



Sachstand: 08.07.2022

**Gutachten zur Bewertung der Potentiale des Liegenschaftsbestands  
des Landesbetriebs LBB als Teil der klimaneutralen Landesverwaltung  
2030**





## Inhalt

<b>A Einleitung</b>	<b>5</b>
A.1 Anlass der Gutachtenerstellung .....	5
A.2 Gesetze und Vorgaben auf Landesebene .....	5
A.3 Vorgaben und Maßnahmen auf LBB-Ebene .....	6
A.4 Das Immobilienportfolio im wirtschaftlichen Eigentum des LBB.....	10
<b>B Vorgehen</b>	<b>12</b>
B.1 Ziel des Gutachtens .....	12
B.2 Bilanzraum und Gliederung des Portfolios .....	12
B.3 Meilensteinjahre der Betrachtung .....	15
B.4 Methodik und Inhalte .....	15
<b>C Einordnung der Potentiale und Handlungsfelder</b>	<b>17</b>
C.1 Potentiale organisatorischer Art.....	17
C.1.1 Prüfung und Optimierung von Verfahren .....	17
C.1.2 Systematische Inbetriebnahme und Technisches Monitoring.....	17
C.1.3 Gebäudebetrieb .....	18
C.1.4 Nutzereinbindung.....	19
C.1.5 Nachhaltiges Flächenmanagement und Suffizienz .....	19
C.1.6 Energiebeschaffung, Energieversorgung und Eigenenergieerzeugung.....	20
C.2 Potentiale baulicher und technischer Art .....	26
<b>D Bestandsanalyse des Gebäudeportfolios</b>	<b>30</b>
D.1 Datengrundlage und Datenstandardisierung .....	30
D.2 Auswertung nach Potentialbereichen .....	32
D.2.1 Clusterung nach baulichen Optimierungspotentialen (Energieabnahme).....	32
D.2.2 Clusterung nach technischen Optimierungspotentialen (Wärmeversorgung)	38
D.3 Zusammenfassung grundlegender Erkenntnisse.....	42
<b>E Entwicklungsszenarien für das Gebäudeportfolio</b>	<b>45</b>
E.1 Festlegung der Grundlagen für alle Szenarien.....	45
E.1.1 Sanierungstiefe und Einsparpotentiale .....	45
E.1.2 Aufbau des Berechnungsmodells .....	47
E.1.3 Unterschiede minimales und maximales Sanierungsszenario .....	49
E.1.4 Übersicht Optimierungsmaßnahmen .....	50

<b>E.2</b>	<b>Auswertung</b> .....	<b>52</b>
E.2.1	Vergleich maximales und minimales Entwicklungsszenario .....	52
E.2.2	Erreichung der Klimaneutralität bis 2045 .....	62
E.2.3	Vergleich Einsparungen je BWZK-Gruppe.....	64
E.2.4	Vergleich THG-Reduktionen je Optimierungsmaßnahme .....	67
<b>E.3</b>	<b>Potentialbewertung und Sensitivitätsanalysen</b> .....	<b>69</b>
E.3.1	Organisatorische Potentiale .....	69
E.3.2	Bauliches Potential Sanierungsrate .....	73
E.3.3	Bauliches Potential Sanierungstiefe.....	76
E.3.4	Technisches Potential Wärmenetze.....	80
E.3.5	Technisches Potential Wärmeezeuger .....	82
<b>E.4</b>	<b>Wirtschaftliche Analyse der Szenarien</b> .....	<b>84</b>
E.4.1	Grundlagen der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung .....	84
E.4.2	Wirtschaftliche Auswertung der Szenarien .....	85
E.4.3	THG-Vermeidungskosten.....	90
<b>E.5</b>	<b>Zusammenfassung der Szenarien-Auswertung</b> .....	<b>91</b>
 <b>F Handlungsempfehlungen</b>		<b>96</b>
<b>F.1</b>	<b>Organisatorische Handlungsempfehlungen</b> .....	<b>96</b>
<b>F.2</b>	<b>Bauliche Handlungsempfehlungen</b> .....	<b>99</b>
<b>F.3</b>	<b>Technische Handlungsempfehlungen</b> .....	<b>102</b>
<b>F.4</b>	<b>Sofortprogramme für Maßnahmen mit sofortigen Einsparungen</b> .....	<b>106</b>
<b>F.5</b>	<b>Zusammenfassung der Handlungsempfehlungen</b> .....	<b>108</b>
 <b>G Fazit</b>		<b>110</b>
 <b>H Anlagen</b>		<b>112</b>
<b>H.1</b>	<b>Begriffsdefinitionen</b> .....	<b>112</b>
<b>H.2</b>	<b>Anlage 01: Grundlagen Berechnungsmodell</b> .....	<b>113</b>
<b>H.3</b>	<b>Anlage 02: Einsparungspotentiale je BWZK-Gruppe</b> .....	<b>113</b>
<b>H.4</b>	<b>Anlage 03: Grundlagen Wirtschaftlichkeitsanalyse</b> .....	<b>113</b>
<b>H.5</b>	<b>Anlage 04: Übersicht Szenarienergebnisse</b> .....	<b>113</b>

## A Einleitung

### A.1 Anlass der Gutachtenerstellung

Das Klimaschutzgesetz des Landes Rheinland-Pfalz sieht für das Jahr 2030 die Klimaneutralität der Landesverwaltung vor. Die Startbilanz „Klimaneutrale Landesverwaltung“ zeigt, dass über 80 % der klimarelevanten Emissionen der Landesverwaltung dem Wärme- und Stromverbrauch der Liegenschaften und der Nutzer zuzuordnen sind. Hier liegen erhebliche Minderungspotentiale von Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen, ausgewiesen im CO<sub>2</sub>-Äquivalent [CO<sub>2</sub>e]).

Um die Potentiale des Gebäudebestands im wirtschaftlichen Eigentum des Landesbetriebes Liegenschafts- und Baubetreuung (LBB) an der Reduktion der THG-Emissionen genauer zu bestimmen, sieht der Koalitionsvertrag 2021<sup>1</sup> der Landesregierung eine externe Begutachtung (S.127) vor.

Das vorliegende Gutachten beinhaltet eine Gliederung und Bewertung der Liegenschaften des LBB, auf deren Basis eine Analyse der Potentiale, der Maßnahmen und Prioritäten sowie der zu erwarteten Kosten auf dem Weg zur Klimaneutralität aufgezeigt werden. Dabei werden die THG-Emissionen und Kosten in verschiedenen Sanierungsszenarien bewertet. Anhand dieser Analysen werden Empfehlungen für Maßnahmen als Grundlage für die Strategie und die schrittweise Verstärkung der Sanierungen der Landesliegenschaften unter der Vereinbarung von Klimaneutralität und wirtschaftlichen Aspekten gegeben.

### A.2 Gesetze und Vorgaben auf Landesebene

Neben der Gesetzgebung auf Bundesebene (u.a. Klimaschutzgesetz, Gebäudeenergiegesetz) konkretisieren Landesgesetzgebung, Landesrichtlinien, ministerielle Erlasse (z.B. Einführung von AMEV<sup>2</sup> Empfehlungen im Land) und Selbstverpflichtungen die Vorbildfunktion der öffentlichen Hand zur Weiterentwicklung des Portfolios des LBB auf dem Weg zur Klimaneutralität:

**Landesklimaschutzgesetz<sup>2</sup>:** Die Landesregierung Rheinland-Pfalz unterstützt das von der im Paris Agreement von der Weltstaatengemeinschaft festgelegte Klimaziel, die globale durch den menschlichen Klimawandel verursachte Erderwärmung auf unter zwei Grad bzw. möglichst auf 1,5 Grad zu beschränken, welches durch die Bundesregierung ratifiziert worden ist. Das Landesklimaschutzgesetz (LKSG) von Rheinland-Pfalz, das am 23. August 2014 in Kraft getreten ist, sieht die Vorbildfunktion der öffentlichen Hand im Hinblick auf den notwendigen Klimaschutz und ein ambitionierteres Vorgehen vor. Ziel ist, sich bis zum Jahr 2030 in ihrer Gesamtbilanz klimaneutral zu organisieren (§9 Landesklimaschutzgesetz).

---

<sup>1</sup> Zukunftsvertrag, Rheinland-Pfalz – 2021 bis 2026, Koalition des Aufbruchs und der Zukunftschancen, S.127

<sup>2</sup> Landesgesetz zur Förderung des Klimaschutzes (Landesklimaschutzgesetz - LKSG) vom 19. August 2014

**Startbilanz 2018 zum Erreichen einer klimaneutralen Landesverwaltung RLP bis 2030<sup>3</sup>:** Um zielgerichtete Maßnahmen auf dem Weg zur klimaneutralen Landesverwaltung zu planen und umzusetzen, ist die Erhebung des Ist-Standes der THG-Emissionen der Landesverwaltung, inklusive der nachgeordneten Landesbehörden und -betriebe sowie der Hochschulen und Universitäten, der Ausgangspunkt. Das Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie und Mobilität (MKUEM) wurde von der Interministeriellen Arbeitsgruppe „Klimaschutz“ im Mai 2020 mit der Erstellung eines entsprechenden Konzepts beauftragt. Die Erstellung der Startbilanz (Veröffentlichung Januar 2022) erfolgte parallel zur Erstellung des vorliegenden Gutachtens.

**Der Leitfaden zur Erreichung einer klimaneutralen Landesverwaltung für RLP von Januar 2022<sup>4</sup>** soll als Arbeitshilfe alle Dienststellen der Landesverwaltung auf dem Weg zur Klimaneutralität unterstützen. Als zentrale Handlungsfelder werden Gebäude, Mobilität, Beschaffung und Querschnittsfelder identifiziert.

**Koalitionsvertrag 2021:** Im staatlichen Hochbau soll die eingeschlagene Strategie des Landesbetriebs LBB für Nachhaltigkeit und Klimaneutralität im Landesbau weiter konsequent fortgesetzt und ausgebaut werden. Bei der Kalkulation von Bauprojekten im Hochbau des Landes wird ein CO<sub>2</sub>-Schattenpreis in Höhe von 180 Euro pro Tonne<sup>1</sup> zugrunde gelegt, um eine Entscheidungshilfe für die Investitionen zu geben.

### A.3 Vorgaben und Maßnahmen auf LBB-Ebene

**Richtlinie für die Durchführung von Liegenschafts- und Bauaufgaben des Landes RLP (RLBau):** Ziel der „Richtlinie für die Durchführung von Liegenschafts- und Bauaufgaben des Landes Rheinland-Pfalz“ (RLBau, Ausgabe 2021) ist es, eine wirtschaftliche, nachhaltige und effiziente Aufgabenerledigung unter Beachtung der Grundsätze der Landeshaushaltsordnung (LHO) über den gesamten Lebenszyklus der Liegenschaften im landeseigenen Immobilienbestand sicherzustellen.

Mit der RLBau bekennt sich das Land Rheinland-Pfalz zu einer wirtschaftlich nachhaltigen, an ökologischen Grundsätzen orientierten und klimabewussten Wahrnehmung der Immobilien- und Bauaufgaben, mit der auch Ziele wie Barrierefreiheit, Energieoptimierung und Bewahrung historischen Kulturguts einhergehen.

Konkret regelt die RLBau im Wesentlichen den Haushaltsvollzug, die Prüfung und Genehmigung, sowie die Planung und Durchführung von Baumaßnahmen des Landes sowie Maßnahmen des Betriebs und der Verwaltung von Landesliegenschaften. Gleichzeitig beinhaltet sie Hinweise zur Organisation und zum Aufbau der Bau- und Liegenschaftsverwaltung in Rheinland-Pfalz. In den Grundlagen der Bau- und Immobilienaufgaben wird die hohe Bedeutung des Klimaschutzes und der Verpflichtung der öffentlichen Hand zum vorbildlichen Handeln in RLP festgeschrieben und die Forderungen zu nachhaltigem und klimagerechtem Bauen und Betreiben konkretisiert.

---

<sup>3</sup> Abschlussbericht zur Startbilanz 2018 verbunden mit Konzeptvorschlägen zum Erreichen einer klimaneutralen Landesverwaltung Rheinland-Pfalz bis 2030 für das Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie und Mobilität; Rheinland-Pfalz von FutureCamp Climate GmbH, 05.01.2022

<sup>4</sup> Leitfaden zur Erreichung einer klimaneutralen Landesverwaltung für Rheinland-Pfalz, Mainz, 18.01.2022, Energieagentur Rheinland-Pfalz GmbH und Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie und Mobilität

- **Verfahren:** Die RL Bau konkretisiert als Verwaltungsvorschrift (VV) die Aufgaben- und Zuständigkeitsverteilung, Verfahrensabläufe und die damit einhergehende Verantwortung der Beteiligten für die ordnungsgemäße Erfüllung der durchzuführenden Maßnahmen. Damit wird ein strukturiertes, zielgerichtetes und einheitliches Verwaltungshandeln bezweckt. Abschnitt C6 RL Bau eröffnet grundsätzlich Instrumente der vergaberechtlichen Optimierung, um funktionsorientierte Aufgabenstellungen mit innovativen, umweltbezogenen Aspekten bei komplexen Baumaßnahmen zügiger und einfacher zu bewältigen.
- **Immobilienaufgaben und Flächenmanagement:** Die Wahrnehmung von Immobilienaufgaben bedeutet Beschaffung, Instandhaltung und Verwertung der baulichen Infrastruktur für die Landesbehörden sowohl nach finanzwirtschaftlichen Grundsätzen als auch unter dem Gesichtspunkt der Nachhaltigkeit. Dem Landesbetrieb LBB obliegt die Deckung des Raum- und Flächenbedarfs der Landesbehörden nach den Grundsätzen der Wirtschaftlichkeit und Sparsamkeit durch Bau, Kauf oder Miete im Rahmen eines zentralen Flächenmanagements. Er entwickelt, verwaltet und verwertet die ihm ins wirtschaftliche Eigentum übertragenen Gebäude und Liegenschaften.
- **Gebäudebetrieb:** Die Betriebsführung ist Aufgabe des Betreibers, in der Regel der hausverwaltenden Dienststelle, soweit keine anderslautende Vereinbarung getroffen wurde. Dieser trägt die Verantwortung dafür, dass die betriebstechnischen Anlagen nach den Grundsätzen der Sicherheit, der technischen Zuverlässigkeit, der Wirtschaftlichkeit und der sparsamen Energieverwendung betrieben werden. Bevor betriebstechnische Anlagen verändert werden, ist das Einvernehmen mit dem Landesbetrieb LBB herzustellen.  
Die Betriebsüberwachung wird vom Landesbetrieb LBB wahrgenommen mit Ausnahme der Universitäten Mainz, Kaiserslautern und Trier.

#### **Ministerratsvorlage Klimaschutzmaßnahmen in Landesliegenschaften, April 2020:**

Um die Vorbildfunktion im Klimaschutz der Landesliegenschaften zu verstärken und das Ziel der klimaneutralen Landesverwaltung 2030 zu erreichen, wurde eine umfassende Bandbreite von Maßnahmen auf der Basis der bisherigen Nachhaltigkeits- und Energieeffizienzstrategie des Landesbetriebs LBB beschlossen. Als Kernpunkte werden unter anderem genannt:

- Weiterführung landesinterne Richtlinie („Klimaneutrale Landesgebäude - Richtlinie für Neubau und energetische Gebäudesanierung“) bei Festlegung erhöhter Standards für Neubau und Sanierung bei Bewertung der Wirtschaftlichkeit über den Lebenszyklus
- Verstärktes Nachhaltiges Bauen u. a. durch Planung von Neubauten mit dem Ziel der BNB Zertifizierung in „Gold“
- Weiterführung des Ausbaus regenerativer Energien und Einsatz von Kraft-Wärme-Kopplung
- Nachwachsende und recycelbare Baustoffe und Vermeidung klimaschädlicher Produkte
- Optimierte Vertragsgestaltung und zentrale Ausschreibung von Energielieferanten- sowie Inspektions- und Wartungsleistungen

**LBB Energieeffizienzstrategie:** Die nachhaltige Beachtung von ökologischen und ökonomischen Aspekten bei der Entwicklung von Bauvorhaben ist ein wichtiges Unternehmensziel des Landesbetriebs LBB, sowohl in Hinblick auf den Klimawandel als auch auf langfristig günstige Betriebskosten. Das vorliegende Gutachten soll zur Weiterentwicklung dieser Strategie und zur Zusammenführung der Bereiche Energieeffizienz und Nachhaltigkeit zu einer Klimaschutzstrategie beitragen. Die Energieeffizienzstrategie des Landesbetriebs LBB wird zentral entwickelt und gesteuert, die Umsetzung erfolgt in den Niederlassungen und in spezialisierten Arbeitsbereichen, wie beispielsweise dem Competence Center Energiemanagement oder der Leitstelle für Regenerative Energien.

Der Landesbetrieb LBB verfolgt das Ziel des energieeffizienten Bauens seit 2006 erfolgreich mit einer eigenen Energiestrategie, die auf den folgenden fünf Säulen gründet:

#### 1. **LBB-Richtlinie „Klimaneutrale Landesgebäude“<sup>5</sup>**

Mit seiner Richtlinie „Energieeffizientes Bauen und Sanieren“ sorgt der Landesbetrieb LBB seit 2006 konsequent für hohe energetische Qualitäten, indem bei Neubau und in der Bestandssanierung die eigenen energetischen Ziele über die gesetzlichen Anforderungen der Energieeinsparverordnung (EnEV) hinaus deutlich höher angesetzt wurden. Im Rahmen der Vorgaben der Ministerratsvorlage wurde diese zur „Richtlinie „Klimaneutrale Landesgebäude“ erweitert.

Wie schon die vorherigen Versionen von Richtlinien zum energieeffizienten Bauen im Landesbetrieb Liegenschafts- und Baubetreuung (LBB) definiert auch die neueste Richtlinie „Klimaneutrale Landesgebäude“ von Mai 2021 einen energetischen Baustandard über die gesetzlichen Anforderungen hinaus, mit dem Ziel neue und auch bestehende Gebäude des LBB in Richtung Klimaneutralität auszurichten. Zusätzlich zu den bisherigen Ansätzen sollen jetzt auch die Emissionen von Treibhausgasen (THG), welche sich aus dem Gebäudebetrieb ergeben minimiert bzw. kompensiert werden. Dabei soll die Wirtschaftlichkeit des Gesamtobjektes, über den Lebenszyklus berechnet, weiterhin gegeben sein.

Die Anforderungen an das Gebäude werden nochmals deutlich erhöht, sodass jetzt bei Neubauten der Primärenergiebedarf auf 40 % gegenüber des Referenzgebäudes begrenzt ist. Bei Sanierungen wird ein Wert von 55 % angestrebt. Grundsätzlich soll in allen Fällen die Verwendung von regenerativen Energieträgern zur Erzeugung von Wärme und Kälte die fossilen Energieträger verdrängen. Das Ziel ist mindestens 75 % regenerative Energieträger für die Gebäudeversorgung einzusetzen. Außerdem ist ein Konzept zur systematischen Inbetriebnahme und für technisches Monitoring zu erstellen.

Nachgewiesen und dokumentiert werden die hohen Anforderungen des Planungs- und Bauprozesses mit Zertifizierungswerkzeugen, wie dem Passivhaus-Projektierungspaket (PHPP) und dem Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB). In zukünftigen Richtlinien wird neben der weiteren Erhöhung der technischen Qualität auch der Betriebsaspekt unter Berücksichtigung von Bilanzräumen über den Bereich des reinen Gebäudes (Nutzerausstattung und Quartiersebene) hinweg eine Rolle spielen.

---

<sup>5</sup> Klimaneutrale Landesgebäude, Richtlinie für Neubau und energetische Gebäudesanierung, Landesbetrieb Liegenschafts- und Baubetreuung Rheinland-Pfalz, Mai 2021

## 2. Einsatz von regenerativen Energieträgern und Kraft-Wärme-Kopplung

Ausbau von PV-Anlagen (IST 01/2022: 64 Anlagen) im Bereich Strom, Biomasse (27 Anlagen), Solar- und Geothermie (20 bzw. 6 Anlagen) und Kraft-Wärme-Kopplung (40 Anlagen) im Bereich der Wärmeversorgung.

## 3. Optimierter Gebäudebetrieb

Koordinierung und Durchführung von Maßnahmen im Bereich Contracting (aktuell HS Koblenz und Uni Koblenz in Zusammenarbeit mit der dena), Optimierungen im Bestand (Projekt zum Austausch von Heizungspumpen) und im Aufbau Controlling (Einbindung der Liegenschaften/hausverwaltenden Dienststellen in die Controlling-Software Interwatt).

## 4. Vertragsmanagement

Um bei den Verbrauchsmedien Strom und Wärme THG-Emissionen einzusparen, wird seit 2002 der Strombezug in regelmäßigem Turnus öffentlich ausgeschrieben (Seit 2010: Anforderung Ökostrom). Ab dem Jahr 2006 wurden auch für die Energieträger Erdgas und Biomasse (Holzhackschnitzel und Holzpellets) ökologische Kriterien mit aufgenommen. Im Jahr 2012 wurde die Energiebeschaffung für nahezu alle Liegenschaften durch zentrale öffentliche Ausschreibungen organisiert. Seit 2010 wird für alle Landesliegenschaften und fast alle Hochschulen Ökostrom ausgeschrieben. Als Großabnehmer verhandeln insbesondere die JGU Mainz, die TU Kaiserslautern und die Universität Trier ihre Energieverträge selbstständig.

## 5. Energiemonitoring, Energiecontrolling und Jahresenergiebericht

Seit dem Berichtsjahr 2002 veröffentlicht der LBB einen Energiebericht mit wesentlichen Daten zu Verbräuchen, Kosten und den THG-Emissionen im CO<sub>2</sub>-Äquivalent der Liegenschaften in Landesnutzung im wirtschaftlichen Eigentum des LBB. Der aktuelle Bericht ist über die Webpräsenz des LBB abrufbar.

Durch die langjährige kontinuierliche Umsetzung der Energieeffizienzstrategie des Landesbetriebs LBB konnten bei den Liegenschaften mit klassischer Landesnutzung (Definition s.u.) in den Jahren von 2002 bis 2017 die THG-Emissionen im Wärmebereich um etwa ein Drittel gesenkt werden.

**Lebenszykluskostenberechnung und Ökobilanzierung mit NUKOSI:** Im Rahmen des Forschungsprojektes „Nutzen-Kostenberechnung und -Simulation von Ökonomie und Ökologie (NUKOSI)“ wurde gemeinsam mit der Hochschule Mainz eine Datenbankanwendung zur bauteilorientierten Berechnung von Lebenszykluskosten sowie Ökobilanzierung entwickelt. Das Tool beruht auf den Kostenplanungsverfahren „RBK“ („Richtlinien für die Baukostenplanung“) und „PLAKODA“ („Planungs- und Kostendaten“). Angefangen bei der Ermittlung der wirtschaftlichsten Variante zur Bedarfsdeckung, über eine planungsbegleitende Optimierung von Entwurfs- und Bauteilvarianten, bis hin zu portfoliostrategischen Investitionsanalysen deckt das Tool den kompletten Lebenszyklus einer Immobilie ab und ist eine Grundlage für Investitionsentscheidungen in Rheinland-Pfalz.

**Anwendung des Bewertungssystems Nachhaltiges Bauen:** Die Grundsätze des Nachhaltigen Bauens bei allen Landesbaumaßnahmen sind zu berücksichtigen. Gemäß RL Bau ist bei großen Neubaumaßnahmen des Landes eine Zertifizierung gemäß dem Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen des Bundes (BNB) unter anwendungsspezifischen Aspekten vorhandener BNB-Systemvarianten mit dem Ziel des Gütesiegels „Gold“ zu erfolgen. Für Baumaßnahmen, die nicht dem Anwendungsbereich mindestens eines

eingeführten BNB-Moduls unterliegen, gilt eine sinngemäße Anwendung des BNB gemäß dem „Leitfaden Nachhaltiges Bauen“ des Bundes.

Die Anwendung und das Einsteuern projektspezifischer Nachhaltigkeitsstandards in die Landesbauprojekte wird über die seit 2016 eingerichtete Leitstelle Nachhaltiges Bauen in der LBB Zentrale in Mainz sichergestellt. Ein Competence Center Nachhaltiges Bauen mit den Arbeitsschwerpunkten Fachberatung und Wissenstransfer, Unterstützung der Planer im Projekt und Nachhaltigkeit in Planungswettbewerben, sowie perspektivisch die Zertifizierungen befindet sich im Aufbau.

Durch Akkreditierung des Systemträgers Bund ist eine Leitstelle Nachhaltigkeit und als Konformitätsprüfstelle (KPSt Land) BNB-Zertifizierungen für Landesbaumaßnahmen eingesetzt.

Insgesamt konnten die in über 20 Jahren umgesetzten Maßnahmen und Strategien im Liegenschaftsbestand des LBB, einen wichtigen Beitrag zur Steigerung der Energieeffizienz der Gebäude und zur Reduktion der THG-Emissionen leisten: von 2002 bis 2017 fand eine Reduktion der flächenspezifischen jährlichen CO<sub>2</sub>e Emissionen um ca. 21% für den Bereich LBB Liegenschaften ohne Hochschulen und in der Zeit von 2007 – 2017 für den Bereich Hochschule um ca. 5% statt<sup>6</sup>. Neben bewährten Instrumenten wie der „Richtlinie für klimaneutrale Landesgebäude“ wurden in den letzten Jahren auch Strategien zu Betrachtungen im Lebenszyklus sowie Nachhaltigkeitszertifizierungen ausgebaut. Auf Basis dieser bereits bestehenden Strukturen kann nun eine schrittweise Steigerung der Sanierungstätigkeit erfolgen.

#### **A.4 Das Immobilienportfolio im wirtschaftlichen Eigentum des LBB**

Der Eigentümer der Immobilien ist das Land Rheinland-Pfalz. Die Gesamtverantwortung für die Liegenschaftsverwaltung der Landesbehörden und -institutionen sowie für den Staatsbau des Landes obliegt dem für Landesbau und Landesliegenschaften zuständigen Ministerium als oberste staatliche Baubehörde. Das Ministerium der Finanzen ist gemäß der Anordnung über die Geschäftsverteilung der Landesregierung Rheinland-Pfalz für den staatlichen Hochbau zuständig.

Die Landesliegenschaften mit klassischer Landesnutzung wurden dem Landesbetrieb LBB mit Gründung 1998 in das wirtschaftliche Eigentum übertragen<sup>7</sup>, die Justizvollzugsanstalten in 2002 und die Hochschulen im Jahr 2007. Der staatliche Hochbau, also die Planung, Ausführung und Betreuung der Baumaßnahmen, werden gemäß RL Bau grundsätzlich vom Landesbetrieb LBB wahrgenommen. Der Landesbetrieb LBB untersteht als rechtlich unselbstständiges Organ der Landesverwaltung der Dienst- und Fachaufsicht des für Landesbau und Landesliegenschaften zuständigen Ministeriums als oberster Landesbehörde. Die Dienst- und Fachaufsicht über die regionalen Dienststellen (Niederlassungen) und anderen Organisationseinheiten des Landesbetriebs LBB werden von der Zentrale des Landesbetriebs LBB wahrgenommen. Der Landesbetrieb LBB ist zweckge-

---

<sup>6</sup> Energiebericht Landesbetrieb Liegenschafts- und Baubetreuung 2019, Landesbetrieb Liegenschafts- und Baubetreuung Rheinland-Pfalz, Juli 2019

<sup>7</sup> Organisationsverordnung für den Landesbetrieb Liegenschafts- und Baubetreuung letzte Änderung 22.03.2022 (MinBl. 2022, S.46)

bunden zuständig für die Beschaffung, Instandhaltung und Verwertung der Liegenschaften für die Landesverwaltung nach finanzwirtschaftlichen Grundsätzen und die Erfüllung der Bauaufgaben des Landes. Er hat als wirtschaftlicher Eigentümer die damit verbundenen Rechte und Pflichten wahrzunehmen.

Die nutzende Dienststelle tritt in der Regel als Betreiber auf. Beim Landesbetrieb LBB verbleibt die Aufsichts- und Kontrollpflicht. Die Verantwortung für die bauliche Sicherheit verbleibt in jedem Fall beim Landesbetrieb LBB. Auch die Wahrnehmung von Immobilienaufgaben gemäß RLBau finden nach finanzwirtschaftlichen Grundsätzen und auch unter dem Gesichtspunkt der Nachhaltigkeit statt. Dem Landesbetrieb LBB obliegt die Deckung des Raum- und Flächenbedarfs der Landesbehörden nach den Grundsätzen der Wirtschaftlichkeit und Sparsamkeit durch Bau, Kauf oder Miete im Rahmen eines zentralen Flächenmanagements. Er entwickelt, verwaltet und verwertet die ihm ins wirtschaftliche Eigentum übertragenen Gebäude und Liegenschaften.

Besondere Eigenschaften Landesliegenschaften:

- Landesliegenschaften seit 1998, Justizvollzugsanstalten seit 2002
- Klassische Behördengebäude mit Verwaltungsnutzung
- Spezialimmobilien (Polizei, Landesuntersuchungsämter)
- Einzelgebäude in Alleinlage (Forstämter) bis große Liegenschaften (Justizvollzug)
- Hoher Anteil Baudenkmal
- Viele Liegenschaften stadtbildprägend

Besondere Eigenschaften Hochschulen

- Hochschulen, seit 2007
- große und zum Teil hochtechnisierte Liegenschaften
- Notwendigkeit aktuelle Forschungsstandards zu integrieren
- Funktionale Besonderheiten erschweren Sanierungsvorhaben

Hinweise und Rahmenbedingungen

- Bei vielen Liegenschaften (Polizei, JVA, Justiz aber auch Hochschule) ist die Funktionalität zur Aufgabenerfüllung unbedingt immer sicherzustellen, was Baumaßnahmen oder Interimslösungen erschwert.
- Vereinen der Ziele: Standsicherheit, Brandschutz, Barrierefreiheit, Arbeitsschutz, Funktionalität, Sicherheit, Denkmalpflege, Energieverbrauch, Wirtschaftlichkeit, Klima- und Umweltschutz

## **B Vorgehen**

### **B.1 Ziel des Gutachtens**

Als zukünftige Entscheidungsgrundlage für die Weiterentwicklung des Immobilienportfolios des LBB werden nicht nur Baukosten und Wirtschaftlichkeit im engeren Sinne, sondern auch Klimaneutralität und Nachhaltigkeit und somit ökonomische und ökologische Ziele als Leitmotiv berücksichtigt. Der Ermittlung und Bewertung von nachhaltigen Maßnahmen, die auf das Portfolio des LBB abgestimmt den Weg zur Klimaneutralität weisen, kommen damit eine große Bedeutung zu.

Eine Analyse des Gebäudebestands durch Clusterbildung (unter anderem auf der Basis der Gebäudenutzung) soll die baulichen Potentiale der Reduktion von Energie und damit auch von THG-Emissionen aufzeigen. Zur Bestimmung der Potentiale der Emissionsreduktion auf Portfolioebenen und der damit verbundenen Kosten werden Entwicklungsszenarien mit unterschiedlichen Ansätzen zu sowohl baulichen Aspekten wie Qualität und Umfang von Sanierungsmaßnahmen und technischen Aspekten, sowie auch zur Dekarbonisierung der Wärmeversorgung und zum Ausbau regenerativer Energien untersucht. Zusätzlich sollen Sensitivitätsanalysen der relevanten Parameter weitere Erkenntnisse zu Wirksamkeit von Maßnahmen liefern.

Die strategischen Erkenntnisse der Analyse der Entwicklungsszenarien sollen konkrete organisatorische, bauliche und technische Handlungsempfehlungen ermöglichen, auf deren Grundlage in weiteren Schritten Maßnahmen identifiziert werden können, um die Reduktionspotentiale zu erreichen. Mit diesen Ergebnissen soll das Gutachten als Entscheidungshilfe bei der Weiterentwicklung der Klimaschutzstrategie der Landesregierung im Gebäudesektor dienen.

In der Klimaschutzstrategie der Landesregierung muss der Abgleich mit den darstellbaren finanziellen und personellen Möglichkeiten, sowie den Marktressourcen der Planungs- und Bauwirtschaft erfolgen. Dieser Abgleich ist nicht Bestandteil des vorliegenden Gutachtens.

### **B.2 Bilanzraum und Gliederung des Portfolios**

Der LBB betreut und optimiert nach betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten ein Immobilienportfolio, das den größten Teil der Landesliegenschaften umfasst. Das Gutachten sieht eine Gliederung und Bewertung der Liegenschaften des LBB mit Unterscheidung der Immobilien nach Nutzungsart in Landesliegenschaften mit typischer Nutzung der Landesverwaltung und Hochschulen vor.

Der Bilanzraum in der Betrachtung gliedert sich in die Teilbereiche Landesliegenschaften ohne Hochschulen (im Nachfolgenden immer als „Landesliegenschaften o. HS“ bezeichnet) und Hochschulen und Universitäten (im Nachfolgenden immer als „Hochschulen u. Univ.“ bezeichnet) mit folgendem Umfang an Liegenschaften und Gebäuden:

- a) Landesliegenschaften o. HS mit typischer Nutzung der Landesverwaltung:
- z.B. Behördenhäuser, Polizei, Gerichte, Justizvollzug, Landesuntersuchungsämter
  - 341 Liegenschaften
  - mit 1041 Gebäuden
- b) Hochschulen u. Univ.
- z.B. TU Kaiserslautern, Johannes-Gutenberg-Universität Mainz (JGU Mainz)
  - 23 Liegenschaften
  - mit 335 Gebäuden

In der Bestandsanalyse wird des Weiteren eine Clusterung nach Nutzungsart gemäß Bauwerkszuordnungskatalog vorgenommen sowie nach Wärmeversorgung und Bauzeitalter weiter differenziert.

In den Bilanzraum des hier vorliegenden Gutachtens gehen nur Flächen ein, welche sich im wirtschaftlichen Eigentum des LBB befinden und eine Landesnutzung haben. Ausgeschlossen werden an Dritte vermietete Flächen in LBB Eigentum, die nicht als Teil der Landesverwaltung genutzt werden. Die Startbilanz „Klimaneutrale Landesverwaltung“<sup>3</sup> bezieht alle Gebäude ein, die als Teil der Landesverwaltung genutzt werden, dazu gehören auch Gebäude im Sondereigentum des Landes (z.B. Immobilienbestand Landesforsten) und von Dritten angemietete Flächen.



Abbildung 1: Schematische Darstellung der Bilanzräume des Gutachtens und der Startbilanz

### Abgrenzung Energiebericht 2019

Gegenüber dem Energiebericht 2019<sup>8</sup> sind folgende Unterschiede für den Bilanzraum und der Bilanzierung festzuhalten:

---

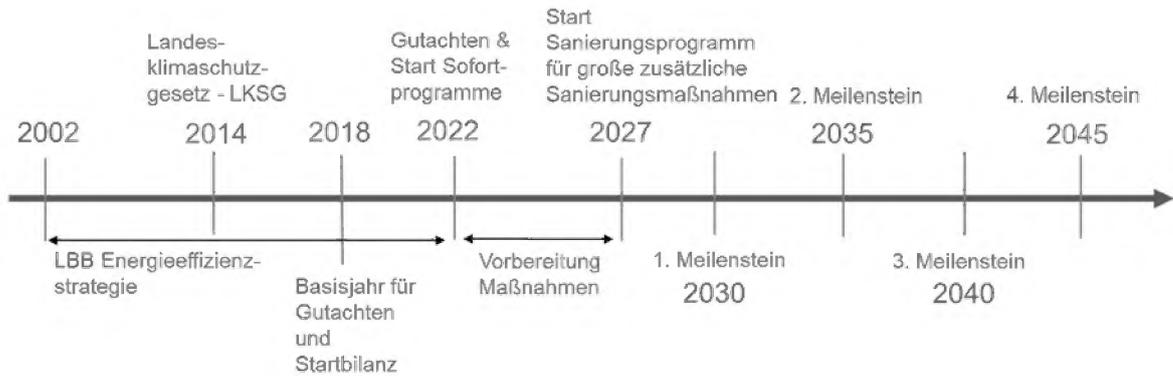
<sup>8</sup> Energiebericht 2019, Landesbetrieb Liegenschafts- und Baubetreuung Rheinland-Pfalz, Juli 2019

- Im Energieberichtswesen des LBB werden mit dem Basisjahr 2002 Aussagen zu Verbräuchen und Kosten der Landesliegenschaften o. HS (Liegenschaften mit Nutzung Landesverwaltung) und der Hochschulen u. Univ. im wirtschaftlichen Eigentum des LBB auf der Basis der Versorgerabrechnungen und damit auf Liegenschaftsebene getroffen. Die Daten des Berichtsjahres 2018 wurden sowohl für den Beitrag des LBB für die Startbilanz zur „Klimaneutralen Landesverwaltung“ als auch für das vorliegende Gutachten als Grundlage verwendet.
- Im Energiebericht wird eine Klimabereinigung der Wärmeverbräuche durchgeführt und für einige Angaben und Vergleichsgrafiken über mehrere Jahre verwendet, auch für die Darstellung der THG-Emissionen. Für Gutachten und Startbilanz wurde der Energieverbrauch gemäß Versorgerabrechnung ohne Klimabereinigung verwendet.
- Auch im Energiebericht werden nur Liegenschaften berücksichtigt, welche sich im wirtschaftlichen Eigentum des LBB befinden und eine Landesnutzung haben. Nicht berücksichtigt werden angemietete Flächen in Landesnutzung und an Dritte vermietete Flächen in LBB Eigentum, die nicht als Teil der Landesverwaltung genutzt werden. Unbeheizte Gebäude werden im Energiebericht nicht betrachtet, im vorliegenden Gutachten erfolgt eine Teilbetrachtung im Bereich Strom.
- Im Energiebericht wurde seit dem Berichtsjahr 2002 eine Bilanzierung der THG-Emissionen im CO<sub>2</sub>-Äquivalent auf der Basis der Emissionsfaktoren der GEMIS-Datenbank mit konstantem Faktor für Strom (Basisjahr 2002) und positiver bilanzieller Anrechnung der PV-Erträge durchgeführt. Die Bilanzmethode wird für die Folgeberichte an die Startbilanz „Klimaneutrale Landesverwaltung“ angepasst.

Für das vorliegende Gutachten werden die Vorgaben der Bilanzierung der THG-Emissionen des Gebäudeenergiegesetzes (GEG 2020) verwendet. Der Strombezug wird im Gegensatz zum Energiebericht mit dem deutschen Strommix 2018 gerechnet, BHKW-Strom wird nach der Stromgutschriftmethode mit dem Verdrängungsstrommix-Emissionsfaktor zugunsten der Emissionen der erzeugten Wärme gutgeschrieben.

### B.3 Meilensteinjahre der Betrachtung

Das Gutachten nimmt Bezug auf das Klimaschutzgesetz Rheinland-Pfalz<sup>9</sup>, in dem bis zum Jahr 2050 die Klimaneutralität des Landes angestrebt wird. Gemäß der Gesetzesnovelle des Bundes-Klimaschutzgesetzes von August 2021<sup>10</sup>, in der die Treibhausgasneutralität bis 2045 verankert ist, wird der Betrachtungszeitraum in den Modellberechnungen der Entwicklungsszenarien verkürzt und an 2045 geknüpft.



Das Klimaschutzgesetz Rheinland-Pfalz setzt sich außerdem im Sinn der Vorbildfunktion der öffentlichen Stellen zum Ziel, Behörden, Hochschulen und sonstige Landeseinrichtungen in der Gesamtbilanz bis zum Jahr 2030 klimaneutral zu organisieren. Daraus abgeleitet wird als weiterer Meilenstein der Modellbetrachtung das Jahr 2030 festgelegt.

### B.4 Methodik und Inhalte

Ausgehend von der Zielstellung einen möglichst treibhausgasneutralen Gebäudebestand der Landesverwaltung für 2030 zu erreichen, werden Handlungsfelder und Einflussbereiche zur Reduktion von Treibhausgasemissionen erörtert (Kapitel C Einordnung der Potentiale und Handlungsfelder).

Für den Status quo des Gebäudeportfolios wird das Jahr 2018 und dessen nicht klimabereinigte Verbrauchsdaten sowie die daraus abgeleiteten Treibhausgasemissionen herangezogen. Die auf den Daten aufbauende Bestandsanalyse gliedert das Portfolio nach Clustern und zukünftigen Transformationsfeldern (Kapitel D Bestandsanalyse des Gebäudeportfolios).

Aufbauend darauf werden für verschiedene Entwicklungsszenarien Variablen bestimmt und Parameter festgelegt. Minimalszenario und Maximalszenario unterscheiden sich u.a. in unterschiedlichen Sanierungsraten, unterschiedlichen Sanierungstiefen sowie der Wahl der Wärmeerzeuger (s. Anlage 01). Als Grundlage der gewählten energetischen Sanierungstiefen und Einsparungspotentiale werden die im Referenzprojekt Teilstrategie Bauen

<sup>9</sup> Landesgesetz zur Förderung des Klimaschutzes (Landesklimaschutzgesetz - LKSG-) vom 19. August 2014

<sup>10</sup> Erstes Gesetz zur Änderung des Bundes-Klimaschutzgesetzes vom 18. August 2021

und Bewirtschaften des Gebäudemanagements Schleswig-Holstein<sup>11</sup> erhobenen Kennwerte herangezogen. Die Kennwerte wurden im Projekt auf Grundlage von 102 ausgewählten Gebäuden mit der Software-Anwendung TEK-Tool des Instituts für Wohnen und Umwelt ermittelt. Die festgelegten Parameter bilden die Grundlage (Kapitel E Entwicklungsszenarien für das Gebäudeportfolio) der daran anschließenden Szenarienberechnungen und Auswertungen mit Sensitivitätsanalysen. Weiterhin werden die organisatorischen Potentiale Flächenreduktion sowie Sofortprogramm „Betriebsoptimierung und Erzeugerwechsel“ näher untersucht.

Unter Berücksichtigung der Bestandsanalyse sowie der Bewertung der Potentialanalyse und Interpretation der Entwicklungsszenarien werden schließlich Handlungsempfehlungen (Kapitel F) abgeleitet.

---

<sup>11</sup> Teilstrategie 2019 / 2020 Bauen und Bewirtschaften von Landesliegenschaften, der Strategie zum Erreichen der Klimaschutzziele der Landesverwaltung, Gebäudemanagement Schleswig-Holstein 2019/2020

## **C Einordnung der Potentiale und Handlungsfelder**

### **C.1 Potentiale organisatorischer Art**

Aufgrund der sehr dynamischen Entwicklung der politischen Zielsetzungen sowie der gesetzlichen Rahmenbedingungen ist eine stetige Bewertung des Status quo und eine Anpassung von Verfahren und organisatorischen Abläufen erforderlich.

Die Integration der Aspekte von Nachhaltigkeit und Klimaschutz erfordern ein Überdenken und eine genaue Prüfung von sowohl Bauverfahren als auch internen Handlungsabläufen.

Neben einer Sensibilisierung und der Verpflichtung zur Umsetzung der Projektziele durch alle Beteiligte – das sind neben dem Landesbetrieb LBB das für Landesbau und Landesliegenschaften zuständige Ministerium der Finanzen sowie die Ressorts und Nutzer - sind die Schnittstellen- und Zuständigkeitsdefinitionen wichtig.

Um die internen Prozesse der Verwaltung in Richtung Treibhausgasneutralität zu beschleunigen, müssen die Zuständigkeiten und Beteiligungen bestimmt sowie die Abläufe und Entscheidungsregeln bei Zielkonflikten festgelegt werden.

Neben der Ressourcenausstattung bedarf es ebenso einer klaren Zuordnung von Aufgaben, Verantwortung und Kompetenzen sowie einem lückenlosen Informationsfluss über alle Hierarchieebenen hinweg.

#### **C.1.1 Prüfung und Optimierung von Verfahren**

Die Berücksichtigung von Klimaschutzzielen sollte zum integralen Bestandteil aller Planungs- und Entscheidungsprozesse über den Lebenszyklus einer Immobilie werden. Den Akteuren müssen abhängig vom Arbeits-, Verantwortungs- und Einflussbereich sowie von der Lebenszyklusphase spezifische Anforderungen, Vorgehensweisen und Hilfsmittel zur Verfügung gestellt werden, um die sich ändernden Aufgaben bewältigen zu können. Es werden handhabbare Lösungen mit einem angemessenen Aufwand an Kosten und Zeit benötigt. In der Konzeption von Sonder- bzw. Sofortbauprogrammen sollten daher die bestehenden Wertgrenzen bei Vergabeverfahren für Planungs- und Bauleistungen geprüft und allenfalls nachjustiert werden. Zudem sollten alternative Genehmigungs- und Veranschlagungsverfahren erhöht werden, um straffere Verfahren zu schaffen. Die RL Bau eröffnet in Abschnitt C6 grundsätzlich Instrumente der vergaberechtlichen Optimierung, welche gezielt eingesetzt werden können, um funktionsorientierte Aufgabenstellungen mit innovativen, umweltbezogenen Aspekten bei komplexen Baumaßnahmen zügiger und einfacher zu bewältigen.

#### **C.1.2 Systematische Inbetriebnahme und Technisches Monitoring**

Gestiegene Nutzeranforderungen, komplexer werdende gesetzliche Rahmenbedingungen und die daraus resultierenden höheren Technisierungsgrade von Gebäuden sind verbunden mit zunehmenden Herausforderungen für einen wirtschaftlichen, funktions- und bedarfsgerechten Betrieb der Gebäude. In der Planungs- und Bauphase müssen dafür die Voraussetzungen geschaffen werden.

Durch die systematische Inbetriebnahme wird ein wichtiger Beitrag zur korrekten Funktionsweise von neuer technischer Gebäudeausrüstung und zum korrekten Betrieb eines

Gebäudes geleistet. Eine systematische Inbetriebnahme stellt zudem die Grundlage für ein Gebäudemonitoring dar und trägt damit, zusammen mit nutzerseitigem qualifizierten Betriebspersonal, entscheidend zu einer langfristig und effizient funktionierenden Haustechnik bei.

Für neu zu errichtende Gebäude und im Rahmen der energetischen Gebäudesanierung oder auch bei der Erneuerung der betriebstechnischen Anlagen im Bestand ist durch den Planer gemäß LBB-Richtlinie (siehe A.3 Vorgaben und Maßnahmen auf LBB-Ebene) ein Konzept zur Erfassung der Energieströme aufzustellen. Die Inbetriebnahme-Leistungen werden durch technisches Monitoring unterstützt. Technisches Monitoring beginnt in der Regel in der Planungsphase und wird bis einschließlich der ersten Gebäude-Nutzungsphase von ca. 2 Jahren im Rahmen der Einregulierung als Bestandteil des Inbetriebnahme-Managements gesehen. Dieses sollte von einem externen Dienstleister durchgeführt werden. Die Fortführung des technischen Monitorings in Form eines angepassten Langzeitmonitoring im Regelbetrieb ist dabei für Neubau als auch Bestandssanierungen ein geeignetes Instrument zur Qualitätssicherung.

Da die Verantwortung für die Betriebsführung in der Regel beim Gebäudenutzer liegt, liegt die Zuständigkeit der Analyse der Energieverbrauchsdaten und die Betreuung des Energiecontrollings-Systems ebenso beim Gebäudenutzer bzw. kann an externe Dienstleister übergeben werden. Die Erkenntnisse aus dem Energiecontrolling sollen für die Betriebsoptimierung genutzt werden. Das Competence Center Energiemanagement kann den Nutzer dabei unterstützen. Der Landesbetrieb LBB nutzt die Erkenntnisse aus dem Gebäudemonitoring auch für die Planung und Optimierung von Sanierungsmaßnahmen im Gebäudebestand.

### **C.1.3 Gebäudebetrieb**

Die Betriebsführung aller LBB Liegenschaften erfolgt durch den Nutzer. Die Betriebsüberwachung wird vom Landesbetrieb LBB wahrgenommen mit Ausnahme der Universitäten Mainz, Kaiserslautern und Trier, die über einschlägig ausgebildetes Fachpersonal zur Wahrnehmung dieser Aufgaben verfügen. Dem begrenzten Einfluss des LBB auf die Betriebsführung der Liegenschaften folgt daher ein nur sehr indirekter Einfluss auf die Reduzierung der nutzungsgebundenen Treibhausgasemissionen.

Je nach Größe und Nutzungsart der Liegenschaften wird der Betrieb über zuständiges internes Personal des Nutzers oder durch externe Betreiber geregelt. Liegenschaften mit externen Betreiberverträgen bilden dabei die Ausnahme. So sind nur für 7 der 365 Landesliegenschaften o. HS externe Unternehmen für technische und infrastrukturelle Dienste eingebunden. Dabei handelt es sich flächenmäßig um etwa 16 % der beheizten Nettogrundfläche. Im Bereich Hochschulen u. Univ. wird der Betrieb einheitlich durch den Nutzer selbst geregelt. Optimierungspotential liegt vorrangig in den Einstellungen der Steuerungs- und Regelanlagen technischer Gebäudeausrüstungen sowie der Sicherstellung eines störungsfreien Betriebes.

Sowohl im Bereich Landesliegenschaften o. HS wie Hochschulen u. Univ. wird gemäß RLBAu geregelt, dass der Nutzer geeignetes und qualifiziertes Personal für den Gebäudebetrieb vorzuhalten hat. Dabei kann diese Verpflichtung des Nutzers nur bedingt durch den LBB überprüft oder beanstandet werden. Die Tätigkeiten der Betriebsüberwachung

haben ihren Focus auf einen wirtschaftlichen Betrieb, die Senkung von THG Emissionen muss auch hier als Ziel weiter in den Vordergrund treten.

Die Potentiale zur Senkung der Treibhausgasemissionen können in der aktuellen Form des Gebäudebetriebs vom LBB nur soweit beeinflusst werden, dass die technischen Grundvoraussetzungen über bauliche Maßnahmen für einen optimalen Betrieb geschaffen werden. Die Verantwortung für den optimalen Betrieb an sich liegt beim Nutzer.

#### **C.1.4 Nutzereinbindung**

Die Reduktion der Treibhausgasemissionen kann nicht nur durch bauliche und organisatorische Maßnahmen erfolgen, sondern ist auch eine gesellschaftliche Aufgabe, welche den Gebäudenutzer betrifft, und somit nur indirekt vom LBB beeinflusst werden kann. Der „Leitfaden zur Erreichung einer Klimaneutralen Landesverwaltung für Rheinland-Pfalz“ des Klimaschutzministeriums soll als Arbeitshilfe für alle Dienststellen der Landesverwaltung dienen und umfasst analog zur Startbilanz die zentralen Handlungsfelder Gebäude, Mobilität, Beschaffung und Querschnittsfelder mit besonderem Augenmerk auf das Nutzerverhalten. Der richtige Umgang mit Arbeitsmitteln und das bewusste Verhalten im Gebäude durch die Nutzer, wie zum Beispiel ein bewusstes Heiz- und Lüftungsverhalten und ein energieeffizienter Umgang mit der Beleuchtung und elektrischen Geräten bestimmen den Energie- und Ressourcenverbrauch wesentlich.

Eine aktive Einbindung der Nutzer kann vor allem durch Information und Motivation erfolgen. Aufklärung zur energiesparenden Gebäudenutzung können durch Schulungen und über Nutzerhandbücher an den Mieter weitergegeben werden. Insbesondere das hohe Potential zur Reduktion des Energieverbrauchs und der Emissionen ist den Gebäudenutzern nicht bewusst. Ebenso sind die Themen CO<sub>2</sub>e-Bepreisung und steigende Energiebezugskosten den Nutzern näher zu bringen, was vor allem über die Führungsebene angestoßen werden muss. Sinnvoll können hier Programme zum Umweltschutz und Ressourcenmanagement sein, wie beispielsweise das Programm „Ökoprofit“ der Stadt Mainz, an dem sich schon viele Teile der Landesverwaltung beteiligt haben, unter anderem zur Zeit der LBB als Landesbetrieb selbst.

Die hausverwaltenden Dienststellen und Ressorts sind an der Umsetzung baulicher Maßnahmen beteiligt und nehmen Einfluss auf den Gebäudebetrieb, indem sie Bedarfe anmelden und ggf. Baumaßnahmen dadurch auslösen.

#### **C.1.5 Nachhaltiges Flächenmanagement und Suffizienz**

Flächenmanagement erfolgt im Landesbetrieb LBB bisher gemäß RL Bau projektbezogen im Einzelfall. So werden die Nutzer punktuell bei der Erstellung der Bedarfe gemäß DIN 18205 unterstützt, im Rahmen der Variantenbetrachtung werden Alternativen untersucht oder an Standorten Unterbringungskonzepte initiiert. Der Klimaschutz und die Erstellung einer THG-Bilanz für die gewünschten Flächen sind bisher nicht Bestandteil der Bedarfsplanung. Gerade hier liegt ein großes Potential mit dem Nutzer gemeinsam ein zukunftsfähiges Konzept für eine klimaneutrale und nutzungsoptimierte Unterbringung zu entwickeln.

Gemäß einer Darstellung von Suffizienz bedeutet diese „... im Sinne starker Nachhaltigkeit ... einerseits zu ermitteln, welche Bedarfe es gibt und andererseits zu definieren, wie

viele Ressourcen für dieses Bedürfnis zur Verfügung stehen.“<sup>12</sup> Vor Beginn des Planungsprozesses stellen sich folgende und miteinander verschränkte Fragen:

- Bedarfsfrage – Wird der Raum wirklich gebraucht bzw. lassen sich durch bessere Organisation andere Lösungen im Sinne der funktionalen und zeitlichen Mehrfachnutzung („Multicodierung“) finden?
- Funktionsfrage – Welche Funktionen können gemeinschaftlich organisiert werden, welche müssen unabweisbar solitär oder individuell organisiert werden?
- Quantitätsfrage – Wieviel Raum ist wirklich erforderlich und wie kann dieser optimal genutzt und gestaltet werden?

Die geplanten Flächen eines Gebäudes müssen errichtet und ausgestattet, gereinigt, konditioniert, bewacht usw. werden. Die dafür notwendige Energie verursacht Kosten und Treibhausgasemissionen. Falls vor der Planung der Flächenbedarf durch geschickte räumliche und organisatorische Disposition reduziert wird, so folgt daraus automatisch eine Reduktion der Energieabnahme und damit der Energiekosten und Treibhausgasemissionen im Gebäudebetrieb. Da in einem solchen Fall unter Umständen weniger oder keine neuen Flächen errichtet werden müssen, sinken auch Errichtungskosten und graue Emissionen. Als Bewertungsmaßstab für eine suffiziente Planung kann der Flächenbedarf pro Nutzer, also z.B. pro Mitarbeiter, dienen. Dabei sind innovative räumliche Konzepte und eine Anpassung der Arbeitsorganisation notwendig. Auch aus der zunehmenden Home-Office-Umstrukturierung und mobilen Arbeitsweisen mit in der Folge nur noch temporärer Nutzung fester Arbeitsplätze stellen neue Herausforderungen an ein wirtschaftliches Flächenmanagement.

### **C.1.6 Energiebeschaffung, Energieversorgung und Eigenenergieerzeugung**

Für die Verbrauchsmedien Strom wird seit 2002 und für Erdgas seit 2006 im LBB für nahezu alle Liegenschaften zentrale öffentliche Ausschreibungen durchgeführt. Die Ausschreibung und Rechnungsprüfung erfolgt über das Energiemanagement mit Ausnahme der Universitäten Mainz, Kaiserlautern und Trier. Ziel der zentralen Beauftragung ist dabei die Wirtschaftlichkeit und das Erzielen von Einsparungen durch günstigere Marktpreise und Netzentgelte. Seit 2010 wird für die durch den LBB ausgeschriebenen Liegenschaften Ökostrom bezogen.

Als Wärmeabnehmer ist der LBB mit über 55 % seiner beheizten Flächen von Gaslieferverträgen abhängig. Für fast 40 % der Flächen wird die Wärmeversorgung über Fernwärmelieferverträge sichergestellt. Gemäß Energiebericht 2019<sup>13</sup> lag der Wärmeverbrauch für das Jahr 2017 für Heizung und Warmwasser bei 322 GWh, aufgeteilt in 185 GWh für Landesliegenschaften o. HS und 137 GWh für Hochschulen u. Univ. sowie der Stromverbrauch bei 187 GWh, aufgeteilt in 75 GWh und 112 GWh. Der LBB kann somit als Großabnehmer bezeichnet werden.

---

<sup>12</sup> Nachhaltiges und suffizientes Bauen in den Städten, Böcker et al, Deutscher Städtetag, Juli 2021

<sup>13</sup> Energiebericht 2019, Landesbetrieb Liegenschafts- und Baubetreuung Rheinland-Pfalz, Juli 2019

Seit Januar 2021 ist nach dem Brennstoffemissionshandelsgesetzes (BEHG) für eine Tonne CO<sub>2</sub> ein **CO<sub>2</sub>-Preis** in Form eines Zertifikates von 25 Euro zu entrichten, wobei dieser jährlich und schrittweise ansteigt und bis 2025 55 Euro pro Tonne CO<sub>2</sub> erreicht. Die Zertifikate müssen dabei von den Unternehmen gekauft werden, welche die Energieträger in den Umlauf bringen. Die Kosten werden an die Endverbraucher in Form einer CO<sub>2</sub>-Steuer im Einkaufspreis weitergegeben. Der CO<sub>2</sub>-Preis beträgt für das Jahr 2022 0,65 Cent pro kWh Erdgas und etwa 1,04 Cent pro kWh Heizöl (brutto). Insofern nicht andere Anteile des zu entrichtenden Gas- oder Ölpreises wie Beschaffung inkl. Vertrieb und Marge oder Netzentgelte, Messung, Entgelt sinken, ist davon auszugehen, dass die Preise für Erdgas und Erdöl, ansteigen. Genauso verhält es sich bei aus fossilen Energieträgern erzeugter Fernwärme. Der Umstieg auf erneuerbare Energien ist bei Betrachtung über den Lebenszyklus neben den ökologischen Zielvorgaben bereits heute eine Frage der Wirtschaftlichkeit.

Gemäß der Richtlinie Klimaneutrale Landesgebäude<sup>14</sup> von Mai 2021 ist bei der Bemessung der Wirtschaftlichkeit von Hochbauprojekten des Landes für die Kalkulation der Baukosten und langjährigen Betriebskosten ein **CO<sub>2</sub>-Schattenpreis** von 180 Euro pro Tonne zugrunde zu legen. Dieser zur Berücksichtigung von Klimafolgeschäden heranzuziehende Preis soll den Umschwung zu erneuerbaren Wärmeversorgern erleichtern und wird im vorliegenden Gutachten als Grundlage für die CO<sub>2</sub>-Bepreisung herangezogen.

### Gasversorgung

Im Jahr 2014 wurde eine Ausschreibung aller Lieferstellen europaweit mit Lieferbeginn 01.01.2015 für 311 Lieferstellen mit einer jährlichen Gasabnahme von 163 Gigawattstunden ausgeschrieben. Im Jahr 2020 erfolgte die aktuelle Ausschreibung mit Ausweitung der Liegenschaften. Im Jahr 2018 wurden ca. 172 GWh Erdgas verbraucht. Bei einem jährlichen mittleren pro Kopf Gasverbrauch von 3.500 kWh entspräche dies dem Verbrauch einer Kleinstadt mit 50.000 Einwohnern.

Langfristig ist die Nutzung des Gasnetzes nur sinnvoll, wenn eine Transformation vom fossilen Erdgasnetz zu einem möglichst klimaneutralen Netz mit **Biomethan, Wasserstoff und daraus hergestelltes synthetisches Methan stattfindet**. So besitzen Erdgasnetze die strategische Kapazität und Flexibilität zur Übertragung, Verteilung und Speicherung im Hinblick auf eine bedarfsgerechte und flexible Sektorenkopplung mit Biomethan und synthetischen erneuerbaren Gasen<sup>15</sup>. Technisch sind die Erdgasnetze in Deutschland noch nicht im Stande vollumfänglich Wasserstoff zu fördern, weshalb eine Methanisierung des Wasserstoffes erforderlich ist. Darüber hinaus konkurriert der Gebäudesektor mit der Industrie und dem Verkehrssektor sowie auch der Energiewirtschaft um die zukünftig überschüssigen verfügbaren Energiemengen an Wasserstoff und Methan aus erneuerbarem Strom (Power-to-Gas).

---

<sup>14</sup> Klimaneutrale Landesgebäude. Richtlinie für Neubau und energetische Gebäudesanierung. Landesbetrieb Liegenschafts- und Baubetreuung Rheinland-Pfalz, Mai 2021

<sup>15</sup> Biomethan in der Wärmewende, dena Analyse, Oktober 2018

**Biogas/Biomethan:** Das Gebäudeenergiegesetz **GEG 2020** stellt Biomethan gegenüber Erdgas besser: Primärenergiefaktor von 0,7 bei Nutzung eines Brennwertkessels und 0,5 bei Verbrennung in einer hocheffizienten KWK-Anlage gegenüber von 1,1 von fossilem Erdgas. Und für gebäudenah erzeugtes und genutztes Biogas/Biomethan gilt ein Wert von 0,3 statt wie früher 0,5. Auch wird definiert, wie hoch der Biomethan-Anteil sein muss, um die Mindestvoraussetzungen für eine 15%ige-Deckung der Heizenergie aus erneuerbaren Energien zu gewährleisten. Dieses gilt beim Einsatz in KWK-Anlagen bei einer 30%igen Beimischung, in Brennwertkesseln bei einer 50%igen Beimischung und in öffentlichen Gebäuden mit Brennwertkessel bei einer 25%igen Beimischung als erfüllt.

**Wasserstoff:** Derzeit dürfen nach dem Regelwerk des Deutschen Vereins des Gas- und Wasserfachs (DVGW) dem Erdgas in Deutschland bis zu zehn Volumenprozent Wasserstoff als zusätzlicher Energieträger beigemischt werden. Höhere Anteile im Netz werden in Pilotprojekten getestet. Die Nationale Wasserstoffstrategie geht für 2030 von einer heimischen Produktion von lediglich 14 TWh erneuerbaren Wasserstoff aus, wobei bis 2030 mit einem Bedarf von 90 bis 110 TWh gerechnet werden kann<sup>16</sup>. Das sind enorme Mengen, welche nur zum kleinsten Teil in Deutschland selbst produziert werden können. Importe aus dem EU-Raum und anderer Weltregionen sind dabei nur sinnvoll, wenn die Energienachfrage potenzieller Exportländer vollständig gedeckt ist und der Export aus den Ländern nicht zu Wasserknappheit oder Landnutzungskonflikte führen<sup>17</sup>. Wasserstoff sollte aus diesem Grund nur dort zum Einsatz kommen, wo keine (direktelektrischen) Alternativen zur Verfügung stehen<sup>18,19</sup>.

**Synthetische Gase:** Genauso wäre es dankbar, dass zukünftig nicht nur Wasserstoff, sondern auch künstlich erzeugtes, grünes Erdgas einen Anteil des Erdgasmix stellt. Nach aktueller Einschätzung ist die Nutzung synthetischer Gase im Gebäudebereich aufgrund kostengünstigerer Alternativen nicht wirtschaftlich. In der Industrie wird es zur Nutzung von synthetischen Gasen kommen, um eine Brennstoffsubstitution bei Hochtemperaturprozessen zu gewährleisten, bei denen eine Elektrifizierung nicht möglich ist<sup>19</sup>.

Aufgrund der aktuell stark ansteigenden Gaspreise, der Versorgungsunsicherheit für Gaslieferungen sowie einer zeitlich noch nicht absehbaren Umstellung des Gasnetzes auf alternative Gase (Biomethan, Wasserstoff, Synthetisches Erdgas) sollte ein schneller Umstieg auf erneuerbare Energieträger erfolgen.

Die Umstellung der gasversorgten Gebäude auf erneuerbare Energien liegt im Einflussbereich des LBB. Ein Ankauf von Biomethan kann als Beimischung zum Erdgas vertraglich geregelt werden, ist aber auch mit höheren Kosten verbunden. Um einen Beitrag zur Energiewende zu leisten, ist von monovalenten gasbetriebenen Wärmeerzeugern abzuse-

---

<sup>16</sup> Die Nationale Wasserstoffstrategie, bmwi, Juni 2020

<sup>17</sup> DIW Berlin: Politikberatung kompakt 166, Am Klimaschutz vorbeigeplant – Klimawirkung, Bedarf und Infrastruktur von Erdgas in Deutschland, April 2021

<sup>18</sup> Wasserstoff sowie wasserstoffbasierte Energieträger und Rohstoffe - Eine Überblicksuntersuchung, Mattes et al., Ökoinstitut, 2020

<sup>19</sup> Roadmap Gas für die Energiewende – Nachhaltiger Klimabeitrag des Gassektors. Climate Change, Wachsmuth et al., Dezember 2019

hen. Für unsanierte Gebäude kann ein Einsatz von Biomethan kurzfristig für die Versorgung von Spitzenlastkesseln in Kombination mit elektrischen Wärmepumpen angedacht werden. Die weitere Entwicklung des Gasnetzes hin zu erneuerbaren Gasen kann im Umfang und Geschwindigkeit aktuell nicht abgesehen werden und ist stark von politischen Weichenstellungen abhängig.

### **Fernwärmeversorgung**

Gemäß Energiebericht 2019 lag der Fernwärmeanteil bei Aufteilung des Endenergieverbrauchs für LBB Liegenschaften o. HS bei knapp 27%. Rund ein Viertel der Treibhausgasemissionen für den Bereich Wärme können der Fernwärme zugeschrieben werden. Die netzgebundene Wärmeabnahme<sup>25</sup> liegt im Bereich der Hochschulen u. Univ. bei 43 % (siehe Kapitel D Bestandsanalyse des Gebäudeportfolios). Dies verdeutlicht die aktuelle und auch zukünftige Bedeutung der Fernwärmeversorgung im Bestandsportfolio des LBB.

Bei Gegenüberstellung der Treibhausgasemissionsfaktoren aus dem GEG wird ersichtlich, dass die Versorgung aus Fernwärme zum heutigen Zeitpunkt emissionsärmer als jene durch Strom und Erdgas erfolgt (180 g CO<sub>2</sub>e/kWh für Fernwärme gegenüber 560 g CO<sub>2</sub>e/kWh für Strom und 240 g CO<sub>2</sub>e/kWh für Erdgas). Nimmt man jedoch für die Wärmeerzeugung aus Strom elektrische Wärmepumpen an, die gemäß Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG 2011) die Mindestanforderung an die Jahresarbeitszahl von 3,1 (Luft-Wasser Wärmepumpe) bei Heizungs- und Warmwasserbereitung<sup>20</sup> erfüllen müssen, so ergibt sich ein Emissionsfaktor von rund 181 g CO<sub>2</sub>e/kWh und damit annähernd gleiche Emissionen wie für Fernwärme. Wählt man die THG-Emissionsfaktoren aus dem Ansatz location-based so schneidet die Wärmepumpe mit einer THG Intensität von 168 g CO<sub>2</sub>e/kWh gegenüber der Fernwärme mit 189 g CO<sub>2</sub>e /kWh besser ab. Das zeigt, dass es ein prioritäres Anliegen für den LBB sein muss, die Transformation der Fernwärme in eine möglichst treibhausgasfreie Versorgung voranzubringen bzw. sie mit zu lenken. Als Großabnehmer hat der LBB die Möglichkeit, bei Vertragsverlängerungen und Neuverträgen Anforderungen an die ökologische Qualität der Fernwärme zu stellen, und aktuelle, mittel- und langfristige Zielwerte für Primärenergie und Treibhausgasintensität als Abnahmebedingung vorzugeben. Gleichwohl stellen sich zur Transformation der Fernwärme auch Anforderungen an die Wärmeabnehmer bzw. können diese den Wandel begünstigen und beschleunigen. Die technische Transformation der Wärmenetze umfasst in der Regel die Optimierung der Anschlussdichten und die Absenkung des Temperatur- und Druckniveaus in den Netzen. Dadurch werden Verluste reduziert und die Einbindung erneuerbarer Energiequellen ermöglicht. Damit für die Gebäudebeheizung geringere Temperaturniveaus ausreichen, ist in der Regel eine Anpassung der Versorgungssysteme für Raumwärme und Warmwasser – ggf. mit begleitenden baulichen Anpassungsmaßnahmen - in den Gebäuden erforderlich. Im Gegenzug könnten Abnehmer, die einen NT-ready<sup>21</sup> Standard aufweisen, vom Versorger günstigere Konditionen angeboten bekommen.

---

<sup>20</sup> Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG), Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz - EEWärmeG), Oktober 2015

<sup>21</sup> NT-ready: Der Nieder-Temperatur-ready-Standard sieht vor, dass Gebäude bereits so saniert werden, dass sie bereit für eine Niedertemperatur-Wärmeversorgung durch Wärmepumpen oder Fernwärme mit Vorlauftemperaturen von  $\leq 55$  °C sind.

Um die Klimaziele zu erreichen, ist die Transformation der Fernwärme zwingende Voraussetzung. Auf die Versorger kommen große Herausforderungen zu, da hohe Investitionen in Netze und Erzeuger bei gleichzeitiger wirtschaftlicher Unsicherheit aufgebracht werden müssen. Der LBB sollte über vertragliche Liefervereinbarungen auf die Betreiber der Fernwärmenetze einwirken, indem Fernwärme mit steigendem Anteil an erneuerbaren Energien nachgefragt wird. Im Gegenzug erhält der Versorger die Sicherheit auch zukünftig einen großen Abnehmer zu haben. Über die LBB Richtlinie wird bereits eine Mindestqualität für an den Primärenergiefaktor für Neuanschlüsse an die Fernwärme gestellt.

In Deutschland wird 70 Prozent der Fernwärmeerzeugung von KWK-Anlagen übernommen, die dafür zu 85 Prozent Kohle und Gas verfeuern. Während bis 2030 noch ein Ausbau der KWK angenommen wird, ist klar, dass langfristig ihre Bedeutung abnehmen wird, da größere Anteile der Wärme durch erneuerbare Energien und industrielle Abwärme bereitgestellt werden.<sup>22</sup>

Die Bilanzierungsmethode für Primärenergiefaktoren und Treibhausgasemissionen aus Kraft-Wärme-Kopplung werden im GEG nach der Stromgutschriftmethode berechnet. Dabei werden Effizienzgewinne vorrangig der Wärme zugewiesen und nicht auf Wärme und elektrischen Strom verteilt. Eine Umstellung des Berechnungsverfahrens auf die Carnot-Methode wird im Rahmen der Überarbeitung des GEG untersucht. Bei einer zukünftigen Umstellung der Berechnung auf die Carnot-Methode ist mit einem Anstieg von Primärenergie- und THG-Emissionsfaktoren für Fernwärme mit anteiliger KWK-Wärme zu rechnen.

Im Hinblick auf die langfristige Zielerreichung des deutschen Klimaschutzplans ist von sinkenden THG-Emissionen aus Fernwärme zu rechnen bzw. kann eine beinahe emissionsfreie Versorgung als Voraussetzung betrachtet werden.

### **Stromversorgung und Eigenstromerzeugung**

Um die bundesweiten Klimaziele zu erreichen, ist eine weitestgehend THG-freie Stromerzeugung bis 2045 notwendig. Damit dieses Ziel nachhaltig erreicht werden kann, ist eine weitestgehend auf erneuerbaren Energieträgern (EE) basierende Stromversorgung erforderlich.<sup>23</sup>

Der LBB hat auf den Strommix nur in kleinem Maße direkten Einfluss, indem überschüssiger Strom aus Photovoltaikanlagen oder Anlagen zur Kraft-Wärme-Kopplung (BHKW) ins Netz eingespeist wird. Einen größeren Wirkungsumfang erreicht der Netzbezug, für den der LBB zum einen über die EEG-Umlage Beiträge für den Ausbau der erneuerbaren Energien leistet, und zum anderen über den Bezug von Ökostrom Versorger im Ausbau unterstützt. Der Landesbetrieb LBB schreibt für alle Liegenschaften mit Landesnutzung und fast alle Hochschulstandorte Ökostrom aus. Er wird beim LBB mit vereinheitlichten Kriterien ausgeschrieben: beispielsweise muss ein Teil des Ökostromerlöses einen echten Beitrag zur Energiewende leisten, indem der Strom zumindest anteilig aus neuen Kraftwerken stammen muss. Aktuell werden 46 Prozent der Stromabnahme durch

---

<sup>22</sup> Wie werden Wärmenetze grün? Dokumentation zur Diskussionsveranstaltung am 21. Mai 2019 Agora Energiewende, Mai 2019

<sup>23</sup> Klimaneutrales Deutschland 2045, Wie Deutschland seine Klimaziele schon vor 2050 erreichen kann. Szenario Klimaneutral 2045, Prognos, Juni 2021

Ökostrom gedeckt. Die JGU Mainz (damit auch Teile der HS Mainz), die TU Kaiserslautern und die Universität Trier organisieren ihren Energieeinkauf selbständig und schreiben aktuell keinen Ökostrom aus, weshalb der Anteil an Erneuerbaren Strom unterhalb von 50 % liegt.

Der LBB kann neben zusätzlichen Bezug von Ökostrom verstärkt zur Transformation der Stromversorgung beitragen, indem gebäudeintegrierte oder gebäudenaher Photovoltaikanlagen bei jeder Sanierungs- und Neubaumaßnahme in die Betrachtung mit einbezogen und nach Möglichkeit umgesetzt werden. Dieses Vorgehen ist in der LBB-Richtlinie Klimaneutrale Landesgebäude vorgegeben. Eine Solaranlagenpflicht soll in Rheinland-Pfalz für gewerblich genutzte Neubauten und überdachte Parkplätze bereits ab dem 1. Januar 2023 in Kraft treten. Eine Ausweitung auf Neubauten des Landes könnte folgen, ist jedoch ohnehin erforderlich, um die Bestrebungen einer treibhausneutralen Landesverwaltung erreichen zu können.

Die Auslegung der Anlagen ist dabei ökonomisch und ökologisch vorteilhaft, wenn sie auf Eigenstromnutzung ausgelegt sind und Überschussstrom über Liegenschaftsnetze in benachbarten Gebäuden verbraucht wird und nur nachrangig ins Netz eingespeist wird. Neben der liegenschaftsbezogenen Betrachtung ist die Stromspeicherung über Sektorenkopplung in die Energie-Konzeptentwicklung mit aufzunehmen (Wärmepumpen, Strom-Direktnutzung zur Trinkwarmwasser-Bereitung, E-Mobilität). Ein hoher Autarkiegrad steigert zudem die Unabhängigkeit vom Strommarktpreis. Potentielle Flächen zur Installation von PV-Anlagen stellen Dachflächen dar, welche im Rahmen einer Gebäudesanierung energetisch ertüchtigt werden. Aber auch Dachflächen auf Bestandsgebäuden, die ein hohes Potential vermuten lassen, und nach einer Begutachtung geeignet sind, können vorgezogen werden, um günstigen Eigenstrom zu erzeugen, die Stromabnahme aus dem Netz zu reduzieren und erneuerbaren Strom einzuspeisen.

## C.2 Potentiale baulicher und technischer Art

Zur Reduzierung des Energieverbrauchs und der erfolgreichen Umstellung der Wärmeversorgung auf erneuerbare Energien müssen die energetischen Potentiale der Gebäude möglichst optimiert werden. Eine auch aus Sicht der folgenden Betriebskosten sinnvolle Umstellung der Energieversorgung auf beispielsweise Strom aus erneuerbaren Quellen mittels Wärmepumpe bedingt nicht nur eine Verringerung der Energieabnahme, sondern auch eine Reduzierung des Temperaturniveaus der Wärmeabnahme<sup>25</sup>. Umfassend ist dies bei Neubau oder einer kompletten Sanierung eines Gebäudes möglich.

Der Landesbetrieb LBB leitet und organisiert nach projektbezogener Beauftragung die baulichen Maßnahmen von der Projektierung bis Schlüsselübergabe. Nach Kostenumfang werden die Baumaßnahmen in große und kleine Baumaßnahmen kategorisiert.

Neben den Baumaßnahmen ist der LBB für die Bauunterhaltung der bebauten und unbebauten Liegenschaften des Landes verantwortlich. Bauunterhaltungsmaßnahmen (BU) sowie kleinteilige Instandhaltungs- oder Instandsetzungsmaßnahmen des Gebäudebetriebs finden während der Nutzungsphase statt und können punktuell zur energetischen Optimierung der Liegenschaften beitragen wie bspw. die Sanierung einer Fassade oder der Austausch einer Beleuchtungsanlage. Hier muss besonders auf eine möglichst sinnvolle Reihenfolge der Maßnahmen geachtet werden, da in der Regel erst die Energieabnahme reduziert werden sollte, also Verbesserungen der Gebäudehülle notwendig sind, bevor ein Austausch des Wärmeversorgers stattfindet und eine neue auf regenerative Quellen basierende Energieversorgung sinnvoll eingesetzt werden kann. Baumaßnahmen und Bauunterhaltungsmaßnahmen liegen somit in der Zuständigkeit und im Einflussbereich des LBB, wobei bauliches Optimierungspotential vorrangig in der Baukonstruktion (Gebäudehülle und -struktur) sowie im technischen Ausbau (energieversorgende und -verbrauchende Systeme) liegt.

Um den Gebäudebestand bis zum Jahr 2045 ganzheitlich zu sanieren, wäre bei einem angenommenen Sanierungszeitraum von 20 Jahren eine Sanierungsquote von 5 % notwendig. Um die Zahl einordnen zu können, lässt sich vergleichsweise die mittlere deutschlandweite Sanierungsquote von 1 % benennen, die seit mehreren Jahren trotz erhöhter Anstrengungen der Bundesregierung stagniert. Gemäß des EU-Entwurfs EED 2021<sup>24</sup> schlägt die Kommission vor, die Mitgliedsstaaten dazu zu verpflichten, jährlich mindestens 3 % der Gesamtnutzfläche aller öffentlichen Gebäude zu sanieren. Eine energetische Sanierung soll dabei zumindest den Standard eines Niedrigstenergiegebäudes, nach dem jeweiligen nationalen Standard, erreichen. Als größten Hebel zur Reduktion der Treibhausgasemissionen kann eine möglichst große Sanierungsquote benannt werden.

Neben quantitativen Anstrengungen stehen mit ebenso hoher Priorität qualitative Anforderungen im Fokus einer zukünftigen Sanierungsstrategie des LBB.

- Für die Gebäudesanierung gilt es die **Energieabnahme** so weit zu reduzieren, dass die verbleibende Energiemenge zukünftig im Rahmen der technischen und

---

<sup>24</sup> EED 2021, Proposal for a DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on energy efficiency (recast), COM/2021/558 final, Juli 2021

wirtschaftlichen Potentiale aus erneuerbaren Energiequellen zur Verfügung gestellt werden kann.

- Darüber hinaus muss das notwendige **Temperaturniveau** für die Wärme<sup>25</sup>- und Kälteabnahme an erneuerbare Energiequellen angepasst werden. Dies ist nicht nur bei der Umstellung von fossilen auf erneuerbare Wärmeerzeuger auf Gebäude- und Liegenschaftsebene relevant, sondern auch bei netzgebunden Gebäuden. Zumal die Wärmenetze derzeit noch überwiegend fossil geprägt sind, muss ein Transformationsprozess hin zu niedrigen Temperaturen im Netz und zur Wärmeversorgung mit niedrigen Vorlauftemperaturen auf Seite der Abnehmer stattfinden. Damit Bestandsbauten mit einem niedrigen Temperaturniveau für Raumwärme und Warmwasser versorgt werden können, bedarf es in der Regel der Dämmung der Gebäudehülle, der Optimierung der Wärmeverteilung sowie dem Einsatz niedertemperaturfähiger Wärmeübergabesysteme.
- Neben der Absenkung der Energiebedarfe und des Temperaturniveaus können **Lastverschiebungen** in Gebäuden und Liegenschaften die Einbindung erneuerbarer Energien begünstigen. Dies kann bspw. durch Wärmespeicher oder Stromspeicher erfolgen oder durch die Umwandlung von Strom in speicherfähige Gase zur Wärmeerzeugung (Power-to-Gas).
- Die in diesem Bereich mögliche **Sektorenkopplung** verbindet die Strom-, Wärme- und Gasnetze und bindet auch den Mobilitätssektor mit ein, indem erneuerbarer PV-Strom für die E-Mobilität der Nutzer zur Verfügung gestellt wird. Gemäß Energiebericht 2019 stehen bereits 24 Ladepunkte für Elektromobilität an 12 verschiedenen Standorten zur Verfügung.
- Die **Optimierung des Anlagenbetriebes** schließt sowohl bauliche Maßnahmen wie auch organisatorische Maßnahmen mit ein. Durch einfache geringinvestive Maßnahmen, wie dem hydraulischen Abgleich des Heizsystems, die Dämmung von Heizungsrohren, den Austausch von Thermostatköpfen und die Installation digitaler Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik (MSR-Technik) können die Voraussetzungen für einen effizienten Gebäudebetrieb geschaffen werden. Neben den rein baulichen Maßnahmen sind als organisatorische Aufgaben die Datenerfassung, Auswertung und Dokumentation für einen langfristig optimierten Betrieb erforderlich. Auf Grundlage der erfassten Daten erfolgt ein klassisches Energie- und Anlagenmonitoring, also die ingenieurmäßige Analyse der aufgezeichneten Daten und die Ableitung von Optimierungspotentialen. Hierdurch werden i.d.R. hohe Einsparpotentiale gehoben und gerade auch bei komplexerer Anlagentechnik erreicht. Als Maßstab kann der Gebäudebetrieb, Liegenschaftsbetrieb oder auch die Vernetzung mehrerer Liegenschaften in Betracht gezogen werden.
- **Graue Energie:** Neben dem Gebäudebetrieb, werden durch jegliche Bautätigkeit im Gebäudebereich - also Errichtung, Instandsetzung, Umbau oder Abriss - Treibhausgasemissionen freigesetzt. Auch wenn die Betrachtung der Grauen Energie im hier vorliegenden Gutachten wie auch der Startbilanz bilanziell nicht erfasst

---

<sup>25</sup> Nutzenergiebezogen bzw. Wärmeabnahme im Sinne der Erzeugernutzwärmeabgabe (Begriffsdefinition aus DIN V 18599: „Nutzenergieabgabe des Erzeugers an das Netz“)

wird, ist dieser Aspekt als wichtiger Baustein auf dem Weg zur „Klimaneutralen Landesverwaltung“ zu sehen. Gemäß einer Studie des DGNB<sup>26</sup> werden bei der Betrachtung über den Lebenszyklus (50 Jahre) etwa zwei Drittel der Treibhausgasemissionen durch den Gebäudebetrieb und etwa ein Drittel durch Herstellung, Nutzung und Rückbau verursacht. Der Materialeinsatz und die Reduktion der grauen Energie kann also als weitere Stellschraube zur Minderung von Treibhausgasemissionen betrachtet werden.

Lösungen zur Senkung des Materialeinsatzes können im materialeffizienten Konstruieren gefunden werden. Durch die Substitution treibhausgasintensiver Materialien, wie z.B. Zement, können die grauen Emissionen weiter gesenkt werden. Dies kann zum einen durch die Verwendung recycelter Materialien wie bspw. CEM III Zement (Hochofenzement), oder nachwachsender Rohstoffe wie z. B. Holz erfolgen. Neben der Verwendung recycelter Materialien trägt auch die Recyclingfähigkeit der verwendeten Materialien und Konstruktionen zur Reduktion der grauen Emissionen bei. Als Maß für die Recyclingfähigkeit wird die Rückbaufähigkeit, Trennung und Verwertung beurteilt. Sortenrein trennbare Konstruktionsweisen ermöglichen es, Materialien in den Kreislauf zurückzuführen und die eingesetzten grauen Emissionen einer weiteren Nutzung zuzuführen. Beim LBB findet eine Bilanzierung der „Grauen Energie“ gemäß den Vorgaben der RLBau im Rahmen der Ökobilanzierung mit der Datenbank „NUKOSI“<sup>27</sup> statt.

Die sogenannte **Graue Energie und Graue Emissionen** stecken in Baustoffen und bezeichnen den Energieverbrauch und die Emissionen von Treibhausgasen, die bei deren Herstellung, Transport, Verarbeitung und Entsorgung von Baumaterialien entstehen. Bisher gehen die grauen Emissionen weder in die Bilanz nach Gebäudeenergiegesetz GEG ein, noch werden sie im Rahmen Treibhausbilanzierung GHG-Protokoll bilanziert. Für die Neukonzeption des GEG gehen Empfehlungen<sup>28</sup> dahin, für Neubauten verpflichtend Ökobilanzen erstellen zu lassen. Die Bedeutung der Herstellungsenergie und die Rückbaufähigkeit wird in Hinblick auf das Ziel der Treibhausgasneutralität bis 2045 sowie der Ressourcenknappheit für Baustoffe an Bedeutung gewinnen.

- **Gebäudesanierung und Ersatzneubau:** Damit der Mehraufwand an grauer Energie, der sich für Abriss und Neubau gegenüber einer Sanierung ergibt, während der Gebäudelebenszeit amortisiert werden kann, muss der erzielte Wärmebedarf von Ersatzneubauten deutlich geringer liegen. Unter dem Gesichtspunkt der Treibhausgasbilanz kann ein Ersatzneubau nur dann eine echte Alternative zur energetischen Modernisierung darstellen, wenn dieser beim energetischen Standard deutlich über das hinausgeht, was im Bestand realisiert werden kann. Geht man von steigenden energetischen Anforderungen an Neubauten und der Entwicklung einer CO<sub>2</sub>e-neutralen Energieversorgung bis zum Jahr 2045 aus, so schmälert

---

<sup>26</sup> Benchmarks für die Treibhausgasemissionen der Gebäudekonstruktion, Ergebnisse einer Studie mit 50 Gebäuden, DGNB, August 2021

<sup>27</sup> Baunutzungskostendatenbank auf Grundlage der Kostenplanungsverfahren PLAKODA („Planungs- und Kostendaten“) und „RBK“ („Richtlinien für die Baukostenplanung“)

<sup>28</sup> Neukonzeption des Gebäudeenergiegesetzes (GEG 2.0) zur Erreichung eines klimaneutralen Gebäudebestandes. Ein Diskussionsimpuls. Im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft, m. Peht Et al., ifeu, September 2021

sich der Vorteil eines energetisch hochwertigeren Ersatzneubaus und seiner geringeren Emissionen aus dem Gebäudebetrieb gegenüber einer energetischen Sanierung. Nimmt man eine beinahe CO<sub>2</sub>e-neutrale Versorgung für 2045 an, so stellt der Materialeinsatz und die damit verknüpften grauen Emissionen die einzige Emissionsquelle dar. Die graue Energie gewinnt somit laufend an Bedeutung und sollte aus diesem Grund in den Entscheidungsprozess mit einfließen.

- **Ökologischer, wirtschaftlicher und sozialer Nutzen einer Sanierung:** Um dem Zerfall der Gebäude entgegenzuwirken und sie in ihrer Nutzbarkeit zu erhalten, müssen Gebäude saniert werden. Sanierungsstaus führen unweigerlich zu einem Mehraufwand an Kosten, wenn die Bausubstanz nicht verfallen und letztendlich erneuert werden soll. Es stellt sich also nicht die Frage, ob zu sanieren ist, sondern wie zu sanieren ist.

Energetische Anforderungen und möglichst emissionsfreie Gebäude stellen die ökologischen Zielerfordernisse dar. Gleichzeitig muss eine Sanierung aber auch den Grundsatz der Wirtschaftlichkeit erfüllen. Eine Sanierung ist aus technischer Sicht dann wirtschaftlich, wenn die Bauteile das Ende ihrer technischen Nutzungsdauer erreicht haben und ohnehin instandgesetzt werden müssen. Vorgezogene Maßnahmen, die gekoppelt mit den Maßnahmen in einer Gesamtsanierung umgesetzt werden, ermöglichen es Sowi-Kosten einzusparen, da Leistungen nur einmal erbracht werden. Sie führen dadurch zu einer Kosteneinsparung. Im Planungsprozess gehen die aufzuwendenden Kosten bei der Bewertung der Wirtschaftlichkeit in eine Lebenszykluskostenbetrachtung ein. Diese dient mitunter als Werkzeug zur Entscheidungsfindung für Neubau und Sanierung, der Wahl des Wärmeerzeugers und des Energiestandards. Neben der Wirtschaftlichkeit im Lebenszyklus gehört ebenso die Werterhaltung und der Wertsteigerung des Gebäudes in die Sanierungsbetrachtung.

Eine Sanierung führt nicht nur zur THG-Reduktion und Wertsteigerung einer Immobilie, sondern generiert auch soziale Qualitäten wie einen zeitgemäßen Arbeitsplatz und eine Wiederherstellung der Nutzbarkeit bzw. eine Optimierung der Nutzbarkeit durch Flächenmanagement. Die Verbesserung des Gesundheitsschutzes sowie des thermischen, visuellen und akustischen Komforts sind weitere Vorteile einer Sanierung, die sich positiv auf die Nutzerzufriedenheit auswirken.

## D Bestandsanalyse des Gebäudeportfolios

### D.1 Datengrundlage und Datenstandardisierung

Der Bilanzraum des Gutachtens umfasst 1.041 Gebäude (341 Liegenschaften) bei den Landesliegenschaften o. HS und 335 Gebäude (23 Liegenschaften) bei den Hochschulen u. Univ. Die Gesamt-Nettogrundfläche in den Landesliegenschaften o. HS beträgt 1,67 Mio. m<sup>2</sup> und in den Hochschulen u. Univ. 1,07 Mio. m<sup>2</sup>. Hierin enthalten sind die Flächen der unbeheizten Gebäude mit 39.356 m<sup>2</sup> bzw. 7.080 m<sup>2</sup>.

Als Grundlage für die Bestandsanalyse dienen die Verbrauchsdaten aller Energieträger aus Versorgerabrechnungen auf Liegenschaftsebene, teilweise aufbereitet wie im Falle von BHKW (Endenergieverbrauch für Heizung inklusive Trinkwarmwasserbereitung sowie Gesamtstrom inklusive Nutzerstrom und selbsterzeugtem Strom aus Blockheizkraftwerken (BHKW) und Photovoltaik). Die Auswertungen erfolgen getrennt für Landesliegenschaften ohne Hochschulen (im Folgenden „Landesliegenschaften o. HS“) und Hochschulen und Universitäten (im Folgenden „Hochschulen u. Univ.“). Für dieses Gutachten werden die Daten aus 2018 verwendet, die ebenfalls in die Erstellung der Startbilanz als Anteil der Liegenschaften des LBB eingeflossen sind. Parallel stehen Datenbankauswertungen mit Gebäudedaten getrennt nach Landesliegenschaften o. HS und Hochschulen u. Univ. zur Verfügung, welche Informationen zu Gebäudefläche, Baujahr, Gebäudenutzung, BWZK<sup>29</sup>-Gruppe, Sanierungsampel sowie Denkmalschutz enthalten. Da die Energiedaten aus Versorgerabrechnungen auf Liegenschaftsebene vorliegen, ist eine energetische Bewertung auf Gebäudeebene und eine sinnvolle Clusterung des Gebäudebestands in vielen Fällen nur über eine Aufteilung des Energieverbrauchs unter Einbeziehung der Gebäudenutzung möglich.

Analog zum Berichtswesen und der Startbilanz wurden im Bereich Hochschulen u. Univ. ebenfalls Rechnungsdaten der Standorte verwendet. Eine Ausnahme stellt die Liegenschaft Universität Mainz dar, hier liegen Verbrauchswerte zum Großteil auf Gebäudeebene vor, welche als plausibel bewertet in die Analysen einfließen.

Zur Analyse werden Cluster gewählt, welche eine Kategorisierung des Gebäudebestands sowie gleichzeitig eine differenzierte Szenarien-Entwicklung ermöglichen. Kapitel D.2.1 zeigt eine Bestandsanalyse anhand baulicher Optimierungspotentiale, welche sich durch die Energieabnahme ergeben und anhand des Clusters BWZK-Gruppe durchgeführt wird. Kapitel D.2.2 enthält eine Analyse der technischen Optimierungspotentiale und verwendet das Cluster Wärmeversorgung zur Unterscheidung der Versorgungsstrukturen.

Die nachfolgende Tabelle dient als erste Übersicht zum analysierten Gebäudebestand und zeigt die Anzahl sowie die Nettogrundfläche der Gebäude je BWZK-Gruppe aufgeteilt in die Bereiche Landesliegenschaften o. HS und Hochschulen u. Univ. auf. Als BWZK-

---

<sup>29</sup> Bauwerkszuordnungskatalog

Gruppen werden die Gruppen aus der „Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchs- und Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand“ vom BMWI<sup>30</sup> und BMUB<sup>31</sup> aus 2015 verwendet und die vorliegenden BWZK-Gruppen aus dem Bauwerkszuordnungskatalog von 2019 hierauf übertragen.

BWZK	Bezeichnung	Anzahl Gebäude Landesliegens. o. HS	NGF [m <sup>2</sup> ]	Anzahl Gebäude Hochschule u. Univ.	NGF [m <sup>2</sup> ]
1200	Gerichtsgebäude	79	199.629	0	0
1300	Verwaltungsgebäude	225	481.102	12	11.916
1311	Ministerien	16	107.052	1	1.426
1320	Verwaltungsgebäude	23	58.967	0	0
1340	Polizeidienstgebäude	121	204.869	0	0
1350	Rechenzentren	3	18.193	0	0
2100	Hörsaalgebäude	8	11.580	34	118.523
2200	Institutsgebäude	0	0	6	6.668
2210	Institutsgebäude I <sup>32</sup>	6	7.107	44	210.732
2200	Institutsgebäude II <sup>32</sup>	0	0	3	20.438
2230	Institutsgebäude III <sup>32</sup>	0	0	5	18.844
2240	Institutsgebäude IV <sup>32</sup>	0	0	91	352.804
2250	Institutsgebäude V <sup>32</sup>	1	1.665	30	156.340
2300	Institutsgebäude	0	0	6	27.523
2400	Fachhochschulen	4	6.252	9	18.367
3200	Krankenhäuser	1	3.003	0	0
4100	Schulen	10	29.109	0	0
4200	Berufsschulen	18	25.440	0	0
4300	Sonderschulen	6	11.514	0	0
4400	Kindertagesstätten	3	1.945	10	5.212
4500	Weiterbildungseinrichtun-	18	25.216	0	0
5100	Sporthallen	16	19.911	12	21.707
5200	Schwimmhallen	4	9.449	1	2.807
5300	Gebäude für Sport	3	620	3	249
6300-	Gemeinschaftsunter-	48	103.727	13	33.146
7000 <sup>33</sup>	Produktion, Werkstätten	265	128.583	31	17.758
7700	Bereitschaftsdienste	12	16.496	0	0
8000	Bauwerke für Technik	16	5.583	16	2.697
9120	Ausstellungsgebäude	3	23.412	1	3.645
9130	Bibliotheksgebäude	3	21.539	5	35.002
9140	Veranstaltungsgebäude	2	3.703	0	0
9150	Gemeinschaftshäuser	12	6.171	1	6.131
9600	Justizvollzugsanstalt	49	116.402	0	0
EFH	Einfamilienhäuser	17	4.969	0	0
MFH	Mehrfamilienhäuser	49	17.786	1	561

Tabelle 1: Übersicht über Anzahl und Gesamtfläche der betrachteten Gebäude nach BWZK

<sup>30</sup> Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

<sup>31</sup> Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

<sup>32</sup> gemäß Rahmenplan für den Hochschulbau

<sup>33</sup> hiervon sind 134 Gebäude (größtenteils unbeheizte) Garagen (33.196 m<sup>2</sup>)

In der Tabelle sind weiterhin die Bezeichnungen zu den verwendeten BWZK-Gruppen aus der Bekanntmachung 2015 aufgelistet, um eine klare Zuordnung zu ermöglichen. Zusätzlich zu der BWZK-Gruppe werden die Kategorien EFH (Einfamilienhäuser) und MFH (Mehrfamilienhäuser) verwendet, da Wohngebäude differenzierte Kennwerte gegenüber Nichtwohngebäuden aufweisen sowie eine nicht vernachlässigbare Gebäudeanzahl dieser Kategorien im Portfolio darstellen.

## D.2 Auswertung nach Potentialbereichen

### D.2.1 Clusterung nach baulichen Optimierungspotentialen (Energieabnahme)

Im Optimierungsfeld „Reduktion der Energieabnahme“ lassen sich theoretische Einsparpotentiale anhand der Vergleichswerte der Bekanntmachung 2015<sup>34</sup> ableiten. Diese Einsparpotentiale werden als „theoretisch“ bezeichnet, da sie sich lediglich auf den Vergleich anhand von Kennwerten auf Ebene des Gesamtportfolios beziehen, aber keine Aussagen über das tatsächliche Einsparpotential einzelner Liegenschaften oder Gebäude treffen. Im Folgenden werden die „theoretischen Einsparpotentiale“ nur noch als „Einsparpotentiale“ bezeichnet und anhand von Auswertungen und Analysen dargestellt und bewertet.

Eine Übersicht über den Endenergieverbrauch im Gebäudeportfolio und möglicher Einsparpotentiale kann der nachfolgenden Abbildung 2 entnommen werden.

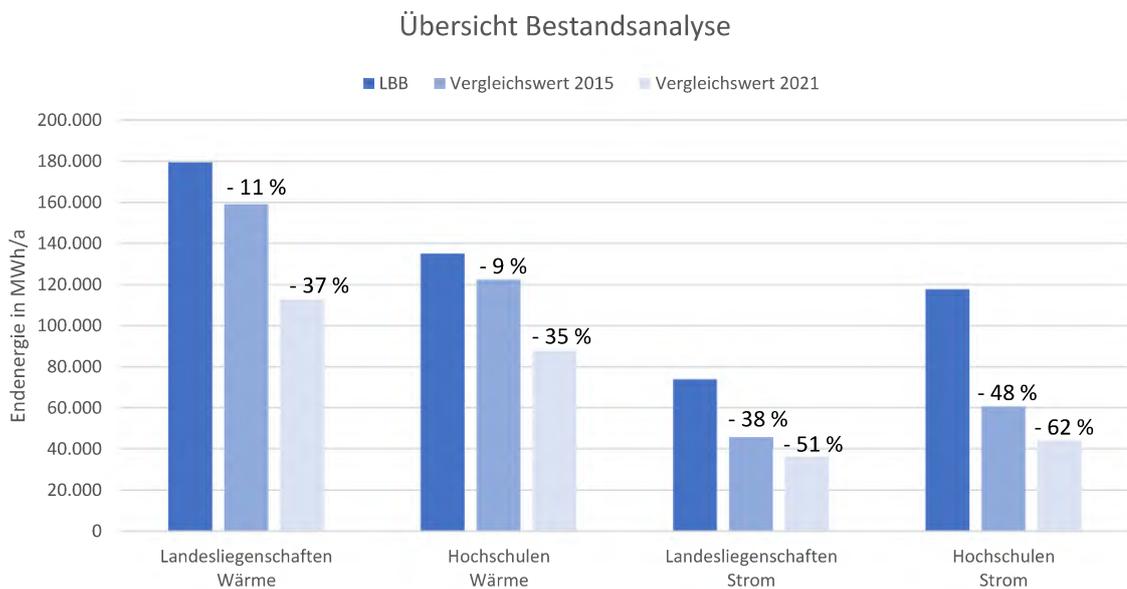


Abbildung 2: Jährlicher, absoluter Wärme- und Stromverbrauch des Gesamtportfolios und Vergleichswerte aus den Bekanntmachungen 2015 und 2021

Zusätzlich zu den Verbrauchswerten des Portfolios aus 2018 werden hier auch die Vergleichswerte aus der Bekanntmachung 2015 sowie der Bekanntmachung 2021<sup>35</sup> auf das

<sup>34</sup> „Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchswerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand“, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie sowie Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, 2015

<sup>35</sup> „Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchswerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand“, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie sowie Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat, 2021

Portfolio hochgerechnet, um eine erste Einschätzung möglicher Reduktionspotentiale aufzuzeigen. Die Vergleichswerte der Bekanntmachung aus 2015 sind hierbei als kurzfristige erzielbare Potentiale zu verstehen, da diese mit dem um 30 %<sup>36</sup> reduzierten, mittleren Verbrauch des Gebäudebestands in Deutschland im Jahr 2007 gleichgesetzt werden können. Die Vergleichswerte aus der Bekanntmachung 2021 (Referenz-Energiekennwert-Methodik, Weiterentwicklung der Teilenergiekennwert-Methode) weisen deutlich geringere Verbrauchswerte auf und sind als mittel- bis langfristige Potentiale zu interpretieren. Gemäß der Bekanntmachung bilden die angegebenen Energiekennwerte für Heizung einen energetischen Standard ab, der im Grundsatz einer für einen Altbau guten Energieaufwandsklasse entspricht.

Mit den nachfolgenden Diagrammen wird die Verteilung des absoluten Endenergieverbrauchs im Portfolio ersichtlich. Der jeweils als horizontale orange Linie gezeichnete Vergleichswert je BWZK-Gruppe stellt eine Multiplikation des Vergleichswertes aus der Bekanntmachung 2015<sup>34</sup> und der Nettogrundfläche aller Gebäude der jeweiligen BWZK-Gruppe dar.

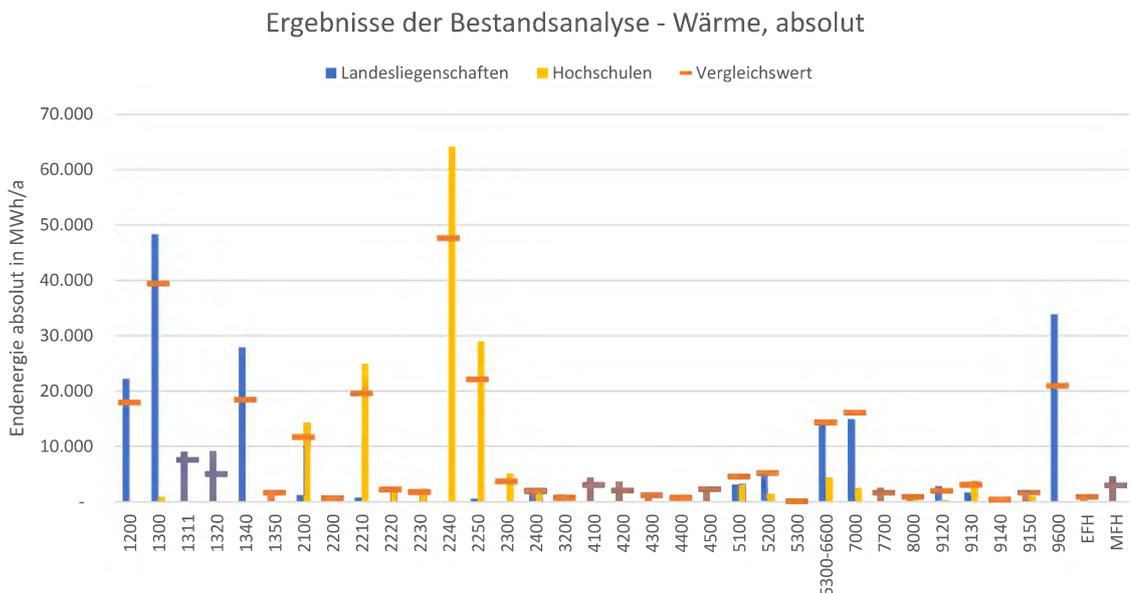


Abbildung 3: Jährlicher, absoluter Endenergieverbrauch Wärme je BWZK-Gruppe getrennt nach Landesliegenschaften o. HS und Hochschulen u. Univ.

Die größten absoluten Reduktionspotentiale für Wärme nach BWZK-Gruppe können Abbildung 3 entnommen werden. Dabei lässt sich ablesen, dass der Bereich Landesliegenschaften o. HS überwiegend (flächenmäßig) aus Verwaltungsgebäuden (BWZK 1200-1350), Gemeinschaftsunterkünften (BWZK 6300-6600), Produktionsgebäuden (BWZK 7000) und Justizvollzugsanstalten (BWZK 9600) besteht und der Bereich Hochschulen u. Univ. überwiegend Gebäude für Lehre und Forschung (BWZK 2100-2400) aufweist. Bei Betrachtung der Differenzen zwischen Vergleichswert und Verbrauch ist auffallend, dass große absolute Einsparpotentiale bei den BWZK-Gruppen 1300 (Verwaltungsgebäude),

<sup>36</sup> [https://www.iwu.de/nachricht/?tx\\_ttnews%5Btt\\_news%5D=308&cHash=26dae4e6d33a6f7b8cd29997c0d97cf8](https://www.iwu.de/nachricht/?tx_ttnews%5Btt_news%5D=308&cHash=26dae4e6d33a6f7b8cd29997c0d97cf8)

1340 (Polizeidienstgebäude), 9600 (Justizvollzugsanstalten) im Bereich Landesliegenschaften o. HS sowie bei den BWZK-Gruppen 2210, 2240 und 2250 (Institutsgebäude) im Bereich Hochschulen u. Univ. vorliegen.

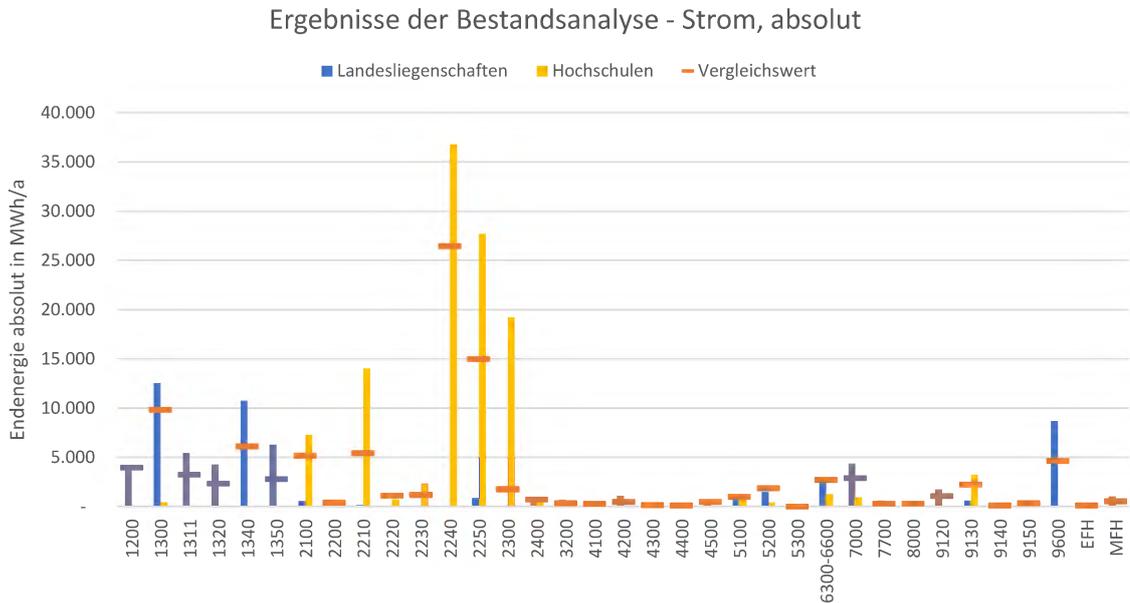


Abbildung 4: Jährlicher, absoluter Endenergieverbrauch Strom je BWZK-Gruppe getrennt nach Landesliegenschaften o. HS und Hochschulen u. Univ.

Abbildung 4 zeigt den Endenergieverbrauch für Strom je BWZK-Gruppe in MWh pro Jahr. Auffallend ist, dass die Institutsgebäude (insbesondere BWZK-Gruppe 2210, 2240, 2250, 2300) den höchsten absoluten Stromverbrauch aufweisen. Dies ist überwiegend auf den Nutzerstrom und die Verwendung von stromintensiven Technologien im Rahmen von Forschungsarbeit zurückzuführen. Für BWZK-Gruppe 2240 ist zusätzlich ein hoher Flächenanteil von 12 % des Gesamtportfolios Ursache für hohe absolute Verbrauchszahlen (sowohl bei Wärme als auch Strom). Die größten Einsparpotentiale liegen hier bei den gleichen BWZK-Gruppen wie bei Wärme, hinzu kommt zusätzlich BWZK-Gruppe 1350 (Rechenzentren) bei den Landesliegenschaften o. HS. sowie BWZK-Gruppe 2300 (Institutsgebäude für Forschung und Untersuchung) bei den Hochschulen u. Univ. Die Potentiale bei BWZK-Gruppe 2300 sind jedoch nicht umsetzbar, da hier Gebäude mit sehr spezifischen Nutzungen (Kernphysik, Teilchenbeschleuniger) vorliegen.

Energieträger	Emissionsfaktor [gCO <sub>2e</sub> /kWh]
Strom	560
Erdgas	240
Fernwärme	180
Heizöl	310
Biomasse	20
Biogas	140
PV-Strom	0
Verdrängungsstrommix	860
Erdgas + Biogas-Beimischung ab 2036	240

Tabelle 2: THG-Emissionsfaktoren für Status quo (2018) – Quelle: Gebäudeenergiegesetz

In Abbildung 5 sind die spezifischen Treibhausgasemissionen (kurz: THG-Emissionen) des Wärme- und Stromverbrauchs in 2018 je BWZK dargestellt. Die bei der Berechnung verwendeten Emissionsfaktoren für den Status quo sind dem Gebäudeenergiegesetz entnommen und sind in Tabelle 2 zu finden.

Durch Einbeziehen der Nettogrundfläche wird deutlich, dass bei den Landesliegenschaften o. HS insbesondere die BWZK-Gruppen 1350, 2250, 3200 und bei den Hochschulen u. Univ. die BWZK-Gruppen 2300 und 5200 auffallend hohe Emissionskennwerte aufweisen. Hierbei sind die Auffälligkeiten auf die speziellen Nutzungen zurückzuführen: Rechenzentren, Teilchenbeschleuniger, Krankenhäuser, Schwimmhallen.

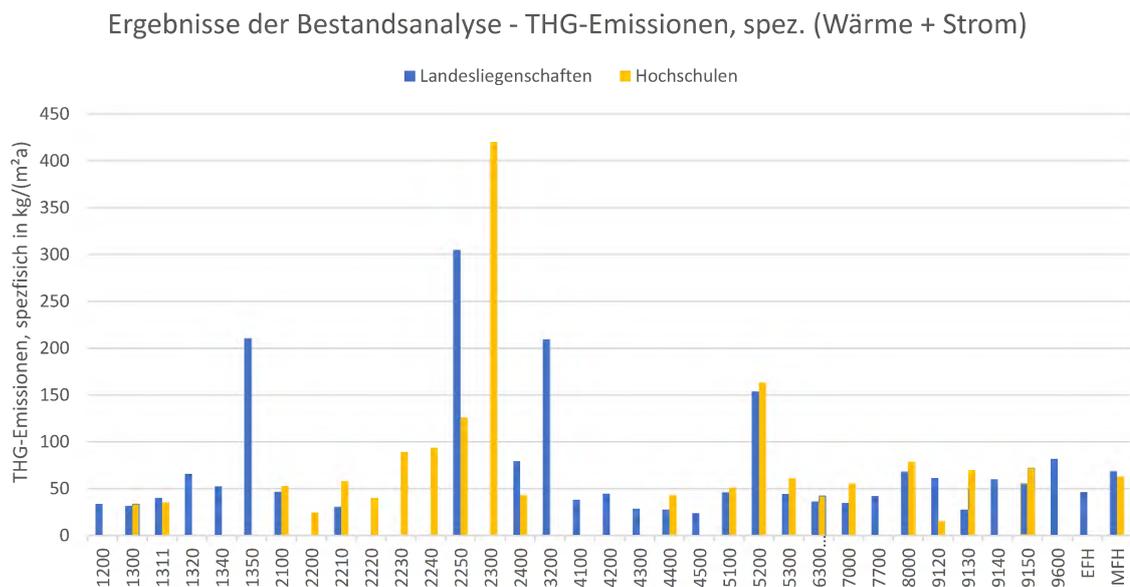


Abbildung 5: Jährliche, spezifische Gesamt-THG-Emissionen je BWZK-Gruppe getrennt nach Landesliegenschaften o. HS und Hochschulen u. Univ.

Im nachfolgenden Diagramm (Abbildung 6) kann die Über- bzw. Unterschreitung des Vergleichswertes für den Strom- und Wärmeverbrauch jedes betrachteten, beheizten Gebäudes als Punkt abgelesen werden. Die x-Achse bezieht sich dabei auf den Wärmeverbrauch, die y-Achse auf den Stromverbrauch. Ein Gebäude, das auf dem Schnittpunkt der beiden Achsen liegt, entspricht genau den Vergleichswerten. Gebäude in den vier Quadranten liegen zum Vergleichswert jeweils wie folgt vor:

- Quadrant I: Unterschreitung Strom- und Wärmeverbrauch
- Quadrant II: Überschreitung Stromverbrauch, Unterschreitung Wärmeverbrauch
- Quadrant III: Überschreitung Strom- und Wärmeverbrauch
- Quadrant IV: Unterschreitung Stromverbrauch, Überschreitung Wärmeverbrauch

Alle beheizten Gebäude werden anhand ihrer BWZK-Hauptgruppe farblich unterschieden, z.B. stellen dunkelblaue Punkte alle BWZK-Gruppen zwischen 1000 und 1999 dar. Einzelne Gebäude, welche sehr außergewöhnliche Verbrauchswerte mit Differenzen größer als 500 % aufweisen, als sogenannte Ausreißer klassifiziert, werden hier aus Gründen der

besseren Darstellung ausgeblendet. Aus dem Diagramm wird ersichtlich, welche Gebäude hohe Einsparpotentiale sowohl im Wärme- als auch im Stromverbrauch aufweisen. Hohe Abweichungen zu den Vergleichswerten weisen hierbei insbesondere Gebäude der BWZK-Hauptgruppe 1000 sowie einzelne Gebäude aus den BWZK-Hauptgruppen 2000 und 3000-6000 auf. Zusammengefasst kann ermittelt werden, dass 105 von insgesamt 1.154 Gebäuden (9 %) innerhalb des Quadranten I und somit unterhalb der Vergleichswerte liegen. Bei 783 Gebäuden (68 %) im Quadranten III besteht hingegen sowohl beim Wärme- als auch beim Stromverbrauch Optimierungspotential. Quadrant II enthält 74 Gebäude (6 %) mit Einsparpotentialen im Stromverbrauch. Quadrant IV weist 182 Gebäude (16 %) mit zu hohen Wärme-Kennwerten auf. 10 Gebäude (0,87 %) liegen zwischen Quadrant III und IV auf der x-Achse, da der Stromverbrauch exakt mit den Vergleichswerten übereinstimmt und lediglich der Wärmeverbrauch höher ausfällt.

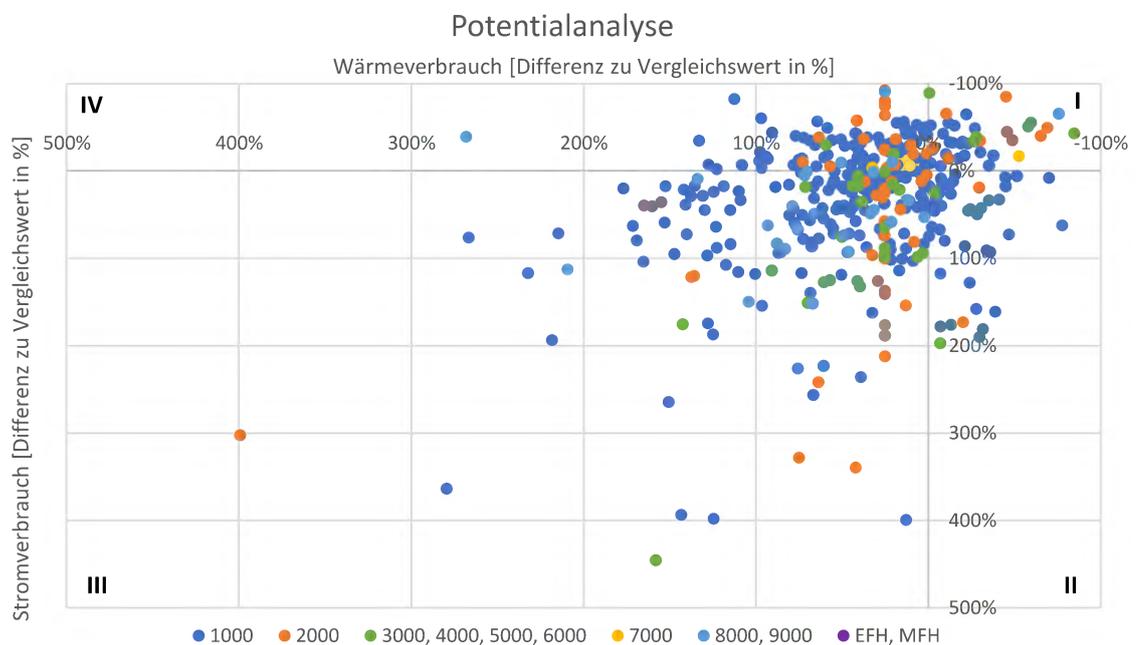


Abbildung 6: Potentialanalyse Einzelgebäude kategorisiert nach BWZK anhand jeweiliger Abweichungen zu Vergleichswerten aus der Bekanntmachung 2015<sup>34</sup>

Mithilfe der nachfolgenden Darstellung von absoluten Werten auf der x-Achse und spezifischen Werten auf der y-Achse können Hochverbraucher identifizieren werden, da auf diese Weise auch die Fläche der Gebäude mit in die Berechnung einfließt.

In Abbildung 7 ist der Endenergieverbrauch Wärme und Strom aller Gebäude beispielhaft für die **BWZK-Gruppe 1300** (Verwaltungsgebäude, normale technische Ausstattung) dargestellt. Die spezifischen Endenergie-Kennwerte liegen bei dieser BWZK-Gruppe im Mittel bei 106 kWh/(m<sup>2</sup>a) Wärme und 25 kWh/(m<sup>2</sup>a) Strom. Die Vergleichswerte<sup>34</sup> betragen 80 kWh/(m<sup>2</sup>a) für Wärme und 20 kWh/(m<sup>2</sup>a) für Strom, womit die Verwaltungsgebäude im Durchschnitt einen erhöhten Verbrauch aufweisen. Hohe spezifische Kennwerte sind eher bei kleineren Gebäuden mit geringeren absoluten Verbrauchswerten vorhanden, weshalb das Optimierungspotential und Reduktion von großen Treibhausgasemissionen bei dieser

BWZK-Gruppe eher aus einer hohen Anzahl von Sanierungen als in der Sanierung einzelner gezielter Gebäude anzunehmen ist.

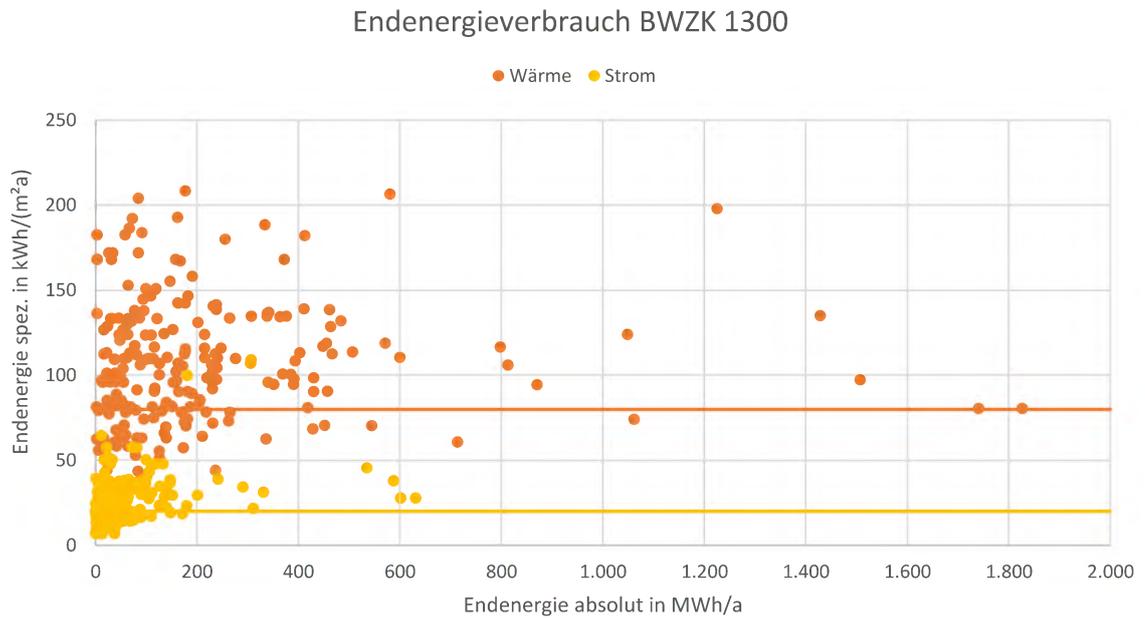


Abbildung 7: Jährlicher Endenergieverbrauch Strom und Wärme für BWZK-Gruppe 1300 „Verwaltungsgebäude, normale technische Ausstattung“ (Vergleichswerte 2015 als Liniendarstellung)

In Abbildung 8 ist das gleiche Diagramm mit Gebäuden der **BWZK-Gruppe 2250** (Institutsgebäude V <sup>32</sup>) dargestellt. Ein Gebäude der Universität Mainz („Anatomische Präparation/Konservierung“) wurde aufgrund eines sehr hohen, nutzungsbedingten Wärme-Kennwerts von 2.100 kWh/(m<sup>2</sup>a) ausgeblendet.

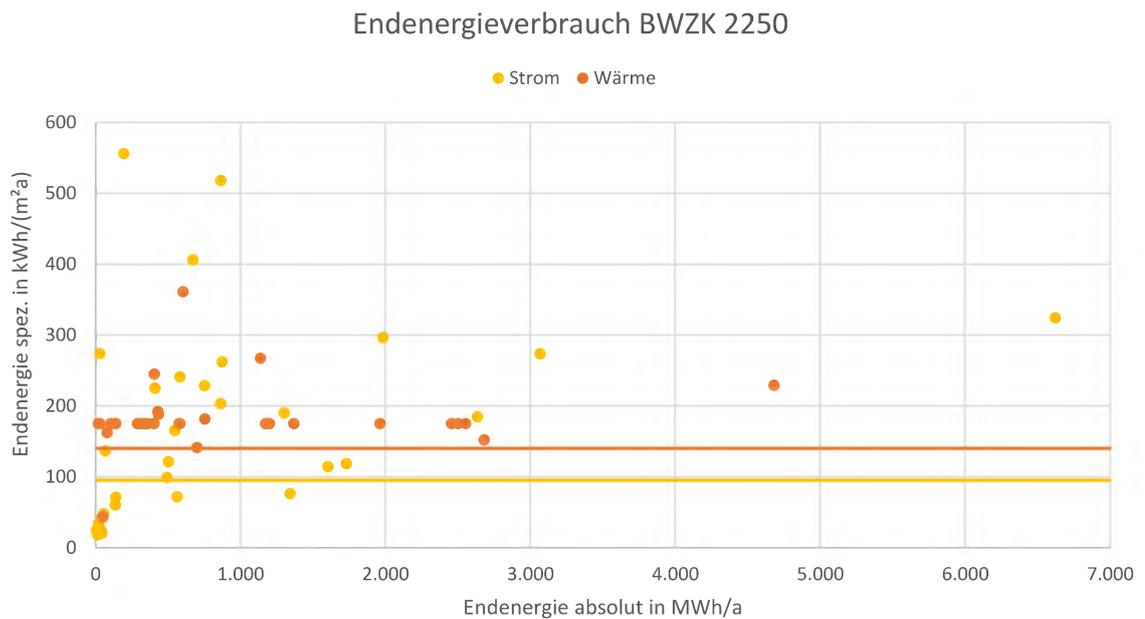


Abbildung 8: Jährlicher Endenergieverbrauch Strom und Wärme für BWZK-Gruppe 2250 „Institutsgebäude V“ <sup>32</sup> (Vergleichswerte 2015 als Liniendarstellung)

Bei Vergleich der beiden Diagramme (unterschiedliche Skalierung der x- und y-Achse zu beachten) wird deutlich, dass die Institutsgebäude deutlich höhere spezifische und absolute Endenergiekennwerte aufweisen. Die Vergleichswerte<sup>34</sup> für diese BWZK-Gruppe liegen bei 140 kWh/(m<sup>2</sup>a) für Wärme und 95 kWh/(m<sup>2</sup>a) für Strom. Somit liegt das Einsparpotential bei dieser BWZK-Gruppe eher in der Optimierung einzelner Gebäude mit hohen spezifischen Energiekennwerten sowie einzelner Gebäude mit großen absoluten Verbrauchswerten aufgrund großer Energiebezugsflächen.

Ein Vergleich der beiden BWZK-Gruppen 1300 „Verwaltungsgebäude, normale technische Ausstattung“ und 2250 „Institutsgebäude V“<sup>32</sup> zeigt, dass die Einsparpotentiale je nach Gebäudetypologie sehr unterschiedlich vorliegen und daher verschiedene Sanierungsansätze erforderlich sind. Während bei den Verwaltungsgebäuden die größten Potentiale zur THG-Reduktion im Bereich Wärme liegen, stellen bei den Institutsgebäuden die nutzungsspezifisch zurückzuführenden hohen Stromverbräuche den Hauptanteil der THG-Emissionen dar. Bei den flächenmäßig kleineren Verwaltungsgebäuden ist ein quantitativer Ansatz mit möglichst vielen Gebäudesanierungen zu verfolgen, wohingegen bei den Hochschulen u. Univ. ein eher qualitativer Ansatz zur Bedarfsreduktion von Wärme und insbesondere Strom in Abstimmung mit dem Nutzer erfolgen muss (bspw. Erstellen von Lüftungsstundenplänen zur Absenkung der Luftmengen u. Betriebszeiten für Laborbereiche).

## D.2.2 Clusterung nach technischen Optimierungspotentialen (Wärmeversorgung)

Ein weiteres Optimierungspotential besteht in der Reduzierung der THG-Emissionen durch eine Umstellung der Wärmeversorgung auf nachhaltige, möglichst regenerative und zukunftsfähige Energietechnik mit geringen Emissionsfaktoren. Hierfür wurde in den nachfolgenden Diagrammen die Wärmeversorgungsstruktur des Status quo analysiert.

Aufteilung Wärmeerzeuger Landesgebäude  
anhand Energieabnahme

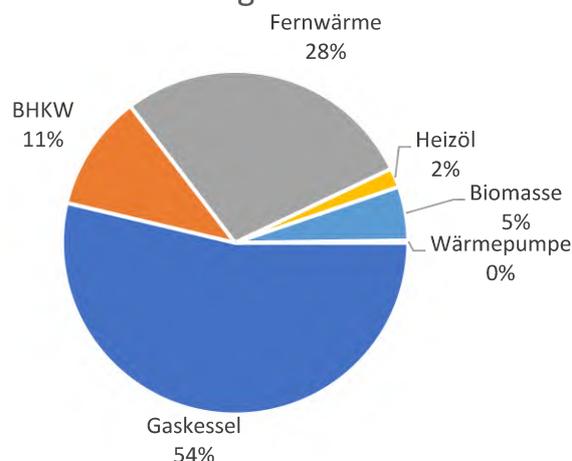


Abbildung 9: Wärmeversorgung Landesliegenschaften o. HS anhand Wärmeabnahme<sup>25</sup>

Aus der Verteilung der abgebildeten Wärmeerzeuger lässt sich mit Berücksichtigung der Emissionsfaktoren der Energieträger (siehe Tabelle 3 auf Seite 41) hohe THG-Einsparpotentiale ableiten, da sowohl bei den Landesliegenschaften o. HS wie auch bei den Hochschulen u. Univ. überwiegend fossilbasierte Erzeuger mit hohen THG-Emissionsfaktoren vorliegen. Der Anteil der Heizöl-Kessel ist mit 1-2 % an der Gesamt-Nutzwärme<sup>25</sup> verschwindend gering und kann in kurzer Zeit durch Erzeugerwechsel im Gebäudeportfolio substituiert werden. Der Anteil regenerativer Wärmeversorgung (Biomasse und Wärmepumpe) beläuft sich lediglich auf 2-5 %.

### Aufteilung Wärmeerzeuger Hochschulen anhand Energieabnahme

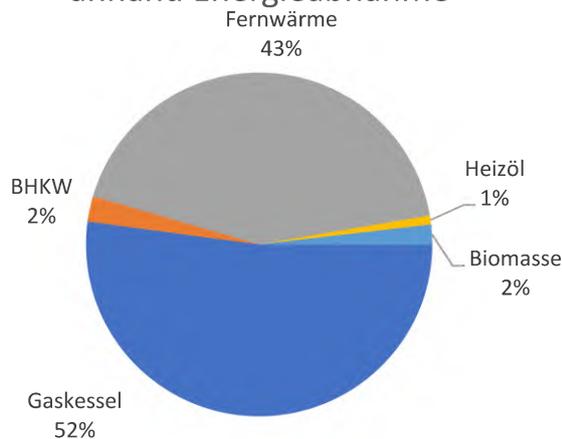


Abbildung 10: Wärmeversorgung Hochschulen u. Univ. anhand Wärmeabnahme<sup>25</sup>

Gaskessel stellen hingegen mit 52-54 % den größten Anteil dar. Der Anteil von gasbetriebenen BHKW liegt bei 2-11 %. Für die zukünftige Entwicklung im Bereich der Wärmeerzeugung kann vorweggenommen werden, dass die Nutzung von Erdgas nur noch kurz- bis mittelfristig und dann vor allem für BHKW bzw. Spitzenlastkessel für elektrische Wärmepumpen als zielführend betrachtet wird. Dies zeigt die Betrachtung in Abb. 11, in der die THG-Emissionen aus der Wärmeerzeugung über u.a. einen Gaskessel und eine Luft/Wasser-Wärmepumpe miteinander verglichen werden. Es wird dabei dieselbe Entwicklung der THG-Emissionsfaktoren für das Strom- und Gasnetz zugrunde gelegt wie in der Szenarienberechnung in Kapitel E.

Der Anteil von Fernwärme versorgten Gebäuden im LBB Portfolio kann zukünftig mit 28-43 % als signifikant hoch bezeichnet werden, weshalb eine Beobachtung der Dekarbonisierungspläne der lokalen Wärmeversorger und die vertragliche Festlegung von ökologischen Mindestanforderungen für die Wärmeabnahme<sup>25</sup> zu empfehlen bzw. umzusetzen sind. Eine Abkopplung der Landesliegenschaften o. HS von den Fernwärmenetzen, um unabhängig von den Fernwärmeversorgern eine THG-neutrale dezentrale Wärmeversorgung in den Gebäuden<sup>37</sup> umzusetzen, wäre nicht nur mit erheblichem Aufwand und Kosten verbunden, sondern v.a. auch eine politische Weichenstellung mit großer

<sup>37</sup> Wärmeerzeuger und ggf. –speicher vor Ort in Liegenschaften oder Einzelgebäuden

Signalwirkung. Diese würde dazu führen, dass u.U. auch andere Fernwärmekunden ihre Abkopplung vorantreiben und das dadurch zu ungünstigen Voraussetzungen für die zielführende Transformation der Fernwärmenetze führt. Wie in Kapitel C.1.6 beschrieben, kann der LBB daher vielmehr auf die Fernwärmeversorger durch ökologische Anforderungen einwirken und sie bei der Dekarbonisierung unterstützen. Dies kommt dann nicht nur den Landesliegenschaften o. HS zugute, sondern allen an Fernwärmenetze angeschlossenen Gebäude.

In Abbildung 11 sind die Emissionen verschiedener Wärmeerzeuger bis 2045 dargestellt. Die hier verwendete Wärmeabnahme<sup>25</sup> von 100.000 kWh/a dient als Beispiel, um die Entwicklung der THG-Emissionsfaktoren des verwendeten Berechnungsmodells grafisch mit Berücksichtigung der jeweiligen Nutzungsgrade der Wärmeerzeuger aufzuzeigen. Die Entwicklung der THG-Emissionsfaktoren kann aus Tabelle 3 sowie der Abbildung 12 entnommen werden.

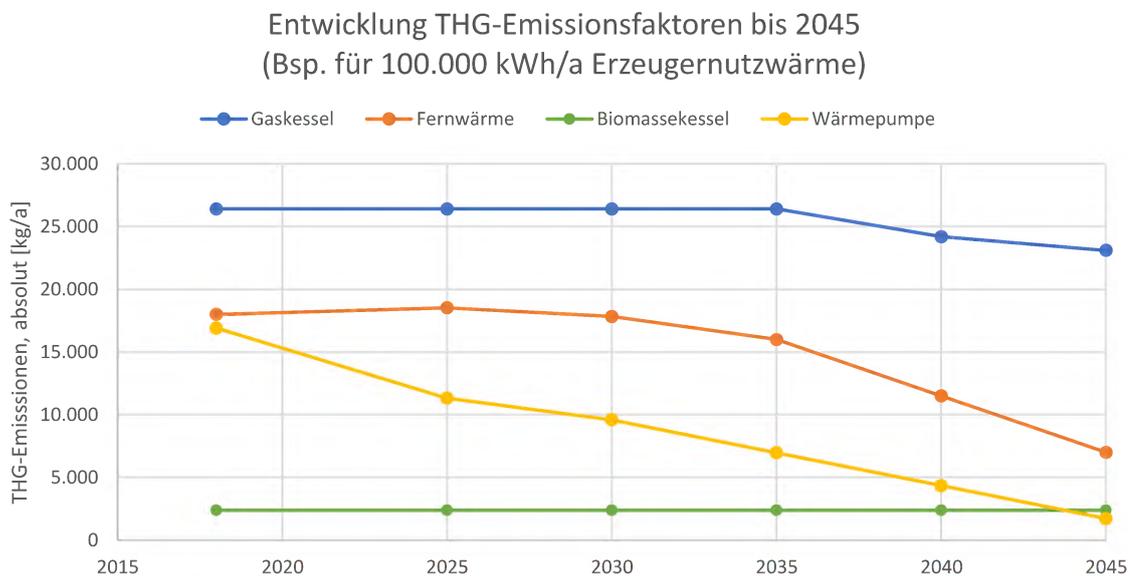


Abbildung 11: Arten der Wärmeversorgung zur Deckung des Wärmeverbrauches der betrachteten Gebäude nach THG-Emissionen

Im Diagramm zeigt sich, dass schon heute die Wärmeerzeugung mit einer Luft/Wasser-Wärmepumpe weniger THG-Emissionen verursacht als ein Gaskessel, obwohl der Emissionsfaktor für Strom aus 2018 bei 560 g CO<sub>2</sub>e pro kWh Endenergie und für Erdgas bei 240 g CO<sub>2</sub>e/kWh liegt. Da Wärmepumpen aber lediglich etwa ein Drittel der produzierten Wärmeabnahme<sup>25</sup> als Strom-Zufuhr (bei einer Jahresarbeitszahl von 3,3) benötigen, liegt der Emissionsfaktor pro kWh Wärmeabnahme<sup>25</sup> einer Wärmepumpe somit bei etwa 169 g CO<sub>2</sub>e. Biomassekessel ermöglichen über den gesamten Betrachtungszeitraum eine emissionsreduzierte Wärmebereitstellung, da Holz aufgrund des während des Baumwachstums aufgenommenen CO<sub>2</sub> in der Gesamtbilanz keine signifikant neuen Emissionen erzeugt. Für die THG-Emissionen von Erdgas wird ab 2035 die Beimischung von Biomethan im Gasnetz einkalkuliert.

Der THG-Faktor für Fernwärme steigt in 2025 geringfügig an, sinkt gemäß dem angenommenen Dekarbonisierungsszenario<sup>38</sup> bis 2045 aber deutlich. Somit kann von einer langfristig zunehmend emissionsärmeren Versorgung aus Fernwärme ausgegangen werden und eine Umstellung der fernwärmeversorgten Gebäude ausgeschlossen werden. Mittel- bis langfristig ist eine Abkopplung der Gebäude vom Gasnetz und Umstellung auf Fernwärme, elektrischen Wärmepumpen und Biomasse zielführend.

Emissionsfaktor [g <sub>CO2e</sub> /kWh]	2018	2025	2030	2035	2040	2045
Strom <sup>39</sup>	560	375	318	231	144	57
Erdgas	240	240	240	240	240	240
Fernwärme <sup>38</sup>	180	185	178	160	115	70
Heizöl	310	310	310	310	310	310
Biomasse	20	20	20	20	20	20
Biogas	140	140	140	140	140	140
PV-Strom	0	0	0	0	0	0
Verdrängungsstrommix <sup>39</sup>	860	576	488	355	221	88
Erdgas + Biogas-Beimischung ab 2036	240	240	240	240	220	210

Tabelle 3: THG-Emissionsfaktoren im Verlauf bis 2045 (Quelle: Gebäudeenergiegesetz 2020)

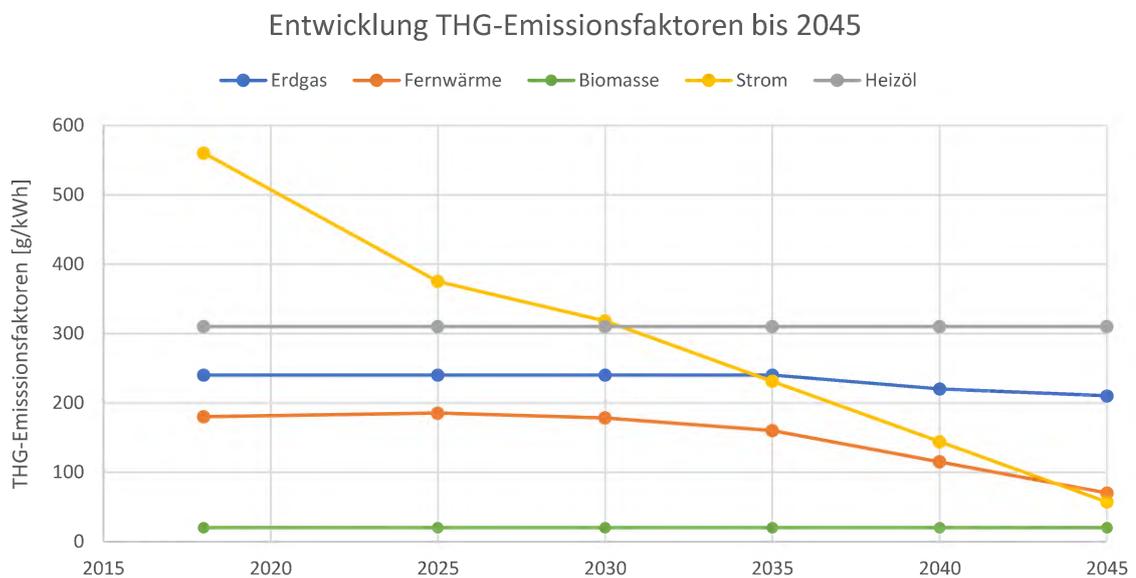


Abbildung 12: Grafische Darstellung der THG-Emissionsfaktoren im Verlauf bis 2045

<sup>38</sup> Annahmen Fernwärme Entwicklung nach „Klimapfade für Deutschland“, Philipp Gerbert, Patrick Herhold, u.a., 2018.  
<sup>39</sup> Annahmen Strom-Emissionsfaktor-Entwicklung nach „7-03-17 Untersuchung zu Primärenergiefaktoren“, Martin Pehnt u.a., 2018 (Verdrängungsstrommix-Entwicklung in Anlehnung hierzu)

Mehr als 50 % der Wärmeabnahme<sup>25</sup> des Gebäudebestandes wird über Gaskessel bereitgestellt. Die Umstellung der gasversorgten Gebäude auf erneuerbare Wärmeerzeuger wird im Hinblick auf die klimaneutrale Landesverwaltung zu einem der zentralen Handlungsfelder. Fernwärmeversorgung stellt anteilig die zweitgrößte Versorgungsart im Portfolio dar. Indirekt kann der LBB über vertraglich festgelegte ökologische Mindestanforderungen zur Dekarbonisierung der Fernwärme-Netze beitragen, was mit ebenso hoher Priorität verfolgt werden muss.

## D.3 Zusammenfassung grundlegender Erkenntnisse

### Datengrundlage

Die Auswertung und Analyse der Energieverbräuche des Gebäudeportfolios der Landesliegenschaften o. HS und Hochschulen u. Univ. findet auf der Basis einer belastbaren Datengrundlage auf Liegenschaftsebene aus Versorgerabrechnungen statt.

Da sich die vorliegenden Energiedaten auf die Liegenschaftsebene beziehen, die Untersuchungen aber auf Gebäudeebene vorgenommen werden, müssen die Energiedaten bei Liegenschaften mit mehreren Gebäuden per Fläche und BWZK umgerechnet werden, was zu einer vereinfachten Darstellung führt. Eine Erfassung der Netzverluste bei der Wärmeverteilung in Liegenschaften ist somit nicht möglich. Für die JGU Mainz wurden die Daten der Controlling-Software Interwatt auf Gebäudeebene verwendet und der Abgleich gemessener und berechneter Werte zur Plausibilisierung der oben beschriebenen Methode herangezogen.

Es ist ein weiterer Ausbau sowie eine kontinuierliche Pflege des Energiecontrollings und Monitorings auf Gebäudeebene notwendig, um eine energetische Bewertung von Einzelgebäuden des gesamten Portfolios durchzuführen.

Eine qualifizierte und regelmäßige Auswertung der Controlling-Daten ist essentiell. Auch eine Prüfung der vorhandenen Controlling-Messtellen vor allem im gut ausgebauten Bereich der Hochschulen u. Univ. ist notwendig, um eine Anpassung der Systeme bei baulichen Veränderungen sicher zu stellen.

### Einsparungspotentiale auf BWZK-Ebene

Eine differenzierte Betrachtung der absoluten Strom- und Wärmeverbräuche nach BWZK-Gruppen erlaubt eine genauere Zuordnung der Einsparpotentiale. Diese sind in den einzelnen BWZK-Gruppen sehr unterschiedlich ausgeprägt. Von besonderem Interesse für vertiefende Betrachtungen sind BWZK-Gruppen mit hohen absoluten Einsparpotentialen gegenüber dem Vergleichswert, die sich i.d.R. auf einen hohen absoluten Strom- bzw. Wärmeverbrauch<sup>40</sup> in Verbindung mit einer hohen Überschreitung der entsprechenden Vergleichswerte zurückführen lassen. Darüber hinaus sind auch BWZK-Gruppen mit hohen relativen Einsparpotentialen von Interesse, da diese auf eine hohe Überschreitung des Vergleichswertes zurückzuführen sind. Dies ist gleichbedeutend mit einem hohen Einsparpotential pro Quadratmeter Energiebezugsfläche und lässt eine hohe Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit von Sanierungsmaßnahmen erwarten. Ein Vergleich der beiden

---

<sup>40</sup> Dieser resultiert wiederum i.d.R. aus einem hohen Flächenanteil der BWZK-Gruppe an der Gesamtfläche des Gebäudeportfolios und/oder einem hohen spezifischen Strom- bzw. Wärmebedarf.

BWZK-Gruppen 1300 „Verwaltungsgebäude, normale technische Ausstattung“ und 2250 „Institutsgebäude V“<sup>32</sup> zeigt, dass das vorhandene Einsparpotential nur mit unterschiedlichen Ansätzen gehoben werden kann, die den Rahmenbedingungen der jeweiligen BWZK-Gruppe angepasst werden müssen. So sind die Verwaltungsgebäude i.d.R. kleine Gebäude, die jedes für sich genommen keine hohen absoluten Einsparpotentiale bieten. Dafür sind sie in ihrer Nutzung sehr homogen, unterscheiden sich also nur in einem sehr engen Rahmen voneinander. Unter diesen Rahmenbedingungen kann die Erstellung grundsätzlicher Modell-Sanierungskonzepte und deren Übertragung auf viele Anwendungsfälle ein sinnvoller Ansatz zur Hebung des auf die gesamte BWZK-Gruppe bezogenen hohen absoluten Wärmeeinsparpotentials sein. Im Gegensatz dazu sind die Institutsgebäude V<sup>32</sup> i.d.R. große Gebäude, die häufig für sich genommen ein großes absolutes Einsparpotential bieten. Aufgrund der differenzierten Nutzungstypologie (Laborgebäude für naturwissenschaftliche Forschung und Lehre), den damit verbundenen hohen Anforderungen an die Gebäudekonditionierung (z.B. i.d.R. mit maschineller Lüftung) und der häufig mit anderen Gebäuden über Liegenschaftsnetze verbundenen Wärme- und ggf. Kälteversorgung stellen hier auch aufwendigere Einzelbetrachtungen für Sanierungskonzepte einen sinnvollen Ansatz zur Hebung des hohen absoluten Wärmeeinsparpotentials dar. Unter Einbeziehung von Vorgaben aus Konzepten auf Liegenschaftsebene wie z.B. neue Raumprogramme und neue qualitative Bedarfsanforderungen sowie von Erfahrungen aus ähnlichen Projekten können zukunftsfähige Ansätze zur Optimierung der Wärme-, Kälte- und Stromversorgung, auch unter dem Trend der sich erhöhenden elektrischen und kältetechnischen Leistungsbedarfe, entwickelt werden.

### **Rahmenbedingungen zur Umstellung der Wärmeversorgung**

Auch in Bezug auf die Wärmeversorgung ist eine differenzierte Vorgehensweise von Vorteil: Bei Vor-Ort-Wärmeerzeugern liegen alle baulichen und sonstigen Maßnahmen in Bezug auf das Gebäude und die Anlagentechnik in der Hand des LBB und sind i.d.R. unabhängig von Dritten in einem kurzfristigen Zeithorizont umsetzbar. Der Anteil der mit Gaskesseln versorgten Gebäude stellt mit 52-54 % an der Wärmeabnahme<sup>25</sup> den größten Teil der Wärmeversorgung dar. Eine Umstellung auf erneuerbare Energiequellen erfordert i.d.R. eine deutliche Absenkung der Vorlauftemperaturen des Heizsystems auf Niedertemperaturniveau. Die Wärmeerzeugung kann dann v.a. durch elektrische Wärmepumpen sowie – in Fällen, in denen kein Niedertemperaturniveau erreicht werden kann aufgrund einschränkender Rahmenbedingungen wie bspw. Denkmalschutz – durch Biomasse-Kessel erfolgen. Die Umstellung der Liegenschafts-Wärmenetze von fossile auf erneuerbare Wärmequellen erfordert i.d.R. ebenso eine Absenkung des Niedertemperaturniveaus. Die Anlage können dabei nur dann effizient arbeiten, wenn der Temperaturunterschied zwischen den Wärmequellen und Heizsystem möglichst klein ist. Die im Nahwärmenetz versorgten Gebäude, können im Unterschied zur gebäudezentralen Vor-Ort-Wärmeerzeugung nicht einzeln betrachtet werden, sondern müssen als Liegenschaft auf ein möglichst uniformes Temperaturniveau abgesenkt werden. Der Anteil der Fernwärme versorgten Gebäuden stellt mit 28-43 % an der Wärmeabnahme<sup>25</sup> die zweitgrößte Wärmeversorgungsart im Portfolio dar. Zukünftig ist davon auszugehen, dass der Anteil weiter ansteigt. Deshalb sollten die Dekarbonisierungspläne der Versorger genau verfolgt werden und LBB-interne, stetig strengere ökologische Anforderungen definiert und an die Wärmeversorgung weitergegeben werden.

Die Umstellung eines Wärmenetzes auf erneuerbare Energien ist nur in einem langfristigen Zeithorizont umsetzbar. Hierzu ist ein mit den Energieversorgungsunternehmen koordiniertes und vorausschauendes Vorgehen notwendig.

### **Priorisierung Hochverbraucher**

Außerdem sollte der Fokus auf Liegenschaften gerichtet werden, die aufgrund ihres hohen spezifischen oder absoluten Energieverbrauches oder hoher THG-Emissionen hervorstechen. Diese sollten in der zeitlichen Priorisierung der zu sanierenden Gebäude vorangestellt werden. Allen voran zeigen sich die Universität Mainz sowie die TU Kaiserslautern als Liegenschaften mit den höchsten absoluten Verbrauchswerten. Mit insgesamt 21 % Flächenanteil am Gesamtportfolio sind die beiden Liegenschaften für 28 % des Wärme- und 47 % des Stromverbrauchs des Portfolios verantwortlich. Weitere Hochverbraucher sind die JVA Wittlich mit einem Anteil von 5 % am Wärme- und 3 % am Stromverbrauch, sowie die Universität Trier mit 4 % und 5%.

## E Entwicklungsszenarien für das Gebäudeportfolio

### E.1 Festlegung der Grundlagen für alle Szenarien

#### E.1.1 Sanierungstiefe und Einsparpotentiale

Als Grundlage für die Gesamtsanierung in der Szenarienberechnung dienen Einsparpotentiale aus einer ausführlichen Untersuchung des Referenzprojektes der GMSH<sup>11</sup>. Die Kennwerte wurden im Projekt auf Grundlage von 102 ausgewählten Gebäuden mit der Software-Anwendung TEK-Tool des Instituts für Wohnen und Umwelt ermittelt. Ein Vergleich des Gebäudebestandes des Referenzprojektes mit dem Gebäudebestand des LBB-Portfolios hat ausreichend Übereinstimmungen und Ähnlichkeiten in der Nutzungsweise (BWZK-Gruppen), der Gebäudestruktur (Flächen, Baujahre, Energiestandard, etc.) sowie den Energiekennwerten (Wärme und Strom) ergeben. Aufgrund der Ähnlichkeit der beiden Portfolios ist eine Übertragung der möglichen Einsparpotentiale je BWZK-Gruppe auf das LBB Portfolio anwendbar.

Die Definition der Sanierungstiefe (Maßnahme Gesamtsanierung) wird über drei Varianten festgelegt:

- Sanierungstiefe A: Sanierungstiefe für Gebäudehülle oder -technik mit energetischen Qualitätsmaßstab gemäß Anforderungen des GEG 2020. Hierbei wird davon ausgegangen, dass die jeweiligen Gebäude eine Gesamtsanierung erhalten.
- Sanierungstiefe B: Mittlere Sanierungstiefe mit anteiligen energetischen Mindestanforderung gemäß GEG und anteiligen klimaneutralen Gebäudestandard. (Findet in Berechnungsmodell und Gutachten keine Anwendung, da bereits als Mittelwert zwischen Tiefe A und Tiefe C in Ergebnissen enthalten.)
- Sanierungstiefe C: Ziel der Sanierungen mit Tiefe C sind möglichst klimaneutrale Gebäude. Um dies zu erreichen, wird von einer erhöhten Qualität der Maßnahmen gegenüber Sanierungstiefe A sowie weiterer sinnvoller energetische Maßnahmen ausgegangen.

In den nachfolgenden Szenarien wird Sanierungstiefe A dem Minimalszenario und Sanierungstiefe C dem Maximalszenario zugeordnet (siehe Anlage 01).

Ferner werden einzelne unplausible Potentiale sowie Werte für fehlende BWZK-Gruppen anhand der Vergleichswerte ermittelt. Für Sanierungstiefe A diente die Bekanntmachung aus 2015<sup>34</sup> und für Sanierungstiefe C die neuere Bekanntmachung aus 2021<sup>35</sup> als Grundlage. Sanierungstiefe B stellt bei den Vergleichswerte-Potentiale einen Mittelwert aus Tiefe A und C dar, wird in den Szenarienberechnungen aber nicht weiterverwendet.

Die Wärme-Einsparpotentiale der Wohngebäude werden mithilfe des Excel-Tools IW.2050<sup>41</sup> ermittelt, welches Kennwerte vom Fraunhofer IRB<sup>42</sup> verwendet.

In Abbildung 13 sind die Einsparpotentiale des Wärmebedarfs je BWZK-Gruppe für alle drei Sanierungstiefen A, B, C abgebildet. Die Potentiale liegen im Mittel bei 27 % für Tiefe A und bei 54 % für Tiefe C. Einige BWZK-Gruppen weisen aufgrund ihrer Nutzung hohe Abweichungen von den Mittelwerten auf, wie zum Beispiel BWZK-Gruppe 5200 (Schwimmballen), für welche erst ab Sanierungstiefe B Einsparungen zu erwarten sind. Die Wohngebäude hingegen werden bereits mit Erfüllung der GEG-Anforderungen (Tiefe A) sehr hohe Einsparungen erreichen.

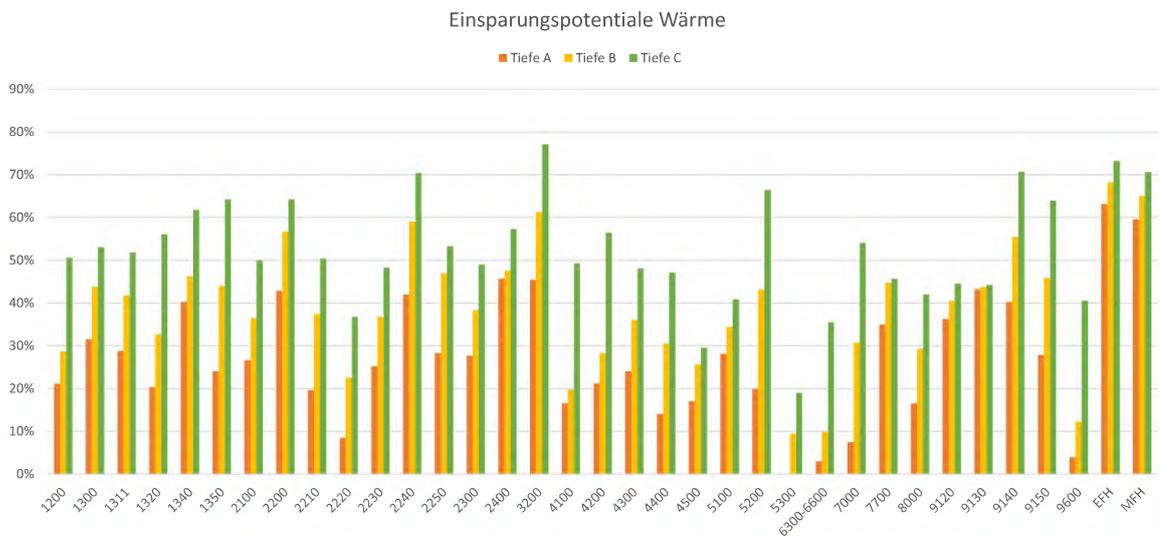


Abbildung 13: Einsparpotentiale Wärmebedarf je BWZK-Gruppe, abgeleitet aus Referenzprojekt und Vergleichswerten

Die Einsparpotentiale des Strombedarfs je BWZK-Gruppe sind in Abbildung 14 dargestellt. Auffällig ist, dass bei den BWZK-Gruppen 1320 (Verwaltungsgebäude mit höherer technischer Ausstattung), 2200 (Institutsgebäude II<sup>32</sup>) und 4200 (Berufsbildende Schulen) für Sanierungstiefe C negative Einsparungen in den Steckbriefen des Referenzprojektes ermittelt werden. Dies ist auf besondere Gebäude- und Nutzungsmerkmale zurückzuführen, welche den Einsatz von Lüftungsanlagen nach Sanierungen notwendig machen, um die notwendigen Luftwechsel zu gewährleisten. Hierdurch steigt der Strombedarf signifikant an. Dies zeigen in den vergangenen Jahren bereits die Energieberichte des LBB. Ähnliche Bedingungen sind bei den BWZK-Gruppen 2210 (Institutsgebäude I<sup>32</sup>), 2400 (Fachhochschulen), 4500 (Weiterbildungseinrichtungen) und 7700 (Gebäude für öffentliche Bereitschaftsdienste) aufzufinden, welche sich durch geringere Einsparungen in Tiefe C gegenüber Tiefe A und/oder B darstellen. Insgesamt liegen die mittleren Einsparpotentiale für den Strombedarf bei 13 % in Sanierungstiefe A und 16 % in Tiefe C. Hier ist somit aufgrund der bereits genannten höheren Anforderungen an die Gebäudetechnik bei höheren Energiestandards keine signifikante Steigerung der Stromeinsparungen zu erwarten.

<sup>41</sup> „CO2-Technikwerkzeug“ der Initiative Wohnen.2050, Version 1.3., 2020

<sup>42</sup> "Wirtschaftlichkeit baulicher Investitionen bei Erhöhung energetischer gesetzlicher Anforderungen", Fraunhofer IRB, 2018

Gegebenenfalls können Einsparungen durch Betriebsoptimierungen oder durch den Einsatz effizientere Geräte auf der Nutzerseite erzielt werden. Hierfür sollten Gespräche mit den Gebäudenutzern gesucht werden.

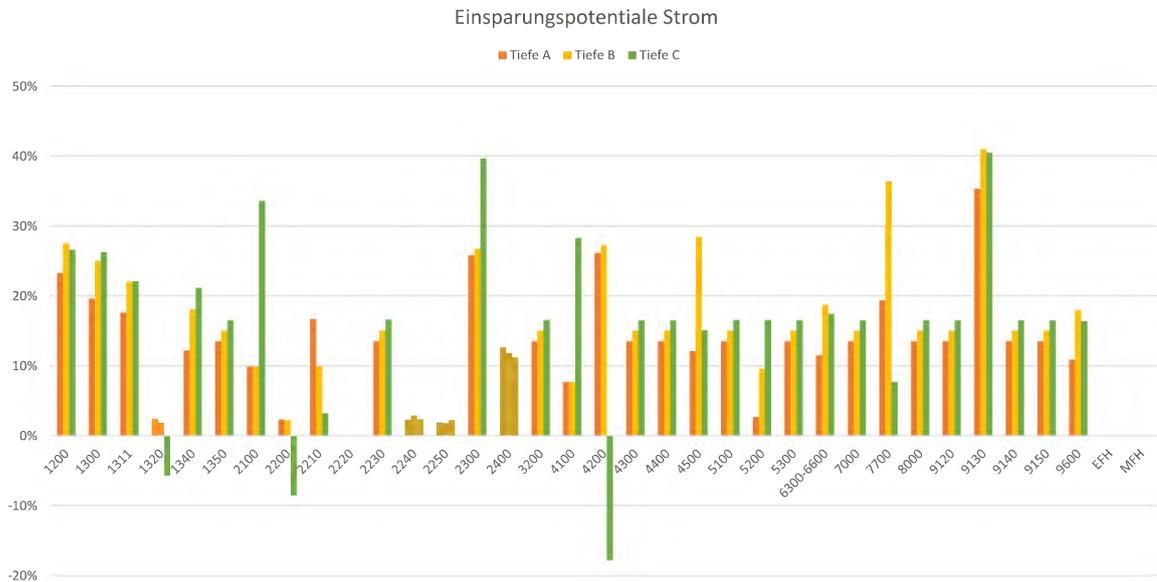


Abbildung 14: Einsparpotentiale Strombedarf je BWZK-Gruppe, abgeleitet aus Referenzprojekt und Vergleichswerten

### E.1.2 Aufbau des Berechnungsmodells

Wie bereits in Kapitel D.2 erläutert, gibt es mehrere Maßnahmenpakete zur Reduzierung der Treibhausgase im Portfolio. Hiervon werden drei Hauptmaßnahmen einer ausführlichen Betrachtung mithilfe eines umfangreichem Berechnungsmodells unterzogen.

Die erste und bedeutendste Maßnahme ist die Gesamtsanierung, welche bauliche und technische Optimierungspotentiale beinhaltet. Bauliche Potentiale werden im Berechnungsmodell mithilfe von Einsparpotentialen ermittelt, wodurch die Energieabnahme im Portfolio deutlich reduziert werden kann. Zusätzlich findet in allen Gebäuden, welche eine Gesamtsanierung erhalten und als Haupt-Wärmeversorger Gas- oder Ölkessel aufweisen, ein Erzeugerwechsel auf effizientere Wärmeerzeuger statt. Alle beheizten Gebäude, die aufgrund der gewählten Sanierungsrate keine Gesamtsanierung erhalten und fossile Wärmeerzeuger als Haupt-Wärmeerzeugung verwenden, werden mithilfe eines Erzeugerwechsels technisch optimiert. Zusätzlich erhalten alle Gebäude mit Erzeugerwechsel auch eine Betriebsoptimierung zur Reduzierung des Strombedarfs. Alle Gebäude, welche keiner Sanierung unterzogen werden und über keinen Gas- oder Ölkessel als Haupterzeuger verfügen, erhalten eine Betriebsoptimierung des Wärme- und Strombedarfs. Unbeheizte Gebäude erhalten eine Betriebsoptimierung des Strombedarfs. Maßnahmen nach weiteren organisatorischen Potentialen aus Kapitel C.1 finden in den Berechnungen keine Anwendung, sondern werden aufgrund fehlender Grundlagen (z.B. eingesetzte Materialien bei Sanierungen), nur in der Theorie in Kapitel F erneut aufgegriffen.

Für die Berechnung der Szenarien werden die Gebäude des Portfolios in Cluster eingeteilt, anhand welcher eine Zuordnung der Sanierungsmaßnahmen erfolgt. Das Cluster

Wärmeversorgung wird hier für die Zuordnung zur Maßnahme Erzeugerwechsel benötigt, welche zusätzlich auch in der Maßnahme Gesamtanierung enthalten ist. Alle Gebäude mit Gas- oder Ölkessel erhalten einen Erzeugerwechsel, alle Gebäude mit BHKW, Biomassekessel, Fernwärme oder Wärmepumpen behalten ihre aktuelle Wärmeversorgung bei. Da die Verbrauchsdaten auf Liegenschaftsebene vorliegen (vgl. Kapitel D.1) und die Übertragung des Liegenschaftsverbrauchs auf Gebäudeebene dazu führt, dass im Berechnungsmodell einige Gebäude über mehrere Wärmeerzeuger verfügen, wird lediglich der Erzeuger des Gebäudes mit dem höchsten Endenergieverbrauch (Haupterzeuger) für die Kategorisierung zum Erzeugerwechsel berücksichtigt.

Ein weiteres Cluster, welches für die Maßnahmenzuordnung verwendet wird, ist die Kategorisierung der Gebäude anhand einer Sanierungsampel. Alle Gebäude des Portfolios wurden von den zuständigen Mitarbeitern der Sparten GMI (Gebäudemanagement und Instandhaltung) in den Niederlassungen in die Ampel-Kategorien Rot, Gelb und Grün eingeteilt, um auf einfachem Weg aufzuzeigen, ob kürzlich an dem Gebäude Sanierungen durchgeführt wurden oder wie hoch der Sanierungsbedarf eingeschätzt wird. Für die Berechnungen der Maßnahme Gesamtanierung werden daher nur Gebäude mit roter oder gelber Sanierungsampel berücksichtigt, Gebäude mit grüner Ampel werden für dieses Gutachten mit Betrachtungszeitraum bis 2045 von Sanierungen ausgeschlossen.

Gebäude mit grüner Ampel sowie Gebäude, die ebenfalls aufgrund unterschiedlicher Gegebenheiten von der Sanierung ausgeschlossen werden, werden im Cluster „Sockelgebäude“ zusammengefasst. Hierzu gehören ebenso unbeheizte Gebäude sowie sogenannte Ausreißer, welche Verbrauchskennwerte mit einer Differenz zu den jeweiligen Vergleichswerten der Bekanntmachung 2015<sup>34</sup> von über 500 % aufweisen. Diese Gebäude erhalten zwar keine Gesamtanierung, können jedoch für einen Erzeugerwechsel berücksichtigt werden, wenn diese beheizt sind und als Haupterzeuger über einen Gas- oder Ölkessel verfügen. Weiterhin erhalten alle Sockelgebäude (abhängig nach Szenario und hierin vorgesehenen Raten) eine Betriebsoptimierung. Bei Gebäuden mit Erzeugerwechsel sowie unbeheizten Gebäuden wird eine Optimierung des Strombedarfs vorgesehen, bei allen anderen Sockelgebäuden werden sowohl Strom- als auch Wärmebedarf verbessert.

Das Cluster Denkmalschutz hat keine Auswirkungen auf die Zuordnung der Gebäude in Sanierungsmaßnahmen, sondern lediglich auf die jeweilige Sanierungstiefe. Im Berechnungsmodell, welches Einsparpotentiale für alle Gebäude einzeln je nach Cluster und BWZK-Gruppe kalkuliert, ist zusätzlich zur Einordnung in die Sanierungsmaßnahmen auch eine Reihung der Gebäude notwendig, um anhand der festgelegten Sanierungsraten jedem Gebäude einen Sanierungszeitraum zuweisen zu können. Die Sanierungszeiträume werden in Absprache mit dem LBB auf 5-Jahres-Abschnitte festgelegt. Startjahr ist 2027 als Start des Sanierungsprogramms für große Baumaßnahmen in Erweiterung zu den derzeit bereits laufenden Maßnahmen, um genügend Vorlaufzeit für alle notwendigen Planungen und Beauftragungen zur Verfügung zu haben, damit im Startjahr die vorgesehenen Maßnahmen bereits vollumfänglich umgesetzt werden können.

Die Sanierungszeiträume werden wie folgend festgelegt:

- 2027 bis 2030 (4 Jahre)
- 2031 bis 2035 (5 Jahre)

- 2036 bis 2040 (5 Jahre)
- 2041 bis 2045 (5 Jahre)

Die Gebäudereihung wird anhand der absoluten Wärmeabnahme<sup>25</sup> getrennt nach Landesliegenschaften o. HS und Hochschulen u. Univ. durchgeführt, wobei Ausreißer nicht berücksichtigt werden. Anhand der gereihten Gebäude werden nachfolgend die Sanierungsmaßnahmen auf die Gebäude anhand der jeweiligen Sanierungsrate sowie der Nettogrundfläche aufgeteilt. Somit wird beispielsweise das Gebäude „WE 443-16“ des Bereiches Landesliegenschaften o. HS mit einer Fläche von 2.004 m<sup>2</sup> im Minimalszenario nicht für eine Gesamtsanierung vorgesehen, da die Gebäude 1 bis 73 der Reihung bereits über eine Fläche von 348.980 m<sup>2</sup> verfügen und im Minimalszenario mit einer Sanierungsrate von 0,5 % pro Jahr bis zum Jahr 2045 lediglich 158.745 m<sup>2</sup> saniert werden. Dennoch wird das Gebäude auch im Minimalszenario optimiert und erhält aufgrund eines Gaskessels als Haupterzeuger einen Erzeugerwechsel im Zeitraum 2041 bis 2045. Im Maximalszenario mit 3 % Sanierungsrate pro Jahr wird das Gebäude hingegen bereits im Zeitraum 2031 bis 2035 einer Gesamtsanierung unterzogen.

### E.1.3 Unterschiede minimales und maximales Sanierungsszenario

Wie bereits in Kapitel B erläutert, werden Berechnungen für verschiedene Szenarien durchgeführt, um die Auswirkungen verschiedener Eingangsparameter und den damit notwendigen Planungsgrundlagen für die angestrebte Zielerreichung aufzuzeigen. Im Berechnungsmodell wird ein Minimalszenario und ein Maximalszenario analysiert. Hierfür wurden in Absprache mit dem LBB mehrere Parameter für die Szenarien definiert, welche der Anlage 01 entnommen werden können. Die nachfolgenden Ergebnisse, welche zur besseren Übersichtlichkeit größtenteils als Diagramme dargestellt sind, können in Anlage 04 in Tabellenform eingesehen werden.

Die Haupt-Variablen Sanierungsrate und Sanierungstiefe stellen die größten Einflussfaktoren im Berechnungsmodell dar, weshalb diese auch in Kapitel 0 einer Sensitivitätsanalyse unterzogen werden. Für das Minimalszenario wird die Sanierungsrate auf 0,5 % pro Jahr festgelegt. Für das Maximalszenario wird die Sanierungsrate auf 3 % pro Jahr erhöht, da diese eine realistisch umsetzbare Maximierung dieses Parameters darstellt. Der zweite Haupt-Eingangsparameter ist die Sanierungstiefe. Hierzu wurden in Kapitel E.1.1 bereits die aus dem Referenzprojekt übertragenen Einsparpotentiale erläutert und grafisch dargestellt. Für das Minimalszenario werden die Potentiale aus Sanierungstiefe A und für das Maximalszenario die Potentiale aus Sanierungstiefe C verwendet. Die Potentiale aus Tiefe B finden keine Anwendung im Berechnungsmodell, da deren Ergebnisse näherungsweise aus den Mittelwerten der Ergebnisse des Minimal- und Maximalszenarios abgeleitet werden können.

Einen weiteren markanten Eingangsparameter für die Szenarienanalyse stellen die Berechnungsgrundlagen für die Einsparpotentiale aus der Stromerzeugung von Photovoltaik-Anlagen dar. Hierfür wird für beide Szenarien angenommen, dass eine Installation der PV-Anlagen nur erfolgt, wenn das Gebäude saniert wird (Gesamtsanierung oder Erzeugerwechsel). Da keine Portfolio-weite Auflistung der Dachflächen vorliegt, wurde in Absprache mit dem LBB näherungsweise die Annahme getroffen, dass im Durchschnitt die

Gebäude über 4 Geschosse verfügen und die Dachfläche schätzungsweise mit einem Viertel der Nettogrundfläche festgelegt. Im Minimalszenario werden 14 % und im Maximalszenario 20 % der Dachfläche als PV-Fläche für die Kalkulation des PV-Stromertrages sowie der Kosten angesetzt.

Die Annahmen zur Betriebsoptimierung sind ebenfalls mit großen Unterschieden in den Szenarien vertreten, da für das Minimalszenario aufgrund einer Weiterführung des Status quo keine Betriebsoptimierung vorgesehen wird. Im Maximalszenario wird eine Betriebsoptimierung mit einer mittleren Reduktion von 10 % des Endenergiebedarfs für Wärme und Strom mit einer Sanierungsrate von 2,3 % pro Jahr einkalkuliert, um alle Gebäude bis 2045 mit mindestens einer der Optimierungsmaßnahmen zu verbessern.

Wie bereits in Kapitel E.1.2 erläutert, wird der Erzeugerwechsel (in Maßnahme Gesamtsanierung und Maßnahme Erzeugerwechsel) für alle Gebäude mit Gas- oder Ölkessel als Haupt-Wärmeerzeuger durchgeführt. Als neuer Erzeuger wird im Berechnungsmodell ein Erzeugermix angenommen, der sich je nach Szenario und Sanierungszeitraum aus verschiedenen Technologien zusammensetzt. Die genaue Aufteilung wurde eng mit dem LBB abgestimmt und ist in Anlage 01 hinterlegt. Der Erzeugermix besteht aus den Wärmeerzeugern BHKW, Wärmepumpe, Solarthermie, Direktheizung (zur Trinkwarmwasserbereitung), Fernwärme sowie Spitzenlast-Gaskessel. Im Minimalszenario stellen BHKW den größten Anteil der Wärmeerzeuger dar, im Maximalszenario wird der Fokus auf Wärmepumpen gelegt und BHKW bereits ab 2027 nicht mehr berücksichtigt. Über den Verlauf der Sanierungszeiträume im Minimalszenario wird der Anteil der BHKW reduziert und der Anteil an Wärmepumpen erhöht. Im Maximalszenario wird eine konstante Zusammensetzung des Erzeugermix angenommen. Die Emissionen der BHKW werden außerdem wie im Status quo für das Meilensteinjahr 2030 mit der Stromgutschriftmethode im Berechnungsmodell kalkuliert, für die Jahre 2035, 2040 und 2045 wird diese Methode nicht weiter angewandt, da eine zukünftige Umstellung der Berechnungsmethode auf die Carnot-Methode o.ä. sehr wahrscheinlich ist und die Stromgutschriftmethode nicht zielführende Anreize in Richtung fossiler Wärmeversorgung setzt.

Zusätzlich werden im Berechnungsmodell zukünftige Neubaupläne miteinkalkuliert. Hierfür wurde eine Flächenzuwachsrate von 0,7 % pro Jahr verwendet, welche von dem LBB aus den letzten Jahren abgeleitet wurde. Für die Neubaupläne werden separate Eingangsparameter festgelegt, welche der Anlage 01 entnommen werden können.

#### E.1.4 Übersicht Optimierungsmaßnahmen

Die folgende Abbildung 15 stellt eine Aufteilung der im Berechnungsmodell verwendeten Optimierungsmaßnahmen auf die Gesamtnettogrundfläche der Landesliegenschaften o. HS für den Status quo in 2018 sowie für die Sanierungszeiträume bis 2045 dar. Die Gesamtfläche beträgt im Jahr 2018 1.670.995 m<sup>2</sup>. Der Anstieg der kumulierten Flächen bis 2045 auf 1.893.238 m<sup>2</sup> zeigt den Zuwachs der Gesamtfläche aufgrund der geplanten Neubaupläne (grün) um etwas mehr als 200.000 m<sup>2</sup> bis 2045. Im Diagramm wird insbesondere der große Unterschied in den Szenarien in Bezug auf die Sanierungsrate deutlich, welche im Minimalszenario lediglich 0,5 % pro Jahr und im Maximalszenario 3 % pro Jahr

beträgt. Aufgrund dessen beträgt der Flächenanteil an unsanierten Gebäuden im Minimalszenario im Jahr 2045 noch 72 %. Mit einer Rate von 3 % pro Jahr können im Maximalszenario 50 % der Flächen bis 2045 einer Gesamtsanierung unterzogen werden.

Weiterhin ist abzulesen, dass im Minimalszenario keine Betriebsoptimierung (blau) einbezogen wird, wie bereits im vorherigen Kapitel erläutert. Im Maximalszenario liegt der Anteil der Betriebsoptimierungen bei 18 % in 2045. Bis zum Jahr 2030 können innerhalb des ersten Sanierungszeitraums 23 % der Fläche bei Anwendung des Maximalszenarios optimiert werden. Mit dem Minimalszenario sind hingegen nur 6 % der Fläche sanierbar.

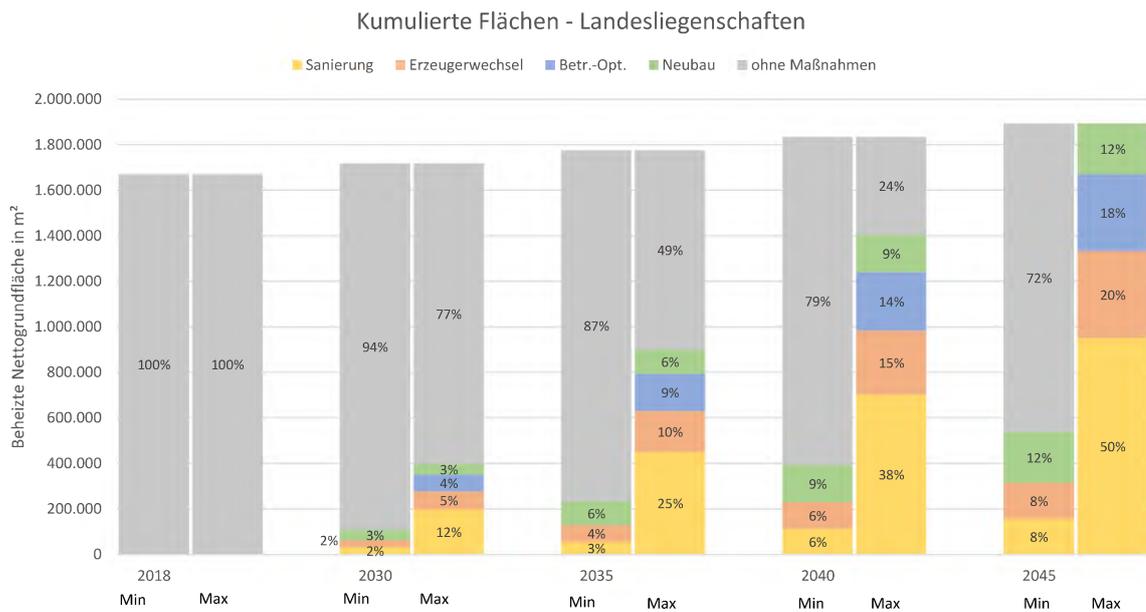


Abbildung 15: Kumulierte Nettogrundflächen im Bereich Landesliegenschaften o. HS mit Anteilen der Sanierungsmaßnahmen

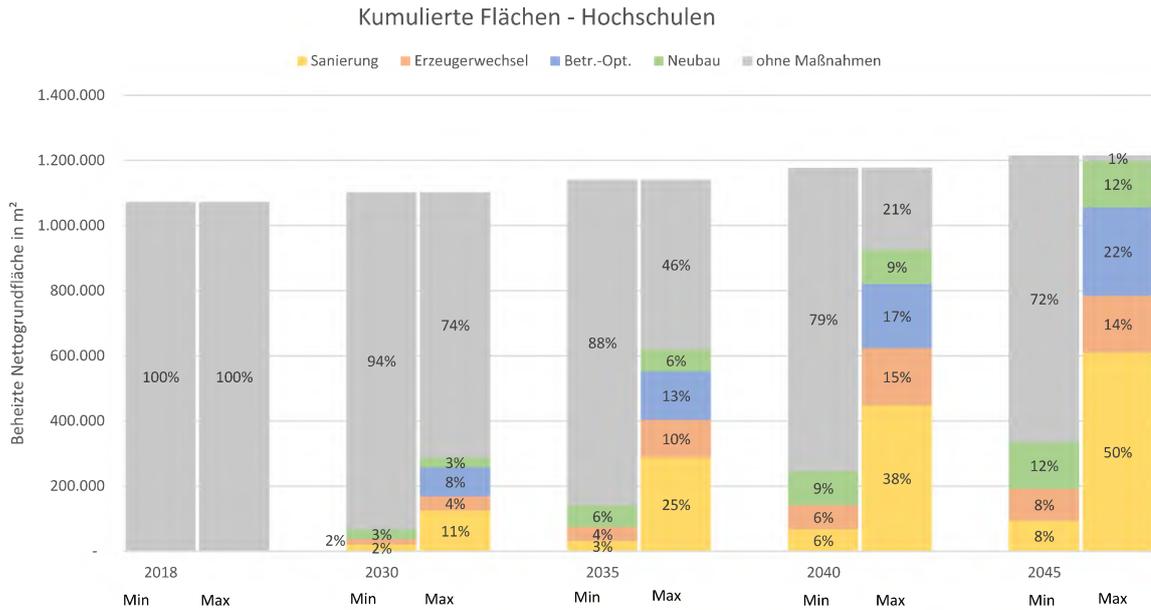


Abbildung 16: Kumulierte Nettogrundflächen im Bereich Hochschulen u. Univ. mit Anteilen der Sanierungsmaßnahmen

Die Flächen der Hochschulen u. Univ. verhalten sich sehr ähnlich und unterscheiden sich lediglich in der Flächensumme wie in Abbildung 16 zu erkennen ist. Hier liegt die Fläche des Status quo bei 1.072.495 m² und wächst auf etwa 1.215.137 m² bis 2045 an. Ein weiterer Unterschied zu den Flächen der Landesliegenschaften o. HS besteht in der nicht vollständig sanierten Fläche im Maximalszenario bis 2045. Etwa 16.500 m² bleiben unsaniert, da die Sanierungsrate der Betriebsoptimierungen anhand der Landesliegenschaften o. HS, zur Erreichung einer sanierten Fläche von 100 % bis 2045, gewählt wurde.

## E.2 Auswertung

### E.2.1 Vergleich maximales und minimales Entwicklungsszenario

Die nachfolgenden Ergebnisse, welche hier zur besseren Übersichtlichkeit größtenteils als Diagramme dargestellt sind, können in Anlage 04 in Tabellenform eingesehen werden. In den ersten beiden Diagrammen ist die Aufteilung auf Wärmeerzeuger anhand der Wärmeabnahme<sup>25</sup> über den Verlauf der Sanierungszeiträume für beide Szenarien dargestellt. Abbildung 17 zeigt die Auswertung für den Bereich Landesliegenschaften o. HS, Abbildung 18 stellt den Bereich Hochschulen u. Univ. dar. In beiden Diagrammen wird ersichtlich, dass im Status quo Gaskessel mit mehr als 50 % den größten Anteil an der Wärmeerzeugung haben. Den zweitgrößten Anteil hat Fernwärme mit 28 % bei den Landesliegenschaften o. HS und 42 % bei den Hochschulen u. Univ. Gasbetriebene BHKW liegen an dritter Stelle bei den Landesliegenschaften o. HS mit 11 %, der Anteil bei den Hochschulen u. Univ. beträgt lediglich 2 %. Ölkessel spielen mit 1-2 % bei beiden Bereichen eine untergeordnete Rolle. Biomassekessel sind bei den Hochschulen u. Univ. mit nur 2 % vertreten, bei den Landesliegenschaften o. HS liegt der Anteil bei 5 %.

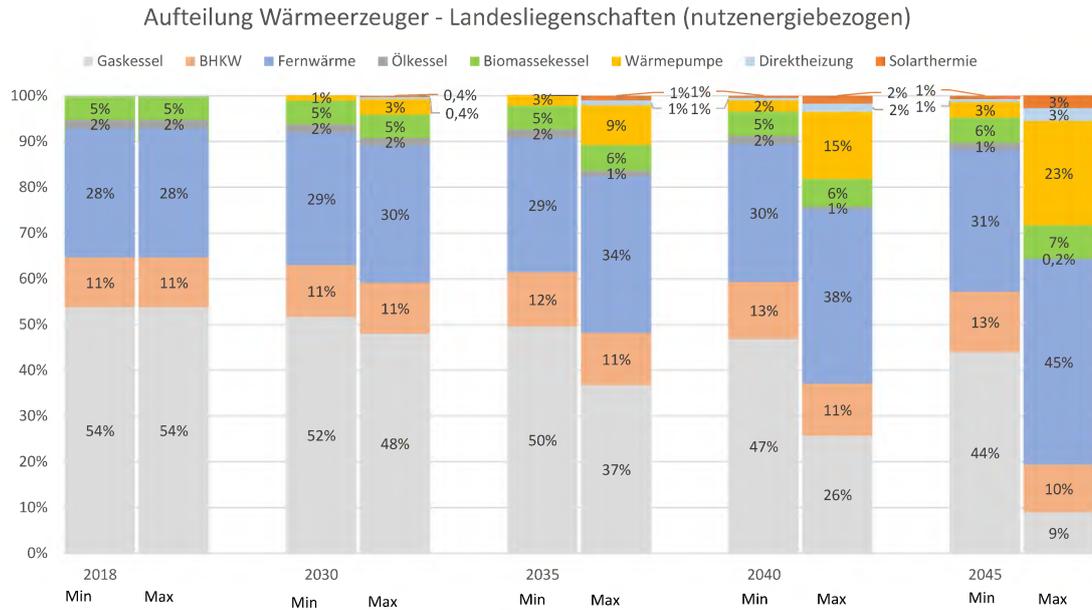


Abbildung 17: Aufteilung der Wärmeabnahme<sup>25</sup> auf Wärmeerzeuger im Bereich Landesliegenschaften o. HS bis 2045

Über den Verlauf der Sanierungszeiträume wandelt sich die Zusammensetzung der Wärmeerzeugung im Gesamtportfolio. Im ersten Sanierungszeitraum bis 2030 ist nur eine geringe Veränderung sichtbar. Der Gaskessel-Anteil wird um 6-8 % im Maximalszenario reduziert, der Anteil der Fernwärme und Wärmepumpen wird leicht erhöht, Direktheizung und Solarthermie kommen als neue Wärmeerzeugerarten hinzu. Im Minimalszenario fällt die Veränderung deutlich geringer aus, hier wechseln nur 1-2 % der Wärmeabnahme<sup>25</sup> den Wärmeerzeuger. Am Ende des Betrachtungszeitraums im Jahr 2045 liegt der Anteil fossiler Wärmeerzeuger im Maximalszenario deutlich geringer bei 7-9 % (Gaskessel) und 2-10 % (BHKW). Haupterzeuger sind Fernwärme (45-63 %) und Wärmepumpen (19-23 %). Im Minimalszenario hingegen liegt der Anteil an Gaskesseln noch bei 39-44 % und regenerative Erzeuger (Wärmepumpe, Biomasse, Solarthermie) machen lediglich 8-10 % an der Wärmeerzeugung aus.

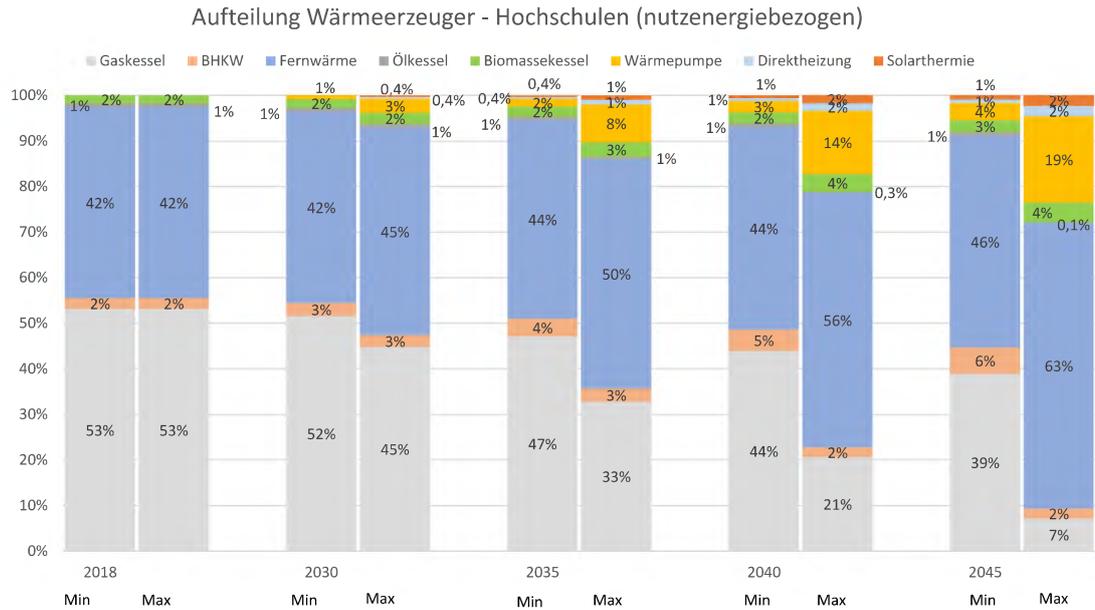


Abbildung 18: Aufteilung der Wärmeabnahme<sup>25</sup> auf Wärmeerzeuger im Bereich Hochschulen u. Univ. bis 2045

Eine Umstellung auf eine verbesserte, zukunftsfähige Wärmeversorgung durch Ersatz von veralteter, fossiler Wärmeerzeuger (Gas- und Ölkessel) erfolgt bei Umsetzung des Minimalszenarios lediglich bei 10-14 % der Wärmeerzeuger (nutzenergiebezogen<sup>25</sup>), im Maximalszenario ist eine Steigerung auf 47 % möglich. Um eine von politischen Entwicklungen sowie vom Energiemarkt unabhängige Wärmeversorgungsstruktur im Gebäudeportfolio für die Zukunft zu ermöglichen, wird eine umfangreiche Umstellung der Wärmeversorgung auf überwiegend strombasierte Wärmeerzeuger in Kombination mit eigenerzeugtem, kostengünstigem Strom aus Photovoltaikanlagen empfohlen.

**Energieabnahme Landesliegenschaften o. HS**

Abbildung 19 und Abbildung 20 stellen die absoluten Endenergie-Einsparungen bis 2045 für die Medien Wärme und Strom für beiden Szenarien dar. Bei den Landesliegenschaften o. HS ist im Minimalszenario lediglich für Strom eine Reduzierung 6 % möglich. Bei Wärme lässt sich durch den Flächenzuwachs der Neubauten aufgrund der geringen Einsparungen im Bestand keine Gesamteinsparung erzielen. Im Maximalszenario kann die Einsparung bei Wärme auf 42 % und bei Strom auf 32 % gesteigert werden.

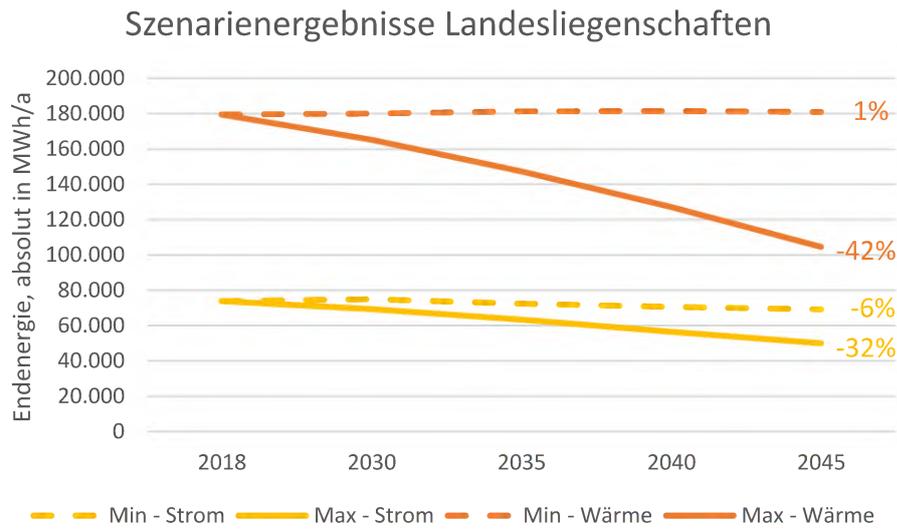


Abbildung 19: Entwicklung des jährlichen Endenergiebedarfs Wärme und Strom im Bereich Landesliegenschaften o. HS bis zum Jahr 2045 für das Minimal- und Maximalszenario

### Energieabnahme Hochschulen u. Univ.

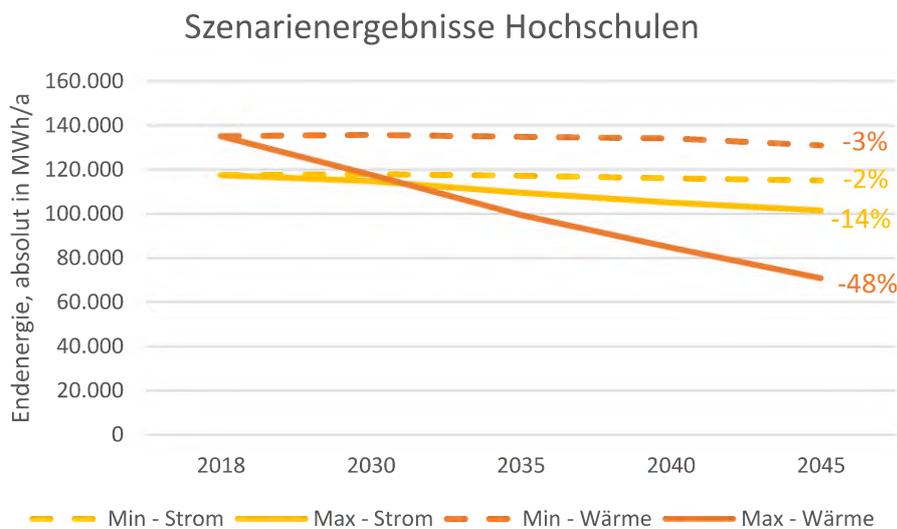


Abbildung 20: Entwicklung des jährlichen Endenergiebedarfs Wärme und Strom im Bereich Hochschulen u. Univ. bis zum Jahr 2045 für das Minimal- und Maximalszenario

Bei den Hochschulen u. Univ. fällt auf, dass die absoluten Ausgangszahlen im Jahr 2018 für Wärme und Strom im Gegensatz zu den Landesliegenschaften o. HS sehr nah beieinander liegen, was sich auf den hohen Stromverbrauch zurückführen lässt, der bereits in Abbildung 2 und Abbildung 4 (Seite 32f.) erkennbar wurde. Einsparungen der Erzeugernutzwärme<sup>25</sup> sind für Wärme von 3-48 % möglich. Das Medium Strom kann im Minimalszenario nahezu gar nicht reduziert werden. Im Maximalszenario sind Einsparungen von etwa 14 % zu erwarten. Somit liegen die Stromeinsparungen bei den Landesliegenschaften o. HS mehr als doppelt so hoch wie bei den Hochschulen u. Univ., was aufgrund der geringen Stromeinsparpotentiale aus dem Referenzprojekt für die Haupt-BWZK-Gruppen der Hochschulen u. Univ. (2100 bis 2400) erklärt werden kann. Diese resultieren aus ähnlichen nutzungsbedingten hohen Stromverbräuchen (z.B. Forschung), welche nicht

oder nur in einer Einzelfallbetrachtung in enger Abstimmung mit dem Nutzer optimiert werden können.

### Treibhausgasemissionen Landesliegenschaften o. HS

In ähnlichen Darstellungen sind in Abbildung 21 und Abbildung 22 die Entwicklungen der THG-Emissionen für beide Szenarien und für beide Medien Wärme und Strom dargestellt. Bis 2035 sind für das Minimalszenario in den Emissionen der Wärmeversorgung aufgrund der Erhöhung (im Zeitraum 2027-2030) bzw. nur sehr geringen Erhöhung (im Zeitraum 2030-2035) der Emissionsfaktoren von Fernwärme keine Einsparungen zu erwarten. Bis 2045 ist im Vergleich zur Endenergie-Einsparung in den vorherigen Abbildungen eine deutlich höhere THG-Reduktion bei Wärme und insbesondere bei Strom möglich, da die Verringerung der Emissionsfaktoren bereits eine hohe Reduzierung ermöglicht, wie bereits Abbildung 11 (Seite 40) zeigte.

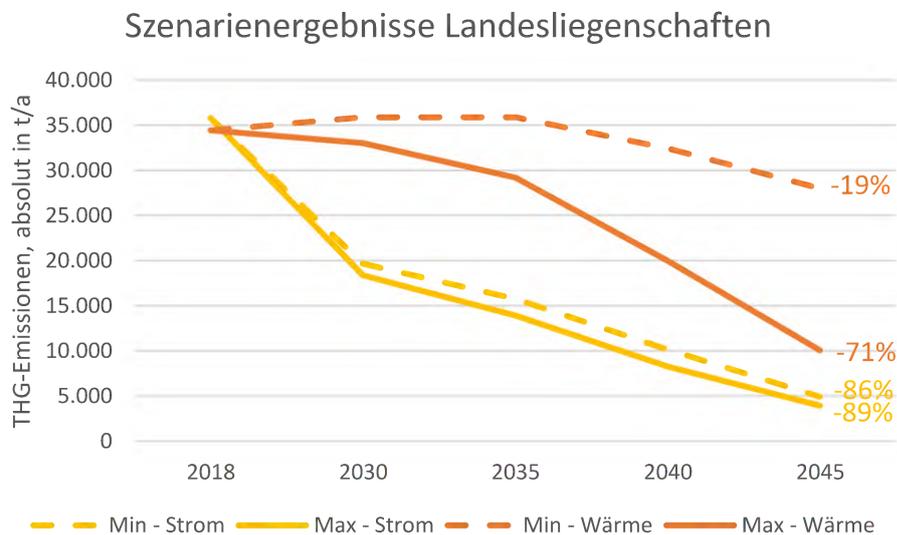


Abbildung 21: Entwicklung der jährlichen THG-Emissionen für Wärme und Strom im Bereich Landesliegenschaften o. HS bis zum Jahr 2045 für das Minimal- und Maximalszenario

### Treibhausgasemissionen Hochschulen u. Univ.

Bei den Hochschulen u. Univ. liegt für Strom ein deutlich höherer THG-Ausgangswert als bei den Landesliegenschaften o. HS vor, welches durch den höheren Stromverbrauch sowie die im Vergleich zur Wärme höheren Emissionsfaktoren erklärt werden kann. Bis 2045 können beim Medium Wärme höhere THG-Reduktionen als bei den Landesliegenschaften o. HS erzielt werden, da ein größerer Anteil Fernwärme vorliegt, bei welchem sich die Emissionsfaktoren im Gegensatz zu Erdgas (höherer Anteil an Gaskesseln und BHKW bei Landesliegenschaften o. HS) reduzieren. Beim Medium Strom kann trotz geringerer Endenergie-Einsparung die gleiche relative THG-Reduktion von etwa 90 % erzielt werden, da der Einfluss der THG-Emissionsfaktor-Reduzierung wesentlich höher ist als die Endenergie-Einsparung. Aufgrund der hohen Faktor-Reduzierung von 2018 auf 2030 (560 auf 318 g CO<sub>2</sub>e/kWh – siehe Anlage 01) können die Stromemissionen bereits bis 2030 um etwa 45 % reduziert werden. Hierbei sollte jedoch die Abhängigkeit der Emissionsreduzierungen von den politischen Entscheidungen und dem Ausbau der Erneuerbaren im deutschen Stromnetz mitberücksichtigt werden.

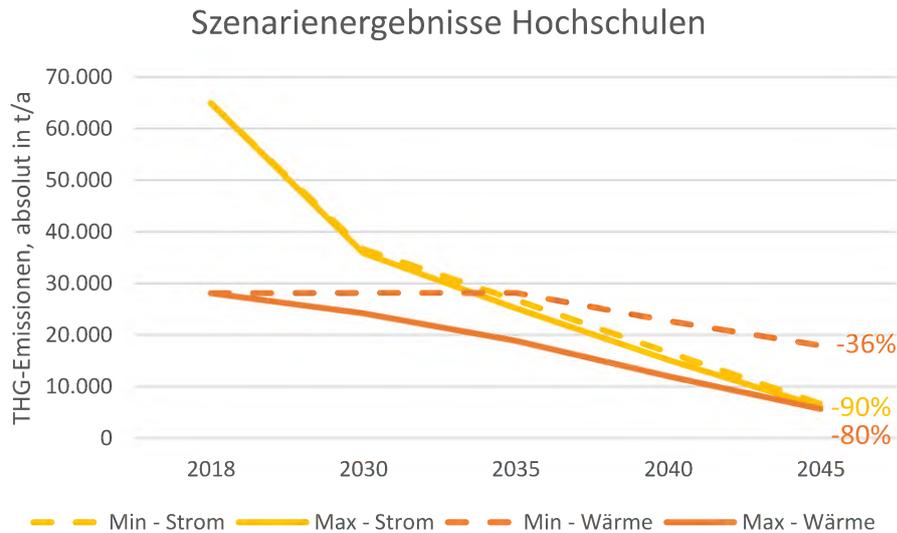


Abbildung 22: Entwicklung der jährlichen THG-Emissionen für Wärme und Strom im Bereich Hochschulen u. Univ. bis zum Jahr 2045 für das Minimal- und Maximalszenario

Für die Erreichung einer Klimaneutralität im Gebäudeportfolio muss insbesondere eine Reduzierung der Wärmeabnahme<sup>25</sup> erfolgen, um die für eine strombasierte Wärmeerzeugung notwendige Reduzierung der Vorlauftemperaturen zu erreichen und gleichzeitig eine starke Betriebskosten-Erhöhung zu vermeiden. Mit den Ansätzen des Maximalszenarios ist etwa eine Halbierung des Wärmebedarfs bis 2045 möglich. Kombiniert man den verbleibenden Bedarf mit möglichst CO<sub>2</sub>e-neutralen Wärmeerzeugern (Wärmepumpen in Kombination mit PV-Anlagen, Biomasse) ist eine signifikante Reduzierung der THG-Emissionen bis 2045 möglich. Im Bereich der Hochschulen u. Univ. spielen die Emissionen aus Strom ebenfalls aufgrund des hohen Strombedarfs eine große Rolle. Sie stellen im Status quo rund 40 % der Gesamtemissionen im Gebäudeportfolio dar. Die Reduzierung der THG-Emissionen für Strom ist jedoch weitestgehend (insbesondere bis zum Meilensteinjahr 2030) auf zu erwartende Verbesserungen im Stromnetz zurückzuführen.

### Potentiale nach Energieabnahme und Treibhausgasintensität

In den nachfolgenden Diagrammen lassen sich die Reduktion der Energieabnahme auf der x-Achse und die Reduktion der THG-Intensität auf der y-Achse gegenüber des Status quo ablesen. Die Reduktion der THG-Emissionen ergibt sich aus den beiden Handlungsfeldern und kann an den Isoquanten-Linien von 0 bis -100 % abgelesen werden. In den Abbildungen sind die THG-Reduktionen aufgrund sämtlicher Optimierungsmaßnahmen (Gesamtsanierung, Erzeugerwechsel, Betriebsoptimierung) abzüglich der zusätzlichen Emissionen der Neubaufächen dargestellt. Die Reduktionen für das Minimalszenario sind anhand der grünen Punkte und die Reduktionen für das Maximalszenario anhand der orangenen Punkte ablesbar. Die Punkte stellen hierbei die Zielerreichung in den Jahren 2030, 2035, 2040 und 2045 dar. Die getrennt abgebildeten Rauten-förmigen Punkte stellen zusätzliche Reduktionen aufgrund weiterer Photovoltaik-Anlagen dar, welche im Berechnungsmodell bisher noch nicht berücksichtigt wurden (Gebäude ohne Gesamtsanierung oder Erzeugerwechsel).

**Potentiale Landesliegenschaften o. HS**

Abbildung 23 stellt die THG-Reduktionen für den Bereich Landesliegenschaften o. HS dar. Anhand der eingezeichneten Ergebnisse des Minimalszenarios wird hier erkennbar, dass die Reduktionen nahezu vollständig auf die Reduzierung der THG-Emissionsfaktoren zurückzuführen ist. Bis 2045 kommt es zu einer Erhöhung der Nutzenergie um 4 % aufgrund der zusätzlichen Emissionen der Neubauf Flächen. Aufgrund einer Reduktion der THG-Intensität um 55 % können Gesamt-THG-Reduktionen von 53 % erzielt werden. Im Maximalszenario kann die Nutzenergie bis 2045 um 21 % und die THG-Intensität um 75 % reduziert werden, was eine Verringerung der THG-Emissionen um 80 % bewirkt. Zusätzliche signifikante THG-Reduktionen durch eine vollständige Ergänzung von PV-Anlagen auf allen Dachflächen können nicht erzielt werden, da die Einsparungen nur Auswirkungen auf die Nutzenergie, jedoch aufgrund des geringen Emissionsfaktors im Jahr 2045 nicht auf die THG-Intensität haben.

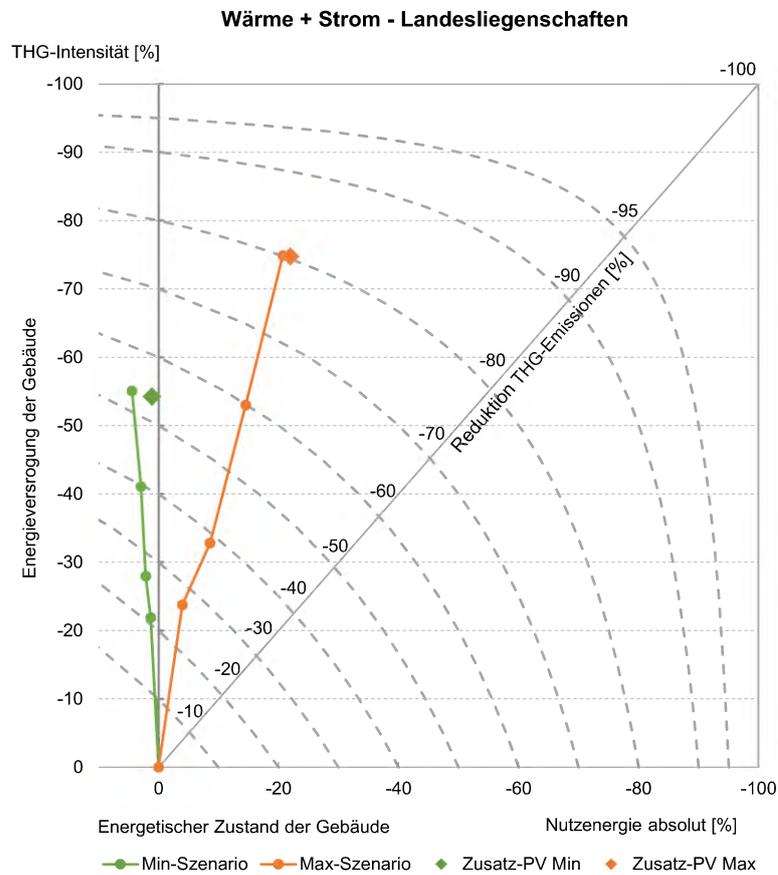


Abbildung 23: Isoquantendiagramm zur Detaildarstellung der Reduktion der THG-Emissionen im Bereich Landesliegenschaften o. HS für das Minimal- und Maximalszenario

Reduktion THG-Emissionen	Status quo	2030	2035	2040	2045
Minimalszenario	70.219 t/a	- 21 %	- 26 %	- 39 %	- 53 %
Maximalszenario		- 27 %	- 39 %	- 60 %	- 80 %

Tabelle 4: THG-Reduktion im Bereich Landesliegenschaften o. HS

**Potentiale Hochschulen u. Univ.**

Wie bereits in den vorherigen Liniendiagrammen ersichtlich, liegen die THG-Reduktionen bei den Hochschulen u. Univ. höher als bei den Landesliegenschaften o. HS. Dies resultiert hauptsächlich aus den höheren Strom-Verbrauchswerten sowie des höheren Anteils an Fernwärme, bei welcher eine Reduzierung der Emissionsfaktoren der Reduktion der Gesamtemissionen zugutekommt. Im Minimalszenario lassen sich Gesamtreduktionen von 74 % (Erhöhung Nutzenergie um 2 %, Reduktion THG-Intensität um 74 %) und im Maximalszenario von 87 % (Erhöhung Nutzenergie um 21 %, Reduktion THG-Intensität um 84 %) erzielen. Wie auch bei den Landesliegenschaften o. HS können auch bei den Hochschulen u. Univ. keine signifikanten zusätzlichen Reduktionen durch eine Ergänzung von PV-Anlagen auf allen Dachflächen für das Jahr 2045 erzielt werden.

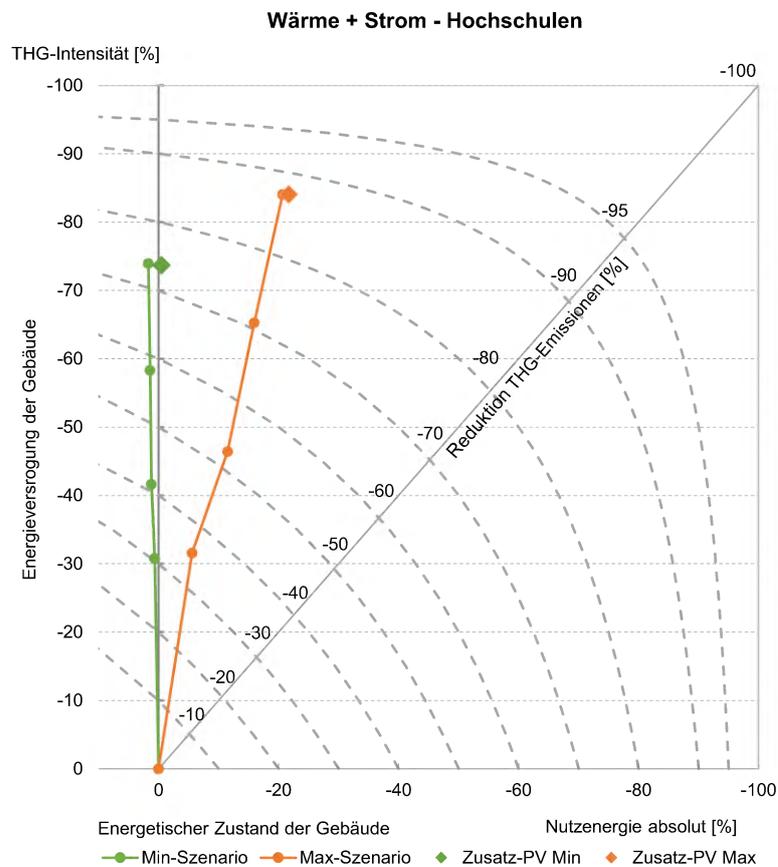


Abbildung 24: Isoquantendiagramm zur Detaildarstellung der Reduktion der THG-Emissionen im Bereich Hochschulen u. Univ. für das Minimal- und Maximalszenario

Reduktion THG-Emissionen	Status quo	2030	2035	2040	2045
Minimalszenario	93.017 t/a	- 30 %	- 41 %	- 58 %	- 74 %
Maximalszenario		- 35 %	- 53 %	- 71 %	- 87 %

Tabelle 5: THG-Reduktion im Bereich Hochschulen u. Univ.

**Potentiale Landesliegenschaften o. HS und Hochschulen u. Univ.**

Bei Betrachtung des Gesamtportfolios in Abbildung 25 ergeben sich bis zum Jahr 2030 Gesamtreduktionen von 26 % im Minimal- und von 32 % im Maximalszenario. Bis zum Jahr 2045 sind THG-Reduktionen von 65 % im Minimal- und von 84 % im Maximalszenario realisierbar. Durch zusätzliche Photovoltaik-Anlagen ist eine weitere, vernachlässigbar geringe Reduzierung des Nutzenergiebedarfs um etwa 3 % beim Minimal- und um 1 % beim Maximalszenario möglich.

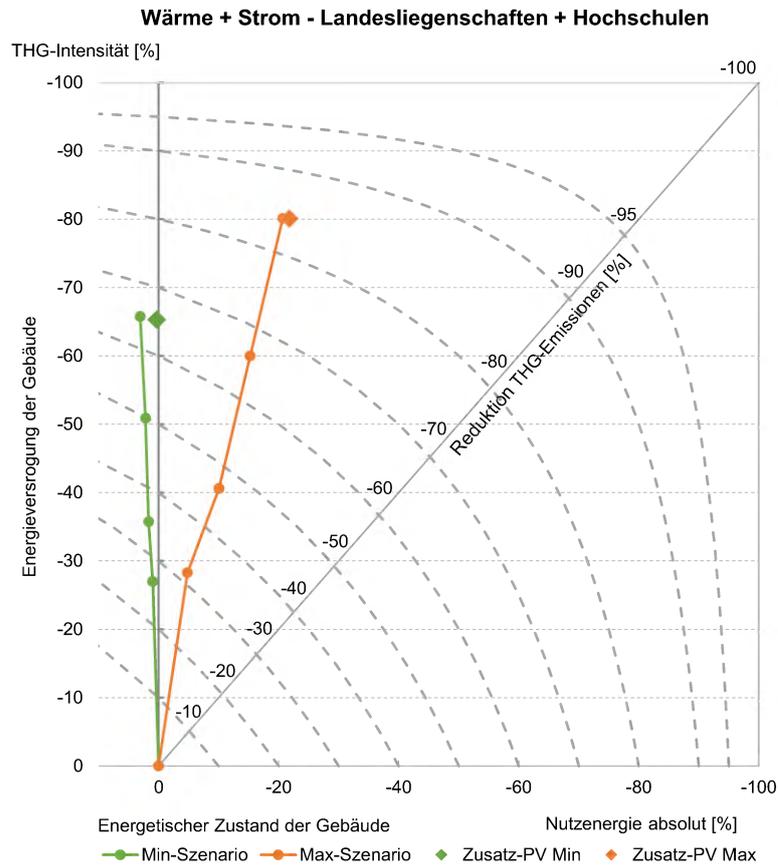


Abbildung 25: Isoquantendiagramm zur Detaildarstellung der Reduktion der THG-Emissionen im Gesamtportfolio für das Minimal- und Maximalszenario

Reduktion THG-Emissionen	Status quo	2030	2035	2040	2045
Minimalszenario	163.236 t/a	- 26 %	- 35 %	- 50 %	- 65 %
Maximalszenario		- 32 %	- 47 %	- 66 %	- 84 %

Tabelle 6: THG-Reduktion im Gesamtportfolio

In Tabelle 7 und Tabelle 8 sind die THG-Emissionen für alle Meilensteine bis 2045 für beide Szenarien dargestellt, um eine Übersicht über die genauen Berechnungsergebnisse zu ermöglichen.

THG-Emissionen, absolut in t/a	Landesliegenschaf- ten o. HS		Hochschulen u. Univ.		Gesamtportfolio	
2018	70.219		93.017		163.236	
Minimalszenario						
2030	55.551	- 21	64.798	- 30	120.349	- 26
2035	51.650	- 26	54.942	- 41	106.592	- 35
2040	42.575	- 39	39.335	- 58	81.910	- 50
2045	32.936	- 53	24.654	- 74	57.591	- 65
Maximalszenario						
2030	51.399	- 27	60.072	- 35	111.470	- 32
2035	43.118	- 39	44.089	- 53	87.207	- 47
2040	28.182	- 60	27.150	- 71	55.332	- 66
2045	13.985	- 80	11.752	- 87	25.736	- 84

Tabelle 7: THG-Emissionen absolut, für beide Szenarien je Meilenstein

THG-Emissionen, spez. in kg/(m <sup>2</sup> a)	Landesliegenschaf- ten o. HS		Hochschulen u. Univ.		Gesamt	
2018	42,0		86,7		59,5	
Minimalszenario						
2030	32,3		58,8		42,7	
2035	29,1		48,2		36,6	
2040	23,2		33,4		27,2	
2045	17,4		20,3		18,5	
Maximalszenario						
2030	29,9		54,5		39,5	
2035	24,3		38,7		29,9	
2040	15,4		23,1		18,4	
2045	7,4		9,7		8,3	

Tabelle 8: THG-Emissionen spezifisch, für beide Szenarien je Meilenstein

Aus den Isoquantendiagrammen wird ersichtlich, dass im Minimalszenario THG-Reduktionen primär durch reduzierte Emissionsfaktoren erzielt werden (Anstieg auf der y-Achse). Im Maximalszenario können durch Nutzenergie-Einsparungen (Verschiebung auf x-Achse) deutlich höhere Reduktionspotentiale prognostiziert werden, jedoch wird auch hier keine Klimaneutralität bis 2045 erreicht. Die Installation weiterer PV-Anlagen im Jahr 2045 ist mit den angenommenen Parametern aufgrund des geringen Strom-Emissionsfaktors ökologisch nicht zielführend. Dagegen erlaubt eine frühzeitige Installation sämtlicher PV-Flächen aufgrund der aktuell noch hohen Strom-Emissionsfaktoren deutlich höhere THG-Reduktionen.

## E.2.2 Erreichung der Klimaneutralität bis 2045

Da mit den getroffenen Annahmen und gewählten Parametern die Klimaneutralität bis zum Jahr 2045 nicht prognostiziert werden kann, wird untersucht welche zusätzlichen Potentiale noch gehoben werden können und welche Änderung der Berechnungsparameter eine Zielerreichung ermöglichen und voraussetzen.

**Einfluss Verbrauchssockel:** Einer der Gründe für das Nichterreichen eines emissionsfreien Gebäudebestandes stellt die hohe Gebäudeanzahl im Cluster „Sockelgebäude“ dar. Gebäude, die diesem Cluster zugeordnet sind, fallen u.a. in die Kategorie „grüne Ampel“ (nach 2010 gebaut oder bereits generalsaniert) und werden deshalb einer nachgeordneten energetischen Sanierungspriorität zugeordnet sowie von einer Gesamtsanierung ausgeschlossen (siehe Unterkapitel E.1.2). Da das Cluster „Sockelgebäude“ einen Flächenanteil am Gesamtportfolio von 17 % aufweist, stellt dieses einen nicht zu vernachlässigbaren Anteil für die Zielerreichung der Klimaneutralität dar. Belässt man den Verbrauchssockel unverändert, sind im Nachfolgenden hypothetische Zielparame-ter zur Zielerreichung veranschaulicht.

**Erhöhung der Sanierungsrate von 3 % auf 4,5 %:** Hiermit werden alle Gebäude, welche nicht im Cluster „Sockelgebäude“ enthalten sind, bis 2045 saniert. Dies ermöglicht eine Steigerung der THG-Reduktionen von 80 % auf 83 % bei den Landesliegenschaften o. HS und von 87 % auf 89 % bei den Hochschulen u. Univ. Würden zusätzlich die sogenannten „Sockelgebäude“ bis 2045 saniert werden, so müsste in den 19 Jahren (2027 bis 2045) eine Sanierungsrate von 5,26 % pro Jahr umgesetzt werden.

**Einsatz von monovalenten elektrischen Wärmepumpen:** Aktuell wird im Berechnungsmodell bei einem Erzeugerwechsel von fossilen Energieträgern (Erdgas, Heizöl) auf einen Erzeugermix (s. Anlage 01) gewechselt, welcher auch Spitzenlastgaskessel enthält. Wird dieser Anteil auch komplett durch regenerative Energieträger wie durch rein monovalente elektrische Wärmepumpen erzeugt, kann die Reduzierung bei den Landesliegenschaften o. HS lediglich von 83 % auf 84 % gesteigert und bei den Hochschulen u. Univ. gar nicht gesteigert werden. Dies ist darauf zurückzuführen, dass für unsanierte Gebäude auch weiterhin Gaskessel im Berechnungsmodell vorliegen, da lediglich die Haupt-Wärmeerzeuger mit Gas- oder Ölkessel einen Erzeugerwechsel erhalten und somit alle vorhandenen Gas-Spitzenlastkessel bei den Haupterzeugern BHKW und Biomasse weiterhin bestehen bleiben. Ein weiterer Grund dafür, dass kein klimaneutraler Gebäudebestand erreicht werden kann, ist, dass der Umstieg auf monovalente Wärmepumpen die THG-Emissionen nicht gänzlich eliminiert, da Strom auch in 2045 noch einen Emissionsfaktor von 57 g CO<sub>2</sub>e/kWh aufweist.

**THG-Emissionsfaktoren mit 0 g CO<sub>2</sub>e/kWh:** Werden im Berechnungsmodell zusätzlich die Emissionsfaktoren von Fernwärme und Strom für das Jahr 2045 auf 0 g CO<sub>2</sub>e/kWh reduziert, ist eine Erreichung der Klimaneutralität bis 2045 mit einer THG-Reduktion um 97 % gegenüber dem Status quo annähernd möglich. Für die Landesliegenschaften o. HS wird eine Reduktion der THG-Emissionen um 93 % und bei den Hochschulen u. Univ. um 99 % erzielt. Der Unterschied zwischen den beiden Bereichen lässt sich auf den deutlich höheren Anteil an Fernwärme bei den Hochschulen u. Univ. zurückführen.

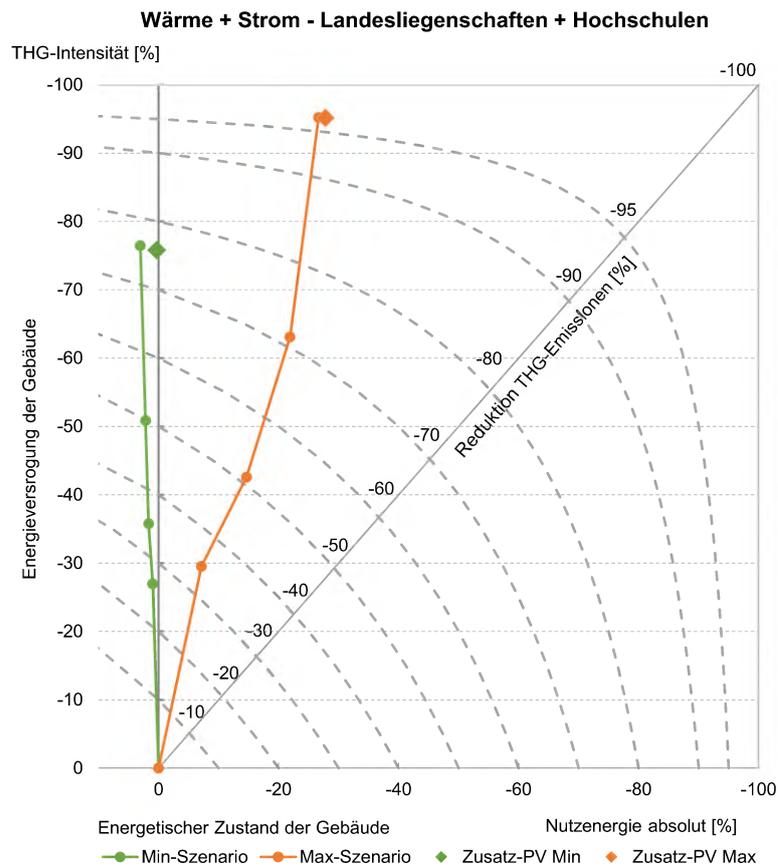


Abbildung 26: Isoquantendiagramm zur Reduktion der THG-Emissionen im Gesamtportfolio für das Minimal- und Maximalszenario mit veränderten Berechnungsparametern für eine Zielerreichung der Klimaneutralität

Reduktion THG-Emissionen	Status quo	2030	2035	2040	2045
Minimalszenario	163.236 t/a	- 26 %	- 35 %	- 50 %	- 76 %
Maximalszenario		- 35 %	- 51 %	- 71 %	- 97 %

Tabelle 9: THG-Reduktion im Gesamtportfolio mit geänderten Berechnungsparametern für eine Zielerreichung der Klimaneutralität

Für die Zielerreichung eines klimaneutralen LBB Gebäudeportfolios wäre eine Erhöhung der Sanierungsrate auf mindestens 4,5 % notwendig. Die Sanierung der Gebäude mit „grüner Ampel“ sind entsprechend der technischen Lebensdauer der Anlagen und Baukonstruktion bei einer zusätzlichen Erhöhung der Sanierungsrate im letzten Sanierungszeitraum 2041-2045 mit aufzunehmen.

Sehr großen Einfluss haben außerdem die THG-Emissionsfaktoren der Energieversorgung. Dabei ist die Dekarbonisierung der Fernwärme prioritär. Im Bereich Strom kann durch Erweiterung der Eigenstromerzeugung durch Photovoltaik und Windkraft ein Beitrag zur Verbesserung des THG-Emissionsfaktors erzielt werden.

### E.2.3 Vergleich Einsparungen je BWZK-Gruppe

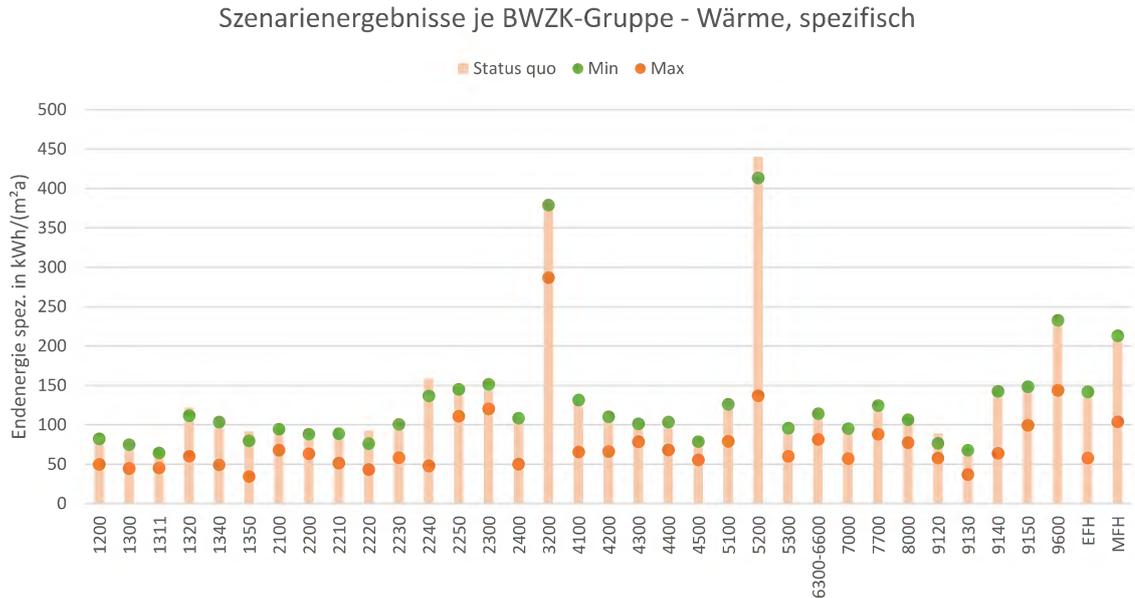


Abbildung 27: Ergebnisse der Szenarien je BWZK-Gruppe – Jährliche Endenergie Wärme, spezifisch

In den Abbildungen dieses Unterkapitels werden die Ergebnisse der Szenarien für alle BWZK-Gruppen einzeln dargestellt. Hierbei ist als Balken jeweils der Wert des Status quo aus 2018 dargestellt und grüne bzw. orange Punkte zeigen die berechneten Einsparpotentiale für das Minimal- und Maximalszenario auf.

In Abbildung 27 sind die Ergebnisse des Wärmebedarfes als spezifische Endenergie-Kennwerte enthalten. Für das Minimalszenario sind die Einsparungen überwiegend nicht nennenswert, da Sanierungsrate sowie -tiefe dieses Szenarios zu gering für im Diagramm sichtbare Einsparungen sind, was auch in Abbildung 19 und Abbildung 20 (Seite 55) bereits zu sehen war. Im Maximalszenario kann der Wärmebedarf überwiegend etwa halbiert werden. Dies wird möglich, da etwa die Hälfte der Gesamtfläche einer Gesamtanierung unterzogen wird und hierbei im Durchschnitt eine Sanierungstiefe von etwa 50 % umsetzbar sind. Weitere Einsparungen ermöglichen Erzeugerwechsel, welche im Maximalszenario bei 14 % (Landesliegenschaften o. HS) bzw. 20 % (Hochschulen u. Univ.) der Fläche vorgesehen sind, aufgrund eines hohen Anteils an Wärmepumpen von 40 % am Erzeugermix. Wärmepumpen weisen aufgrund der Verwendung von Umweltenergien einen sehr geringen Nutzungsgrad auf, welcher eine Drittelung des Endenergiebedarfs ermöglicht. Zusätzlich wird der Wärmebedarf um weitere 10 % mithilfe von Betriebsoptimierungen bei 12 % der Fläche reduziert.

Die BWZK-Gruppen 3200 („Krankenhäuser und Unikliniken für Akutkranke“) und 5200 („Schwimmhallen“) weisen einen auffällig hohen Wärmeverbrauch auf. Dies ist jedoch auf die spezielle Gebäudenutzung zurückzuführen. In der BWZK-Gruppe 3200 ist lediglich ein Gebäude enthalten, welches aufgrund der Einstufung in das Cluster „grüne Sanierungsampel“ keine Gesamtanierung, sondern lediglich einen Erzeugerwechsel bis 2045 erhält, wodurch geringere Einsparungen von etwa 25 % gegenüber der für diese BWZK vorgesehene Einsparung von 77 % (s. Abbildung 13, Seite 46) erreicht werden. BWZK-Gruppe

5200 enthält 5 Gebäude, von welchen im Minimalszenario lediglich 1 Gebäude und im Maximalszenario alle 5 Gebäude eine Gesamtanierung bis 2045 erhalten. Die Haupteinsparpotentiale liegen bei den BWZK-Gruppen 2240 (Institutsgruppe IV), 3200, 5200, 9140 (Veranstaltungsgebäude), 9600 (JVAs) sowie den Wohngebäuden.

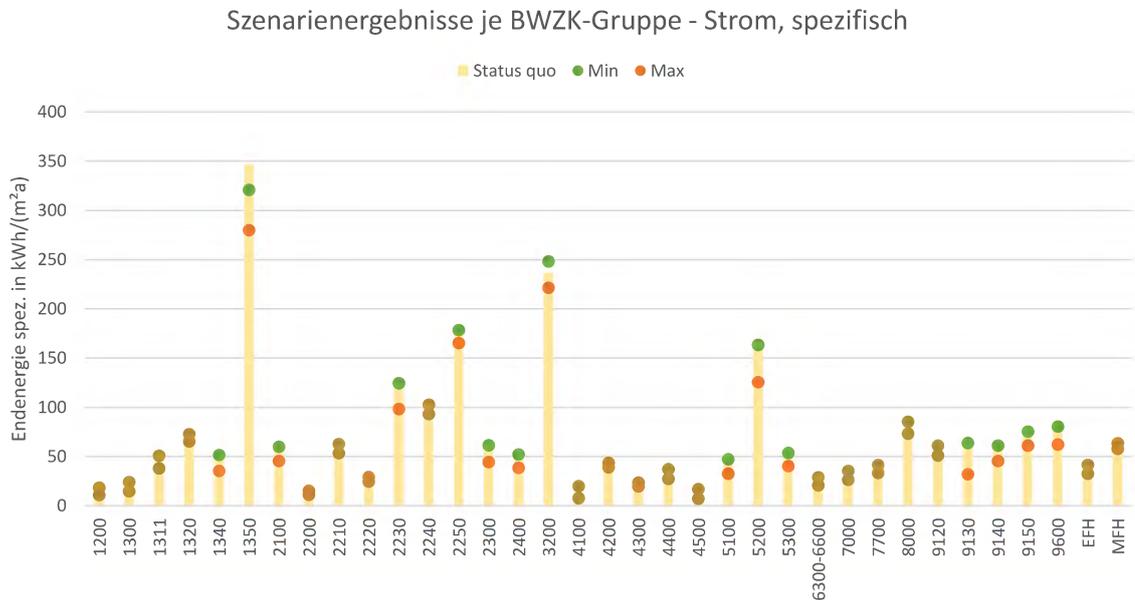


Abbildung 28: Ergebnisse der Szenarien je BWZK-Gruppe – Jährliche Endenergie Strom, spezifisch

Die Ergebnisse der Szenarien für den Strombedarf sind in Abbildung 28 auf BWZK-Ebene dargestellt. Im Vergleich zu den Einsparungen bei Wärmebedarf fallen die Einsparungen beim Strombedarf deutlich geringer aus. Aufgrund häufig geringer Einsparmöglichkeiten in der Realität, welche anhand zusätzlich notwendiger Lüftungsanlagen nach Sanierungen für die spezifischen Gebäudenutzungen erklärt werden können, wurde in Absprache mit dem LBB die Einspartiefe für Strom bei im Referenzprojekt fehlenden BWZK-Gruppen auf 16 % limitiert. Im Minimalszenario sind bei mehreren Gruppen (BWZK 3200, 4100, 4300, 5200) Erhöhungen des Bedarfs zu erkennen. Eine genauere Analyse zeigte, dass dies auf die Methodik des Berechnungsmodells bei bereits im Status quo vorhandenen BHKW zurückzuführen ist. Im Status quo wird der tatsächlich erzeugte BHKW-Strom in den Berechnungen verwendet, wohingegen für die Szenarien theoretische Annahmen zur Stromerzeugung getroffen werden. Da in der Praxis größere Unterschiede bei der Stromerzeugung von BHKW abhängig von Nennleistung, Hersteller und eingestellten Anlagenbetriebsparametern existieren, stimmen die für das Gesamtportfolio gemittelten theoretischen Annahmen nicht immer mit den Einzelwerten aus dem Bestand, sondern lediglich mit den Gesamtsummen bzw. Mittelwerten im Portfolio überein. Höhere Einsparpotentiale sind für die BWZK-Gruppen 1350 (Rechenzentren), 2230 (Institutsgebäude III) sowie 5200 (Schwimmballen) zu erwarten, da hier hohe Verbrauchskennwerte sowie optimierungsfähige Technologien vorhanden sind (veraltete Kälteanlagen bei Rechenzentren, stromintensive Anlagen bei Instituten zu Verfahrenstechnik und Maschinenbau, veraltete Raumluftechnik und Pumpenanlagen bei Schwimmballen). Gegebenenfalls können die Einsparungen bei Forschungsgebäuden o.ä. durch Betriebsoptimierungen oder effizientere Geräte auf Nutzerseite gesteigert werden. Hierfür sollten Gespräche mit den Gebäudenutzern gesucht werden.

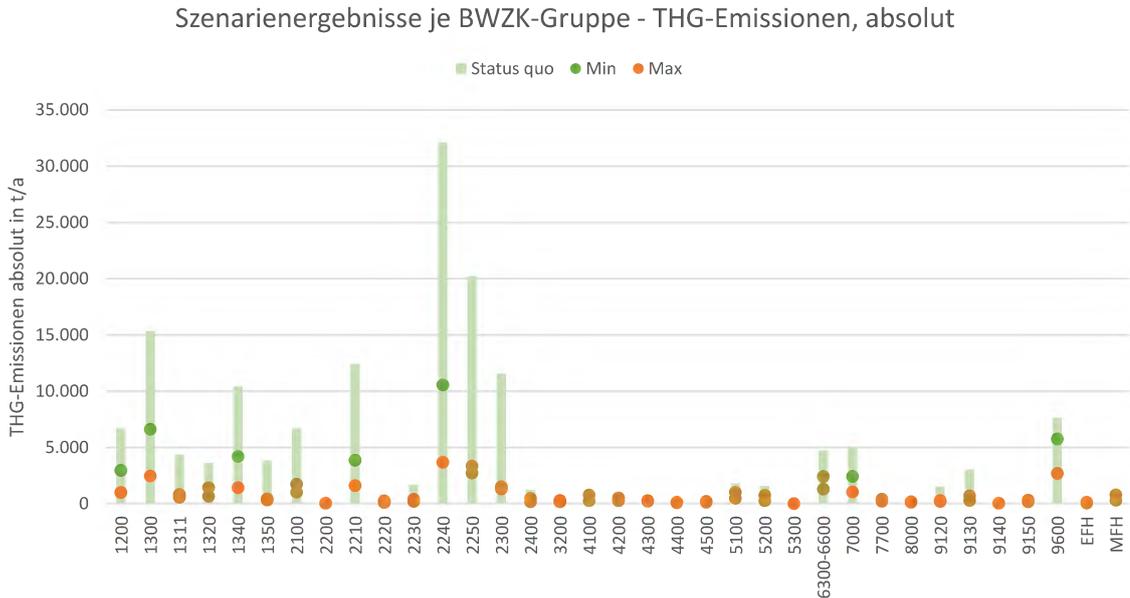


Abbildung 29: Ergebnisse der Szenarien je BWZK-Gruppe – Jährliche THG-Emissionen Wärme + Strom, absolut

Abschließend für dieses Unterkapitel sind in Abbildung 29 auf BWZK-Ebene die Einsparmöglichkeiten der THG-Emissionen als absolute Zahlen dargestellt, um die größten Einsparhebel im Gebäudeportfolio herauszukristallisieren. Diese liegen bei den Landesgebäuden insbesondere bei den BWZK-Gruppen 1300 (Verwaltungsgebäude, normale technische Ausstattung) und 9600 (Justizvollzugsanstalten). Die hohen absoluten Reduktionen bei den Verwaltungsgebäuden (ebenso wie auch bei BWZK-Gruppe 6300-6600 (Gemeinschaftsunterkünfte) und BWZK-Gruppe 7000 (Produktions- und Lagergebäude)) ergeben sich aufgrund einer hohen Gebäudeanzahl mit geringen bis mittleren Einsparpotentialen. Justizvollzugsanstalten sind ebenfalls in hoher Anzahl im Portfolio vorhanden, weisen zusätzlich aber auch hohe spezifische Verbrauchswerte und somit hohe Einsparpotentiale je Gebäude auf.

Bei den Hochschulen u. Univ. liegen die höchsten THG-Reduktionen bei den Institutsgebäuden I, IV und V (BWZK-Gruppe 2210, 2240, 2250), welche sich durch viele Gebäude mit geringen Reduktionen ergeben. Im Gegensatz hierzu entstehen die Reduktionen bei BWZK-Gruppe 2300 (Institutsgebäude für Forschung und Untersuchung) durch einzelne Gebäude mit hohen Verbrauchswerten aufgrund hoher spezifischer Kennwerte sowie großer Nettogrundflächen.

Bei Betrachtung der einzelnen BWZK-Gruppen sind die höchsten absoluten THG-Reduktionen für Verwaltungsgebäude und Justizvollzugsanstalten zu erwarten. Diese Gebäudegruppen sollten somit bei der Planung der Optimierungsmaßnahmen priorisiert werden.

### E.2.4 Vergleich THG-Reduktionen je Optimierungsmaßnahme

In diesem Kapitel werden die Reduktionen der jeweiligen betrachteten Sanierungsmaßnahmen des Minimal- und Maximalszenarios detailliert dargestellt. Es werden folgende Maßnahmen berücksichtigt: Gesamtsanierung der Gebäude (bauliche Maßnahme aufgrund der Verbesserung der Gebäudehülle, sowie technische Maßnahme durch Erzeugerwechsel), Erzeugerwechsel bei Gebäuden ohne Sanierung der Gebäudehülle (technische Maßnahme) und Betriebsoptimierung (organisatorische Maßnahme). Die Senkung der THG-Emissionsfaktoren der Versorgung zwischen Status quo im Jahr 2018 und dem Jahr 2045 spielt ebenso eine wichtige Rolle und dessen Einfluss ist in allen Maßnahmen zusätzlich enthalten.

#### Treibhausgasreduktion nach Maßnahmen für Landesliegenschaften o. HS

Es ergibt sich die in Abbildung 30 und Abbildung 31 dargestellte Aufteilung der Reduktionen für die jeweiligen Maßnahmen nach Szenario und betrachtetem Sanierungszeitraum.

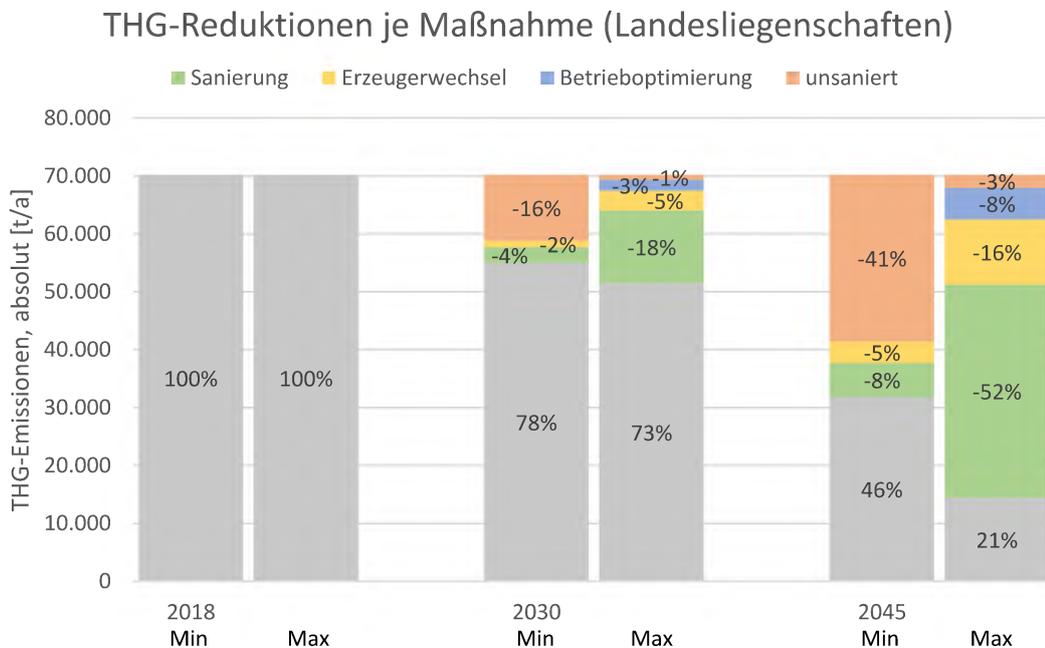


Abbildung 30: Jährliche THG-Reduktionen je Sanierungsmaßnahme im Bereich Landesliegenschaften o. HS für die Jahre 2030 und 2045 (Bestandsgebäude)

Im Minimalszenario bleibt ein Großteil des Bestandes bis 2045 unsaniert. Die Annahmen für die Dekarbonisierung der Fernwärme und des Stromes (Senkung der THG-Faktoren bis 2045) führen dazu, dass ein erheblicher Teil der Reduktionen auf diese Senkung zurückzuführen ist, welche in den Diagrammen als Kategorie „unsaniert“ in orange dargestellt ist. Dabei gilt zu berücksichtigen, dass die Gesamtreduktionen im Minimalszenario von ca. -54 % bis 2045 einerseits nicht ermöglichen die Klimaneutralität zu erreichen und andererseits zu deutlich geringen Aufenthaltsqualitäten in den unsanierten Gebäuden führen. Die restlichen Reduktionen sind auf die Sanierung und den Erzeugerwechsel zurückzuführen.

Im Maximalszenario ist die Rolle der Sanierung mit über 50 % der Gesamteinsparungen deutlich zu erkennen. Durch den Erzeugerwechsel sind weitere 16 % der Reduktionen

möglich. Der Rest wird durch die Betriebsoptimierung sowie die Dekarbonisierung der Energieträger verursacht.

**Treibhausgasreduktion nach Maßnahmen für Hochschulen u. Univ.**

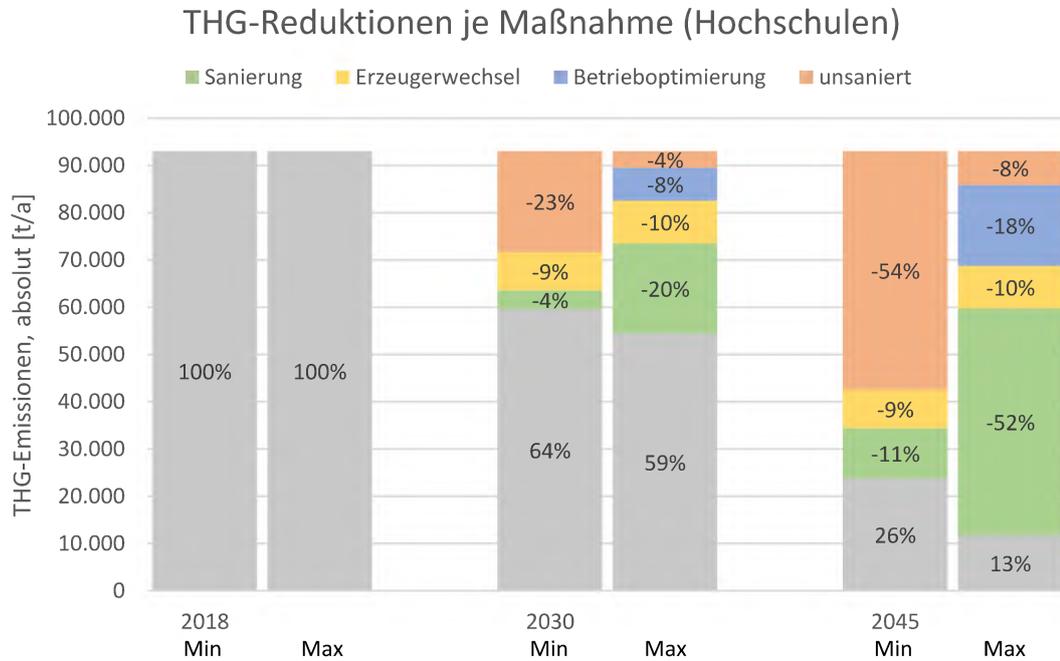


Abbildung 31: Jährliche THG-Reduktionen je Sanierungsmaßnahme im Bereich Hochschulen u. Univ. für die Jahre 2030 und 2045 (Bestandsgebäude)

Wie bereits in Kapitel D.2.1 deutlich wurde, sind bei den Hochschulen u. Univ. höhere THG-Reduktionen als bei den Landesliegenschaften o. HS zu erzielen. Ein Vergleich der beiden Abbildungen in diesem Kapitel zeigt, dass sich höhere Reduktionen überwiegend anhand der unsanierten Gebäude und somit der Dekarbonisierung der Fernwärme ergeben. Ein Vergleich von Abbildung 9 und Abbildung 10 (Seite 38) stellt den höheren Anteil an Fernwärme bei den Hochschulen u. Univ. dar, welcher auch hier durch den höheren Anstieg der Reduktionen durch Betriebsoptimierungen statt Erzeugerwechsel sichtbar wird.

Eine separate Betrachtung der Einsparpotentiale je Optimierungsmaßnahme zeigt, dass ein Großteil der THG-Reduktionen im Minimalszenario auf verbesserte Emissionsfaktoren für Strom und Fernwärme bis 2045 zurückzuführen ist. Für eine unabhängige Erreichung der Klimaneutralität sowie für einen verringerten Anstieg der Betriebskosten sollte daher das Maximalszenario verfolgt werden.

### E.3 Potentialbewertung und Sensitivitätsanalysen

In diesem Kapitel wird mit Hilfe von Sensitivitätsanalysen überprüft, welche Modellparameter einen großen Einfluss auf das Berechnungsmodell haben und welche Parameter nur einen geringen Einfluss aufzeigen und daher vernachlässigt werden können. Untersucht wird dabei die Wirkung von verschiedenen Eingangsgrößen wie Nettogrundfläche, Sanierungsrate, Sanierungstiefe sowie weiterer Parameter der Wärmeerzeugung anhand ihrer Potentiale zur THG-Reduktion. Über die Sensitivitätsanalysen lässt sich zudem die Empfindlichkeit der Ausgangsgrößen in Maximal- und Minimalszenario weiter bewerten.

#### E.3.1 Organisatorische Potentiale

Dieses Kapitel zeigt organisatorische Potentiale auf, welche im Berechnungsmodell bislang nicht berücksichtigt wurden und daher im Folgenden mit möglichen THG-Reduktionen rechnerisch kurz beleuchtet werden. Die Berechnungen wurden im Gegensatz zu den durchgeführten baulichen und technischen Sensitivitätsanalysen mit vereinfachten Annahmen und weitestgehend unabhängig vom Berechnungsmodell durchgeführt.

#### Flächenreduktion

Wie bereits in Kapitel C.1.5 ausgeführt, stellt das Begrenzen und Bedienen der realen Bedarfe einen organisatorischen Hebel zur kurzfristigen Reduktion von THG-Emissionen dar. Eine Detailanalyse und Steuerung der realen Flächenbedarfe führt zu einer Verbesserung der Nutzung durch Steigerung der Nutzerzufriedenheit sowie des Komforts und reduziert gleichzeitig den Energieverbrauch. Eine Verankerung klarer Vorgaben sowie einer kontinuierlichen Analyse und Optimierung dazu wird in der RLBau bereits umgesetzt und sollte mit Vorgaben zur Flächenreduzierung weiter verstärkt werden.

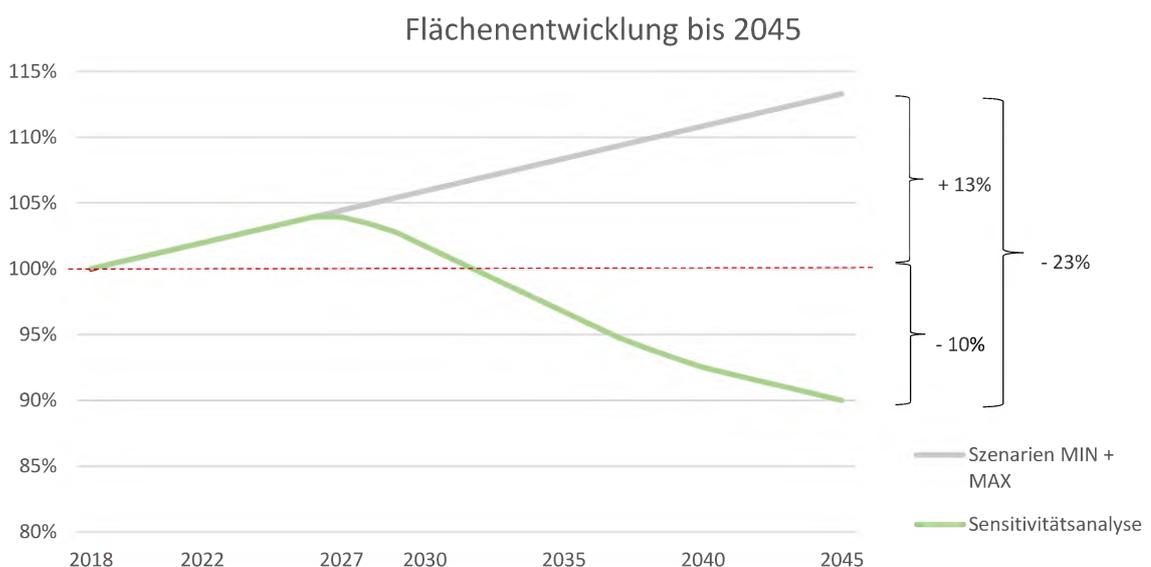


Abbildung 32: Angenommene Flächenentwicklung bis 2045

Zur Bewertung möglicher THG-Reduktionspotentiale des LBB-Portfolios wird im Folgenden eine Abschätzung zur Flächenreduzierung und deren Auswirkung auf die THG-Emissionen im Status quo vorgenommen. Für diese Abschätzung wurde eine Flächenreduktion bis 2045 um insgesamt 10 % angenommen. Diese Gesamtreduktion enthält einen Flächenzuwachs um 0,5 % pro Jahr ab 2018, wodurch die Bestandsflächen insgesamt um 23 % (639.213 m<sup>2</sup><sub>NGF</sub>) im Portfolio reduziert werden. Der Verlauf ist in Abbildung 32 grafisch dargestellt. Weiterhin wird die Annahme getroffen, dass die reduzierten Flächen mittlere Energie- und THG-Kennwerte (kWh/m<sup>2</sup> bzw. kg/m<sup>2</sup>) des Gesamtportfolios aufweisen. Dies lässt sich im Isoquantendiagramm an den gleichbleibenden y-Werten ablesen. Die THG-Reduktion findet lediglich durch Verschiebung entlang der x-Achse aufgrund der Reduktion der Nutzenergie statt.

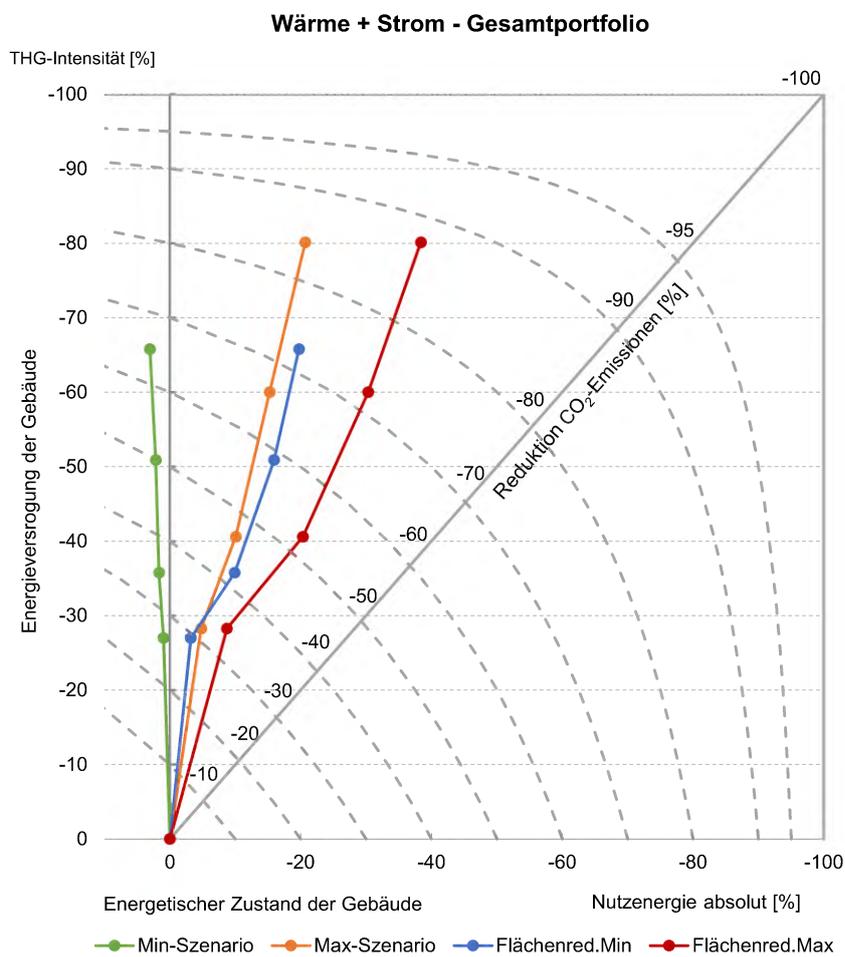


Abbildung 33: Potentiale Flächenreduktion - Gesamtportfolio

Im Vergleich zu den Emissionen des Status quo können zusätzliche THG-Reduktionen von 8 % im Minimalszenario und 4 % im Maximalszenario erzielt werden. Die Einsparungen fallen im Minimalszenario höher als im Maximalszenario aus, da die Kennwerte pro m<sup>2</sup> aufgrund einer geringeren Anzahl an Sanierungen höher liegen. Betrachtet man lediglich die Einsparungen im Jahr 2045, liegen die THG-Reduktionen bei 23 % in beiden Szenarien, welches aufgrund der geschilderten Berechnungsweise ein ungefähres Abbild der Flächenreduktion darstellt. Die Energiekosten können für den Gesamtzeitraum 2027 bis

2045 um etwa 13-14 % (213.000 t€ im Minimalszenario bzw. 177.000 t€ im Maximalszenario) verringert werden.

Durch eine effiziente Flächenplanung im Zuge von Gesamtanierungen können THG-Reduktionspotentiale mit geringen Mitteln, die sich überwiegend nicht den energetischen Investitionskosten einer Sanierung zuordnen lassen, gehoben werden. Außerdem ist eine Reduzierung der Energiekosten für Wärme und Strom aufgrund des verringerten Energiebedarfs möglich. Aufgrund des Absinkens der THG-Emissionsfaktoren im Verlauf bis 2045, können höhere THG-Reduktionen ermöglicht werden, umso früher die Flächenreduktion erfolgt.

	Minimalszenario	Maximalszenario
Flächenreduktion bis 2045	639.213 m <sup>2</sup>	
THG-Reduktion in 2045	-13.118 t/a	-5.972 t/a
prozentual	-22,8 %	-23,2 %
ggü. Status quo	-8,0 %	-3,7 %
THG-Reduktion 2027-2045	-180.493 t	-118.479 t
prozentual	-10,5 %	-9,2 %
Endenergie-Einsparung in 2045	-114.704 MWh/a	-75.672 MWh/a
prozentual	-22,8 %	-23,2 %
ggü. Status quo	-22,7 %	-14,9 %
Endenergie-Einsparung 2027-2045	-1.183.857 MWh	-862.415 MWh
prozentual	-12,3 %	-11,5 %
Kosten-Einsparung in 2045	-24.587 t€/a	-19.343 t€/a
prozentual	-22,9 %	-23,2 %
Kosten-Einsparung 2027-2045	-213.233 t€	-176.813 t€
prozentual	-13,6 %	-13,2 %

Table 10: Reduktionen von THG-Emissionen sowie Energiekosten aufgrund von Flächenreduzierungen im Jahr 2045 sowie im Zeitraum 2027-2045 (Suffizienz)

### Betriebsoptimierung und Erzeugerwechsel

Als weiteres organisatorisches Potential werden die Auswirkungen bereits kurzfristig möglicher Maßnahmen in den Jahren ab 2022 und also schon vor dem Beginn eines, auf Grundlage dieses Gutachtens optimierten, Sanierungsprogramms für große Baumaßnahmen in Erweiterung zu den bereits laufenden Maßnahmen im Jahr 2027 sowie eine Erweiterung der Maßnahmen im Minimalszenario bewertet.

In das Minimalszenario geht keine Betriebsoptimierung ein, um minimale THG-Reduktionspotentiale abzubilden. Demgegenüber sollen die folgenden Berechnungen aufzeigen, welche zusätzlichen THG-Reduktionen hierdurch im Zeitraum 2027-2045 möglich wären. Zusätzlich werden die zeitnah umsetzbaren Optimierungsmaßnahmen Betriebsoptimierung des Strom- und Wärmebedarfes sowie die Optimierungsmaßnahme Erzeugerwechsel für den Zeitraum 2023 bis 2026 für das Minimalszenario abgeschätzt.

In den aufgeführten Tabellen sind die Ergebnisse dieser Abschätzungen dargestellt. Tabelle 11 enthält die Ergebnisse bei der Verwendung einer Sanierungsrate von 0,5 % pro Jahr, Tabelle 12 die Ergebnisse für eine Rate von 1 % pro Jahr. In Klammern ist jeweils der Anteil an der Gesamtfläche bzw. den Gesamt-THG-Emissionen des Status quo im jeweiligen Bereich Landesliegenschaften o. HS bzw. Hochschulen u. Univ. dargestellt. Bei Gegenüberstellung der Reduktionen durch die Sofort-Maßnahmen zu den Reduktionen des Minimalszenarios bis zum Meilenstein 2030 können etwas höhere Anteile ermittelt werden, welche ebenfalls in den Klammern aufgeführt werden. Dass diese Anteile weiterhin sehr gering sind, kann durch die hohen Gesamtreduktionen aufgrund der reduzierten Emissionsfaktoren erklärt werden. Der THG-Faktor für Strom wird von 560 g CO<sub>2</sub>e/kWh in 2018 auf 318 g CO<sub>2</sub>e pro kWh in 2030 reduziert, was ohne jegliche Sanierungen bereits eine Reduzierung um 43 % bewirkt.

<b>Sanierungsrate:</b> <b>0,5 %/a</b>	<b>Landesliegenschaften o. HS</b>	<b>Hochschulen u. Univ.</b>
<b>Fläche</b>		
2023-2026	33.420 m <sup>2</sup> (2 %)	21.450 m <sup>2</sup> (2 %)
2027-2045	158.745 m <sup>2</sup> (10 %)	101.887 m <sup>2</sup> (10 %)
<b>Reduzierung THG</b>		
<b>Betriebsoptimierung</b>		
2023-2026	-130 t/a (-0,2 %, -0,89 %)	-145 t/a (-0,2 %, -0,52 %)
2027-2045	-619 t/a (-0,9 %)	- 692 t/a (-0,7 %)
<b>Erzeugerwechsel</b>		
2023-2026	-106 t/a (-0,2 %, -0,72 %)	-80 t/a (-0,1 %, -0,28 %)

Tabelle 11: Maßnahmen bis 2027 sowie Betriebsoptimierung Minimalszenario bis 2045 mit 0,5 %/a Rate (Anteil an Status quo, Anteil an THG-Reduktionen Minimalszenario 2027-2030)

<b>Sanierungsrate:</b> <b>1 %/a</b>	<b>Landesliegenschaften o. HS</b>	<b>Hochschulen u. Univ.</b>
<b>Fläche</b>		
2023-2026	66.840 m <sup>2</sup> (4 %)	42.900 m <sup>2</sup> (4 %)
2027-2045	317.489 m <sup>2</sup> (19 %)	203.774 m <sup>2</sup> (19 %)
<b>Reduzierung THG</b>		
<b>Betriebsoptimierung</b>		
2023-2026	-261 t/a (-0,4 %, -1,78 %)	-291 t/a (-0,3 %, -1,03 %)
2027-2045	-1.238 t/a (-1,8 %)	- 1.384 t/a (-1,5 %)
<b>Erzeugerwechsel</b>		
2023-2026	-211 t/a (-0,3 %, -1,44 %)	-159 t/a (-0,2 %, -0,56 %)

Tabelle 12: Maßnahmen bis 2027 sowie Betriebsoptimierung Minimalszenario bis 2045 mit 1 %/a Rate (Anteil an Status quo, Anteil an THG-Reduktionen Minimalszenario 2027-2030)

Als Fazit der Betrachtung stellt sich heraus, dass ein frühzeitiger Beginn der Maßnahme Gesamtanierung notwendig ist, um bis zum Jahr 2030 deutlich höhere THG-Reduktionen zu erzielen. Eine vorgezogene Durchführung der Maßnahmen Erzeugerwechsel und Betriebsoptimierung ermöglicht keine signifikante Steigerung der Treibhausgas-Reduzierung.

### E.3.2 Bauliches Potential Sanierungsrate

In der ersten Sensitivitätsanalyse wird der Einflussbereich des Parameters Sanierungsrate analysiert. Wie Anlage 01 zu entnehmen ist, wird im Berechnungsmodell für das Minimalszenario eine Rate von 0,5 % pro Jahr und für das Maximalszenario eine Rate von 3 % pro Jahr verwendet. Die folgenden Diagramme zeigen die Auswirkungen im Berechnungsmodell, wenn diese beiden Zahlen vertauscht werden, sodass das Minimal- mit 3 %/a und das Maximalszenario mit 0,5 %/a berechnet wird. Als grüne und orange Linie sind die ursprünglichen Szenarienergebnisse dargestellt. Die Sensitivitätsresultate sind im Diagramm als blaue Linie für das veränderte Minimal- und als rote Linie für das veränderte Maximalszenario sichtbar.

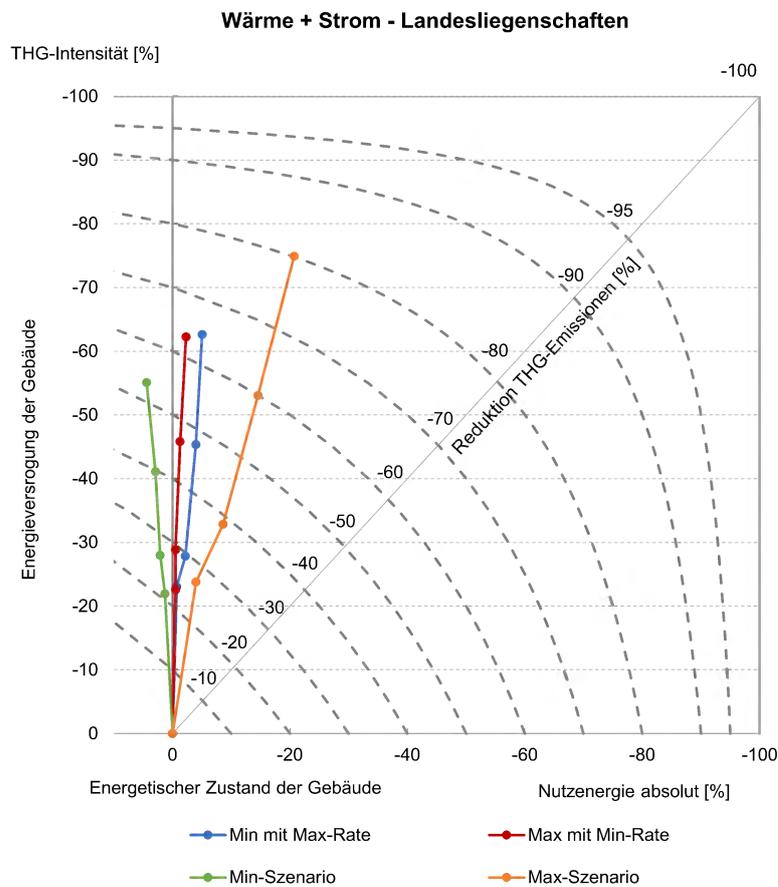


Abbildung 34: Sensitivitätsanalyse Einflussfaktor Sanierungsrate – Gesamtergebnisse Landesliegenschaften o. HS

Reduktion THG-Emissionen	Status quo	2030	2035	2040	2045
Minimalszenario	70.219 t/a	- 21 %	- 26 %	- 39 %	- 53 %
mit Max-Rate		-24 %	- 29 %	- 48 %	- 65 %
Maximalszenario		- 27 %	- 39 %	- 60 %	- 80 %
mit Min-Rate		- 23 %	- 29 %	- 47 %	- 63 %

Tabelle 13: THG-Reduktion Sensitivitätsanalyse Einflussfaktor Sanierungsrate – Landesliegenschaften o. HS

Die Ergebnisse werden wie zuvor separat für die Bereiche Landesliegenschaften o. HS sowie Hochschulen u. Univ. ermittelt. Da sich sehr ähnliche Linienverläufe für beide Bereiche ergeben, wurde hier lediglich der Bereich Landesliegenschaften o. HS dargestellt. In Abbildung 34 ist erkennbar, dass die Sanierungsrate einen deutlichen Einfluss auf die Szenarienergebnisse hat. Eine Veränderung der Rate im Minimalszenario auf 3 %/a führt zu einer starken Annäherung der Ergebnisse zu denen des ursprünglichen Maximalszenarios. Umgekehrt verändern sich die Ergebnisse des Maximalszenarios mit 0,5 %/a Rate in Richtung des ursprünglichen Minimalszenarios. Hierbei haben sich sowohl die Ergebnisse für die Nutzenergie (x-Achse) sowie für die THG-Intensität (y-Achse) geändert, was bedeutet, dass die Sanierungsrate direkten Einfluss auf den Energiebedarf (baulich) sowie die Wärmeversorgung (technisch) im Portfolio hat.

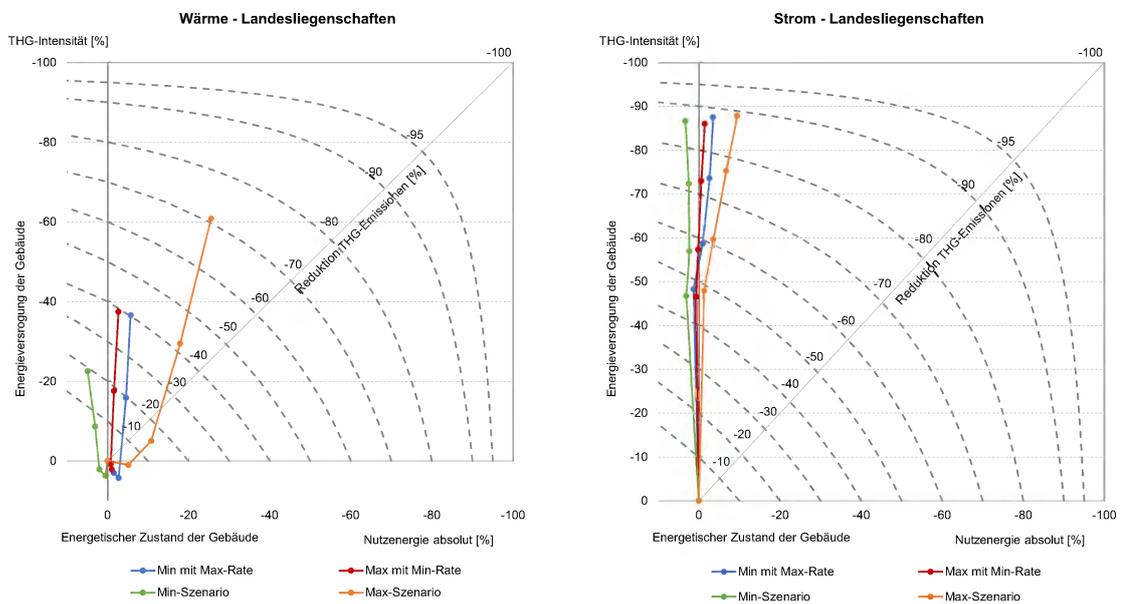


Abbildung 35: Sensitivitätsanalyse Einflussfaktor Sanierungsrate – Ergebnisse Wärme + Strom Landesliegenschaften o. HS

Reduktion THG-Emissionen	Status quo	2030	2035	2040	2045
Minimalszenario – Wärme	34.451 t/a	+ 4 %	+ 4 %	- 6 %	- 19 %
mit Max-Rate		+ 1,4 %	+ 1,4 %	- 20 %	- 40 %
Maximalszenario – Wärme	34.451 t/a	- 4 %	- 15 %	- 42 %	- 71 %
mit Min-Rate		+ 1,1 %	0 %	- 19 %	- 39 %
Minimalszenario – Strom	35.768 t/a	- 45 %	- 56 %	- 72 %	- 86 %
mit Max-Rate		- 48 %	- 59 %	- 74 %	- 88 %
Maximalszenario – Strom	35.768 t/a	- 49 %	- 61 %	- 77 %	- 89 %
mit Min-Rate		- 46 %	- 57 %	- 73 %	- 86 %

Tabelle 14: THG-Reduktion Sensitivitätsanalyse Einflussfaktor Sanierungsrate – Landesliegenschaften o. HS

Da die Sanierungsrate einen großen Einfluss auf die Ergebnisse hat, wird hier zusätzlich eine getrennte Darstellung der Ergebnisse für die Medien Wärme und Strom mit Abbildung 35 ermöglicht. Im linken Diagramm liegen die Ergebnisse für 2030 unterhalb der x-Achse, da sich hier die Auswirkungen der Stromgutschriftmethode zeigen. Die THG-Emissionen für den Verdrängungsstrommix, welche bei der Stromgutschriftmethode von den Emissionen der BHKW-Wärme abgezogen werden dürfen, liegen in 2018 aufgrund des im Gebäudeenergiegesetzes festgelegten Emissionsfaktors von 860 g CO<sub>2</sub>e/kWh deutlich höher als des im Berechnungsmodells verwendeten Faktors für 2030 von 488 g CO<sub>2</sub>e/kWh. Hierdurch verringert sich die Gutschrift in 2030 deutlich, welches einen Anstieg der THG-Intensität zur Folge hat. Bei der alleinigen Betrachtung des Mediums Strom im rechten Diagramm sind aufgrund der stark absinkenden Emissionsfaktoren bei Strom bis 2045 sehr hohe THG-Reduktionen möglich. Da weiterhin bei Strom deutlich geringere Unterschiede in den Parametern für das Minimal- und das Maximalszenario bestehen, liegen hier die Ergebnisse auch enger beieinander als im linken Diagramm.

Aufgrund der bereits größeren Unterschiede zwischen den Ergebnissen beider Szenarien bei Betrachtung des Mediums Wärme im Gegensatz zum Medium Strom, entstehen durch die Veränderung der Sanierungsrate auch größere Verschiebungen im linken als im rechten Diagramm. Die bereits beschriebene Annäherung des Sensitivitäts-Minimalszenarios mit dem Ursprungs-Maximalszenarios sowie umgekehrt, ist auch hier in beiden Diagrammen zu erkennen. Die stärkere Zunahme der THG-Intensität bis zum Jahr 2035 im Minimalszenario ist auf die wegfallende Anwendung der Stromgutschriftmethode nach 2030 sowie auf einen höheren Anteil an BHKW im Erzeugermix im Minimalszenario zurückzuführen. Da weiterhin alle anderen Parameter des Minimalszenarios angewandt werden, steigt der Anteil an BHKW dank der erhöhten Sanierungsrate deutlich, wodurch die Auswirkungen der wegfallenden Stromgutschrift in den THG-Emissionen stärker sichtbar werden.

Die Sensitivitätsanalyse zur Variable Sanierungsrate zeigt, dass es sehr entscheidend für eine zukünftige Erreichung der Klimaneutralität ist, welche Sanierungsrate gewählt wird. Unter den betrachteten Variablen hat die Sanierungsrate den größten Einfluss auf die Steuerung zur Reduktion der THG-Emissionen. Es sollte somit Priorität haben, möglichst viele Gebäude zeitnah einer Sanierung zu unterziehen.

### E.3.3 Bauliches Potential Sanierungstiefe

Für die Sensitivitätsanalyse der Sanierungstiefe werden das Minimalszenario als Variante mit hohem Energiestandard für Sanierungen (Einsparpotentiale nach Sanierungstiefe C) und das Maximalszenario als Variante mit niedrigem Energiestandard (Sanierungstiefe A) berechnet. Die Sanierungsrate bleibt gegenüber dem jeweiligen Ausgangsszenario unverändert. Beim Minimalszenario mit hohem Energiestandard wird also wenig saniert, dafür aber mit hohem Energiestandard. Beim Maximalszenario mit niedrigem Energiestandard wird hingegen viel saniert, dafür aber mit niedrigem Energiestandard.

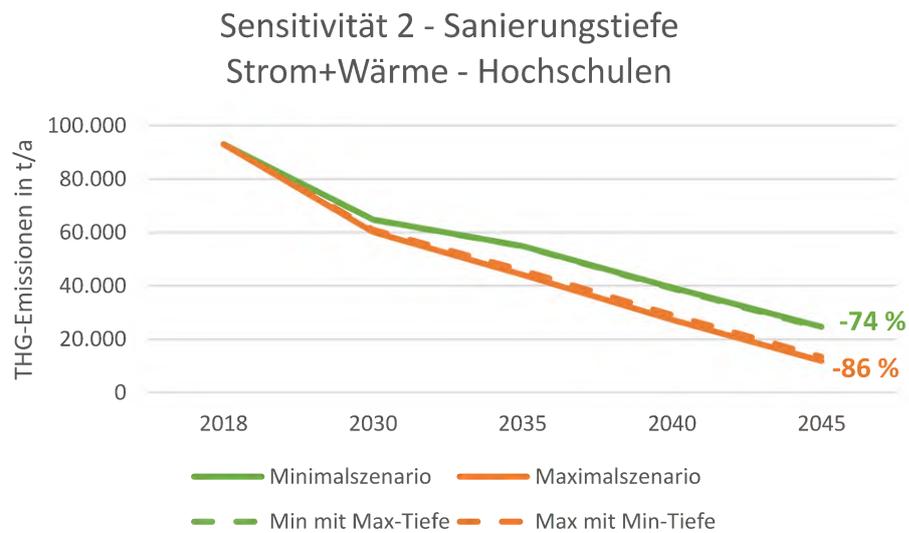


Abbildung 36: Sensitivitätsanalyse Einflussfaktor Sanierungstiefe – Ergebnisse Hochschulen u. Univ.

Die Ergebnisse dieser Sensitivitätsanalyse werden lediglich für den Bereich Hochschulen u. Univ. dargestellt, da keine sichtbaren Unterschiede in den relevanten Aussagen in den Diagrammen der Landesliegenschaften o. HS erkennbar sind. Wie Abbildung 36 zu entnehmen ist, gibt es keine signifikanten Differenzen in den Endergebnissen bei Austausch der Sanierungstiefen. Im Minimalszenario können bei den Hochschulen u. Univ. 73,9 % der Emissionen reduziert werden, im Maximalszenario wird eine kaum merkliche Verringerung der Reduzierungen um 1,7 % erreicht.

Bei detaillierterer Betrachtung der Ergebnisse im Isoquantendiagramm wird erkennbar, dass die Endpunkte der Linien zwar auf ähnlichen Isoquanten liegen, dennoch Unterschiede in den Verläufen der Linien sichtbar sind. Für das Maximalszenario werden deutlich geringere Reduzierungen im Energiebedarf (x-Achse) erzielt (etwa 10 % in 2045), jedoch hat dies kaum Einfluss auf die Lage auf den Isoquanten, da bereits eine starke Reduzierung der THG-Intensität erfolgt ist, welche einen höheren Einfluss auf das Gesamtergebnis hat als eine Reduzierung der Nutzenergie. Sobald eine bestimmte Sanierungstiefe erreicht ist, liegen die höchsten Einsparungspotentiale in einer Reduzierung der THG-Intensität.

Reduktion THG-Emissionen	Status quo	2030	2035	2040	2045
Minimalszenario	93.017 t/a	- 30 %	- 41 %	- 58 %	- 73,5 %
mit Tiefe C		- 30 %	- 41 %	- 58 %	- 73,9 %
Maximalszenario		- 35 %	- 53 %	- 71 %	- 87,4 %
mit Tiefe A		- 35 %	- 51 %	- 69 %	- 85,7 %

Tabelle 15: THG-Reduktion Sensitivitätsanalyse Einflussfaktor Sanierungstiefe – Hochschulen u. Univ.

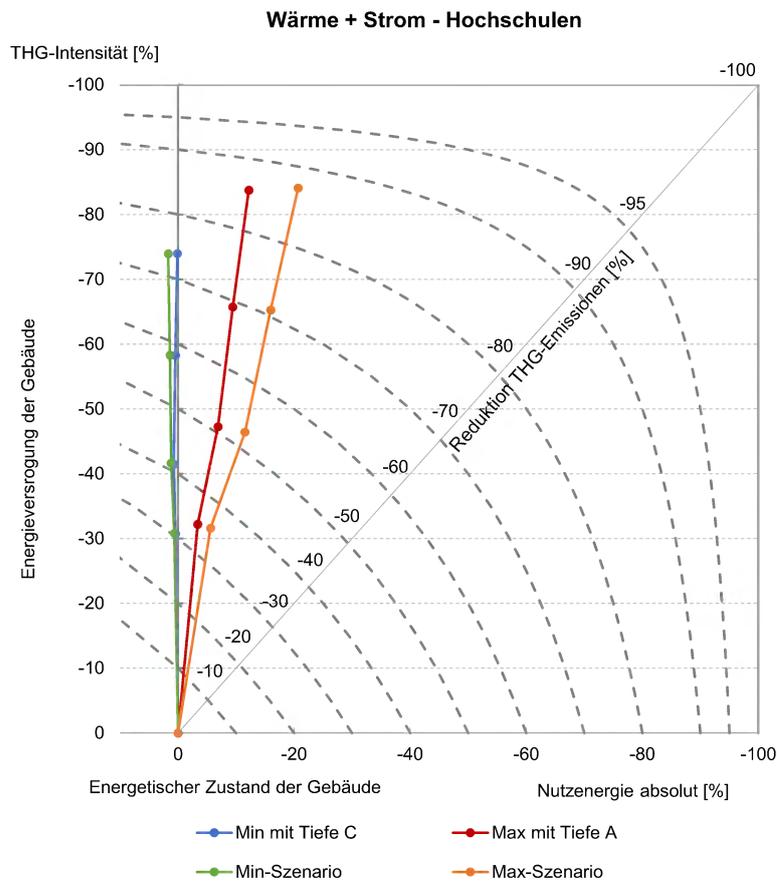


Abbildung 37: Sensitivitätsanalyse Einflussfaktor Sanierungstiefe – Gesamtergebnisse Hochschulen u. Univ.

Abbildung 38 stellt in einem Liniendiagramm Wärmedurchgangskoeffizienten mit verschiedenen Dämmstärken beispielhaft für eine Außenwand dar. Sie zeigt, dass der U-Wert mit steigender Dämmstärke nicht linear abnimmt und daraus abgeleitete Einsparungen bei einer Gebäudedämmung mit der Dämmstärke relativ abnehmen – die ersten 5-10 cm Dämmung haben dabei deutlich größere Auswirkungen auf die Wärmeeinsparungen als eine weitere Erhöhung der Dämmstoffdicke.

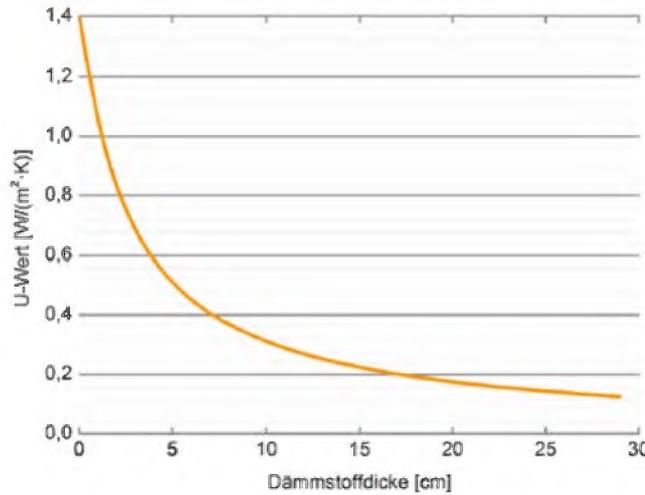


Abbildung 38: Einfluss Dämmstoffdicke auf Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert), beispielhaft für Wand mit Rohbauteil mit U-Wert von 1,4 W/(m²K) und Dämmstoff mit  $\lambda = 0,04$  W/(mK) - Quelle: Endbericht „Alternative Wege zum Nullenergiehaus“, Fachhochschule Salzburg

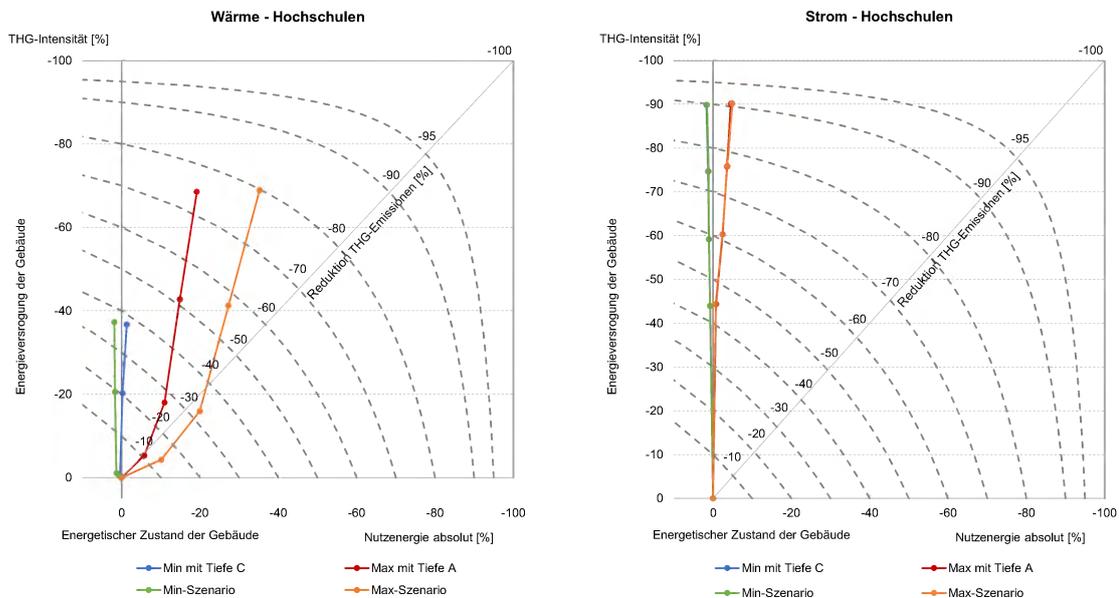


Abbildung 39: Sensitivitätsanalyse Einflussfaktor Sanierungstiefe – Ergebnisse Wärme + Strom Hochschulen u. Univ.

In Abbildung 39 sind die Ergebnisse aufgeteilt auf Wärme und Strom dargestellt. Da die Sanierungstiefe sich für Strom kaum in den Szenarien unterscheidet (mittlere Einsparpotentiale liegen bei 13 % (Minimalszenario) und 16 % (Maximalszenario)) sind im rechten Diagramm keine Veränderungen an den Ergebnissen sichtbar (Sensitivitätslinien (blau und rot) und Szenarielinien (grün und orange) liegen exakt übereinander). Im linken Diagramm sind deutlichere Unterschiede erkennbar, da hier auch größere Differenzen bei den mittleren Sanierungstiefen (27 % im Minimal- und 54 % im Maximalszenario) verwendet werden. Da im Bereich Hochschulen u. Univ. im Status quo deutlich weniger BHKW vorhanden sind als im Bereich Landesliegenschaften o. HS (2 % ggü. 11 %, siehe Abbildung 9 und Abbildung 10 auf Seite 38) fällt die THG-Intensitätserhöhung für 2030 aufgrund der Stromgutschriftmethode im linken Diagramm deutlich geringer aus als im linken Diagramm in Abbildung 35 (Seite 74).

Reduktion THG-Emissionen	Status quo	2030	2035	2040	2045
Minimalszenario – Wärme	28.101 t/a	+ 0,2 %	+ 0,2 %	- 19 %	- 36,1 %
mit Tiefe C		- 0,1 %	- 0,1 %	- 20 %	- 37,6 %
Maximalszenario – Wärme		- 14 %	- 33 %	- 57 %	- 79,9 %
mit Tiefe A		- 11 %	- 27 %	- 51 %	- 74,6 %
Minimalszenario – Strom	64.916 t/a	- 44 %	- 59 %	- 74 %	- 89,7 %
mit Tiefe C		- 44 %	- 59 %	- 74 %	- 89,7 %
Maximalszenario – Strom		- 45 %	- 61 %	- 77 %	- 90,6 %
mit Tiefe A		- 45 %	- 61 %	- 77 %	- 90,5 %

Tabelle 16: THG-Reduktion Sensitivitätsanalyse Einflussfaktor Sanierungstiefe – Hochschulen u. Univ.

Die Sensitivitätsanalyse der Variable Sanierungstiefe zeigt, dass das Anheben bzw. Absenken des Energiestandards in beiden Szenarien relativ geringe Auswirkungen hat. Folglich sind zur THG-Reduktion auf Portfolioebene zukünftige Investitionen verstärkt auf eine erhöhte Anzahl von Gesamtsanierungen (Sanierungsrate) zu richten, anstatt sich auf eine niedrige Sanierungsrate mit erhöhtem Sanierungsstandard (Sanierungstiefe) zu konzentrieren. Gleichzeitig sollten bei einer Gesamtsanierung jedoch nicht nur die Mindeststandards umgesetzt, sondern eine höhere energetische Qualität angestrebt werden, sodass die Implementierung von Niedertemperatursystemen ermöglicht werden kann. Dies ist durch die Anforderungen an Neubau und Sanierung in der Klimaneutralitätsrichtlinie des LBB bereits verankert.

### E.3.4 Technisches Potential Wärmenetze

Für diese Sensitivitätsanalyse wird der Emissionsfaktor der Fernwärme, wie in Tabelle 17 aufgelistet, angepasst. Der Faktor in 2018 bleibt für alle Betrachtungen gleich. Für das Sensitivitätsszenario Minimal werden die Faktoren für 2045 auf 120 g CO<sub>2</sub>e/kWh reduziert, für das Sensitivitätsszenario Maximal werden die Faktoren bis 2045 auf 0 g CO<sub>2</sub>e/kWh gesetzt. Die Meilensteine dazwischen werden linear interpoliert.

THG-Faktor Fernwärme [g CO <sub>2</sub> e/kWh]	2018	2025	2030	2035	2040	2045
Sensitivität Min	180	164	153	142	131	120
Sensitivität Max	180	133	100	67	33	0
Gutachten	180	185	178	160	115	70

Tabelle 17: Anpassung Emissionsfaktor Fernwärme für Sensitivitätsanalyse

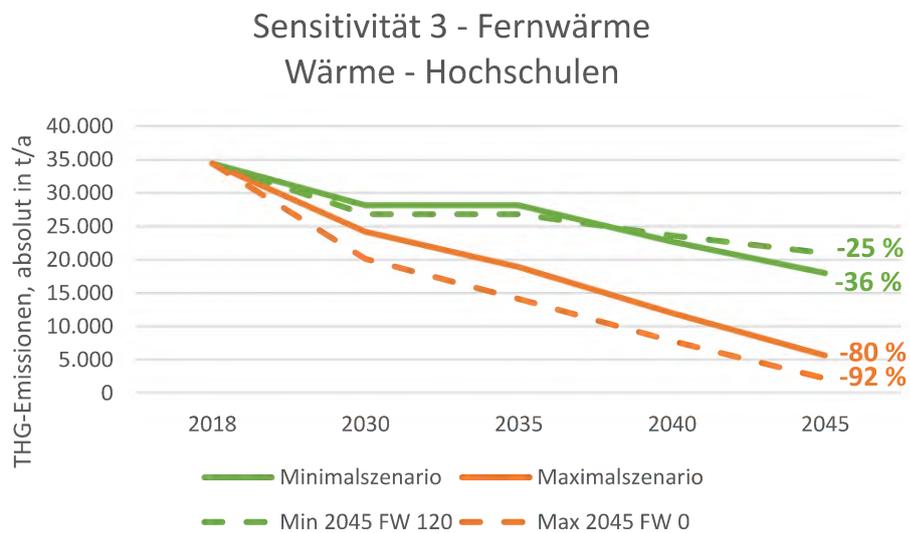


Abbildung 40: Sensitivitätsanalyse Einflussfaktor Wärmenetz – Ergebnisse Hochschulen u. Univ.

Diese Analyse wird anhand des Bereiches Hochschulen u. Univ. dargestellt. Wie zu erwarten ist, sind im Minimalszenario aufgrund der Erhöhung des THG-Faktors geringere und im Maximalszenario aufgrund der Verringerung des Faktors höhere Reduktionen der THG-Emissionen möglich. Im Minimalszenario kommt es zu einer Überschneidung der Linien (siehe Abbildung 40) zwischen den Meilensteinen 2035 und 2040, da die im Gutachten verwendeten Faktoren bis 2045 deutlich weiter absinken, jedoch nicht linear verlaufen. Im Maximalszenario können die Emissionen in der Sensitivität um zusätzliche 12 % reduziert werden.

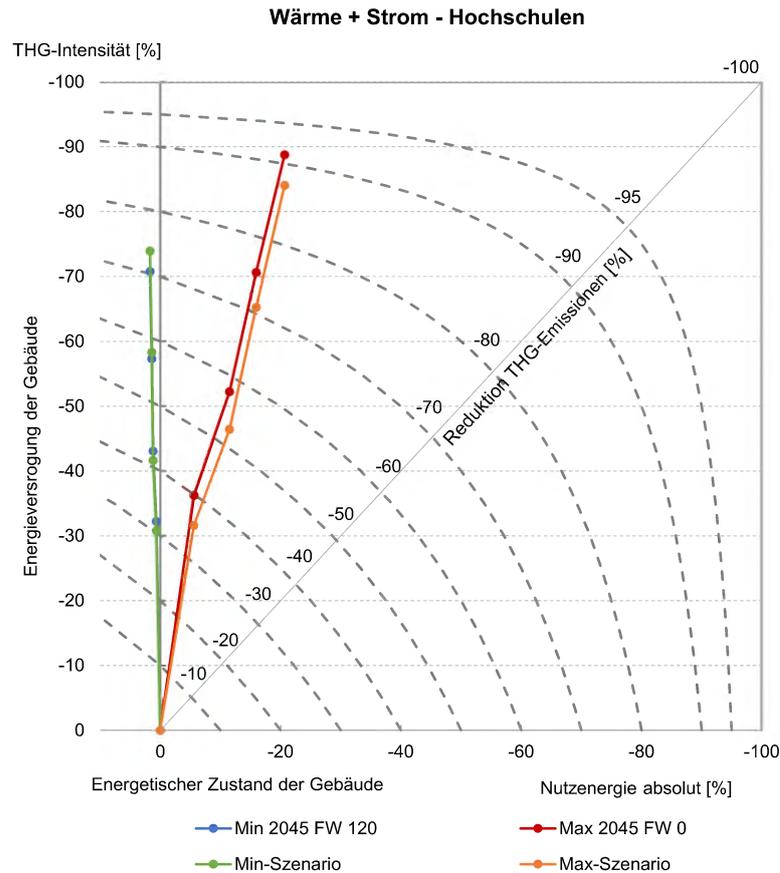


Abbildung 41: Sensitivitätsanalyse Einflussfaktor Wärmenetz – Gesamtergebnisse Hochschulen u. Univ.

Reduktion THG-Emissionen	Status quo	2030	2035	2040	2045
Minimalszenario	93.017 t/a	- 30 %	- 41 %	- 58 %	- 74 %
mit 2045 FW 120		- 32 %	- 42 %	- 57 %	- 70 %
Maximalszenario		- 35 %	- 53 %	- 71 %	- 87 %
mit 2045 FW 0		- 40 %	- 58 %	- 75 %	- 91 %

Tabelle 18: THG-Reduktion Sensitivitätsanalyse Einflussfaktor Wärmenetz – Hochschulen u. Univ.

Im Isoquantendiagramm ist abzulesen, dass nur die Energieversorgung angepasst wurde, was sich lediglich in einer Verschiebung der Ergebnispunkte auf der y-Achse zeigt. Das Maximalszenario der Sensitivität erreicht eine THG-Reduktion von etwa 91 %.

Die Sensitivitätsanalyse der Variable Emissionsfaktor Fernwärme zeigt, dass dieser einen großen Einfluss auf die Gesamtreduktion der Emissionen im Gebäudeportfolio hat. Bei einer Erhöhung der THG-Emissionen aus Fernwärme, schlägt sich dies ebenso im Ergebnis nieder. Im Minimalszenario können dann nur mehr etwa 70 % der Emissionen reduziert werden. Aus diesem Grund hat die Dekarbonisierung der Fernwärme hohe Priorität.

### E.3.5 Technisches Potential Wärmeerzeuger

Die Sensitivitätsanalyse zeigt den Einfluss der festgelegten Vor-Ort-Wärmeversorgung anhand Änderungen in der Erzeugermix-Zusammensetzung. Wie Anlage 01 zu entnehmen ist, stellt im Minimalszenario die Wärmeerzeugung durch BHKW in den ersten Sanierungszeiträumen den Hauptanteil im Erzeugermix dar, wohingegen im Maximalszenario keine BHKW und stattdessen Wärmepumpen eingesetzt werden. Dieser Anteil der eingesetzten BHKW und Wärmepumpen wird in dieser Sensitivitätsanalyse umgekehrt, sodass für das neue Minimalszenario alle BHKW-Anteile auf Wärmepumpen sowie im neuen Maximalszenario alle Wärmepumpen-Anteile auf BHKW übertragen werden.

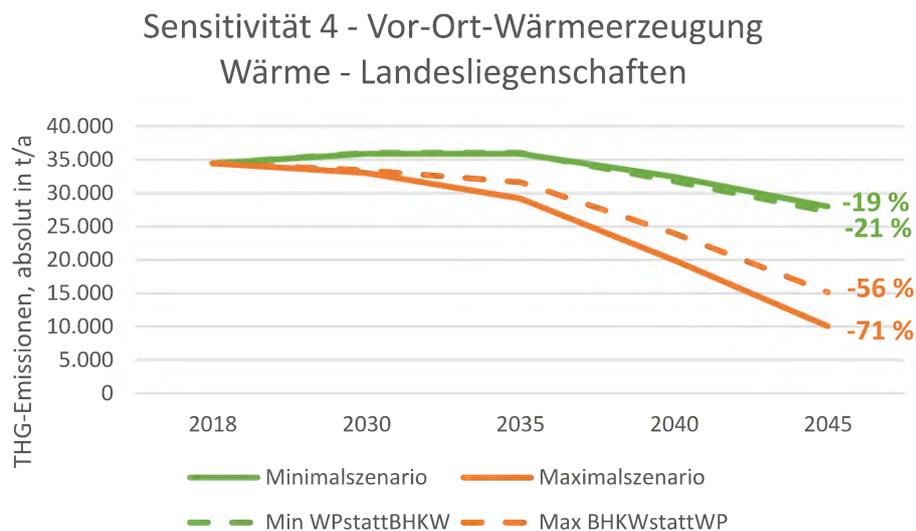


Abbildung 42: Sensitivitätsanalyse Einflussfaktor Wärmeerzeugung – Ergebnisse Wärme + Strom Landesliegenschaften o. HS

Im Maximalszenario kann durch die Umstellung von 0 % BHKW auf 50 % und Eliminierung der elektrischen Wärmepumpen aus dem Erzeugermix eine Erhöhung der THG-Emissionen von 15 % prognostiziert werden.

Im Minimalszenario sind hingegen veränderliche Anteile festgelegt: für 2027-2030 liegt der BHKW-Anteil bei 50 % und der Wärmepumpen-Anteil bei 0 %, für 2031-2040 bei je 25 % und für 2041-2045 bei 50 % Wärmepumpen-Anteil und 0 % BHKW-Anteil. In der Sensitivitätsanalyse kommt lediglich eine mittlere Anteil-Verschiebung von etwa 25 % zu tragen. Hinzu kommt, dass im Minimalszenario aufgrund der deutlich geringeren Sanierungsrate, die Zusammensetzung des Erzeugermix geringere Auswirkungen auf die Ergebnisse hat. Der Erzeugerwechsel-Anteil liegt in 2045 bezogen auf die Wärmeabnahme<sup>25</sup> im Minimalszenario bei 11-14 % und im Maximalszenario bei 47 %.

In Abbildung 43 wird der Unterschied zwischen den Bereichen Landesliegenschaften o. HS und Hochschulen u. Univ. deutlich. Da im Bereich Landesliegenschaften o. HS etwas mehr Erzeugerwechsel durchgeführt werden, ist für das Maximalszenario der veränderte Erzeugermix aufgrund des höheren Anteils an BHKW (hohe THG-Emissionen im Vergleich zu Wärmepumpen) mit einer stärkeren Reduzierung der THG-Intensität (entlang der y-Achse) abzulesen. Etwas mehr Gesamt-Erzeugerwechsel entstehen trotz gleicher

Sanierungsrate, da aufgrund des etwas höheren Anteils an Gas- und Heizölkesseln bei den Gesamtanierungen ein höherer Anteil an Erzeugerwechseln durchgeführt wird.

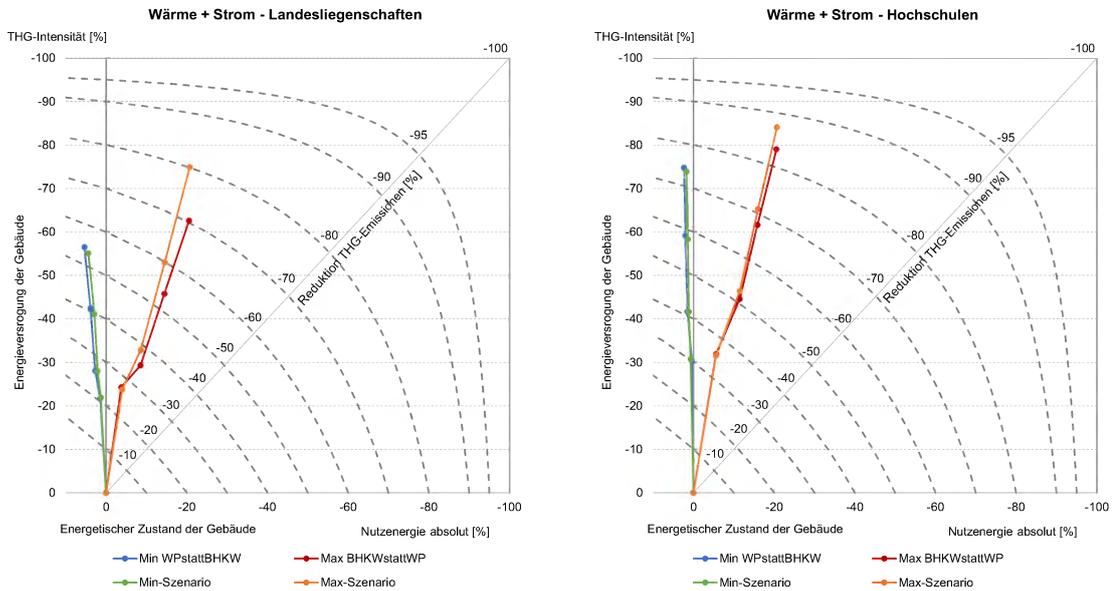


Abbildung 43: Sensitivitätsanalyse Einflussfaktor Wärmeerzeugung – Gesamtergebnisse Landesliegenschaften o. HS + Hochschulen u. Univ.

Reduktion THG-Emissionen	Status quo	2030	2035	2040	2045
Minimalszenario – Landesl.	70.219 t/a	- 21 %	- 26 %	- 40 %	- 54 %
Maximalszenario – Landesl.		- 27 %	- 35 %	- 54 %	- 70 %
Minimalszenario – Hochs..	93.017 t/a	- 30 %	- 41 %	- 58 %	- 74 %
Maximalszenario – Hochs..		- 36 %	- 51 %	- 68 %	- 83 %

Tabelle 19: THG-Reduktion Sensitivitätsanalyse Einflussfaktor Wärmeerzeugung – Landesliegenschaften o. HS + Hochschulen u. Univ.

Im Minimalszenario kann eine sehr geringe Reduzierung der THG-Intensität für die Meilensteine 2040 und 2045 prognostiziert werden. Diese kommt aus der Reduzierung der THG-Intensität durch Umstellung von Erdgas (überwiegend konstanter THG-Emissionsfaktor) auf Strom (deutlich sinkender Faktor, insbesondere ab 2040) zustande.

Die Sensitivitätsanalyse der Vor-Ort-Wärmeerzeugung zeigte, dass eine Erhöhung der BHKW-Anteile zu einem Anstieg der THG-Emissionen führt. Eine Erhöhung der Wärmepumpen-Anteile führt wiederum zu einer Steigerung der THG-Reduktion. Der Einfluss im Minimalszenario ist aufgrund der niedrigen Sanierungsrate sehr gering. Im Maximalszenario kann prognostiziert werden, dass im Bereich Landesliegenschaften o. HS., die Emissionen um rund 10 % ansteigen würden, für den Bereich Hochschulen u. Univ. um etwa 4 %.

Daher sollte bei Erzeugerwechseln bereits in den nächsten Jahren auf überwiegend strombasierte Wärmeerzeuger, wie Wärmepumpen in Kombination mit PV-Anlagen, umgestellt werden. Voraussetzung bei allen Gesamtsanierungen ist die Erreichung notwendiger geringerer Vorlauftemperaturen.

## E.4 Wirtschaftliche Analyse der Szenarien

### E.4.1 Grundlagen der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Zur Abschätzung der Wirtschaftlichkeit der vorgeschlagenen Sanierungsmaßnahmen wurden in Zusammenarbeit mit dem LBB Kostenansätze entwickelt. Eine detaillierte Auflistung dieser ist in der Anlage 03 zu finden.

Die Gesamtbaukosten (Investitions- und Baunebenkosten, Kostengruppe 200-700) für Gesamtsanierungen und Neubauten sowie die Kosten für einen Erzeugerwechsel (Kostengruppe 420) wurden vom LBB aus der Datenbank „Nutzen-Kostenberechnung und Simulation von Ökonomie und Ökologie (NUKOSI)“<sup>27</sup> je BWZK-Gruppe nach GEG-Standard für das 4. Quartal 2021 ermittelt. Die Kosten für Photovoltaik-Anlagen wurden von der Leitstelle Erneuerbare Energien zur Verfügung gestellt. Der Kostenaufschlag für das Maximalszenario wird in Abstimmung mit dem LBB anhand einer Erhöhung der Kosten „Generalsanierung“ um 20 % berechnet. Die im Maximalszenario zusätzliche Maßnahme Betriebsoptimierung wird in „Optimierung Strom“ sowie „Optimierung Wärme und Strom“ unterschieden. Für ersteres werden 1,5 €/m<sup>2</sup> und für zweiteres 3 €/m<sup>2</sup> kalkuliert. Für unter Denkmalschutz stehende Gebäude werden die gleichen Kosten angesetzt, da sich die Mehrkosten aufgrund von komplizierteren Sanierungsprozessen bei Planung und Umsetzung mit der Kostenreduzierung aufgrund verringerter Maßnahmenanzahl (z.B. keine Sanierung des Daches) ausgleichen. Als Preissteigerung für die Gesamtbaukosten werden 4,33 % pro Jahr<sup>43</sup> angesetzt. In Anlage 03 befindet sich eine Darstellung zur Verdeutlichung der Berechnung der Gesamtbaukosten.

Für die Energiekosten werden die Energiepreise aus Abrechnungen des Verbrauchsjahres 2021 angesetzt und mithilfe von Preissteigerungen für das Berechnungsmodell angepasst. Um eine Differenzierung in den zukünftigen Energiepreisen von fossilen und regenerativen Energieträgern zu berücksichtigen, wird die Preissteigerung für regenerative Energieträger auf 2,5 % pro Jahr und für fossile Energien auf 4 % pro Jahr festgelegt. Für Fernwärme wird eine mittlere Steigerung von 3,25 % pro Jahr angenommen.

---

<sup>43</sup> Leitfaden Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen (WU) bei der Vorbereitung von Hochbaumaßnahmen des Bundes, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB), August 2014

## E.4.2 Wirtschaftliche Auswertung der Szenarien

### Gesamtbaukosten

Die folgende Abbildung 44 zeigt die ermittelten Gesamtbaukosten, welche sich aus den Maßnahmen der Szenarien ergeben, kumuliert bis 2045 für die Landesliegenschaften o. HS. Die gelben Kurven enthalten die Kosten für Gesamtsanierung, Erzeugerwechsel, Betriebsoptimierung sowie Photovoltaik-Anlagen im Bestand, die grünen Kurven stellen die zusätzlichen Kosten für die Neubauten dar. Zusätzlich sind als Balken die jährlichen Gesamtkosten (Bestand und Neubau summiert), dargestellt, deren Werte an der sekundären Achse rechts abgelesen werden können.

Die Gesamtkosten für die Bestandssanierung betragen bis zum Jahr 2030 ca. 150 Mio. € im Minimal- und 920 Mio. € im Maximalszenario. Die Neubaukosten liegen bei 275 bzw. 330 Mio. €. Bis 2045 erhöhen sich die kumulierten Gesamtkosten im Maximalszenario auf etwa 5.700 Mio. € im Bestand und 1.950 Mio. € im Neubau. Im Diagramm wird außerdem deutlich, dass ein großer Unterschied zwischen den Kostendifferenzen in den Bestands-szenarien und den Neubauszenarien besteht. Dies kann dadurch begründet werden, dass die Neubaukosten im Gegensatz zu den Sanierungskosten sehr viel mehr unveränderte Kostenbestandteile enthalten als die sich in den Szenarien unterscheidenden energetischen Kosten. Eine grafische Darstellung der Gesamtbaukosten für die Hochschulen u. Univ. erfolgt an dieser Stelle nicht, da sich lediglich die Achsendarstellung verändert und der Verlauf der Kosten unberührt bleibt. Für die Hochschulen u. Univ. sind bis 2045 kumulierte Gesamtsanierungskosten von etwa 590 Mio. € im Minimal- und 4.500 Mio. € im Maximalszenario zu erwarten. Die Neubaukosten liegen für diesen Bereich bei 1.050 bis 1.250 Mio. €.

Erhalten im Jahr 2045 alle Gebäude ohne bereits eingeplante und in den Kosten berücksichtigte Photovoltaik-Anlage eine solche, würden bei den Landesliegenschaften o. HS zusätzliche Kosten von etwa 38 Mio. € im Minimalszenario und 14 Mio. € im Maximalszenario sowie bei den Hochschulen u. Univ. Kosten von etwa 26 Mio. € im Minimalszenario und 12 Mio. € im Maximalszenario entstehen. Diese Kosten bzw. die in den Gesamtbaukosten enthaltenen PV-Kosten könnten ggf. etwas geringer ausfallen, da auf einigen Gebäuden bereits PV-Investorenanlagen installiert sind, welche möglicherweise nach Ablauf der jeweils 20 Jahre EEG-Förderung nach der Inbetriebnahme günstig abgegeben werden und für über weitere 10 Jahre (reale Nutzungsdauer von im Mittel über 30-40 Jahren) vom LBB für die Eigenstromerzeugung genutzt werden könnten.

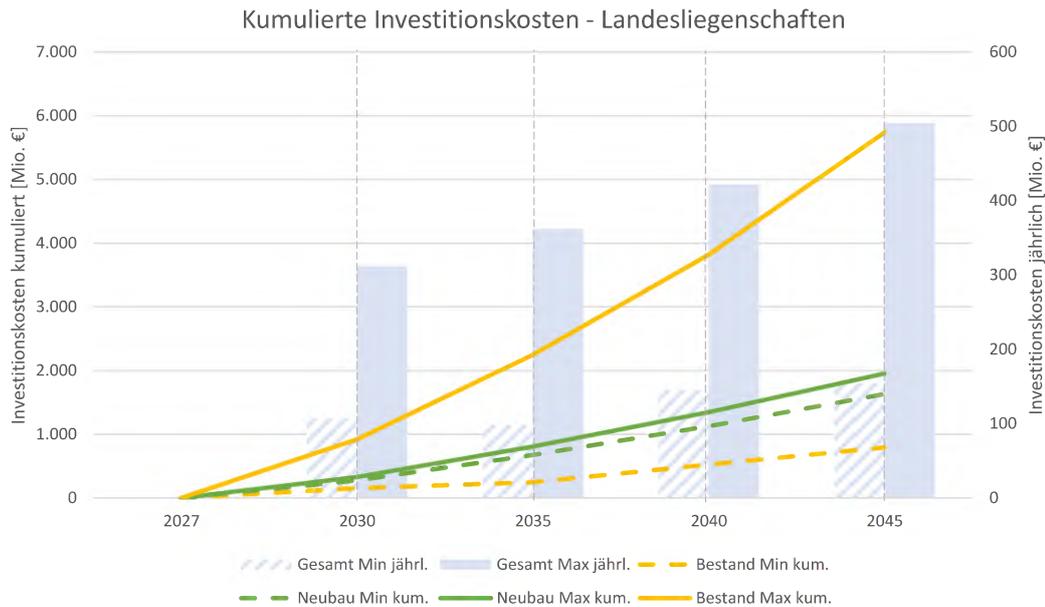


Abbildung 44: Kumulierte Gesamtbaukosten für den Bereich Landesliegenschaften o. HS für alle Sanierungsmaßnahmen inkl. Photovoltaik-Anlagen sowie jährliche Kosten (Summe Neubau + Bestand) für beide Szenarien als Balkendarstellung (gestrichelt: Min-Szenario, ausgefüllt: Max-Szenario)

Die nachfolgenden Tabellen stellen die im Diagramm als Balken abgebildeten jährlichen Kosten aufgeteilt in Bestand und Neubau dar. Im Minimalszenario liegen die Gesamtbaukosten im zweiten Meilenstein niedriger als im ersten, was auf die Berechnungsmethode zurückzuführen ist. Diese sieht vor, dass die realen Gebäude und deren Flächen anhand einer Reihung den Sanierungszeiträumen zugeteilt werden (wie in Kapitel E.1.2 erläutert). Da die Einteilung nicht als pauschale Fläche von 0,5 %/a (Minimalszenario) erfolgt, ist aufgrund einiger großer Gebäude mit Flächen von über 10.000 m<sup>2</sup> keine vollständige Erfüllung der Sanierungsrate möglich, da Gebäude nur vollständig und nicht nur teilweise einbezogen werden. So werden bei den Landesliegenschaften o. HS bspw. im Zeitraum 2027-2030 lediglich 3 Gebäude mit einer Gesamtfläche von 31.911 m<sup>2</sup> für die Gesamtsanierung vorgesehen. Dies ergibt eine Sanierungsrate von 0,477 % pro Jahr. Das nächste Gebäude in der Sanierungsreihe würde die Rate von 0,5 %/a aufgrund einer Fläche von 21.616 m<sup>2</sup> übersteigen und wurde daher für den nächsten Zeitraum eingeordnet. Für den Zeitraum 2031-2035 wird lediglich dieses eine Gebäude saniert, da das nächste Gebäude in der Reihe eine ähnliche große Fläche von 22.676 m<sup>2</sup> aufweist.

Jährliche Gesamtbaukosten Bestand [Mio. €/a]	2027-2030	2031-2035	2036-2040	2041-2045
<b>Landesliegenschaften o. HS</b>				
Minimalszenario	38	19	55	54
Maximalszenario	229	266	314	383
<b>Hochschulen u. Univ.</b>				
Minimalszenario	29	14	40	42
Maximalszenario	186	212	265	274

Tabelle 20: Mittlere, jährliche Gesamtbaukosten im Bestand getrennt für Landesliegenschaften o. HS und Hochschulen u. Univ.

<b>Jährliche Gesamtbaukosten Neubau [Mio. €/a]</b>	<b>2027-2030</b>	<b>2031-2035</b>	<b>2036-2040</b>	<b>2041-2045</b>
<b>Landesliegenschaften o. HS</b>				
Minimalszenario	69	80	90	101
Maximalszenario	82	95	108	121
<b>Hochschulen u. Univ.</b>				
Minimalszenario	44	51	58	64
Maximalszenario	53	61	69	78

*Tabelle 21: Mittlere, jährliche Gesamtbaukosten im Neubau getrennt für Landesliegenschaften o. HS und Hochschulen u. Univ.*

Die mittleren jährlichen Gesamtbaukosten für die Bestandssanierung in den Landesliegenschaften o. HS liegen in den Jahren 2027 bis 2030 für Szenario Minimal im Mittel bei rund 38 Mio. € und steigen im Maximalszenario auf rund 229 Mio. € pro Jahr an. Bei den Hochschulen u. Univ. betragen die Kosten 29 bzw. 186 Mio. €. Im Hinblick auf 2045 steigen die Kosten mit den angenommenen Preissteigerungsraten weiter an.

### Anmietungskosten Ersatzflächen

Zusätzliche Mietkosten für Ersatzflächen während der gesamten Umsetzung aller berücksichtigten Gesamtanierungen im Zeitraum 2027 bis 2045 werden auf 17 Mio. € für die Landesliegenschaften o. HS bzw. 10 Mio. € für die Hochschulen u. Univ. im Minimalszenario und 103 Mio. € bzw. 66 Mio. € im Maximalszenario geschätzt.

### Energiekosten

Die Gesamtenergiekosten für Wärme und Strom (Bestand und Neubau) je Szenario können Abbildung 45 und Abbildung 46 entnommen werden. Auffällig ist der Unterschied zwischen den Abbildungen, da hier nochmals sehr deutlich die hohen Strombedarfe der Hochschulen u. Univ. im Vergleich mit den Landesliegenschaften o. HS auffallen. Weiterhin ist erkennbar, dass eine Umsetzung des Maximalszenarios im Vergleich zum Minimalszenario deutliche Energiekosten in Höhe von etwa 50 Mio. € je Wärme- und Stromeinkauf bei den Landesliegenschaften o. HS sowie etwa 80 Mio. € im Wärme- und 40 Mio. € bei Stromeinkauf bei den Hochschulen u. Univ. bis 2045 einsparen kann.

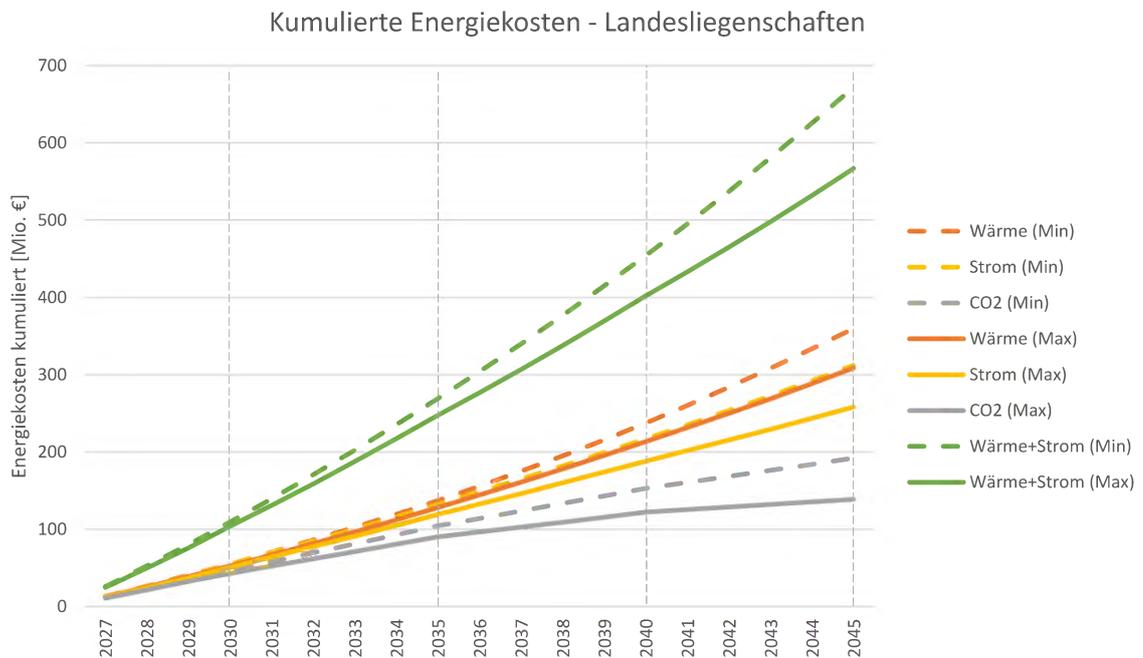


Abbildung 45: Kumulierte Energiekosten im Bereich Landesliegenschaften o. HS von 2027 bis 2045 sowie zusätzliche Darstellung möglicher CO<sub>2</sub>e-Folgekosten (Bestand + Neubau)

Zur Abschätzung von weiteren Folgekosten wurde zusätzlich ein CO<sub>2</sub>-Schattenpreis in der Grafik dargestellt (grau). Dieser wurde anhand der Vereinbarung im Koalitionsvertrag von Rheinland-Pfalz in 2018 (180 €/tCO<sub>2</sub>e) sowie Einschätzungen des Umweltbundesamtes für 2050 (250 €/tCO<sub>2</sub>e) für alle Jahre von 2027 bis 2045 ermittelt. Hier können bei Umsetzung des Maximalszenarios im Vergleich zum Minimalszenario theoretische Kosten-Einsparungen von 53 bzw. 44 Mio. € bis 2045 erzielt werden.

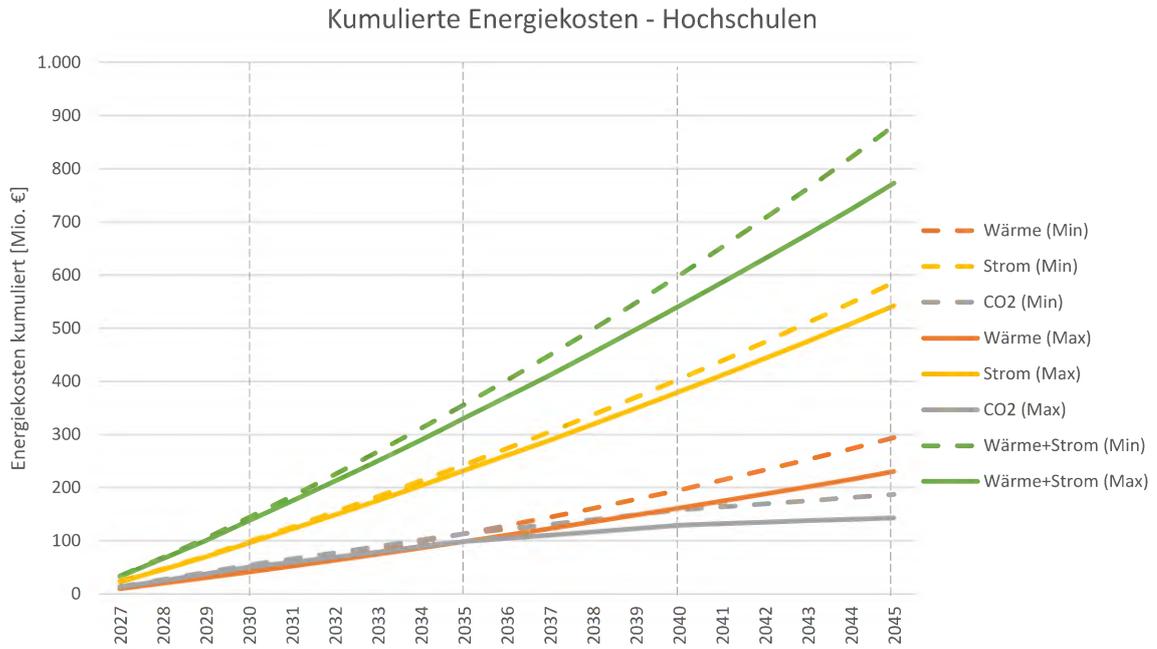


Abbildung 46: Kumulierte Energiekosten im Bereich Hochschulen u. Univ. von 2027 bis 2045 sowie zusätzliche Darstellung möglicher CO<sub>2</sub>e-Folgekosten (Bestand + Neubau)

<b>Energiekosten Wärme + Strom kumuliert [Mio. €]</b>	<b>2027</b>	<b>2030</b>	<b>2035</b>	<b>2040</b>	<b>2045</b>
<b>Landesliegenschaften o. HS</b>					
Minimalszenario	26	109	269	454	672
Maximalszenario	24	104	248	402	567
Einsparung	- 5 %	- 5 %	- 8 %	- 11 %	- 16 %
<b>Hochschulen u. Univ.</b>					
Minimalszenario	34	144	356	599	881
Maximalszenario	33	138	331	542	773
Einsparung	- 4 %	- 4 %	- 8 %	- 11 %	- 14 %

Tabelle 22: Kumulierte Gesamt-Energiekosten (Wärme + Strom) für Landesliegenschaften o. HS und Hochschulen u. Univ. (Bestand + Neubau)

<b>Energiekosten Wärme + Strom jährlich [Mio. €/a]</b>	<b>2027</b>	<b>2030</b>	<b>2035</b>	<b>2040</b>	<b>2045</b>
<b>Landesliegenschaften o. HS</b>					
Minimalszenario	26	29	34	39	46
Maximalszenario	24	28	31	33	35
<b>Hochschulen u. Univ.</b>					
Minimalszenario	34	39	45	51	59
Maximalszenario	33	37	41	45	49

Tabelle 23: Jährliche Gesamt-Energiekosten (Wärme + Strom) für Landesliegenschaften o. HS und Hochschulen u. Univ. (Bestand + Neubau)

Die jährlichen Gesamt-Energiekosten für Wärme und Strom im Gesamtportfolio liegen im Meilensteinjahr 2030 für das minimale Szenario bei rund 60 Mio. €. Im Maximalszenario können aufgrund höherer Endenergie-Reduzierungen etwa 3 Mio. € im Jahr 2030 eingespart werden. Im Hinblick auf 2045 steigen die Kosten mit den angenommenen Preissteigerungsraten weiter an, wobei die Abweichungen zwischen den Szenarien zunehmen.

### E.4.3 THG-Vermeidungskosten

Ein Vergleich der Kosten „Energetische Sanierung“ mit den erzielten THG-Reduktionen wird über eine vereinfachte Abschätzung der THG-Vermeidungskosten dargestellt. Hierfür wird der Anteil der energiebedingten Mehrkosten für die Maßnahme Gesamtsanierung für den Gesamtzeitraum 2027 bis 2045 mithilfe der Annuitätenmethode in mittlere jährliche Kosten umgewandelt und durch die eingesparten THG-Emissionen, die aufgrund der Maßnahme Gesamtsanierung bis 2045 erzielt werden, dividiert. Für die Wirtschaftlichkeitsberechnung wird ein Zinsfaktor von 0,25 %<sup>44</sup> sowie ein Betrachtungszeitraum von 19 Jahren (2027 bis 2045) gewählt. Die Ergebnisse der Berechnung sind der folgenden Tabelle zu entnehmen.

<b>THG-Vermeidungskosten [€/t<sub>CO2e</sub>]</b>	<b>Landesliegenschaften o. HS</b>	<b>Hochschulen u. Univ.</b>	<b>Gesamt-Portfolio</b>
Minimalszenario	159	55	92
Maximalszenario	243	133	181

Tabelle 24: Vereinfachte THG-Vermeidungskosten für beide Szenarien

Die Vermeidungskosten liegen für alle Szenarien unterhalb der Klimakosten des Umweltbundesamtes<sup>45</sup> von 250 €/t für das Jahr 2050. Bei Betrachtung der Kosten „Energetische Sanierung“ kann somit eine wirtschaftliche Umsetzung der Maßnahmen erfolgen, da die eingesparten Klimakosten von 250 €/t die notwendigen Investitionen ausgleichen.

Die Kosten für das Maximalszenario liegen höher als jene für das Minimalszenario. Dies ist dadurch zu erklären, dass die THG-Reduktionen im Minimal- und Maximalszenario nicht so große Differenzen aufweisen wie die Baukosten im Minimal- und Maximalszenario, da bei der THG-Reduzierung auch die Reduktionen aufgrund der verringerten THG-Emissionsfaktoren für Strom- und Fernwärme mit einfließt. Der Kostenunterschied zwischen Landesliegenschaften o. HS und Hochschulen u. Univ. ist auf den deutlich höheren Stromverbrauch bei Letzteren und die dadurch deutlich höheren THG-Reduktionen zurückzuführen.

<sup>44</sup> Angabe des Landesamtes für Finanzen Rheinland-Pfalz für 2022: <https://www.lff-rlp.de/service/kosten-und-leistungsrechnung/kalkulatorischer-zinssatz> (Abruf: 13.04.2022)

<sup>45</sup> Umweltbundesamt, Methodenkonvention 3.0 zur Ermittlung von Umweltkosten – Kostenansätze, Dezember 2020

## E.5 Zusammenfassung der Szenarien-Auswertung

Das **Berechnungsmodell** erlaubt es, detaillierte Sanierungsszenarien zu erstellen und Auswertungen auf Portfolio- wie auch Cluster-Ebene (je BWZK-Gruppe, Energieträger, Optimierungsmaßnahme) durchzuführen. Um unterschiedliche Auswirkungen für verschiedene Herangehensweisen zu analysieren, werden zwei Szenarien mit minimalen und maximalen Sanierungstätigkeiten angenommen. Die heute noch nicht absehbare Entwicklung kann somit als Pfad zwischen Minimal- und Maximalszenario prognostiziert werden. **Minimal- und Maximalszenario** unterscheiden sich in u.a. in den Berechnungsparametern:

- Sanierungsrate: Wie viel % der Nettogrundfläche werden pro Jahr saniert bzw. optimiert?
- Sanierungstiefe: Wie hoch liegen die Wärme- und Strom-Einsparungen bei Durchführung einer Gesamtsanierung?
- Zusammensetzung des angenommenen Erzeugermix der zukünftigen Wärmeversorgung für Bestand und Neubau
- Fläche der installierten Photovoltaikanlagen

Als Start der Maßnahmenwirksamkeit wird das Jahr 2027 gewählt, da hier mit einem Baubeginn bzw. Mittelabfluss von in 2022 angestoßenen, auf Grundlage dieses Gutachtens optimierten, Maßnahmen des Sanierungsprogramms für große Baumaßnahmen in Erweiterung zu den bereits laufenden Maßnahmen zu rechnen ist und um somit genügend Vorlaufzeit von der Bedarfsplanung bis zur Umsetzung mit allen notwendigen Entscheidungsfindungen einzukalkulieren. Als Meilensteine für die Auswertung wird das Jahr 2030 und 2045 festgelegt. 5-Jahres-Schritte dazwischen werden ebenso ermittelt.

**Umfang der Maßnahmen flächenbezogen:** Die Flächendarstellung der Optimierungsmaßnahmen in Abbildung 15 und Abbildung 16 (Seite 51f.) zeigt, dass im Minimalszenario mit 0,5 %/a Sanierungsrate lediglich 8 % der Fläche einer Gesamtsanierung bis 2045 unterzogen wird. Im Maximalszenario steigt dieser Anteil mit 3 %/a Sanierungsrate auf 50 % der Fläche an, wobei für die gesamte Restfläche ein Erzeugerwechsel und/oder eine Betriebsoptimierung erfolgt. Im Minimalszenario liegt die Gesamtfläche für alle Optimierungsmaßnahmen inklusive Neubauten bei 28 %. Bis zum Meilensteinjahr 2030 werden 7 % der Flächen im Minimal- und 23 % (Landesliegenschaften o. HS) bzw. 26 % (Hochschulen u. Univ.) im Maximalszenario optimiert.

**Umstellung auf regenerative Energien:** Durch eine Umstellung der Erdgas- und Heizölbasierten Wärmeerzeugung (Maßnahme Erzeugerwechsel) kann der Anteil an regenerativen Wärmeerzeugern (Wärmepumpen, Biomassekessel und Solarthermieanlagen als Teil von Wärmenetzen) nutzenergiebezogen<sup>25</sup> von 2 % (Hochschulen u. Univ.) bzw. 5 % (Landesliegenschaften o. HS) im Status quo auf 8 % bzw. 10 % im Minimal- und 25 % bzw. 33 % im Maximalszenario bis 2045 gesteigert werden. Der Anteil an Fernwärme wird im Maximalszenario von 28 % bzw. 42 % auf 45 % bzw. 62 % erhöht. Bis zum Meilensteinjahr 2030 kann der Anteil fossiler Wärmeerzeuger geringfügig um 6 % (Landesliegenschaften o. HS) bzw. 8 % (Hochschulen u. Univ.) reduziert werden.

**Einsparung Endenergie:** Die Einsparungen bis 2045 für das Medium Wärme liegen im Minimalszenario bei rund 3 % für den Bereich Hochschulen u. Univ. Bei den Landesliegenschaften o. HS werden aufgrund der Neubauten keine Einsparungen erzielt. Für das Medium Strom darf von 6 % (Landesliegenschaften o. HS) bzw. 2 % (Hochschulen u. Univ.) ausgegangen werden. Im Maximalszenario ergeben sich weit höhere Einsparungen mit 42 % bzw. 48 % für Wärme und 32 % bzw. 14 % für Strom. Für Strom lassen sich geringere Einsparpotentiale als für Wärme erreichen, was sich u.a. auf die Gebäudenutzung, insbesondere bei den Institutsgebäuden der Hochschulen u. Univ., sowie auf teilweise höhere Strombedarfe aufgrund notwendiger Lüftungsanlagen zum Erreichen höherer Anforderungen an den Gebäudebetrieb und Nutzerkomfort zurückführen lässt. Bis zum Meilensteinjahr 2030 sind aufgrund der Neubauf Flächen sowie der geringen Sanierungsrate und -tiefe im Minimalszenario keine Endenergie-Einsparungen möglich. Im Maximalszenario liegen die Einsparungen bei 8 % bzw. 13 % für Wärme und 6 % bzw. 3 % für Strom.

**Reduktion der Gesamt-THG-Emissionen:** Wie Abbildung 21 und Abbildung 22 (Seite 56f.) zu entnehmen ist, liegen die Gesamt-THG-Reduktionen (Wärme und Strom) für den Bereich Landesliegenschaften o. HS bis 2030 bei 21 % (Minimalszenario) bzw. 27 % (Maximalszenario) und bis 2045 bei 53 % bzw. 80 %. Für die Hochschulen u. Univ. sind Reduzierungen um 30 % bzw. 35 % bis 2030 und um 74 % bzw. 87 % bis 2045 zu erwarten. Die spezifischen Emissionen betragen für das Maximalszenario 29,9 kg/(m<sup>2</sup>a) in 2030 und 7,4 kg/(m<sup>2</sup>a) in 2045 für die Landesliegenschaften o. HS sowie 54,5 kg/(m<sup>2</sup>a) und 9,7 kg/(m<sup>2</sup>a) für die Hochschulen u. Univ.

**THG-Reduktion nach Einflussbereichen:** Bei Betrachtung der THG-Reduktionen entstehen insbesondere für das Medium Strom Abweichungen zu den Ergebnissen der Endenergie-Reduktion, da hier zusätzlich zur Energieeinsparung die Veränderungen der THG-Emissionsfaktoren des Fernwärme- sowie des Stromnetzes Einfluss auf die Ergebnisse haben. In den Abbildung 23 bis Abbildung 25 (Seite 58ff.) ist die Reduktionen mittels Isoquantendiagramm dargestellt, um das Zusammenspiel von Verbesserung der Emissionsfaktoren (geringere Emissionsfaktoren im Verlauf bis 2045, da sich Fernwärme- und Stromnetze dank Zuwachs regenerativer Energien verbessern werden) sowie geringerem Erzeugernutzwärmebedarf<sup>25</sup> (durch Gesamtanierungen (u.a. Gebäudedämmung) und Betriebsoptimierungen der Anlagentechnik) für das Gesamtziel der reduzierten Emissionen aufzuzeigen. Hier wird nochmals deutlich, dass die Reduktionen im Minimalszenario fast ausschließlich auf die verbesserten Emissionsfaktoren zurückzuführen sind. Im Maximalszenario ist zusätzlich eine Reduzierung bei der Energieabnahme zu erkennen, wodurch die Reduktionen im Vergleich zum Minimalszenario gesteigert werden können. Die THG-Reduktionen teilen sich für das Maximalszenario wie folgt auf: Bei den Landesliegenschaften o. HS werden bis 2030 THG-Reduktionen um 4 % bei Wärme und 49 % bei Strom sowie bis 2045 um 71 % bei Wärme und 89 % bei Strom erreicht. Bei den Hochschulen u. Univ. liegen die Zahlen bis 2030 bei 14 % und 45 % sowie bis 2045 bei 80 % und 90 %.

**Reduktion durch zusätzliche Photovoltaik-Anlagen:** Im Berechnungsmodell werden PV-Anlagen lediglich berücksichtigt, wenn eine Gesamtanierung oder eine Erzeugerwechsel durchgeführt wurde. Somit verbleiben im Modell im Meilensteinjahr 2045 im Minimalszenario noch 1.166 Gebäude (82 % der Nettogrundfläche) und im Maximalszenario

432 Gebäude (23 % der Nettogrundfläche) ohne PV-Anlage. Wenn diese Gebäude im Jahr 2045 eine PV-Anlage erhalten, sind aufgrund des geringen Strom-Emissionsfaktors keine weiteren signifikanten Reduktionen möglich. Daher sollte eine möglichst frühzeitige Installation sämtlicher PV-Anlagen erfolgen, um dem aktuell hohen Strom-Emissionsfaktor sowie möglicherweise steigenden Strompreisen entgegenzuwirken und eine merkliche Reduzierung der THG-Emissionen sowie eine Unabhängigkeit vom Energiemarkt zu erzielen.

**Einsparungen je BWZK-Gruppe:** In den Abbildung 27 bis Abbildung 29 (Seite 64ff.) werden die Einsparungen detailliert je BWZK-Gruppe dargestellt. Für die Wärmeabnahme (Erzeugernutzwärme<sup>25</sup>) im Minimalszenario sind die Einsparungen bis 2045 nicht signifikant, im Maximalszenario können im Mittel etwa 50 % eingespart werden. Der Strombedarf weist deutlich geringere Einsparungen auf. Im Minimalszenario sind nahezu keine Reduzierungen möglich, im Maximalszenario liegen die Einsparungen stark abhängig von der Gebäudenutzung bei 0-50 %, im Mittel etwa bei 20 %. Für die THG-Emissionen sind die höchsten absoluten Einsparpotentiale mit Gebäuden der BWZK-Gruppen 1300 (Verwaltungsgebäude), 1340 (Rechenzentren), 6300-6600, 7000, 2210, 2240 und 2250 zu finden. Ursache hierfür ist jeweils eine hohe Gebäudeanzahl mit geringen bis mittleren spezifischen Einsparungen. Für die BWZK-Gruppe 9600 (Justizvollzugsanstalten) sind ebenfalls hohe absolute Reduktionen zu erwarten, da hier viele Gebäude sowie hohe spezifische Einsparungen vorliegen. Bei BWZK-Gruppe 2300 (Institutsgebäude für Forschung und Untersuchung) sind wenige Gebäude vorhanden, jedoch weisen diese sehr hohe spezifische Reduktionen auf, wodurch auch diese BWZK-Gruppe bei zukünftigen Sanierungen priorisiert werden sollte.

**THG-Reduktion je Optimierungsmaßnahme:** Bis zum Meilensteinjahr 2030 sind in beiden Szenarien etwa ein Viertel (Landesliegenschaften o. HS) bis etwa ein Drittel (Hochschulen u. Univ.) der THG-Emissionen der Bestandsgebäude reduzierbar. Wie Abbildung 30 und Abbildung 31 (Seite 67f.) zeigt, sind diese Reduktionen im Minimalszenario jedoch überwiegend auf unsanierte Gebäude mithilfe Emissionsfaktor-Reduzierungen zurückzuführen. Erfolgt diese Reduzierung aufgrund politischer Entwicklungen o.ä. nicht wie aktuell erwartet, müssen im Minimalszenario deutlich geringere Reduktionen prognostiziert werden. Bei den Landesliegenschaften o. HS sind bis zum Jahr 2045 THG-Reduktionen um 54 % mit dem Minimal- sowie um 79 % mit dem Maximalszenario erreichbar, jedoch ist auch hier im Minimalszenario ein Großteil nur durch reduzierte Emissionsfaktoren von Strom und Fernwärme zu erreichen. Im Maximalszenario werden bis 2030 18 % der THG-Emissionen durch Gesamtsanierungen reduziert, bis 2045 liegen die Reduktionen aufgrund dieser Optimierung bei 52 %. Der Erzeugerwechsel verringert die Emissionen zusätzlich um 5 % bzw. 16 %, durch Betriebsoptimierungen sind weitere 3 % bzw. 8 % einsparbar. Für die annähernde Erreichung der Klimaneutralität sind somit zusätzlich zu verbesserten Emissionsfaktoren von Fernwärme und Strom dringend Endenergieeinsparungen über Gesamtsanierungen, Erzeugerwechsel auf regenerative Energieträger sowie Betriebsoptimierungen bei Anwendung der Maximalszenario-Annahmen (u.a. Sanierungsrate von 3 % pro Jahr) notwendig.

**Sensitivitätsanalysen:** In mehreren Sensitivitätsanalysen werden die Einflüsse der gewählten Berechnungsparameter auf die Ergebnisse untersucht. Dabei zeigt sich, dass die Festlegung von hohen **Sanierungsraten** für Gesamtsanierungen und Erzeugerwechsel

als sehr entscheidend für die zukünftige Erreichung der Klimaneutralität ist. Es sollte somit eine hohe Priorität haben, dass möglichst viele Gebäude zeitnah einer Sanierung unterzogen werden. Die Analyse der **Sanierungstiefe** zeigt, dass zukünftige Investitionen verstärkt auf eine erhöhte Anzahl von Gesamtanierungen (Sanierungsrate) statt in eine erhöhte Qualität der jeweiligen Sanierungen (Sanierungstiefe) konzentriert werden sollte, da durch eine erhöhte Quantität mehr THG-Reduktionen ermöglicht werden als durch einen erhöhten Qualitätsstandard. Die Emissionsfaktoren der **Wärmenetze** haben ebenfalls einen großen Einfluss auf die Gesamteinsparpotentiale der Emissionen im Gebäudeportfolio. Daher sollten ökologische Mindestanforderungen für die Fernwärmeabnahme vertraglich festgelegt und diese mittelfristig und langfristig weiter angehoben werden. Die Untersuchung des gewählten zukünftigen Erzeugermix bei Umstellung der Gas- und Heizöl-**Wärmeerzeuger** zeigte, dass eine Erhöhung der BHKW-Anteile an neuen Wärmeerzeugern zu einem Anstieg der THG-Emissionen führt sowie dass eine Erhöhung der Wärmepumpen-Anteile eine Verbesserung und Erhöhung der THG-Reduktion mit sich bringt. Daher wird empfohlen, fossile Wärmeerzeuger durch eine zukunftsfähige Wärmeversorgung zu ersetzen (z.B. Wärmepumpen in Kombination mit PV-Anlagen). Bei allen Gesamtanierungen sollte hierbei bereits auf die Erreichung notwendiger geringerer Vorlauftemperaturen für die effiziente Nutzung von Wärmepumpen geachtet werden.

**Wirtschaftlichkeitsanalyse - Gesamtbaukosten:** Kapitel 0 zeigt die wirtschaftlichen Auswirkungen der kalkulierten Optimierungsmaßnahmen. Grundlage für die aus den vorgeschlagenen Maßnahmen der Szenarien resultierenden Kosten (im Folgenden Gesamtbaukosten) für Gesamtanierung, Neubau (jeweils Kostengruppe 200-700) und Erzeugerwechsel (Kostengruppe 420) sind die vom LBB aus der Datenbank „Nutzen-Kostenberechnung und Simulation von Ökonomie und Ökologie (NUKOSI)“<sup>27</sup> ermittelten Kosten für den GEG-Standard (Sanierungstiefe A, Minimalszenario) mit Differenzierung auf BWZK-Ebene. Für Sanierungstiefe C bzw. den verbesserten Neubaustandard (Maximalszenario) wird ein Aufschlag von 20 % auf die Kosten angesetzt. Die verwendete Preissteigerung beträgt 4,33 % pro Jahr. Als **mittlere jährliche** Gesamtbaukosten für die Bestandssanierung ergeben sich für den ersten Sanierungszeitraum 2027 bis 2030 für die Landesliegenschaften o. HS Kosten von 38 Mio. € im Minimal- bzw. 229 Mio. € im Maximalszenario. Für die Hochschulen u. Univ. betragen die Kosten 29 Mio. € bzw. 186 Mio. €. Bis 2045 findet ein weiterer Anstieg aufgrund der Preissteigerung statt. Die bis 2030 **kumulierten** Gesamtbaukosten (Bestand + Neubau) liegen bei 430 bzw. 1.250 Mio. € im Bereich Landesliegenschaften o. HS sowie bei 290 bzw. 960 Mio. € im Bereich Hochschulen u. Univ. Bis 2045 steigen die kumulierten Gesamtbaukosten auf 770 bzw. 2.520 Mio. € (Landesliegenschaften o. HS) sowie 530 bzw. 1.760 Mio. € (Hochschulen u. Univ.) an.

**Wirtschaftlichkeit – Zusätzliche Photovoltaik-Anlagen:** Zusätzliche Kosten entstehen für die Installation der Photovoltaik-Anlagen, welche nicht ins Berechnungsmodell eingehen. Die Investitionskosten hierfür betragen 38 Mio. € im Minimal- und 14 Mio. € im Maximalszenario für die Landesliegenschaften o. HS. Für die Hochschulen u. Univ. fallen die Kosten mit 26 bzw. 12 Mio. € etwas geringer aus. Ggf. können die Kosten durch Übernahme der Investorenanlagen etwas geringer ausfallen.

**Wirtschaftlichkeit – Energiekosten:** Als Grundlage für die Kalkulation der zu erwartenden Energiekosten gehen die Energiepreise des LBB-Portfolios aus dem Jahr 2021 ein.

Als Preissteigerung werden 4 % pro Jahr für fossile Energieträger vorgesehen. Regenerative Energieträger werden mit einer geringen Steigerung von 2,5 %/a berücksichtigt, für Fernwärme eine gemittelte Steigerung von 3,25 %/a. Als mittlere jährliche Gesamt-Energiekosten (Wärme und Strom) für das Gesamtportfolio bis zum Meilenstein 2030 werden 63 Mio. € im Minimal- und 60 Mio. € im Maximalszenario ermittelt. Die kumulierten Einsparungen im Maximalszenario gegenüber dem Minimalszenario liegen bis 2030 bei 5,8 Mio. € (jeweils für Landesliegenschaften o. HS und Hochschulen u. Univ.) sowie bis 2045 bei 105 Mio. € (Landesliegenschaften o. HS) bzw. 124 Mio. € (Hochschulen u. Univ.). Bei Verwendung eines CO<sub>2</sub>-Schattenpreises von 180 €/t<sub>CO<sub>2</sub>e</sub> in 2018 bis 242 €/t<sub>CO<sub>2</sub>e</sub> in 2045 können zusätzlich kumulierte Folgekosten von 40 bzw. 50 Mio. € bis 2045 eingespart werden, wenn eine Umsetzung des Maximal- gegenüber des Minimalszenarios erfolgt.

**Wirtschaftlichkeit – THG-Vermeidungskosten:** Durch die Umsetzung der Gesamtanierung entstehen bei Betrachtung der reinen energetischen Mehrkosten Kosten von 92 € pro Tonne vermiedene THG-Emissionen im Minimalszenario sowie 182 €/t<sub>CO<sub>2</sub>e</sub> im Maximalszenario. Diese können bei Vergleich mit den geschätzten Klimakosten des Umweltbundesamtes (250 €/t<sub>CO<sub>2</sub>e</sub> im Jahr 2050) durch eingesparte Schadenskosten ausgeglichen werden.

**Erreichung der Klimaneutralität bis 2045:** Für die Zielerreichung eines klimaneutralen LBB Gebäudeportfolios wäre eine Erhöhung der Sanierungsrate auf mindestens 4,5 % notwendig. Die Sanierung der Gebäude mit Zuordnung zur Kategorie „grüne Ampel“ (bereits sanierte Gebäude und Neubauten) wäre im letzten Sanierungszeitraum 2041-2045 mit aufzunehmen, um den gesamten Energiebedarf im Portfolio zu reduzieren. Weiterhin sollte untersucht werden, welche gasversorgten Wärmeversorger, die keine Haupterzeuger sind, durch regenerative Lösungen ersetzt werden können. Dennoch kann selbst dann ein CO<sub>2</sub>e-neutraler Gebäudebestand nur erreicht werden, wenn die Fernwärme und der Strom emissionsfrei bezogen werden können.

## F Handlungsempfehlungen

Die Transformation des Gebäudebestandes in einen klimaneutralen Bestand wird auf verschiedenen Ebenen (EU-Ebene, Deutschland, Rheinland-Pfalz bzw. Bundesländer) eingefordert. Für öffentliche Gebäude werden aufgrund ihrer Vorbildfunktion teils zusätzliche Qualitäten und ein schnelleres Erreichen der Klimaziele vorausgesetzt. Für die Sanierung (bauliche Handlungsfelder) des Gebäudeportfolios des LBB stellt sich somit nicht die Frage, ob ganzheitlich saniert wird, sondern wie schnell und auf welche Art und Weise. Voraussetzung für die Umsetzung ist eine langfristige Sanierungsstrategie, die Haushalt, personellen Ressourcen (organisatorische Handlungsfelder) und technische Vorgaben (technische Handlungsfelder) mit einbezieht sowie diese an die fortschreitenden Entwicklungen und Rahmenbedingungen anpasst. In der Klimaschutzstrategie der Landesregierung muss ein Abgleich mit den darstellbaren finanziellen und personellen Möglichkeiten sowie den Marktressourcen der Planungs- und Bauwirtschaft erfolgen. Dieser Abgleich ist nicht Bestandteil des vorliegenden Gutachtens.

Die energetische Sanierung der Gebäude und die ökologische Qualität kann außerdem auch als Mehrwert einer ohnehin notwendigen Sanierung verstanden werden, die primär die adäquate Weiternutzung der Gebäude erlaubt bzw. ihre Nutzungsqualitäten steigert, und gleichzeitig ökonomische Qualitäten wie Werterhalt und -steigerung sowie soziale Qualitäten mit guten Komfortbedingungen und Nutzerzufriedenheit herstellt.

### F.1 Organisatorische Handlungsempfehlungen

Aufgrund der sehr dynamischen Entwicklung der politischen Zielsetzungen sowie der gesetzlichen Rahmenbedingungen ist eine Vereinfachung und Beschleunigung von Verfahren und organisatorischen Abläufen erforderlich. Organisatorische Handlungsempfehlungen zielen auf die Integration des Klimaschutzziels in Verfahren und Handlungsabläufen ab.

#### **Optimierung von Verfahren**

Die Verfahren im Landesbetrieb LBB gestalten sich durch gesetzliche Anforderungen und interne Verwaltungsvorschriften bei Planung, Bau und Betrieb von Gebäuden und Liegenschaften komplex.

Grundvoraussetzung für eine realistische Abarbeitung der aus dem Gutachten resultierenden Aufgaben sind vorab organisatorische Maßnahmen und ablauforganisatorische Verfahrensvereinfachungen, die eine planerisch, baulich und kostenstabile Umsetzung erst ermöglichen. Neben einer Sensibilisierung und der Verpflichtung zur Umsetzung der Projektziele durch alle Beteiligten – das sind neben dem Landesbetrieb LBB das für Landesbau und Landesliegenschaften zuständigen Ministerium der Finanzen sowie die Ressorts und Nutzer - sind die Schnittstellen- und Zuständigkeitsdefinitionen essenziell.

In der Konzeption von Sonder- bzw. Sofortbauprogrammen sollten daher die bestehenden Wertgrenzen bei Vergabeverfahren für Planungs- und Bauleistungen geprüft und nachjustiert werden. Zudem sollten alternative Genehmigung- und Veranschlagungsverfahren geprüft werden, um straffere Verfahren zu schaffen.

Generell sollte bei allen Neubau- oder Sanierungsinvestitionsentscheidungen der Variante den Vorzug geben werden, welche die höchstmöglichen THG-Einsparungen mit gegebenen finanziellen Ressourcen ermöglicht.

Für die Aufgabenerledigung bedarf es auch einer angemessenen und realisierbaren Personalausstattung des Landesbetriebs LBB. Außerdem sollten die bestehenden fachlichen Kompetenzen im Landesbetrieb und der Wissenstransfer stärker genutzt werden.

Neben der Ressourcenausstattung bedarf es ebenso einer klaren Zuordnung von Aufgaben, Verantwortung und Kompetenzen sowie einem lückenlosen Informationsfluss über alle Hierarchieebenen hinweg und eine überschaubare und einfache Projektorganisation.

**Handlungsbedarf: Einführung von ablauforganisatorischen Verfahrensvereinfachungen und internen organisatorischen Maßnahmen, die insbesondere die Umsetzung des Sanierungsprogramms für große Baumaßnahmen zügiger und einfacher ermöglichen.**

### **Suffizienz-Potentiale und Flächeneinsparung**

Wie bereits in Kapitel C.1.5 ausgeführt, stellt das Begrenzen und Bedienen der realen Bedarfe einen organisatorischen Hebel zur kurzfristigen Reduktion von THG-Emissionen dar. Eine Detailanalyse und Steuerung der realen Flächenbedarfe führt zu einer Verbesserung der Nutzung durch eine Steigerung der Nutzerzufriedenheit sowie des Komforts und reduziert gleichzeitig den Energieverbrauch. Eine Verankerung klarer Vorgaben sowie einer kontinuierlichen Analyse und Optimierung dazu wird gemäß der RLBau bereits umgesetzt und sollte mit Vorgaben zur Flächenreduzierung weiter verstärkt werden.

Durch eine effiziente Flächenplanung im Zuge von Gesamtanierungen können hohe THG-Reduktionspotentiale mit geringen Mitteln, die sich überwiegend nicht den energetischen Investitionskosten einer Sanierung zuordnen lassen, gehoben werden. Außerdem ist eine Reduzierung der Energiekosten aufgrund des verringerten Energiebedarfs möglich. Zum Heben der Suffizienz-Potentiale sollte eine Aufnahme zur Berücksichtigung der Flächeneffizienz in die Bedarfsplanung sowie zur Steuerung der Raumbedarfe erfolgen. Dafür ist ein Verfahren zu konzipieren, das neben der wirtschaftlichen und nachhaltig bedarfsdeckenden Funktion insbesondere die Effekte auf die bestehende und zukünftige THG-Belastung mitberücksichtigt. Die Umsetzungsmöglichkeiten reichen von Budgets für Raumbedarfe bis zu THG-Budgets (pro Kopf oder flächenspezifisch nach Nutzung) mit definierten Bilanzgrenzen.

**Handlungsbedarf: Konzept mit Anforderungen zur Flächenreduzierung und Aufnahme in die LBB-Richtlinie, Entwicklung eines Verfahrens zur Aufnahme in die Bedarfsplanung**

### **Betreiben der Gebäude**

Der LBB kann den Gebäudebetrieb insoweit beeinflussen, dass die technischen Grundvoraussetzungen über bauliche Maßnahmen für einen optimalen Betrieb geschaffen werden. Die Verantwortung für den optimalen Betrieb an sich liegt beim Nutzer. Die Betriebsoptimierung kann durch Fortbildungen und Informationsweitergabe/Wissensmanagement erfolgen. In Hinblick auf die Wärmewende und dem Einsatz „neuer“ und komplexer werdender Technologien wird dies zu einer wichtigen und umfassenden Aufgabe.

Sowohl im Bereich Landesliegenschaften o. HS wie Hochschulen u. Univ. wird gemäß RL Bau geregelt, dass der Nutzer geeignetes und qualifiziertes Personal für den Gebäudebetrieb vorzuhalten hat. Die Verpflichtungen des Nutzers können dabei nur bedingt durch den LBB überprüft oder beanstandet werden.

Teilweise wird die Betriebsführung an Dritte, z. B. professionelle Betreiber, abgegeben. In der Verantwortung des Nutzers liegt neben der Betriebsführung auch die Analyse der Energieverbrauchsdaten und die Betreuung des Energiecontrollings-Systems im Gebäude. Als Grundlage für Sanierungstätigkeiten sowie für die zukünftige kontinuierliche Zielverfolgung der THG-Reduktion gewinnt die kontinuierliche Verbrauchs- und Emissionsberichterstattung an Bedeutung und wird zu einem wichtigen Baustein innerhalb einer zukünftigen Sanierungsstrategie des LBB.

Eine Optimierung des Betriebes ist neben den bereits genannten Möglichkeiten nur durch die Ausweitung des Einflussbereichs des LBB möglich. Neben der wirtschaftlichen Betriebsüberwachung muss somit in einer zukünftigen Strategie auch eine ökologische Betriebsüberwachung aufgenommen werden.

**Handlungsbedarf: Konzept für zukünftiges Betreiben der Gebäude mit Aufnahme einer ökologischen Betriebsüberwachung**

### **Energieeffizienz der Nutzerausstattung**

Der hohe Stromverbrauch im Gebäudeportfolio insbesondere im Bereich Hochschulen u. Univ. (s. Abbildung 4, Seite 34) ist zu großen Teilen auf die Nutzung selbst zurückzuführen, die bspw. erhöhte Konditionierungsanforderungen (mechanische Lüftung und Klimatisierung) erfordert. Eine Reduktion der Stromabnahme ist folglich vorrangig durch den Einsatz hocheffizienter Geräte und Komponenten (z.B. LED, Hocheffizienz-Pumpen und -Ventilatoren), sowie der intelligenten Auslegung, Steuerung und Regelung zu erreichen. Dies wird auch in der EU-Energieeffizienzrichtlinie<sup>46</sup> oder dem Leitfaden Nachhaltiges Bauen<sup>47</sup> gefordert und kann zusätzlich durch Qualitätsvorgaben des LBB verbindlich festgelegt werden.

Um auf der Nutzerseite einen energieeffizienten Betrieb zu ermöglichen, wird die Verteilung eines Nutzerhandbuchs empfohlen. Damit kann Einfluss auf die nicht vom LBB gesteuerten Themen der THG-Emissionsreduktion zum Gebäudebetrieb genommen werden wie effizientes Lüftungsverhalten, Öffnen und Schließen der Verschattungselemente, Bedienen der Beleuchtung, bedarfsgeführte mechanische Lüftungen (Erstellen von Lüftungsstundenplänen). Aber auch Hinweise zum Betrieb der nutzungsseitigen Geräte wie Abschalten nicht benötigter Geräte, die Nutzung des Stand-by-Betriebs (Computer, Drucker, Kaffeemaschine, etc.) sowie die Investition in energieeffiziente Technologien (Energieeffizienzlabel Kategorie A) sollten aufgenommen werden.

**Handlungsbedarf: Erstellen eines Nutzerhandbuchs für den klimaschonenden Gebäudebetrieb**

### **Kontinuierliche Weiterführung der LBB-Richtlinie**

Die LBB-Richtlinie 2021 stellt in vielen Bereichen bereits die Weichen hin zum klimaneutralen Gebäudebestand und hat sich von einem erfolgreichen praxisorientierten Instrument zum Erreichen von Energieeffizienz zu einer umfassenden Richtlinie für klimaneutrale

---

<sup>46</sup> Richtlinie 2012/27/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Oktober 2012 zur Energieeffizienz

<sup>47</sup> Leitfaden Nachhaltiges Bauen, BMUB, Februar 2019

Landesgebäude entwickelt. Die Vorgaben sind zukünftig weiterhin in die Baupraxis zu übertragen und dabei die Konzepte im Planungsprozess bis zur Realisierung umzusetzen. Die gewonnenen Erkenntnisse aus den umgesetzten Projekten müssen so aufbereitet werden, dass ein Wissenspool zur Übertragbarkeit und Vervielfältigbarkeit geschaffen wird. Dadurch können ökologische und organisatorische Potentiale gehoben und in eine wirtschaftlich effiziente Umsetzung gebracht werden. Die Einbindung der Akteure in die Dokumentation kann für die zukünftige Akzeptanz und damit eine breite Anwendung der, in Pilotprojekten gewonnenen, Erkenntnisse sorgen.

**Handlungsbedarf: Kontinuierliche Weiterführung der LBB-Richtlinie mit Aufnahme neuer Erkenntnisse aus der Bau- und Planungs-Praxis**

#### **Wissensmanagement im Bereich LBB – Nutzer (Betreiber) verbessern**

Vor-Ort-Kenntnisse der Gebäude und der spezifischen Nutzung sowie der Wissenstransfer sind unerlässlich, um schnell geeignete klimarelevante Sanierungsmaßnahmen zu erkennen und umzusetzen. Abstimmung und Datenpflege können zeitaufwendig sein, aber müssen koordiniert möglich sein und gefördert werden.

**Handlungsbedarf: Verbesserung des Wissensmanagements**

#### **Konzept Klimaneutralität im Denkmalschutz in Abstimmung mit der Generaldirektion Kulturelles Erbe (GDKE)**

Der Erhalt denkmalgeschützter Bausubstanz sowie der Schutz des Klimas durch energetische Gebäudesanierung stellen zwei wichtige gesellschaftliche Schutzziele dar. Wobei der Klimaschutz den Rang eines verfassungsrechtlichen Schutzgutes<sup>48</sup> erreicht hat. Die Einbeziehung der denkmalgeschützten Bausubstanz in die Sanierungsmaßnahmen ist im Sinne der Klimaneutralität notwendig, bedarf aber besonderer Sensibilität. Auch an denkmalgeschützten Gebäuden sind generelle Sanierungen zum Schutz vor Feuchtigkeit und Nässe zum Erhalt der Bausubstanz notwendig, eine sinnvolle Integration energetischer Maßnahmen kann hier teilweise möglich sein.

**Handlungsbedarf: Im Bereich der denkmalgeschützten Bausubstanz müssen zügig organisatorische Voraussetzungen geschaffen und Handlungsleitlinien erarbeitet werden.**

## **F.2 Bauliche Handlungsempfehlungen**

### **Sanierungsrate und Sanierungsgeschwindigkeit**

Die Sanierungsrate lässt sich als einen der wichtigsten Bausteine im Gesamtgefüge zur Zielerreichung benennen. Nur durch eine hohe jährliche Sanierungsrate und einen möglichst zeitnahen Umsetzungsstart kann sich der Bestand bis 2045 an die Treibhausgasneutralität annähern. Mit der angenommenen jährlichen Sanierungsrate aus dem Maximalszenario von 3 %/a, welcher etwa einer Fläche von 82.000 m<sup>2</sup> NGF des Portfolios entspricht, können bis zum Jahr 2045 rund 57 % der Flächen saniert werden. Dieses zu verfolgende Sanierungsziel ist nur mit entsprechend bereitgestellten Mitteln und personellen Ressourcen umsetzbar. Die Vorlaufzeit der nächsten vier Jahre sollte zur Entwicklung

---

<sup>48</sup> GG 20a; BVG 2656/18

einer Umsetzungsstrategie genutzt werden. Zudem muss die Planung der ersten Gebäude im Umfang von 3 % der Flächen und der Start der Baumaßnahmen bis zum Jahr 2027 erfolgen.

**Handlungsbedarf: Festlegung einer möglichst hohen Sanierungsrate, Erarbeiten einer Sanierungs- und Umsetzungsstrategie.**

### **Sanierungstiefe und Energiestandards**

Ein hoher Sanierungsstandard der Gebäudehülle zahlt vor allem kurz- und mittelfristig auf das Konto der THG-Reduktion ein. Bei einer zukünftig emissionsärmeren oder gar emissionsfreien Wärmeversorgung verliert der Einfluss der Gebäudehülle an Gewicht. Da in Bezug auf die Entwicklung von Energiepreisen hohe Unsicherheiten bestehen, sind tiefe Sanierungsmaßnahmen aber auch als Absicherung gegenüber Energiepreisteigerungen und damit gegenüber einem insgesamt teureren Gesamtsystem zur Erreichung des klimaneutralen Gebäudebestandes sinnvoll.

Für die baulichen Energiestandards ist die LBB-Richtlinie Klimaneutrale Landesgebäude von 2021 anzuwenden und diese in die Planung und Umsetzung zu übertragen. Die Anforderungen können mit denen in der Sanierungstiefe C definierten Standards gleichgesetzt werden. Folgende Punkte stellen einen Auszug der wichtigsten Anforderungen aus der Richtlinie dar:

- Lebenszykluskosten- und Wirtschaftlichkeitsberechnungen gemäß RL Bau, ergänzende Wirtschaftlichkeitsberechnungen der TGA Varianten
- Für Neubauten gilt der Gebäudehüllstandard der Passivhausbauweise.
- Für Sanierungen im Bestand gilt die Anforderung an die Gebäudehülle des Effizienzhaus 55 Standards.
- Als Wärmebrückenzuschlag gilt die Mindestanforderung gem. DIN 4108 Beiblatt 2: 2019-06 mit 0,05 W/m<sup>2</sup>K.
- Einhaltung der thermischen Behaglichkeit im Sommer (Kategorie II DIN EN 15251: 2012-12), sowie des sommerlichen Wärmeschutzes gem. DIN 4108-2: 2013-02
- Erstellung eines Luftdichtheitskonzepts und Nachweis der Ausführungsqualität für Neubau und Sanierung gem. DIN EN ISO 9972: 2018-12

Für den Umstieg auf erneuerbare Energien in der Wärmeversorgung kann als Mindestvoraussetzung ein niedertemperaturfähiger Gebäudestandard (NT-ready<sup>21</sup>) benannt werden.

**Handlungsbedarf: Umsetzung der LBB-Richtlinie Klimaneutrale Landesgebäude in Bezug auf Energiestandards**

### **Sanierungsvorgehen, Mustersanierungsfahrpläne**

Für das breitgefächerte Portfolio des LBB bietet es sich an, Mustersanierungsfahrpläne für Gebäude aus Clustern mit gleicher Bautypologie und Bauweise erstellen zu lassen. Diese können im Idealfall direkt auf baugleiche Gebäude übertragen werden oder mit geringem Aufwand an bauähnliche Gebäude adaptiert werden. Durch die Multiplikation der Energiekonzepte der Mustergebäude kann wirtschaftlich ein schnelleres Tempo der Planung und Umsetzung erreicht werden, indem diese in die Breite ausgerollt werden. Als ein anerkanntes Werkzeug zur Planung von Sanierungsmaßnahmen kann der Individuelle Sanierungsfahrplan (iSFP) für Nichtwohngebäude herangezogen werden.

**Handlungsbedarf: Aufbau eines Projekts zur Erstellung von Mustersanierungsfahrplänen für Typengebäude**

### **Sanierungsprioritäten und Hochverbraucher**

Die Auswahl der zu sanierenden Objekte sollte sich in einer zukünftigen Sanierungsstrategie nicht mehr ausschließlich an den Bauunterhalt richten, sondern sollte auch an die ökologischen Potentiale geknüpft werden. Je früher Gebäude mit besonders hohen Energieverbräuchen und fossilen Erzeugern saniert werden, desto größer sind die Reduktionspotentiale, die sich ansonsten über Jahre als kumulierte THG-Emissionen sowie erhöhte Betriebskosten im Portfolio niederschlagen. Die zukünftige Auswahl der Gebäude in der Zwei-Jahres-Haushaltsplanung muss also eine Strategie verfolgen, die sowohl Instandhaltungsbedarfe, nutzungsbezogene Bedarfsmeldungen und ökologische Kriterien einbezieht.

**Handlungsbedarf: Aufbau einer Strategie zur Aufnahme der ökologischen Qualität und THG-Reduktionspotentiale in die Sanierungsplanung (Priorisierung von Hochverbrauchern und -emittenten)**

### **Materialeinsatz und Graue Emissionen**

Die LBB Richtlinie sieht bereits eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung über den Lebenszyklus vor, die das Treibhausgaspotential der Bauteile (graue Energie) mit einbezieht. Graue Emissionen und Emissionen aus dem laufenden Gebäudeenergiebedarf werden mit einem CO<sub>2</sub>-Schattenpreis von 180 €/tCO<sub>2e</sub> pönalisiert, wodurch die ökologischen Auswirkungen in die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung mit einfließen.

Neben der Bewertung der Emissionen in der Ökobilanz und Wirtschaftlichkeit über den Lebenszyklus gilt es emissionsreiche Baumteile und Materialien in der Planung zu vermeiden sowie auf deren zukünftige Recyclingfähigkeit und Rückbaufähigkeit zu achten.

**Handlungsbedarf: Vermeidung von grauen Emissionen in Sanierung und Neubau, Anwendung der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung in Energiekonzepten inkl. der Bewertung der Grauen Emissionen der LBB-Richtlinie.**

### **Pilotprojekte für neue und innovative Lösungen**

Ziel möglicher Pilotprojekte ist die Erprobung von klimafreundlichen, innovativen Lösungsansätzen für wiederkehrende Bauaufgaben. Aus erfolgreichen Pilotprojekten können Musterplanungen abgeleitet werden, um sie dann kosteneffizient in die Breite umzusetzen und sie auf ähnliche Gebäude im Portfolio zu übertragen.

Pilotvorhaben können dabei für spezifische Gebäudetypologien, Bauteile und Bauweisen entwickelt werden:

- zum Einsatz von Recyclingbaustoffen bspw. Cem III Beton
- für die Einführung neuer Baumaterialien
- für Gebäude- und Bauteile mit Denkmalschutz
- für besondere Bauweisen (z.B. Element- oder Modulbauweise mit hohem Vorfertigungsgrad, Holzbau)
- für neue Planungsmethoden (z.B. BIM)

**Handlungsbedarf: Entwicklung von Pilotprojekten und Musterplanungen für Gebäude- und Bauteiltypen entwickeln. Bereitstellung erforderlicher Haushaltsmittel und personeller Ressourcen.**

### F.3 Technische Handlungsempfehlungen

Die in diesem Gutachten als technische Potentiale bezeichneten Bereiche beziehen sich vorrangig auf die Wahl der Wärmeerzeugung. Durch die Umstellung von fossilen auf erneuerbare Wärmeerzeuger kann ein enormes THG-Reduktionspotential ausgeschöpft werden. Dieses entsteht vorrangig durch die prognostizierte Entwicklung der THG-Emissionen für Netzstrom und Fernwärme bis 2045. Wie im Maximalszenario dargestellt (siehe Kapitel E Entwicklungsszenarien für das Gebäudeportfolio) übertrifft das technische Reduktionspotential jenes aus der Sanierung der Gebäudehülle um mehr als das Dreifache (Reduktion der THG-Intensität mit 80 % gegenüber der Reduzierung der Wärme- und Stromabnahme von 25%, s. Abbildung 25, Seite 60).

Um diese Potentiale ausschöpfen zu können, muss bei jeder Sanierung möglichst auf erneuerbare Wärmeerzeuger umgestellt werden bzw. im Fall der fernwärmeversorgten Gebäude die Mindestanforderungen gem. der LBB-Richtlinie umgesetzt werden.

#### Wärmeerzeugung vor Ort

Wie u.a. in Kapitel E.3.5 anhand einer Sensitivitätsanalyse der Vor-Ort-Wärmeerzeugung gezeigt wird, ist ein Ausstieg aus der fossilen und ein Umstieg auf eine erneuerbare Vor-Ort-Wärmeerzeugung unverzichtbar, um einen klimaneutralen Gebäudebestand zu erreichen. Selbst ohne bauliche Verbesserungen, würde durch eine Umstellung von fossilen auf erneuerbare Wärmeerzeugern (Wärmepumpen, Biomasse, Fernwärme) aufgrund der zu erwartenden Reduzierungen der THG-Emissionsfaktoren für das Strom- und Fernwärmenetz bis 2045 eine deutliche Reduzierung der THG-Emissionen prognostiziert werden können.

Die anteilige Deckung der Wärme- und Kälteenergie durch erneuerbare Energien gilt als Anforderung des GEG 2020. Ebenso gibt die LBB-Richtlinie Vorgaben zum Einsatz von Erzeugern für Wärme- und Warmwasserbereitung.

Vorrangig sind elektrische Wärmepumpen mit monoenergetischem und monovalentem Betrieb zur Beheizung der Gebäude zu wählen. Aber auch bivalente Systeme mit Gasspitzenlastkesseln oder Wärmepumpenkaskaden können für Sanierungen mit Systemtemperaturen oberhalb von 55°C Vorlauf und großen Heizlasten eingesetzt werden.

Im Maßnahmenpaket Erzeugerwechsel sollte berücksichtigt werden, dass die Umstellung auf erneuerbare Energien das Absenken des Temperaturniveaus durch Gebäudedämmungen o.ä. Maßnahmen voraussetzt. Für den Nutzer kann eine Umstellung auf eine strombasierte Wärmeerzeugung ggf. kurz- bis mittelfristig mit höheren Betriebskosten verbunden sein. Im Zeithorizont bis 2045 ist jedoch zu erwarten, dass die Energiekosten für fossile Energieträger gleich oder höher liegen als für strombasierte Systeme<sup>49</sup>.

Auch können Biomasse versorgte Wärmeerzeuger wie Pelletkessel dort Verwendung finden, wo andere erneuerbare Energiequellen nicht einsetzbar sind. Dies kann beispielsweise aus den Rahmenbedingungen bei denkmalgeschützten Gebäuden und ensembleschützen Liegenschaften der Fall sein. Um die Gesamtenergiegewende inklusive

---

<sup>49</sup> Erneuerbare vs. Fossile Stromsysteme: ein Kostenvergleich, Agora Energiewende, 2017: Werden die Kosten einer Tonne Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) mit 50 Euro oder mehr bewertet, sind Erneuerbare-Energien-Stromsysteme im Jahr 2050 meist günstiger oder ähnlich teuer wie ein klassisches Braunkohle-/Steinkohle-/Erdgas-Stromsystem – weitgehend unabhängig von den angenommenen Brennstoffpreisen.

der Wälder als CO<sub>2</sub>-Senken in Europa zu unterstützen, sollte Holz nur aus nachhaltiger Forstwirtschaft bezogen werden.

**Handlungsbedarf: Umstieg von fossiler (Erdgas, Heizöl) auf erneuerbare (Wärmepumpen, Fernwärme, Biomasse) Wärmeversorgung.**

### **Dekarbonisierung der Fernwärme**

In Kapitel D.2.2 wird ersichtlich, dass die Fernwärme einen signifikant hohen Anteil der Wärmeabnahme<sup>25</sup> im Gebäudeportfolio bildet: mit aktuell 28 % bei den Landesliegenschaften o. HS bzw. 42 % bei den Hochschulen u. Univ. bis 45 % bzw. 63 % im Jahr 2045 (im Maximalszenario) sind die THG-Emissionsfaktoren der Fernwärme somit entscheidend in der THG-Emissionsbilanz des Gebäudeportfolios.

Die LBB-Richtlinie sieht sowohl für Neubauten als auch Bestandsgebäude für die Wärmeerzeugung Anschlüsse an die Fernwärme vor und gibt bereits Vorgaben zur Sicherstellung der energetischen Mindestqualität der Fernwärme in Bezug auf den ausgewiesenen Primärenergiefaktor. Dieser darf den Wert von 0,45 nicht überschreiten bzw. muss vertraglich festgesetzt innerhalb von 5 Jahren von aktuell maximal 0,6 auf 0,45 reduziert werden. Für überwiegend städtische Liegenschaften ist ein Umstieg auf Fernwärme zielführend, wobei ökologische Mindestanforderungen als Wärmeabnahmebedingung gesetzt werden sollten.

Aufgrund der möglichen zukünftigen Umstellung der Stromgutschriftmethode für die Emissionsbilanz von Kraft-Wärme-Kopplung kann dies eine Erhöhung des Primärenergiefaktors bzw. des THG-Emissionsfaktors bedeuten, weshalb eine vertragliche Bindung an die ökologische Qualität der Fernwärmelieferung sehr wichtig ist. Mit fortschreitender Dekarbonisierung der Fernwärme sollten auch die ökologischen Anforderungen angehoben und vertraglich festgelegt werden. Die Versorger müssen ihre Wärmeerzeugung größtmöglich auf erneuerbare Energien umstellen und Technologien wie Biomasseanlagen, Biogas-KWK-Anlagen, Geothermie, Müllheizkraftwerke sowie Abwärmennutzung von Rechenzentren und Abwassernutzung einbinden. Gleichzeitig müssen die Abnehmer dafür sorgen, dass ihre Gebäude saniert werden, damit diese mit niedrigeren Systemtemperaturen beheizt werden können und die Netztemperaturen der Versorger abgesenkt werden können.

**Handlungsbedarf: Definition der Anforderungen für zukünftig verschärfte ökologische Lieferbedingungen für Fernwärme. Austausch mit den Fernwärmeversorgern für zukünftige vertragliche Bedingungen mit dem Ziel der Beschleunigung der Dekarbonisierung.**

### **Low-Tech Konzepte**

Für die Gebäudetechnik kann Low-Tech als Konzept mit einer Beschränkung auf die unbedingt notwendigen Komponenten verstanden werden. Eine einfache Wartung und Instandhaltung der technischen Gebäudeausstattung steht dabei im Vordergrund.

Einzelkomponenten sollen austauschbar, robust und reparabel sein. Dies ist besonders wichtig, da die technische Lebensdauer der technischen Anlagen im Normalfall kürzer ist als jene der Baukonstruktion des Gebäudes und diese mehrfach ausgetauscht werden müssen. Grundsätzlich gilt, dass der Verzicht auf TGA-Komponenten nicht zu einem höheren Energieverbrauch oder höheren Emissionen führen soll.

Beispielsweise sollte bei der Gesamtanierung und Neubau, wenn möglich auf aufwendige Technik wie Lüftungsanlagen verzichtet werden und alternative Konzepte mit natürlicher Fensterlüftung und Nachtlüftung eingesetzt werden. Dies ermöglicht eine Verringerung der Investitionskosten und der Betriebskosten aufgrund eines niedrigeren

Wartungsaufwand und eines verringerten Hilfsstrombedarfs. Die LBB-Richtlinie sieht als Teil des Energiekonzeptes ein Lüftungskonzept vor, welches eine Abwägung zwischen maschineller und natürlicher Lüftung beinhaltet und in der Planung Anwendung finden muss.

**Handlungsbedarf: Aufbau eines LBB Low-Tech Standards, Fortschreibung der LBB-Richtlinie mit Aufnahme des Konzeptes.**

### **Potentialanalyse (Nah-)Wärmenetze**

Insbesondere bei Liegenschaften mit hohem Energieverbrauch sollten Gebäude bei der Sanierung nicht als Einzelgebäude betrachtet werden, sondern anhand der Liegenschaftsstruktur in Bezug auf die Wärmeversorgung untersucht werden. Eine gemeinsame Wärmeversorgung für mehrere Gebäude über ein Nahwärmenetz bietet die Möglichkeit regenerative Energiekonzepte wirtschaftlich umzusetzen, wie beispielsweise Anlagen mit Wärmepumpen-Kaskaden, Holzhackschnitzel- oder Pellet-Anlagen.

Eine Analyse zu möglichen Nahwärme-Potentialen kann sowohl die Nutzung von Abwärme (z.B. Abwärme aus Rechenzentren oder Abwasserwärmenutzung) als auch die Nutzung erneuerbarer Energien-Quellen (z.B. Geothermie, Biomasse, PV-Anlagen) erlauben. Daraus können vorteilhafte Energiekonzepte generiert werden, die sich aufgrund veringertener Anlagenanzahl und Lastverschiebungsmöglichkeiten wirtschaftlicher und ökologischer darstellen als die jeweiligen Einzelkonzepte für die Gebäude der Liegenschaft. Bauliche Rahmenbedingungen, die den Einsatz erneuerbarer Wärmeversorger voraussetzen, wie bspw. Freiflächen für Erdreichwärmenutzung zum Betrieb von Sole-Wasser Wärmepumpen oder Lagerräume für Pellets oder Hackschnitzel, können ggf. über Liegenschaftskonzepte erfüllt werden.

**Handlungsbedarf: Festschreibung einer durchzuführenden Potentialanalyse für Nahwärmenetze bei der Energiekonzepterstellung für zu sanierende Liegenschaften. Fortschreibung der LBB-Richtlinie zur Aufnahme des Konzeptes.**

### **Erstellung von Liegenschaftskonzepten**

Konzepte für Liegenschaften können auf unterschiedlichen Ebenen Optimierungspotentiale bieten. Neben der größeren Umsetzungswahrscheinlichkeit von erneuerbaren Wärmeversorgungskonzepten können Anlagenkonzepte auf Liegenschaftsebene in ihrer Dimensionierung wie auch in ihrer Effizienz vorteilhafter ausgelegt werden. So kann auf Angebot und Nachfrage von unterschiedlichen und zeitlich verschiedenen Wärme- und Strombedarfen über ein intelligentes Lastmanagement reagiert werden. Dadurch lassen sich in der Wärme- und Stromabnahme Spitzenlasten reduzieren bzw. verschieben, was eine Erhöhung des Deckungsanteils von regenerativen Energien und reduzierte Betriebskosten ermöglicht. Auf der Wärmeseite können hierbei z.B. große Wärmespeicher oder auch saisonale Speicher zum Einsatz kommen. Auf der Stromseite helfen Energiemanagementsysteme für zeitlich angepasste Anfahrvorgänge/Laufzeiten von Strom-Großverbrauchern (Kälte- und Lüftungsanlagen, nutzungsbedingte Großverbraucher).

Weitere Optimierungspotentiale auf Liegenschaftsebene werden durch Sektorenkopplung ermöglicht. Wird eine umfangreiche regenerative Eigenstromerzeugung sichergestellt, lassen sich hiermit weitere Sektoren wie Wärme (bspw. Elektroheizstab), Verkehr sowie ggf. industrielle Anlagen klimaneutral betreiben. Die Nutzung von Wärmepumpen in Kombination mit regenerativem Strom erlauben eine effiziente und klimaneutrale Wärmeerzeugung

in NT-ready<sup>21</sup>-Gebäuden. Die Erstellung von Liegenschaftskonzepten bietet sich besonders für den Hochschulbereich an und kann als Modellvorhaben mit Einbindung der nutzenden Einrichtungen entwickelt werden.

**Handlungsbedarf: Analyse des Portfolios zur Vorauswahl von geeigneten Liegenschaften zur Entwicklung von Liegenschaftskonzepten.**

### **Ausbau des technischen Monitorings**

Zur Umsetzung von Verbrauchsreduzierungen ist ein Monitoring sämtlicher Energieströme in den Gebäuden essenziell, da nur so die tatsächlichen Hauptverbraucher (insbesondere Strom-Großverbraucher, Wärmeverluste aufgrund Undichtigkeiten in Verteilleitungen, etc.) identifiziert und optimiert werden können. Weiterhin sollte das Monitoring auch eine Erfassung der THG-Emissionen umfassen, um die tatsächlichen klimabeeinflussenden Potentiale und erfolgten Reduktionen darzustellen. Das Monitoring sollte weiterhin sowohl auf Liegenschaftsebene als auch gebäudescharf erfolgen. Wünschenswert wäre ferner eine Differenzierung der gemessenen Energieströme nach Art ihrer Verwendung (Gebäudekonditionierung, Nutzerstrom, Großverbraucher etc.). Dazu ist ein Ausbau der vorhandenen Zählerstruktur notwendig. Hierzu ist außerdem eine Aufteilung der Aufgaben auf den LBB (Zählerkonzept und Implementierung) sowie den Betreiber (Auswertung und Optimierung) und eine gegenseitige Kontrolle und kontinuierliche Zusammenarbeit notwendig.

**Handlungsbedarf: Erweiterung des technischen Monitorings auf Gebäude- und Liegenschaftsebene für das Gesamtportfolio mithilfe eines Ausbaus der vorhandenen Zählerstruktur und Einführung einer kontinuierlichen Analyse und Optimierung**

### **Ausbau der PV-Stromerzeugung**

Um einen Kostenanstieg bei der Umstellung auf strombasierte Wärmeerzeugung entgegenzuwirken, sollten alle denkbaren Potentiale zur Installation von Photovoltaik-Anlagen ausgeschöpft werden. Hierbei sollten zusätzlich zu Standard-PV-Dachanlagen auch PV-Fassaden (insbesondere bei Sanierung der Außenwände), PV-Gläser (insbesondere bei Sanierung der transparenten Bauteile wie bspw. Fenster oder Brüstungselemente), Überbauung von Parkplätzen und Flächen von Nebengebäuden analysiert werden. Die Anlagendimensionierung soll dabei vorrangig auf die Optimierung des Eigenverbrauchsanteils abzielen und über sinnvolle Kombination der Anlagentechnik wie mit Wärmepumpen, Batteriespeichern, Elektromobilität ausgerichtet sein. Anlagenkonzepte können aber auch auf Nachbargebäude innerhalb einer Liegenschaft ausgeweitet werden, wenn der Strom zur Eigennutzung innerhalb der Liegenschaft dient.

Bei Baumaßnahmen an geeigneten Bestandsgebäuden sollten PV-Anlagen mindestens vorbereitend als Voraussetzung für eine anschließende Errichtung eingeplant werden. Im Zuge von Gesamtsanierungen sollte eine Analyse für potentielle PV-Flächen zwingend in das Energiekonzept mit aufgenommen werden.. Neben dem Flächenpotential müssen zusätzlich bauliche Rahmenbedingungen wie bspw. die statische Traglast des Daches und bauliche Veränderungen im Zuge der Sanierungsarbeiten mitberücksichtigt werden. Gemäß der „Leitlinie für die Elektromobilität in der Landesverwaltung Rheinland-Pfalz“ ist zur Deckung der für die E-Mobilität benötigten elektrischen Energie vorzugsweise Eigenstrom einzusetzen, der möglichst durch PV-Anlagen zu erzeugen und bereitzustellen ist.

Aus organisatorischer Sicht kann der Betrieb von PV-Anlagen an einen Contractor abgegeben oder durch den LBB selbst abgewickelt werden. Der erzeugte Strom kann in beiden Fällen günstig an die Nutzer abgegeben werden. Für Dachflächen mit Fremd-PV-

Anlagen zur Netzeinspeisung sollte ein Konzept zum Rückkauf der Anlagen zur Eigenstromnutzung entwickelt werden.

**Handlungsbedarf: PV-Potentialanalyse in Energiekonzepten festschreiben. Entwicklung eines Konzepts zum Rückkauf von Contracting-Anlagen.**

### **Windkraftanlagen**

Um bereits im Jahr 2030 eine annähernde Klimaneutralität im Portfolio für das Medium Strom herzustellen, wird eine Kompensation des Stromnetzbezugs durch eigene Windkraftanlagen betrachtet. In 2030 wird Endenergie (Strom) von etwa 60.000 MWh/a für den Bereich Landesliegenschaften o. HS sowie etwa 115.000 MWh/a für Hochschulen u. Univ. benötigt. Die Unterschiede in den Szenarien Minimal und Maximal können dabei vernachlässigt werden, da sie verschwindend gering sind.

Anhand von Auslegungsdaten<sup>50</sup> für die Planung eines Windparks, kann grob abgeschätzt werden, dass 14 Windkraftanlagen mit je 6 MW Nennleistung mit einem Gesamt-Stromertrag von 175 Mio. kWh pro Jahr und Gesamt-Investitionskosten von 98 Mio. € (1.166 €/kW) zur Deckung des Strombedarfes benötigt werden.

**Handlungsbedarf: Bewertung der Realisierbarkeit von Windkraftanlagen.**

### **Pilotprojekte**

Innovative Konzepte sollten in einem ersten Pilotprojekt ausführlich getestet und analysiert werden, um zukünftige Projekte auf deren Realisierbarkeit in der breiten Anwendung optimieren zu können und somit eine langfristig wirtschaftliche und einsparoptimierte Projektumsetzung zu ermöglichen.

Für die bereits genannten Handlungsempfehlungen wie Liegenschaftskonzepte, Nahwärmenetze oder Low-Tech-Konzepte kann es vorteilhaft sein, zunächst mithilfe von einzelnen Pilotprojekten zu starten anhand derer ein Optimierungsplan für zukünftige Musterprojekte erstellt wird. Hierbei kann auch eine Zusammenarbeit mit Hochschulen / Universitäten oder auch Herstellern / Anbietern von innovativen Produkten oder Systemlösungen sich als sinnvoll und wirtschaftlich erweisen.

**Handlungsbedarf: Entwicklung von Pilotprojekten und Musterplanungen für Low-Tech-Sanierungen und Liegenschaftssanierungen.**

## **F.4 Sofortprogramme für Maßnahmen mit sofortigen Einsparungen**

Auch wenn für die aus dem Gutachten hervorgehenden Handlungsempfehlungen eine sofortige Umsetzung der Maßnahmen in die Wege geleitet wird, auch im Sinne sukzessiver Aufstockung von Personal und den entsprechenden Haushaltsmitteln, ist aufgrund der erforderlichen Planungs- und Organisationsabläufen eine resultierende Reduktion der THG-Emissionen erst mit einer Vorlaufzeit von etwa 5 Jahren, also ab 2027 (Start des aufgrund dieses Gutachtens optimierten Sanierungsprogramms für große Baumaßnahmen in Erweiterung zu den bereits laufenden Maßnahmen) zu erwarten.

In der Klimaschutzstrategie der Landesregierung muss der Abgleich mit den darstellbaren finanziellen und personellen Möglichkeiten, sowie den Marktressourcen der Planungs-

---

<sup>50</sup> Auslegungsdaten der SW Windenergie Speyer GmbH & Co. KG, welche für die Planung des Windparks Römerberg im November 2021 dem LBB vorgelegt wurden.

und Bauwirtschaft erfolgen, dieser Abgleich ist nicht Bestandteil des vorliegenden Gutachtens.

Im Folgenden werden zur Ergänzung der langfristigen Maßnahmen und abgeleitet aus den oben genannten Handlungsempfehlungen konkrete weitere Maßnahmen empfohlen, die, entsprechende Mittel ebenfalls vorausgesetzt, mit sofortiger Wirkung THG-Emissionen reduzieren können:

#### **Handlungsfeld Flächenmanagement (Akteure: Ressort/ Nutzer/ LBB)**

- **Flächenoptimierung**  
Durch gezielte Anstrengungen in der Flächenoptimierung können THG-Emissionen und Betriebskosten reduziert werden.

#### **Handlungsfeld Betreiben (Akteure: Ressort/ Nutzer/ LBB)**

- **Sofortprogramm Interwatt**  
Ausweitung des Einsatzes der Controllingsoftware Interwatt, Schaffung der notwendigen Zählerinfrastruktur und Optimierung der Nutzung
- **Programm zur Betriebsoptimierung bestehender Anlagen**  
Ein optimierter Gebäudebetrieb kann auch bei bestehender Technik einen Beitrag zur Energieeinsparung und THG-Reduktion leisten.
- **Contracting Programme**  
Zur weiteren Optimierung des Gebäudebetriebs großer Liegenschaften sollten Contracting Programme, wie bereits im Hochschulbereich erfolgreich eingesetzt, zügig für weitere Liegenschaften zum Einsatz kommen.
- **Ausrichtung Klimaneutralität/Optimierung bei Ausschreibung externer Betreiber**  
Prüfung, ob bei Liegenschaften, für die externe Betreiberleistungen ausgeschrieben werden, eine stärkere Ausrichtung der Leistung auf energetische Optimierung oder ein integriertes Contracting sinnvoll ist.

#### **Handlungsfeld Regenerative Energien / Wärmewende (Akteure: LBB)**

- **Eliminierung von Öl als Regelbrennstoff**  
Öl als fossiler Brennstoff mit einer hohen negativen Umweltwirkung sollte möglichst zügig und vollständig ersetzt werden.
- **Hybride Wärmeerzeugung als Übergangslösungen**  
Wärmeerzeugungskonzepte aus regenerativer Grundlast (Wärmepumpe) und konventioneller Spitzenlast (Weiternutzung bestehender Gaskessel, keine Neuinstallation von fossilen Erzeugern) prüfen.
- **Biomasse als Ersatz von Gaskesseln**  
Stärkere Förderung des Ausbaus von Holzpellets- und Holzhackschnitzelanlagen
- **Bezug „Biomethan“**  
Prüfung, ob ein gebäudenaher Bezug von Biomethan realisiert werden kann.
- **PV-Anlagen Sofortprogramm**  
Ein beschleunigter Ausbau der Eigenstromversorgung durch PV-Anlagen kann deutlich zur Reduktion der THG Emissionen beitragen.

**Handlungsfeld Gebäude und Ausstattung** (Akteure: LBB)

- **Umsetzung von Modernisierungsmaßnahmen im Bestand**  
Im Rahmen der Datenerfassung der Energieausweise wurden aktuell sinnvolle Modernisierungsmaßnahmen im Bestand erhoben, welche prioritär umgesetzt werden können.
- **Sofortprogramm Leuchten- und Leuchtmitteltausch**  
Austausch veralteter Leuchtmittel durch hocheffiziente LED-Technologie

**F.5 Zusammenfassung der Handlungsempfehlungen****Organisatorische Handlungsempfehlungen,****Maßnahmen auf organisatorischer Ebene zur Reduktion der THG-Emissionen**

1. Optimierung von Verfahren: Einführung von ablauforganisatorischen Verfahrensvereinfachungen und internen organisatorischen Maßnahmen, die eine Umsetzung des Sanierungsprogramms für große Baumaßnahmen zügiger und einfacher ermöglichen
2. Suffizienz-Potentiale und Flächeneinsparung: Konzept mit Anforderungen zur Flächenreduzierung und Aufnahme in die LBB-Richtlinie, Entwicklung eines Verfahrens zur Aufnahme in die Bedarfsplanung
3. Betreiben der Gebäude: Konzept für zukünftiges Betreiben der Gebäude mit Aufnahme einer ökologischen Betriebsüberwachung
4. Kontinuierliche Weiterführung der LBB-Richtlinie: Aufnahme neuer Erkenntnisse aus der Bau- und Planungs-Praxis als Daueraufgabe
5. Wissensmanagement im Bereich LBB – Nutzer (Betreiber) verbessern
6. Konzept Klimaneutralität im Denkmalschutz in Abstimmung mit GDKE

**Bauliche Handlungsempfehlungen,****Maßnahmen zur Reduktion der THG-Emissionen im Bereich Bauwerk und Baukonstruktion**

1. Sanierungsrate und Sanierungsgeschwindigkeit: Festschreibung des Zielwertes einer möglichst hohen Sanierungsrate, Entwicklung einer Umsetzungsstrategie, Bereitstellung der dafür erforderlichen Haushaltsmittel.
2. Sanierungstiefe und Energiestandards: Fortschreibung der LBB-Richtlinie Klimaneutrale Landesgebäude.
3. Sanierungsvorgehen, Mustersanierungsfahrpläne: Erstellung von Mustersanierungsfahrplänen für Typengebäude.
4. Sanierungsprioritäten und Hochverbraucher: Aufnahme der ökologischen Qualität bzw. der Potentiale zur THG-Reduktion in die Sanierungsplanung.
5. Materialeinsatz und Graue Emissionen: Vermeidung von grauen Emissionen in Sanierung und Neubau, Umsetzung der LBB-Richtlinie Klimaneutrale Landesgebäude im Planungsprozess.
6. Pilotprojekte für neue und innovative Lösungen: Entwicklung von Pilotprojekten und Musterplanungen für Gebäude- und Bauteiltypen.

### **Technische Handlungsempfehlungen, Maßnahmen zur Reduktion der THG- Emissionen im Bereich Bauwerk und technische Anlagen**

1. Wärmeerzeugung vor Ort: Umstieg von fossiler (Erdgas, Heizöl) auf erneuerbarer (Wärmepumpen, Fernwärme, Biomasse) Wärmeversorgung.
2. Dekarbonisierung der Fernwärme: Definition der Anforderungen für zukünftig verschärfte ökologische Lieferbedingungen für Fernwärme. Austausch mit den Fernwärmeversorgern für zukünftige vertragliche Bedingungen mit dem Ziel der Beschleunigung der Dekarbonisierung
3. Low-Tech Konzepte: Aufbau eines LBB Low-Tech Standards, Fortschreibung der LBB Richtlinie mit Aufnahme des Konzeptes.
4. Potentialanalyse (Nah-)Wärmenetze: Festschreibung einer durchzuführenden Potentialanalyse für Nahwärmenetze bei der Energiekonzepterstellung für zu sanierende Liegenschaften. Fortschreibung der LBB Richtlinie zur Aufnahme des Konzeptes.
5. Erstellung von Liegenschaftskonzepten: Analyse zur Vorauswahl von geeigneten Liegenschaften zur Entwicklung von Pilotprojekten
6. Ausbau der PV-Stromerzeugung: PV-Potentialanalyse in Energiekonzepten fest-schreiben, Entwicklung eines Konzepts zum Rückkauf von Contracting-Anlagen
7. Windkraftanlagen: Bewertung der Realisierbarkeit von Windkraftanlagen
8. Pilotprojekte: Entwicklung von Pilotprojekten und Musterplanungen für Low-Tech Sanierungen und Liegenschaftssanierungen.

### **Sofortprogramme, zur Umsetzung von Maßnahmen mit sofortiger Reduktion von THG-Emissionen**

1. Handlungsfeld Flächenmanagement: Flächenoptimierung
2. Handlungsfeld Betreiben: Controllingsoftware Interwatt, Betriebsoptimierung, Contracting, Ausschreibungsoptimierung
3. Handlungsfeld Regenerative Energien / Wärmewende: Eliminierung Heizöl, Hybride Wärmeerzeugung, Biomasse, Bezug „Biomethan“, PV-Anlagen
4. Handlungsfeld Gebäude und Ausstattung: Umsetzung Modernisierungsmaßnahmen, Leuchten- und Leuchtmitteltausch

## G Fazit

Das Landesklimaschutzgesetz (LKSG) von Rheinland-Pfalz sieht das Ziel vor, die Landesverwaltung bis zum Jahr 2030 in ihrer Gesamtbilanz klimaneutral zu organisieren (§9 Landesklimaschutzgesetz). Im vorliegenden Gutachten wurden die Potentiale des Liegenschaftsbestands des Landesbetriebs LBB – welcher den Großteil der Gebäude im Bilanzbereich des Landes ausmacht - als Teil der klimaneutralen Landesverwaltung 2030 bewertet.

Aufbauend auf der Analyse des Gebäudebestands (Kapitel D) erfolgt die Untersuchung der Entwicklungsszenarien (Kapitel E) mit unterschiedlichen vorab gewählten Ansätzen zu baulichen und technischen Aspekten. Die Ergebnisse zeigen, dass für einen relevanten Beitrag zur Klimaneutralität im Liegenschaftsbestand des LBB u.a. eine möglichst hohe Sanierungsrate pro Jahr verbunden mit einer sinnvollen Sanierungstiefe – insbesondere zur Ermöglichung einer Niedertemperatur-Versorgung - angestrebt werden sollte. So können die baulichen und technischen Voraussetzungen geschaffen werden, damit die Wärmewende von fossilen Brennstoffen zu Energie aus regenerativen Quellen erreicht wird.

Anhand zweier mit dem LBB abgestimmter ingenieurtechnischer Simulations-Szenarien (Minimal- und Maximalszenario) sowie unter Variation der Randbedingungen wurden verschiedene THG-Emissions-Reduktionspfade ermittelt. Bei einer Umsetzung der Anforderungen des Maximalszenarios mit einer theoretischen Sanierungsrate von 3 % ist eine Reduktion der THG-Emissionen bis 2030 für den Bereich aller LBB-Liegenschaften um 32 % möglich. Bis 2045 kann bei gleichen Rahmenbedingungen eine Reduktion der THG-Emissionen um 84 % erreicht werden. Bei Umsetzung des Maximalszenarios betragen die mittleren, jährlichen Gesamtbaukosten (Kapitel 0) im Bestand zum Zeitpunkt der Gutachtererstellung für das gesamte betrachtete Portfolio des Landesbetriebs LBB 415 Mio.€ pro Jahr im ersten Sanierungszeitraum (2027-2030) und 657 Mio. € pro Jahr im letzten Sanierungszeitraum (2041-2045). Ergänzend zu diesen beiden Haupt-Szenarien wurde die Sensitivität hinsichtlich ausgewählter Parameter betrachtet. Aufgrund der, gerade im staatlichen Hochbau besonders komplexen, Bau- und Energieversorgungsanforderungen liegen Lösungen für eine klimaneutrale Landesverwaltung für das Jahr 2030 auch außerhalb der rein baulich-technischen Lösungsschemata. Weitere bestehende Klimaschutz-Potentiale z.B. in der Flächeneinsparung, in den Effizienzvorgaben oder der Energiegewinnung müssen im Bereich der strategischen (ministeriellen) Steuerung gehoben werden.

Die strategischen Erkenntnisse aus der Analyse der gewählten Entwicklungsszenarien wurden in konkrete bauliche, technische und organisatorische Handlungsempfehlungen übertragen (Kapitel F), in denen die gewählten Maßnahmen zur Erreichung der oben genannten THG-Reduktion beschrieben werden. Um – einen gewissen Planungsvorlauf voraussetzend – ab dem Jahr 2027 aufbauend auf dieses Gutachten die ersten großen Sanierungsmaßnahmen zusätzlich zu den bereits laufenden Maßnahmen gezielt umsetzen zu können und eine deutliche Erhöhung der Sanierungsrate zu ermöglichen, ist eine strategische Planung der Sanierungstätigkeiten, der Aufbau der personellen Ressourcen und die Bereitstellung der entsprechenden Haushaltsmittel notwendig. Der Abgleich mit

den darstellbaren finanziellen und personellen Möglichkeiten sowie den Marktressourcen der Planungs- und Bauwirtschaft ist nicht Bestandteil des vorliegenden Gutachtens.

Damit im Bereich der LBB-Liegenschaften bereits vor 2027 – und aufbauend auf den, vom Landesbetrieb LBB seit 2002 mit der Umsetzung der Energieeffizienzstrategie geleisteten, Beitrag zur „Klimaneutralen Landesverwaltung 2030“ – signifikante THG-Einsparungen entstehen, werden aus den Handlungsempfehlungen Sofortprogramme von Maßnahmen mit unmittelbar resultierenden Einsparungen (Kapitel F.4) abgeleitet.

Der Beitrag des Liegenschaftsbestands des Landesbetriebs LBB zur „Klimaneutralen Landesverwaltung 2030“ muss in vielen Bereichen durch ein erfolgreiches Zusammenspiel mit Gebäudenutzern und Ressorts geleistet werden. Themen wie zukunftsweisende Arbeitsplätze und Orte der Lehre und Forschung, eine optimierte Flächennutzung, die Nutzung erneuerbarer Energien, die Kostenbetrachtung im Lebenszyklus der Gebäude sowie der Umgang mit Denkmalschutz und Baukultur können nur im Dialog mit allen Beteiligten ökologisch und ökonomisch sinnvoll und nachhaltig gestaltet werden.

# H Anlagen

## H.1 Begriffsdefinitionen

- **Nutzenergie:** Im Gutachten wird dieser Begriff zur Bezeichnung der Summe aus Stromabnahme plus Wärmeabnahme verwendet sowie in der Summe als Nutzenergieabnahme oder Nutzenergie bezeichnet. Er weist geringfügige Unterschiede zum gängigen Gebrauch der Nutzenergie auf, wo die Wärme- oder Strommenge bezeichnet wird, die im Raum dem Nutzer zur Verfügung steht (enthält keine Verteil- und Speicherverluste).
- **Wärmeabnahme, Erzeugernutzwärme:** Für den Bereich Wärme wird der Begriff der Abgenommenen Wärme oder Erzeugernutzwärme (Begriff der DIN V 18599) verwendet. Er stellt die Energiemenge dar, die der Wärmeerzeuger abgibt. Hierin sind Wärmeverluste aus der Wärmeverteilung und Wärmespeicherung im Gebäude enthalten.
- **Endenergie:** Energiemenge die bspw. einem Wärmeerzeuger zum Betrieb zur Verfügung gestellt werden muss, um einen Wärmebedarf zur Beheizung und ggf. Trinkwarmwasserbereitung bereitzustellen. Für Fernwärme und Strom aus dem Stromnetz ist eine Erzeugeraufwandszahl bzw. Wirkungsgrad von 1 angesetzt, da keine Verluste an der Systemgrenze durch die Übertragung entstehen, wodurch die Energieabnahme hier der Endenergie entspricht. Für die Wärmeerzeugung mit Gaskesseln oder Pelletkessel, stellen Erdgas und Pellets die umgerechneten Endenergiemengen dar, welche aufgrund von Abgasverlusten etc. während des Brennvorgangs bis hin zur Erzeugernutzwärme reduziert wird. Bei Gaskesseln bzw. Pelletkesseln liegen die Erzeugeraufwandszahlen bei 1,1 bzw. 1,2, was bedeutet, dass 10 % bzw. 20 % der ursprünglichen Endenergie bei der Erzeugung der Wärmeabnahme-Energie verloren geht.
- **Primärenergie:** Energie in ihrer ursprünglichen Form und am ursprünglichen Ort (z.B. ein Baum im Wald beim Energieträger Holz oder in den Erdschichten eingespeichertes Erdgas) wird als Primärenergie bezeichnet. Zusätzlich wird unterschieden zwischen erneuerbaren Anteilen (Bäume, da Aufforstung eine Erneuerung der Energie ermöglicht) und nicht-erneuerbaren Anteilen (Erdgas, kann nur als synthetisches Gas „neu“ erzeugt werden, aber das ursprüngliche Gas in den Erdschichten ist nicht wiederherstellbar). Zusätzlich sind in der Primärenergie weitere Energiemengen für die Gewinnung dieser und deren Transport bis zum Endnutzer enthalten. Hierbei entstehen Energieverluste (z.B. aufgrund Leckagen im Gasnetz) sowie zusätzliche Energieaufwände (z.B. die Abholzung der Bäume, Transport zu Sägewerken und den finalen Transport der Hackschnitzel/Pellets zum Endnutzer), welche anhand des nicht-erneuerbaren Primärenergiefaktors (siehe Gebäudeenergiegesetz, Anlage 4) bei der Berechnung von Primärenergie aus der Endenergie hinzugefügt werden.
- **Treibhausgasemissionen oder THG-Emissionen:** Treibhausgasemissionen setzen sich zusätzlich zu Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) aus Methan (CH<sub>4</sub>), Lachgas (N<sub>2</sub>O) sowie weiteren klimaschädlichen Gasen zusammen. Zur Berechnung werden alle Gase auf Äquivalente zu CO<sub>2</sub> umgerechnet. In Anlage 9 des Gebäudeenergiegesetzes sind die in diesem Gutachten verwendeten CO<sub>2</sub>-Äquivalente aufgeführt.

- **Gesamtbaukosten:** In diesem Gutachten wird für die Wirtschaftlichkeitsanalyse der Begriff Gesamtbaukosten für die Investitionskosten gewählt, welcher nach DIN 276 die Kostengruppen 200-700 einschließlich der KG 700 enthält.
- **Kostengruppen (KG) nach DIN 276**
  - KG 100: Grundstück
  - KG 200: Vorbereitende Maßnahmen
  - KG 300: Bauwerk – Baukonstruktionen
  - KG 400: Bauwerk – Technische Anlagen  
(KG 420: Wärmeversorgungsanlagen)
  - KG 500: Außenanlagen und Freiflächen
  - KG 600: Ausstattung und Kunstwerke
  - KG 700: Baunebenkosten
  - KG 800: Finanzierung

## **H.2 Anlage 01: Grundlagen Berechnungsmodell**

## **H.3 Anlage 02: Einsparungspotentiale je BWZK-Gruppe**

## **H.4 Anlage 03: Grundlagen Wirtschaftlichkeitsanalyse**

## **H.5 Anlage 04: Übersicht Szenarienergebnisse**