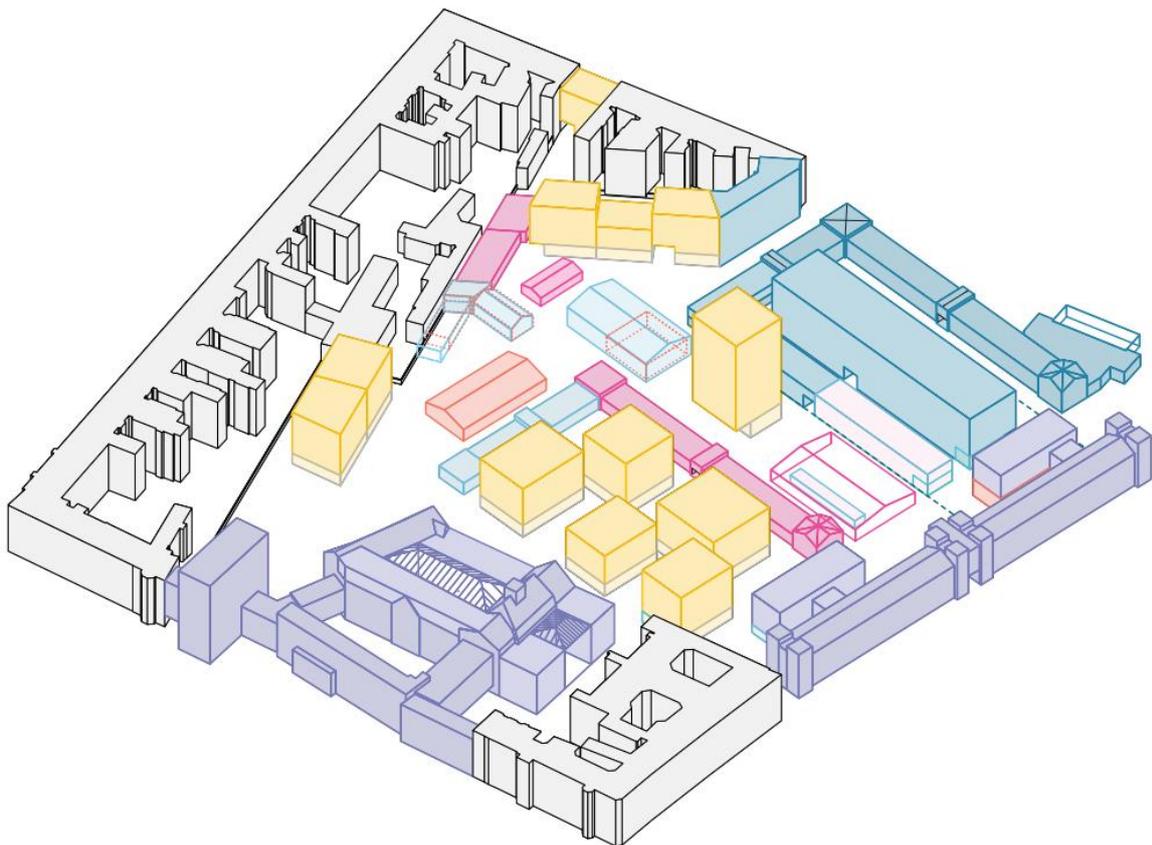


**Energetisches Quartierskonzept für das
Sanierungsgebiet Rathausblock,
Bezirk Friedrichshain-Kreuzberg**

Ergänzung Szenario 4



Städtebaulicher Entwurf vom 23.11.2020; SMAQ; Man Made Land; Barbara Schindler

**Schlussbericht
07.01.2022**

Bezirksamt Friedrichshain-Kreuzberg

Bezirksamt Friedrichshain-Kreuzberg von Berlin

Abteilung für Bauen, Planen und Facility Management
Stadtentwicklungsamt
Yorckstr. 4-11, 10965 Berlin

Bearbeitung

Marcel Hanakam
Philipp Lieberodt
Shams Osman
Josephine Marquardt

Megawatt
Ingenieurgesellschaft mbH

Standort Berlin
Paul-Lincke-Ufer 8b
10999 Berlin

T 030-85 79 18-0
F 030-85 79 18-99
kontakt@megawatt.de

www.megawatt.de

Berlin, den 17. Januar 2022

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	7
2	Bedarfsermittlung	10
3	Potentialanalyse	11
3.1	Maßnahmenkarten	11
3.1.1	Kleinwindenergieanlagen (Strom)	12
3.1.2	Abwärme aus der U-Bahn	13
3.1.3	Hybrid-Solarmodule Typ PVT	14
3.1.4	Biomüll, Kleingasturbine und Kessel	15
3.1.5	T-Cell	16
3.1.6	Stahlspeicher	17
3.2	Bewertung der Maßnahmen	18
3.2.1	Abwärme aus der U-Bahn	18
3.2.2	Hybrid-Solarmodule Typ PVT	19
3.2.3	Kleinwindenergieanlagen	20
3.2.4	Stahlspeicher	20
3.3	Anpassung der Gebäudestandards	21
4	Szenarioentwicklung	25
4.1	Phase I: Kerngebiet Dragonerareal, Finanzamt und Rathausstandort	25
4.1.1	Szenarioentwicklung	25
4.1.2	Treibhausgasbilanz und Primärenergiefaktoren	27
4.1.3	Wirtschaftlichkeit, Sozialverträglichkeit und Fördermöglichkeiten	30
4.2	Phase II: Sanierungsgebiet Rathausblock	36
4.2.1	Szenarioentwicklung	36
4.2.2	Treibhausgasbilanz und Primärenergiefaktoren	37
4.2.3	Wirtschaftlichkeit, Sozialverträglichkeit und Fördermöglichkeiten	39
5	Zusammenfassung	43

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Darstellung der Phasen der Entwicklung der Szenarien im Rahmen des energetischen Quartierskonzepts	8
Abbildung 2: Energieeinsparungen der verschiedenen Effizienzstandards gegenüber einer Ausführung nach EnEV 2016	22
Abbildung 3: Mehrkosten für die Ausführung der verschiedenen Gebäudestandards bezogen auf eine Ausführung nach EnEV 2016	23
Abbildung 4: Energiebedarfsdeckungsanteil aus den Energieerzeugungsanlagen in Phase I; links: Strom; rechts: Wärme	26
Abbildung 5: Exemplarische Leitungsführung des Nahwärmenetzes für Phase I (analog zu den Szenarien 1-3C unter Berücksichtigung der Abwasserdruckleitung. Das Netz im Gebiet der Phase I bleibt bis auf den Anschluss an die U-Bahnstation am Mehringdamm gleich.)	27
Abbildung 6: Treibhausgasemissionen von 2025 bis 2045 nach Szenario für Phase I	29
Abbildung 7: Aufgeschlüsselte Investitionskosten des Netzes und der Anlagen für Phase I	32
Abbildung 8: Betriebs-, bedarfsgebundene und sonstige Kosten der Wärmeerzeugung für Phase I	34
Abbildung 9: Energiebedarfsdeckungsanteil aus den Energieerzeugungsanlagen in Phase II; links: Strom; rechts: Wärme	36
Abbildung 10: Exemplarische Leitungsführung des Nahwärmenetzes für Phase II	37
Abbildung 11: Treibhausgasemissionen von 2025 bis 2045 nach Szenario für Phase II	38
Abbildung 12: Aufgeschlüsselte Investitionskosten für Phase II	40
Abbildung 13: Betriebs-, bedarfsgebundene und sonstige Kosten der Wärmeerzeugung für Phase II	41

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Energiebedarf für Heizen, Trinkwarmwasser und Strom für Phase I und Phase II	10
Tabelle 2: Vergleich der Erträge von Photovoltaik- und Hybridmodulen für Phase I und II	19
Tabelle 3: Anpassung der Effizienzstandards im direkten Vergleich	24
Tabelle 4: Emissionsfaktoren der Strom- und Wärmeversorgung in Phase I	29
Tabelle 5: Annahmen für die Wirtschaftlichkeitsberechnung	33
Tabelle 6: Investitionskosten, Förderhöhe und Gesamtannuität je Szenario für Phase I	34
Tabelle 7: Wärmegestehungskosten je Szenario für Phase I	35
Tabelle 8: Jährliche und monatliche flächenbezogene Wärmekosten je Szenario für Phase I	35
Tabelle 9: Emissionsfaktoren der Strom- und Wärmeversorgung in Phase II	39
Tabelle 10: Investitionskosten, Förderhöhe und Gesamtannuität je Szenario für Phase II	41
Tabelle 11: Wärmegestehungskosten je Szenario für Phase II	42
Tabelle 12: Jährliche und monatliche flächenbezogene Wärmekosten je Szenario für Phase II	42



Akronyme und Abkürzungen

AGFW	Energieeffizienzverbands für Wärme, Kälte und KWK
ARGE	Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen e.V.
BAFA	Bundesamtes für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
BIM	Berliner Immobilienmanagement GmbH
BVG	Berliner Verkehrsbetriebe
EMSR	elektrische Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik
GEG	Gebäudeenergiegesetz
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
PEF	Primärenergiefaktor
WBM	Wohnungsbaugesellschaft Berlin Mitte mbH

1 Einleitung

Die fortschreitende Klimakrise erfordert entschlossenes Handeln auf allen Ebenen, um die Auswirkungen der globalen Erwärmung auf ein beherrschbares Ausmaß zu begrenzen. Ohne ein konsequentes und entschlossenes Handeln auf allen Ebenen durch unterschiedlichste Akteure kann die Erde den nächsten Generationen nicht in einem biodiversen, klimatisch beherrschbaren und politisch stabilen Zustand übergeben werden. Die Energiewende zum Schutz des Klimas ist dahingehend schnellstmöglich unter sozialer Verträglichkeit umzusetzen. Dementsprechend und um die Ziele des Pariser Abkommens einhalten zu können, sind kurzfristig erhebliche Emissionsminderungen notwendig. Mit der Novelle des Klimaschutzgesetzes vom Mai 2021 hat die Bundesregierung zudem eine deutliche Verschärfung der Klimaziele vorgenommen und das Zieljahr der Treibhausgasneutralität bis 2045 vorgezogen.

Das Sanierungsgebiet Rathausblock im Berliner Bezirk Friedrichshain-Kreuzberg ist ein Leuchtturmprojekt, das einen modellhaften Charakter haben soll. Dementsprechend werden Innovationen in jeder Hinsicht – somit auch in der Energieversorgung – angestrebt. Im Rahmen des energetischen Quartierskonzepts Rathausblock werden drei verschiedene Energieversorgungsszenarien entwickelt und hinsichtlich ihres Einflusses auf das Klima und ihrer sozio-ökonomischen Effekte miteinander verglichen. Ziel ist es, sowohl die verschiedenen Strom- und Wärmeversorgungsmöglichkeiten aufzuzeigen als auch eine Empfehlung für eine modellhafte energetische Versorgung des Quartiers abzugeben. Hierbei wird Innovation aus technischer, ökologischer und ökonomischer Sicht angestrebt, sodass die Szenarien jeweils mit Faktoren (beispielsweise Primärenergiefaktor und Wärmegestehungskosten) zur quantitativen Bewertung versehen und miteinander verglichen werden können.

Nach der Entwicklung von drei Szenarien (bzw. fünf Szenarien, da Szenario 3 in drei Varianten unterteilt ist) für die Strom- und Wärmeversorgung des Sanierungsgebiets Rathausblock, die im Bericht „Energetisches Quartierskonzept für das Sanierungsgebiet Rathausblock“ (eQK) beschrieben sind, wird im Rahmen eines zusätzlichen Auftrags ein viertes Szenario entwickelt, initiiert durch den Bezirksstadtrat für Bauen, Planen und kooperative Stadtentwicklung und begleitet von den Fachverwaltungen des Bezirksamtes, dem Sanierungsbeauftragten S.T.E.R.N. sowie einem klimapolitischen Experten des Bündnis 90/ die Grünen.

Zur Einordnung des Szenario 4 folgen kurz die 3 Szenarien des energetischen Quartierskonzeptes Phase I im Überblick:

1. Szenario 1: Fernwärme, Nutzung des Wärmepotentials der Abwasserdruckleitung/ Photovoltaik (Solargründächer gesetzl. Minimum)
2. Szenario 2: Nutzung des Wärmepotentials der Abwasserdruckleitung (ADL), erdgasgefeuertes Blockheizkraftwerk (BHKW), erdgasgefeuerter Spitzenlastkessel / Photovoltaik (Solargründächer und Fassade), BHKW
3. Szenario 3A: Nutzung des Wärmepotentials der Abwasserdruckleitung (ADL), Fernwärme / Photovoltaik (Solargründächer und Fassade)

4. Szenario 3B: Nutzung des Wärmepotentials der Abwasserdruckleitung (ADL), biogasgefeuerter Spitzenlastkessel / Photovoltaik (Solargründächer und Fassade)
5. Szenario 3C: Nutzung des Wärmepotentials der Abwasserdruckleitung (ADL), Power2Heat / Photovoltaik (Solargründächer und Fassade)

Das **Szenario 4** für die Energieversorgung des Projektgebiets zeichnet sich durch **einen Fokus auf Klimaneutralität an erster Stelle** aus; die volle Energiebedarfsdeckung sollte aus vor Ort erzeugter, klimaneutraler Energie angestrebt werden. Um dies zu schaffen, ist der Anteil des erneuerbaren und lokalen Stroms gegenüber dem empfohlenen Szenario im energetischen Quartierskonzept zu erhöhen.

Die **im Modellprojekt Rathausblock wichtigen Parameter** wie bspw. Bezahlbarkeit werden hierbei zunächst **nicht primär betrachtet**. Mit diesem Fokus soll nach weiteren Möglichkeiten der Energiegewinnung geschaut werden.

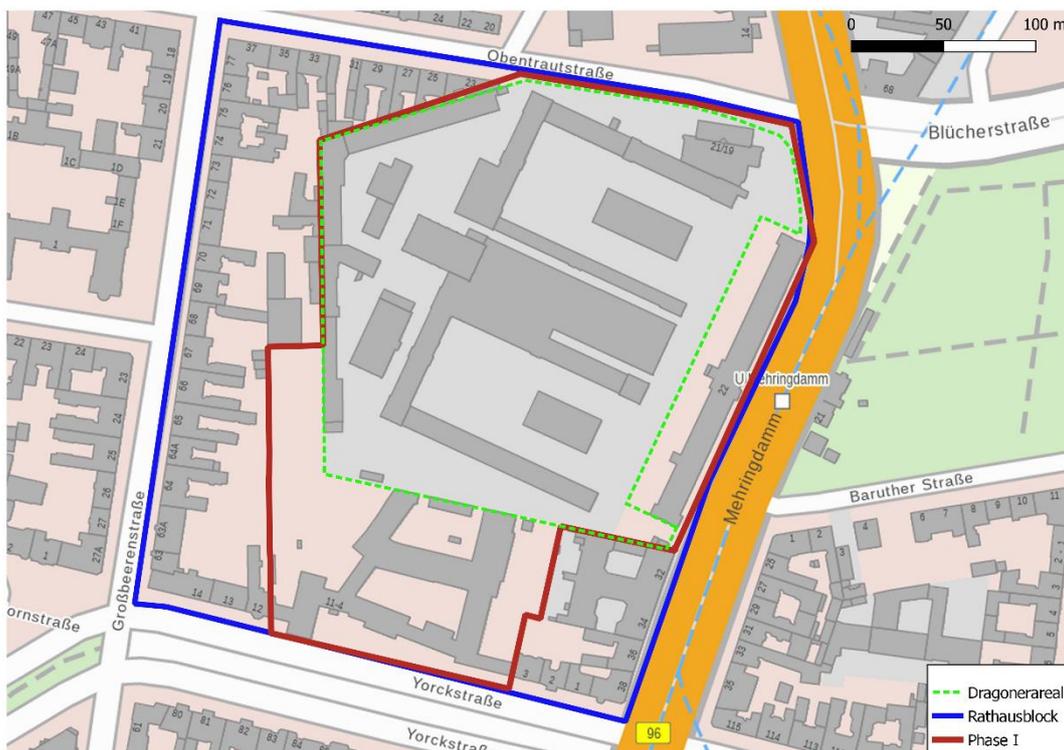


Abbildung 1: Darstellung der Phasen der Entwicklung der Szenarien im Rahmen des energetischen Quartierskonzepts

Analog zu den ersten drei Szenarien des Berichtes eQK wird zuerst die **Bedarfsermittlung** erläutert. Daraufhin folgt eine **Potentialanalyse** der weiteren erneuerbaren Energieerzeugungsanlagen sowie innovativen Speichertechnologien unter dem verstärkten Fokus der Klimaneutralität. Anschließend wird das entstehende **Szenario 4 beschrieben** und **aus ökologischer und ökonomischer Sicht** anhand von Faktoren, wie dem Primärenergiefaktor und den Wärmegestehungskosten, **bewertet**.

Es wird ein Szenario 4 für Phase I (Dragonerareal zzgl. Rathaus und Finanzamt, vgl. Abbildung 1) und darauf aufbauend ein weiteres Szenario 4 für Phase II (gesamter Rathausblock) entwickelt. Die Phasen der Entwicklung des energetischen Quartierskonzeptes sind Abbildung 1 zu entnehmen.

2 Bedarfsermittlung

Die Art und der Umfang der Energieversorgung ist vom Energiebedarf abhängig. Je höher der Energiebedarf ist, desto mehr Strom und Wärme müssen erzeugt werden, um diesen zu decken. In Szenario 4 wird eine **Erhöhung der Neubau- und Sanierungsstandards aller Gebäude** über die gesetzlichen Standards hinaus angestrebt. Dementsprechend wird von der Annahme ausgegangen, dass der Energiebedarf im Fall der Umsetzung des Szenarios 4 deutlich reduziert wird.

Für die Bedarfsermittlung dieses Szenarios wird für die **Neubaugebäude der Passivhausstandard** angenommen. Dies führt dazu, dass der Heizwärmebedarf auf 15 kWh/m² jährlich abgesenkt wird. Der Trinkwarmwasserbedarf bleibt wie bei allen vorherigen Szenarien bei jährlich 12,5 kWh/m².

Für die **Bestandsgebäude im Bereich des Wohnens wird der Standard KfW40** – mit einem Heizwärmebedarf von 25 kWh/m² und ebenfalls einem Trinkwarmwasserbedarf von 12,5 kWh/a jährlich – angenommen.

Auch für alle weiteren Bestandsgebäude (z.B. Gewerbegebäude) wurden die Annahmen zum Heizwärme- und Trinkwarmwasserbedarf analog angepasst, sodass sich die in Tabelle 1 angegebenen Energiebedarfe für Szenario 4 für die Phase I und Phase II ergeben.

Tabelle 1: Energiebedarf für Heizen, Trinkwarmwasser und Strom für Phase I und Phase II

	Heizen [MWh/a]	Trinkwarmwasser [MWh/a]	Strom [MWh/a]
<i>Phase I</i>	2.840	530	3.170
<i>Phase II</i>	4.110	1.020	4.000

Als Hinweis zu der Annahme KfW 40 Standard sei erwähnt, dass bisher von den für Bauprojekte verantwortlichen Projektbeteiligten im Gebiet der Phase I ein Gebäudestandard für sanierte Bestandsgebäude von KfW 55 angenommen wurde. Für die Bestandsbauten im Gebiet der Phase II sind keine Planungen zur Verbesserung des Bestandes bekannt.

3 Potentialanalyse

Im Anschluss an die Bedarfsermittlung erfolgte eine Potentialanalyse. Diese umfasst innovative Technologien zur Strom- und Wärmebereitstellung, die sich von den Technologien bzw. Maßnahmen in der Potentialanalyse des ursprünglichen energetischen Quartierskonzepts unterscheiden¹. Voraussetzung für diese „Technologien der Zukunft“ ist, dass die **Energieerzeugung emissionsfrei** stattfindet.

Einige der Maßnahmen sind in der Realisierung kostenintensiv, dies wurde jedoch aufgrund des geänderten Fokus für das Szenario 4 nicht als Hemmnis bewertet. In den Szenarien 1-3C bzw. 3B des eQK wurden diese Maßnahmen nicht betrachtet, da der Kostenfaktor dort eine Rolle zur Ermöglichung leistbarer Wohn- und Gewerberäume spielt.

Für jede hier neu vorgeschlagene Technologie wurde eine Maßnahmenkarte erstellt. Die neu vorgeschlagenen Technologien wurden im Rahmen eines zweistündigen Workshops am 04.11.2021 erklärt, diskutiert und bewertet. In den nächsten Abschnitten wird näher auf die Technologien und deren Bewertung eingegangen.

3.1 Maßnahmenkarten

Im Folgenden werden sechs Technologien zur Strom- und/oder Wärmebereitstellung beschrieben. Auf jeder Karte werden allgemeine Informationen mit einer Aussage bezüglich der Klimaneutralität der Maßnahme angegeben. Hinzu kommen die positiven Nebeneffekte, die sich bei der Nutzung der jeweiligen Technologie ergeben, sowie Hemmnisse der Umsetzung dieser Maßnahme.

¹ Schlussbericht: Energetisches Quartierskonzept für das Sanierungsgebiet Rathausblock, Bezirk Friedrichshain-Kreuzberg, Berlin 2022

Technologien der Zukunft

3.1.1 Kleinwindenergieanlagen (Strom)

Allgemeine Informationen

Kleinwindenergieanlagen (KWEA) mit horizontaler Achse erzeugen Strom aus Windenergie. Eine Kombination mit Batteriespeichern (s.u.) ist sinnvoll, da die Eigennutzung wirtschaftlicher ist als die Einspeisung.

Nicht zu verwechseln mit Mikro-WEA: diese verfügen über eine vertikale Achse, sind jedoch kleiner, haben niedrigere Erträge und sind weniger wirtschaftlich.

Batteriespeicher von E-Autos können bei viel Wind geladen und bei wenig Wind entladen werden, sodass sie für Netzstabilität und eine höhere Eigenverbrauchsquote der Windenergie sorgen.



Bildquelle: wind-energie.de

Produkt: Strom

Klimaneutralität: keine Treibhausgasemissionen bei Stromerzeugung

- | | |
|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Positive Nebeneffekte | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Mögliche Eigennutzung ➤ Kombination mit E-Autos möglich ➤ Niedriger Flächenbedarf |
| Hemmnisse | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Vereinbarkeit Denkmalschutz ➤ Begrenzte Einsatzmöglichkeiten im innerstädtischen Bereich ➤ Geringer Flächenertrag im Vergleich zur PV |

Technologien der Zukunft

3.1.2 Abwärme aus der U-Bahn

Allgemeine Informationen

Abwärme aus der U-Bahn-Haltestelle Mehringdamm kann bspw. m. H. einer Luft-Wasser-Wärmepumpe theoretisch zur Deckung von 5.556 MWh jährlich verwendet werden. Für die Spitzenlast kann eine Hochtemperatur-Luft-Wasser-Wärmepumpe verwendet werden.

Die Kombination mit saisonalen Eisspeichern ist möglicherweise sinnvoll, falls Wärme ausschließlich im Sommer überschüssig ist.

Produkt: Wärme

Klimaneutralität: Betriebsstrom ist für die Wärmepumpe(n) notwendig. Klimaneutralität ist von der Stromquelle abhängig.

Potential excess heat from Mehringdamm

ID:	868
Name of the station	Mehringdamm
Name of the system	Berlin U-Bahn
Country	Germany
City	Berlin
Type	Rapid transit
Available excess heat pre heat pump evaporator [PJ]	0,01
Available excess heat assuming a heat pump with a COP of 3.0 [PJ]	0,02
Compressor electric input [PJ]	0,01

Bildquelle: heatroadmap.eu/peta4/

Positive Nebeneffekte

- Ganzjährig verfügbar
- Lokale Wärmequelle

Hemmnisse

- Bauarbeiten in der U-Bahn-Station in Abstimmung mit der BVG notwendig

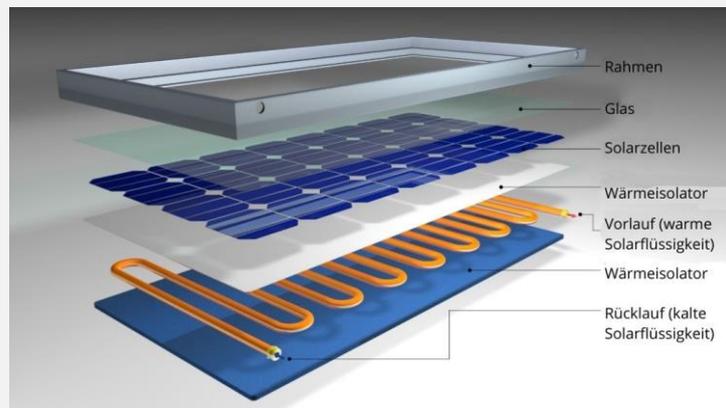


Technologien der Zukunft

3.1.3 Hybrid-Solarmodule Typ PVT

Allgemeine Informationen

Hybrid-Solarmodule aus Photovoltaik-Zellen und solarthermischen Kollektoren stellen Strom und Wärme gleichzeitig zur Verfügung. Aufgrund der Bauart sinkt der Wirkungsgrad jeder einzelnen Technologie im Vergleich zur getrennten Verwendung von Photovoltaik-Modulen und solarthermischen Kollektoren, sodass der Ertrag 20-30% geringer ausfällt als bei der getrennten Verwendung der beiden Technologien.



Bildquelle: sonnenstrom365.de

Durch die Nutzung der beiden Technologien in einem Modul eignet sich diese Technologie bei wenig vorhandenen Technikflächen besonders gut.

Produkt: Strom und Wärme

Klimaneutralität: keine Treibhausgasemissionen bei Strom- und Wärmeerzeugung.

Positive Nebeneffekte

- Gleichzeitige Erzeugung von Strom und Wärme
- Geringer Flächenbedarf

Hemmnisse

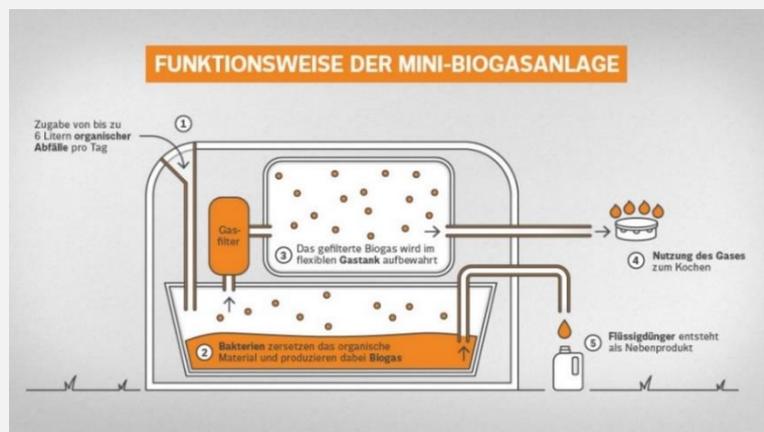
- Geringerer Ertrag als bei reiner Photovoltaik oder reiner Solarthermie

Technologien der Zukunft

3.1.4 Biomüll, Kleingasturbine und Kessel

Allgemeine Informationen

Kompost aus Restessen (Biomüll, organische Abfälle) aus dem Rathausblock kann zur Biogaserzeugung verwendet werden. Zum einen kann die dabei entstehende Wärme als Quelle für eine Wärmepumpe zur Wärmeversorgung dienen, zum anderen kann das Biogas gespeichert werden und bei Bedarf zur Feuerung eines Kessels zur Spitzenlastdeckung des Wärmebedarfs und zur Feuerung einer Kleingasturbine zur Deckung des restlichen Strombedarfs verwendet werden. Alternativ kann ein Blockheizkraftwerk Strom und Wärme gleichzeitig erzeugen. Der Ertrag ist von der Menge der Rohstoffe abhängig.



Bildquelle: elife.vattenfall.de

Produkt: Strom und Wärme

Klimaneutralität: Das Methan, das durch die organischen Abfälle erzeugt wird, wird vor Ort verwendet. CO₂ wird durch die Verbrennung erzeugt. Dieses ist genauso viel wie beim Wachstum der Pflanzen aufgenommen wurde.

- | | |
|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Positive Nebeneffekte | ➤ Lokale Verwendung der organischen Abfälle |
| Hemmnisse | ➤ Lokale Verbrennung und dadurch CO ₂ -Produktion
➤ Hoher Betriebs- und Wartungsaufwand |

Technologien der Zukunft

3.1.5 T-Cell

Allgemeine Informationen

Brennstoffzelle erzeugt Strom aus grünem Wasserstoff. Die dabei entstehende Wärme wird für Heizwärme und Trinkwarmwasser verwendet. Eine Turbomaschine ist nachgeschaltet, um zusätzlichen Strom zu erzeugen. Eingebettete Akkus sorgen für Spitzenlastenabfederung. Die Nennleistung beträgt ca. 270 kW pro Anlage.

Produkt: Strom und Wärme

Klimaneutralität: abhängig vom Brennstoff (klimaneutral bei Verwendung von grünem Wasserstoff)



Bildquelle: b-tu.de

Positive Nebeneffekte

- Optisch flexibel
- Vorzeigetechnologie

Hemmnisse

- Kostenintensiv in Anschaffung und Betrieb
- Noch in der Entwicklungsphase



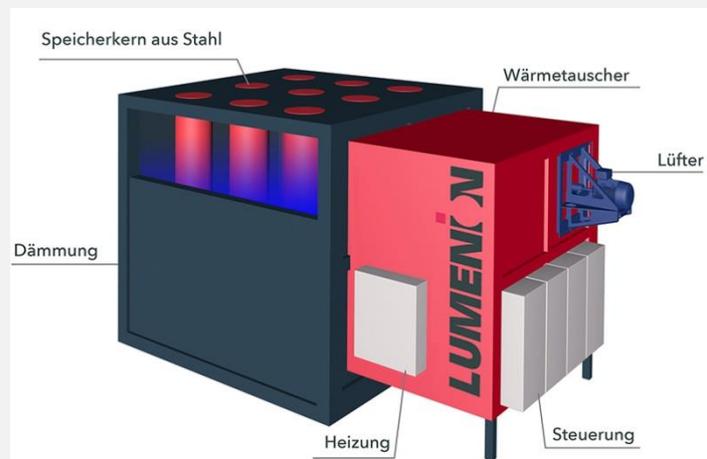
Technologien der Zukunft

3.1.6 Stahlspeicher

Allgemeine Informationen

Überschüssige erneuerbare Energie wird in einem Stahlspeicher gespeichert. Das sorgt für Netzstabilität und Nutzung erneuerbarer Energie, die sonst ungenutzt bleibt und womöglich zu negativen Börsenpreisen führt.

Prozessdampf oder Wärme werden beim Entladen des Speichers zur Verfügung gestellt. Wärme kann direkt für Heizzwecke und TWW verwendet werden. Strom kann über Turbine erzeugt werden.



Bildquelle: lumenion.de

Eine nachgeschaltete Turbine kann zusätzlich 25-35% der Wärme aus dem Rücklauf für Stromerzeugung verwenden. Wirkungsgrade bis zu 95% (25% elektrisch, 70% thermisch) sind erreichbar.

Produkt: Strom und Wärme

Klimaneutralität: Betrieb klimaneutral. Technologie bei ausschließlicher Verwendung von erneuerbarem Strom klimaneutral.

Positive Nebeneffekte ➤ Beitrag zur Stromnetzstabilisierung

Hemmnisse ➤ Verfügbarkeit der (überschüssigen) erneuerbaren Energie zu den benötigten Zeiten

3.2 Bewertung der Maßnahmen

In dem Workshop am 04.11.2021 wurden den Teilnehmer*innen aus dem Bezirksamt Friedrichshain-Kreuzberg, dem Stadtrat für Bauen, Planen und kooperative Stadtentwicklung und einem klimapolitischen Experten des Bündnis 90/ die Grünen die Maßnahmenkarten vorgestellt und die dazugehörigen Technologien erläutert. Die Workshop-Teilnehmer*innen hatten die Möglichkeit mit einem „+“- oder „-“-Zeichen die jeweilige Technologie zu bewerten sowie sich inhaltlich dazu zu äußern. Auf diese Weise konnte eine gut fundierte Diskussion über klimaneutrale Technologien stattfinden.

In dieser Reihenfolge wurden die folgenden Technologien positiv bewertet:

1. Abwärme aus der U-Bahn (s. Kapitel 3.1.2)
2. Kleinwindenergieanlagen (s. Kapitel 3.1.1)
3. Stahlspeicher (s. Kapitel 3.1.6)
4. Hybrid-Solaranlagen Typ PVT (s. Kapitel 3.1.3)

Die Weiterverfolgung der Technologien 3.1.4 und 3.1.5 war nicht erwünscht. Weitere Vorschläge durch den Teilnehmerkreis waren Eisspeicher sowie Aquiferspeicher als saisonale Wärmespeicher zu verwenden, sowie mehrere Technologien in einem Szenario zu kombinieren.

Im Anschluss an den Workshop wurde eine qualitative und quantitative Potentialabschätzung der positiv bewerteten Maßnahmen durchgeführt. Diese wird im Folgenden beschrieben.

3.2.1 Abwärme aus der U-Bahn

In U-Bahn-Stationen besteht einen Überschuss an Wärme, die aus dem Betrieb der U-Bahn stammt. Eine U-Bahn erzeugt Wärme als Nebenprodukt beim Anfahren sowie während der Fahrt, aber vor allem beim Bremsen, wenn eine U-Bahn sich einer Station nähert und anhält. Normalerweise findet eine Lüftung statt, zum Teil um diese Überschusswärme kontrolliert aus der Station abzuführen. Mit Hilfe eines Wärmetauschers kann diese Abwärme stattdessen nutzbar gemacht werden, indem die Wärme auf ein Wärmeträgermedium übertragen und zu einer Wärmepumpe transportiert wird. Auf diese Weise stellt die Abwärme aus der U-Bahn eine Wärmequelle für eine Sole-Wasser-Wärmepumpe dar.²

Nach dem Pan-Europäischen Wärmeatlas beträgt die Abwärme bzw. der Überschuss thermischer Energie an der U-Bahn-Station Mehringdamm – die sich in unmittelbarer Nähe des Projektstandorts befindet – mindestens 3.600 MWh im Jahr³. Bei der Aufnahme dieser thermischen Energie in der Heizperiode für Heizzwecke und ganzjährig für die Trinkwassererwärmung ist es

² <https://www.reuseheat.eu/berlin/>

³ <https://heatroadmap.eu/peta4/>

möglich Wärme unter Verwendung einer Wärmepumpe mit einer Leistung von ca. 430 kW bereitzustellen.

Die BVG nutzt die U-Bahn-Abwärme bereits, um eine ihrer Betriebswerkstätten in der Turmstraße zu beheizen⁴. Für den Rathausblock müssten im Falle einer Nutzung der U-Bahn-Abwärme Verträge über den technischen und wirtschaftlichen Rahmen zur kontinuierlichen Nutzung als Quelle für eine Wärmepumpe mit der BVG geschlossen werden. Hierin muss auch geregelt werden, dass der Betrieb der U-Bahn-Schächte nicht durch die Nutzung des Abwärmepotentials eingeschränkt oder gefährdet wird. Außerdem sind Regelungen zur Ausfallsicherheit und der notwendigen Reserverlast eines Wärmeerzeugers notwendig.

3.2.2 Hybrid-Solarmodule Typ PVT

Die Nutzung der Hybrid-Solarmodule hat den Vorteil der zweifachen Flächennutzung, da durch ihre innovative Bauweise sowohl erneuerbarer Strom als auch erneuerbare Wärme zur Verfügung gestellt werden kann.

Am Projektstandort kann bspw. für Phase I ca. 230 MWh an thermischer Energie durch diese Technologie bereitgestellt werden. Dafür sinkt der Ertrag durch die Nutzung der Hybrid-Solarmodule um ca. 380 MWh elektrischer Energie in Phase I im Vergleich zum Stromertrag bei der Installation von Photovoltaik-Modulen auf den verfügbaren Dachflächen.

Tabelle 2: Vergleich der Erträge von Photovoltaik- und Hybridmodulen für Phase I und II

	Energieform	Ertrag PV [MWh/a]	Deckungsan- teil [%]	Ertrag PVT [MWh/a]	Deckungsan- teil [%]
Phase I	Strom	1.350	26	1.020	22
	Wärme	0	0	230	7
Phase II	Strom	2.360	36	1.780	31
	Wärme	0	0	610	11

⁴<https://www.tagesspiegel.de/berlin/u-bahn-heizung-fuer-weddinger-kirche-heisse-luft-fuer-schinkels-kirche/9041270.html>

Tabelle 2 können die jeweiligen Erträge für elektrische und Wärmeenergie für beide Phasen entnommen werden, wenn die verfügbare Dachfläche vollständig mit der jeweiligen Technologie belegt wird. Auch die Deckungsanteile am Bedarf können dieser Tabelle entnommen werden.

Wie in Kapitel 3.1.3 beschrieben geht die Verknüpfung der Technologien zur Wärme- bzw. Stromgewinnung mit einem Ertragsverlust gegenüber nicht hybriden Lösungen einher. **Da die Deckung des Wärmebedarfs durch verschiedenste Technologien einfacher zu lösen ist, liegt der Fokus für die Nutzung der Dachflächen auf der Stromgewinnung.** Diese ist bei den Hybridmodulen geringer als bei reinen Photovoltaikmodulen. Zudem ist der Deckungsanteil am Wärmebedarf, der durch die Hybridmodule erreicht werden kann, vergleichsweise gering, weshalb im Folgenden die Hybridmodule keine weitere Berücksichtigung in der Entwicklung des Szenario 4 finden werden. Die Dachflächen werden mit reinen Photovoltaikmodulen zur Stromgewinnung belegt.

3.2.3 Kleinwindenergieanlagen

Nach der Bauordnung für Berlin § 61 Abs. 1 Nr. 3 c) können Windenergieanlagen mit bis zu 10 m Höhe (gemessen von der Geländeoberfläche) und einem Rotordurchmesser bis zu 3 m aufgestellt werden, mit der Ausnahme von reinen Wohngebieten⁵. Der jährliche Energieertrag aus einer Windenergieanlage ist stark von der Windgeschwindigkeit am Projektstandort abhängig. Angenommen, dass die Anlagen auf Dächern von Gebäuden im Dragonerareal aufgestellt werden können, wird zuerst die Anzahl der benötigten Kleinwindenergieanlagen, die zur Kompensation der Ertragssenkung durch den Ersatz der Photovoltaik-Modulen mit Hybrid-Solarmodule, ermittelt. Bei einer Anlagenleistung von 5 kW pro Anlage werden 115 Kleinwindenergieanlagen zur Deckung der 380 MWh im Jahr benötigt.

Angesichts der Flächenkonkurrenz, der Höhenentwicklung des Neubaus sowie des Denkmalschutzes wird diese Technologie unter Vorhandensein von alternativen Technologien nicht empfohlen und dementsprechend nicht weiterverfolgt.

3.2.4 Stahlspeicher

Ein Stahlspeicher ist ein Hochtemperaturspeicher, der Strom bezieht, diesen als Wärme (bis zu 650 °C) speichert, um die Wärme zu einem späteren Zeitpunkt zur Verfügung zu stellen. Unter der Voraussetzung, dass nur klimaneutrale Technologien bei der Entwicklung von Szenario 4 in Frage kommen, müsste ein Stahlspeicher ausschließlich mit erneuerbarem bzw. klimaneutral erzeugtem Strom beladen werden. Für einen optimalen Betrieb eines Stahlspeichers soll dieser täglich beladen und entladen werden. Der zur Beladung notwendige Strom wird zum größten

⁵ <https://gesetze.berlin.de/bsbe/document/jlr-BauOBE2005V8P61>

Teil aus dem allgemeinen Stromnetz erfolgen. Demnach wird für die Berechnung der CO₂ Emissionen für den Einsatz im Stahlspeicher der CO₂ Faktor des allgemeinen Stromnetzes angesetzt. Die Anrechnung von erneuerbarem Strom ist nur möglich, wenn über eine unmittelbare Direktanbindung ausschließlich erneuerbaren Strom genutzt wird (bspw. Photovoltaik-Strom aus den Anlagen im Dragoner-Areal/Sanierungsgebiet Rathausblock). Der Einsatz von Strom in Wärmepumpen ist aufgrund der Jahresarbeitszahl jedoch ca. vier Mal effizienter als die Zwischenspeicherung in einem Hochtemperaturspeicher, die Ausnutzung von erneuerbarem Strom ist demnach höher und der Bezug aus dem Stromnetz mit entsprechend analog geltenden Regelungen zur Anrechnung mit dem Emissionsfaktor des Stromnetzes demnach geringer.

Der Stahlspeicher ist Kurzzeitspeicher und kein Saisonspeicher und eignet sich laut Herstellerangaben nicht optimal für eine Spitzenlastabdeckung⁶. Ein Eisspeicher kann Wärme deutlich länger speichern und Spitzenlasten damit auch puffern. Der Flächenverbrauch des Stahlspeichers von ca. 15 m Länge, 6 m Breit und 3,5 m Höhe steht in Konkurrenz zu einem Eisspeicher. Für die gleiche Leistungsklasse kann ein zylindrisch förmiger Eisspeicher mit ca. 18 m Durchmesser und 6 m Tiefe unterirdisch gebaut werden, sodass Multicodierung bzw. gleichzeitige Mehrfachnutzung einer Fläche im Falle des Eisspeichers gegeben ist.

Anstelle eines Stahlspeichers wird wegen der aufgeführten Gründe ein Eisspeicher in Kombination mit einer Wärmepumpe bei der weiteren Entwicklung des Szenarios berücksichtigt.

3.3 Anpassung der Gebäudestandards

Wie in Kapitel 2 erläutert, wurden im Vergleich zu den bereits bekannten Szenarien 1-3C des eQK für die Phase I bzw. 1-3B für die Phase II für das Szenario 4 höhere Gebäudestandards angenommen. Die energetischen und wirtschaftlichen Auswirkungen dessen werden im folgenden Abschnitt erläutert.

Ziel der angepassten Gebäudestandards ist es, den Energiebedarf für das Szenario 4 weiter zu senken. Je geringer der Energiebedarf ist, desto geringer fallen die Investitionen in Energieversorgung aus und desto höher wird, bei gleichbleibender Flächennutzung der erneuerbaren Energieerzeuger im Sanierungsgebiet, der erneuerbare Anteil an der Energieversorgung. Das Ziel des Szenarios 4, möglichst lokale Energiequellen zu nutzen, wird dadurch unterstützt, wobei Mehrkosten für die Erhöhung der Gebäudestandards zu berücksichtigen sind.

Die Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen e.V. (ARGE) hat 2019 im Rahmen der Studie „Auswirkungen energetischer Standards auf die Bauwerkskosten und die Energieeffizienz im

⁶ Telefonischer Austausch mit Lumenion GmbH, November/Dezember 2021



Geschosswohnungsbau in Deutschland⁷ u.a. untersucht, welche Mehrkosten sich für die Errichtung verschiedener Effizienzhausstandards (KfW70, KfW55 und KfW40) ergeben.

Basis des Vergleichs sind hierbei Gebäude mit einem Ausführungsstandard nach EnEV 2016. Die verschiedenen Effizienzhausstandards werden sowohl hinsichtlich des Endenergieverbrauchs als auch hinsichtlich der Mehrkosten für den jeweiligen Effizienzstandard gegenüber einer Ausführung nach EnEV 2016 verglichen.

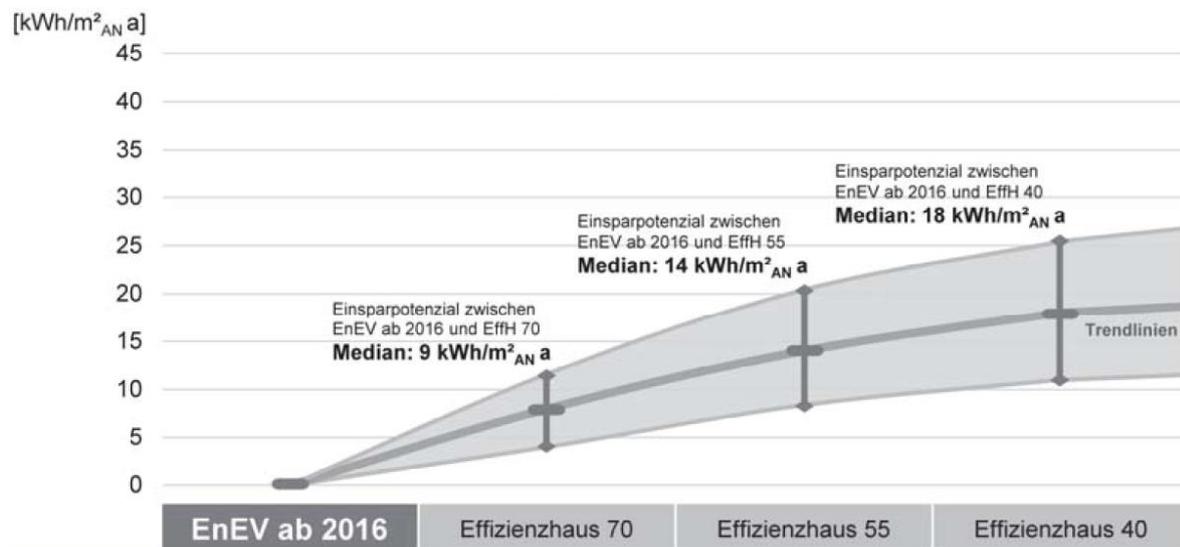


Abbildung 2: Energieeinsparungen der verschiedenen Effizienzstandards gegenüber einer Ausführung nach EnEV 2016⁸

In Abbildung 2 ist der Median (mittig) sowie Minimal- und Maximalwert der Energieeinsparungen je Gebäudestandard dargestellt. Die dargestellte Kurve flacht mit steigendem Effizienzstandard ab und die Einsparungsunterschiede zwischen den Effizienzstandards sinken. In dieser Darstellung werden lediglich die Energieeinsparungen im Bereich der Heizwärme und der Trinkwarmwassererwärmung berücksichtigt, die nötige Hilfsenergie für den Betrieb von Pumpen, etc. bleibt hier vorerst unberücksichtigt. Der Nutzerstrombedarf bleibt unabhängig vom Gebäudestandard gleich.

Anders verhalten sich die Kosten, wie Abbildung 3 zeigt. Hier sind der Median (mittig) sowie die minimalen und maximalen Mehrkosten der jeweiligen Effizienzstandards dargestellt.

⁷ <https://arge-ev.de/arge-ev/publikationen/studien/>

⁸ https://www.zdb.de/fileadmin/publikationen/Weitere_Publikationen/ARGE-Studie-Gebaeudesanierung-Baukosten.pdf



Die Mehrkosten, die sich für die Ausführung der einzelnen Effizienzstandards ergeben, steigen exponentiell an und auch die Kostenunterschiede zwischen den einzelnen Standards wachsen.

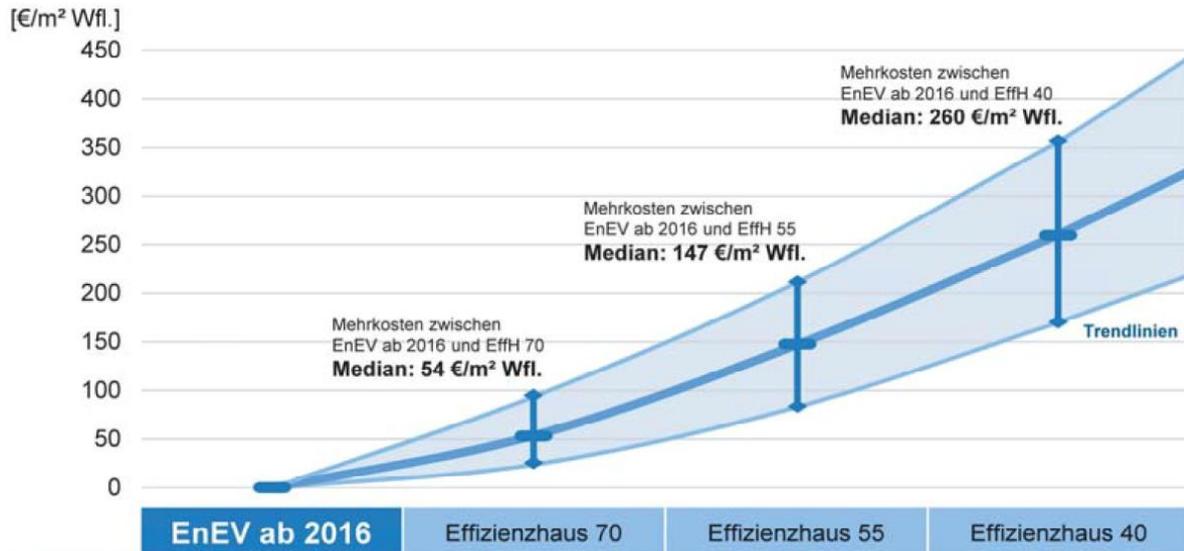


Abbildung 3: Mehrkosten für die Ausführung der verschiedenen Gebäudestandards bezogen auf eine Ausführung nach EnEV 2016⁹

Tabelle 3 zeigt wie sich die Anpassung der Gebäudestandards auf die daraus resultierenden Mehrkosten je Quadratmeter Wohnfläche auswirkt. Grundlage für die Mehrkosten ist die bereits in Abbildung 2 und Abbildung 3 zitierte Studie der ARGE⁹.

Die Gesamtenergiebedarfe und deren Zustandekommen sind in Kapitel 2 beschrieben.

⁹ https://www.zdb.de/fileadmin/publikationen/Weitere_Publikationen/ARGE-Studie-Gebaeudesanierung-Baukosten.pdf

Tabelle 3: Anpassung der Effizienzstandards im direkten Vergleich

Effizienzstandard	Szenarien 1-3	Szenario 4	Resultierende Mehrkosten [€/m ²]
Wohnen Neubau	EffH55	Passivhaus	113
Wohnen Bestand	untersch. Baujahre	EffH40	269
Wohnen Bestand saniert	NWG: § 19 Absatz 3 Satz 1 EnEV	EffH40	167
Verwaltung	NWG: § 19 Absatz 3 Satz 1 EnEV	EffH70	54
Gemeinwohl	NWG: § 19 Absatz 3 Satz 1 EnEV	EffH70	54
Gewerbe BIM	EffH40	Passivhaus	113

Die Mehrkosten werden abhängig von der Gebäudeart mit den jeweiligen flächenspezifischen Mehrkosten multipliziert. Für die **Phase I** werden **Mehrkosten von 10,64 Mio. €** abgeschätzt. Diese summieren sich mit den Mehrkosten der Erhöhung der Gebäudestandards in der **Phase II** zu **insgesamt 26,1 Mio. €** auf.

Seit Veröffentlichung der Studie im Jahr 2019 sind die Kosten für die Errichtung und die Instandhaltung von Gebäuden gestiegen. Diese Preissteigerung bewegt sich im mittleren einstelligen Prozentbereich¹⁰. Diese **Preissteigerung** ist in den oben genannten, berechneten Mehrkosten noch **nicht enthalten**. Des Weiteren sind Förderungen der aktuell sehr dynamischen Förderlandschaft zur energetischen Modernisierung des Gebäudebestands nicht berücksichtigt.

¹⁰ Vgl. https://download.statistik-berlin-brandenburg.de/c5df59240d97ede6/7a51a6c180cf/SB_M01-04-00_2021q03_BE.pdf

4 Szenarioentwicklung

Das Szenario 4 wird zunächst für die Energieversorgung der Phase I und anschließend ein weiteres für Phase II erstellt. Die Technologien stammen aus der in Kapitel 3 durchgeführten Analyse und bleiben für beide Phasen der Entwicklung gleich, sofern dies möglich ist. Die Zusammensetzung der Technologien für jede Phase zur Deckung des in Kapitel 2 aufgeführten Strom- und Wärmebedarfs wird im Folgenden vorgestellt. Um eine klimaneutrale Energieversorgung unter dem Motto „so viel lokal wie möglich, so vernetzt wie möglich“ herzustellen und gleichzeitig die Sozialverträglichkeit des Energiesystems zu bewerten, wird das Szenario aus technischer, ökologischer und wirtschaftlicher Sicht betrachtet und anschließend mit dem für die jeweilige Phase empfohlenen Szenario des eQK verglichen. Bei der Vergleichbarkeit zwischen den Szenarien sind die Mehrkosten zur Erhöhung der Gebäudestandards (s. Kapitel 3.3) zu berücksichtigen.

4.1 Phase I: Kerngebiet Dragonerareal, Finanzamt und Rathausstandort

4.1.1 Szenarioentwicklung

Photovoltaik-Anlagen werden auf allen Dächern der Bestandsgebäude sowie Neubauten vorgesehen, mit Ausnahme der Gebäude, die unter Denkmalschutz stehen. Auf dem Rathaus besteht bereits eine 16 kWp Anlage, die südausgerichtet ist. Der Rest des Flachdachs wird mit Photovoltaik-Modulen ergänzt. Weitere Module können dachparallel auf dem Satteldach angebracht werden. Auf Neubauten werden Anlagen mit einer Ost-West-Ausrichtung zur Erreichung des maximalen jährlichen Ertrags vorgesehen. Alle Anlagen ergeben sich zusammen zu 1.600 kWp. Photovoltaik-Anlagen können weiterhin in die Fassaden der Neubauten integriert werden. Prinzipiell ist dies ab einer Höhe von 10 m bis zur entsprechenden Gebäudehöhe an jeder südlich ausgerichteten Fassade der Neubauten im Dragonerareal möglich. Insgesamt ergibt sich eine Peakleistung von 110 kWp aus allen Fassadenanlagen. Der zusätzlich notwendige Strom wird aus dem öffentlichen Stromnetz bezogen.

Für Heizwärme und Trinkwassererwärmung bei den in Kapitel 2 angenommenen Gebäudestandards eignet sich ein Niedrigtemperatur-Nahwärmenetz für den Wärmetransport. Ein Netz mit 55/35°C Vorlauf/Rücklauf kann verlegt werden. Wärmeerzeuger speisen Wärme ins Nahwärmenetz ein und Verbraucher*innen entnehmen diese. Für Szenario 4 bestehen die Wärmeerzeuger aus mehreren Wärmepumpen.

Eine 430 kW Sole-Wasser-Wärmepumpe kann Abwärme aus der U-Bahn-Station Mehringdamm als Quelle für die Wärmeerzeugung nutzen. Aus der Abluft in der Station wird Wärme entnommen und über einen Wärmeübertrager auf eine Sole übertragen. Die Sole transportiert die Wärme in einer Verbindungsleitung von der Station bis zur Wärmepumpe, die in einer Energiezentrale nah der Verbraucher*innen verortet werden soll. Diese Wärmepumpe kann die Grundlast des Wärmebedarfs decken. Nachts ist mit weniger Abwärme in der Station aufgrund der

reduzierten Fahrtfrequenz der U-Bahn zu rechnen. Um die zeitliche Differenz zwischen Wärme-erzeugung und Wärmelast zu puffern kann ein 10 m³ Pufferspeicher ins Netz integriert werden.

Hinzu kommen weitere Wärmepumpen zur Deckung des restlichen Bedarfs (Mittellast und Spitzenlast) in der Heizperiode. Es handelt sich dabei um drei Sole-Wasser-Wärmepumpen je 540 kW, die Wärme einem Eisspeicher entnehmen. Dieser Speicher ist ein saisonaler thermischer Speicher, der bei Wärmeentzug einfriert und außerhalb der Heizperiode wieder regeneriert werden muss, sodass er in der nächsten Heizperiode wieder als Wärmequelle für die Wärmepumpe dienen kann. Zur Regeneration bzw. Auftauen des Eisspeichers kann hier auch die Abwärme aus der U-Bahn außerhalb der Heizperiode verwendet werden. Eine Verbindungsleitung aus der U-Bahn-Station führt die Sole zum Eisspeicher. Für die genannte Leistungsklasse der Wärmepumpengruppe eignen sich zwei Eisspeicher je 1.250 m³. Eine unterirdische Bauweise der Speicher unter Freiflächen, versiegelte Flächen wie auch unter Gebäuden lässt die Möglichkeit der Mehrfachnutzung der betroffenen Flächen offen, da die Oberflächennutzung nach Einbau der Speicher nicht weiter von diesen beeinflusst wird.

Bei den Umweltbedingungen am Projektstandort (bspw. lokale solare Einstrahlung und Umgebungstemperatur) und unter Annahme von erhöhten Gebäudestandards kann das vorgestellte Energiesystem den Energiebedarf im Gebiet der Phase I decken. Dabei sind die Anteile der Strom- bzw. Wärmeerzeugung jeder Anlage unterschiedlich. Der prozentuale Anteil je Anlage an der Strom- bzw. Wärmebedarfsdeckung ist Abbildung 4 zu entnehmen.

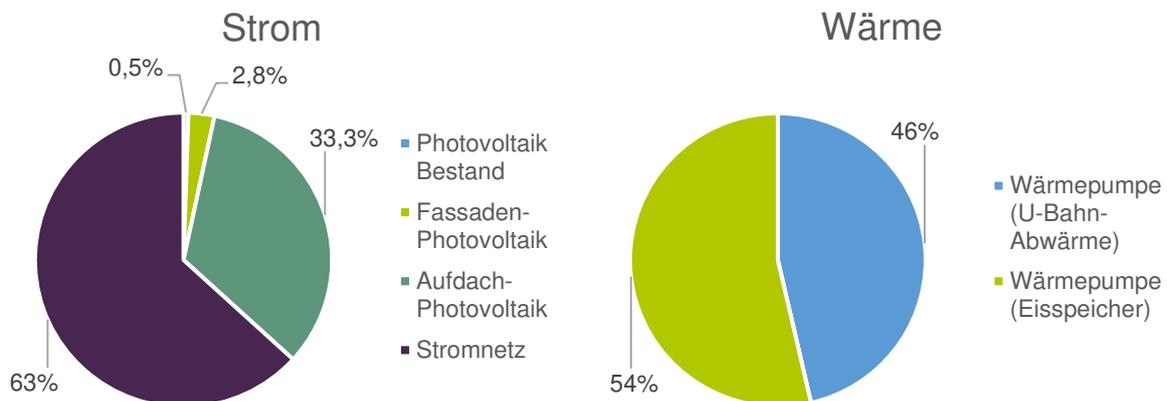


Abbildung 4: Energiebedarfsdeckungsanteil aus den Energieerzeugungsanlagen in Phase I; links: Strom; rechts: Wärme¹¹

In einer Energiezentrale werden die technischen Anlagen zur Wärmebereitstellung untergebracht; u.a. Stromanschlussstation, Wärmepumpen, Pufferspeicher, EMSR (elektrische Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik), Druckhaltungsanlagen, Netzpumpen, elektrische Anlagen

¹¹ Eigene Darstellung

sowie IT und Sicherheitstechnik, etc. Aus der Energiezentrale wird Wärme durch das Niedrigtemperatur-Wärmenetz innerhalb von Rohrleitungen verteilt, bis die Wärme über eine Wärmeübergabestation an den/die jeweilige*n Verbraucher*in (i.d.R. ein Gebäude) übergeben wird. Ein exemplarischer Leitungsweg für das Wärmenetz ist auf der Karte in Abbildung 5 dargestellt. Nach dieser Leitungsführung ergibt sich eine Gesamtnetzlänge von 2.350 m. Bei einer Detailplanung der Leitungsführung des Wärmenetzes werden Faktoren wie bspw. die Lage der Bäume, weitere Grundleitungen und insbesondere der Baufortschritt Berücksichtigung finden.

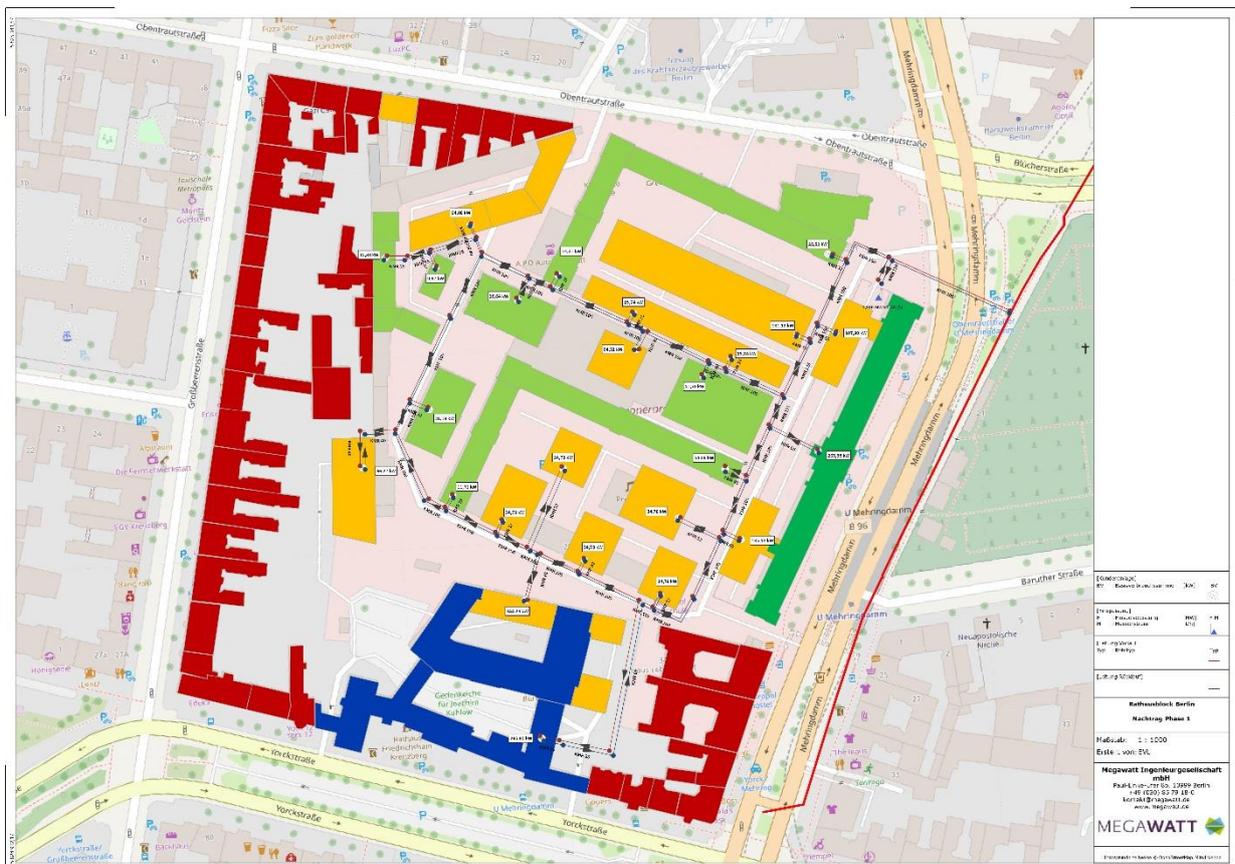


Abbildung 5: Exemplarische Leitungsführung des Nahwärmenetzes für Phase I (analog zu den Szenarien 1-3C unter Berücksichtigung der Abwasserdruckleitung. Das Netz im Gebiet der Phase I bleibt bis auf den Anschluss an die U-Bahnstation am Mehringdamm gleich.)¹²

4.1.2 Treibhausgasbilanz und Primärenergiefaktoren

Die Treibhausgasemissionen und Primärenergiefaktoren geben Auskunft über die ökologische Nachhaltigkeit eines Energiesystems. Treibhausgasemissionen entstehen bei der Verbrennung fossiler und biogener Brennstoffe, sowohl vor Ort als auch bei Strombezug aus dem Stromnetz,

¹² Eigene Darstellung

solange die Stromerzeugung anteilig durch Verbrennung entsteht. Zudem kann der notwendige Einsatz von Primärenergie in jedem Szenario durch die Berechnung eines Primärenergiefaktors (PEF) des Wärmenetzes ermittelt werden.

Treibhausgasbilanz

Wichtiger Fokus für das Szenario 4 ist die Klimaneutralität der Energieerzeugung. Photovoltaik-Anlagen erzeugen beim Betrieb keine Treibhausgasemissionen. Wärmepumpen beziehen Betriebsstrom, der bilanziell aus der lokalen Photovoltaik-Stromerzeugung zur Verfügung gestellt werden kann. Die Ermittlung der Treibhausgasemissionen umfasst dementsprechend nur Emissionen, die aufgrund des Strombezugs aus dem öffentlichen Stromnetz entstehen – sowohl für direkte Stromnutzung in den Gebäuden als auch für den Betrieb der Wärmepumpen und des Wärmenetzes.

Laut dem Gebäudeenergiegesetz 2020 hat Strom aktuell einen Emissionsfaktor von 0,56 t CO₂/MWh.¹³ Es wird davon ausgegangen, dass die Energieversorgung des Sanierungsgebietes Rathausblock erst im Jahr 2025 verwirklicht wird. Bei einem zielführenden Dekarbonisierungspfad zur Erreichung von Klimaneutralität wird prognostiziert, dass die Treibhausgasemissionen des deutschen Strommixes auf 0,019 t CO₂/MWh gesenkt werden¹⁴. Aktuell soll Klimaneutralität nach den Zielen der Bundesregierung im Jahr 2045 erreicht werden.¹⁵ Zur Berechnung des zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme dieses Energiesystems gültigen Emissionsfaktor wird zwischen 0,56 – 0,019 t CO₂/MWh in den Jahren 2020 – 2045 interpoliert. Die beim Betrieb des Energiesystems nach Szenario 4 entstehenden Emissionen über 20 Jahre werden berechnet und werden durch Abbildung 6 veranschaulicht.

¹³ Gebäudeenergiegesetz 2020

¹⁴ IINAS (Internationales Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und -strategien) (2019). Der nichterneuerbare kumulierte Energieverbrauch und THG-Emissionen des deutschen Strommix im Jahr 2018 sowie Ausblicke auf 2020 bis 2050

¹⁵ <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/klimaschutzgesetz-2021-1913672>

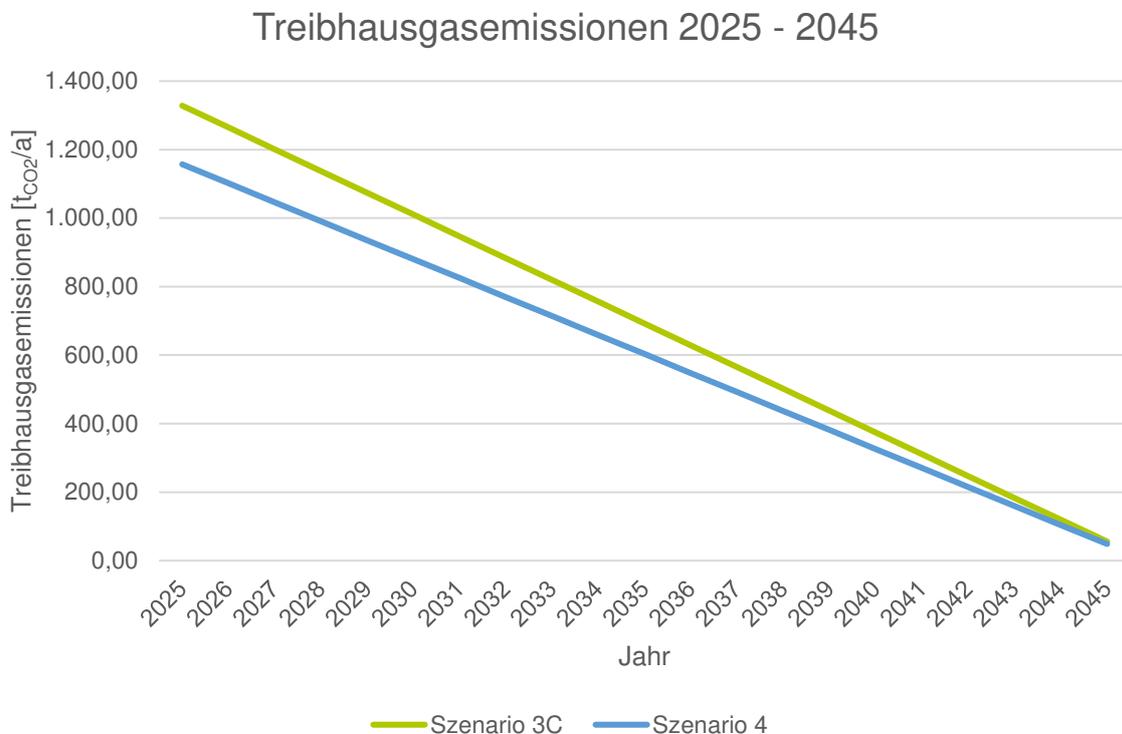


Abbildung 6: Treibhausgasemissionen von 2025 bis 2045 nach Szenario für Phase I¹⁶

Ein durchschnittlicher Treibhausgasemissionsfaktor der Energieversorgung für die Jahre 2025 bis 2045 gibt an, wie viele Emissionen je produzierte Energieeinheit erzeugt werden. Dieser Faktor kann für Szenario 4 mit dem Emissionsfaktor einer Energieversorgung nach dem bereits empfohlenen Szenario im Rahmen des energetischen Quartierskonzeptes – Szenario 3C – verglichen werden.

Tabelle 4: Emissionsfaktoren der Strom- und Wärmeversorgung in Phase I
Szenario 3C Szenario 4

Emissionsfaktor Strom [tCO ₂ /MWh]	0,20	0,18
Emissionsfaktor Wärme [tCO ₂ /MWh]	0,01	0,00

¹⁶ Eigene Ergebnisdarstellung

Der berechnete Emissionsfaktor der Stromversorgung in Phase I ist in Szenario 4 ca. 0,02 t_{CO2}/MWh geringer als in Szenario 3C. **Grund dafür ist die angenommene Senkung des Wärmebedarfs der Gebäude und des damit verbundenen geringeren Strombedarfs der Wärmepumpen.** Für die Wärmeversorgung in Szenario 4 stammt die Wärme aus Wärmepumpen, die bilanziell mit Photovoltaik-Strom betrieben werden. Da diese keine Emissionen haben, hat die Wärmeversorgung auch einen Emissionsfaktor von Null. In Szenario 3C betrug der Emissionsfaktor der Wärmeversorgung ca. 0,01 t_{CO2}/MWh, da der Photovoltaik-Strom, der vor Ort hergestellt werden kann, für den Betrieb der Wärmepumpen nicht ausreichend ist. Dieser Unterschied ergibt sich zum einen aus der Bedarfsenkung bei Annahme von besseren Gebäudestandards in Szenario 4 und zum anderen aus der alleinigen Nutzung von Wärmepumpen zur Wärmeversorgung. Diese zeichnen sich durch eine hohe Energieeffizienz aus, im Gegensatz zur zusätzlichen Nutzung eines Strömungserhitzers zur Spitzenlastdeckung in Szenario 3C.

Primärenergiefaktorermittlung

Der Primärenergiefaktor gibt Aufschluss über die primärenergetischen Verbräuche und bezieht die vorgelagerten Prozessketten zur Gewinnung, Umwandlung und Verteilung der eingesetzten Energieträger mit ein. Die Berechnung des Primärenergiefaktors erfolgt hier nach den Vorgaben des AGFW. Im Gebäudeenergiegesetz (GEG) sind Mindest-Primärenergiefaktoren von 0,2 beim Einsatz erneuerbarer Brennstoffe als Untergrenze fest vorgeschrieben. Die ermittelten PEF dienen als Grundlage zur Nachweisführung, dass Gebäude, die nach GEG maximal zulässigen Jahresprimärenergiebedarfe einhalten. Diese Berechnung gilt ausschließlich für das Wärmenetz. Wichtig ist, dass die folgenden Ergebnisse für die aktuellen Emissionsfaktoren gelten, d.h. dass bei Dekarbonisierung der Strom- und Fernwärmenetze die Primärenergiefaktoren der betroffenen Szenarien niedriger werden.

Angelehnt an das GEG darf Strom, der Mithilfe von Photovoltaik erzeugt wird, teilweise für den PEF angerechnet werden. In Szenario 4 wird Strom einerseits als Hilfsstrom für Pumpen und EMSR-Technik im Wärmenetz betrachtet, welcher pauschal mit 1,5 % des Wärmebedarfs ermittelt werden kann, andererseits als Stromeinsatz für Wärmepumpen. Für Szenario 4 wird der Maximalwert von 30 % des Primärenergiebedarfs nach dem GEG angerechnet. Primärenergie wird in diesem Szenario nur für Strombezug aus dem Stromnetz für die oben genannte Zwecke anteilig angesetzt, sofern Photovoltaik-Strom dafür nicht angerechnet werden darf. Es ergibt sich ein PEF von 0,31, im Vergleich mit 0,42 für das im energetischen Quartierskonzept empfohlenen Szenario 3C. Der Unterschied ergibt sich aus dem höheren Anteil des Stromnetzbezugs in Szenario 3C.

4.1.3 Wirtschaftlichkeit, Sozialverträglichkeit und Fördermöglichkeiten

Die wirtschaftliche Beurteilung des energetischen Quartierskonzepts beeinflusst seine Umsetzbarkeit. Da bezahlbares Wohnen am Projektstandort von hoher Bedeutung ist, tragen niedrige

Energiepreise zur Sozialverträglichkeit des Projektes bei. Auch für Szenario 4 werden die Investitionskosten und Fördermöglichkeiten für das Netz und die Anlagen angegeben sowie die Wirtschaftlichkeit des Wärmenetzes über die Lebensdauer der technischen Anlagen und Bauteile untersucht.

Die Investitionskosten des Energiesystems beruhen auf marktüblichen Kosten sowie Richtpreisanfragen von Anlagenherstellern und Energieversorgungsunternehmen. Die Kosten der Wärmepumpen und Wärmeübertrager, sowie die der Photovoltaik-Module und weiteren Anlagentechnik, wie Wechselrichter, Verkabelung, Aufständigung, etc. werden an erster Stelle ermittelt. Hinzu kommen Kosten der Energiezentrale bei Neubau, Kosten des Pufferspeichers sowie der sonstigen Anlagentechnik, wie: EMSR, Druckhaltungsanlagen, Netzpumpen, Verrohrung, Netzwasseranschluss, Raumlufttechnik der Energiezentrale, elektrische Anlagen, IT und Sicherheitstechnik. Für das Wärmenetz fallen zudem Kosten für die Trassen inklusive Bauarbeiten und Leitungen sowie Wärmeübertrager an den Hausübergabestationen der einzelnen Gebäude an. Die Investitionskosten schließen Kosten der Anlagen und Materialien inklusive deren Liefer- und Montagekosten sowie Kosten für anfallende Tiefbauarbeiten mit ein. Zudem werden Planungsleistungen nach HOAI berücksichtigt. Bei der Planung des umzusetzenden Szenarios sind die Kosten durch Angebotsanfragen von Herstellern bzw. Dienstleistern zu bestätigen bzw. aktualisieren.

Das Förderprogramm Wärmenetze 4.0 des Bundesamtes für Wirtschaft und Ausführung (BAFA) eignet sich gut für dieses Energiekonzept. Es können dadurch Komponenten der Wärmeverteilung, Wärmeerzeugung und Wärmespeicherung, sowie die Erschließung der Wärmequelle (Maßnahme Einbringung eines Wärmetauschers um die Abwasserdruckleitung im Mehringdamm) und die Regelungs- und Steuerungstechnik für den unmittelbaren Betrieb des Wärmenetzes gefördert werden. 40 % der Kosten dieser Komponente können durch das Förderprogramm gefördert werden.

Abbildung 7 gibt Auskunft über die Investitionskosten inklusive Förderungen. Dabei werden die Investitionskosten nach Komponenten aufgeschlüsselt und die Förderungssumme davon abgezogen, um die Netto-Investitionskosten anzugeben. Diese werden mit den Investitionskosten des Szenarios 3C verglichen.

Die Investitionskosten in Phase I werden bei der Umsetzung von Szenario 4 höher sein als bei der Umsetzung von Szenario 3C. Das liegt vor allem an den Kosten der Wärmeerzeugungsanlagen. In Szenario 3C werden keine Eisspeicher benötigt. Dies ist eine Technologie bei der nicht nur die Kosten des Speichers zählen, sondern auch die Kosten für Tiefbauarbeiten viel ausmachen. In Abbildung 7 erkennt man, dass sich die Kosten für diesen Posten für Szenario 4 gegenüber Szenario 3C fast verdoppeln, jedoch können auch höhere Förderungen erlangt werden. Durch den angenommenen geringeren Wärmebedarf und dementsprechend geringeren notwendigen Wärmetransport in den Leitungen werden kleinere Leitungsdimensionen benötigen, damit fallen niedrigere Kosten für das Nahwärmenetz in Szenario 4 als in Szenario 3C an.

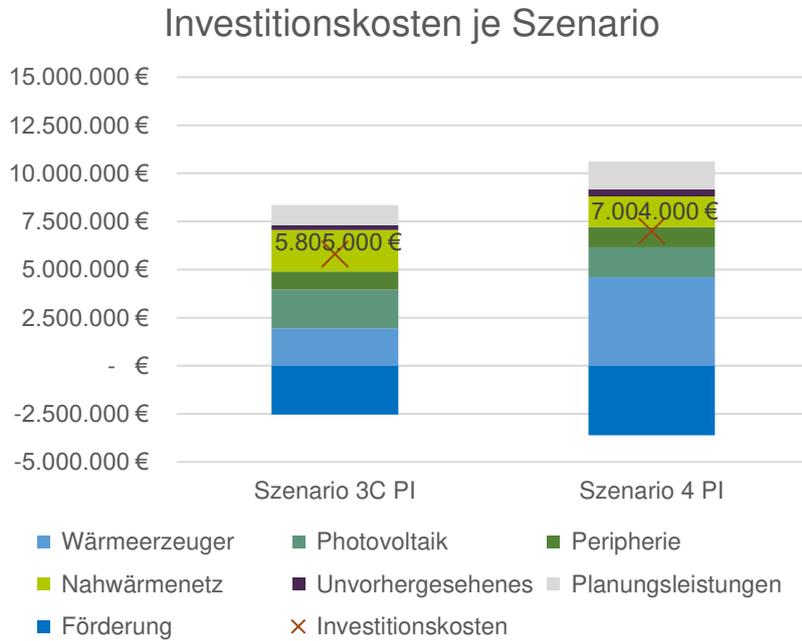


Abbildung 7: Aufgeschlüsselte Investitionskosten des Netzes und der Anlagen für Phase I¹⁷

Zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit des Wärmenetzes über die gesamte Lebensdauer wird die Annuitätsmethode herangezogen. Die Kosten unterteilen sich in kapitalgebundene Kosten, Betriebskosten, bedarfsgebundene Kosten und sonstigen Kosten auf.

¹⁷ Eigene Ergebnisdarstellung

Tabelle 5 gibt die angenommenen Kosten wieder. Diese werden aktuell ermittelt und mittels Barwertfaktoren, Aufzinsungsfaktoren und dem Annuitätenfaktor (0,058) jährlich gesteigert. Die Veränderung der Kosten mit der Zeit wird mit dem Annuitätenfaktor sowie kostengruppenspezifische Preissteigerungsfaktoren berücksichtigt. Den Aufzinsungsfaktoren liegen Zinssätze zu Grunde, bspw. 3% für kapitalgebundene Kosten, bedarfsgebundene Kosten (außer für Strom), Kosten der Instandhaltung und Erlöse. Für betriebsgebundene und sonstige Kosten wird von einem Zinssatz und 2% ausgegangen¹⁸. Kapital- und betriebsgebundene Kosten werden nach VDI 2067 ermittelt. Die bedarfsgebundenen Kosten bestehen in diesem Szenario aus den Kosten des Bezugs von Wärmepumpenstrom sowie Kosten des Bezugs von Hilfsstrom für den Netzbetrieb.

¹⁸ Betriebseigene Kennwerte

Tabelle 5: Annahmen für die Wirtschaftlichkeitsberechnung

Gegenstand	Annahme
<i>Wärmepumpen-Strompreis</i>	19 ct/kWh
<i>Strompreis</i>	22 ct/kWh
<i>Fernwärme</i>	Grund- und Arbeitspreis basieren auf die jeweilige Anschlussleistung und den jeweiligen Verbrauch pro Szenario. ¹⁹
<i>KWK-Vergütungssätze</i>	6,2 ct/kWh
<i>Planungskosten</i>	20% der Investitionskosten
<i>Unvorhergesehenes</i>	5% der Investitionskosten

Aus der Datensammlung und den oben genannten Annahmen ergeben sich betriebs-, bedarfsgebundene und sonstige Kosten, die in Abbildung 8 dargestellt sind.

Bei Bedarfssenkung in Szenario 4 und der dazu gehörigen geringeren Wärmeerzeugung werden die betriebs-, bedarfsgebundenen und sonstigen Kosten des Wärmenetzes geringer. Es ist deutlich zu sehen, dass der Anteil der Stromkosten sich deutlich reduziert. Das liegt daran, dass der Anteil des für die Wärmepumpen benötigten Stroms aufgrund des geringeren Bedarfs ebenfalls sinkt. Andererseits wird aufgrund des höheren Gebäudeeffizienzstandards auch mehr bzw. wartungsintensivere Technik benötigt, weshalb dieser Anteil an den betriebs- und bedarfsgebundenen Kosten sich in Szenario 4 gegenüber Szenario 3C fast verdoppelt.

¹⁹ <https://waerme.vattenfall.de/fernwaerme/fernwaerme-berlin/>

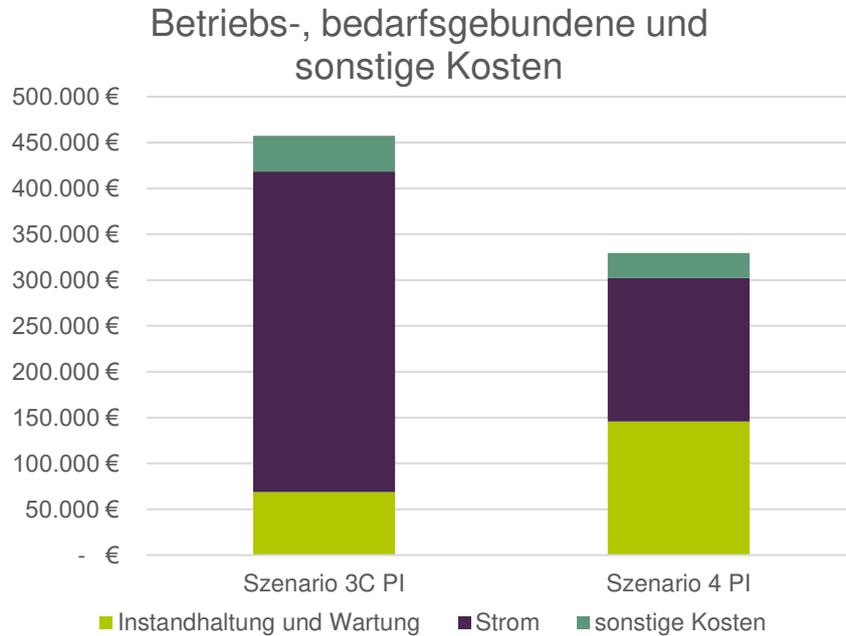


Abbildung 8: Betriebs-, bedarfsgebundene und sonstige Kosten der Wärmeerzeugung für Phase I²⁰

Die durchschnittliche Lebensdauer der Anlagen und Bauwerke in diesem Wärmenetz beträgt ca. 30 Jahre. Dies ist entsprechend der Betrachtungszeitraum für die Wirtschaftlichkeitsberechnung. Tabelle 6 enthält die ermittelten Investitionskosten ohne Förderung, die Förderhöhe und die Gesamtannuität über die Lebensdauer des Wärmenetzes für Szenario 3c des eQK und Szenario 4 im Vergleich.

Tabelle 6: Investitionskosten, Förderhöhe und Gesamtannuität je Szenario für Phase I

	Szenario 3C	Szenario 4
<i>Investitionskosten [T€]</i>	6.339	9.037
<i>Förderhöhe [T€]</i>	2.536	3.615
<i>Gesamtannuität [T€]</i>	765	825

²⁰ Eigene Ergebnisdarstellung

Bei Bezug der Annuität auf die bereitgestellte Wärmemenge ergeben sich die Wärmegestehungskosten, s. Tabelle 7. Diese liegen bei Szenario 4 um ca. 100 €/MWh höher als bei Szenario 3C.

Tabelle 7: Wärmegestehungskosten je Szenario für Phase I

	Szenario 3C	Szenario 4
Wärmegestehungskosten [€/MWh]	144,50	244,89

Für bezahlbares Wohnen sind die Wärmekosten pro Flächeneinheit von großer Bedeutung. Diese jährlichen und monatlichen, flächenspezifischen Wärmekosten sind in Tabelle 8 angegeben. Trotz der deutlich höheren Wärmegestehungskosten in Szenario 4 sind die spezifischen Kosten pro Quadratmeter aufgrund des geringeren Wärmebedarfs nur mäßig höher. Im Vergleich mit dem aktuellen deutschen Heizkostenspiegel liegen diese im niedrigen bis mittleren Bereich²¹. In Szenario 4 liegen diese Kosten minimal höher als in Szenario 3C.

Tabelle 8: Jährliche und monatliche flächenbezogene Wärmekosten je Szenario für Phase I

	Szenario 3C	Szenario 4
spezifische Wärmekosten [€/m ² a]	6,50	7,02
spezifische Wärmekosten [€/m ² mon.]	0,54	0,58

Die zusätzlichen Kosten durch die angenommene Erhöhung der Gebäudestandards sind in den Wärmegestehungskosten nicht berücksichtigt. Diese sind in Kapitel 3.3 ausgewiesen und bedeuten für das Gebiet der Phase I Mehrkosten in Höhe von 10,64 Mio. €, die bei den Mietkosten berücksichtigt werden müssen.

²¹ <https://www.heizspiegel.de/heizkosten-pruefen/heizspiegel/>

4.2 Phase II: Sanierungsgebiet Rathausblock

4.2.1 Szenarioentwicklung

Bei Anschluss aller Gebäude im Sanierungsgebiet Rathausblock (Phase II) an die lokale Energieversorgung, die in diesem Szenario 4 entwickelt wird, entstehen mehr Flächen für die erneuerbare Energieerzeugung vor Ort und der Verbrauch bzw. anfallende Energiebedarf steigt an. Aus diesem Grund kommen zusätzliche Energieerzeugungsanlagen dazu, die in diesem Abschnitt vorgestellt werden.

Zusätzlich zu den Photovoltaik-Anlagen in Kapitel 4.1.1, können die Dächer der Gebäude im Gebiet der Phase II für die Aufstellung von Photovoltaik-Modulen verwendet werden, falls sich die Dachstatik dafür eignet. Eine Prüfung der Eignung kann erst im Rahmen einer späteren Planungsphase erfolgen. Bei dachparalleler Aufstellung von Photovoltaik-Modulen könnten voraussichtlich Anlagen mit einer Gesamtleistung von 850 kWp errichtet werden.

Die Wärmeversorgung erfolgt weiterhin durch Abwärme aus der U-Bahn und einer Wärmepumpe. Für Phase II werden die zwei Eisspeicher auf jeweils 1.550 m³ vergrößert. Vier Wärmepumpe mit je 500 kW entziehen diesen Eisspeichern Energie.

Die anteilige Strom- und Wärmeerzeugung in Szenario 4 durch die verschiedenen Anlagen wird in Abbildung 9 veranschaulicht.

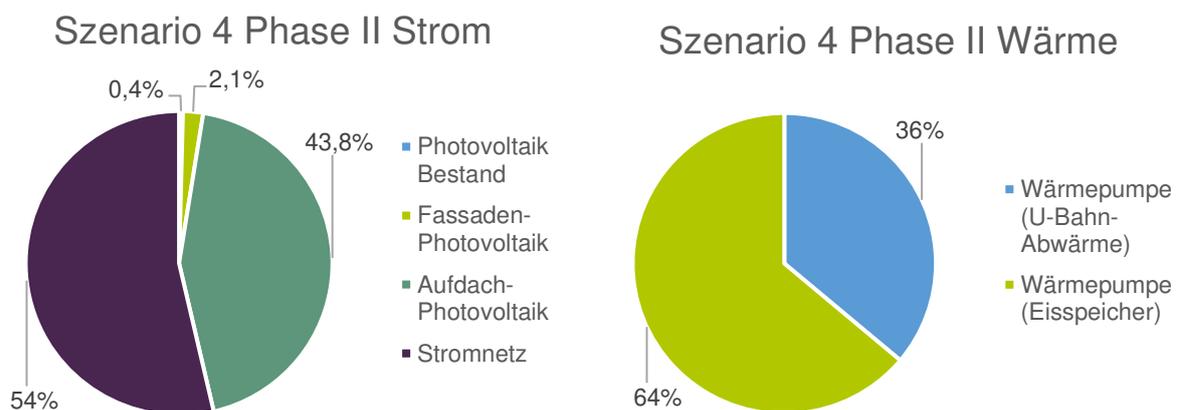


Abbildung 9: Energiebedarfsdeckungsanteil aus den Energieerzeugungsanlagen in Phase II; links: Strom; rechts: Wärme²²

²² Eigene Darstellung

Eine Energiezentrale wird wie für Phase I benötigt werden, ggf. eignet es sich mehrere kleinere Energiezentralen in unterschiedlichen Standorten zu finden, um den Eingriff in den städtebaulichen Plan so gering wie möglich zu halten. Das Wärmenetz wird erweitert, um alle Gebäude im Sanierungsgebiet Rathausblock erreichen zu können. Der exemplarische Leitungsweg ist Abbildung 10 zu entnehmen.

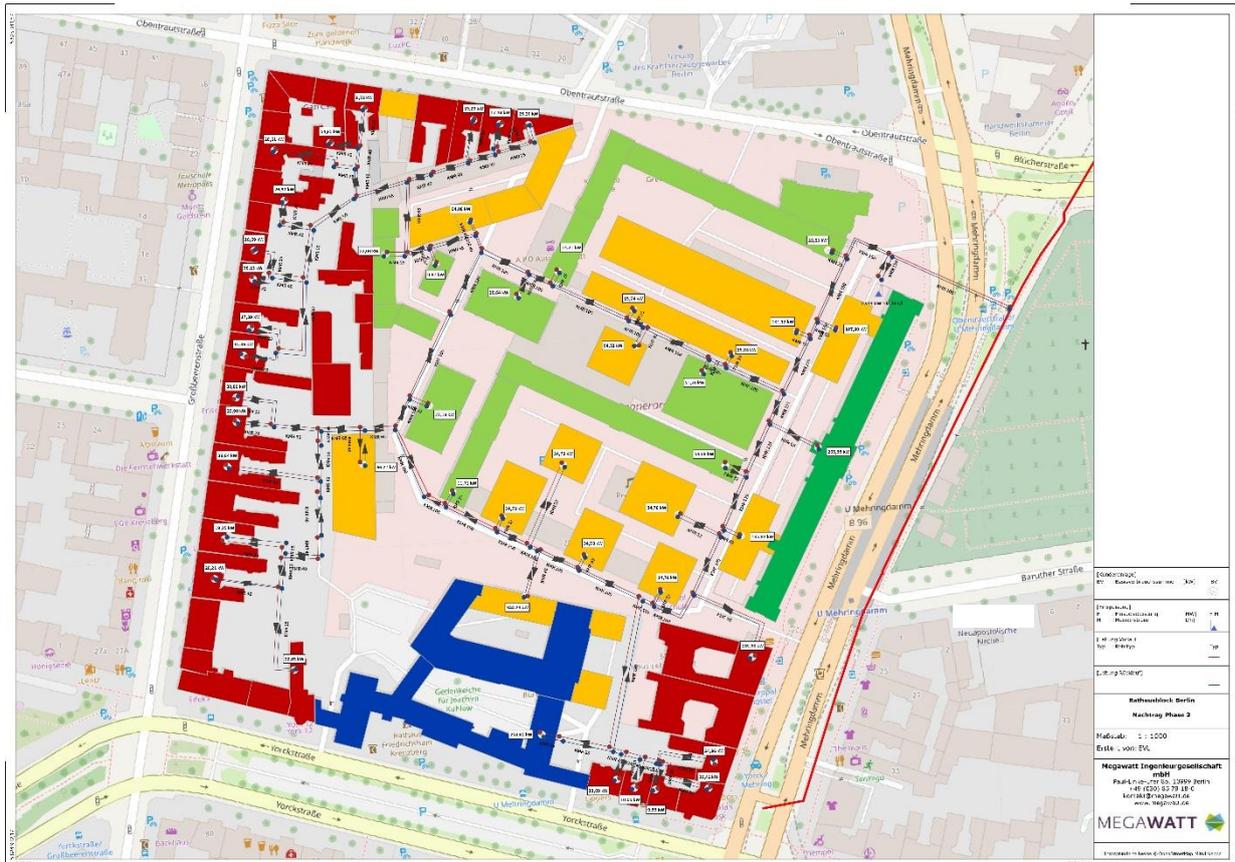


Abbildung 10: Exemplarische Leitungsführung des Nahwärmenetzes für Phase II²³

4.2.2 Treibhausgasbilanz und Primärenergiefaktoren

Die ökologische Bewertung des Szenario 4 im Vergleich zum Szenario 3B des eQK der Phase II wird über die Berechnung der Treibhausgasemissionen und Primärenergiefaktoren analog zur Phase I durchgeführt.

²³ Eigene Darstellung

Treibhausgasbilanz

Die Treibhausgasemissionen der Energiesysteme je Szenario werden in Abbildung 11 veranschaulicht. Die Emissionen haben eine sinkende Tendenz, da sie ausschließlich aufgrund Emissionen aus dem öffentlichen Stromnetz bestehen und deswegen vom Dekarbonisierungspfad des Stromnetzes abhängig sind.

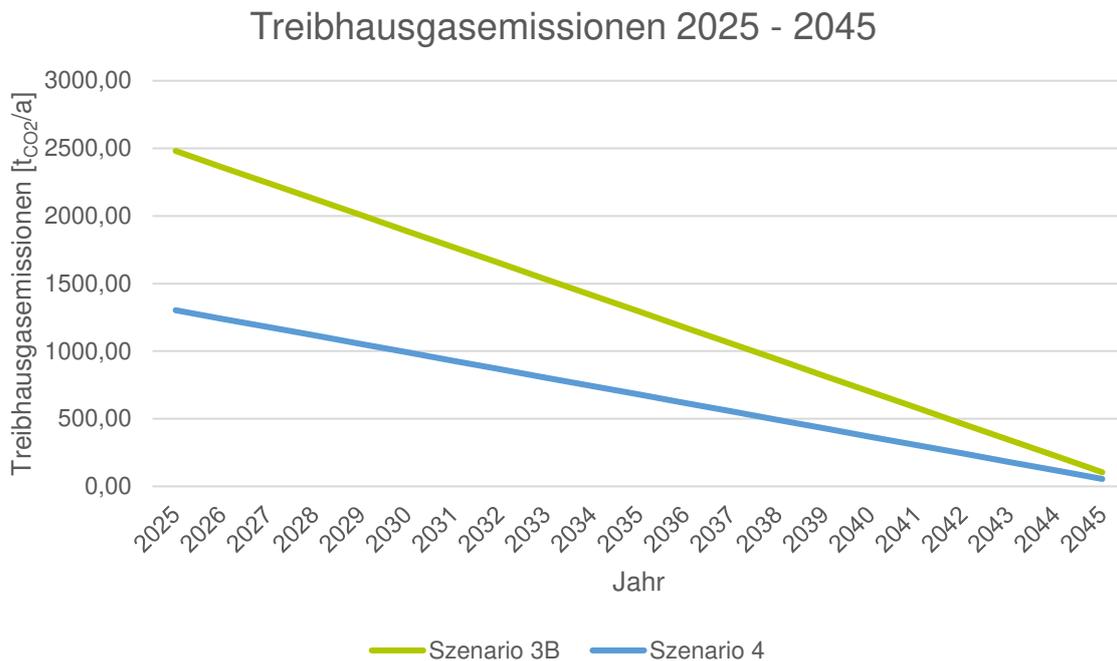


Abbildung 11: Treibhausgasemissionen von 2025 bis 2045 nach Szenario für Phase II²⁴

Zur Bewertung der ökologischen Nachhaltigkeit der Energieversorgung im Szenario 4 wird jeweils der Emissionsfaktor des Energiesystems ermittelt und dieser mit dem Emissionsfaktor des im Rahmen des energetischen Quartierskonzepts empfohlenen Szenario 3B verglichen.

²⁴ Eigene Ergebnisdarstellung

Tabelle 9: Emissionsfaktoren der Strom- und Wärmeversorgung in Phase II
Szenario 3B Szenario 4

Emissionsfaktor Strom [tCO ₂ /MWh]	0,22	0,16
Emissionsfaktor Wärme [tCO ₂ /MWh]	0,01	0,00

Die Emissionsfaktoren der Strom- und Wärmeversorgung für Phase II sind auch in Szenario 4 niedriger als bei einer Energieversorgung nach dem im Rahmen der Entwicklung des energetischen Quartierskonzepts empfohlenen Szenario 3B. Der Emissionsfaktor für Strom ist in Szenario 4 0,06 tCO₂/MWh geringer als in Szenario 3B. Die Wärmeversorgung ist nicht mit Emissionen verbunden, da der Betriebsstrom der Wärmepumpen bilanziell aus Photovoltaik stammt. Damit ist Szenario 4 ökologisch vorteilhafter.

Primärenergiefaktoren

Die Primärenergiefaktoren für Phase II werden so ermittelt wie die Faktoren für Phase I, siehe Kapitel 4.1.2. Auch hier wird der Maximalwert von 30 % zur Anrechnung von Photovoltaik-Strom für die Nutzung zum Betrieb der Wärmepumpen sowie als Technikstrom für das Wärmenetz angesetzt. Für Szenario 4 beträgt der PEF für Phase II 0,32 im Vergleich mit einem PEF von 0,54 für Szenario 3B. Dies liegt vor allem daran, dass weniger Strom für den Betrieb der Wärmepumpen benötigt wird, da weniger Wärme den in Szenario 4 geringeren Wärmebedarf abdecken kann. Phase II wurde von der angenommenen Senkung des Bedarfs stark beeinflusst, da Phase II viele Bestandsgebäude umfasst, die nach den Annahmen in Kapitel 2 eine hohe Sanierungstiefe aufweisen müssen.

4.2.3 Wirtschaftlichkeit, Sozialverträglichkeit und Fördermöglichkeiten

Die Wirtschaftlichkeit des Energiesystems in Phase II läuft analog zur Wirtschaftlichkeitsanalyse von Phase I ab. Anfangs werden die Investitionskosten und die Förderhöhe ermittelt. Abbildung 12 zeigt die aufgeschlüsselten Investitionskosten für das Energieversorgungssystem. Diese sind in Szenario 4 insgesamt höher als in Szenario 3B. Grund dafür sind die höheren Investitionskosten der Wärmeerzeuger. Analog zur Phase I sind die Kosten des Nahwärmenetzes des Szenarios 4 geringer als in Szenario 3B, da weniger Wärme aufgrund des niedrigeren Bedarfes transportiert werden muss.

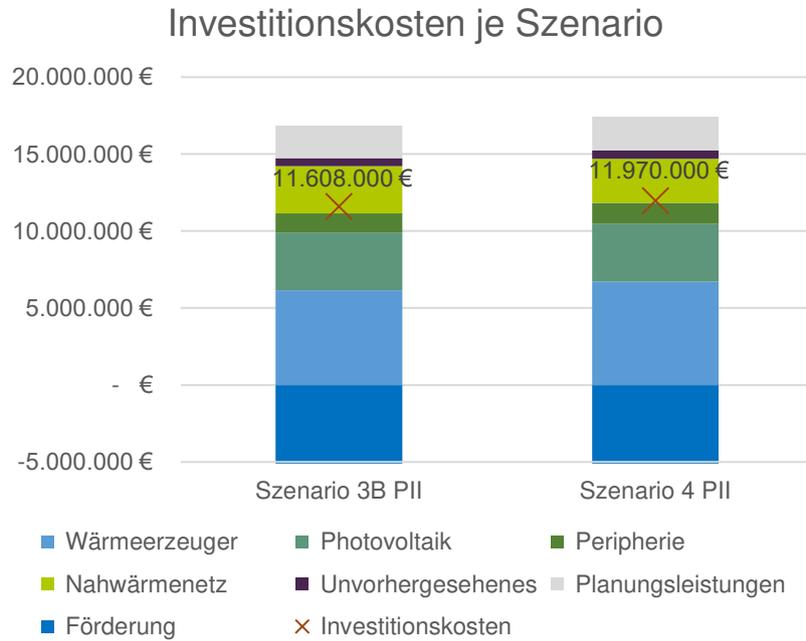


Abbildung 12: Aufgeschlüsselte Investitionskosten für Phase II²⁵

Für die Annuitätsberechnung werden weiterhin kapital-, betriebs- und bedarfsgebundene Kosten sowie sonstige Kosten ermittelt, s. Abbildung 13. Diese Kosten fallen bei Umsetzung des Szenarios 4 deutlich niedriger aus als die Kosten des Szenarios 3B. Dies liegt auch hier am geringeren Wärmebedarf und dem daraus resultierenden, geringeren Strombedarf für den Betrieb der Wärmepumpen.

²⁵ Eigene Ergebnisdarstellung

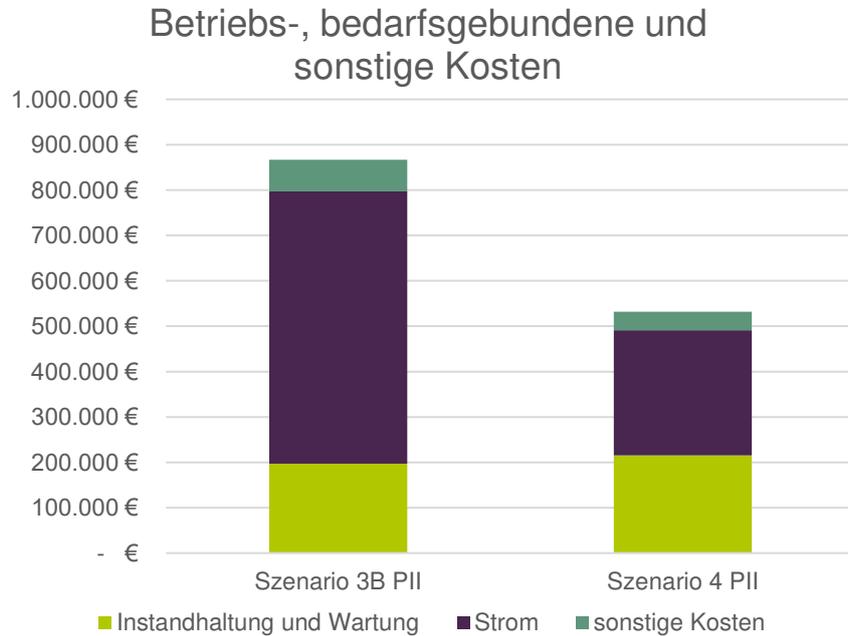


Abbildung 13: Betriebs-, bedarfsgebundene und sonstige Kosten der Wärmezeugung für Phase II²⁶

Die sich daraus ergebende Gesamtannuität bei Betrachtung der Investitionskosten, kapitalgebunden, bedarfsgebunden und sonstigen Kosten über die durchschnittliche Lebensdauer des Wärmenetzes (30 Jahre) sind in Tabelle 10 dargestellt. Obwohl die Investitionskosten in Szenario 4 höher sind, ist die Gesamtannuität des Wärmenetzes in Szenario 4 geringer als in Szenario 3B. Dies ist auf die geringeren betriebs-, bedarfsgebundenen und sonstigen Kosten zurückzuführen.

Tabelle 10: Investitionskosten, Förderhöhe und Gesamtannuität je Szenario für Phase II

	Szenario 3B	Szenario 4
<i>Investitionskosten [T€]</i>	13.096	13.664
<i>Förderhöhe [T€]</i>	5.238	5.466

²⁶ Eigene Ergebnisdarstellung

Gesamtannuität [T€]	1.534	1.275
----------------------------	--------------	--------------

Bei Bezug der Gesamtannuität auf den Gesamtwärmebedarf des Sanierungsgebiet Rathausblock lassen sich die Wärmegestehungskosten pro Energieeinheit ermitteln, s. Tabelle 11. Die Wärmegestehungskosten des Szenarios 4 sind um mehr als 100 €/MWh höher als die Wärmegestehungskosten des Szenarios 3B, da die minimal höhere Annuität auf einem viel geringeren Wärmebedarf anfällt.

Tabelle 11: Wärmegestehungskosten je Szenario für Phase II

	Szenario 3B	Szenario 4
<i>Wärmegestehungskosten [€/MWh]</i>	142,69	248,52

Die flächenspezifische Wärmekosten pro Monat und pro Jahr sind in Tabelle 12 zusammengetragen. Das Wärmenetz in Szenario 4 ist aus dieser Perspektive wirtschaftlicher als in Szenario 3B.

Tabelle 12: Jährliche und monatliche flächenbezogene Wärmekosten je Szenario für Phase II

	Szenario 3B	Szenario 4
<i>spezifischen Wärmekosten [€/m²a]</i>	13,05	10,85
<i>spezifischen Wärmekosten [€/m²mon.]</i>	1,09	0,90

Auch hier sind die zusätzlichen Kosten durch die angenommene Erhöhung der Gebäudestandards in den Wärmegestehungskosten nicht berücksichtigt. Diese sind in Kapitel 3.3 ausgewiesen und bedeuten für das Gebiet der Phase II Mehrkosten in Höhe von 26,1 Mio. €, die in den Mietkosten berücksichtigt werden müssen.

5 Zusammenfassung

Die Entwicklung von Szenario 4 erfolgte unter besonderen Kriterien. Durch den Fokus auf die Erreichung der Klimaneutralität ist Handlungsbedarf aus allen Gesichtspunkten notwendig. Eine Energieversorgung wie in Szenario 4 vorgeschlagen ist dementsprechend nur dann umzusetzen, wenn die geplanten Neubauten nach dem Passivhausstandard gebaut und die Bestandsgebäude umfassend auf einen sehr hohen Effizienzhausstandard saniert werden. Die hohe Sanierungstiefe würde die benötigte Wärmemenge vor allem bei Umsetzung des Konzepts für das gesamte Sanierungsgebiet Rathausblock (Phase II) deutlich reduzieren. Die zusätzlichen Kosten für die Erhöhung der Effizienzstandards der Gebäudesanierung und des Neubaus von insgesamt 26,1 Mio. € (Phase II) im gesamten Rathausblock und deren Finanzierung stehen jedoch bezahlbarem Wohnen entgegen.

In Szenario 4 ist die Einsparung von Treibhausgasemissionen höher als in den zuvor empfohlenen Szenarien (Szenario 3C für Phase I und Szenario 3B für Phase II, s. Schlussbericht: Energetisches Quartierskonzept für das Sanierungsgebiet Rathausblock, Bezirk Friedrichshain-Kreuzberg). Dies hat seine Ursache u.a. in dem reduzierten Energiebedarf. Andererseits trägt der erhöhte Gebäudestandard und der dadurch gesenkte Energiebedarf wesentlich zur Erreichung der Klimaziele bei. Dennoch erreicht Szenario 4 – wie bereits die Szenarien 1-3C bzw. 3B - zur Zeit der Inbetriebnahme des Energiesystems die angestrebte Klimaneutralität nicht. Dies ist darauf zurückzuführen, dass der Platzbedarf für eine lokale und somit erneuerbare Stromerzeugung am Projektstandort für den anfallenden Energiebedarf nicht ausreichend ist, sodass Strombezug aus dem öffentlichen Stromnetz notwendig bleibt. Bei der Dekarbonisierung des deutschen Stromnetzes wird Szenario 4 sowohl für Phase I als auch für Phase II klimaneutral. Je schneller dies erfolgt, desto näher in der Zukunft wird Szenario 4 – so wie auch Szenarien 3C für Phase I und 3B für Phase II – klimaneutral.

Die Investitionskosten in Szenario 4 sind höher als die der zuvor im eQK empfohlenen Szenarien, die laufenden Kosten über die Lebensdauer des Energiesystems sind dafür deutlich niedriger. Die Wärmegestehungskosten, d.h. die Kosten der Erzeugung von 1 MWh Wärme, sind deutlich höher, allerdings sind die flächenspezifischen Kosten mit den zuvor empfohlenen Szenarien konkurrenzfähig. Durch die hohen Gebäudestandards in Szenario 4 werden die Kosten des Wärmenetzes auf die Gebäudesubstanz verlagert. Es ist daher empfehlenswert bei der finalen Auswahl des umzusetzenden Szenarios die Kosten für das Wärmenetz gegen die Kosten der Gebäudesanierung (vgl. Kapitel 3.3) abzuwägen.

Bei den für Szenario 4 ausgewählten Technologien handelt es sich um innovative Technologien, die analog zu den Technologien der weiteren Szenarien im Rahmen des energetischen Quartierskonzepts (vor allem die Abwasserwärmenutzung) mit einem Abstimmungsbedarf zwischen den betroffenen Akteuren verbunden sind. Bei Nutzung der U-Bahn-Abwärme ist eine frühzeitige Abstimmung mit den Berliner Verkehrsbetrieben (BVG) als Betreibenden der U-Bahn-Station sinnvoll. Bei frühzeitiger Einbindung aller betroffenen Akteure (BVG, Bezirksamt Friedrichs-

hain-Kreuzberg, Berliner Immobilienmanagement GmbH (BIM), Wohnungsbaugesellschaft Berlin Mitte mbH (WBM) und weiteren Akteure) ins Projekt können Schnittstellen gefunden und diese in dem dafür vorgesehenen Zeitraum im Terminplan des Projektes behandelt werden. Für mehr Informationen zur Durchführung der weiteren Schritte zur Umsetzung des energetischen Quartierskonzepts für das Sanierungsgebiet Rathausblock siehe Schlussbericht: Energetisches Quartierskonzept für das Sanierungsgebiet Rathausblock, Bezirk Friedrichshain-Kreuzberg.

Abschließend sei erwähnt, dass bei Sanierung auf die hier angenommenen Gebäudestandards auch für die Szenarien 1-3C bzw. 3B geringere Investitions- und Betriebskosten sowie CO₂-Emissionen resultieren würden, da diese direkt oder indirekt mit der Größe des Energiebedarfs verknüpft sind. Eine Quantifizierung dieser möglichen Kosten- und Emissionseinsparungen hat nicht stattgefunden. Dies kann aber erfolgen, sollte der hier vorgeschlagene erhöhte Gebäudestandard mit den damit verbundenen Kosten beschlossen werden. Darüber hinaus sind die flächenspezifischen Wärmekosten für Szenario 4 höher als die für die empfohlenen Szenarien 3C (Phase I) bzw. 3B (Phase II), wobei die Kosten für die Erreichung des ambitionierteren Gebäudestandards nicht berücksichtigt sind.

Aus den hier beschriebenen Gründen sowie aus Gründen der erschwerten Umsetzbarkeit von Szenario 4 gegenüber den Szenarien 1-3 wird Szenario 4 mit den erhöhten Gebäudestandards nicht für die Umsetzung empfohlen.

Energetisches Quartierskonzept Rathausblock, Szenario 4

Mehrkosten der Sanierung, Stand: 21.02.2022

In Tabelle 1 werden die Gebäudeenergieeffizienzstandards nach Szenarien 1 bis 3 (in Bezug auf den Schlussbericht *Energetisches Quartierskonzept für das Sanierungsgebiet Rathausblock, Bezirk Friedrichshain-Kreuzberg*) angegeben.

Tabelle 1: Spezifische Bedarfe und entsprechende Effizienzstandards der Gebäude für Szenarien 1-3

Gebäudetyp	Szenarien 1-3			Effizienzstandard
	Heizen [kWh/m ² *a]	TWW [kWh/m ² *a]	Strom [kWh/m ² *a]	
Wohnen Neubau	42,5	12,5	28	EffH55
Wohnen Bestand	132,70	12,5	28	unterschiedliche Baujahre
Wohnen Bestand saniert	83,15	12,5	28	
Verwaltung	104,9	0,1	35	NWG: § 19 Absatz 3 Satz 1 EnEV
Gemeinwohl	102	3	20	
Gewerbe BIM	32	8	60	EffH40

In Tabelle 2 werden die Gebäudeenergieeffizienzstandards nach den in Szenario 4 getroffenen Annahmen angegeben.

Tabelle 2: Spezifische Bedarfe und entsprechende Effizienzstandards der Gebäude für Szenario 4

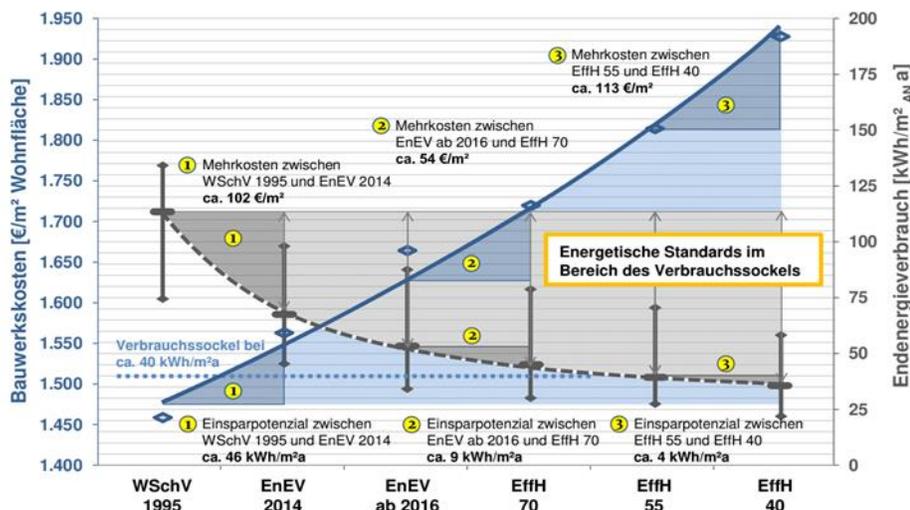
Gebäudetyp	Szenario 4			Effizienzstandard
	Heizen [kWh/m ² *a]	TWW [kWh/m ² *a]	Strom [kWh/m ² *a]	
Wohnen Neubau	15,00	12,50	28	Passivhaus
Wohnen Bestand	30,82	11,72	28	EffH40
Wohnen Bestand saniert	30,82	11,72	28	EffH40
Verwaltung	76,26	0,10	35	EffH70
Gemeinwohl	73,36	3,00	20	EffH70
Gewerbe BIM	15,00	8,00	60	Passivhaus

Tabelle 3 zeigt die Kostenunterschiede für jeden Gebäudetyp auf, indem Effizienzstandards von Szenarien 1-3 mit diesen von Szenario 4 verglichen und so Mehrkosten pro Flächeneinheit nach der untenstehenden Grafik zugewiesen werden. Die Mehrkosten pro Flächeneinheit werden dann mit der Gesamtfläche von jedem Gebäudetyp multipliziert, um die absoluten Mehrkosten pro Gebäudetyp anzugeben. Die Summe aus den Mehrkosten pro Gebäudetyp ergibt die gesamten Mehrkosten: 10,6 Mio.€ für Phase I und 26,1 Mio.€ für Phase II.

Tabelle 3: Mehrkosten der Gebäudesanierung bei Erhöhung der Gebäudeeffizienzstandards nach Gebäudetyp

Gebäudetyp	Effizienzstandard		Kostenunterschied pro Flächeneinheit [€/m ²]	Phase I		Phase II	
	Szenarien 1-3	Szenario 4		Gesamtfläche BGF Phase I [m ²]	Mehrkosten Phase I [€ gesamt]	Gesamtfläche BGF Phase II [m ²]	Mehrkosten Phase II [€ gesamt]
Wohnen Neubau	EffH55	Passivhaus	113	39.391	4.451.210	39.391	4.451.210
Wohnen Bestand	unterschiedliche Baujahre	EffH40	269	-	-	46.848	12.602.212
Wohnen Bestand saniert		EffH40	167	-	-	17.356	2.898.474
Verwaltung	NWG: § 19 Absatz 3 Satz 1	EffH70	54	40.675	2.196.436	40.675	2.196.436
Gemeinwohl	EnEV	EffH70	54	4.126	222.804	4.126	222.804
Gewerbe BIM	EffH40	Passivhaus	113	33.368	3.770.560	33.368	3.770.560
Summe				117.560	10.641.010	181.764	26.141.695

Detailbetrachtung – Energetische Standards Bauwerkskosten und Energieverbräuche – Trendanalyse



1 //

Abbildung 1: Mehrkosten für die Ausführung der verschiedenen Gebäudestandards bezogen auf eine Ausführung nach EnEV 2016, Quelle: https://www.zdb.de/fileadmin/publikationen/Weitere_Publikationen/ARGE-Studie-Gebaeudesanierung-Baukosten.pdf

Tabelle 4 fasst die Investitionskosten für das Wärmenetz bei Implementierung der von Megawatt im Schlussbericht empfohlenem Szenario je Phase sowie des Szenario 4 zusammen. Die Mehrkosten durch Sanierung der Gebäude für bessere Energieeffizienzstandards nach den in Szenario 4 getroffenen Annahmen sind ebenfalls angegeben. Die Mehrkosten der Sanierung werden dann auf die Fläche bezogen; einmal als Invest und einmal auf 30 Jahre verteilt. Zum Vergleich sind die jährlich anfallende Wärmekosten pro Flächeneinheit auch hier aufgeführt.

Tabelle 4: Investitionskosten und Mehrkosten durch Sanierung für die jeweilige Phase des energetischen Quartierskonzepts

	Phase I		Phase II		
	Szenario 3C	Szenario 4	Szenario 3B	Szenario 4	
Investitionskosten abzüglich Förderung [Mio.€]		3,803	5,422	7,858	8,198
Mehrkosten durch Sanierung [Mio.€]		0	10,641	0	26,142
Mehrkosten durch Sanierung einmalig [€/m²]		0	90,52	0	143,82
Wärmekosten [€/m²a]		6,50	7,02	13,05	10,85
Mehrkosten durch Sanierung bezogen auf 30 Jahre [€/m²a]		0	3,02	0	4,79

Tabelle 5 zeigt die Mehrkosten pro Gebäude im Sanierungsgebiet Rathausblock.



Tabelle 5: Mehrkosten der Gebäudesanierung bei Erhöhung der Gebäudeeffizienzstandards

id	Adresse	Hausnr	Nutzungsart	BGF	Baujahr	S3 spezifischer Heizwärmebedarf [kWh/m²*a]	S4 spezifischer Heizwärmebedarf [kWh/m²*a]	Mehrkosten durch Sanierung pro qm [€/m²]	Mehrkosten durch Sanierung [€]
73	Großbeerenstraße 63	63	Wohnen Bestand	1.162	1870er	132,70	30,82	269	312.484 €
72	Großbeerenstraße 63 A	63A	Wohnen Bestand	2.448	1870er	132,70	30,82	269	658.542 €
71	Großbeerenstraße 64	64	Wohnen Bestand	2.056	1870er	132,70	30,82	269	553.075 €
70	Großbeerenstraße 64 A	64A	Wohnen Bestand	1.403	1870er	132,70	30,82	269	377.504 €
69	Großbeerenstraße 65	65	Wohnen Bestand saniert	2.889	1870er	83,15	30,82	167	482.480 €
68	Großbeerenstraße 66	66	Wohnen Bestand saniert	2.509	1870er	83,15	30,82	167	418.945 €
67	Großbeerenstraße 67	67	Wohnen Bestand	1.523	1870er	132,70	30,82	269	409.709 €
48	Großbeerenstraße 68	68	Wohnen Bestand	981	1870er	132,70	30,82	269	263.857 €
66	Großbeerenstraße 68	68	Wohnen Bestand	1.271	1870er	132,70	30,82	269	341.813 €
65	Großbeerenstraße 69	69	Wohnen Bestand	1.156	1870er	132,70	30,82	269	310.975 €
64	Großbeerenstraße 70	70	Wohnen Bestand	1.268	1870er	132,70	30,82	269	341.006 €
42	Großbeerenstraße 71	71	Wohnen Bestand	1.146	1870er	132,70	30,82	269	308.306 €
44	Großbeerenstraße 71	71	Wohnen Bestand	746	1870er	132,70	30,82	269	200.636 €
45	Großbeerenstraße 71	71	Wohnen Bestand	834	1870er	132,70	30,82	269	224.298 €
46	Großbeerenstraße 71	71	Wohnen Bestand	2.779	1870er	132,70	30,82	269	747.508 €
47	Großbeerenstraße 71	71	Wohnen Bestand	1.427	1870er	132,70	30,82	269	383.987 €
63	Großbeerenstraße 71	71	Wohnen Bestand	1.322	1870er	132,70	30,82	269	355.500 €
62	Großbeerenstraße 72	72	Wohnen Bestand	993	1870er	132,70	30,82	269	267.101 €
61	Großbeerenstraße 73	73	Wohnen Bestand	1.098	1870er	132,70	30,82	269	295.462 €
60	Großbeerenstraße 74	74	Wohnen Bestand saniert	1.962	1870er	83,15	30,82	167	327.701 €
41	Großbeerenstraße 75	75	Wohnen Bestand saniert	161	1870er	83,15	30,82	167	26.967 €
59	Großbeerenstraße 75	75	Wohnen Bestand saniert	1.340	1870er	83,15	30,82	167	223.840 €
58	Großbeerenstraße 76	76	Wohnen Bestand	999	1870er	132,70	30,82	269	268.610 €
40	Großbeerenstraße 77	77	Wohnen Bestand saniert	107	1870er	83,15	30,82	167	17.827 €
57	Großbeerenstraße 77	77	Wohnen Bestand saniert	820	1870er	83,15	30,82	167	136.873 €
23	Mehringdamm 22	1	Verwaltung	9656	1854	104,90	76,26	54	521.424 €
83	Mehringdamm 32	32	Wohnen Bestand	4.891	1920er	132,70	30,82	269	1.315.773 €
82	Mehringdamm 34	34	Wohnen Bestand	5.016	1920er	132,70	30,82	269	1.349.250 €
49	Mehringdamm 36	36	Wohnen Bestand	325	1920er	132,70	30,82	269	87.339 €
81	Mehringdamm 36	36	Wohnen Bestand	1.495	1920er	132,70	30,82	269	402.144 €
80	Mehringdamm 38	38	Wohnen Bestand	1.197	1920er	132,70	30,82	269	322.025 €
50	Obentrautstraße 23	23	Wohnen Bestand	495	1870er	132,70	30,82	269	133.284 €
51	Obentrautstraße 25	25	Wohnen Bestand saniert	1.264	1870er	83,15	30,82	167	211.096 €
52	Obentrautstraße 27	27	Wohnen Bestand saniert	1.397	1870er	83,15	30,82	167	233.249 €
53	Obentrautstraße 29	29	Wohnen Bestand saniert	1.848	1870er	83,15	30,82	167	308.603 €
37	Obentrautstraße 33	33	Wohnen Bestand saniert	199	1870er	83,15	30,82	167	33.190 €
38	Obentrautstraße 33	33	Wohnen Bestand saniert	474	1870er	83,15	30,82	167	79.145 €
54	Obentrautstraße 33	33	Wohnen Bestand saniert	494	1870er	83,15	30,82	167	82.491 €
84	Obentrautstraße 33	33	Wohnen Bestand saniert	206	1870er	83,15	30,82	167	34.369 €
39	Obentrautstraße 35	35	Wohnen Bestand saniert	659	1870er	83,15	30,82	167	110.103 €
55	Obentrautstraße 35	35	Wohnen Bestand saniert	1.028	1870er	83,15	30,82	167	171.596 €
56	Obentrautstraße 37	37	Wohnen Bestand	1.024	1870er	132,70	30,82	269	275.416 €
79	Yorckstraße 1	1	Wohnen Bestand	695	1920-1945	132,70	30,82	269	186.869 €
76	Yorckstraße 12	12	Wohnen Bestand	1.651	1920-1945	132,70	30,82	269	444.132 €
75	Yorckstraße 13	13	Wohnen Bestand	1.476	1970er	132,70	30,82	269	396.915 €
74	Yorckstraße 14	14	Wohnen Bestand	2.388	1980er	132,70	30,82	269	642.307 €
78	Yorckstraße 2	2	Wohnen Bestand	733	1920-1945	132,70	30,82	269	197.123 €
77	Yorckstraße 3	3	Wohnen Bestand	852	1920-1945	132,70	30,82	269	229.263 €
24	Yorckstraße 4-11	11	Verwaltung	8900	1920-1945	104,90	76,26	54	480.600 €
25	Yorckstraße 4-11	11	Verwaltung	9.484	1950er	104,90	76,26	54	512.136 €
1	Dragoneraareal	B	Wohnen Neubau	1404	2025	42,50	15,00	113	158.652 €
2	Dragoneraareal	Ca	Wohnen Neubau	1404	2025	42,50	15,00	113	158.652 €
3	Dragoneraareal	Cb	Wohnen Neubau	1404	2025	42,50	15,00	113	158.652 €
4	Dragoneraareal	D	Gewerbe BIM	3.482	2025	32,00	15,00	113	393.441 €
5	Dragoneraareal	Ea	Gewerbe BIM	17.090	2025	32,00	15,00	113	1.931.181 €
6	Dragoneraareal	Eb	Gewerbe BIM	4.103	2025	32,00	15,00	113	463.629 €
7	Dragoneraareal	F	Wohnen Neubau	7249	2025	42,50	15,00	113	819.137 €
8	Dragoneraareal	G	Wohnen Neubau	3921	2025	42,50	15,00	113	443.073 €
9	Dragoneraareal	H	Wohnen Neubau	3921	2025	42,50	15,00	113	443.073 €
10	Dragoneraareal	I	Wohnen Neubau	3921	2025	42,50	15,00	113	443.073 €
11	Dragoneraareal	K	Wohnen Neubau	3921	2025	42,50	15,00	113	443.073 €
12	Dragoneraareal	M	Wohnen Neubau	3921	2025	42,50	15,00	113	443.073 €
13	Dragoneraareal	N	Verwaltung	3.956	2025	104,90	76,26	54	213.647 €
14	Dragoneraareal	O	Verwaltung	4.954	2025	104,90	76,26	54	267.530 €
15	Dragoneraareal	L	Wohnen Neubau	7470	2025	42,50	15,00	113	844.110 €
16	Dragoneraareal	Pa	Verwaltung	1.877	2025	104,90	76,26	54	101.362 €
17	Dragoneraareal	Pb	Verwaltung	789	2025	104,90	76,26	54	42.589 €
18	Dragoneraareal	Pc	Verwaltung	1.058	2025	104,90	76,26	54	57.147 €
19	Dragoneraareal	A	Wohnen Neubau	855	2025	42,50	15,00	113	96.642 €
20	Dragoneraareal	4	Gewerbe BIM	856	2025	32,00	15,00	113	96.728 €
21	Dragoneraareal	3C/8 3B/7	Gewerbe BIM	2592	1854	32,00	15,00	113	292.896 €
22	Dragoneraareal	3A/18c	Gewerbe BIM	996	1854	32,00	15,00	113	112.548 €
26	Dragoneraareal	33/6	Gemeinwohl	171	1929	102,00	73,36	54	9.207 €
27	Dragoneraareal	33/6	Gemeinwohl	171	1929	102,00	73,36	54	9.207 €
28	Dragoneraareal	37/5	Gemeinwohl	201	1929	102,00	73,36	54	10.854 €
29	Dragoneraareal	33/4b	Gewerbe BIM	127	1929	32,00	15,00	113	14.351 €
30	Dragoneraareal	9/4a	Gewerbe BIM	206	1845	32,00	15,00	113	23.278 €
31	Dragoneraareal	5/14	Gemeinwohl	1447	1854	102,00	73,36	54	78.138 €
32	Dragoneraareal	6/16	Gewerbe BIM	1526	1854	32,00	15,00	113	172.438 €
33	Dragoneraareal	16/3	Gemeinwohl	754	1889	102,00	73,36	54	40.716 €
34	Dragoneraareal	2/17	Gewerbe BIM	1656	1854	32,00	15,00	113	187.128 €
35	Dragoneraareal	27c/13	Gemeinwohl	1383	1927	102,00	73,36	54	74.682 €
36	Dragoneraareal	35/9	Gewerbe BIM	734	1929	32,00	15,00	113	82.942 €
Summe				181.764					26.141.695 €