

Der Weg zu einem klimaverträglichen Gebäudebestand

Aktualisierte Fassung mit Analyse des Koalitionsvertrags 2021



Kontakt
Jan Steiger
Passivhaus Institut
jan.steiger@passiv.de

outphit – Tiefgreifende Sanierungen kosteneffizient und zuverlässig
outPHit unterstützt tiefgreifende, kosteneffiziente und zuverlässige Sanierungen nach den Passivhaus-Prinzipien. Auf der Basis von Modellprojekten und mit zahlreichen Partnern zeigt outPHit Wege auf, tiefgreifende energetische Sanierungen umzusetzen. Dabei reduzieren Lösungen aus einer Hand den Aufwand für Planung, Ausführung und Qualitätssicherung. outphit.eu



Überblick

Der Gebäudebestand spielt eine Schlüsselrolle für das Erreichen der Klimaziele. Vor allem ist er ein Bereich, in dem die Abhängigkeit von speicherbaren, überwiegend also noch fossilen Energieträgern ganz wesentlich zu Versorgungsrisiken, Kostenschwankungen und politischen Abhängigkeiten führt. Die Notwendigkeiten des Klimaschutzes führen ebenso wie mögliche Versorgungsengpässe auf dieselbe Erfordernis und dieselben Maßnahmen, um den Energiebedarf im Gebäudebestand konsequent und nachhaltig zu verringern.

Gut die Hälfte des in Deutschland verbrauchten Erdgases wird allein für die Raumheizung eingesetzt. Hier bietet es als speicherbarer Energieträger besonders viele Vorteile, weil der Energiebedarf saisonal im Winter anfällt, wenn das Angebot an Erneuerbaren gering ist. Die weitere Nutzung des Erdgases als „Brückentechnologie“ erscheint verlockend, ist aber ein nicht zu unterschätzender Risikofaktor. Die Abhängigkeit von fossiler Energie kann elementare Grundbedürfnisse wie ausreichend warme Räume nicht mit Sicherheit gewährleisten und stellt zudem einen erheblichen Kostenfaktor dar. Wenn wir unseren Gebäudebestand resilient machen möchten, dann gehört dazu die Reduzierung des Verbrauchs, was nachhaltig und kostengünstig mit konsequenten Energieeffizienzmaßnahmen erreicht werden kann.

Mit den bisherigen Vorgaben des GEG sind weder eine ausreichende Versorgungssicherheit noch die erforderliche Klimaneutralität des Gebäudebestands in Deutschland zu erreichen. Die Ampelkoalition hat darauf reagiert und im Koalitionsvertrag deutlich ambitioniertere Maßnahmen und Ziele formuliert.

Aber auch das wird noch nicht ausreichen, insbesondere wenn die Effizienzmaßnahmen (wie bislang zu beobachten) nicht in dem Umfang und der Qualität wie beabsichtigt umgesetzt werden, oder wenn der angestrebte Ausbau der Erneuerbaren sich weiterhin verzögert. Wie unsere Studie zeigt, gelingt die Energiewende im Gebäudebereich, wenn noch konsequenter auf die Energieeffizienz der Gebäude selbst gesetzt wird: nicht benötigte Energie muss dann nicht mehr bezogen und auch nicht durch Erneuerbare ersetzt werden. Das macht Politik und Verbraucher unabhängig und die Gebäude resilient. Die Heizenergie ist besonders betroffen, denn sie macht den größten Anteil des Gebäudeenergiebedarfs aus und benötigt einen speicherbaren Energieträger bzw. über Speicher in den Winter verschobene erneuerbare Energie aus dem Sommer. Auch bei erneuerbarer Versorgung und hoher Effizienz wäre das Angebot in der kalten Jahreszeit viel zu gering. Durch die saisonale Speicherung entstehen zusätzliche Verluste und vor allem Kosten. Erdgas als Brückentechnologie ist zunehmend fraglich, auch mit der Option einer späteren Umstellung auf Erneuerbares Gas.

In unserer Studie zeigen wir, dass es vor allem darauf ankommt, anstehende Maßnahmen am Gebäude dafür zu nutzen, die energetischen Sanierungen gleich mit auszuführen („Kopplungsprinzip“), und zwar konsequent in hoher Qualität („wenn schon, denn schon“). Die Zusatzinvestitionen sind dann gering und werden durch die eingesparten Energiekosten kompensiert – das ist Klimaschutz nicht nur zum Nulltarif, sondern mit zusätzlichem Gewinn. Aus gegebenem Anlass können auch zusätzlich

schnell umsetzbare Maßnahmen ergriffen werden, als weitere „low hanging fruits“, die Abhängigkeiten und Energiekosten bereits im nächsten Winter abfangen.

Sowohl für das zuverlässige Erreichen der Klimaziele also auch für die Versorgungssicherheit und Kostenbegrenzung sind Maßnahmen zur Erhöhung der Gebäude-Energieeffizienz mit Passivhaus- bzw. EnerPHit-Qualitäten die geeignetsten. Das Know-how dazu, Erfahrungen, geeignete Produkte und Verfahren sind verfügbar. Jetzt kommt es auf gute und verständliche Kommunikation, die Kompetenz und Kapazität im Handwerk, die Bereitschaft in der Bevölkerung und gegebenenfalls die richtigen Anreize – vor allem die Vermeidung von Fehl-Anreizen – an. Wir werden kurzfristig Vorschläge zur Optimierung dieser Maßnahmen verfügbar machen. Die soziale Abfederung steigender Energiekosten ist im Koalitionsvertrag bereits angedacht. Solche Maßnahmen müssen auf eine Reduktion des Energiebedarfs zielen, anstatt den Energieverbrauch weiter zu bezuschussen.

1 Einführung

Die Folgen des Klimawandels sind nicht mehr zu übersehen [IPCC 2022]. Angesichts der Bedeutung der Aufgabe haben sich die Staaten der Welt bereits im Pariser Klimaschutzabkommen verpflichtet, die globale Erwärmung auf deutlich unter 2 °C zu begrenzen und 1,5 °C anzustreben. Um dieses Ziel zu erreichen, ist der Netto-Ausstoß von Treibhausgasen rasch und drastisch zu reduzieren. Für das 1,5 °C-Ziel wäre das verbleibende Budget bei gleichbleibenden Emissionen – gerechnet ab 2020 – bereits in den nächsten 10 Jahren aufgebraucht (vgl. [IPCC 2018]). Damit übereinstimmend zeigt Abbildung 1, dass die Emissionen in 20 bis 30 Jahren auf Null sinken müssen

Mit dem Pariser Abkommen vereinbare globale Emissionen

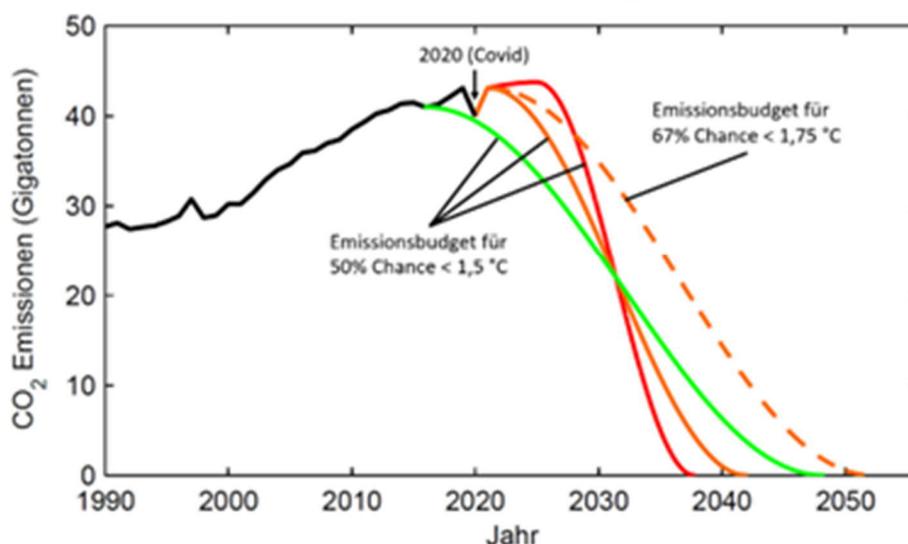


Abbildung 1: Um die Pariser Klimaziele zu erreichen, müssen die CO₂-Emissionen bis ca. 2040 auf Null sinken. Grafik aus [Rahmstorf 2020].

Der Aufbau einer neuen Energieversorgungsinfrastruktur geht nicht von heute auf morgen. Wer schnell reagieren will, braucht zusätzlich Veränderungen auf der

Bedarfsseite, Es ist durchaus möglich, schnell zu reagieren, mit geeigneten Effizienzmaßnahmen. Richtig gemacht, unterstützen sie die mittelfristig erforderliche Transformation zur Klimaneutralität. Im Hinblick auf die Ausschöpfung der großen Potentiale allerdings ist der Gebäudebestand ein sehr träges System, da viele der substantiellen Änderungen teuer und arbeitsintensiv sind. Es gibt derzeit nicht genügend Fachkräfte, um den Gebäudebestand innerhalb von wenigen Jahren zu erneuern. Schon hier wird erkennbar: Das oben genannte Ziel lässt sich nur erreichen, wenn dem Klimaschutz sowie der Unabhängigkeit von fossilem Energiebezug sofort höchste Priorität eingeräumt wird.

In [Schnieders 2021] wurde gezeigt, dass das erst im November 2020 inkraftgetretene Gebäudeenergiegesetz (GEG) diesbezüglich vollkommen unzureichend ist. Dort konnte auch festgestellt werden: Entschlossenes Handeln vorausgesetzt, ist das Ziel noch erreichbar, und das ist sogar ökonomisch attraktiv.

Die im Herbst 2021 neu gewählte Bundesregierung hat nun in ihrem Koalitionsvertrag [Koalition 2021] bedeutende Änderungen der Erzeugung erneuerbarer Energien sowie der Vorschriften zur Gebäude-Energieeffizienz in Aussicht gestellt. Die nachfolgende Analyse zeigt: Die im Koalitionsvertrag beschlossenen Maßnahmen stellen gegenüber dem bestehenden GEG eine wesentliche Verbesserung dar und würden es theoretisch ermöglichen, den Gebäudebestand klimaneutral zu versorgen – jedoch nur unter der Voraussetzung einer vollständigen Umsetzung der hier verwendeten, optimistischen Interpretation des Koalitionsvertrags. Zuverlässiger erreichen lassen sich die Klimaschutzziele von Paris mit einer bedeutenden Steigerung der Energieeffizienz. Dies wäre gleichzeitig wirtschaftlicher und langfristig nachhaltiger.

2 Das Kopplungsprinzip und die Maßnahmenqualität

Der Gebäudebestand ist keine statische Größe: Ständig werden dysfunktionale oder veraltete Fenster ausgetauscht (Rate ca. 2,7%/a), Dächer neu eingedeckt (ca. 1,5%/a), Fassaden neu verputzt oder neu gestrichen (über 2%/a). Jede dieser (und weiterer) Maßnahmen kann mit einer energetischen Sanierung des betreffenden Bauteils kombiniert werden – denn zu diesem Zeitpunkt benötigt die Baustelle ohnehin beispielsweise ein Gerüst, und die für die Energiesparmaßnahme notwendige Freilegung des Bauteils sowie die Erneuerung der zugehörigen Wetterschutzschale stehen auch ohnehin an. Schon seit den 1980er Jahren werden solche Anlässe in den Wärmeschutzverordnungen, später in der Energieeinsparverordnung und heute im Gebäudeenergiegesetz als Auslöser für sogenannte „bedingte Maßnahmen“ angesehen. Eine entsprechende wärmetechnische Verbesserung wird dann gefordert – und diese ist in einem solchen Fall außerordentlich wirtschaftlich [Kah 2008]. Nichtgekoppelte Maßnahmen sind selbstverständlich auch willkommen, insbesondere dann, wenn keine Kopplungstatbestände vorliegen. Hier braucht es vor allem Bereitschaft und Kompetenz, dann lassen sich gerade hier auch kurzfristige Erfolge erzielen. In jedem Falle, insbesondere auch bei den gesetzlich formulierten Anlässen, ist es sehr wichtig, tatsächlich *mit einer hohen thermischen Qualität zu sanieren*, da sonst, mit dem gerade modernisierten Bauteil, über meist viele Jahrzehnte eine erneute Sanierung an der gleichen Stelle nicht realistisch ist, und auch aus

ökonomischer Sicht deutlich ungünstiger abschneiden würde. Die Folge wäre ein Lock-In-Effekt, der die Energiewende blockieren und das Erreichen der Klimaziele unmöglich machen würde.

3 Klimaneutraler Gebäudebestand in Deutschland: Randbedingungen der Analyse

Um Wege aufzeigen zu können, wie die Pariser Klimaschutzziele für den Gebäudebereich erreicht werden können, wurde der deutsche Gebäudebestand mit dem Tool [districtPH 2021] modelliert. In diesem Abschnitt werden zunächst die gewählten Randbedingungen erläutert.

Verschiedene Baualtersklassen, Gebäudegrößen und Nutzungsarten und auch Teilbeheizungs-Aspekte werden berücksichtigt. Im Modell ergeben sich für Heizung und Warmwasser im Jahr 2021 insgesamt Emissionen in Höhe von 214 Mt/a CO₂.

Wird das Kohlenstoffbudget gemäß Abbildung 1 auf den Gebäudebestand Deutschlands angewandt, darf dieser Sektor seit 2020 insgesamt noch etwa 2.000 Mt CO₂ emittieren, um das 1,5 °C-Ziel zu erreichen. Für das 2 °C-Ziel wären ungefähr 3.000 Mt CO₂ zulässig.

3.1 Energiekosten

Die Stromgestehungskosten von erneuerbaren Energien liegen mittlerweile auf einem ähnlichen Niveau wie bei konventionellen Kraftwerken. Abbildung 2 stellt dies für verschiedene Stromerzeuger im Detail dar. Während konventionelle Kraftwerke Stromgestehungskosten um 12 Ct/kWh aufweisen, sind Wind und PV bereits etwas günstiger. Da der erneuerbare Strom, eine entsprechende Durchdringung vorausgesetzt, jedoch künftig zu einem Teil zwischengespeichert werden muss, ist dieser Strom zum Zeitpunkt des Verbrauchs ähnlich teuer wie konventioneller Strom. In den kommenden Jahren nimmt der Speicherbedarf zu, und die Zahl der Speicherzyklen nimmt ab, wodurch sich dieser Kostenzusatz erhöht.

Gasturbinenkraftwerke („Gas“) werden in Abbildung 2 mit deutlich höheren Kosten angegeben. Der Grund besteht darin, dass diese Kraftwerke für den kurzfristigen, flexiblen Einsatz verwendet werden, bei einer angenommenen Betriebsdauer von nur 500 bis 3000 Volllaststunden pro Jahr.

Selbstverständlich setzt sich der Strompreis beim Endverbraucher auch nur zu einem Anteil aus den Stromgestehungskosten zusammen. Dazu kommen Kosten für die Verteilung, die Regelung im Netz, die Vermarktung, die Abrechnung und nicht zuletzt auch Steuern. Das spielt beim Vergleich zwischen Stromerzeugungsvarianten keine große Rolle – wohl aber im Vergleich zu alternativen Optionen der Endkunden wie Fernwärme oder Sonnenkollektoren. Berücksichtigt man diese Anteile, ist es insgesamt begründet, unabhängig vom Anteil erneuerbarer Energien für diese Untersuchung künftig weitgehend stabile Strompreise anzusetzen.

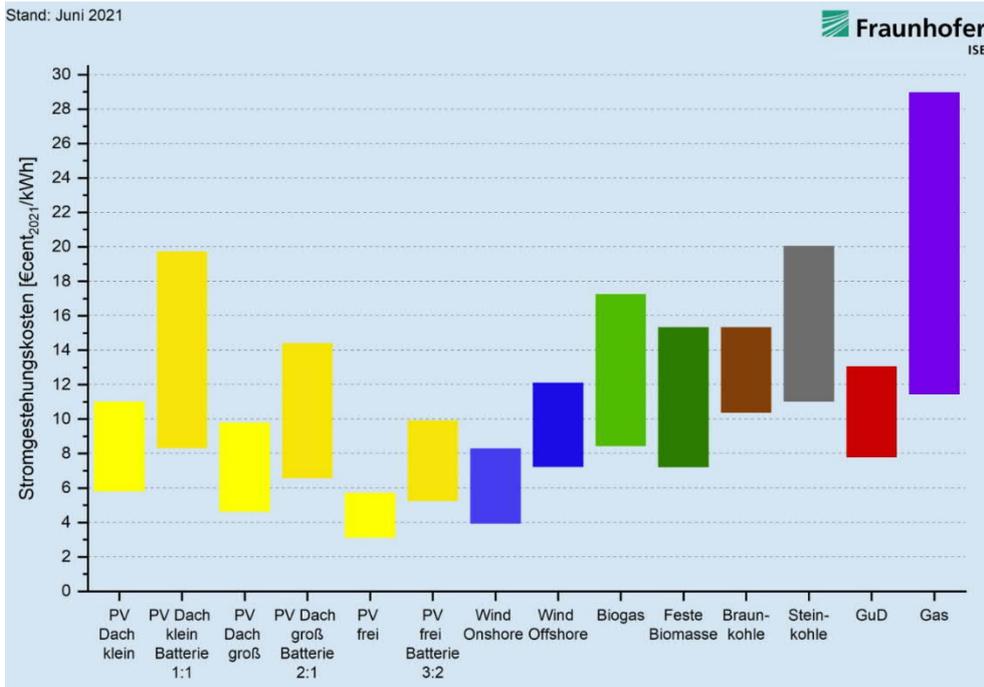
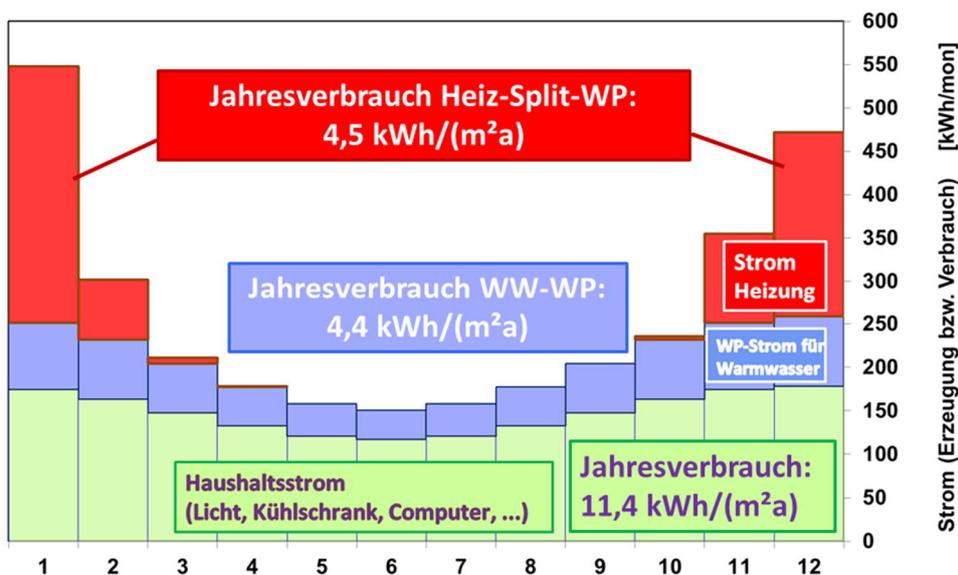


Abbildung 2: Stromgestehungskosten in Deutschland Mitte 2021. Grafik aus [Kost 2021].

Im hier verwendeten Modell werden die Energiepreise für den Endverbraucher in Zukunft durch die Investitionen in Spitzenkraftwerke wie die oben genannten Gasturbinen und in Speichertechnologien beeinflusst. Diese Investitionen sind vor allem erforderlich, um den primär durch die Raumheizung verursachten Winterberg im Stromverbrauch trotz des in dieser Jahreszeit geringen PV-Angebots decken zu können (s. Abbildung 3). Dementsprechend gehen wir hier von etwas höheren Strompreisen im Winter aus: Die Kilowattstunde Strom aus dem Saisonspeicher kostet, optimistisch abgeschätzt, 10 Ct mehr. Das wirkt sich naturgemäß vor allem auf die Kosten für den Heizstrom aus (vgl. Abbildung 4).



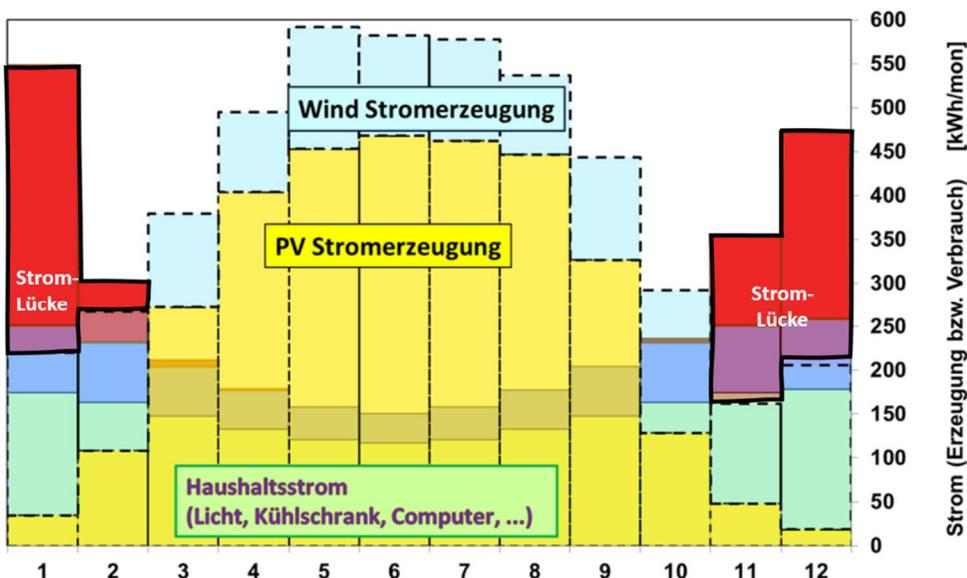


Abbildung 3: Jahresverbrauch Strom für sämtliche Energieanwendungen im Passivhaus Darmstadt-Kranichstein (oben) und mögliche Deckung durch PV- und Windstrom (unten). Im Winter entsteht auch bei diesem sehr effizienten Gebäude eine Lücke zwischen Angebot und Verbrauch, bei schlechteren Standards ist diese Lücke wesentlich größer. Sie kann durch saisonale Speicher für die sommerlichen Überschüsse geschlossen werden, das erzeugt jedoch Speicherverluste und erhöhte Kosten. Grafik aus [Feist 2021].

Der mittlere Privatkunden-Preis für Heizöl über die vergangenen 10 Jahre liegt bei 7,08 Ct/kWh, der für Gas bei 6,91 Ct/kWh (Endenergie). Diese Preise werden konstant als Sockelbetrag für den künftigen Brennstoff-Energiepreis angenommen. Hinzu kommt hier zunächst nur ein allmählicher Anstieg durch die CO₂-Bepreisung.

Mit der Änderung des Brennstoffemissionshandelsgesetzes vom November 2020 ([Bundesregierung 2020]) wurde eine CO₂-Steuer eingeführt, die den CO₂-Preis im Januar 2021 auf 25 €/t festlegte. Dieser Preis soll schrittweise auf 55 €/t in 2025 ansteigen. 2026 soll der CO₂-Preis zwischen 55 und 65 €/t liegen. Nach [UBA 2018] betragen die Umweltfolgekosten von CO₂-Emissionen 180 €/t, wobei neuere Analysen noch deutlich höhere Kosten nennen, insbesondere, wenn die Auswirkungen auf die Wohlfahrt künftiger Generationen gleichwertig einbezogen werden ([UBA 2020]). 180 €/t dürfte auch in etwa den künftigen Kosten für eine CO₂-Entnahme aus der Atmosphäre entsprechen ([IEA 2021]). Nachfolgend wird für die Entwicklung der Öl- und Gaspreise angenommen, dass der CO₂-Preis von 180 €/t durch schrittweise Erhöhung im Jahr 2050 erreicht wird.

Nach [GEMIS 4.95] beträgt der CO₂-Faktor für Heizöl 319 g CO_{2eq}/kWh Endenergie und für Erdgas 250 g CO_{2eq}/kWh Endenergie. Unter Annahme der genannten 180 €/t ergeben sich Umweltfolgekosten von 5,75 Ct/kWh für Öl und 4,5 Ct/kWh für Gas. Daraus ergibt sich ein moderater weiterer Anstieg der Brennstoffpreise nach 2026. Die allmählich dekarbonisierte Fernwärme und auch Biomasse werden hier in der Preisentwicklung ähnlich angesetzt (,anlegbare Preise': Die Fernwärmeversorgung wird künftig in einigem Umfang Zusatzinvestitionen in CO₂-ärmere Wärmequellen brauchen. Inwieweit diese finanzierbar sein werden, hängt auch dort vom ,anlegbaren Preis' ab.).

Für die Substitution von Energieträgern wie Gas und Öl durch Erneuerbare (z.B. importiertes Power-to-gas, Power-to-liquid) müssten die Kosten nach [Agora 2018], [Dena 2018], [ESYS 2017] und [ISE 2020] eher noch höher angesetzt werden (vgl. Tabelle 1). Darauf wird für diese Untersuchung verzichtet. Mit Gas oder Öl, gleich welcher Herkunft, versorgte Gebäude werden im Folgenden mit den hier verwendeten Ansätzen somit ökonomisch eher günstig bewertet.

Tabelle 1: Kostenansätze (Ct/kWh) für den Import von synthetischem Power-to-Gas bzw. Power-to-Liquid im Jahr 2050

Ct/kWh	Erdgas 2020	PtG 2050	PtL 2050	Bemerkungen
[ISE 2020]	6	20	24	brutto
[Agora 2018]	2,2	10		am Grenzübergang
[Dena 2018]	1,9	9	12	ohne Transport
[ESYS 2017]		10	10	mit Transport

Abbildung 4 zeigt die gewählten ökonomischen Randbedingungen.

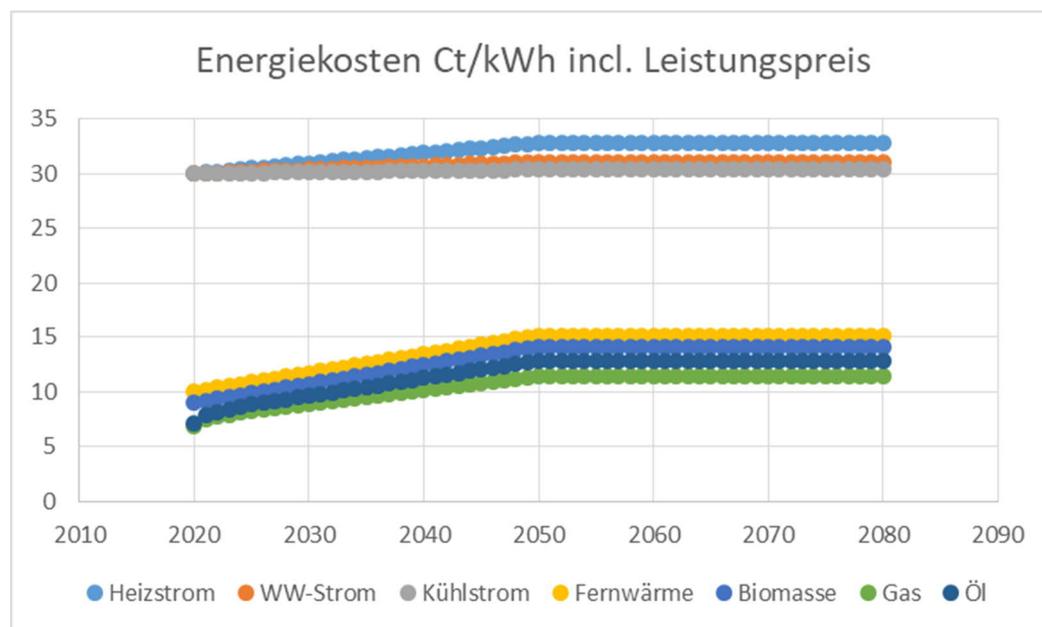


Abbildung 4: Den Szenarien zugrunde liegender Verlauf der Energiekosten für Endkunden

3.2 Investitionskosten

Für die entstehenden baulichen Kosten ist zu berücksichtigen, dass sich die Kosten für eine bestimmte Maßnahme in der Regel aus zwei Komponenten zusammensetzen, den „Sowieso-Kosten“, die in jedem Fall entstehen, wenn z.B. ein Dach erneuert oder ein Fenster ausgetauscht wird, und den zusätzlichen Kosten für die erhöhte Effizienz, also etwa einen zusätzlichen Zentimeter Wärmedämmung oder die dritte Scheibe im Wärmeschutzglas.

In den Berechnungen wurden nur solche Kosten dargestellt, die sich zwischen den Szenarien potenziell unterscheiden können. Es handelt sich also vor allem beim Neubau nicht um die entstehenden Gesamtkosten der Bautätigkeit.

Folgende Werte wurden für die Komponenten der Gebäudehülle verwendet (nicht alle Zwischenwerte sind angegeben):

	Sowieso-Kosten	Zusatzkosten Effizienz
Wand	250 €/m ² _{BT}	1,80 €/m ² pro cm Dämmung, $\lambda=0,035$ W/(mK)
Dach	253 €/m ² _{BT}	1,50 €/m ² pro cm Dämmung, $\lambda=0,035$ W/(mK)
Kellerdecke / Bodenplatte	70 €/m ² _{BT}	1,25 €/m ² pro cm Dämmung, $\lambda=0,035$ W/(mK)
Fenster	336 €/m ² _{BT}	0 €/m ² f. U-Wert 1,2 W/(m ² K)
		81 €/m ² f. U-Wert 0,75 W/(m ² K)
Haustür	387 €/m ² _{BT}	0 €/m ² f. U-Wert 2 W/(m ² K)
		49 €/m ² f. U-Wert 1 W/(m ² K)
		213 €/m ² f. U-Wert 0,5 W/(m ² K)
Luftdichtheit	26 €/m ² _{EBF}	0 €/m ² f. $n_{50} = 3$ h ⁻¹
		4 €/m ² f. $n_{50} = 1$ h ⁻¹
		6 €/m ² f. $n_{50} = 0,6$ h ⁻¹
Lüftungsanlage	28 €/m ² _{EBF}	0 €/m ² f. Abluftanlage
		30 €/m ² f. Lüftung mit 80% WRG

BT: Bauteilfläche; EBF: Energiebezugsfläche, entspricht etwa der Wohn-/Nutzfläche innerhalb der thermischen Hülle

Die Wärmeversorgungs-Varianten unterscheiden sich ggf. in folgenden Kosten:

	pro Gebäude	pro m² EBF	pro Wohnung	Lebens- dauer
Gaskessel	9000	23		40
Fernwärmeanschluss	8500	12		50
Wohnungsstation für Fernwärme			1200	30
Wärmepumpe incl. Erdsonden o.ä.	10500	54		20
Heizungsverteilung Radiatoren	2500	58		40
Heizungsverteilung Fußbodenheizung	3000	72		50
Warmwassersystem	1725	16		40

3.3 Erneuerbare Energien

Abbildung 5 zeigt den gemäß des Koalitionsvertrags 2021 beabsichtigten Ausbau der gesamten erneuerbaren Stromerzeugung in Deutschland.

Dem Koalitionsvertrag zufolge ist ein PV-Ausbau auf 200 GW bis 2030 geplant. Es wird angenommen, dass das Ausbautempo in den folgenden Jahrzehnten zunächst beibehalten wird. Das PV-Potenzial in Deutschland ist schwer genau zu beziffern, wir gehen hier von 500 TWh/a aus (vgl. auch [Wirth 2021]).

Für den Windenergie-Ausbau offshore ist geplant: 30 GW 2030, 40 GW 2035, 70 GW 2045. Für Windenergie an Land sind 120 GW bis 2030 vorgesehen (vgl. [Andreae 2021]). Insgesamt soll der Stromverbrauch von prognostizierten 680-750 TWh/a im Jahr 2030 zu 80% durch Erneuerbare gedeckt werden. Das entspräche einer Stromproduktion von ca. 560 TWh/a, was sich grob mit den genannten Ausbauzielen deckt. Das gesamte Windenergiepotential wird hier mit 681 TWh/a angesetzt (vgl. dazu [AEE 2021]).

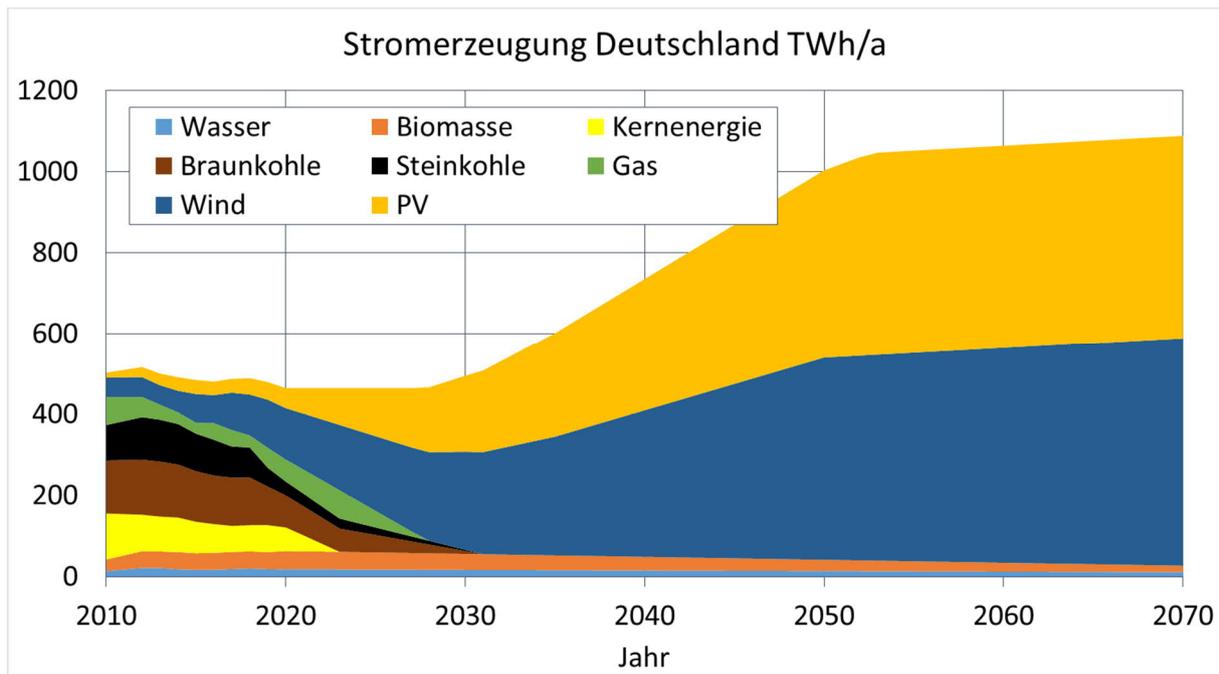


Abbildung 5: Anteile der Energieträger an Deutschlands Stromerzeugung. Historisch bis Juni 2021, danach eigene Projektion auf Basis der Ausbauziele der Bundesregierung gemäß Koalitionsvertrag 2021. Die Potenziale für die gesamte heimische erneuerbare Stromerzeugung werden auf ca. 1000 TWh/a geschätzt.

Davon kann nur ein Teil für die Heizung und Warmwasserbereitung zur Verfügung stehen. Angelehnt an die derzeitige Situation, in der etwa ein Drittel des Endenergieverbrauchs für Niedertemperaturwärme verwendet wird ([ISE 2020]), nehmen wir an, dass ein Drittel der dargestellten erneuerbaren Stromerzeugung für Heizung und Warmwasser zur Verfügung steht. Im Jahr 2070 sind das ca. 360 TWh/a an Erneuerbaren für Heizung und Warmwasser im Gebäudesektor.

Der erneuerbare Strom wird im Modell stets dort eingesetzt, wo sich am meisten CO₂ einsparen lässt. Ermitteln lässt sich dies durch die CO₂- und PER-Faktoren (zur Bewertung durch PER, Primärenergie Erneuerbar, siehe Abschnitt 5.3). Wird beispielsweise Erdgas durch EE-Gas (synthetisches Methan) aus erneuerbarem Strom ersetzt, werden pro Kilowattstunde Erdgas 250 g CO₂ eingespart und 1,75 kWh EE-Strom benötigt. Daraus ergibt sich folgende Priorisierung:

- a) Kühlung
- b) elektrische Warmwasserbereitung (ggf. mit Wärmepumpe)
- c) elektrische Raumheizung (grundsätzlich mit Wärmepumpe)
- d) Erzeugung von Fernwärme
- e) Erzeugung von EE-Gas und Substitution von fossilem Erdgas
- f) Erzeugung von EE-Öl und Substitution von fossilem Öl
- g) Ersatz von Bioenergie

Verbrauchter Strom, der nicht erneuerbar erzeugt werden kann, wird im Modell weiterhin aus nicht CO₂-freien Quellen bereitgestellt: zunächst mit einem Strommix

(inkl. heutigem Kohleanteil) mit 692 g_{CO2}/kWh, bis zum Ende des Kohleausstiegs 2030 absinkend auf 450 g_{CO2}/kWh für Strom aus GuD-Kraftwerken.

Steht mehr erneuerbarer Strom zur Verfügung, als benötigt wird, so wird hierfür in diesem Papier eine Gutschrift von 250 g_{CO2}/kWh angerechnet, was einer Verwendung als Power-to-Heat anstelle einer Gasfeuerung entspricht, z.B. einem Elektrodenkessel. Solche Anwendungen erfordern sehr geringe Investitionskosten und bieten sich daher als Vergleichsmaßstab an. Zahlreiche andere Anwendungen zur CO₂-Einsparung – oder die Verwendung der Energie zum Entfernen von CO₂ aus der Atmosphäre – mit höheren oder niedrigeren CO₂-Faktoren sind denkbar, so dass die Höhe der Gutschrift nur orientierenden Charakter haben kann.

3.4 Bewertungsmaßstäbe

Für die vergleichende Bewertung von Szenarien sind zunächst die CO₂-Emissionen von Interesse. Diese werden auf der Basis des dargestellten Ausbaupfades berechnet. Mit fortschreitender Dekarbonisierung der Energieversorgung ist ein Vergleich allein auf dieser Basis nicht mehr sinnvoll. Ein zielführendes Kriterium für die Verträglichkeit und Inanspruchnahmen von Ressourcen in einer nachhaltigen, auf erneuerbarer Energie basierten Versorgung dann der PER-Bedarf ([Grove-Smith 2021], [Passipedia 2021]). Dieser gibt an, wieviel erneuerbare Energie zur Deckung des Wärmebedarfes der Gebäude zu erzeugen ist, einschließlich der Verluste durch die Speicherung, wobei saisonale Speicherung berücksichtigt wird. Als drittes Kriterium sind die jeweils entstehenden Kosten von Bedeutung für Realisierbarkeit und Akzeptanz der Varianten.

4 Szenarien für die künftige Entwicklung

Nachfolgend werden mehrere mögliche Szenarien diskutiert. Es handelt sich hierbei nicht um Prognosen im Sinne von Vorhersagen des tatsächlichen Geschehens, die Szenarien zeigen vielmehr auf, wie sich heutige Handlungen auf die künftigen Ergebnisse auswirken. Dies erlaubt es, informierte Entscheidungen zu fällen – ohne diese von vorn herein schon zu implizieren. Es können dafür zunächst einige Vereinfachungen vorgenommen werden.

Beispielsweise wurde in allen hier dargestellten Szenarien die Auswirkung reduzierter Anforderungen bei Gebäuden unter Denkmalschutz nicht abgezogen (bundesweit stehen ca. 5% der Wohngebäude ganz oder teilweise unter Denkmalschutz; auch dort sind immer noch Einsparungen erreichbar, [Loga 2015]). Die Unterschiede zwischen den verschiedenen Handlungsoptionen werden dadurch nicht beeinflusst.

4.1 Szenario GEG

In diesem, mittlerweile bereits überholten Szenario ermitteln wir, welche Ergebnisse unter den Regelungen des GEG 2020 zu erwarten sind. Den wesentlichen Beitrag an den Emissionen leistet dabei nicht der Neubau, sondern der Gebäudebestand mit einem derzeitigen energetischen Vollsanierungsäquivalent von etwa 1% pro Jahr. Die tatsächliche Sanierungsrate von Außenbauteilen liegt zwar im Bereich um 3%/a (s.a.

oben), nicht immer sind Sanierungen aber mit wärmetechnischen Verbesserungen verbunden [Hörner 2021]. In diesem Szenario berücksichtigen wir dieses bestehende Vollzugsdefizit und schreiben es fort: Bei 40% der Bauteilsanierungen, die am Ende der Lebensdauer zwangsläufig stattfinden, wird der Energiestandard des Bauteils nicht verbessert, in den übrigen Fällen wird auf den gesetzlichen Mindeststandard ($U_{\text{Wand/Dach}} = 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, $U_{\text{Fenster}} = 1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, keine Lüftungs-WRG, $n_{50} = 3 \text{ h}^{-1}$ etc.) saniert.

Aufgrund der langen betrachteten Zeiträume werden auch Abriss (Annahme: 0,5% des jeweiligen Bestands) und Neubau berücksichtigt. Die Zahl der Baugenehmigungen 2019 wird dabei fortgeschrieben.

Für die Heiztechnik werden in diesem Szenario entsprechend neuerer empirischer Daten für die Gebäudetechnik (vgl. [Hörner 2021]) Ölkessel kaum noch installiert, Gaskessel, Biomassekessel und elektrische Wärmeversorgung (nach Sanierung stets Wärmepumpe) bleiben jeweils weitgehend erhalten. Fernwärme wird derzeit zu ca. 40% in Gaskessel umgewandelt, auch dieser Anteil wird im Szenario fortgeschrieben.

4.2 Szenarien Koalitionsvertrag 2021

Im Koalitionsvertrag der Ampelkoalition vom November 2021 wurden Eckpunkte für die künftigen Regelungen zum Gebäudesektor festgelegt. Daraus ergeben sich folgende Randbedingungen:

- a) Ab 2025 sind nur noch neu eingebaute Wärmeerzeuger zulässig, die mit 65% erneuerbaren Energien betrieben werden. Eine Konkretisierung steht noch aus, wir nehmen an, dass am Ende der Lebensdauer von Öl- oder Gaskesseln neue Wärmeerzeuger im Verhältnis 65% Wärmepumpe, 15% Fernwärme, 20% Biomasse installiert werden. Die drei letztgenannten Energieträger bleiben bei Sanierungen jeweils erhalten.¹
- b) Ab 2024 werden in der Sanierung Komponenten entsprechend EH 70 gefordert. Für das EH 70 muss H'_T 85% des Wertes für das Referenzgebäude nach GEG, Anlage 1, betragen. Damit ergeben sich folgende mittlere effektive U-Werte:
 - a. Außenwände $0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
 - b. Dächer $0,17 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
 - c. Bauteile gegen Erdreich $0,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
 - d. Fenster (ohne Wärmebrücken) $1,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
 - e. Außentüren $1,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
 - f. WB-Zuschlag $0,0425 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

¹ Hier gehen wir also davon aus, dass gewöhnlich Öl- oder Gaskessel die 65%-Erneuerbare Bedingung nicht erfüllen können. Insbesondere bedeutet das, dass eben das Heizen mit Erdgas nicht als nachhaltig etikettiert wird – die EU-Taxonomie sieht das ja eigentlich auch nicht vor. Allerdings steht die entsprechende Klarstellung dieser Tatsache seitens der Ampel-Koalition immer noch aus. Sollte die Koalition in der Praxis doch weiterhin Erdgaskessel als nachhaltig zulässige Option akzeptieren, so sind die hier gewählten Randbedingungen für das Szenario nicht mehr zutreffend.

Ein Einbau von Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung erfolgt nicht, langfristig wird ein n_{50} -Wert von 3 h^{-1} erreicht.

- c) Zunächst untersuchen wir eine Situation, in der dasselbe Vollzugsdefizit wie im Szenario GEG besteht („**KV 2021, 60% umgesetzt**“). Im Szenario „**KV 2021, voll umgesetzt**“ wird dagegen angenommen, dass tatsächlich bei allen Komponenten, die ohnehin einer Sanierung bedürfen, entsprechende Verbesserungen erfolgen.
- d) Im Neubau soll das EH 40 zum Standard werden, d.h. es wird ein H'_T -Wert von 55% des Referenzgebäudes erreicht. Lüftung mit WRG ist *nicht* vorgeschrieben (erst beim EH 40 Plus). Wir bleiben daher auch bei der n_{50} -Anforderung von 3 h^{-1} .
- e) Dass die Baustandards laut Koalitionsvertrag erst ab 2024/25 verbessert werden sollen, wird hier vernachlässigt. Angesichts der langen Zeitskalen ist der Einfluss gering, und auch für alternative Standards wäre eine Übergangszeit erforderlich. Auch dieser Ansatz ist jedoch optimistisch.
- f) Die Heizsysteme im Neubau werden in demselben Verhältnis Strom:Fernwärme:Biomasse von 65:15:20 wie nach einer Sanierung gewählt.

Damit sich tatsächlich eine Verbesserung gegenüber dem GEG-Szenario ergibt, ist von entscheidender Bedeutung, dass die Anforderung an H'_T bestehen bleibt. Die PE-Anforderung allein wäre mit nach Koalitionsvertrag ohnehin vorgeschriebenen „erneuerbaren“ Wärmeerzeugern oft schon beim GEG-2020-Standard (oder in der Nähe davon) erfüllt.

Zielführender als die H'_T -Anforderung ist im Neubau eine Anforderung an den flächenspezifischen Heizwärmebedarf. Diese hat den Vorteil, dass günstige Orientierungen und Kubaturen, die den Energiebedarf verringern, sich auch im Nachweis positiv bemerkbar machen und sich dadurch die Kosten und der Einsatz an grauer Energie verringern.

4.3 Szenario EnerPHit/Passivhaus

EnerPHit ist die Abkürzung für „**energetische Sanierung mit Passivhaus-Qualitäten**“. Diese kann gegebenenfalls auch in schrittweisem Ablauf jeweils bei fälligem Ersatz oder Reparatur von Bauteilen erfolgen. Näheres hierzu findet sich in [Passipedia 2021a].

In diesem Szenario wird auf Passivhaus-Qualität gesetzt, sobald eine Komponente ohnehin zur Erneuerung ansteht. Von der Umsetzungsgeschwindigkeit entspricht diese Variante also dem Szenario Koalitionsvertrag 2021, ein Vollzugsdefizit wird hier nicht angenommen. Der Neubau erfolgt bei diesem Szenario im Passivhaus-Standard. Diese Maßnahmen sind jeweils für sich bereits wirtschaftlich (vgl. [AK 55]).

Die gute Qualität der Gebäudehülle erleichtert den Übergang zu elektrischen Wärmepumpen als Heizsystem sowohl im individuellen Fall (kleinere Heizlast, geringere erforderliche Vorlauftemperatur und daher geringere Investition) als auch bezüglich der Netz- und Erzeugerkapazitäten. Wärmepumpen haben daher hier bei der Heizungserneuerung höhere Anteile: Bei Erneuerung eines auf Gas, Öl oder

Biomasse basierenden Heizsystems werden in 90% der Fälle Wärmepumpen eingesetzt, in 10% der Fälle erfolgt ein Fernwärmeanschluss. In der Folge beruht die Wärmeerzeugung im Jahre 2070 (bzgl. des Endenergiebedarfs) zu knapp zwei Dritteln auf elektrischen Wärmepumpen, der Rest ist weitgehend Fernwärme.

Als weitere Verbesserung gegenüber dem Szenario Koalitionsvertrag ist die hier vorgesehene effizientere Warmwasserbereitung zu erwähnen. Bei Wärmepumpenversorgung werden hochwertige, dezentrale Wärmepumpen eingesetzt, bei Fernwärmeversorgung reduzieren Wohnungsstationen die Verteilverluste.

4.4 Szenario KV 2021, beschleunigt

Hier wird die Erneuerungsrate für alle Komponenten, die nicht die erforderliche Effizienz besitzen, im Laufe der kommenden 10 Jahre so beschleunigt, dass sie nicht am Ende, sondern bereits nach der Hälfte ihrer Lebensdauer verbessert werden. So wird bereits 2050 eine vollständige Sanierung des Gebäudebestands erreicht.

4.5 Szenario KV 2021, nur WP/FW

Die Wärmeversorgung im Referenzfall Koalitionsvertrag 2021 erfolgt zu einem Teil mit Bioenergie. Bioenergie ist jedoch aufgrund ihrer natürlichen Speicherfähigkeit besonders dafür geeignet, die winterliche Lücke zwischen Erzeugung und Bedarf zu schließen. Gleichzeitig ist sie noch ausgeprägter als beispielsweise PV oder Wind nur begrenzt verfügbar. Am effizientesten kann die wertvolle Bioenergie in KWK-Anlagen genutzt werden, und zwar zu Zeiten, wo Strom aus Erneuerbaren oder Kurzzeitspeichern nicht verfügbar ist.

Analog zum Szenario EnerPHit/Passivhaus wird daher untersucht, wie sich die Randbedingungen des Koalitionsvertrags auswirken, wenn beim Endverbraucher keine Wärmeversorgung mit *direkter* Bioenergienutzung stattfindet (vgl. [UBA 2022]).

4.6 Szenarien mit langsamerem Ausbau der erneuerbaren Energien

Es ist keineswegs gewährleistet, dass sich der ambitionierte Ausbaupfad für die erneuerbaren Energien wie im Koalitionsvertrag geplant realisieren lässt und der angenommene Anteil an Erneuerbaren tatsächlich für Raumheizung und Warmwasserbereitung zur Verfügung stehen wird. Als Sensitivitätsstudie werden daher zwei Szenarien **KV 2021, voll umgesetzt, 50% EE** und **EnerPHit/Passivhaus, 50% EE** berechnet, in denen jeweils nur die Hälfte der erneuerbaren Energie zur Verfügung steht.

5 Ergebnisse im Vergleich

5.1 Heizwärmebedarf

Wie Abbildung 6 zeigt, nimmt der Heizwärmebedarf im EnerPHit-Fall zwar langsam, aber nachhaltig ab. Bis 2045 hat sich der Wert halbiert, etwa ab 2070 wird mit ca. 25% des Ausgangswertes eine Sättigung erreicht, wenn keine weiteren technischen Fortschritte erzielt werden. In der Vergangenheit gab es immer solche Fortschritte, und sie sind auch bereits für die Zukunft absehbar. Wir bleiben daher, insbesondere für die Zeit nach ca. 2035, hier deutlich auf der sicheren Seite. Mit anderen Worten: Die Zukunft sieht in diesem Fall in der Realität noch günstiger aus. Es ist aber auch klar, dass solche Fortschritte nicht in großem Ausmaß erzielt werden können, wenn kein Wert auf konkrete Effizienzverbesserung gelegt wird.

Im Szenario GEG ist im Vergleich eine vollständig unzureichende Reduktion zu erkennen. Die Szenarien zum Koalitionsvertrag stellen demgegenüber bereits eine deutliche Verbesserung dar; dort geht der Heizwärmebedarf ebenfalls zurück, wenn auch bei weitem nicht so stark wie im EnerPHit-Szenario. Grund dafür ist hauptsächlich der deutlich zu schwache Standard EH 70 im Altbau. Auch die Neubauten nach EH 40 sind, vorwiegend wegen der fehlenden mechanischen Lüftung mit Wärmerückgewinnung und der schlechteren Luftdichtheit, weniger effizient als im EnerPHit/Passivhaus-Fall.

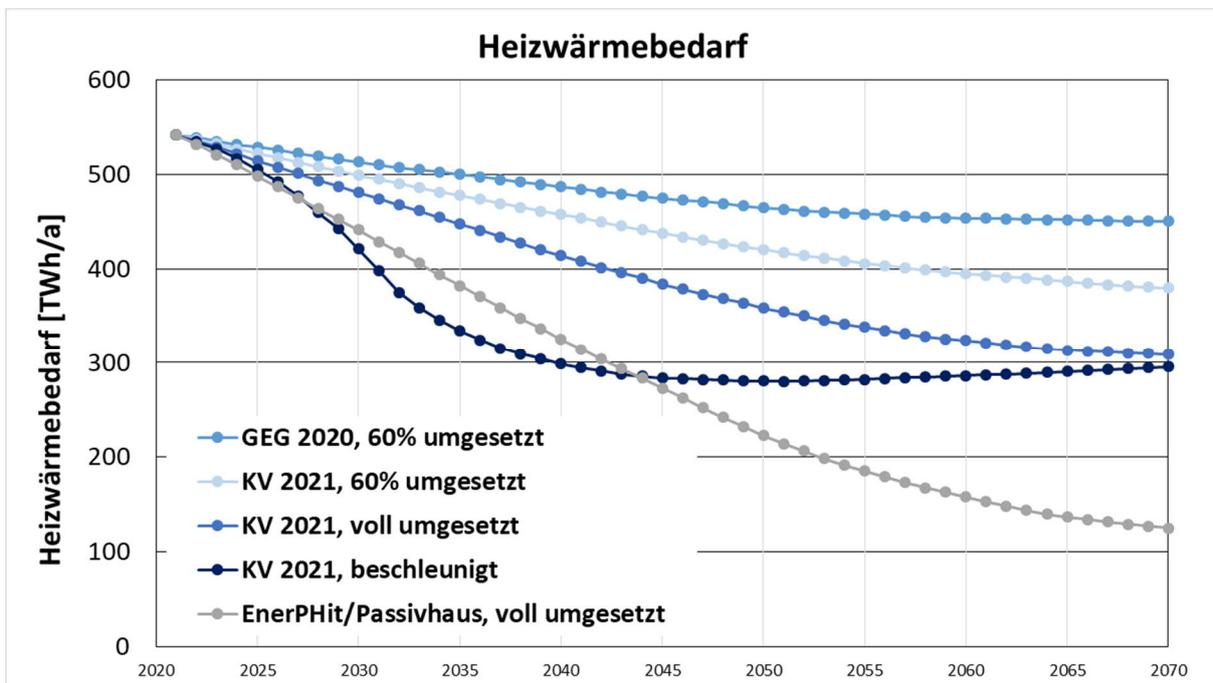


Abbildung 6: Heizwärmebedarf der untersuchten Szenarien. Mit dem EnerPHit/Passivhaus-Szenario ist eine Viertelung des Bedarfes bis 2070 möglich. Die im Koalitionsvertrag vereinbarten Ziele führen zu einer geringeren Reduzierung, wobei die Umsetzungsgeschwindigkeiten sich je nach Szenario erheblich unterscheiden.

An dieser Stelle sei angemerkt, dass alle Ergebnisse unvermeidbar gewisse Genauigkeitsgrenzen besitzen; diese können hier zu etwa ± 50 TWh/a abgeschätzt

werden, wobei die Differenzen zwischen den Szenarien nur etwa halb so groß sind, da sie unter ansonsten gleichbleibenden Randbedingungen (*ceteris paribus*) bestimmt sind.

5.2 CO₂-Emissionen

Der gegenüber früheren Strategien deutlich beschleunigte Ausbau der erneuerbaren Energien führt dazu, dass in allen untersuchten Fällen außer dem GEG ab ca. 2050 ein nahezu klimaneutraler Gebäudebestand erreicht wird (Abbildung 7). In Verbindung mit Abbildung 8 wird klar:

- a) Gegenüber der bisherigen Gesetzeslage sind Verbesserungen geplant, mit denen die angestrebten Ziele in der Theorie erreicht werden können (vergleiche **GEG 2020** mit den übrigen Varianten).
- b) Die konsequente Umsetzung von Verbesserungen bei jeder stattfindenden Modernisierung ist entscheidend für die Reduktion der Treibhausgasemissionen (vergleiche **KV 2021, 60% umgesetzt** mit **KV 2021, voll umgesetzt**).
- c) Einen gewissen Beitrag für dieses Ergebnis leistet der geringe CO₂-Faktor von Biomasse (20 g/kWh), der allerdings auch in Bezug auf das gesamte Energiesystem der Tatsache nicht gerecht wird, dass es sich bei Biomasse um ein knappes Gut mit vielen anderen Anwendungsfeldern handelt, vgl. auch Abschnitt 5.3. Den im Biomasse-Kessel verbrauchten Brennstoff durch andere erneuerbare Energien zu ersetzen ist sehr ineffizient; erst bei Verzicht auf Bioenergie in der Grundlast entsteht ein Stromüberschuss, und es werden negative CO₂-Emissionen möglich (vergleiche **KV 2021, voll umgesetzt** mit **KV 2021, nur WP/FW**).
- d) Die **EnerPHit/Passivhaus**-Variante erreicht die Klimaneutralität einige Jahre früher. Anschließend wird im Gebäudebereich weniger Energie verbraucht als an erneuerbaren Energien hierfür zur Verfügung steht. Die Emissionen werden negativ: Mit überschüssiger Energie kann CO₂ aus der Atmosphäre zurückgeholt werden.
- e) Durch verkürzte Sanierungszyklen in der Variante **KV 2021, beschleunigt** ließen sich die Emissionen theoretisch schneller reduzieren, die Realisierbarkeit ist allerdings äußerst fraglich (s.u.).
- f) Es ist nicht unwahrscheinlich, dass 2050 und später weniger erneuerbare Energien für Niedertemperaturwärme im Gebäudebereich zur Verfügung stehen als bisher veranschlagt, weil z.B. der Ausbau der Erneuerbaren nicht im gewünschten Maße umgesetzt werden konnte, größere Anteile in anderen Sektoren verbraucht werden. Daher muss bereits heute bei jeder Gelegenheit eine möglichst hohe Effizienz realisiert werden. Klimaneutralität wird bei 50% verfügbaren Erneuerbaren nur mit der EnerPHit/Passivhaus-Variante erreicht.

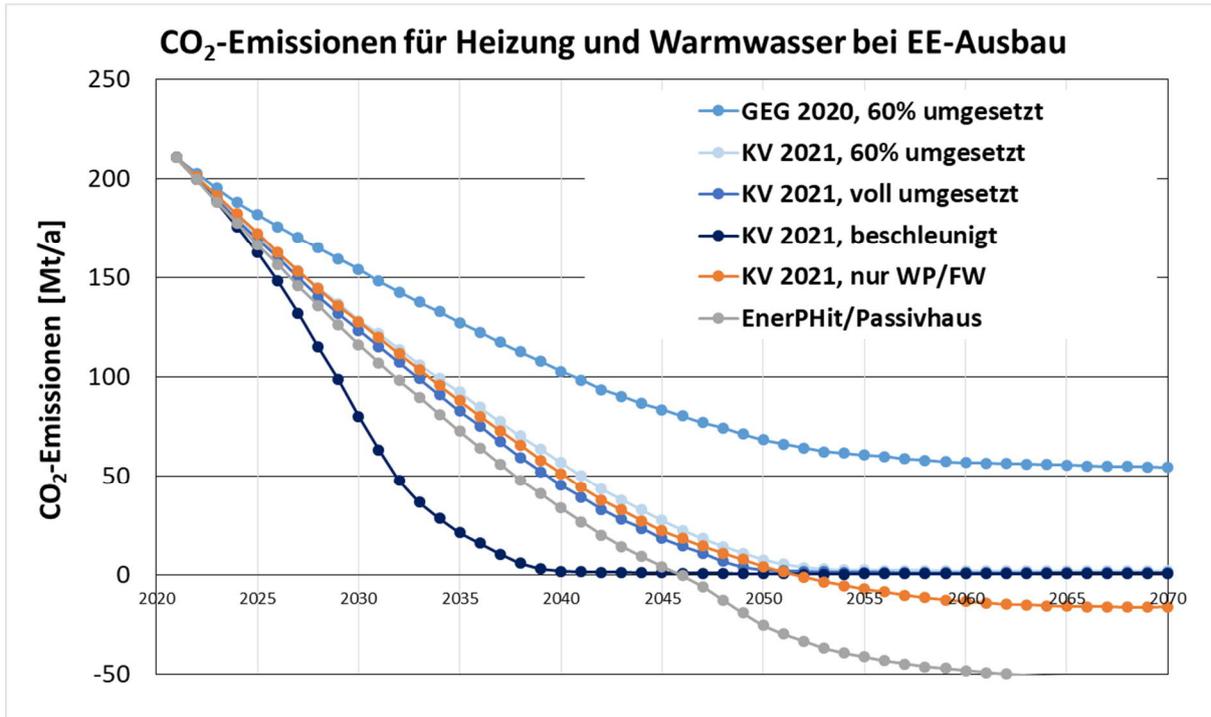


Abbildung 7: Entwicklung der CO₂-Emissionen der untersuchten Szenarien

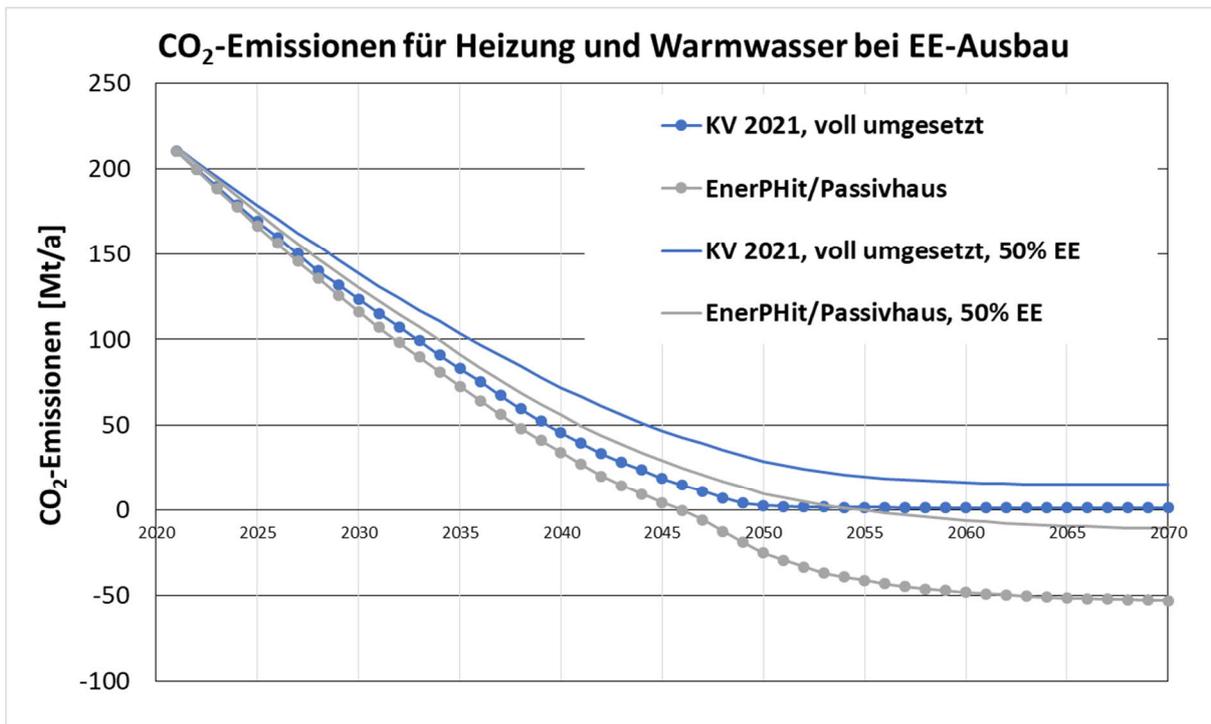


Abbildung 8: Entwicklung der CO₂-Emissionen der untersuchten Szenarien bei 50% EE-Verfügbarkeit

Die kumulierten CO₂-Emissionen für Heizung und Warmwasser über die nächsten 50 Jahre sprechen eine ähnliche Sprache (Abbildung 9). Das 1,5 °C-Ziel wird nur in zwei der Szenarien erreicht (**EnerPHit/Passivhaus** sowie **KV 2021, beschleunigt**). Gelingt der schnelle Ausbau der Erneuerbaren, sind die Ergebnisse aber (bis auf den Fall **GEG 2020, 60% umgesetzt**) immerhin noch mit den Paris-Zielen von maximal 2 °C Erderwärmung vereinbar.

Langfristig wird es voraussichtlich Maßnahmen zur Reduktion des überhöhten CO₂-Gehalts in der Atmosphäre geben müssen. Dafür gibt es im EnerPHit-Szenario ab ca. 2050 Spielraum durch dafür verfügbare Überschüsse bei den erneuerbaren Energien.

Die hohe Effizienz auf Passivhaus-Niveau zeigt hier ihre Vorteile. Vom unrealistischen „beschleunigten“ Szenario abgesehen lassen sich damit über die kommenden 50 Jahre die geringsten Emissionen erreichen. Selbst wenn der Ausbau der erneuerbaren Energien langsamer vorankommen sollte, wird damit immer noch ein akzeptables Ergebnis erzielt.

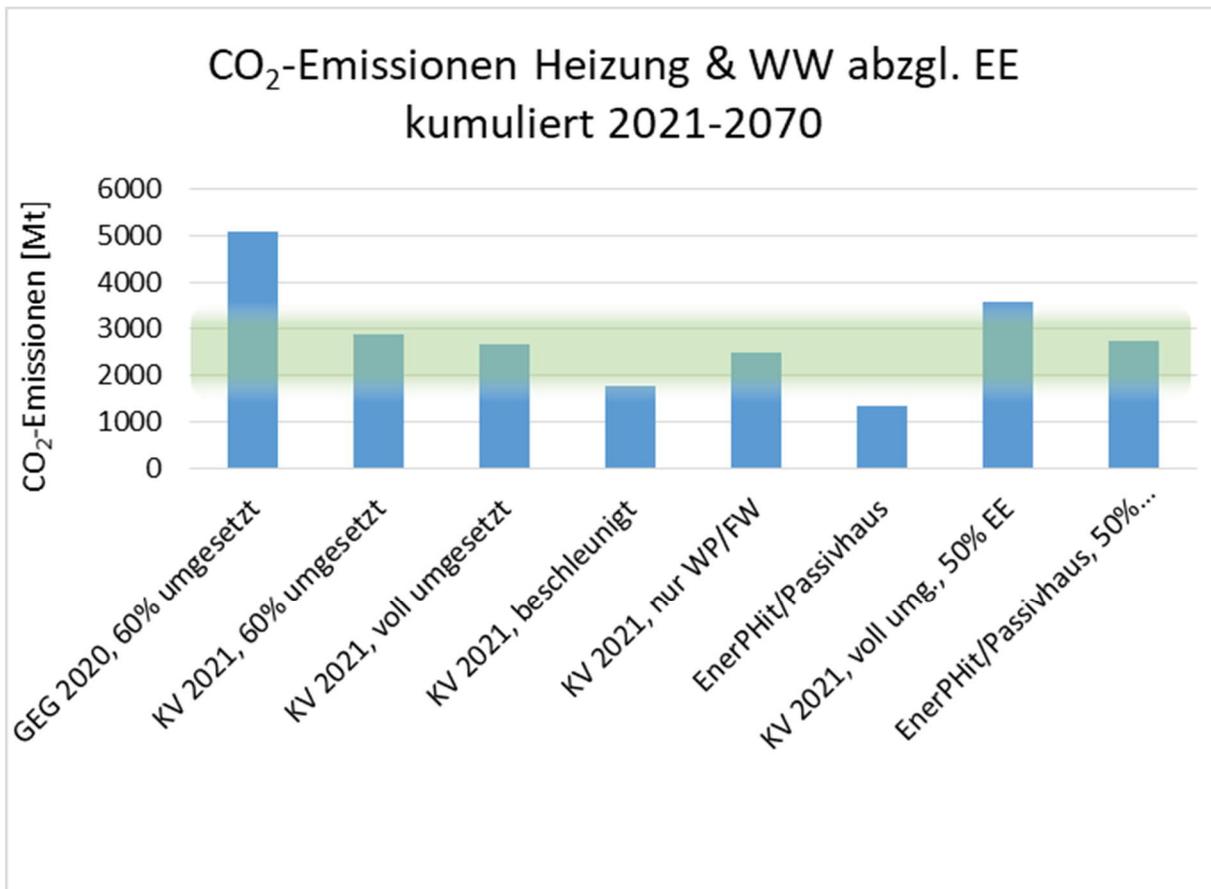


Abbildung 9: Gesamte CO₂-Emissionen 2021 bis 2070. Das grüne Band markiert das noch verfügbare Treibhausgasbudget (1,5° bis 2° Erwärmung).

Abbildung 10 und Abbildung 11 zeigen, wie sich die CO₂-Emissionen auf die verschiedenen Energieträger aufteilen. Für die GEG-Variante verbleibt ein hoher Anteil an Gasheizung, der auch 2070 noch fast vollständig fossil gedeckt werden muss – trotz massivem Ausbau der Erneuerbaren. Das gleiche würde übrigens weiterhin gelten, wenn die Politik Erdgasheizung (entgegen der physikalischen Fakten) als „nachhaltig“ einstufen würde. Die EnerPHit-Variante, am anderen Ende der Skala, würde dagegen ab ca. 2050 noch relevante Reserven freisetzen, die anderweitig genutzt werden können – Beispielsweise für den wahrscheinlichen Fall, dass der Vollzug doch nicht 100% erreicht.

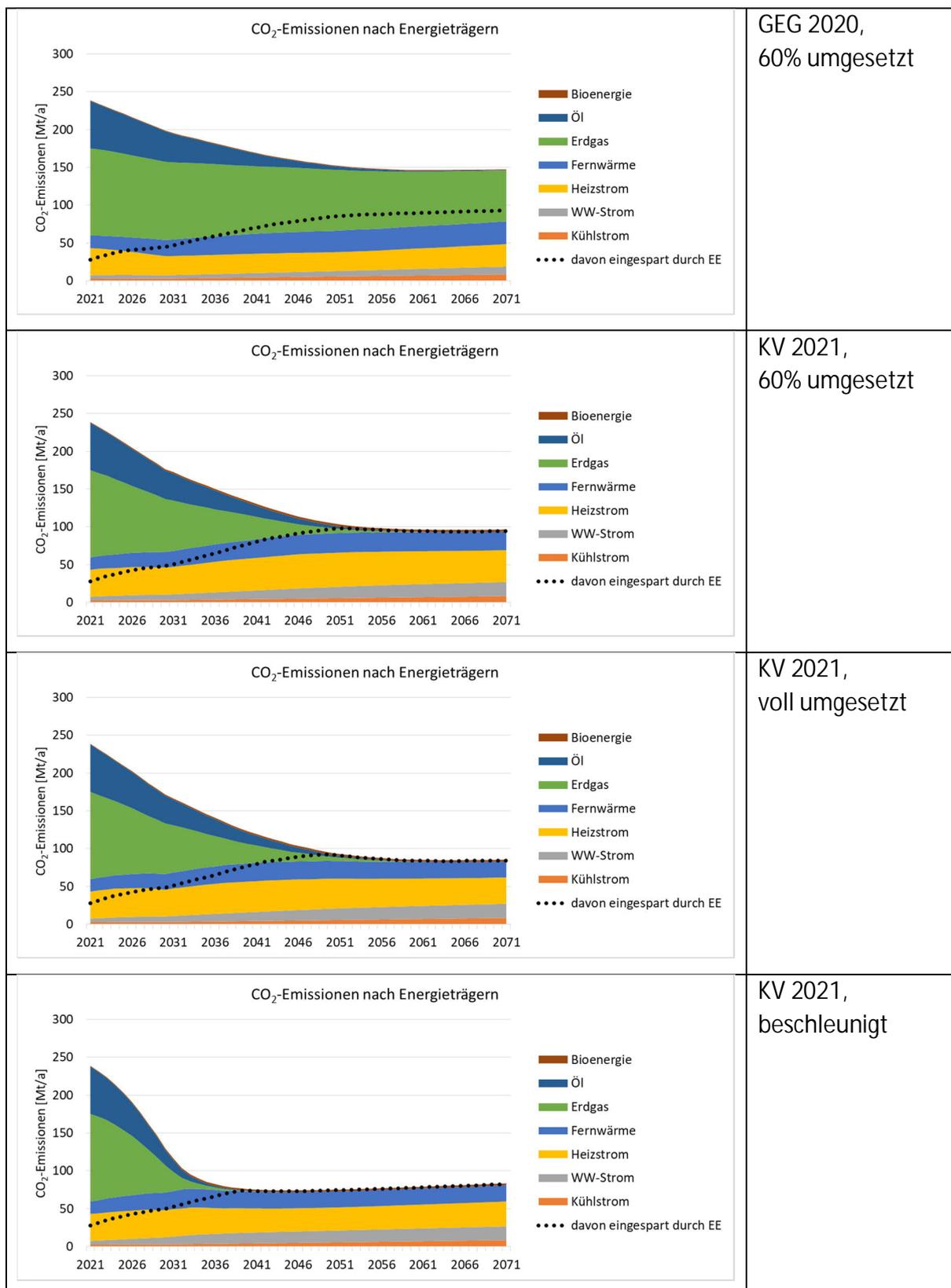


Abbildung 10: Zusammensetzung der CO₂-Emissionen für die ersten vier Fälle

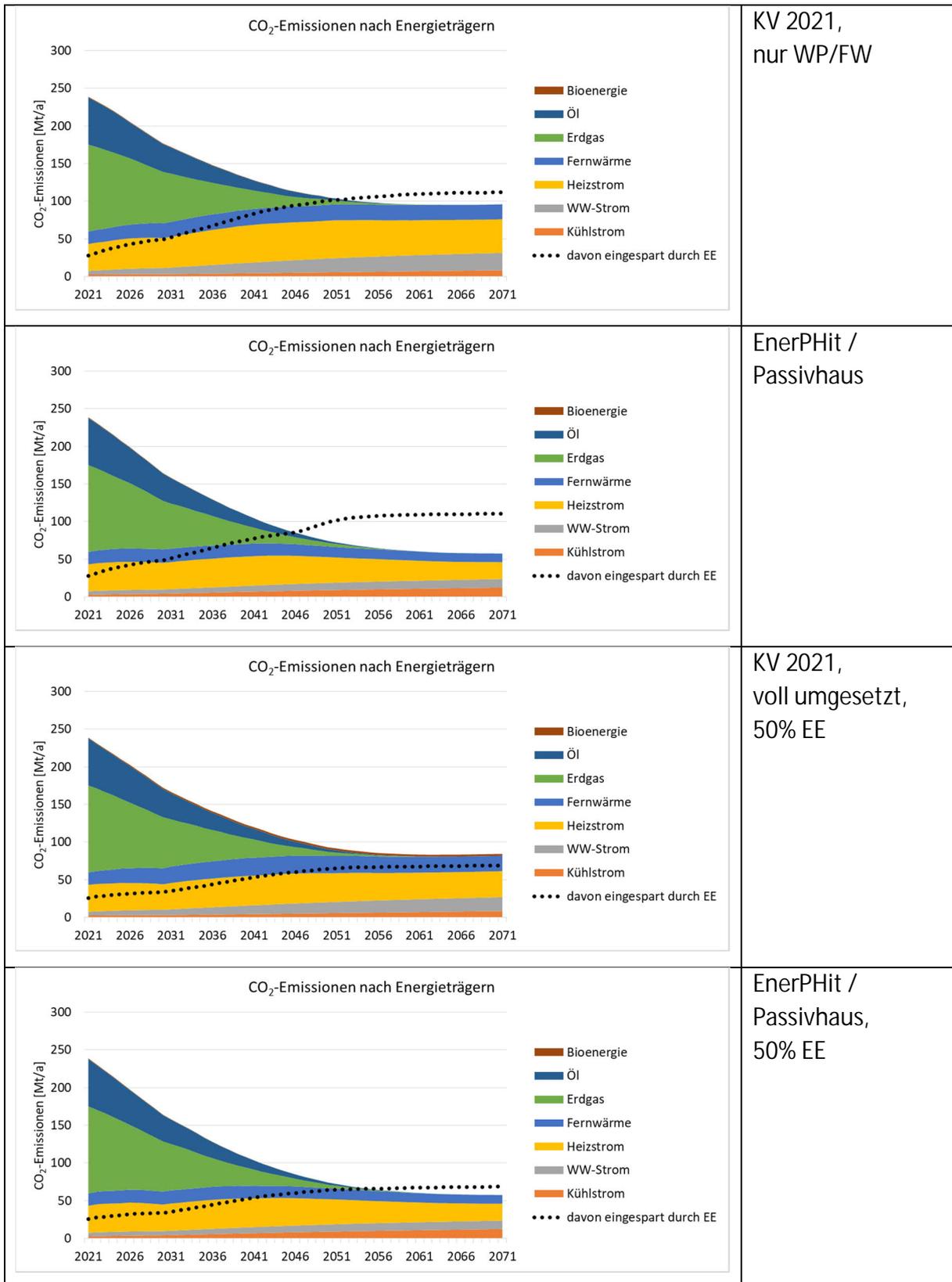


Abbildung 11: Zusammensetzung der CO₂-Emissionen für die letzten vier Fälle

beschleunigt), schneiden hier weniger gut ab. Das Bioenergiebudget von 20 kWh/(m²a) entspricht im Jahr 2070 insgesamt 145 TWh/a. Der errechnete Biomassebedarf im Fall **KV 2021, voll umgesetzt** beträgt 115 TWh/a und liegt damit noch im Rahmen eines solchen Budgets. Dennoch ergibt sich ein deutlich höherer PER-Bedarf als in WP/FW-dominierten Varianten – sachgerecht, denn die Bioenergie fehlt jetzt beim sinnvollen Einsatz zur Strom- und Fernwärmeerzeugung im Winter. Besonders gut schneiden die EnerPHit/Passivhaus-Varianten ab, die insbesondere durch den geringeren Heizenergiebedarf weniger saisonale Speicherung benötigen und damit wenig Verluste verursachen.

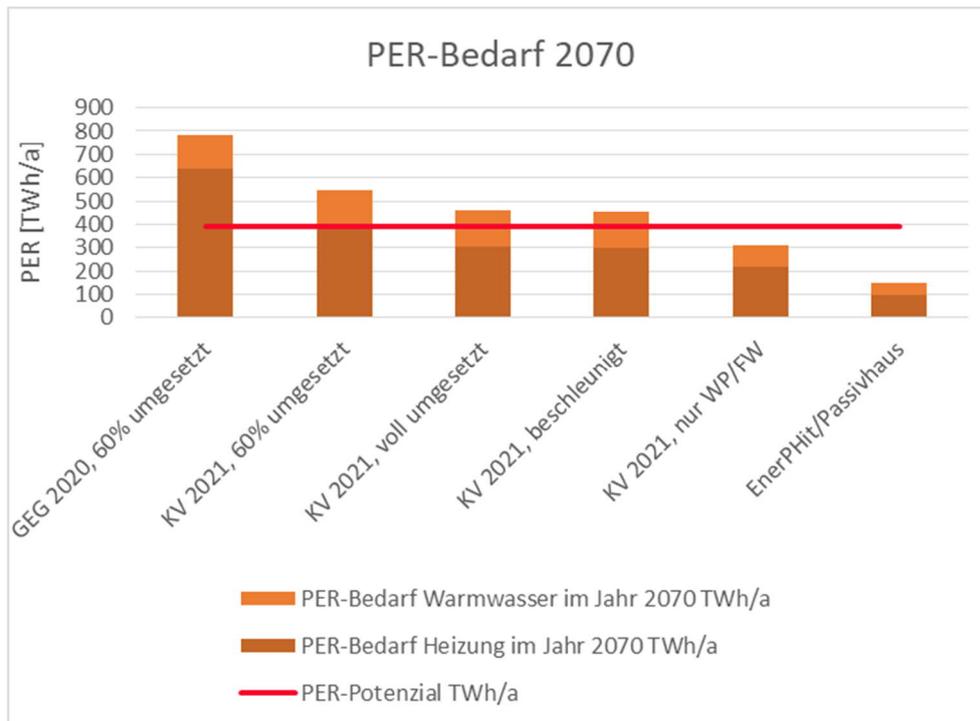


Abbildung 13: Jährlicher PER-Bedarf am Ende des Betrachtungszeitraums.

5.4 Kosten

Die Gesamtkosten für den Energiebedarf plus energierelevanter Maßnahmen (Abbildung 14) sind im Fall **KV 2021, voll umgesetzt** höher als in der EnerPHit-Variante, der insgesamt höhere Energiebedarf macht sich hier bemerkbar. Im EnerPHit-Szenario sind moderat höhere Investitionskosten erforderlich, die durch die Energieeinsparung jedoch überkompensiert werden. Die Differenz der Gesamtkosten (Barwert) beider Fälle beträgt 610 Mrd. €. Wie bereits erläutert, beziehen sich die hier genannten Kosten ausschließlich auf die energierelevanten Anteile der Maßnahmen.

Hohe Gesamtkosten entstehen, wenn die Effizienz wie in den ersten beiden Varianten nicht bedeutend verbessert wird. Besonders teuer, 1500 Mrd. € über der EnerPHit-Variante, ist das beschleunigte Szenario, in dem durch die relativ rasche Erneuerung noch funktionsfähiger Bauteile in erheblichem Umfang Restwerte vernichtet werden. Das bedeutet auch eine Zunahme des Herstellungsenergiebedarfes und der damit verbundenen CO₂-Emissionen. Diese haben wir hier nicht eingerechnet, da sie nur in diesem speziellen Szenario eine bedeutende Rolle spielen und sonst unterhalb der

Genauigkeitsmargen der Modellrechnungen bleiben. In den anderen Szenarien werden Ersatzmaßnahmen weit überwiegend nur im üblichen Erneuerungszyklus vorgenommen, die Differenzen in der Herstellungsenergie (z.B. Gaskessel gegen E-Wärmepumpe) sind dann gering. Anders sieht es aus, wenn der Kessel vorzeitig ersetzt werden soll – dann fällt sein vollständiger Herstellungsaufwand an, und dies, bevor die Energieproduktion weitgehend auf nachhaltige Energieträger umgestellt ist. Je früher eine Maßnahme stattfindet, umso klimaschädlicher ist somit auch der Einsatz an Herstellungsenergie.

Wann im beschleunigten Szenario die Mehrkosten entstehen, zeigt Abbildung 15. Innerhalb weniger Jahre müssten gewaltige Summen in den Gebäudebestand investiert werden. Zum Vergleich: Der Öffentliche Gesamthaushalt Deutschlands, inkl. Sozialversicherung, betrug im Jahr 2020 1700 Mrd. €, das Bruttoinlandsprodukt 3300 Mrd. €.

Der Realisierbarkeit einer beschleunigten Sanierung steht insbesondere die Kapazität im Baugewerbe entgegen. Hier sind in Deutschland etwa 2 Mio. Menschen beschäftigt, jährlich werden ca. 400 Mrd. € umgesetzt. Der in Abbildung 15 skizzierte Pfad würde einen Anstieg des hier erfassten energierelevanten Kostenanteils um ca. 120 Mrd. €, also um 30% des gesamten Volumens im Bausektor, innerhalb von wenigen Jahren zur Folge haben; etwa 600.000 Bauschaffende zzgl. der benötigten Planer für das komplexe Feld Altbaumodernisierung müssten kurzfristig zur Verfügung stehen. Auch zu bedenken: auf die große Sanierungswelle könnte, den Investitionen entsprechend, ab dem Beginn der 2030er-Jahre eine Entlassungswelle im Baugewerbe folgen, denn nach den vorgezogenen Sanierungen besteht über einige Jahrzehnte ein deutlich geringerer Bedarf. Ein solches Szenario wäre unter Fortschreibung der bisherigen politischen und wirtschaftlichen Randbedingungen sowohl volkswirtschaftlich als auch sozialpolitisch suboptimal. Aktuell ändern sich aber gerade diese Randbedingungen: die Abhängigkeit vom fossilen Erdgas als „Brückenlösung“ könnte sich nicht nur für das Erreichen von Klimazielen, sondern auch geopolitisch als eine Illusion herausstellen. Selbstverständlich kann unter Einsatz von Finanzmitteln der Energiebedarf des Bestandes auch kurzfristig in gewissem Umfang reduziert werden, und zwar schneller als der Ausbau der erneuerbaren Versorgung dazu in der Lage wäre. Dazu gilt es, Maßnahmen zu identifizieren, die schnell und preisgünstig mit hohem Effekt auf die Reduktion des Heizwärmebedarfes umzusetzen sind.

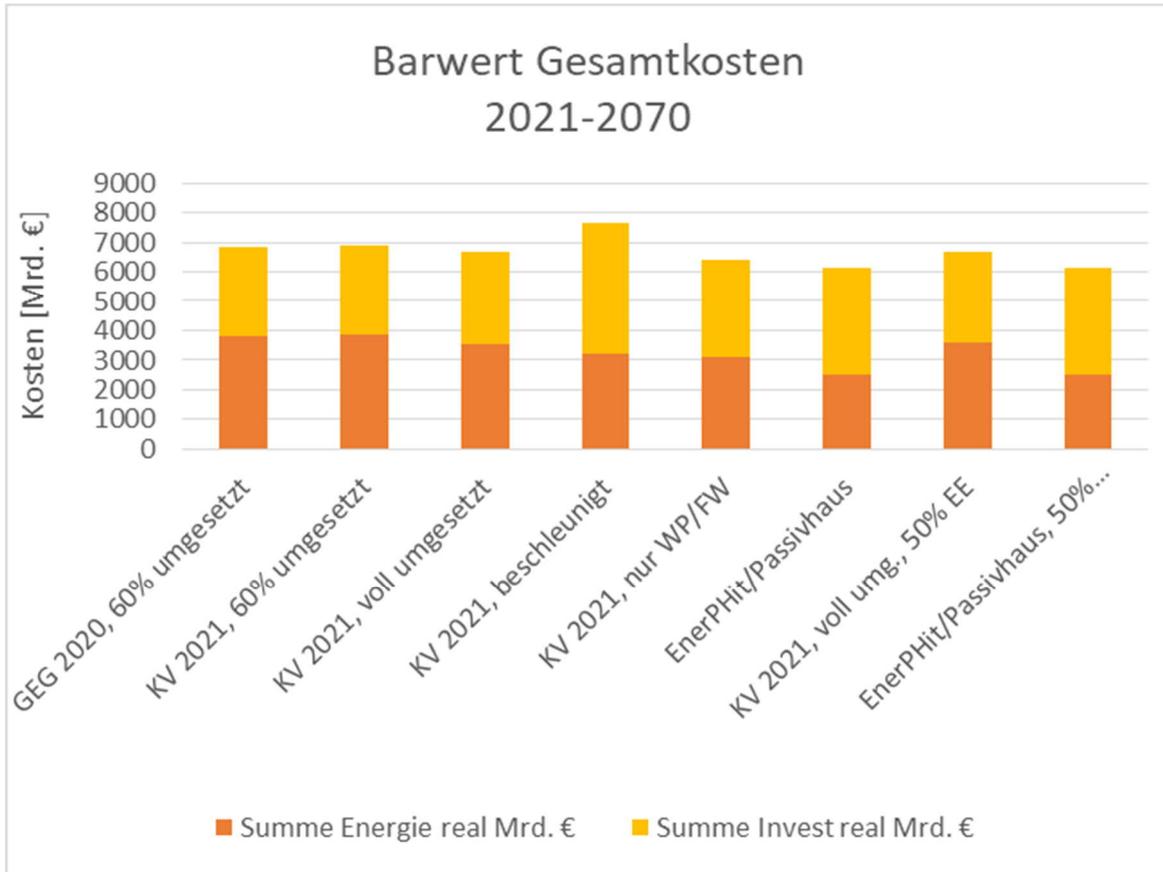


Abbildung 14: Energie- und Investitionskosten der der energierelevanten Maßnahmen in den untersuchten Szenarien.

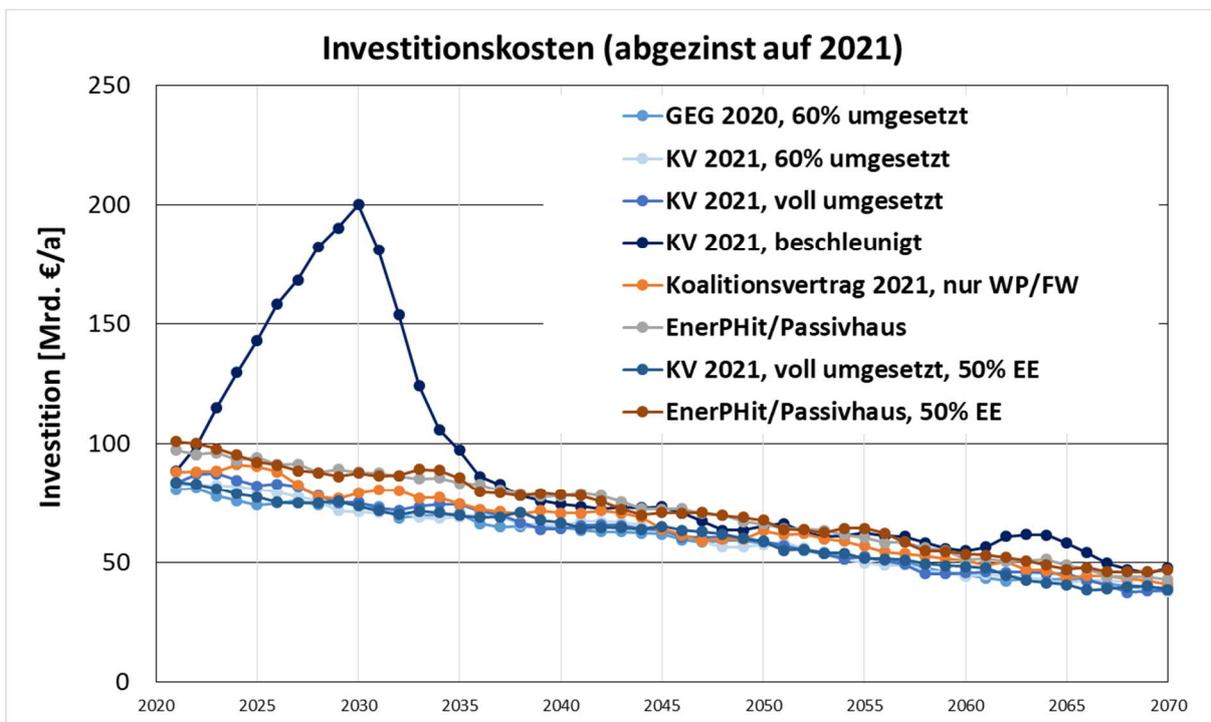


Abbildung 15: Investitionskosten der der energierelevanten Maßnahmen in den untersuchten Szenarien im Zeitverlauf

6 Bewertung

Die im Koalitionsvertrag 2021 getroffenen Vereinbarungen wären unter den in dieser Studie vorausgesetzten, sehr optimistischen Annahmen theoretisch geeignet, den Zielen des Pariser Klimaschutzabkommens für den Gebäudesektor nahe zu kommen. Eine konsequente Umsetzung des EnerPHit-Standards im Altbau und des Passivhausstandards im Neubau ist jedoch deutlich vorteilhafter, und zwar sowohl von den Treibhausgasemissionen her als auch ökonomisch. Außerdem bietet dieser Weg eine bessere Resilienz und höhere Flexibilität sowie die Möglichkeit, die Emissionen einzelner schwer sanierbarer Gebäude zu kompensieren.

In Zukunft kommt es auf folgende Dinge an:

- a) Konsequente Anwendung des Kopplungsprinzips. Wird eine Komponente erneuert, muss die Chance, auch die Effizienz auf ein zukunftsfähiges Niveau zu verbessern, stets genutzt werden. Ausnahmetatbestände für bedingte Maßnahmen sind zu reduzieren.
- b) Weiterhin sind Anforderungen an die Qualität der Gebäudehülle zu stellen, im Bestand z.B. über U-Wert-Vorgaben oder Maximalwerte von H'_{T} . Im Neubau erfolgt dies besser über einen wohn-/nutzflächenbezogenen Heizwärmebedarf. Damit wird eine zuverlässige Grundlage für einen niedrigen Energiebedarf überhaupt erst geschaffen. Eine reine Primärenergie- oder CO₂-Anforderung ist keinesfalls ausreichend.
- c) Hohe Qualitäten müssen tatsächlich umgesetzt werden – bei jeder Sanierung, gleich aus welchem Anlass. Eine Qualitätssicherung im Stil der Passivhaus-Zertifizierung, ergänzt durch einzelne Vor-Ort-Termine, wäre hier hilfreich. Adäquate CO₂-Preise, die gleichermaßen von Mietern und Vermietern getragen werden, können unterstützend wirken. Dass hohe Energiekosten sozial abgedeckt werden sollten, ist im Koalitionsvertrag bereits vorgesehen. Dies gelingt vor allem dann, und zwar nachhaltig, wenn die Maßnahmen die Verbesserung der Energieeffizienz, also die Senkung des Energieverbrauches, zielen. Einen hohen Bedarf zu bezuschussen, und damit das System der fossilen Energien mit all seinen Implikationen weiter zu stützen, wäre kontraproduktiv.
- d) Der Ausbau der erneuerbaren Energien muss tatsächlich wie geplant umgesetzt werden. Gelingt dies nicht, ist eine höhere Effizienz noch entscheidender. Egal, wie die künftige Entwicklung genau verlaufen wird, hocheffiziente Gebäude erlauben es, Sackgassen zuverlässig zu vermeiden, sie sind eine No-Regret-Maßnahme. Sie erleichtern die Situation vor allem auch dann, wenn es im Verlauf der Umstellungen z.B. zu politisch bedingten Engpässen bei der fossilen Energieversorgung kommt!
- e) Empfehlenswert sind Lüftungs-WRG und verbesserte Luftdichtheit, um die Lasten insbesondere im Winter zu reduzieren. Die Lastminimierung ist wichtig, weil dadurch vor allem bei Wärmepumpen die Investitionskosten sinken und/oder weniger teurer Spitzenstrom benötigt wird. In den besonders kritischen Perioden, in denen viel geheizt werden muss, gleichzeitig die Sonne

nicht scheint und der Wind kaum weht, lassen sich so erhebliche Kosten einsparen. Auch die Investitionen in den Netzausbau können so leichter geschultert werden. Wärmepumpen sind stets so auszulegen, dass sie auch im Heizlastfall noch effizient arbeiten.

- f) Es werden geeignete Maßstäbe für die Effizienz der Gebäude benötigt. Ungeeignet ist eine reine CO₂-Bewertung, denn CO₂ ist ein, wie auch die nicht erneuerbare Primärenergie, bewegliches Ziel und würde als Maßstab jede Relevanz verlieren, wenn die Energieversorgung vollständig erneuerbar erfolgt. Das ist nicht sachgerecht, da jede Form der Energiebereitstellung einen ökologischen Aufwand bedeutet (im günstigsten Fall ist es die zusätzliche Flächennutzung). Die Effizienz der Gebäudehülle als langlebigste Komponente ist separat zu bewerten, besonders geeignet ist dazu der spezifische Heizwärmebedarf. Die Belastung des künftigen erneuerbaren Energiesystems durch das Gesamtgebäude einschließlich Wärmeversorgung kann z.B. gut anhand des PER-Systems beurteilt werden.

Im oben beschriebenen Szenario **EnerPHit/Passivhaus** reicht die nur wenig verstärkte natürliche Erneuerungsrate aus, um den Heizwärmebedarf des Gebäudebestands innerhalb von 20 bis 30 Jahren um einen Faktor 2 zu reduzieren. Dies ist durch das Kopplungsprinzips außerordentlich wirtschaftlich – für die wichtigsten Maßnahmen sogar günstiger als die heutige Bereitstellung von Heizwärme aus fossilen Energiequellen. Die Umsetzung dieser Maßnahmen kann dann nicht nur Energiekosten einsparen und die CO₂-Emissionen auf nahe Null senken, sie entlastet die Haushalte auch finanziell. Zudem wird zur Durchführung baulicher Maßnahmen regionale Arbeitskraft an Stelle fossiler Energie aus dem Ausland eingesetzt. Dies schafft Arbeitsplätze und erhöht die Inlands-Wertschöpfung. Ferner erhöht ein solches, am EnerPHit-Prinzip orientiertes Vorgehen die Einnahmen der öffentlichen Hand – es entsteht eine mehrfache Win-win-Situation.

Allerdings: Dieses Szenario läuft nicht von selbst ab. Es erfordert aktiv zu schaffende Randbedingungen, die wir hier noch einmal aufführen:

1. Kommunikation: Beispiele von Gebäude-Sanierungen auf ein nachhaltiges Effizienzniveau sind mannigfach vorhanden. Machen wir sie besser bekannt! Dazu bedarf es Informations-Initiativen. Eine gute Basis dafür sind die verfügbaren Projektdokumentationen in der Passivhaus-Datenbank (<https://passivehouse-database.org/>) und die internationalen Tage des Passivhauses. Der Schwerpunkt liegt jetzt auf dem Gebäudebestand!
2. Umsetzung in hoher Qualität („wenn schon, denn schon“) und – auch wenn es schnell gehen soll – ohne weitere spätere Maßnahmen zu behindern. Dazu braucht es Kapazität im Handwerk, und eine (schnell vermittelbare) Grundausbildung zum Thema „warum Energieeffizienz im Gebäudebestand, und wie wird das effektiv und nachhaltig erreicht“.
3. Weiterbildung: Verbreiten wir das Know-how zu energieeffizienten Sanierungen. Eine gute Basis dafür sind die angebotenen Kurse: <https://cms.passivehouse.com/de/training/kurse/>.

4. Helfen wir der Industrie, ihre Baukomponenten-Produktion zügig auf energieeffiziente Komponenten umzustellen. Hier gibt es mit den zertifizierten Passivhaus-Komponenten gute Beispiele – kleine und große Unternehmen haben diese Umstellung bereits erfolgreich gemeistert; das ist nicht so schwer, wie manche denken. Das Passivhaus-Institut steht Unternehmen mit Rat zur Seite. Passivhausgeeignete Komponenten sind dokumentiert in der Komponenten-Datenbank: www.componentdatabase.org.
5. Die Finanzmittel verfügbar machen: Dazu kommt es jetzt vor allem auf die Bereitschaft der Banken an, solche Sanierungsmaßnahmen auch bevorzugt zu finanzieren. Die Zinssätze sind derzeit niedrig, Investitionsprojekte werden eigentlich gesucht – das sollten gute Voraussetzungen sein. Vielfach zögern Banken aber gerade bei dem Klimaschutz dienenden Maßnahmen, weil hier oft realistische und nicht spekulative Renditeerwartungen angegeben werden – das ist, seriös betrachtet, ein Vorteil.
6. Die öffentliche Förderung von Maßnahmen muss darauf ausgerichtet werden, die Abhängigkeit von fossilen Energieträgern zu überwinden: sowohl CO₂ einsparen, als auch dafür sorgen, dass mit den Fördertatbeständen die Klimaneutralität stimmig erreicht werden kann. Daher dürfen keine System gefördert werden, die als „Brückentechnologie“ weiterhin auf fossile Energieträger setzen. Ebenso wenig wie Anreize für minderwertige Sanierungen gegeben werden dürfen, z.B. solche ohne Verbesserung der Lüftung (Corona!), solche, bei denen wieder Zweischeibenverglasungen oder ungedämmte Fensterrahmen eingesetzt werden, etc. Vielmehr sollten, den Ergebnissen der Szenarien zufolge, besondere Anreize für energetisch hocheffiziente Sanierungen gesetzt werden.

Aus einem Programm, das zur Verwendung hocheffizienter Komponenten bei kompetenter Planung und fachkundiger Ausführung führt, folgt fast automatisch ein nachhaltiger Gebäudebestand.

Alles andere aber liefert keinen adäquaten Beitrag zum Klimaschutz – im Gegenteil, es schreibt den schlechten Zustand über weitere Jahrzehnte fest (Lock-in-Effekt).

7 Literatur

- [AEE 2021] Agentur für erneuerbare Energien: *Potenziale der Windenergie*. <https://www.unendlich-viel-energie.de/erneuerbare-energie/wind/onshore/potenziale-der-windenergie>, abgerufen 10.12.2021
- [Agora 2018] Ifeu, Fraunhofer IEE und Consentec: *Wert der Effizienz im Gebäudesektor in Zeiten der Sektorenkopplung*. Studie im Auftrag von Agora Energiewende, November 2018. www.agora-energiewende.de/fileadmin2/Projekte/2017/Heat_System_Benefit/143_Heat_System_benefits_WEB.pdf, abgerufen 30.5.20
- [AK 55] Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser Phase V, Protokollband Nr. 55: *Sozialer Geschosswohnbau: Kostengünstig und energieeffizient – (k)ein Widerspruch?* Passivhaus Institut, Darmstadt, 2021. https://passipedia.de/medien/medien/veroeffentlichungen/uebersicht_protokollbaende, abgerufen 24.3.22
- [Andreae 2021] Andreae, Kerstin: *Koalitionsvertrag gibt Grund zu Optimismus für mehr Tempo bei der Energiewende*. <https://www.bdew.de/presse/presseinformationen/koalitionsvertrag-gibt-grund-zu-optimismus-fuer-mehr-tempo-bei-der-energiewende/>, abgerufen 10.12.2021
- [Bundesregierung 2020] *Grundlage für CO₂-Preis steht*. <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/nationaler-emissionshandel-1684508>, abgerufen 19.2.22
- [Dena 2018] Deutsche Energieagentur: *dena-Leitstudie Integrierte Energiewende, Impulse für die Gestaltung des Energiesystems bis 2050*. Dena, Juli 2018. www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/9261_dena-Leitstudie_Integrierte_Energiewende_lang.pdf, abgerufen 30.5.20
- [Dena 2021] Deutsche Energieagentur: *dena-Gebäudereport 2021, Fokusthemen zum Klimaschutz im Gebäudebereich. Zahlen, Daten, Fakten*. https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2021/dena-Gebaeudereport_2021_-_Fokusthema_Zahlen__Daten__Fakten.pdf, abgerufen 27.6.21
- [districtPH 2021] Passivhaus Institut: *districtPH – Energieeinsparpotenziale auf Quartiersebene bewerten!* https://passiv.de/de/04_phpp/07_districtph/07_districtph.html, abgerufen 13.7.21

- [ESYS 2017] Ausfelder et al.: *"Sektorkopplung" – Untersuchungen und Überlegungen zur Entwicklung eines integrierten Energiesystems*, München 2017. energiesysteme-zukunft.de/fileadmin/user_upload/Publikationen/PDFs/ESYS_Analyse_Sektorkopplung.pdf, abgerufen 30.5.20
- [Feist 2021] Feist, W.: *Energieeffizienz und Erneuerbare*. In: *Energieeffizienz und erneuerbare Energien: Zielkonflikt oder Synergie?* Protokollband Nr. 56 zum Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser. Passivhaus Institut, Darmstadt, 2021.
- [GEMIS 4.95] Internationales Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und –strategien: *Ausgewählte Ergebnisse von GEMIS 4.95*. http://iinas.org/tl_files/iinas/downloads/GEMIS/2017_GEMIS-Ergebnisse-Auszug.xlsx, abgerufen 19.2.2022
- [Grove-Smith 2021] Grove-Smith, J., Krick, B., Feist, W.: *Primärenergiebewertung in einer erneuerbaren Energieversorgung: Das PER-System*. In: *Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Protokollband 56, Energieeffizienz und erneuerbare Energien: Zielkonflikt oder Synergie?* Passivhaus Institut 2021 (in Vorbereitung).
- [Hörner 2021] Hörner, M.: *Der Bestand der Nichtwohngebäude in Deutschland: Daten und Fakten*. https://www.datanwg.de/fileadmin/user/iwu/210428_IWU_PT_dataNWG_DatenundFakten.pdf, abgerufen 10.7.21
- [IEA 2021] Budinis, Sarah: *Direct air capture*. <https://www.iea.org/reports/direct-air-capture>, abgerufen 10.10.21
- [IPCC 2018] Masson-Delmotte, V. u. a. (Hrsg.): *Global Warming of 1.5 °C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5 °C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. 2018
- [IPCC 2022] IPCC, 2022: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.
- [ISE 2020] Sterchele, P. et al.: *Wege zu einem klimaneutralen Energiesystem. Die deutsche Energiewende im Kontext gesellschaftlicher Verhaltensweisen*. Fraunhofer ISE, Freiburg, Februar 2020. www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Fraunhofer-ISE-Studie-Wege-zu-einem-klimaneutralen-Energiesystem.pdf, abgerufen 30.5.20

- [Kah 2008] Kah, O., Feist, W: *Bewertung energetischer Anforderungen im Lichte steigender Energiepreise für die EnEV und die KfW-Förderung*, BBR, Projekt-Nr. 10.8.17.7-06.13, PHI Darmstadt 2008
- [Koalition 2021] SPD, Bündnis 90/Die Grünen, FDP: *Mehr Fortschritt wagen. Bündnis für Freiheit, Gerechtigkeit und Nachhaltigkeit*.
<https://www.bundesregierung.de/resource/blob/974430/1990812/04221173eef9a6720059cc353d759a2b/2021-12-10-koav2021-data.pdf>, abgerufen 15.1.22
- [Kost 2021] Kost, Ch. et. al.: *Stromgestehungskosten Erneuerbare Energien Juni 2021*.
https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/DE2021_ISE_Studie_Stromgestehungskosten_Erneuerbare_Energien.pdf, abgerufen 10.10.21
- [Loga 2015] Loga, Tobias; Stein, Britta; Diefenbach, Nikolaus; Born, Rolf: *Deutsche Wohngebäudetypologie – Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden*. Zweite erweiterte Auflage, IWU 2015.
https://www.iwu.de/fileadmin/publikationen/gebaeudebestand/episcope/2015_IWU_LogaEtAl_Deutsche-Wohngeb%C3%A4udetypologie.pdf, abgerufen 28.12.2021
- [Passipedia 2021] Passivhaus Institut: *Erneuerbare Primärenergie – PER*,
https://passipedia.de/grundlagen/energiewirtschaft_und_oekologie/erneuerbare_primaerenergie_per, abgerufen 3.8.21
- [Passipedia 2021a] Passivhaus Institut: *EnerPHit: Energiestandard für die Modernisierung mit Passivhaus-Komponenten*.
<https://www.passipedia.de/zertifizierung/enerphit>
- [Rahmstorf 2020] Rahmstorf, S.: *Climate Crisis: What we know and what we can do about it*. Vortrag auf der 24 Internationalen Passivhaustagung. Videoaufnahme auf <https://www.youtube.com/watch?v=6vGmrB--gtg>.
Sowie: *Zwei Grafiken zeigen den Weg zu 1,5 Grad*.
<https://scilogs.spektrum.de/klimalounge/zwei-grafiken-zeigen-den-weg-zu-15-grad/>, jeweils abgerufen 11.8.2021
- [Schnieders 2021] Schnieders, J., Feist, W., Grove-Smith, J., Krick, B.: *Der Weg zu einem klimaverträglichen Gebäudebestand*. In: Tagungsband der 25. Internationalen Passivhaustagung 2021. Passivhaus Institut, Darmstadt, 2021
- [UBA 2018] Umweltbundesamt: *Hohe Kosten durch unterlassenen Umweltschutz*.
<https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/hohe-kosten-durch-unterlassenen-umweltschutz>, abgerufen 11.8.2021

- [UBA 2020] Umweltbundesamt: *Methodenkonvention 3.1 zur Ermittlung von Umweltkosten, Kostensätze*. Dessau-Roßlau, Dezember 2020.
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-12-21_methodenkonvention_3_1_kostensaetze.pdf,
abgerufen 19.2.2022
- [UBA 2022] Umweltbundesamt: *Pelletkessel*. Dessau-Roßlau, Februar 2022.
<https://www.umweltbundesamt.de/umwelttipps-fuer-den-alltag/heizen-bauen/pelletkessel#unsere-tipps>, abgerufen 24.2.22
- [Wirth 2021] Wirth, Harry: *Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland*.
Fraunhofer ISE,
<https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/aktuelle-fakten-zur-photovoltaik-in-deutschland.pdf>,
abgerufen 1.1.2022