

B E T

Energie. Weiter denken

ZUSAMMENFASSUNG

Machbarkeitsstudie Kohleausstieg und nachhaltige
Fernwärmeversorgung Berlin 2030

Eine Studie im Auftrag
der
Vattenfall Wärme Berlin AG und des Landes Berlin, vertreten durch
die Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz

Stand: 16.09.2019



Senatsverwaltung
für Umwelt, Verkehr
und Klimaschutz

INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung	3
2	Zielsetzung und Durchführung der Machbarkeitsstudie	3
3	Ausgangssituation	5
4	Der methodische Ansatz der Machbarkeitsstudie	7
4.1	Definition von Szenariorahmen für drei unterschiedliche Transformationsszenarien	8
4.2	Herleitung der Kenngrößen für die Bewertung der Klimaverträglichkeit	10
4.3	Emissionsbudget.....	11
4.4	Definition von drei möglichst klimafreundlichen dezentralen Versorgungsoptionen für die Ermittlung von Vergleichskenngrößen	12
5	Herleitung der Transformationspfade	14
6	Ergebnisse der Transformationsszenarien: Zeitraum Kohleausstieg bis 2030	17
6.1	Entwicklung der Wärmeerzeugung.....	17
6.2	Entwicklung der CO ₂ -Emissionen	20
6.3	Vergleich Entwicklung der Fernwärme und der dezentralen Versorgungsoptionen	21
6.4	Ergebnisse der Transformationsszenarien bis 2030	22
7	Ergebnisse der Transformationsszenarien: Zeitraum Dekarbonisierung 2031-2050..	23
7.1	Entwicklung der Wärmeerzeugung.....	23
7.2	Entwicklung der CO ₂ -Emissionen	24
7.3	Vergleich der Entwicklung der Fernwärme und der dezentralen Versorgungsoptionen	25
7.4	Zielerreichung der Transformationsszenarien beim Emissionsbudget.....	25
7.5	Ergebnisse der Transformationsszenarien, Zeitraum 2031-2050	26
8	ERGEBNISSE VON SENSITIVITÄTSRECHNUNGEN	26
9	Einordnung der Ergebnisse in die Berliner und die nationale Klimapolitik	28
10	Glossar	31

1 EINLEITUNG

Dieses Dokument fasst die Ergebnisse der „Machbarkeitsstudie Kohleausstieg und nachhaltige Fernwärmeversorgung Berlin 2030“ zusammen. Die Studie wurde von der Vattenfall Wärme Berlin AG und der Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz bei dem Beratungsunternehmens B E T als Gutachter beauftragt. Weiterhin wurden zahlreiche Teilstudien zur Realisierbarkeit einzelner Versorgungsoptionen durch Planungsbüros erstellt.

Die Erstellung wurde in einem in dieser Form einmaligen knapp zweijährigen Partizipationsprozess durchgeführt. Ein Begleitkreis, zusammengesetzt aus Vertreterinnen und Vertretern des Abgeordnetenhauses, der Berliner Stadtgesellschaft, der Gewerkschaften, der Wirtschaft und der Wissenschaft wurde einberufen, um den Prozess kritisch zu begleiten.

Dieses Dokument ist die Kurzfassung eines ausführlichen Endberichts.

2 ZIELSETZUNG UND DURCHFÜHRUNG DER MACHBARKEITSSTUDIE

Das Land Berlin hat sich zum Ziel gesetzt, bis spätestens 2050 klimaneutral zu werden und bis spätestens 2030 aus der Braun- und Steinkohlenutzung auszusteigen (Berliner Energiewendegesetz). Um das Ziel der Klimaneutralität zu erreichen, wird durch die Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz (nachfolgend SenUVK) eine Reduzierung der Kohlendioxidemissionen um 95 % gegenüber dem Stand 1990 für Berlin angestrebt. Ein wichtiges Handlungsfeld wird dabei in einer zukünftig nachhaltigen und klimaneutralen Wärmeversorgung Berlins gesehen. Ein wesentlicher Baustein dafür ist die zukünftige Gestaltung der Fernwärmeversorgung.

Vattenfall will innerhalb einer Generation ein Leben ohne fossile Brennstoffe ermöglichen. Das Unternehmensziel ist es, innerhalb einer Generation konzernweit vollständig aus der fossilen Energienutzung auszusteigen („fossil free within one generation“). Ein Schritt auf diesem Weg ist der stufenweise Verzicht auf fossile Brennstoffe für die Wärme- und Stromerzeugung. Ein wesentlicher Meilenstein dahin wird der Kohleausstieg sein. Der Ausstieg aus der Braunkohlenutzung wurde durch die Umstellung des Heizkraftwerks Klingenberg auf Gas bereits 2017 vollzogen. Vattenfall hat erklärt, in Berlin bis spätestens 2030 auch aus der Steinkohle und damit komplett aus der Nutzung von Kohle auszusteigen.

B E T

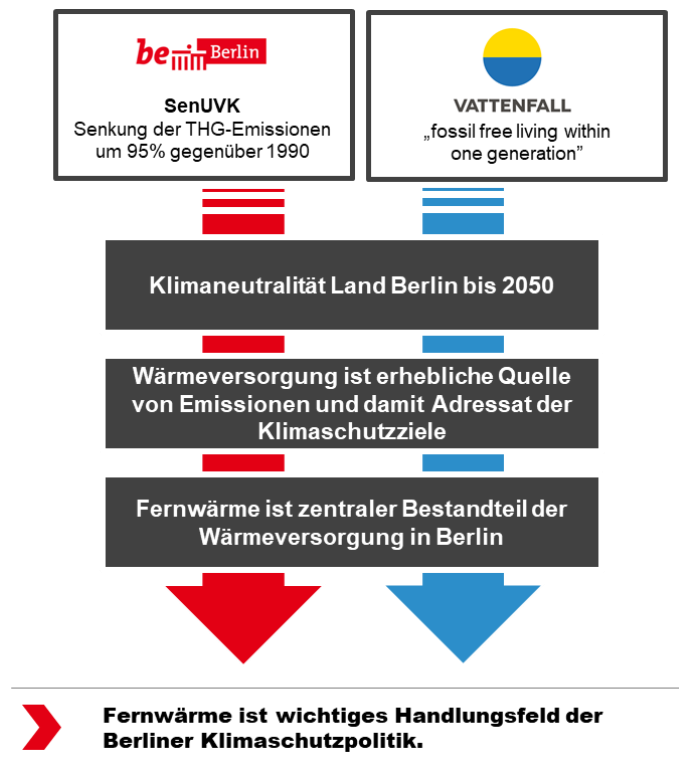


Abbildung 1: Einordnung der Berliner Klimaschutzziele

Das Ziel der vorliegenden Machbarkeitsstudie ist die Erarbeitung konkreter, klimafreundlicher Transformationspfade zum Ersatz der Kohleheizkraftwerke Reuter West und Moabit mit einem weitgehend CO₂-freien innovativen Technologiemix. Die Versorgungsoptionen zum Ersatz der beiden Kohleheizkraftwerke werden detailliert auf die technische, genehmigungsrechtliche und wirtschaftliche Machbarkeit für den Ersatz der Kohlewärme analysiert.

Als Grundlage für die Erstellung der Machbarkeitsstudie haben SenUVK und die Vattenfall Europe Wärme AG (ab 01.01.2018 Vattenfall Wärme Berlin AG, nachfolgend VWB) eine Vereinbarung abgeschlossen, die die Eckpunkte für die Machbarkeitsstudie festlegt:

- Abschaltung der Berliner Kohleheizkraftwerke der VWB bis spätestens 2030,
- Beitrag zur Erreichung des CO₂-Minderungszieles des Landes Berlin von 95 % bis 2050,
- Berücksichtigung der Impulse aus dem Berliner Energie- und Klimaschutzprogramm 2030 (BEK 2030¹) und
- Sicherstellung einer verlässlichen Versorgung mit sauberer und bezahlbarer Energie.

Vor diesem Hintergrund werden in der Machbarkeitsstudie drei konkret realisierbare Transformationspfade für den Ersatz der genannten Kohleheizkraftwerke in drei konsistenten Szenarien für den internationalen Energie- und den Berliner Wärmemarkt entwickelt. In zwei Klimaschutzszenarien (KS 95 und KS 80) werden mit 95 % bzw. 80 % eine unterschiedlich hohe Zielerreichung bei der Reduzierung der CO₂-Emissionen ggü. 1990 über alle Sektoren in Deutschland angenommen. In einem dritten Szenario, das lediglich als Vergleichsszenario dient, wird dagegen die Fortführung der gegenwärtig (Stand 2018) beschlossenen Maßnahmen in Land und Bund unterstellt (Current Policies–Szenario, CP).

¹ Senat von Berlin (2017): Vorlage – zur Beschlussfassung – Berliner Energie- und Klimaprogramm 2030, Umsetzungszeitraum 2017 bis 2021, Abgeordnetenhaus von Berlin Drucksache 18/0423.

3 AUSGANGSSITUATION

Vom gesamten Endenergiebedarf des Landes Berlin in Höhe von ca. 65 TWh/a entfallen mit rund 39 TWh/a ca. 60 % auf den Raumwärme- und Warmwasserbedarf des Gebäudesektors (Stand 2018). Daran hat die Fernwärme mit ca. 10,7 TWh/a einen Anteil von rund 27 %, wovon ca. 9,6 TWh/a auf VWB als größten Fernwärmeversorger Berlin entfallen. Damit deckt VWB rund 25 % am gesamten Wärmebedarf Berlins ab. Der Berliner Wärmemarkt wird darüber hinaus zu ca. 45 % mit Erdgasheizungen, ca. 20 % mit Ölheizungen, ca. 5 % mit Stromheizungen und zu weniger als 3 % mit Erneuerbaren Energien versorgt.

Im Land Berlin betreiben neben VWB die FHW Neukölln AG und BTB Blockheizkraftwerks-Träger- und Betreibergesellschaft mbH Berlin Fernwärmenetze und Erzeugungsanlagen. Mit ca. 90 % Anteil der Fernwärmeerzeugung ist VWB der mit deutlichem Abstand größte Fernwärmeversorger in Berlin. Alle drei genannten Unternehmen betreiben zurzeit mit Kohle gefeuerte Anlagen.

Nach der Quellenbilanz wurden 2016 in Berlin insgesamt 16,9 Mio. t CO₂ emittiert, dazu trug VWB mit 6,7 Mio. t/a CO₂ aus Strom- und Fernwärmeerzeugung bei. Die Anlagen im zu untersuchenden Versorgungsgebiet VG1 trugen dazu 4,0 Mio. t CO₂ bei. Die drei Kohleheizkraftwerke in Moabit und Reuter West verursachten dabei wiederum den größten Anteil mit ca. 3 Mio. t der Emissionen: Das sind ca. 75 % der Emissionen der Anlagen im VG1 und ca. 18 % an den gesamten Berliner Emissionen (Quellenbilanz) (vgl. Abbildung 2). Das Kohleheizkraftwerk Reuter C, das bis 2020 stillgelegt wird, emittierte in 2016 ca. 0,4 Mio. t CO₂.

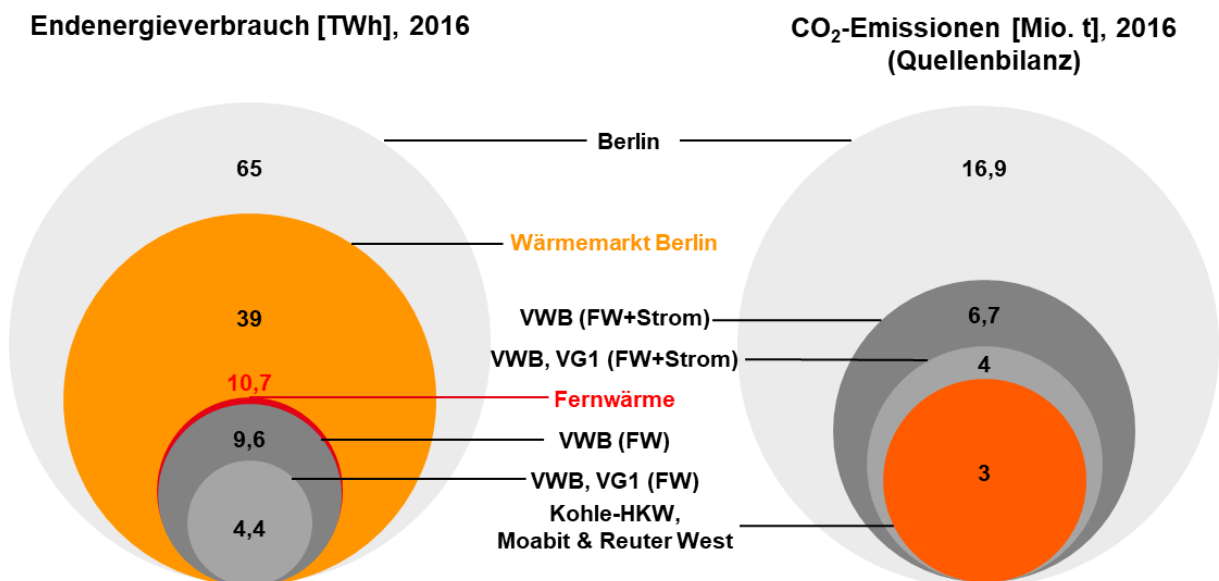


Abbildung 2: Übersicht zum Endenergieverbrauch in Berlin (Quellen: Amt für Statistik Berlin-Brandenburg, eigene Berechnungen Machbarkeitsstudie) & Übersicht CO₂-Emissionen in Berlin 2016 (Quellenbilanz)

Im Vergleich zu anderen Metropolregionen hat die Fernwärmeversorgung in Berlin einen besonders hohen Stellenwert. Die Fernwärmeerzeugung Berlins beträgt etwa 75 % der Fernwärmeerzeugung des bevölkerungsreichsten Bundeslandes Nordrhein-Westfalen und liegt fast doppelt so hoch wie die der Metropolregion Hamburg (vgl. Abbildung 3). Die Transformation des vergleichsweise sehr großen Berliner Fernwärmesystems stellt allein aufgrund der hohen Wärmeerzeugungsmengen in einem verdichteten innerstädtischen Raum eine besondere Herausforderung dar.

B E T

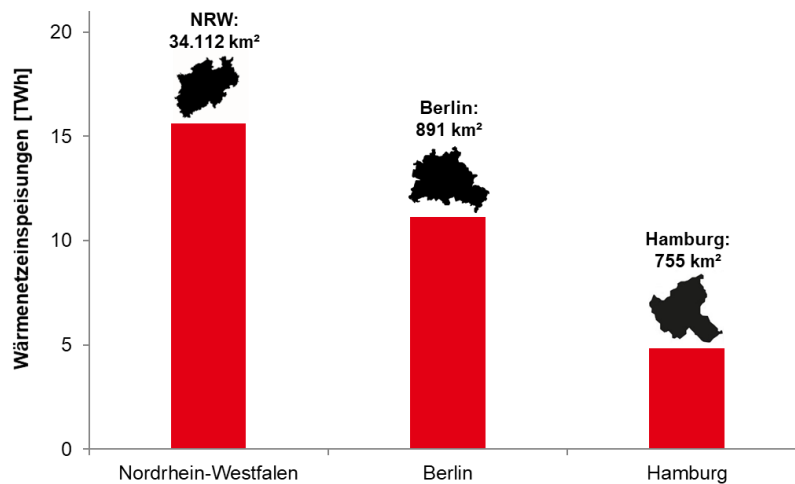


Abbildung 3: Vergleich Fernwärmeversorgung Berlin mit NRW und Hamburg

Das Fernwärmesystem der VWB ist unterteilt in zwei Versorgungsgebiete, die zwar hydraulisch verbunden sind, sich aber historisch bedingt technisch unterschiedlich entwickelt haben und somit weitgehend entkoppelt voneinander betrieben werden. Die beiden Kohleheizkraftwerke an den Standorten Reuter West (Blöcke D und E²) sowie Moabit (Block A) speisen in das Versorgungsgebiet 1 ein, das sich über den Westteil von Berlin erstreckt und in dem rund 4,7 TWh/a (Planzahl 2021) an Fernwärme erzeugt wird. Abbildung 2 zeigt die Einordnung der Wärmeanteile am Berliner Endenergiebedarf.

Das VG1 lässt sich wiederum in einen Fernwärmeverbund Nord und Süd untergliedern, wobei die Kohleheizkraftwerke mit einer maximalen thermischen Leistung von insgesamt 856 MW und zwischen 2,3 und 2,8 TWh jährlicher Wärmeerzeugung in den Fernwärmeverbund Nord einspeisen. Sie erzeugen damit rund 60 % der Fernwärme im VG1. Abbildung 4 Abbildung 2 gibt einen Überblick über das untersuchte Fernwärmesystem VG 1. Der besondere Fokus der Machbarkeitsstudie liegt auf dem VG1 und insbesondere dem Fernwärmeverbund Nord mit den drei zu ersetzenden Kohleblöcken.

² Der Kohleblock Reuter C geht voraussichtlich 2020 vom Netz und wurde daher in der Machbarkeitsstudie nicht mehr berücksichtigt.

B E T

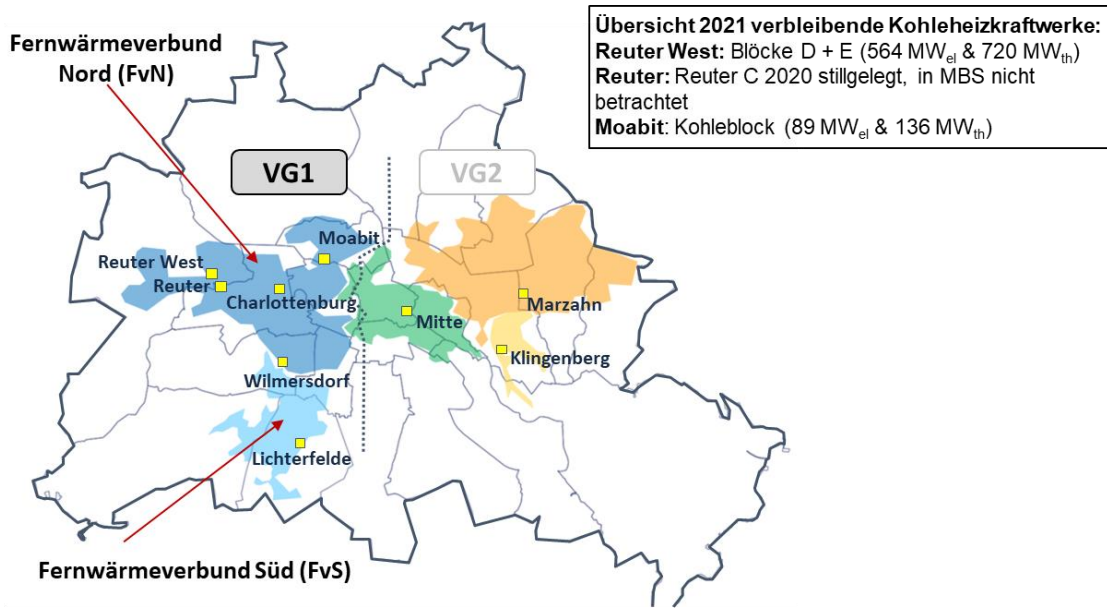


Abbildung 4: Übersicht Versorgungsgebiete und betrachtete Fernwärmeverbände, Erzeugungsstandorte

4 DER METHODISCHE ANSATZ DER MACHBARKEITSTUDIE

Die Machbarkeitsstudie folgt methodisch einem sehr umfangreichen systemischen Ansatz. In Abbildung 5 sind die verschiedenen Komponenten dieses Ansatzes in einem vereinfachten Schema dargestellt. Der Hauptteil der Untersuchung besteht aus einer umfangreichen quantitativen Bewertung des Anlagenparks der VWB mit einem Fokus auf das VG1 und hierbei wiederum dem Fernwärmeverbund Nord. Parallel erfolgt die Bewertung von drei möglichst klimafreundlichen dezentralen Versorgungsoptionen. Der Zweck dieser Bewertung ist es, Kenngrößen zur Klimaverträglichkeit und Kostenentwicklung zu erhalten und somit die Ergebnisse der Fernwärme in den gesamten Wärmemarkt einzuordnen.

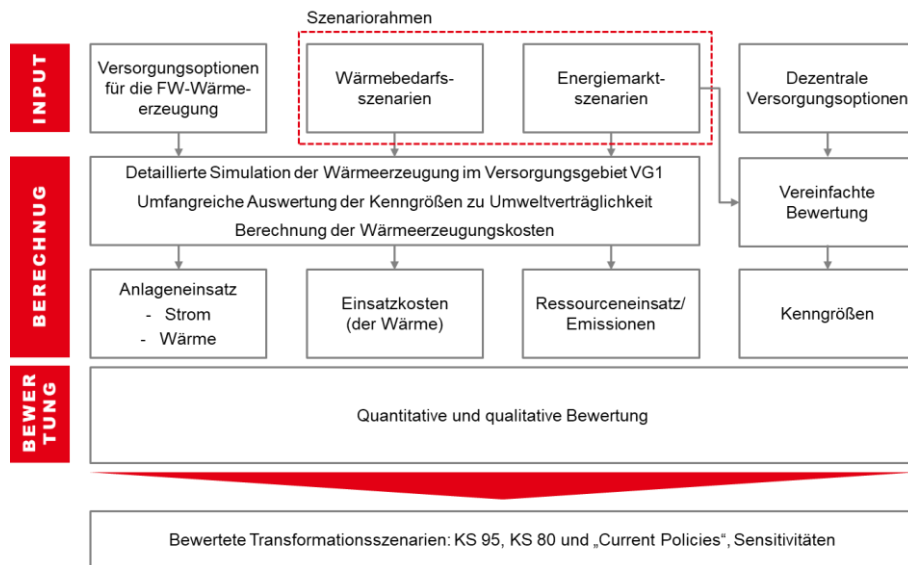


Abbildung 5: Schematische Darstellung des systemischen Ansatzes der Machbarkeitsstudie

4.1 Definition von Szenariorahmen für drei unterschiedliche Transformationsszenarien

Für eine langfristige Bewertung von Versorgungsoptionen zum Ersatz der Kohleanlagen im VG1 sind Wärmebedarfsszenarien und Energiemarktszenarien wichtige Bausteine des systemischen Ansatzes. Szenarien sind hierbei in sich konsistente größtenteils quantitative Beschreibungen möglicher zukünftiger Entwicklungen. In diese Szenarien fließen zahlreiche Annahmen über energiepolitische Rahmenbedingungen sowie technische und wirtschaftliche Entwicklungen ein. Viele dieser Annahmen betreffen Sachverhalte, die außerhalb des Landes Berlins entschieden werden: Zum Beispiel wird über die Entwicklung des EU-weiten Emissionshandels auf EU-Ebene entschieden, über das Gebäudeenergieeffizienzgesetz und damit über Anreize zu Wärmedämmmaßnahmen wird auf der bundespolitischen Ebene entschieden.

Um eine angemessene Bandbreite der möglichen Entwicklungen abzudecken, werden drei unterschiedliche Szenarien sowohl für die Entwicklung des Energiemarktes als auch des Wärmebedarfs definiert. Die Herleitung dieser Szenarien erfolgt durch Auswertung mehrerer umfassender Studien zur deutschen Klimaschutzpolitik³. In diesen Studien werden jeweils Maßnahmen benannt und quantitativ bewertet, mit denen die deutschen Klimaschutzziele von 80 - 95 % Treibhausreduktion bis 2050 gegenüber 1990 erreicht werden. Für die vorliegende Machbarkeitsstudie werden daraus zwei Klimaschutzszenarien (KS 80 und KS 95) und ein Current Policies-Szenario (CP) abgeleitet. Die für das Fernwärmeversorgungsgebiet abgeleiteten Wärmebedarfsszenarien sind dabei konsistent mit dem jeweiligen Energiemarktszenario; beides zusammen bildet den Szenariorahmen für die Machbarkeitsstudie.

- Im Szenariorahmen KS 95 wird in Deutschland eine stark ambitionierte Klimaschutzpolitik verfolgt. Konkret werden die Treibhausgasemissionen über alle Sektoren in Deutschland bis 2050 um 95 % ggü. 1990 reduziert. In dem Szenario steigt der Bruttostromverbrauch bis 2050 deutlich, unter anderem weil umfangreiche Sektorkopplung, also die Nutzung von überschüssigen EE-Strom für die Wärmeerzeugung und für die Herstellung von synthetischen Kraftstoffen (Wasserstoff) und Gasen, erfolgt. Das Ziel, den Anteil der EE-Stromerzeugung am Bruttostromverbrauch auf 95 % zu erhöhen, wird erreicht. In diesem Szenario ist synthetisches Gas und Wasserstoff auf Basis von EE-Stromerzeugungsanlagen verfügbar. Der Preis für Emissionszertifikate steigt bis auf 126 €/t (real). Im Berliner Wärmemarkt werden pro Jahr deutlich mehr Gebäude saniert als bisher. Auch die Sanierungstiefe, also der Umfang der energieeffizienten Gebäudesanierung, steigt deutlich an. Das Fernwärmenetz im VG1 wird deutlich verdichtet und erweitert, um insbesondere fossile gas- und ölgefeuerte Anlagen zu substituieren.
- Im Szenariorahmen KS 80 wird in Deutschland eine ambitionierte Klimaschutzpolitik umgesetzt. Die Emissionen werden deutschlandweit über alle Sektoren entsprechend dem 80%-Reduktionsziel für die Treibhausgasemissionen gegenüber 1990 gesenkt. Die hierfür erforderlichen Maßnahmen sind weniger anspruchsvoll im Vergleich zum KS 95, insbesondere ist weniger Sektorkopplung notwendig. Als Folge steigt der Bruttostromverbrauch weniger stark an als im Szenariorahmen KS 95. Dadurch, und weil 88 % EE-Stromerzeugungsanteil am Bruttostromverbrauch als Zielerreichung genügen und der Bruttostromverbrauch geringer ist, müssen deutlich weniger EE-Stromerzeugungskapazitäten zugebaut werden. Der Einsatz von Erneuerbarem Gas wird nicht unterstellt. Im Berliner Wärmemarkt erfolgt die Sanierung der Gebäude mit geringerer Häufigkeit als im Szenariorahmen KS 95. Sanierungen werden weniger umfangreich ausgestaltet. Das Fernwärmenetz wird etwas weniger stark verdichtet als im Szenariorahmen KS 95. Die Fernwärmeerweiterungsgebiete sind jedoch die gleichen, wie im Wärmebedarfsszenario KS 95.

³ U.a. BCG & Prognos. (2018). Klimapfade für Deutschland. Studie im Auftrag des Bundesverbandes des deutschen Industrie. | Fraunhofer ISI & Consentec GmbH & ifeu. (2017). Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland - Modul 3: Referenzszenario und Basisszenario. | Öko-Institut e.V. & Fraunhofer ISI. (2015). Klimaschutzszenario 2050 - 2. Endbericht. Berlin.

B E T

- Der Szenariorahmen Current Policies setzt am deutschen / europäischen Energiemarkt die aktuellen politischen Entwicklungen (Stand 2018) fort. Das heißt u. a., dass das 65 % Ausbauziel für die EE-Stromerzeugung in 2030 in Deutschland verfehlt wird. Der Bruttostromverbrauch steigt gegenüber dem heutigen Niveau nur relativ leicht an. Im Jahr 2050 erreicht die EE-Stromerzeugung 83 % des Bruttostromverbrauchs. Am Berliner Wärmemarkt wird die jetzige Sanierungsrate und Sanierungstiefe beibehalten. Das Fernwärmenetz wird entsprechend der heutigen Entwicklung verdichtet und nicht erweitert.

Abbildung 6 stellt die Hintergründe und einige charakteristische Kenngrößen der drei Szenariorahmen vor:

Szenariorahmen „KS 95“	Szenariorahmen „KS 80“	Szenariorahmen „Current Policies“
<p>Energiemarktszenario „KS 95“: starke ambitionierte Klimaschutzpolitik</p> <p>THG-Reduktion: 95 % in 2050 Bruttostromverbrauch (2050): 750 TWh Anteil EE-Stromerzeugung: 96% CO₂-Preis (2050): ca. 126 €/t</p>	<p>Energiemarktszenario „KS 80“: weniger ambitionierte Klimaschutzpolitik als im KS 95</p> <p>THG-Reduktion: 80 % in 2050 Bruttostromverbrauch (2050): 680 TWh Anteil EE-Stromerzeugung: 88% CO₂-Preis (2050): ca. 93 €/t</p>	<p>Energiemarktszenario „Current Policies“: Die aktuelle politische Entwicklung wird weiter fortgeschrieben.</p> <p>THG-Reduktion: etwa 60 % in 2050 Bruttostromverbrauch (2050): 620 TWh Anteil EE-Stromerzeugung: 83% CO₂-Preis (2050): ca. 39 €/t</p>
<p>Wärmebedarfsszenario „KS 95“: Sehr ambitionierte Gebäudesanierungsrate und „konsequente Modernisierung“</p> <p>Marktdurchdringung: 48% Sanierungsrate: Ø 2,2 %/a Netzverdichtung und –erweiterung FW-Bedarf VG1, 2030: 4,7 TWh FW-Bedarf VG1, 2050: 3,9 TWh</p>	<p>Wärmebedarfsszenario „KS 80“: Hohe Gebäudesanierungsrate und „moderate Modernisierung“</p> <p>Marktdurchdringung: 44 % Sanierungsrate: Ø 1,5 %/a Netzverdichtung und –erweiterung FW-Bedarf VG1, 2030: 5,0 TWh FW-Bedarf VG1, 2050: 4,8 TWh</p>	<p>Wärmebedarfsszenario „Current Policies“: Gebäudesanierungsrate bleibt auf aktuellem Niveau</p> <p>Marktdurchdringung: 34 % Sanierungsrate: Ø 0,6 %/a Netzverdichtung FW-Bedarf VG1, 2030: 4,7 TWh FW-Bedarf VG1, 2050: 5,0 TWh</p>

Abbildung 6: Übersicht über die Szenariorahmen der drei Transformationsszenarien

Die Energiemarktszenarien wurden mit dem Fundamentalmodell der B E T für den europäischen Strommarkt erstellt. Mit Annahmen u. a. zu den politischen Rahmenbedingungen, zur Entwicklung der Preise für Brennstoffe und CO₂ oder auch zur Stromnachfrage werden der Erzeugungsmix im europäischen Strommarkt sowie die Entwicklung der Strompreise errechnet. Darüber hinaus liefert das Modell auch Informationen, die für eine ökologische Bewertung der Versorgungsoptionen herangezogen werden können (z. B. preissetzende Erzeugungsanlage zur Bewertung von CO₂-Emissionen).

Die Wärmebedarfsszenarien basieren auf dem energetischen Berliner Gebäudemodell, das im Rahmen der Arbeiten in der Studie „Klimaneutrales Berlin 2050“⁴ für die Entwicklung des Energieverbrauchs des Berliner Gebäudebestands erstellt wurde. Die Analysen der Daten im Berliner Gebäudemodell zeigen, dass der Untersuchungsraum VG1 ein hochverdichteter Innenstadtbereich ist, mit einem sehr hohen Anteil an Altbauten aus der Gründerzeit.

Das energetische Gebäudemodell wurde für die Wärmebedarfsentwicklung im Fernwärmeversorgungsgebiet aufbereitet und lieferte je Gebäudeblock den Wärmebedarf sowie weitere Kenndaten, aus denen u. a. die

⁴ Potsdam-Institut für Klimaforschung, Institut für ökologische Wirtschaftsforschung GmbH, BLS Energieplan GmbH, et al. (2014). Machbarkeitsstudie Klimaneutrales Berlin 2050. Berlin: Auftraggeber Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin.

Wärmelastdichte und der Sanierungsstand abgeschätzt wurde. Diese Datensätze wurden in einem geografischen Informationssystem analysiert. Diese Analyse bildete die Grundlage, um die Entwicklung des Gebäudebestands und den damit verbundenen Wärmebedarf (Raumwärme, Warmwasser) im Versorgungsgebiet zu bestimmen. Darüber hinaus wurden aus diesen Informationen die Gebiete und Potenziale zur Verdichtung und Erweiterung des Fernwärmenetzes abgeleitet.

Das Wärmebedarfsszenario KS 95 lehnt sich an das Zielszenario II der Studie „Klimaneutrales Berlin“ an, das Szenario KS 80 an das Zielszenario I.

Weiterhin wurde der Wärmebedarf auf eine langfristig erwartete Einwohnerzahl von 4 Mio. Einwohnern umgerechnet. Es erfolgte auch ein Abgleich mit Vertriebsdaten der VWB.

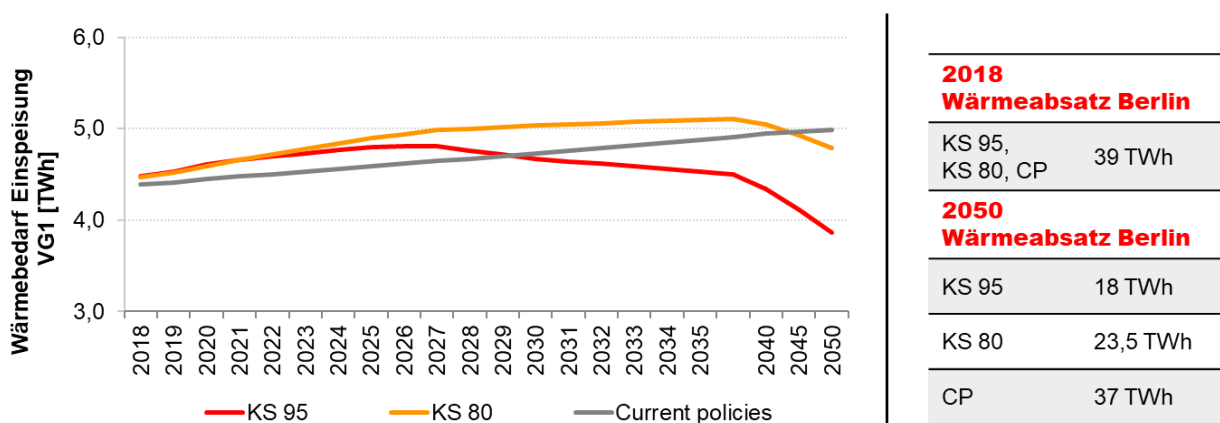


Abbildung 7: Entwicklung des Wärmebedarfs (Absatz & Verluste) im Betrachtungszeitraum & Vergleichszahlen Wärmeabsatz Berlin

4.2 Herleitung der Kenngrößen für die Bewertung der Klimaverträglichkeit

Der systemische Ansatz der Machbarkeitsstudie sieht die Herleitung mehrerer Kenngrößen für die Bewertung der Klimaverträglichkeit vor. Hierbei wird der Grundsatz beachtet, dass die Klimawirksamkeit der Kohlendioxidemissionen letztlich von der Gesamtheit der Emissionen unabhängig vom Ort und über einen Zeitraum abhängt. Die Kenngrößen werden deswegen so definiert, dass auch systemische Effekte Berliner Maßnahmen im gesamtdeutschen bzw. europäischen Energieversorgungssystem berücksichtigt werden.

Den Ausgangspunkt für die Ermittlung der Kohlendioxidemissionen bilden die Emissionen der Anlagen, die im Versorgungsgebiet 1 Wärme in das Fernwärmenetz einspeisen. Diese Emissionen werden als Produkt der eingesetzten Brennstoffmenge und eines CO₂-Emissionsfaktors ermittelt. Bei Erzeugungsanlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung werden dabei die gesamten Emissionen zur Erzeugung von Wärme und Strom erfasst. Regenerative Energiequellen und Abwärmequellen werden entsprechend der Festlegung der AGFW mit einem Emissionsfaktor von 0 t/MWh_{Brennstoffenergie} berücksichtigt⁵. Der Hintergrund dieser Festlegung ist, dass Abwärme *per definitionem* bisher ungenutzte Wärme von industriellen oder gewerblichen Prozessen ist. Eine Nutzung dieser Abwärme führt deswegen nicht zu einer Erhöhung der CO₂-Emissionen.

Der Ersatz der Kohleheizkraftwerke, der über die Transformationspfade beschrieben wird, hat auch Rückwirkungen auf andere Sektoren, die bei der Ermittlung der CO₂-Emissionen zu berücksichtigen sind. Dies betrifft

⁵ AGFW | Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e.V. (2016). Arbeitsblatt AGFW FW 309 Teil 6 Energetische Bewertung von Fernwärme – Bestimmung spezifischer CO₂-Emissionsfaktoren

zum einen den deutschen Strommarkt und zum anderen auch den Wärmemarkt in Berlin. Um bei der Entwicklung der CO₂-Emissionen aus den Anlagen zur Wärmeerzeugung eine Vergleichbarkeit zur Ausgangssituation zu gewährleisten, werden folgende drei Effekte berücksichtigt:

- **Der Einsatz von Strom zur Erzeugung von Fernwärme:** Ein derartiger Einsatz erfolgt zum Beispiel dann, wenn ein Elektrokessel Wärme erzeugt (Power-to-Heat) oder wenn eine elektrisch betriebene Wärmepumpe eingesetzt wird. Dieser Stromeinsatz führt zu einer höheren Produktion von Stromerzeugungsanlagen im deutschen Strommarkt und ist mit zusätzlichen CO₂-Emissionen verbunden. Diese werden in einer stundenscharfen Betrachtung über den Emissionsfaktor des preissetzenden Kraftwerks am europäischen Strommarkt ermittelt. Die resultierenden Emissionen hängen demnach vom Zeitpunkt und der Menge des genutzten Stroms sowie vom jeweiligen Energiemarktszenario (Unterschiede im Erzeugungsmix) ab.
- **Veränderung der Stromerzeugung der KWK-Anlagen im VG1:** Durch die Veränderung des Anlagenparks zum Ersatz der Kohleheizkraftwerke verändert sich auch die Stromerzeugung aus KWK-Anlagen gegenüber dem Status quo. Bei einer Verringerung der Stromerzeugung muss die Differenzmenge durch eine andere Stromerzeugungsanlage im deutschen bzw. im europäischen Strommarkt zur Deckung der Stromnachfrage zur Verfügung gestellt werden, wodurch zusätzliche Emissionen entstehen. Umgekehrt verhält es sich bei einer Erhöhung der Stromerzeugung aus den KWK-Anlagen. Die mit der Veränderung der Stromerzeugung einhergehenden Emissionen werden ebenfalls über die stundenscharfe Betrachtung über den Emissionsfaktor des preissetzenden Kraftwerks am europäischen Strommarkt ermittelt. Eine verringerte Stromerzeugung führt zu einem Malus und eine Erhöhung führt zu einem Bonus bei den Gesamtemissionen.
- **Substitution anderer Wärmeerzeuger:** Die Steigerung des Marktanteils durch Verdichtung und Erweiterung des Fernwärmenetzes führt dazu, dass Wärmeerzeugung aus dezentralen Anlagen (i. W. Gas- und Ölheizungen, siehe Kapitel 3) verdrängt wird. Die verdrängten dezentralen Emissionen sind nur spekulativ zu ermitteln. Andererseits würde eine Nicht-Berücksichtigung dieser verdrängten Emissionen die Ergebnisse verzerren. Zur Herstellung der Vergleichbarkeit mit dem Ausgangszustand wird für die zusätzlichen Mengen aus Verdichtung und Erweiterung daher eine Gutschrift auf die CO₂-Emissionen vorgenommen (Multiplikation der zusätzlichen Wärmemengen für Verdichtung und Erweiterung mit den spez. Emissionen der anteiligen Fernwärmeerzeugung). Es werden also nur die mit der zusätzlichen Fernwärmeerzeugung verbundenen Emissionen gutgeschrieben. Tatsächlich wäre die Gutschrift höher, wenn z. B. eine Ölheizung durch die Fernwärme verdrängt wird. Es handelt sich also um eine sehr konservative Abschätzung.

4.3 Emissionsbudget

Die Wirkung der Kohlendioxidemissionen auf das Weltklima entsteht durch die Summe der globalen Treibhausgasemissionen seit Beginn der Industrialisierung. Die klimapolitische und wissenschaftliche Diskussion über die Umsetzung des Pariser Übereinkommens zum Schutz des Klimas wird dieser Tatsache mit dem Konzept der Emissionsbudgets gerecht. Emissionsbudgets sind hierbei die zulässige Menge von Treibhausgasemissionen über längere Zeiträume. Bei diesem Konzept ist es unerheblich, wann die Emissionen erfolgen, wichtig ist nur die Summe der Emissionen über den Zielzeitraum.

In der Machbarkeitsstudie wird ausgehend von Modellrechnungen des IPCC (International Panel for Climate Change) ein globales Budget hergeleitet, bei welchem mit einer Wahrscheinlichkeit von 66 % die globale Erderwärmung auf maximal 2°C begrenzt werden kann. Über einen Bevölkerungsschlüssel wird zunächst ein Budget für Deutschland berechnet, und dann über einen Sektorenschlüssel für die anteiligen Strom- und Fernwärmesektoren der dem VWB-Fernwärmesystem VG1 zurechenbare Anteil ermittelt. Diese Rechnung ergibt ein Budget in Höhe von rd. 0,051 Mrd. t also 51 Mio. t CO₂, welches für den Zeitraum ab 2015 noch zur Verfügung steht (vgl. Abbildung 8).

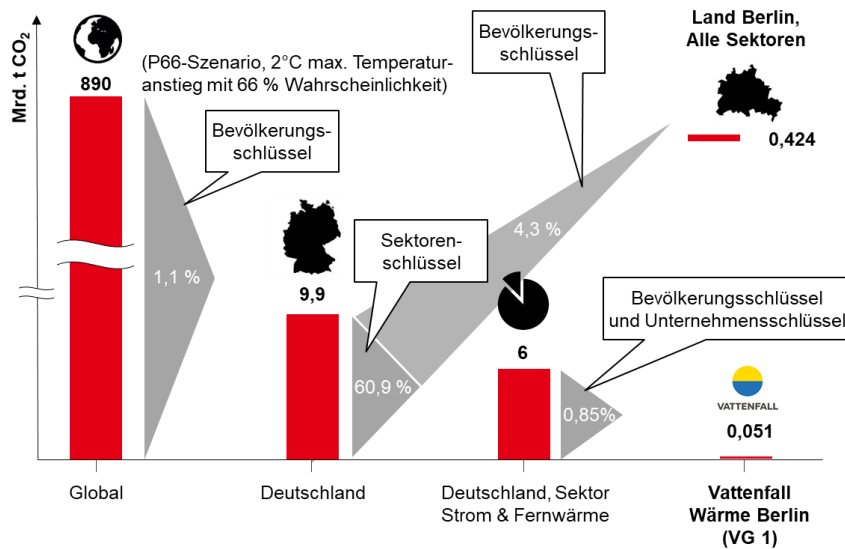


Abbildung 8: Herleitung des Emissionsbudgets für das Versorgungsgebiet 1 der Vattenfall Wärme Berlin und für das Land Berlin⁶

Auf Basis der gegenwärtigen Emissionen ist dieses errechnete Budget bereits nach weniger als 13 Jahren ab 2015 aufgebraucht (2°C Limit). Selbst wenn unterstellt wird, dass der Kohleausstieg bis 2030 vollzogen sein kann und bis 2050 95 % der Emissionen reduziert werden, kann mit keinem der technisch realisierbaren Szenarien das 2°C Limit gewährleistet werden.

4.4 Definition von drei möglichst klimafreundlichen dezentralen Versorgungsoptionen für die Ermittlung von Vergleichskenngrößen

Zur Einordnung der Wirtschaftlichkeit der Wärmeerzeugungskosten und der Klimaverträglichkeit der Fernwärme werden in der Machbarkeitsstudie drei möglichst klimafreundliche dezentrale Versorgungsoptionen definiert und bewertet.

Diese dezentralen Versorgungsoptionen werden jeweils für den Altbaubestand als auch für einen Neubau bewertet. Der Neubau ist hierbei naturgemäß sehr viel energieeffizienter als der Altbau. Eine Folge dessen ist ein höherer Anteil des Wärmebedarfs für die Warmwassererwärmung im Neubau als im Altbau. Außerdem sind die benötigten thermischen Leistungen, um den Neubau zu versorgen, kleiner.

Die drei möglichst klimafreundlichen dezentralen Versorgungsoptionen sind in Abbildung 9 dargestellt:

- **Dezentrales Gas-Blockheizkraftwerk und Gaskessel:** Das Blockheizkraftwerk ist in Verbindung mit einem Warmwasserspeicher so dimensioniert, dass es ganzjährig in einem festen Verhältnis Strom und Wasser erzeugt. Ein zusätzlicher Gaskessel ergänzt die Wärmeversorgung an kalten Tagen, an denen der Wärmebedarf nicht ausschließlich durch das BHKW abgedeckt werden kann bzw. übernimmt die Wärmeversorgung, wenn das BHKW ausfällt. Das BHKW erzeugt ca. 60 % der Wärme.
- **Solarthermie und Gaskessel:** Eine solarthermische Anlage auf dem Dach eines Mehrfamilienhauses erzeugt in Verbindung mit einem Warmwasserspeicher 50 % der Wärme für die Warmwasserbereitstellung und einen Teil des Wärmebedarfs für Raumwärme. Eine saisonale Speicherung findet nicht

⁶ Ein Emissionsbudget, das von einer maximalen Erwärmung von 1,5°C ausgeht, wäre deutlich geringer.

B E T

statt. Die solarthermische Anlage erzeugt im Altbau etwas über 13 % der Wärmeerzeugung. Im Neubau erreicht der Anteil der Solarthermie 17 % der Wärmeerzeugung. Die beschränkende Größe der Solarthermie ist nicht die Dachfläche, sondern das Fehlen einer saisonalen Speicherung, die aus Platzgründen im hochverdichteten Innenstadtraum nicht realisierbar ist. Den Rest der benötigten Wärme erzeugt der Gaskessel.

- **Luft-Wärmepumpe, Photovoltaik-Anlage und Gaskessel:** Eine elektrisch betriebene bivalente Luft-Wärmepumpe entnimmt der Luft Umweltwärme und erzeugt auf diese Art Wärme für Warmwasser und Raumheizung. Die Anlage wird ganzjährig betrieben und erzeugt in Verbindung mit einem Warmwasserspeicher 66 % der benötigten Wärme. Die PV-Anlage erzeugt Strom, der zu einem großen Teil als Eigenversorgung vor Ort durch die Wärmepumpe verbraucht wird. Der Gaskessel erzeugt an besonders kalten Tagen zusätzliche Wärme.

Diese dezentralen Versorgungsoptionen wurden jeweils für den Wärmebedarf auf der Basis von Erfahrungswerten ausgelegt. Alle regulatorischen Rahmenbedingungen für die dezentralen Versorgungsoptionen wurden berücksichtigt. Dies schließt Investitionszuschüsse, KWK-Zuschläge aber auch Besonderheiten, wie zum Beispiel ein Mieterstrommodell für die Option mit BHKW ein.

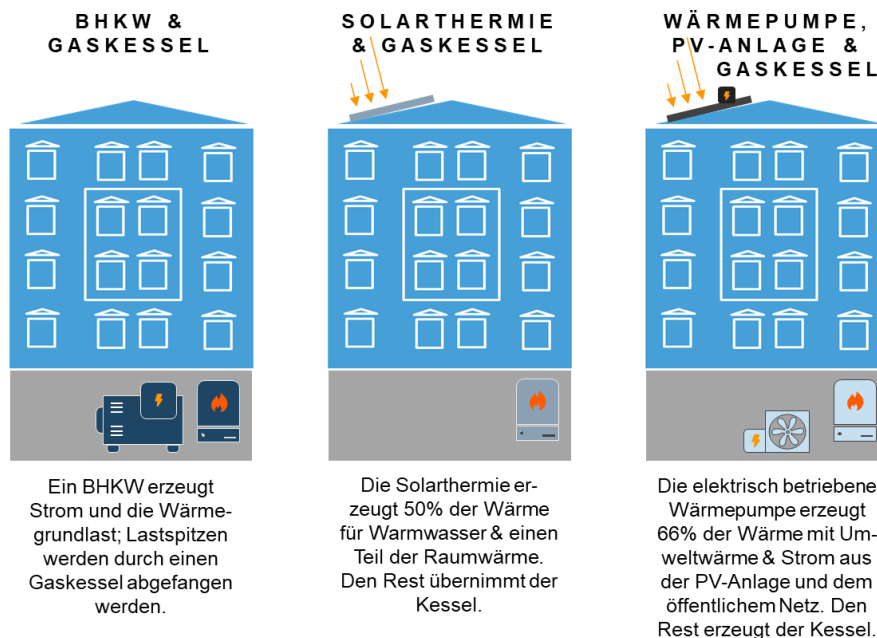


Abbildung 9: Übersicht über die definierten dezentralen Versorgungsoptionen für eine Altbau und einen Neubau

Bei der Bewertung der Ergebnisse der dezentralen Versorgungsoptionen ist zu bedenken, dass die dezentralen Versorgungsoptionen aufgrund technischer Restriktionen nicht überall in Berlin flächendeckend eingesetzt werden können:

- Die meisten Gebäude im innerstädtischen Raum zeichnen sich durch sehr hohe Wärmelastdichten (Wärmebedarf bezogen auf die Grundfläche, 500 bis über 3000 kWh/m²) aus. Die Potenziale von Luftwärmepumpen und solarthermischen Anlagen reichen insbesondere im Altbau in der Regel nicht aus.

B E T

- Nicht überall sind die baulichen Gegebenheiten vorhanden, um Solarthermie, Luftwärmepumpen oder BHKW zu installieren. Oft fehlt es an Platz, sind die Dächer nicht ausreichend tragfähig oder die Lärmemissionen sind zu hoch⁷.

5 HERLEITUNG DER TRANSFORMATIONSPFADE

Ein wesentlicher Schwerpunkt der Machbarkeitsstudie liegt in der Auswahl derjenigen Versorgungsoptionen, mit denen die Kohleanlagen bis spätestens 2030 ersetzt werden kann. Diese Auswahl erfolgt in einem mehrstufigen Vorgehen:

- Vorbewertung der grundsätzlich in Frage kommenden Versorgungsoptionen (Wärmeerzeugungsanlagen, Speicher) und Selektion der Optionen für eine Anwendung im VG1
- Ermittlung der technischen Potenziale für die ausgewählten Optionen an konkreten Standorten im VG1 unter Berücksichtigung der technischen Machbarkeit und Genehmigungsfähigkeit
- Definition von Transformationspfaden (Versorgungsoptionen mit definierter Leistung an konkreten Standorten und einem geplanten Inbetriebnahmejahr) zum Ersatz der Kohleheizkraftwerke

In die Vorbewertung der Versorgungsoptionen werden die bekannten Technologien zur Erzeugung und Speicherung von Fernwärme aufgenommen. Dabei werden auch die konkreten Maßnahmenvorschläge aus dem Klimaschutzprogramm BEK 2030 berücksichtigt. Bei dieser Vorauswahl werden lediglich die beiden Optionen „Agrothermie“ und „Flexi-Klärgasanlage“ ausgeschlossen, da keine Potenziale im innerstädtischen Bereich vorhanden sind. Die Nutzung der Abwasserwärme aus einer Kläranlage wird jedoch sehr wohl weiter betrachtet.

Die Machbarkeitsprüfung der verbliebenen Versorgungsoptionen erfolgt im Rahmen der Machbarkeitsstudie sowohl im Rahmen von externen Teilstudien zu einzelnen Versorgungsoptionen sowie über interne Potenzialanalysen und Kooperationen mit weiteren Unternehmen wie der Berliner Stadtreinigung (BSR) oder den Berliner Wasserbetrieben (BWB). Die Machbarkeitsprüfung liefert folgende Ergebnisse für die einzelnen Versorgungsoptionen:

⁷ Gemäß einer Auswertung von Informationen des Berliner Gebäudemodells können mit dezentralen solarthermischen Anlagen bis zu 8 % des jährlichen Wärmebedarfs im VG1 erzeugt werden. Diese Wärmeerzeugung ist aber saisonal auf den Sommer beschränkt.

B E T

Abfall- wärme	➤ Zusätzliches Potenzial in der Müllverbrennungsanlage Ruhleben durch Turbinenerneuerung und Rauchgas-Wärmepumpe in Transformationsszenarien nutzen	✓
Abwasser- -WP	➤ Option in den Transformationsszenarien verwenden: keine bzw. geringe Emissionen bei Dampfantrieb	✓
Industr. Abwärme	➤ als „lohnenswert“ identifizierte Potenziale in Transformationsszenarien nutzen: wenig Emissionen; geringe bis mittlere Kosten zu erwarten; Temperaturniveaus der Einspeisung und ggf. erforderlicher Nachheizbedarf beachten; kein Beitrag zur gesicherten Leistung	✓
Bio- masse	➤ Option in den Transformationsszenarien verwenden: eine Brennstoffumstellung in Moabit könnte auch schon vor dem Stilllegungsdatum der anderen Kohleblöcke zur Reduzierung der Emissionen beitragen	✓
Geo- thermie	➤ Option in den Transformationsszenarien verwenden: allerdings nur geringe Leistungen möglich	✓
Power- to-Heat	➤ Option in den Transformationsszenarien verwenden: Diese Option ist Teil der hybriden KWK-Anlage	✓
Spre- WP	➤ Option nicht in den Transformationsszenarien verwenden: Passfähigkeit mit Saisonalität des Wärmebedarfs zu gering, nur in Kombination mit Saisonal-Wärmespeicher interessant	✗
Solar- thermie	➤ Option nicht in den Transformationsszenarien verwenden: derzeit keine Fläche verfügbar, nur in Kombination mit Saisonal-Wärmespeicher interessant	✗

Abbildung 10: Ergebnisse der Machbarkeitsprüfung für die Versorgungsoptionen⁸

Die Analysen zeigen, dass im Vergleich zu anderen Metropolregionen die örtlich verfügbaren geothermischen Potenziale z. B. im Vergleich zu München erheblich niedriger sind. Auch sind größere industrielle Abwärmepotenziale – anders als in Hamburg oder NRW - kaum vorhanden. Die im Rahmen der Machbarkeitsstudie identifizierten Abwärmepotenziale wurden hinsichtlich Verfügbarkeit und Anschlussmöglichkeit an das FW-Netz des VG1 bewertet.

Des Weiteren können für das betrachtete Versorgungsgebiet keine Flächen zur Nutzung großtechnischer solarthermischer Anlagen identifiziert werden. Die größte in einer Teilstudie untersuchte zentrale, solarthermische Anlage (800.000 m² Kollektorfläche) benötigt eine Grundfläche von 1,6 km². Dazu kommen bis zu 0,5 km², die für einen Erdbeckenspeicher benötigt werden. Zum Vergleich: Der Tiergarten umfasst 2,1 km² Fläche. Mit diesen Anlagen können ca. 7 % des Wärmebedarfs des VG1 versorgt werden. Grundsätzlich ist auch eine Aufteilung der solarthermischen Anlage in mehrere Anlagen denkbar.

Auf Basis der Ergebnisse aus Abbildung 10 werden dann für die drei unterschiedlichen Szenariorahmen KS 95, KS 80 und CP Transformationspfade für den Ersatz der Kohlewärme bis spätestens 2030 entwickelt. Die ausgewählten Transformationspfade erfüllen folgende Kriterien:

- Technische und genehmigungsrechtliche Machbarkeit der Anlagen an den jeweiligen Standorten
- Gewährleistung der Versorgungssicherheit (es muss genügend Einspeiseleistung zur Verfügung stehen) bei Wärme und Strom, und
- keine Brüche bei der Fernwärmeerzeugung (sukzessive Ablösung der Anlagen)

⁸ WP = Wärmepumpe







B E T

Bei den beiden Klimaschutzszenarien besteht die Zielsetzung darin, die Kohlewärme durch einen möglichst hohen Anteil an Erneuerbarer Wärme – d. h. durch CO₂-freie bzw. CO₂-arme Wärme – zu ersetzen. Dazu zählen die Biomasse, die Geothermie und der Einsatz von Power-to-Heat mit Strom aus Erneuerbaren Energien sowie die Nutzung von Abfall- und Abwasserabwärme (im Rahmen des Abfallwirtschaftskonzeptes), gewerbliche bzw. industrielle Abwärme. Für den verbleibenden Anteil ist somit ein neues gasgefeuertes hybrides KWK-Konzept am Standort Reuter Teil der Lösung. Dieses Konzept beinhaltet eine hochflexible Gas-KWK-Anlage mit variabler Feuerungsmöglichkeit (Erdgas, Erneuerbarer Gasmix, Wasserstoff), einer Rauchgaskondensationswärmepumpe, einen Wärmespeicher und eine Power-to-Heat-Anlage.

Der Transformationspfad im CP-Szenario wird unter der Maßgabe entwickelt, den Kohleausstieg möglichst kosteneffizient umzusetzen. Bestandteile dieser Lösung sind die Errichtung eines gasgefeuerten Heizkraftwerks am Standort Reuter sowie die Umstellung des Heizkraftwerks Moabit auf nachhaltige Biomasse. Die Erreichung der Klimaschutzziele des Landes Berlin bzw. des Ziels der Fossilfreiheit von Vattenfall stehen nicht im Vordergrund. Daher dient das CP-Szenario in dieser Machbarkeitsstudie nur als Vergleichsszenario.

Eine besondere Herausforderung liegt in dem Umstand, dass in allen Transformationspfaden für die Versorgung eines neuen Gaskraftwerkes am Standort Reuter West eine Hochdruckgasleitung aus dem Brandenburger Umland neu errichtet werden muss.

Die Portfolien der Wärmeerzeugungsanlagen wurden für alle drei Transformationspfade simuliert und hinsichtlich der ökonomischen und ökologischen Auswirkungen bewertet.

	Klimaschutz 95	Klimaschutz 80	Current Policies
› Kohleersatz durch EE	<ul style="list-style-type: none"> MüVA (optimiert)¹⁾ Abwasser-Wärmepumpe Ind. Abwärme Neues Biomasse-Heizwerk Geothermie P2H (Hybride KWK & Reuter)³⁾ 	<ul style="list-style-type: none"> MüVA (optimiert)¹⁾ Abwasser-Wärmepumpe Ind. Abwärme Neues Biomasse-Heizwerk Geothermie P2H (Hybride KWK & Reuter) 	<ul style="list-style-type: none"> MüVA (Bestand)¹⁾ Moabit auf Biomassefeuerung P2H Reuter
	 521 MW_{th} + 180 MW_{th} (PtH 2030)	 521 MW_{th}	 279 MW_{th}²⁾
› Kohleersatz durch Gas	<ul style="list-style-type: none"> Hybride KWK - Gas 	<ul style="list-style-type: none"> Hybride KWK - Gas 	<ul style="list-style-type: none"> GuD, BHKW, HWE
	 503 MW_{th}	 644 MW_{th}	 570 MW_{th}²⁾
› Bestandsanlagen	<ul style="list-style-type: none"> • Gasgefeuerte KWK-Anlagen & Warmwassererzeuger 	<ul style="list-style-type: none"> • Gasgefeuerte KWK-Anlagen & Warmwassererzeuger 	<ul style="list-style-type: none"> • Gasgefeuerte KWK-Anlagen & Warmwassererzeuger
› Max. FW-Last (VG 1)	<ul style="list-style-type: none"> • 2030: ca. 1.800 MW • 2050: ca. 1.500 MW 	<ul style="list-style-type: none"> • 2030: ca. 1.900 MW • 2050: ca. 1.800 MW 	<ul style="list-style-type: none"> • 2030: 1.800 MW • 2050: 1.900 MW
› FW-Netz-Temperatur	<ul style="list-style-type: none"> • Umstellung auf den gleitenden Vorlauf (überwiegend 80 °C) 	<ul style="list-style-type: none"> • Umstellung auf den gleitenden Vorlauf (überwiegend 80 °C) 	<ul style="list-style-type: none"> • Keine Änderung

1) Die Bestandsanlage der MüVA umfasst 99 MW. Dieser Leistungsteil ist somit nicht dem Kohleersatz zuzuschreiben.
 2) Die Bestimmung der Ersatzleistung im CP-Szenario erfolgte durch eine vereinfachte (n-1)-Betrachtung
 3) Ab dem Jahr 2030 wird eine um 180 MW höhere P2H-Leistung angenommen.

Alle Angaben sind auf das VG 1 bezogen.

Abbildung 11: Übersicht über die Transformationspfade in den Szenarien

6 ERGEBNISSE DER TRANSFORMATIONSSZENARIEN: ZEITRAUM KOHLEAUSSTIEG BIS 2030

6.1 Entwicklung der Wärmeerzeugung

Die Machbarkeitsstudie zeigt, dass der Kohleausstieg in allen drei Transformationsszenarien bis spätestens 2030 technisch machbar ist. Abbildung 12 stellt dar, mit welcher Primärenergie und mit welcher Technik die Wärme im Jahr 2021 und im Jahr 2030 erzeugt wird und wie die Wärmeerzeugung aus den Kohleheizkraftwerken ersetzt werden kann. Im Jahr 2021 werden 60 % der Wärme im VG1 durch die Kohleheizkraftwerke an den Standorten Moabit und Reuter West erzeugt. Die restliche Wärmeerzeugung erfolgt auf der Basis von Abwärme und Erdgas.

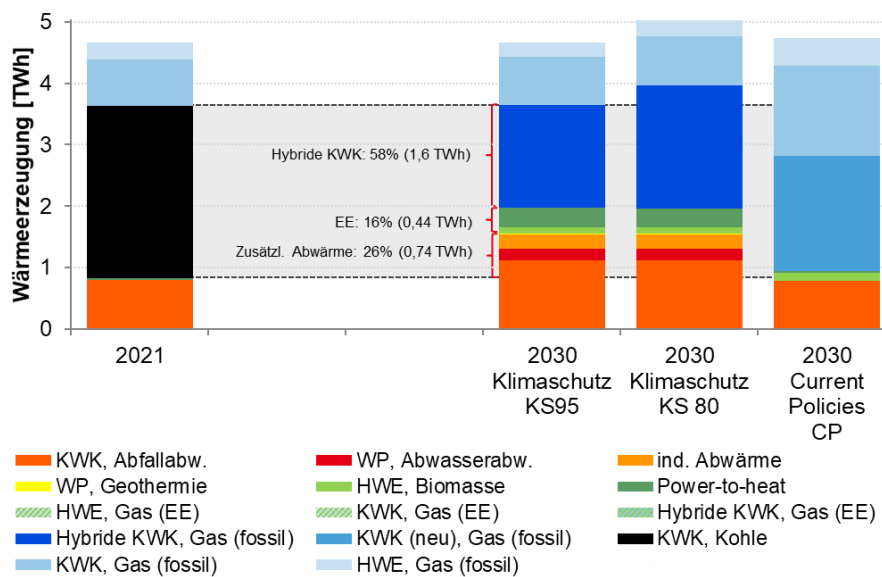


Abbildung 12: Übersicht über die Wärmeversorgung im Jahr 2030 in den drei untersuchten Transformationsszenarien

Im Jahr 2030 wird die Wärmeerzeugung aus Kohle vollständig durch neue Wärmeerzeuger oder bestehende Wärmeerzeuger, die teilweise modernisiert oder erweitert werden, ersetzt:

- In allen drei Szenarien werden Erneuerbare Energien für die Wärmeerzeugung eingesetzt. In den beiden Klimaschutzszenarien sind dies jeweils ein neues Biomasseheizwerk sowie eine Geothermieanlage (in Verbindung mit einer Wärmepumpe und einem Aquifer-Wärmespeicher) am Standort Moabit. Im Transformationsszenario Current Policies wird das bestehende Kohleheizkraftwerk Moabit in ein Biomasseheizkraftwerk umgebaut. In allen Szenarien nimmt die Bedeutung von Power-to-Heat, also die Umwandlung von Strom in Wärme zu. Auch diese Wärme ist im Wesentlichen Erneuerbare Wärme und basiert nur zu kleinen Anteilen auf Eigenstromerzeugung. Denn diese Umwandlung geschieht fast nur dann, wenn aufgrund einer sehr hohen Stromerzeugung mit Erneuerbaren Energien Stromüberschüsse am europäischen Strommarkt bestehen und somit die PtH-Anlagen physisch durch EE-Stromerzeugungsanlagen beliefert werden. Die Erneuerbare Wärme ersetzt in den beiden Klimaschutz-Transformationsszenarien ca. 15 % der Kohlewärme im Jahr 2021. Im CP-Szenario beträgt der Anteil Erneuerbarer Wärme nur 3,5 %.
- In den beiden Klimaschutzszenarien nimmt die Wärmeerzeugung auf der Basis von Abwärme zu. Dies ist auf die Steigerung der Effizienz der Nutzung von Abfallabwärme bei gleichbleibender Abfallmenge

im Müllheizkraftwerk Ruhleben⁹ sowie auf die Errichtung einer Abwasserwärmepumpe für Abwasser des Klärwerks Ruhleben zurückzuführen. Die Annahme für die thermisch verwertete Abfallmenge ist während des gesamten Betrachtungszeitraums gleich und liegt auf dem Niveau des Jahres 2018. Außerdem wird in dem betrachteten Zeitraum schrittweise immer mehr industrielle bzw. gewerbliche Abwärme in das Fernwärmenetz eingespeist. Die zusätzliche Abwärme aus der thermischen Verwertung von Abfall ersetzt ca. 11 % der Kohlewärme 2021, die industrielle Abwärme ca. 8 % und die Abwasserabwärme ca. 7 %. Im Transformationsszenario Current Policies ist hingegen keine Ausweitung der Abwärmenutzung vorgesehen.

- In den beiden Klimaschutzszenarien erfolgt der Ersatz der Kohlewärme, der nach Abzug von Einspar- und Portfolioeffekten nicht durch Erneuerbare Wärme oder zusätzliche Abwärmepotenziale gedeckt werden kann, durch eine hybride KWK-Anlage, zunächst auf der Basis von Erdgas. Diese hochflexible, hybride KWK-Anlage besteht aus einem modular aufgebauten hocheffizienten KWK-Teil, einem Wärmespeicher und einer Power-to-Heat-Anlage. Die Komponenten des KWK-Teils können Erdgas, Wasserstoff und synthetisches Gas verbrennen. Diese Anlage ist sehr flexibel einsetzbar: Bei Verfügbarkeit von Erneuerbarem Strom ermöglicht sie die Integration dessen mit Hilfe der Sektorkopplung (PtH). In den Stunden, in denen Erneuerbarer Strom nicht verfügbar ist, kann der KWK-Teil mit hoher Brennstoffausnutzung Wärme und Strom produzieren. Die Wärmeerzeugung der Power-to-Heat-Anlage ist in Abbildung 12 als Erneuerbare Energie erfasst. Die hybride KWK ersetzt in den Klimaschutzszenarien jeweils ca. 58 % der Kohlewärme des Jahres 2021.
- Im Current Policies-Szenario wird unterstellt, dass eine neue erdgasgefeuerte KWK-Anlage, bestehend aus einem Gas- und Dampfturbinenheizkraftwerk (GuD) und mehreren Gasmotoren, errichtet wird. Auch diese Anlage ist modular aufgebaut. Sie bietet aber deutlich weniger Flexibilität als die hybride KWK. Die KWK-Anlage erzeugt einen Großteil der Wärme. Die Stromerzeugung im CP-Szenario aus der KWK-Anlage ist aufgrund einer besseren Stromkennzahl höher als bei der hybriden KWK-Anlage. Deshalb muss in den Szenarien mit der hybriden KWK-Anlage mehr Strom in anderen Stromerzeugungsanlagen im europäischen Strommarkt erzeugt werden. Diese Effekte werden bei der systemischen Bilanzierung der damit verbundenen Emissionen berücksichtigt.
- Die erdgasgefeuerten Bestandsanlagen tragen in den beiden Klimaschutzszenarien mit etwa 22 %, im CP-Szenario mit etwa 40 % zur Wärmeerzeugung im Versorgungsgebiet bei. Der Großteil dieser Wärmeerzeugung erfolgt in der Bestands-KWK-Anlage GuD Lichterfelde, die 2019 in Betrieb gegangen ist und in dem Heißwassererzeuger Lichterfelde. Diese beiden Anlagen speisen im Fernwärmeverbund Süd ein (vgl. Abbildung 4), der nur mit hydraulischen Einschränkungen mit dem Fernwärmeverbund Nord verbunden ist.
- Die Summe der Wärmeerzeugung variiert in den drei Transformationsszenarien aufgrund der verschiedenen Wärmebedarfsszenarien. Aufgrund der deutlich höheren Verdichtung und Erweiterung in den beiden Klimaschutzszenarien ist bei diesen die Anzahl der versorgten Wohnungen bzw. Gebäude deutlich größer als im Current Policies-Szenario.

⁹ In den Transformationsszenarien ist die thermische Verwertung einer Abfallmenge in Höhe von 580.000 t vorgesehen. Dies ist der Status quo laut Berliner Stadtreinigung (nachfolgend BSR).

Tabelle 1: Darstellung der Anteile der neuen Wärmeerzeuger am Ersatz der Kohlewärme

	Klimaschutz 95	Kommentar
Abwärmenutzung	26 %	
Nutzung von Abwärme aus Abwasser	7 % (195 GWh)	Statische Annahme zum Anlageneinsatz gemäß Dargebot
gewerbliche & industrielle Abwärmepotenziale	8 % (230 GWh)	Statische Annahme zum Anlageneinsatz gemäß Dargebot
Zusätzliche Abwärme aus der bestehenden MüVA in Ruhlleben (effizientere Nutzung, im Rahmen des Berliner Abfallwirtschaftskonzepts)	11 % (315 GWh)	Statische Annahme zum Anlageneinsatz gemäß Dargebot
Erneuerbare Wärmequellen	16 %	
Biomasse	4 % (100 GWh)	Ergebnis Kraftwerkseinsatzsimulation B E T
Power-to-Heat	11 % (325 GWh)	Ergebnis Kraftwerkseinsatzsimulation B E T
Geothermie	0,5 % (13 GWh)	Statische Annahme zum Anlageneinsatz gemäß Dargebot
Hochflexible, gasgefeuerte hybride KWK-Anlage (Kombination aus Gas-KWK, Wärmespeicher und PtH, die am Standort Reuter neu errichtet werden muss)	58 % (1630 GWh)	Ergebnis Kraftwerkseinsatzsimulation

Der Kohleausstieg erfolgt in allen Szenarien schrittweise und ohne Unterbrechung der Wärmeversorgung. Die konkreten Außerbetriebnahmen der Kohleheizkraftwerke sind gestaffelt: Das Heizkraftwerk Moabit geht 2025 außer Betrieb, die zwei Blöcke am Standort Reuter West gehen mit zeitlichem Versatz 2028 / 2029 außer Betrieb. In Abbildung 13 ist der schrittweise Ersatz der Wärmeerzeugung mit Kohle durch andere Wärmeerzeuger deutlich zu sehen. Dargestellt ist die Entwicklung der Wärmeerzeugung im Transformationsszenario KS 95. Im Transformationsszenario KS 80 sieht die Entwicklung qualitativ gleich aus. Änderungen ergeben sich nur wegen der unterschiedlichen Gesamtwärmeerzeugung.

Die Abbildung 13 zeigt die Anteile der verschiedenen Wärmeerzeuger auf der Basis von Abwärme oder Erneuerbaren Energien. Abfallabwärme ist der Wärmeerzeugungsmenge nach am bedeutendsten gefolgt von industrieller Abwärme und Abwasserabwärme. Bei den Erneuerbaren Energien ist ab 2028 Power-to-Heat bedeutender als die Wärmeerzeugung mit Biomasse. Die Geothermie spielt eine untergeordnete Rolle.

B E T

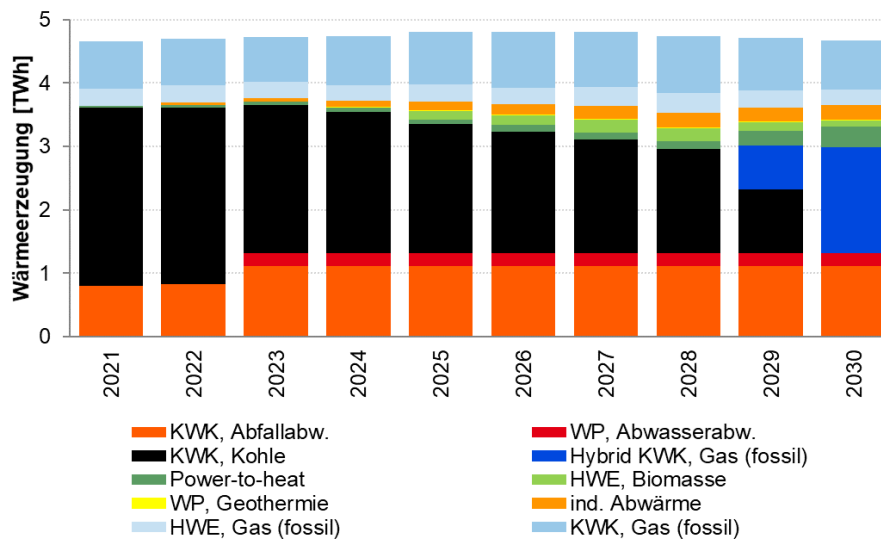


Abbildung 13: Vertiefte Darstellung des Umbaus der Wärmeversorgung 2021-2030, Transformationsszenario KS 95

6.2 Entwicklung der CO₂-Emissionen

Die Kohlendioxidemissionen nach der Quellenbilanz, also die oben dargestellten Emissionen ohne Berücksichtigung von Gutschriften und Abzügen sinken 2030 gegenüber dem Jahr 2021 um 2,15 Mio. t CO₂ (KS 95) und 2,00 Mio. t CO₂ (KS 80) und 1,4 Mio. t CO₂ (CP).

Bezogen auf die Verursacherbilanz sinken in allen drei Transformationsszenarien die Kohlendioxidemissionen im Jahr 2030 im Vergleich zu 2021 um jährlich 1,4 Mio. t (KS 80) bis 1,5 Mio. t (KS 95, CP). In Abbildung 14 sind der Verlauf und die Summe der Kohlendioxidemissionen nach der Berücksichtigung von Gutschriften und Abzügen im Zeitraum 2021-2030 dargestellt. Die Gutschriften und Abzüge sind wie beschrieben notwendig, um Effekte zu berücksichtigen, die sich aus einer höheren Nutzung von Strom für die Wärmeerzeugung, aus einer geänderten Stromerzeugungsmenge der KWK-Anlagen und aus einer geänderten Wärmeerzeugung durch Verdichtung und Erweiterung ergeben.

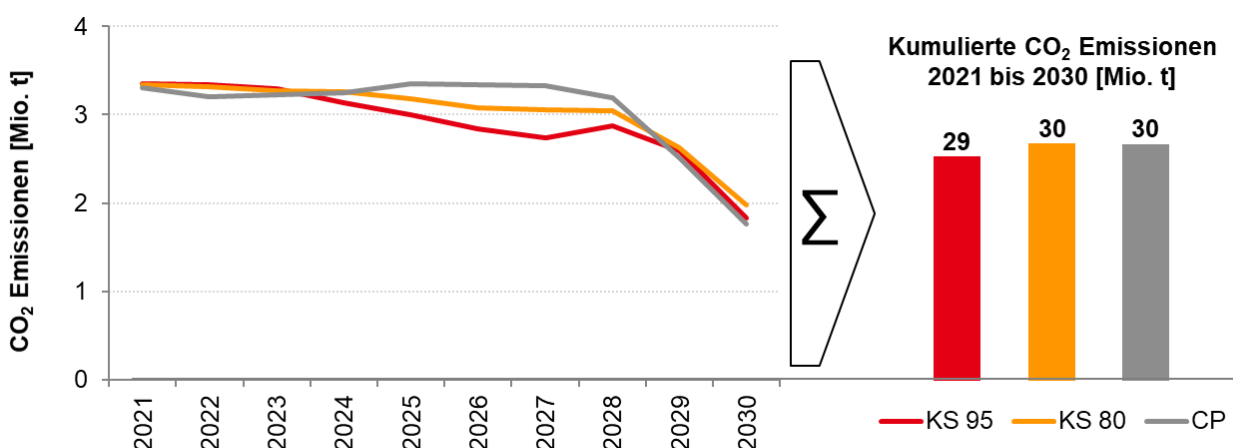


Abbildung 14: Entwicklung der Kohlendioxidemissionen und kumulierte Kohlendioxidemissionen in den drei Transformationsszenarien im Zeitraum

6.3 Vergleich Entwicklung der Fernwärme und der dezentralen Versorgungsoptionen

Die Klimafreundlichkeit der Fernwärme wurde weiterhin im Vergleich mit drei dezentralen Versorgungsoptionen analysiert (Abbildung 15, oberes Diagramm). Im Jahr 2030 betragen die spezifischen Emissionen der Fernwärme in allen Transformationsszenarien nur noch zwischen 2 und 14 g/kWh. Die Fernwärme ist damit 2030 die klimafreundlichste der untersuchten Versorgungsoptionen. Die niedrigen Werte, die nach der systemischen Methode ermittelt wurden, erklären sich zum einen durch gestiegenen Anteil Erneuerbarer Wärmeerzeuger. Zum anderen verdrängt die Gas-KWK überwiegend konventionelle Spitzenlast-Gaskraftwerke (75 %) im Strommarkt, teilweise auch noch verbliebene Steinkohle. Die Emissionen der Gas-KWK sind nur geringfügig höher als die verdrängten Emissionen der Gaskraftwerke im Strommarkt, die nur Strom (und nicht genutzte Abwärme) erzeugen.

Die dezentrale Versorgungsoption bestehend aus der bivalenten Luft-Wärmepumpe und dem Gaskessel ist die zweitklimafreundlichste Versorgungsoption mit spez. Emissionen zwischen 103 und 117 g/kWh. Diese Emissionen stammen wesentlich aus dem Gaskessel, der zu einem erheblichen Teil zur Wärmeversorgung speziell im Winterhalbjahr weiterhin erforderlich ist. Die dezentrale Versorgungsoption bestehend aus einer Solarthermieanlage und einem Gasbrennwertkessel weist Emissionen in Höhe von ca. 195 g/kWh auf. Auch hier sind die Emissionen auf den Gaseinsatz im Kessel zurückzuführen. Die Versorgungsoption mit einem BHKW und dem Gasbrennwertkessel verursacht die höchsten spez. Emissionen. Die Gründe hierfür liegen wiederum in der Nutzung von Gas für den Gasbrennwertkessel und zusätzlich in der Tatsache, dass der wärmegeführte Einsatz des BHKW nur eine vergleichsweise kleine Gutschrift für die Stromerzeugung erhält. Alle spezifischen Emissionswerte sind nach der systemischen Methode von B E T unter Nutzung der Ergebnisse des Strommarktmodells EuroMod – jeweils für das Transformationszenario – berechnet.

In einer vergleichenden Analyse werden in der Machbarkeitsstudie zwei weitere, übliche Methoden zur Ermittlung von spezifischen Wärmeemissionen angewendet. Die Methode AGFW bestätigt das gezeigte Ergebnis. Die finnische Methode führt im Current Policies-Szenario zu höheren spezifischen Emissionen der Fernwärme als die der Option mit Wärmepumpe, die Fernwärme ist aber - so wie in den anderen Szenarien KS 80 und KS 95 auch - nach finnischer Methode klimafreundlicher als die Optionen mit BHKW oder Solarthermie.

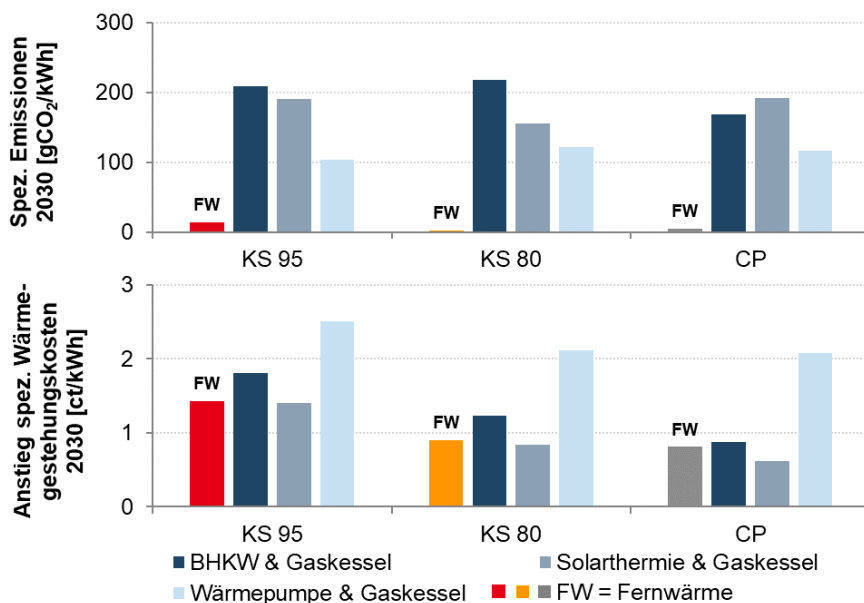


Abbildung 15: Vergleichende Darstellung des Anstiegs der Wärmegestehungskosten und der spezifischen Kohlendioxidemissionen

Im unteren Diagramm der Abbildung 15 sind die Anstiege der spezifischen Wärmegestehungskosten dargestellt. Der gemeinsame Bezugspunkt ist hierbei jeweils der durchschnittliche Wert der spezifischen Fernwärmekosten im Jahr 2021. Der gezeigte Anstieg der spezifischen Wärmekosten der Fernwärme im Transforma-

tionsszenario KS 95 in Höhe von 1,7 ct/kWh bedeutet, dass die Kosten der Fernwärmeerzeugung ohne Berücksichtigung der Inflation im Jahr 2030 1,7 ct/kWh höher sind als 2021. Der Wert von 2,5 ct/kWh für die dezentrale Versorgungsoption mit Wärmepumpe bedeutet, dass die Wärmeerzeugung mit dieser Versorgungsoption im Jahr 2030 2,5 ct/kWh mehr kosten als die Fernwärme 2021. Die dezentrale Option mit Wärmepumpe demzufolge im Jahr 2030 im Transformationsszenario KS 95 0,8 ct/kWh kostenintensiver als die Fernwärme.

Bezogen auf eine 65 qm-Wohnung in dem modellhaften Altbau, der in der Machbarkeitsstudie ausgewertet wird, bedeuten 1,7 ct/kWh Mehrkosten im Transformationsszenario KS 95 bei 8.580 kWh jährlichem Wärmeverbrauch eine absolute Kostensteigerung um 147 €/Jahr bzw. 12 €/Monat. Unter Berücksichtigung energetischer Gebäudesanierung sinken die Mehrkosten durch den deutlich reduzierten Verbrauch (6.950 kWh = -19% ggü. 2021, durchschnittlicher Rückgang im KS 95) auf nur noch rund 6 Euro pro Jahr bzw. 50 ct je Monat (unberücksichtigt sind Mietkostenaufschläge durch energetische Sanierung).

Für das Transformationsszenario KS 80 betragen die Werte 0,9 ct/kWh und 77 €/Jahr. Und im Transformationsszenario Current Policies steigen die Kosten der Fernwärmeerzeugung nur um 0,7 ct/kWh, für die 65 qm-Wohnung betragen dann die absoluten Mehrkosten 60 €/Jahr.

Wie in Abbildung 15 deutlich wird, verzeichnen alle Versorgungsoptionen bis 2030 einen Kostenanstieg. Und im Vergleich zu den dezentralen Versorgungsoptionen ist die Fernwärme in allen Klimaschutz-Transformationsszenarien immer kostengünstiger oder gleich kostengünstig. Ein nicht unwesentlicher Kostentreiber bei den dezentralen Versorgungsoptionen ist in den Klimaschutztransformationsszenarien die Annahme einer CO₂-Bepreisung in Höhe des Preises für Emissionszertifikate.

Eine Ausnahme bildet das Transformationsszenario Current Policies. In diesem ist die Solarthermie in Verbindung mit dem Brennwertkessel deutlich kostengünstiger als die Fernwärme. Hierzu muss jedoch bemerkt werden, dass im Transformationsszenario Current Policies bei den dezentralen Versorgungsoptionen keine CO₂-Bepreisung vorgesehen ist. Daran wird die verzerrende Wirkung der derzeitigen Rahmenbedingungen deutlich: Während fossile Fernwärmeerzeugungsanlagen einen Preis für CO₂ zahlen müssen, sind für fossile dezentrale Wärmeerzeugungsanlagen derzeit keine Abgaben für CO₂ in entsprechender Höhe zu leisten und haben dadurch einen ungerechtfertigten ökonomischen Vorteil.

6.4 Ergebnisse der Transformationsszenarien bis 2030

Die Ergebnisse bis 2030 zusammenfassend, bleibt folgendes festzuhalten:

- Ein Kohleausstieg bis spätestens 2030 ohne Brüche in der Bereitstellung von Wärme oder Versorgungsunterbrechungen ist realisierbar.
- Die Kohlewärme wird ersetzt durch Erneuerbare Wärme aus Biomasse, Geothermie und Power-to-Heat, durch die effizientere Nutzung der Abfallabwärme sowie die neue Nutzung von Abwasserabwärme und industrieller bzw. gewerblicher Abwärme.
- Die Reduktion der CO₂-Emissionen um 2,15 Mio. t in 2030 entspricht 13 % der Emissionen des Landes Berlin.
- Die Kosten der Fernwärme steigen bis 2030, also der Zeit des schrittweisen Ersatzes der Kohlewärme um 0,7 ct/kWh bis 1,7 ct/kWh. Dennoch bleibt die Fernwärme wettbewerbsfähig im Vergleich zu dezentralen Wärmeversorgungsoptionen, weil auch deren Kosten der Wärmeerzeugung steigen. Diese Aussagen sind jedoch abhängig von Voraussetzungen des regulatorischen Rahmens, insbesondere einer CO₂-Bepreisung für alle Sektoren und einer KWK-Förderung

- Der Kohleausstieg erfordert ein koordiniertes und sehr rasches Handeln (z. B. Vattenfall, kommunale Unternehmen des Landes Berlin, Genehmigungsbehörden, Netzbetreiber). Auf dem besonders zeitkritischen Pfad für das Gelingen des Kohleausstieges liegt die Errichtung eines Hochdruck-Gasnetzanschlusses für den Standort Reuter West.
- Ein Gelingen hängt auch maßgeblich von neuer bundesgesetzlicher Regelung ab.

7 ERGEBNISSE DER TRANSFORMATIONSSZENARIEN: ZEITRAUM DEKARBONISIERUNG 2031-2050

7.1 Entwicklung der Wärmeerzeugung

Im Zeitraum 2021 bis 2030 erfolgt der Ersatz der Kohleheizkraftwerke. Darüber hinaus ist es ein Ziel der Studie, die Nachhaltigkeit der Fernwärmeversorgung über diesen Zeitraum hinaus sicherzustellen und darzustellen. Im Zeitraum 2031 bis 2050 werden in den Transformationsszenarien keine weiteren Anlagen errichtet oder außer Betrieb genommen. Die Treiber für Veränderungen der Wärmeerzeugung resultieren deswegen vollständig aus dem Szenariorahmen, also der Entwicklung der Energiemärkte und des Berliner Wärmebedarfs. Mehrere Entwicklungen sind hierbei besonders hervorzuheben:

- Durch die steigende Stromerzeugung mit Erneuerbaren Energien nimmt in allen drei Transformationsszenarien die Anzahl der Stunden mit 100 % Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien und darüber hinaus Stromüberschüssen (die abgeregelt werden müssen) zu. Dieser Effekt ist im Klimaschutz-Transformationsszenario KS 95 aufgrund der besonders hohen EE-Anteile besonders ausgeprägt.
- Ausschließlich im KS 95 wird ab 2031 schrittweise eine verpflichtende Nutzung von synthetischem Gas für die Strom- und Wärmeerzeugung eingeführt. Diese Verpflichtung gilt EU-weit für die Stromerzeugung und in Deutschland für alle gasbasierten Wärmeerzeugungsoptionen. Im Jahr 2050 erreicht der Anteil des synthetischen Gases 100 %. Durch diese Vorgabe steigen zum einen die Gaspreise, zum anderen auch die Strompreise in den Stunden an, die keinen EE-Stromerzeugungsüberschuss aufweisen, stark an.
- Die Gebäudesanierung wird in allen Transformationsszenarien fortgesetzt. Im Klimaschutzenszenario KS 95 führt die hohe Sanierungsrate und die hohe Sanierungstiefe jedoch zu einem besonders deutlichen Rückgang des Wärmebedarfs.

In Abbildung 16 wird die Wärmeerzeugung im Jahr 2031 der Wärmeerzeugung im Jahr 2050 gegenübergestellt.

Im Transformationsszenario KS 95 gelingt die vollständige Dekarbonisierung zum einen durch Wärmeeinsparung (-17 % 2050 ggü. 2031) und zunehmende Wärmeerzeugung aus PtH (+168 % 2050 ggü. 2031). Dadurch sinkt der Gasbedarf der hybriden KWK und der übrigen Gas-Bestandsanlagen (-56 % 2050 ggü. 2031). Dem Szenario gemäß wird 2031 nur 5 % des Gaseinsatzes durch synthetisches Gas abgedeckt, 2050 beträgt der Anteil des synthetischen Gases 100 %.

Beim Transformationsszenario KS 80 wird weniger Wärme eingespart (-5 %), der EE-Anteil steigt im Vergleich zum KS 95 weniger stark, wiederum wesentlich getrieben durch eine Erhöhung des Einsatzes von Power-to-Heat (+132 % 2050 ggü. 2031). Dadurch ergibt sich ein verbleibender höherer Gasbedarf, der in diesem Szenario jedoch nicht durch PtG ersetzt wird. Beim Transformationsszenario CP steigt die Wärmeerzeugung entsprechend der Annahmen der Wärmebedarfsentwicklung. Der EE-Anteil beschränkt sich auf Biomasse in Mobilität und deutlich kleinere Mengen Power-to-Heat. Dadurch wird eine deutlich größere Wärmeerzeugung auf der Basis von Erdgas erforderlich (+ 3 % 2050 ggü. 2031).

B E T

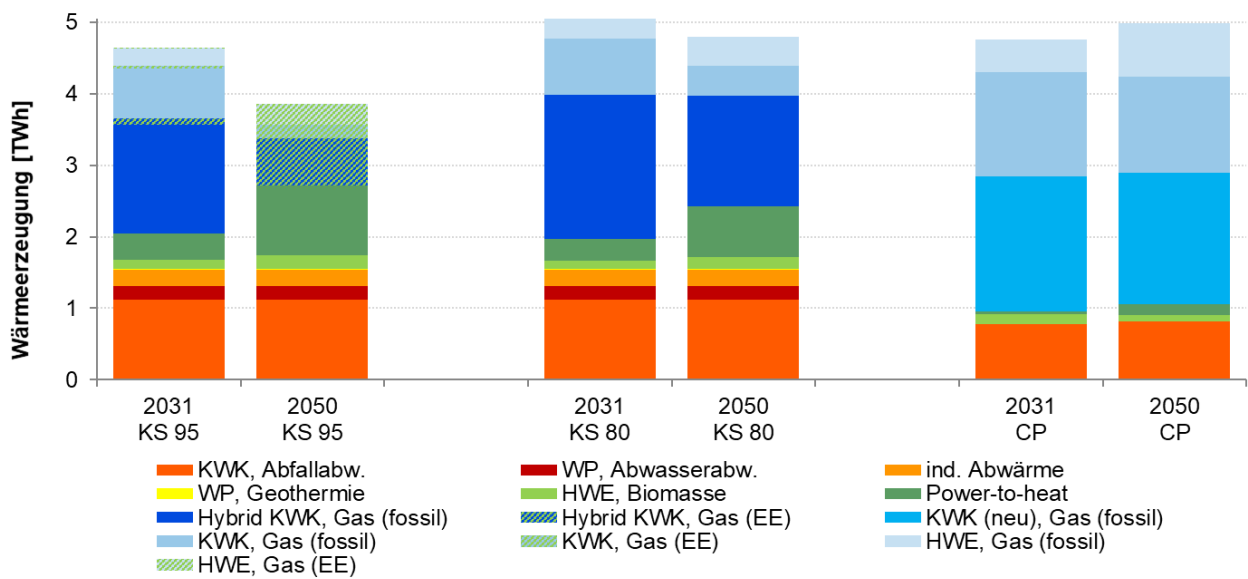


Abbildung 16: Entwicklung der Wärmeerzeugung im Zeitraum 2031 bis 2050 in den drei Transformationsszenarien

7.2 Entwicklung der CO₂-Emissionen

Die sich unterschiedlich entwickelnden Wärmeerzeugungsmengen führen, wie Abbildung 17 zeigt, zu unterschiedlichen Emissionsverläufen. Im Transformationsszenario KS 95 sinken die Emissionen bis auf 0,12 Mio. t im Jahr 2050. Im Szenario KS 80 sinken die Emissionen kontinuierlich bis auf ein Niveau von 1,3 Mio. t im Jahr 2050. Im Current Policies verlaufen die Kohlendioxidemissionen ab dem Jahr 2030 seitwärts.

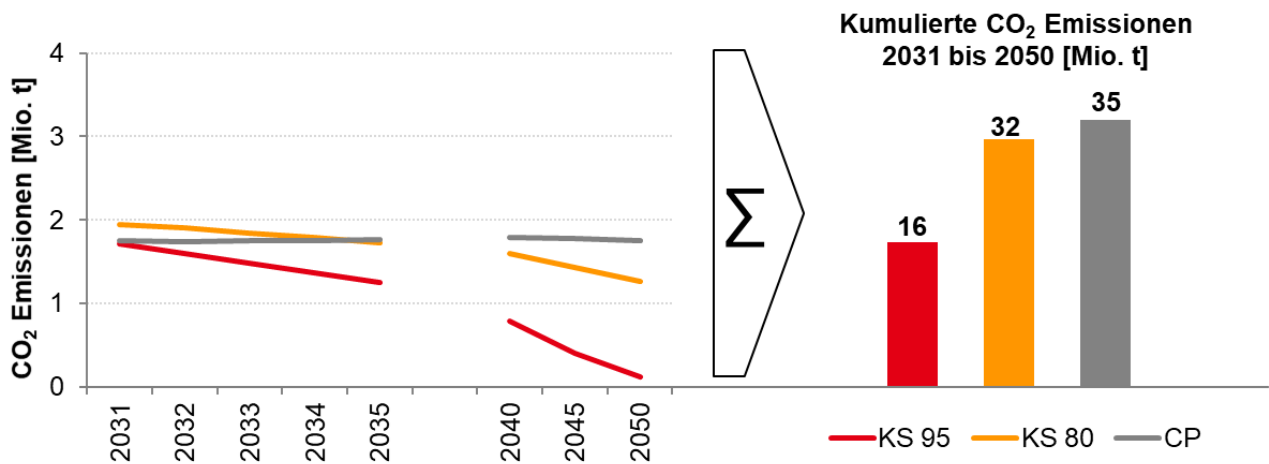


Abbildung 17: Entwicklung der Kohlendioxidemissionen inkl. Gutschriften und Malussen bis 2050 und kumulierte Kohlendioxidemissionen im Zeitraum 2031-2050

Bei der Betrachtung der kumulierten Werte werden die Unterschiede zwischen den Emissionsszenarien deutlich sichtbar.

7.3 Vergleich der Entwicklung der Fernwärme und der dezentralen Versorgungsoptionen

In Abbildung 18, oberes Diagramm, wird deutlich, dass im Transformationsszenario KS 95 eine vollständige Dekarbonisierung erreicht wird – die spezifischen Emissionen betragen 0 g/kWh. Dies gilt in diesem Transformationsszenario durch den Einsatz von synthetischem Gas auch für alle klimafreundlichen dezentralen Versorgungsoptionen. In den anderen beiden Transformationsszenarien weist die Fernwärme jeweils gemeinsam mit der Wärmepumpen-Versorgungsoption die geringsten spezifischen Emissionen auf.

Die spezifischen Emissionen der Fernwärme im Jahr 2050 sind in den Transformationsszenarien KS 80 und CP etwas höher als im Jahr 2030. Im Vergleich zu 2030 (vgl. Kapitel 6.2) werden durch die Gas-KWK weniger konventionelle Gas-Kraftwerke im Strommarkt verdrängt (und gar keine Steinkohle mehr), da der EE-Anteil in 2050 auf 88 % bzw. 83 % gestiegen ist. Dadurch verringert sich somit die Stromgutschrift der Gas-KWK.

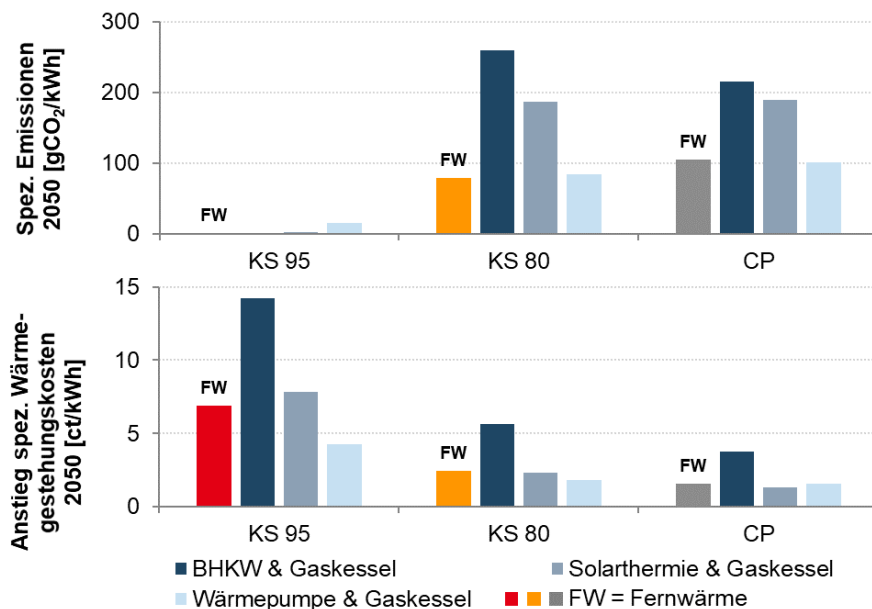


Abbildung 18: Vergleich der spezifischen Emissionen und der Anstiege der spezifischen Wärmeerzeugungskosten im Jahr 2050

Die Kosten der Fernwärme steigen im Transformationsszenario KS 95 für die Fernwärme und die drei dezentralen Versorgungsoptionen deutlich. Die Fernwärme ist in diesem Transformationsszenario bezüglich der Kosten nach der Wärmepumpe aber vor den anderen Versorgungsoptionen platziert. Bei dieser Gegenüberstellung ist zu berücksichtigen, dass die dezentrale Versorgungsoption mit Wärmepumpe in hochverdichteten innerstädtischen Gebieten aus technischen Gründen nicht realistisch in einem größeren Umfang eingesetzt werden kann. In den anderen Transformationsszenarien bewegen sich die Anstiege der spezifischen Kosten in ähnlichen Größenordnungen. Im Ergebnis ist die Fernwärme auch langfristig im Vergleich mit klimafreundlichen dezentralen Versorgungsoptionen wettbewerbsfähig.

7.4 Zielerreichung der Transformationsszenarien beim Emissionsbudget

In der Machbarkeitsstudie wurde das klimapolitische Konzept der Emissionsbudgets auf Berlin übertragen. In Abbildung 19 ist das Emissionsbudget für Vattenfall Wärme Berlin VG1 in Höhe von 51 Mio. t Kohlendioxid den kumulierten Emissionen gegenübergestellt. In der Abbildung wird sichtbar, dass in keinem Szenario die noch zur Verfügung stehenden Emissionen reichen, um im gesetzten Budgetrahmen zu bleiben. Im Szenario KS 95 würde das Budget um 18,25 Mio. t CO₂ überschritten werden.

B E T

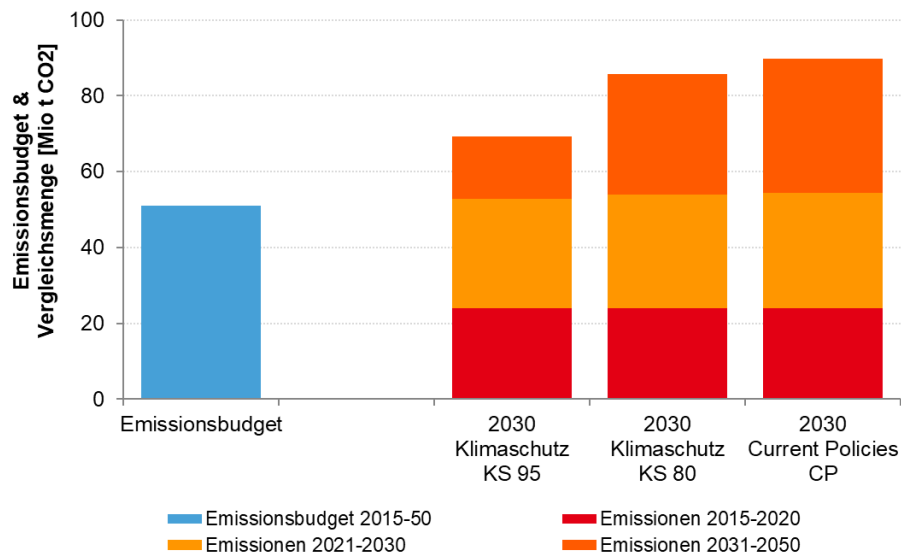


Abbildung 19: Emissionsbudget und Emissionsbudget-Vergleichsmenge

7.5 Ergebnisse der Transformationsszenarien, Zeitraum 2031-2050

Im Transformationsszenario KS 95 werden alle in der Einleitung genannten Ziele, also der Kohleausstieg bis spätestens 2030, die Absenkung der Emissionen um 95 % gegenüber 1990 und die Fossilfreiheit – erreicht. Zusätzlich zu den Maßnahmen bis 2030 wird dieses Ziel maßgeblich durch den deutlich zunehmenden Einsatz der Sektorkopplungstechniken Power-to-Heat und Power-to-Gas erreicht.

- Power-to-Heat nimmt durch den zunehmenden Ausbau der Erneuerbaren Energien in der Stromerzeugung zu. Residual wird an Tagen mit hohem Wärmebedarf und niedrigem Angebot Erneuerbarer Energien weiterhin der Einsatz von synthetischem Gas unter anderem in der hybriden KWK-Anlage notwendig sein. Die hybride KWK leistet auch einen Beitrag zur Versorgungssicherheit am Strommarkt. Die KWK-Anlagen sind eine sehr effiziente Technologie um an Tagen mit geringem Angebot Erneuerbaren Energien Strom für den deutschen und europäischen Stromsektor zu erzeugen.
- Die Fernwärme kann auch langfristig im Vergleich zu dezentralen Versorgungsoptionen zu wettbewerbsfähigen Kosten bereitgestellt werden. Unter den gesetzten Annahmen ist die Fernwärme, verglichen mit den drei dezentralen Versorgungsoptionen, die klimafreundlichste Versorgungsoption. Diese Ergebnisse bestätigen die Richtigkeit des Ansatzes im BEK 2030, den Marktanteil der Fernwärme im hochverdichteten Innenstadtbereich zu erhöhen.
- Eine wichtige Gelingbedingung für die Dekarbonisierung des Berliner Wärmemarktes ist die Absenkung des Wärmebedarfs durch umfassende Gebäudesanierung (Verfügbarkeit und Kosten der Resource Erneuerbares Gas).
- Die hybride KWK muss so ausgelegt werden, dass Lock-in-Effekte vermieden werden können. Das heißt, sie muss möglichst modular aufgebaut sein und die Verbrennung von klimaneutralen, synthetischem Gas sowie Wasserstoff erlauben.

8 ERGEBNISSE VON SENSITIVITÄTSRECHNUNGEN

In der Machbarkeitsstudie werden für die Transformationsszenarien KS 80 und KS 95 mehrere Sensitivitäten berechnet. Eine Sensitivität ist hierbei eine Abwandlung eines Transformationsszenarios in einer inhaltlichen

B E T

Dimension des Szenariorahmens oder des Transformationspfades. Für jede Sensitivität werden alle Kenngrößen der Klimaverträglichkeit und der Wirtschaftlichkeit berechnet. Um einen sinnvollen Vergleich vorzunehmen, werden jeweils die kumulierten CO₂-Emissionen über den Zeitraum 2015 bis 2050 und die sogenannten dynamischen Wärmegestehungskosten miteinander verglichen. Konkret werden in der Machbarkeitsstudie Sensitivitäten in folgenden inhaltlichen Dimensionen berechnet:

- Variation der thermisch verwerteten Abfallmenge: In den Transformationsszenarien wird eine Abfallmenge gemäß dem Status quo 2018 angenommen. In der Machbarkeitsstudie wird untersucht, welche Effekte sich bei einer Bandbreite der Abfallmengen ergeben. Die Bandbreite reicht von der Nicht-Verfügbarkeit der Abfallabwärme ab 2028, über eine Absenkung der heutigen Abfallmenge auf 520.000 t/Jahr einer Erhöhung auf 630.000 t/Jahr bis zu einer deutlichen Ausweitung der Abfallmenge auf 900.000 t/Jahr. Im Fall der 900.000 t/Jahr müssen erhebliche Abfallmengen saisonal zwischengespeichert werden. Die Bewertung zeigt, dass eine Reduktion der Abfallmenge die kumulierten Emissionen erhöht, eine Erhöhung der Abfallmengen führt zu sinkenden Emissionen¹¹.
- Variation der Größe der hybriden KWK: Die Leistung der hybriden KWK wird um 50 MW_{thermisch} geringfügig verringert. Dies führt zu sehr geringfügig steigenden Emissionen und Kosten.
- Variation der Kohleerzeugung: Die Machbarkeitsstudie untersucht den Effekt eines veränderten Einsatzes der bestehenden Anlagen weg von der Erzeugung mit Kohle hin zu einer Erzeugung mit Gas (und zum deutlich kleineren Teil Biomasse). Der Emissionseffekt des veränderten Anlageneinsatzes ist erheblich. Er führt aber auch zu deutlichen Mehrkosten pro Jahr und ist daher betriebswirtschaftlich nicht vertretbar. Es stellen sich bei diesem zu Gunsten des Klimaschutzes veränderten, teureren Anlageneinsatz deswegen zahlreiche Fragen zur möglichen Umlage der Mehrkosten.
- Variation der PtH-Kapazität: Die Menge an installiertem PtH (+/-150 MW) wird variiert. Bei Erhöhung ergeben sich kaum positive Effekte auf die Emissionen, die Kosten können jedoch etwas gesenkt werden.
- Variation der Höhe der Investitionskosten: Da der Großteil der Investitionen nach 2022 getätigt wird besteht eine erhebliche Unsicherheit über die Höhe der Investitionskosten. Deswegen werden in dieser Sensitivität alle Investitionskosten um 30 % erhöht. Der Effekt wirkt sich nicht auf die Emissionen aus. Die Kosten steigen aber um mehrere Zehntel-ct/kWh. Zum Vergleich, in Kapitel 6.3 wurde ermittelt, dass die spezifischen Wärmekosten bis 2030 zwischen 0,7 ct/kWh und 1,7 ct/kWh steigen.
- Variation der Höhe der KWK-G Förderung: Es wird eine Sensitivität ohne KWK-Zuschläge für die neu zu errichtende hybride KWK-Anlage berechnet. Auch diese Änderung führt nicht zu einer Änderung der Emissionen, erhöht aber die Kosten um mehrere Zehntel-ct/kWh ab Inbetriebnahme der hybriden KWK-Anlage.
- Reduzierung Anteil Erneuerbares Gas: Im Transformationsszenario KS 95 ist das Vorhandensein von synthetischem Gas eine zwingende Voraussetzung für eine vollständige Dekarbonisierung der Fernwärme. Da aber eine erhebliche Nutzungskonkurrenz um das synthetische Gas absehbar ist, wird in einer Sensitivität eine veränderte Anlagenkonfiguration betrachtet, in der möglichst wenig synthetisches Gas verwendet wird. Dazu werden – in einer aus heutiger Sicht – theoretischen Betrachtung zusätzliche EE-Wärmeerzeugungsanlagen in das Portfolio integriert und weitere Flexibilisierungsmaßnahmen untersucht. Die Betrachtung ist deswegen theoretisch, weil bei diesen Maßnahmen derzeit eine Realisierbarkeit ausgeschlossen wird (z. B. zentrale Solarthermie) oder die Realisierbarkeit nicht umfassend in der Machbarkeitsstudie geprüft wird (z. B. saisonale Verschiebung der thermischen Verwertung von Abfallmengen).

Zu diesen Maßnahmen gehört die Errichtung einer zentralen Solarthermieanlage mit 600.000 m² Kollektorfläche und eines Erdbeckenspeichers für die saisonale Speicherung. Beide Anlagen werden außerhalb Berlins errichtet, so dass eine Verbindungsleitung in das Stadtgebiet notwendig ist. Weiterhin wird die Nutzung von Solarthermie auf Dachflächen in der Sensitivität vorgesehen. Außerdem wird eine Flusswasserwärmepumpe am Standort Ruhleben, eine Vergrößerung des Biomasseheizwerks und die Errichtung weiterer Geothermieanlagen analog zu der Anlage am Standort Moabit vorgese-

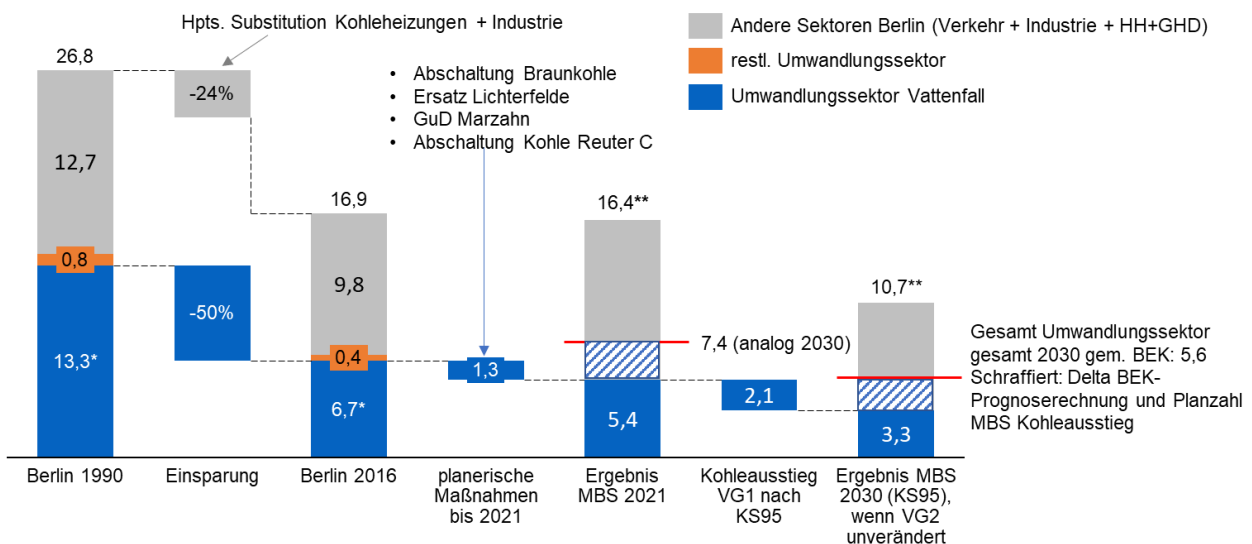
hen. Auch das Fernwärmenetz wird dahingehend ausgebaut, dass keine hydraulischen Beschränkungen zwischen dem Fernwärmeverbund Nord und Süd bestehen. Die Abwärme aus Abfall steht in dieser Sensitivität nur in einem Umfang, der einer Verwertung von 390.000 t entspricht, zur Verfügung. Es wird zusätzlich angenommen, dass ein Drittel der Abfallmenge saisonal gelagert wird (Zwischenlagerung z. B. über Ballierung).

Der erforderliche, verbleibende Gaseinsatz kann mit diesen Maßnahmen im VG1 im Jahr 2050 reduziert werden, so dass nicht mehr 30 % der Wärmeerzeugung, sondern nur noch 19 % auf synthetischem Gas basieren. Allerdings bleibt in den Wintermonaten der Gaseinsatz unumgänglich. Durch die hohen Investitionskosten in Anlagen und Netz ergeben sich insgesamt höhere Wärmeerzeugungskosten, die das beschriebene Maßnahmenbündel auch bei hohen EE-Gas-Preisen aus wirtschaftlicher Sicht nach heutigem Kenntnisstand nicht rechtfertigen. Allerdings sollte die technologische Entwicklung weiter beobachtet werden.

Da es sich um ergänzende Maßnahmen im Transformationsszenario KS 95 handelt, können die Investitionsentscheidungen darüber zu einem späteren Zeitpunkt mit Kenntnis zu den Entwicklungen beim Erneuerbaren Gas getroffen werden.

9 EINORDNUNG DER ERGEBNISSE IN DIE BERLINER UND DIE NATIONALE KLIMAPOLITIK

Die CO₂-Emissionen in Berlin gemäß der Quellenbilanz betragen 16,9 Mio. t im Jahr 2016. Der Anteil des Fernwärmesystems der Vattenfall inklusive Inselnetze und FHW Neukölln AG lag bei 6,7 Mio. t CO₂ (knapp 40 %). Mit den bereits beschlossenen bzw. umgesetzten Maßnahmen (Abschaltung Braunkohle-Heizkraftwerk Klingenberg 2017, Ersatz Kraftwerk Lichterfelde 2019, Inbetriebnahme GuD Marzahn 2020, und Abschaltung des Kohleblocks Reuter C 2020) sinken die Emissionen gemäß Simulation des Verbundsystems VG1 und VG2 der Machbarkeitsstudie in 2021 auf 5,4 Mio. t CO₂ (vgl. Abbildung 20).



* Inklusive Emissionen der FHW Neukölln AG
 ** Prognoserechnungen des BEK 2030 für die Jahre 2020 und 2030, Quelle: BEK 2030, S. 47

Quellen: „Energie- und CO₂-Bilanz in Berlin 2016“;
 „Fortführung der Anlage 2 zur Klimaschutzvereinbarung zwischen dem Land Berlin und Vattenfall“;
 „Ergebnisse Machbarkeitsstudie Kohleausstieg“, Transformationsszenario KS 95

Abbildung 20- Einsparungen im Fernwärmesystem im Kontext der Klimaziele des BEK 2030

Im Klimaschutzszenario KS 95 sinken durch den Kohleausstieg die CO₂-Emissionen im Jahr 2030 um 2,15 Mio. t auf 3,3 Mio. t. Bezogen auf die Berliner Gesamtemissionen entspricht dies einer Einsparung von 13 %

(Quellenbilanz). Eine vollständige Dekarbonisierung bis 2050 führt zur Einsparung der übrigen 3,3 Mio. t. Dies entspricht einer Einsparung von 21 % gegenüber den Berliner Gesamtemissionen in 2016.

Die Umsetzung eines Transformationspfades in den Klimaschutzszenarien erfordert ein koordiniertes und sehr rasches Handeln zahlreicher Akteure (z. B. Vattenfall, kommunale Unternehmen des Landes Berlin, Genehmigungsbehörden, Netzbetreiber, Gesetzgeber):

- Auf dem besonders zeitkritischen Pfad für das Gelingen des Kohleausstieges liegt die Planung, Genehmigung und Errichtung eines Gasnetzanschlusses für den Standort Reuter aus dem Brandenburger Umland.
- Die hybride Gas-KWK Anlage muss so ausgelegt werden, dass sie perspektivisch mit Wasserstoff (aus EE-Anlagen) bzw. klimaneutralen synthetischem Gas betrieben werden kann, um Lock-In Effekte zu vermeiden.
- Die optimierte Nutzung der Abfallwärme und der Abwasserwärme am Standort Ruhleben erfordert den Abschluss von Vereinbarungen zwischen VWB, BSR und BWB.
- Die Erschließung der aufgezeigten Abwärmepotenziale im gewerblichen/industriellen Bereich erfordert ebenfalls entsprechende möglichst langfristige Vereinbarungen. Soweit durch Dritte klimaneutrale Wärmequellen im Fernwärmeversorgungssystem erschlossen werden können, müssen auch hier entsprechende Vereinbarungen und Verträge zur Einspeisung geschlossen werden.
- Die Nachverdichtung und Erweiterung der Fernwärmenetzes insbesondere, um den Gebäudebestand mit hoher Wärmelastdichte, für die keine ökologisch und ökonomisch gleichwertigen dezentralen Lösungen zur Verfügung stehen, klimafreundlich zu versorgen.

Die Ergebnisse der Machbarkeitsstudie verdeutlichen darüber hinaus, dass die energiepolitischen Rahmenbedingungen in Deutschland für den Umbau der Fernwärmeversorgung in Richtung Klimaneutralität dringend verbessert werden müssen. Das betrifft insbesondere folgende Punkte:

- Das Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetz (KWKG) inkl. einer adäquaten Erhöhung des Kohleumstiegsbonus muss kurzfristig bis 2030 verlängert werden. Nur so entstehen verlässliche Rahmenbedingungen für Planung, Genehmigung und Errichtung für den Baustein hybride Gas-KWK als eine zugleich sozialverträgliche Lösung. Auch die Kommission für Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung (Kohlekommission) fordert in ihrem Abschlussbericht eine solche Verlängerung.
- Wegfall des PV-Ausbaudeckels sowie Erhöhung der Ausschreibungsmenge und verbesserte Rahmenbedingungen zum Ausbau der Windenergie (Onshore, Offshore), damit die für die erforderliche Sektorkopplung (Power-to-Heat, Power-to-Gas) notwendigen Ausbauziele zur Erzeugung Erneuerbaren Stroms erreicht werden.
- Derzeit sind mit der Nutzung von Strom für die Wärmeerzeugung (z. B. Power-to-Heat, elektrisch betriebene Wärmepumpen) hohe Abgaben für EEG-Umlage, Stromsteuer und Netzentgelte verbunden. Die volkswirtschaftlich sinnvolle Nutzung von Strom aus Erneuerbaren Energien für diese Anwendung – insbesondere in Überschusssituationen - erfordert eine Anpassung der Netzentgelt- und Umlagensystematik (u. a. Weiterentwicklung §13 Abs. 6a EnWG „Nutzen statt Abregeln“).
- Berücksichtigung und Umsetzung der erforderlichen Netzverstärkungen für die Power-to-Heat Maßnahmen im Netzentwicklungsplan 2030.
- Für eine vollständige Dekarbonisierung der Wärmeerzeugung bis 2050 muss Erneuerbares Gas in ausreichendem Umfang zur Verfügung stehen. Dazu sind technologische Weiterentwicklungen und

B E T

eine Kostendegression bei der Herstellung von synthetischem Gas erforderlich, die – analog zur Entwicklung der Technologien zur Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien – über energiepolitische Förderprogramme forciert werden können.

- Sofortige Einführung einer wirksamen CO₂-Bepreisung für die nicht unter den Emissionshandel fallenden Anlagen im Gebäude- und Verkehrssektors. Nur auf diese Weise kann eine Steuerungswirkung hinzu weniger CO₂ für die beiden Sektoren erreicht werden. Eine CO₂-Steuer ließe sich schneller umsetzen und ist deshalb zu bevorzugen.
- Insbesondere für eine langfristige Dekarbonisierung des Gebäudesektors ist eine deutliche Erhöhung der Sanierungsraten und der Sanierungstiefe zur Verringerung des spezifischen Wärmebedarfs erforderlich. Hierzu müssen landes- und bundespolitische Rahmenbedingungen (u. a. Gebäudeenergiegesetz) geschaffen werden. Dies könnte z. B. durch Anhebung der Standards im Gebäudeenergiegesetz oder durch steuerliche Anreize für Energieeffizienzmaßnahmen umgesetzt werden. Bei diesen Maßnahmen ist insbesondere die Sozialverträglichkeit und Bezahlbarkeit von Wohnraum zu gewährleisten.
- Für die Förderung von zum Beispiel Großwärmepumpen und Biomasseheizwerke sollte über eine Betriebsförderung im Rahmen des angedachten Basisförderprogramms Fernwärmeinfrastruktur oder im Rahmen des KWKG nachgedacht werden. Für Erneuerbare-Energien-Fernwärme, die Kohlewärmeerzeugung ersetzt, sollte zusätzlich ein „Kohlewärmeersatzbonus“ gewährt werden.

10 GLOSSAR

BHKW, Block-Heizkraftwerk: Anlage zur Erzeugung von Strom und Wärme.

Dezentrale Versorgungsoption: Eine Versorgungsoption, die ein Gebäude oder einen Gebäudekomplex mit Wärme versorgt. Die Wärmeversorgung erfolgt direkt vor Ort ohne Durchleitung der Wärme durch ein Fernwärmenetz.

GuD, Gas und Dampfturbinenheizkraftwerk: Eine KWK-Anlage in der in einem hocheffizienten Prozess Strom und Wärme erzeugt werden.

KWK, Kraft-Wärme-Kopplung: Sammelbegriff für eine Vielzahl möglicher Anlagen, die in einem gekoppelten Prozess gleichzeitig Strom und Wärme erzeugen.

PtH, Power-to-Heat: Eine Anlage, die unter Einsatz von EE-Strom Wärme erzeugt.

PtG, Power-to-Gas: Sammelbegriff für die Herstellung und Nutzung von synthetischem Gas. Die Herstellung erfolgt mit Hilfe von Erneuerbarem Strom.

Szenario: Qualitative und Quantitative Beschreibung einer möglichen Entwicklung einer Gesamtheit technischer, wirtschaftlicher oder politischer Größen. Ein Szenario ist in sich konsistent sein.

Szenariorahmen: Beschreibung der Entwicklung der internationalen Energiemärkte (= Energiemarktszenario) und des Wärmebedarfes in dem untersuchten Versorgungsgebiet (= Wärmebedarfsszenario)

Transformationsszenario: Gesamtheit einer Beschreibung der Entwicklung der internationalen Energiemärkte, des Wärmebedarfes in dem untersuchten Versorgungsgebiet und der Entwicklung des Portfolios aller Wärme erzeugenden, speichernden und verteilenden Anlagen im Versorgungsgebiet 1 der VWB. Ein Transformationsszenario besteht aus einem Szenariorahmen und einem Transformationspfad.

Transformationspfad: Beschreibung der Entwicklung des Portfolios aller Wärme erzeugenden, speichernden und verteilenden Anlagen im Versorgungsgebiet 1 der VWB.

Versorgungsoption: Eine Wärme erzeugende Anlage und gegebenenfalls Hilfseinrichtungen wie zum Beispiel ein Wärmespeicher.

WP, Wärmepumpe: Eine Technik mit der Wärme in einem niedrig temperierten Wärmemedium z. B. Abwärme im Abwasser oder Umweltwärme in der Luft, unter Einsatz einer Antriebsenergie für die Fernwärme mit ihrem Temperaturniveau (in VG1 überwiegend 80°C Vorlauftemperatur) nutzbar gemacht werden kann.

IMPRESSUM

B E T Büro für Energiewirtschaft und technische Planung GmbH
Alfonsstraße 44
52070 Aachen

Autoren B E T :

Dr. Michael Ritzau - Generalbevollmächtigter und Gründungsgesellschafter
Thomas Langrock - Leiter Kompetenzteam „Erzeugung“
Armin Michels - Partner „Nachhaltige Erzeugungssysteme“

Ansprechpartner Vattenfall Wärme Berlin AG:

Markus Witt – Vice President of Asset Management
Christoph Koch – Leiter Portfolioplanung Berlin
Alexander Noack – Referent Asset Management

Ansprechpartner Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz:

Jan Thomsen (Pressestelle)