt | 31% | 29% | 29% | 61% | 84% | 23% | 82% |
| Dach | beheizt | 42% | 47% | 51% | 73% | 75% | 47% | 56% |
| | unbeheizt | 58% | 53% | 49% | 27% | 25% | 53% | 44% |
| | ungedämmt | 46% | 39% | 46% | 0% | 0% | 42% | 0% |
| Keller | gedämmt | 54% | 61% | 54% | 100% | 100% | 58% | 100% |
| | ungedämmt | 93% | 90% | 91% | 16% | 19% | 79% | 0% |
| Fenster | gedämmt | 7% | 10% | 9% | 84% | 81% | 21% | 100% |
| | Original | 5% | 5% | 50% | 100% | 100% | 10% | 100% |
| | ausgetauscht | 95% | 95% | 50% | 0% | 0% | 90% | 0% |

www.gebaeude-energiewende.de

