energielenker
Für Klima und Zukunft

Fahrplan Klimaneutraler Gebäudebestand 2040

FÜR DIE KOMMUNALEN LIEGENSCHAFTEN DER STADT SIEGEN - KURZFASSUNG

Stand: 03.06.2024

UNIVERSITÄTSSTADT
SIEGEN

ABBILDUNGSVERZEICHNIS 3

TABELLENVERZEICHNIS 4

1 Einleitung und Rahmenbedingungen vom Projekt 5

2 Energiemanagementsystem 5

3 Energie- und CO2-Bilanz 6

3.1 BILANZIERUNGSPRINZIP 6

3.2 ORGANISATORISCHE SYSTEMGRENZEN 6

3.3 ENERGIEVERBRAUCH 6

3.4 ENDENERGIEVERBRAUCH 2019 8

3.4.1 CO_2-Emissionsbilanz 10

4 Potentialanalyse 10

4.1 SZENARIENBETRACHTUNG 11

4.2 VORANALYSE GEBÄUDESANIERUNG 12

4.3 FEINANALYSE GEBÄUDESANIERUNG 12

4.4 HOCHRECHNUNGEN AUS DER FEINANALYSE GEBÄUDESANIERUNG 14

4.5 WÄRMEVERSORGUNG 17

4.5.1 Wärmeverteilung und hydraulischer Abgleich 17

4.5.2 Raumtemperaturregelung 17

4.5.3 Zielpfad 17

4.6 SOLARE ENERGIENUTZUNG 19

4.6.1 Photovoltaik 19

4.7 PHOTOVOLTAIK UND WÄRMEPUMPEN 23

5 Sommerlicher Wärmeschutz 25

6 Maßnahmenplan und Umsetzungsstrategie 26

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1-1: Rahmenbedingungen und Hemmnisse 5
Abbildung 3-1 Organisatorische Systemgrenzen 6
Abbildung 3-2 Baualtersklassen der Gebäude 7
Abbildung 3-3 Endenergieverbrauch nach Gebäudekategorie 8
Abbildung 3-4 CO_2- Emissionen nach Gebäudekategorie 10
Abbildung 4-1 Schwerpunkte der Potentialanalyse 11
Abbildung 4-2 Auswahl der Gebäude zur Potenzialanalyse 13
Abbildung 4-3 Durchführung der Gebäudebetrachtung 13
Abbildung 4-4 Einsparungen an Strom- und Wärmeverbrauch aus den Hochrechnungen 15
Abbildung 4-5 Einsparungen an CO_2-Äquivalenten aus den Hochrechnungen 16
Abbildung 4-6 Szenario 1 bis 3 Energieträgerwechsel 17
Abbildung 4-7 Zeitliche Entwicklung Zielpfad 19
Abbildung 4-8 PV-Eignungsflächen nach LANUV 19
Abbildung 4-9 Ausbaupfad Photovoltaik 22
Abbildung 4-10 Ausbaupfad Photovoltaik + dezentrale Stromspeicher 22
Abbildung 4-11 Ausbaupfad Photovoltaik + dezentrale Stromspeicher 23
Abbildung 4-12 Ausbaupfad Photovoltaik + dezentrale Stromspeicher 23
Abbildung 4-13 Photovoltaik Eigenverbrauchsquoten 24
Abbildung 4-14 Bilanzielle CO2-Emissionen 24
Abbildung 4-15 Vergleich Einnahmen/Einsparungen zu Kosten 25
Abbildung 5-1 Kaltluftvolumenstrom im Kreis Siegen- Wittgenstein 25
Abbildung 6-1 Veranschaulichung der Umsetzungsstrategie 29

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 3-1 Primärenergie- und Emissionsfaktoren der Energieträger 7
Tabelle 3-2 Endenergieverbräuche je Gebäudetyp 9
Tabelle 4-1 Ergebnisse der Voranalyse Gebäudesanierung 12
Tabelle 4-2 Betrachtete Gebäude für die Sanierungsfahrpläne 14
Tabelle 4-3 Annahmen für Investitionskosten 17
Tabelle 4-4 Heizungsstruktur im Zieljahr 18
Tabelle 4-5 Annahmen für PV- Berechnungen 20
Tabelle 4-6 Ergebnisse der Potenzialanalyse Photovoltaik 21
Tabelle 5-1 Überhitzungspotential Gebäude 26
Tabelle 6-1 Auszug aus dem Maßnahmenkatalog 28

1 EINLEITUNG UND RAHMENBEDINGUNGEN VOM PROJEKT

Das 21. Jahrhundert ist geprägt durch den Anstieg der globalen Erderwärmung und Treibhausgasemissionen. Seit 2019 ist das Thema „Klimawandel“ ein zentrales öffentliches Megathema mit intensiver Medienpräsenz, Demonstrationen wie „Fridays for Future“ und politischen Forderungen. Die Herausforderung besteht darin, das große Interesse in konkrete Maßnahmen umzusetzen. Es braucht eine Kombination aus bundesweiten gesetzlichen Veränderungen und einer aktiven Gesellschaft, um Treibhausgasemissionen zu senken und Klimaneutralität anzustreben. Der Bundesgerichtshof hat das Ziel der Klimaneutralität bis 2050 als verfassungswidrig erklärt, was die Rahmenbedingungen seit dem 25.06.2021 geändert hat. Neue Ziele bieten sowohl Chancen als auch Herausforderungen. Die Stadt Siegen beschloss am 26.02.2020, ihren CO2-Ausstoß durch kommunale Gebäude jährlich um mindestens 5% zu senken und bis spätestens 2040 einen CO2-neutralen Gebäudebestand zu erreichen. Maßnahmen umfassen Heizungstausch, Dämmung und den Ausbau Erneuerbarer Energien.

Abbildung 1-1: Rahmenbedingungen und Hemmnisse

2 ENERGIEMANAGEMENTSYSTEM

Die Stadt Siegen steht vor einer Herausforderung im Energiemanagement, da derzeit kein umfassendes System existiert. Energiedaten werden hauptsächlich in Excel-Tabellen und Energieausweisen erfasst, was unübersichtlich und ineffizient ist. Excel-Tabellen sind fehleranfällig und schwer zu analysieren, während Energieausweise nicht kontinuierlich aktualisiert werden.

Die Stadt plant, ein modernes Energiemanagementsystem zu implementieren, das alle Energiedaten zentralisiert, automatische und in Echtzeit Erfassung ermöglicht, umfangreiche Analysetools bietet und mit anderen Systemen integriert werden kann. Dies wird die Übersichtlichkeit verbessern, Fehler reduzieren, tiefere Einblicke ermöglichen und Einsparpotenziale aufzeigen, wodurch die städtischen Energie- und Klimaziele besser erreicht werden können.

3 ENERGIE- UND CO2-BILANZ

3.1 BILANZIERUNGSPRINZIP

Die Bilanzierung erfolgt nach dem Greenhouse Gas (GHG)-Protokoll, einem internationalen Standard zur Berechnung von THG-Emissionen. Dabei werden Systemgrenzen und Organisationseinheiten festgelegt, Primärdaten und Emissionsfaktoren ermittelt und schließlich die Gesamtemissionen berechnet. Betrachtet werden Emissionen aus Strom- und Fernwärmebezug sowie der direkten Brennstoffverbrennung in Gebäuden, basierend auf Daten der Gebäudeverwaltung.

3.2 ORGANISATORISCHE SYSTEMGRENZEN

Die Systemgrenzen für den „Fahrplan klimaneutraler Gebäudebestand 2040" wurden zu Beginn festgelegt und abgestimmt. Die Systemgrenze umfasst den gesamten Gebäudebestand im Besitz der Stadt Siegen und dessen Energieverbrauch. Nicht berücksichtigt in diesem Energieverbrauch sind dabei sog. „Nebenverbraucher", wie etwa Lichtsignalanlagen oder Sirenen. Die Systemgrenze zur Bilanzierung des Energieverbrauchs und somit zur Bilanzierung der CO_2-Enmissionen ist in folgender Abbildung dargestellt.

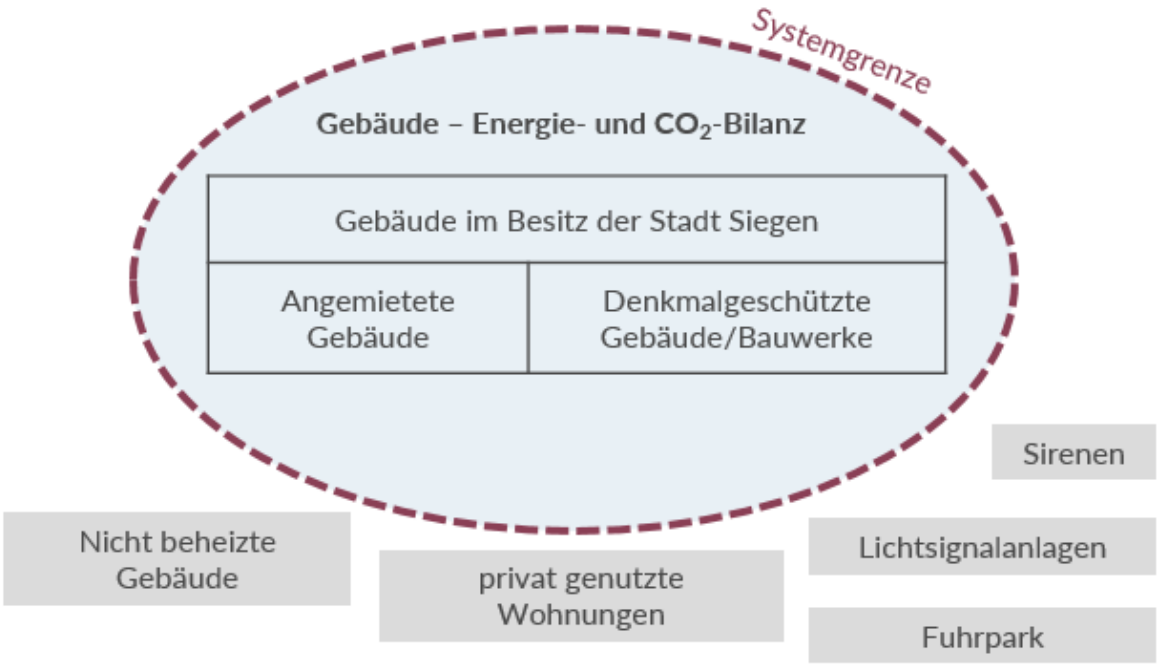

Abbildung 3-1 Organisatorische Systemgrenzen

3.3 ENERGIEVERBRAUCH

Die nachfolgende Grafik veranschaulicht die vorhandenen Baualtersklassen der Gebäude der Stadt Siegen. Der überwiegende Gebäudebestand ist von der ersten Wärmeschutzverordnung 1978 errichtet worden.

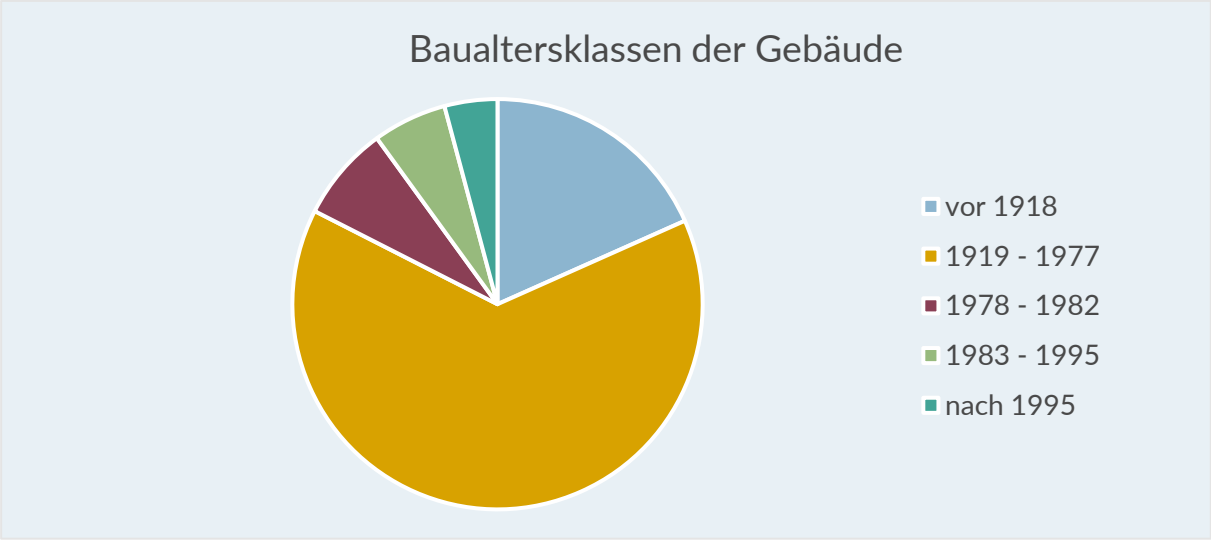

Abbildung 3-2 Baualtersklassen der Gebäude

Die Energiebilanzierung des Gebäudebestands der Stadt Siegen basiert auf witterungsbereinigten Verbrauchswerten des Jahres 2019, die die leitungsgebundenen Energieträger berücksichtigen. Verbräuche von nicht-leitungsgebundenen Energieträgern wie Heizöl und Holz lagen nicht vor. Zur Bewertung wurden die Primärenergiefaktoren und CO_2-Emissionsfaktoren des GEG 2020 herangezogen. Diese Emissionsfaktoren, die als CO_2-Äquivalente auch andere Treibhausgase wie Methan und Lachgas einbeziehen, berücksichtigen keine Vorketten oder Netzverluste.

Tabelle 3-1 Primärenergie- und Emissionsfaktoren der Energieträger

Energieträger	***Primärenergiefaktor***	***CO_2-Emissionsfaktor [g/kWh]***
Strom	*1,80*	*560*
Heizöl	*1,1*	*310*
Erdgas	*1,1*	*240*
Fernwärme Biogas	*1,1*	*140*
Fernwärme Holzhackschnitzel	*0,2*	*20*
Holz	*0,2*	*20*
Heizstrom	*1,80*	*560*
Umweltwärme	*0,0*	*0*
Sonnenkollektoren	*0,0*	*0*
Biogase	*0,5*	*140*
Abfall	*0,0*	*20*
Flüssiggas	*1,1*	*270*
Pflanzenöl	*0,5*	*26*
Kohle	*1,2*	*428*

3.4 ENDENERGIEVERBRAUCH 2019

Für die Gebäude der Stadt Siegen beträgt der Endenergieverbrauch 38,2 GWh/a, was zu CO_2-Emissionen von 10.915 t/a führt. Endenergie ist die dem Verbraucher verfügbare Energie nach Abzug von Transport- und Umwandlungsverlusten, während Primärenergie die ursprünglichen Energieträger wie Erdgas oder Heizöl bezeichnet. Die Verteilung der Endenergie sowie CO_2-Emissionen auf die Energieträger zu den jeweiligen Gebäudekategorien in Siegen sind in den folgenden Abbildungen und Tabellen dargestellt. Die Gesamtsummen ergeben sich durch Addition aller Balken. Der Endenergieverbrauch für Wärme und Strom ist in der folgenden Grafik dargestellt.

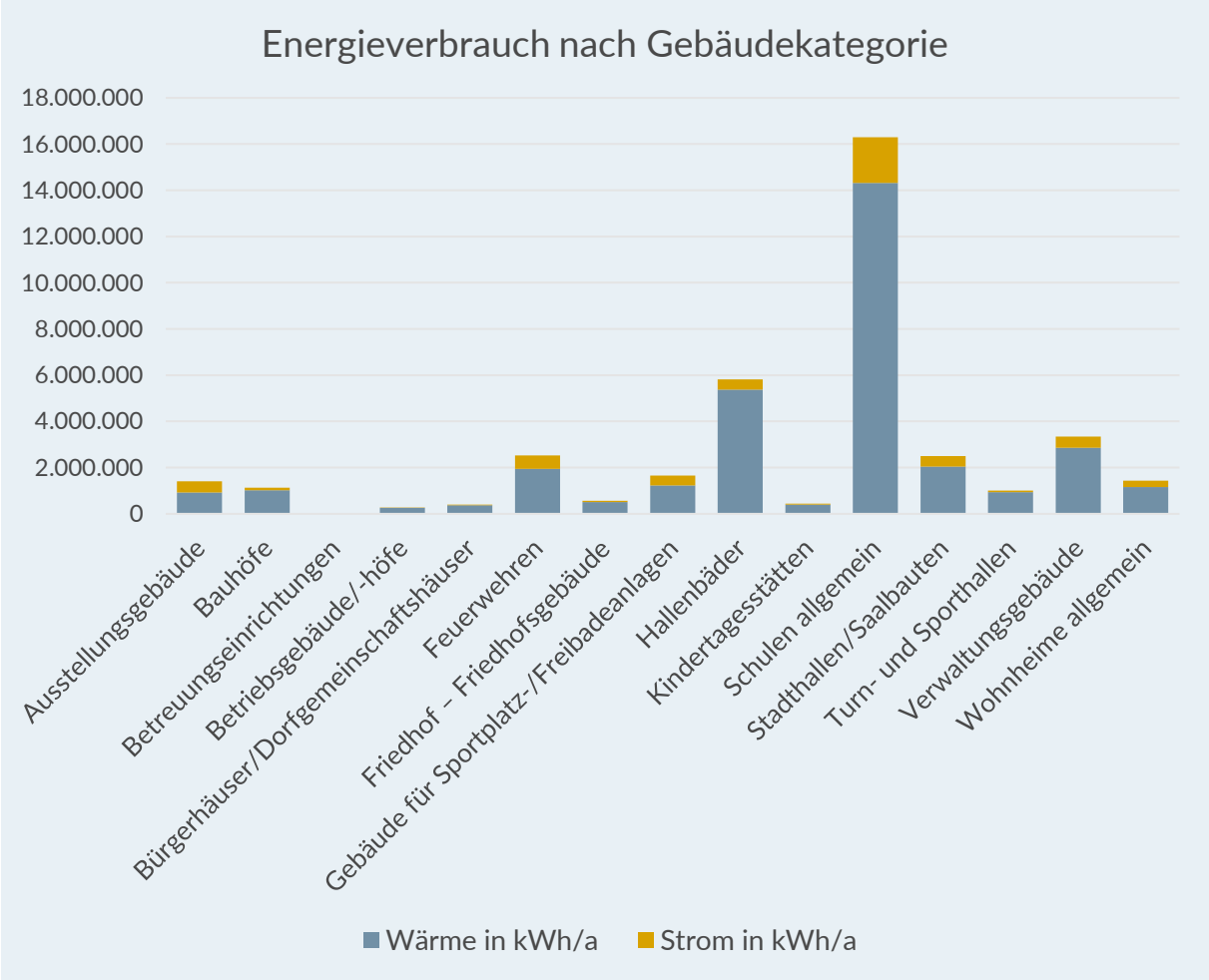

Abbildung 3-3 Endenergieverbrauch nach Gebäudekategorie

Tabelle 3-2 Endenergieverbräuche je Gebäudetyp

Energieträger	***Strom***	***Wärme (Erdgas)***
Gebäude	***kWh***	***kWh***
Ausstellungsgebäude	*482.533*	*897.392*
Bauhöfe	*107.607*	*986.905*
Betreuungseinrichtungen	*23.808*	*k.A.*
Betriebsgebäude/-höfe	*13.031*	*244.545*
Bürgerhäuser/Dorfgemeinschaftshäuser	*26.531*	*363.807*
Feuerwehren	*585.662*	*1.931.387*
Friedhof – Friedhofsgebäude	*45.332*	*464.455*
Gebäude für Sportplatz-/Freibadeanlagen	*425.783*	*1.181.360*
Hallenbäder	*451.258*	*5.331.880*
Kindertagesstätten	*33.583*	*387.799*
Schulen allgemein	*1.986.640*	*14.009.116*
Stadthallen/Saalbauten	*458.004*	*2.031.585*
Turn- und Sporthallen	*68.519*	*925.878*
Verwaltungsgebäude	*484.227*	*2.826.315*
Wohnheime allgemein	*274.552*	*1.143.614*
Gesamt [kWh]	***5.467.070***	***32.726.038***

Deutlich wird dabei, dass die Schulen den größten Anteil einnehmen, gefolgt von den Hallenbädern, Verwaltungsgebäuden und Feuerwehren.

Der Gesamte Wärmeverbrauch betrug im Jahre 2019 32,7 GWh und der Stromverbrauch betrug 5,5 GWh, was einem gesamten Energieverbrauch von etwa 2.000 durchschnittlichen Einfamilienhäusern entspricht (Bei etwa 19.000 kWh Durchschnittsverbrauch).

3.4.1 CO_2-Emissionsbilanz

Die Gesamten CO_2-Emissionen belaufen sich auf rund 10.900 Tonnen pro Jahr.

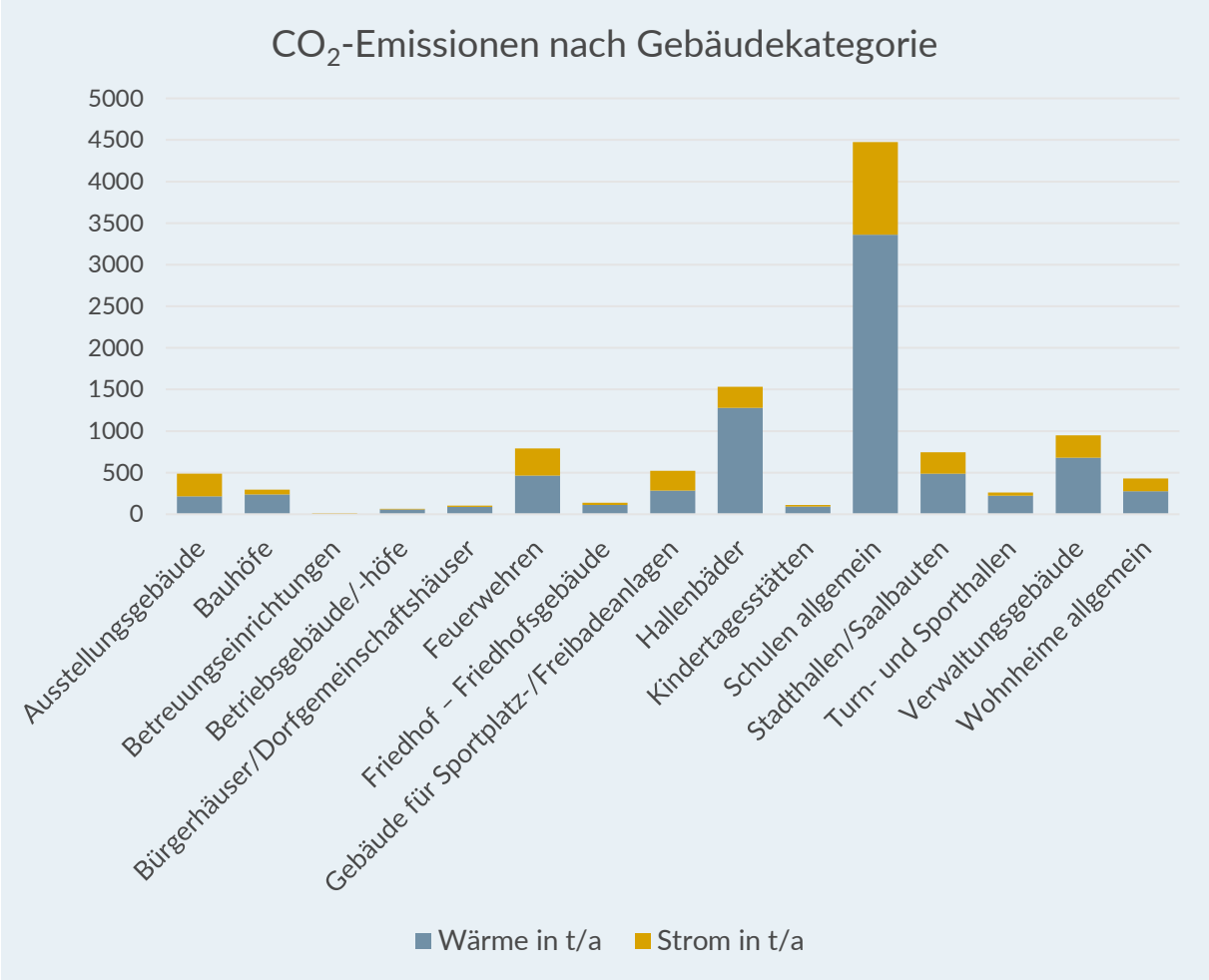

Abbildung 3-4 CO_2- Emissionen nach Gebäudekategorie

4 POTENTIALANALYSE

Die Klimastrategie der Stadt Siegen teilt sich in "Minimieren" und "Substituieren". Diese getrennte Betrachtung ermöglicht gezieltere Maßnahmen und bessere Steuerung. Da Gebäudenutzungszeiten länger sind als die Technologien, erleichtert dies die Planung von Erneuerungszyklen. Siegen strebt an, den Energieverbrauch durch effiziente Gebäudehüllen und Technologien zu minimieren und die Wärmeversorgung auf erneuerbare Energieträger umzustellen.

Im Rahmen der Potenzialanalyse wurden daher folgende Schwerpunkte gesetzt:

	Bereiche	Schwerpunkte der Potenzialanalyse
Gebäude	 ***Minimieren***	▸ Energetische Gebäudesanierung

	Substituieren
		▸ Photovoltaikausbau
		▸ Erneuerung der Wärmeerzeuger
		  ▸ Biomasse
		  ▸ Wärmepumpen

Abbildung 4-1 Schwerpunkte der Potentialanalyse

4.1 SZENARIENBETRACHTUNG

Die Stadt Siegen hat bereits Maßnahmen zur Energieeinsparung und Reduzierung der Treibhausgasemissionen ergriffen. Für einen CO_2-neutralen Gebäudebetrieb werden zwei Szenarien betrachtet:

Zielpfad minimal (2023-2039): Energieeinsparungen durch Fortführung bisheriger Ziele und moderater Ausbau erneuerbarer Energien, basierend auf den Entwicklungen der letzten Jahre.

Zielpfad optimal (2023-2034): Ambitioniertere Einsparungen und stärkerer Ausbau erneuerbarer Energien, um Klimaneutralität bis 2035 zu erreichen, in Übereinstimmung mit dem Pariser Abkommen.

Eine vollständige Vermeidung von CO_2-Emissionen ist schwierig, da erneuerbare Energieträger immer noch einen CO_2-Emissionsfaktor haben. Kompensation dieser Restemissionen wird separat behandelt.

4.2 VORANALYSE GEBÄUDESANIERUNG

Für eine erste Einordnung der energetischen Qualität der Gebäude in Siegen wurden die witterungsbereinigten Wärmeverbräuche und die Stromverbräuche von 2019 analysiert. Der Heizenergie- und Stromverbrauch pro Nettogrundfläche (NGF) wurde mit Werten aus den Verbrauchsmessungen der VDI 3807 Blatt 2 verglichen. Die Zuordnung der Gebäude erfolgte nach dem BWZ-Bauwerkszuordnungskatalog, der auch in der VDI 3807 verwendet wird. Aus dem Vergleich konnten sowohl kritische Gebäude, also jene Gebäude mit einem der Bauwerkszuordnung entsprechend hohem Verbrauch, als auch Einsparpotentiale identifiziert werden.

Grenz- und Zielwerte basieren auf Verbrauchsdaten von über 45.000 Nicht-Wohngebäuden. Für den Zielpfad minimal erfolgt der Vergleich mit den Grenzwerten, für den Zielpfad optimal mit den Zielwerten. Der Grenzwert entspricht dem Modalwert. Dieser ist der am häufigsten vorkommender Wert in der Verteilung. Der Zielwert ist der arithmetische Mittelwert des unteren (des besten) Quartils der Verteilung. Da der Zielwert bei Durchführungen von Energieeinsparungsmaßnahmen anzustreben ist, wurden nur für dieses Szenario die potenziellen Einsparungen an CO_2-Emissionen berechnet. Folgende Potenziale an Einsparungen ergaben sich aus den Vergleichen mit den Verbrauchsmessungen der VDI 3807 Blatt 2:

Tabelle 4-1 Ergebnisse der Voranalyse Gebäudesanierung

	Potenzielle Einsparungen Wärme [kWh]	***Potenzielle CO2-Emissions-Einsparungen Wärme [t]***	***Potenzielle Einsparungen Strom [kWh]***	***Potenzielle CO2-Emissions-Einsparungen Strom [t]***
Vergleich Ist-Grenz	*2.432.483*	-	*1.831.741*	-
Vergleich Ist-Ziel	*7.172.682*	*1.721*	*1.009.643*	*1.025*

4.3 FEINANALYSE GEBÄUDESANIERUNG

Zur Ermittlung des Sanierungspotenzials des gesamten Gebäudebestandes der Stadt Siegen, wurden zehn Gebäude hinsichtlich Übertragbarkeit aus dem gesamten Gebäudebestand der Stadt Siegen ausgewählt. Die Auswahl erfolgte nach folgendem Schema:

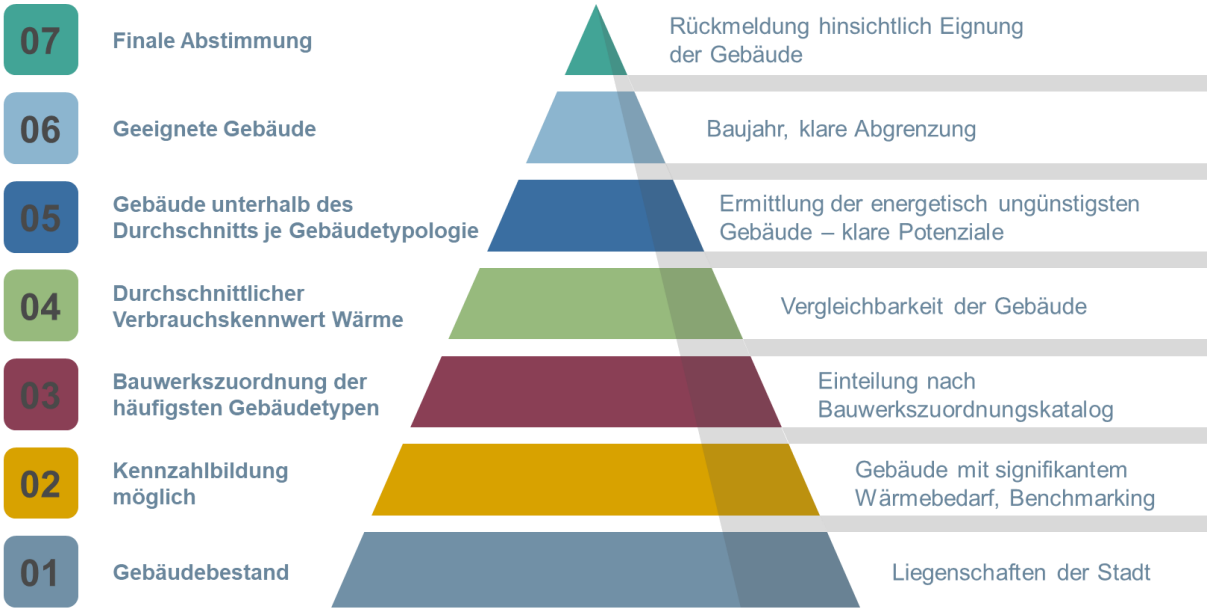

Abbildung 4-2 Auswahl der Gebäude zur Potenzialanalyse

Die Durchführung der detaillierten Gebäudeaufnahmen und -analysen, erfolgte anhand folgender Vorgehensweise:

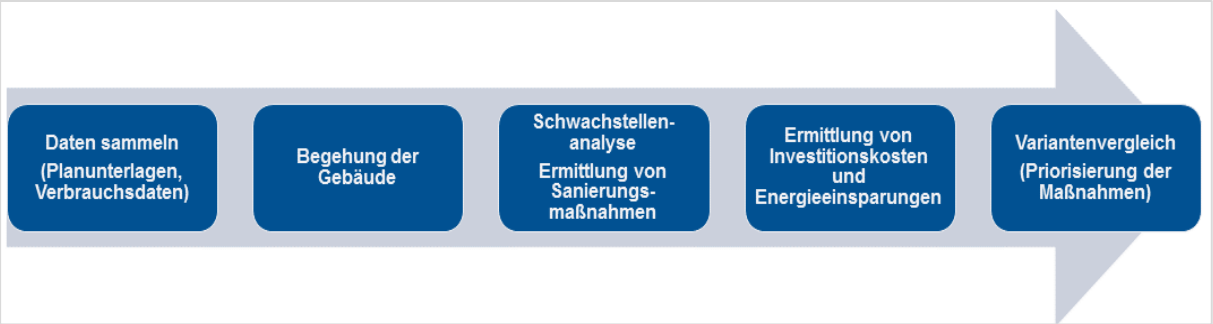

Abbildung 4-3 Durchführung der Gebäudebetrachtung

In einem ersten Schritt wurden die ausgewählten 10 Gebäude aufgenommen. Hierzu zählen die folgenden wesentlichen Gebäudeteile:

- Dach
- Außenwand
- Fenster
- Keller
- Lüftung
- Heizung
- Beleuchtung

Durch die Vor-Ort Begehungen wurden die Gebäude (Flächen, Anzahl und Typ) entsprechend aufgenommen und anschließend ausgewertet. Von der Stadt Siegen zur Verfügung gestellte Energiebezugsdaten konnten so im Kontext der Ist-Situation bewertet werden. Abschließend erfolgte die Erstellung einer Energiebilanz für das Objekt.

Zur Betrachtung hinsichtlich Übertragbarkeit, wurden folgende Gebäude mit dem Auftraggeber abgestimmt:

Tabelle 4-2 Betrachtete Gebäude für die Sanierungsfahrpläne

Nr.	***Gebäude***
1	*Hallenbad Eiserfeld*
2	*Rathaus Geisweid*
3	*Grundschule Eisern*
4	*Diesterwegschule*
5	*Gesamtschule Eiserfeld*
6	*Gymnasium auf der Morgenröthe*
7	*Turnhalle Peter-Paul-Rubens-Gymnasium*
8	*Feuerwehrgerätehaus Eiserfeld*
9	*KiTa Waldesruh*
10	*Bismarckhalle*

4.4 HOCHRECHNUNGEN AUS DER FEINANALYSE GEBÄUDESANIERUNG

Aus den 10 Feinanalysen bzw. aus den 10 Sanierungsfahrplänen ergaben sich u.a. die spezifischen energetischen Sanierungskosten, die Einsparungen am spezifischen Endenergiebedarf und an den spezifischen CO_2-Äquivalenten. Diese Ergebnisse wurden, ausgehend von der vorangegangenen Bauwerkszuordnungen, für die Hochrechnung genutzt.

Die Hochrechnungen zeigen die Einsparungen aller baulichen Maßnahmen sowie Erneuerungen der Beleuchtungen, Wärmeversorgungen und RLT-Anlagen am Bedarf und an den Emissionen. Ebenfalls werden die energetischen Sanierungskosten dargelegt. Die Ausgangslage bildeten die Verbrauchswerte aus dem Jahr 2019. In den Hochrechnungen sind bislang nicht die PV-Erträge enthalten.

Die folgenden Abbildungen der Ergebnisse zeigen neben der klimabereinigten Ausgangslage die erreichten Einsparungen nach den technischen, gesetzlichen Mindestanforderungen des GEG (Gebäudeenergiegesetz) und nach den technischen Mindestanforderungen der Bundesförderung für Effiziente Gebäude (BEG) („Ziel Effizienzgebäudestandard“). Bei Einhaltung der technischen Mindestanforderungen der BEG können Zuschussförderungen beantragt werden.

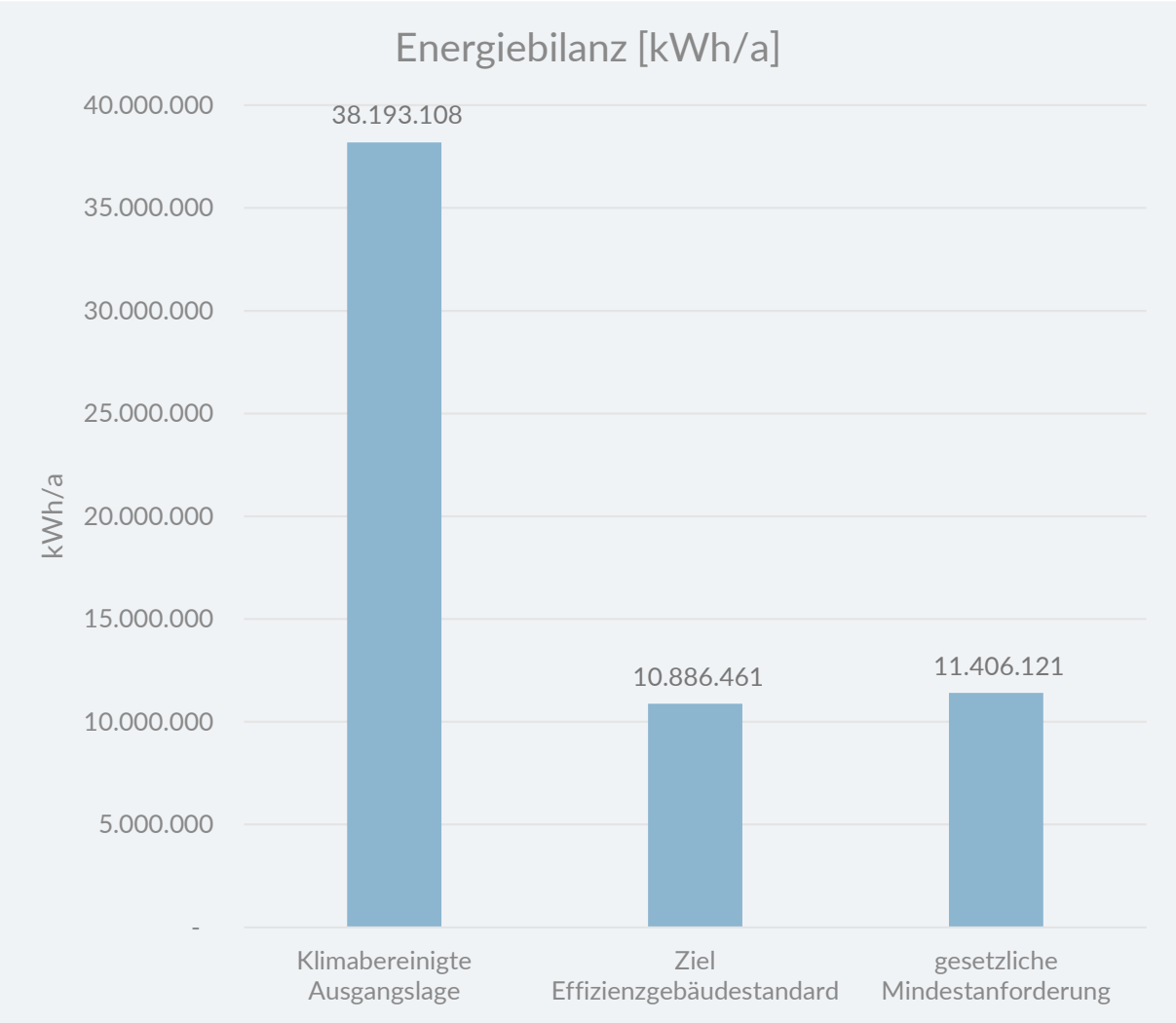

Abbildung 4-4 Einsparungen an Strom- und Wärmeverbrauch aus den Hochrechnungen

Eine Sanierung nach den technischen Mindestanforderungen der BEG verfolgt unter anderem das Ziel ein Effizienzgebäudestandard zu erreichen. Durch diese Zielsetzung bei der Sanierung des Gebäudebestandes würde sich der Verbrauch um 27,3 Mio. kWh/a reduzieren. Die höchsten Einsparungen würden sich an den Schulen (Einsparung um 10,3 Mio. kWh/a) und an den Hallenbädern (4,7 Mio. kWh/a) ergeben.[1]

Die folgende Abbildung zeigt die Einsparungen an den CO_2-Äquivalenten.

[1] Darstellungen über die Einsparungen an den jeweiligen Bauwerkskategorien werden im Endbericht dargestellt.

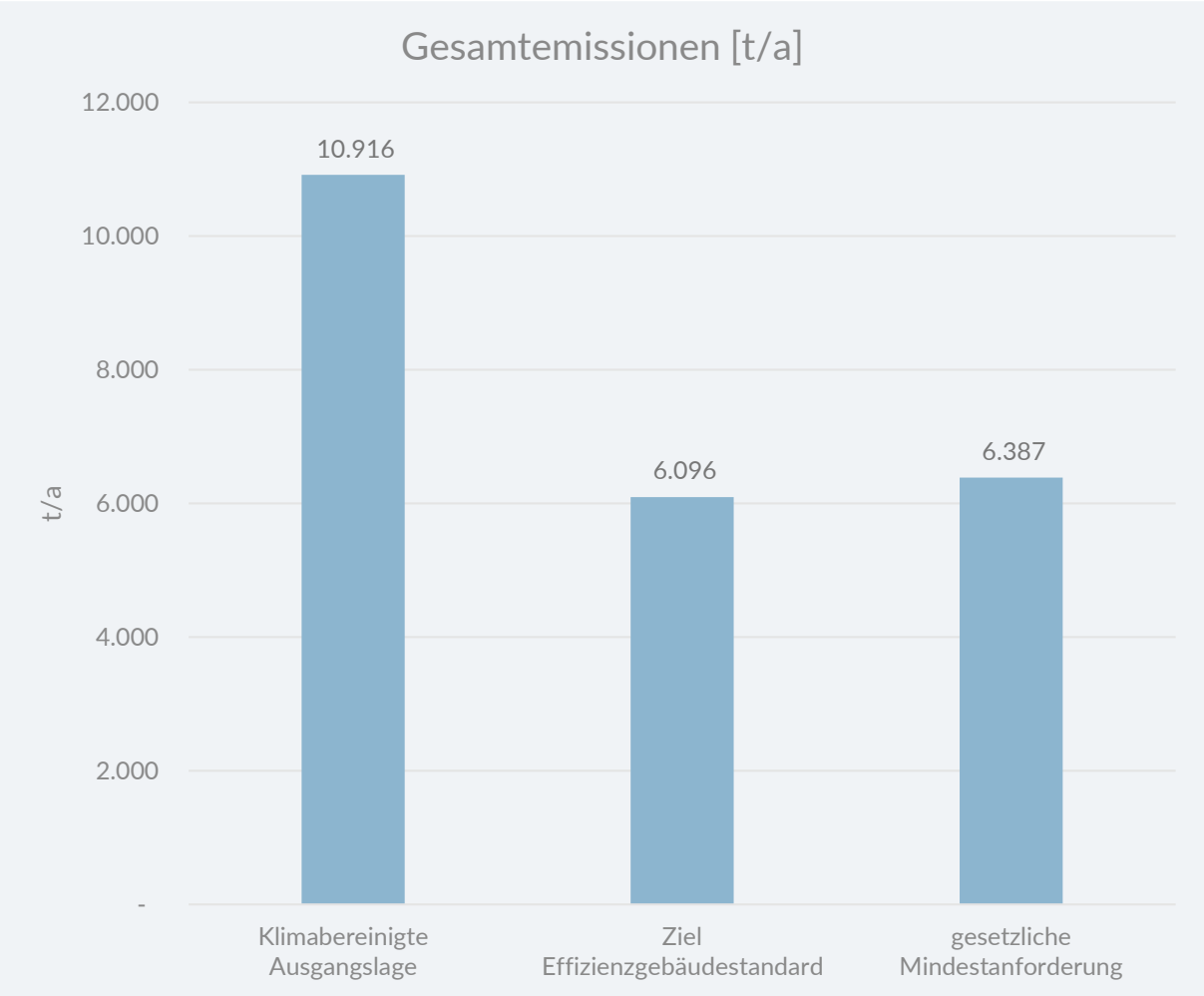

Abbildung 4-5 Einsparungen an CO_2-Äquivalenten aus den Hochrechnungen

Wird der Gebäudebestand nach den technischen Mindestanforderungen der BEG saniert, ergeben sich Einsparungen an den Emissionen in Höhe von 4.820 t/a. Die Emissionen des Schulbestandes würden sich um ca. 1.300 t/a und die Emissionen der Hallenbäder um ca. 940 t/a reduzieren.[2]

Aus den Hochrechnungen ergeben sich energetische Sanierungskosten in Höhe von 325 Mio. €. In den Kosten sind folgende Leistungen enthalten: Baustelleneinrichtungen, Abbruch/Rückbau und Entsorgung, Vorbereitung Untergründe, Dämmmaterialien, neue Vorhangfassaden/neue Abdichtungen, PV-Anlagen (Lieferung, Materialien, Aufbau), Wärmepumpen, ggf. Bohrungen, Inbetriebnahme, Einbau LED-Beleuchtung, Einbau Lüftungsanlage mit WRG, Lohnkosten. Die höchsten energetischen Sanierungskosten sind beim Schulbestand mit ca. 197 Mio. € zu verzeichnen. Darauf folgen die Hallenbäder mit ca. 24 Mio. €.

Ausgehend vom Vergleich der Verbrauchskennwerte müssten mindestens 29 Gebäude, jedoch optimal 71 Gebäude bis 2040 saniert werden. Das würde eine Sanierungsquote von 2 bzw. 5 Gebäuden pro Jahr bedeuten. Zusammenfassend beträgt das CO_{2e}-Reduktionspotenzial 4.820 t CO_{2e}/a und das gesamte Endenergie-Einsparpotenzial 27,3 Mio. kWh/a. Die energetischen Sanierungskosten belaufen sich auf 325 Mio. €.

[2] Darstellungen über die Einsparungen an den jeweiligen Bauwerkskategorien werden im Endbericht dargestellt.

4.5 WÄRMEVERSORGUNG

4.5.1 Wärmeverteilung und hydraulischer Abgleich

Die meisten Gebäude in Siegen werden mit fossilen Energieträgern wie Erdgas beheizt. Wichtig für die Wärmeversorgung ist neben der Erzeugung auch die Verteilung im Gebäude, die meist über Umwälzpumpen erfolgt. Veraltete Pumpen sind ineffizient und manuell regelbar, während Hocheffizienzpumpen automatisch den Druck anpassen. Alte Heizkörperventile und fehlender hydraulischer Abgleich verschlechtern die Effizienz. Es wird angenommen, dass bei den meisten Heizungsanlagen der hydraulische Abgleich noch nicht durchgeführt wurde.

4.5.2 Raumtemperaturregelung

Raumtemperaturregler halten die Temperatur eines Raums konstant. Es gibt autarke Systeme (Raumregler und Stellglied) und vernetzte Systeme mit Zentralgerät, beide kabelgebunden oder funkbasiert. Autarke Regler werden für einzelne Räume verwendet, kabelgebundene Systeme meist im Neubau oder bei Komplettsanierungen.

4.5.3 Zielpfad

Zum besseren Verständnis, wie sich der Austausch durch die verschiedenen Heizungsanlagen (Gasbrennwert, Biomasse, Wärmepumpe) auf die Bilanz auswirkt, sind zunächst die Ergebnisse dargestellt, die sich im Jahr 2040 einstellen würden, wenn die Heizanlagen vollständig auf einen der 3 genannten Energieträgern umgestellt werden würde. Folgende Abbildung stellt dieses grafisch dar.

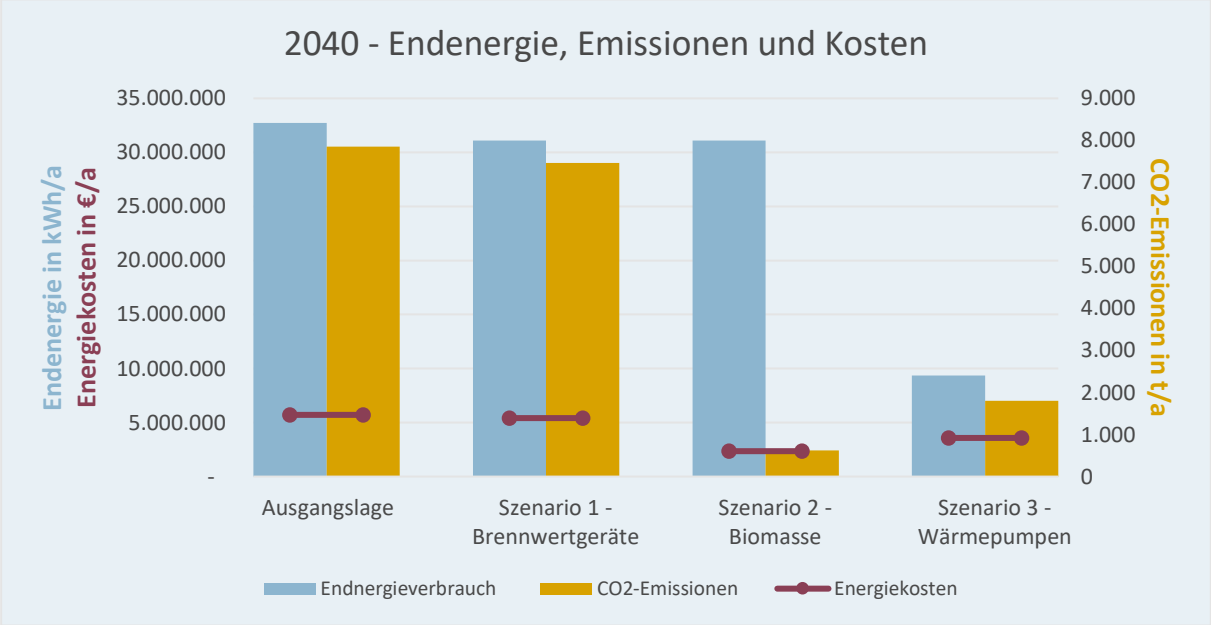

Abbildung 4-6 Szenario 1 bis 3 Energieträgerwechsel

Für Berechnungen der Investitions- und Heizkosten wurden folgenden Annahmen getroffen:

Tabelle 4-3 Annahmen für Investitionskosten

Strompreis *(Preissteigerungsrate ⌀3,4 %/a)*	*22 ct/kWh (brutto)*
Gaspreis *(Preissteigerungsrate ⌀15 %/a)*	*4 ct/kWh (brutto)*

Biomassepreis *(Preissteigerungsrate ⌀ 5,6 %/a)*	*3 ct/kWh (brutto)*
Gasbrennwertkessel Investitionskosten	*406 €kW (brutto)*
Biomassekessel Investitionskosten	*730€/kW (brutto)*
Wärmepumpen Investitionskosten	*2.550 €/kW (brutto)*

Tabelle 4-4 Heizungsstruktur im Zieljahr

Anteil in Prozent [%]		**Endenergie-verbrauch (heizen)** [kWh/a]	**CO_2-Emissionen** [t/a]	**Heizkosten heute** [€/a]	**Heizkosten 2040** [€/a]
	Ausgangslage	**32.726.038**	**7.854**	**1.875.996 €**	**5.710.991 €**
23	Brennwertgeräte	7.150.639	1.716	409.905	1.247.852
19	Biomasse	5.907.050	118	244.085	446.524
58	Wärmepumpen	5.423.172	1.044	1.390.147	2.067.851
100	**Summe**	**18.480.861**	**2.878**	**2.044.138**	**3.762.226**

Die Daten zeigen, dass eine Anpassung der Heizungsinfrastruktur eine Reduktion der CO_2-Emissionen um fast ein Drittel im Vergleich zur aktuellen Situation ermöglicht. Die Heizkosten würden kurzfristig aufgrund hoher Strompreise leicht steigen, aber der Beitrag der Photovoltaik zur Stromselbstversorgung könnte diese senken, besonders in Verbindung mit Wärmepumpen. Die Heizkosten für das Zieljahr wären selbst ohne Berücksichtigung des Photovoltaik-Eigenverbrauchs für Wärmepumpen merklich niedriger.

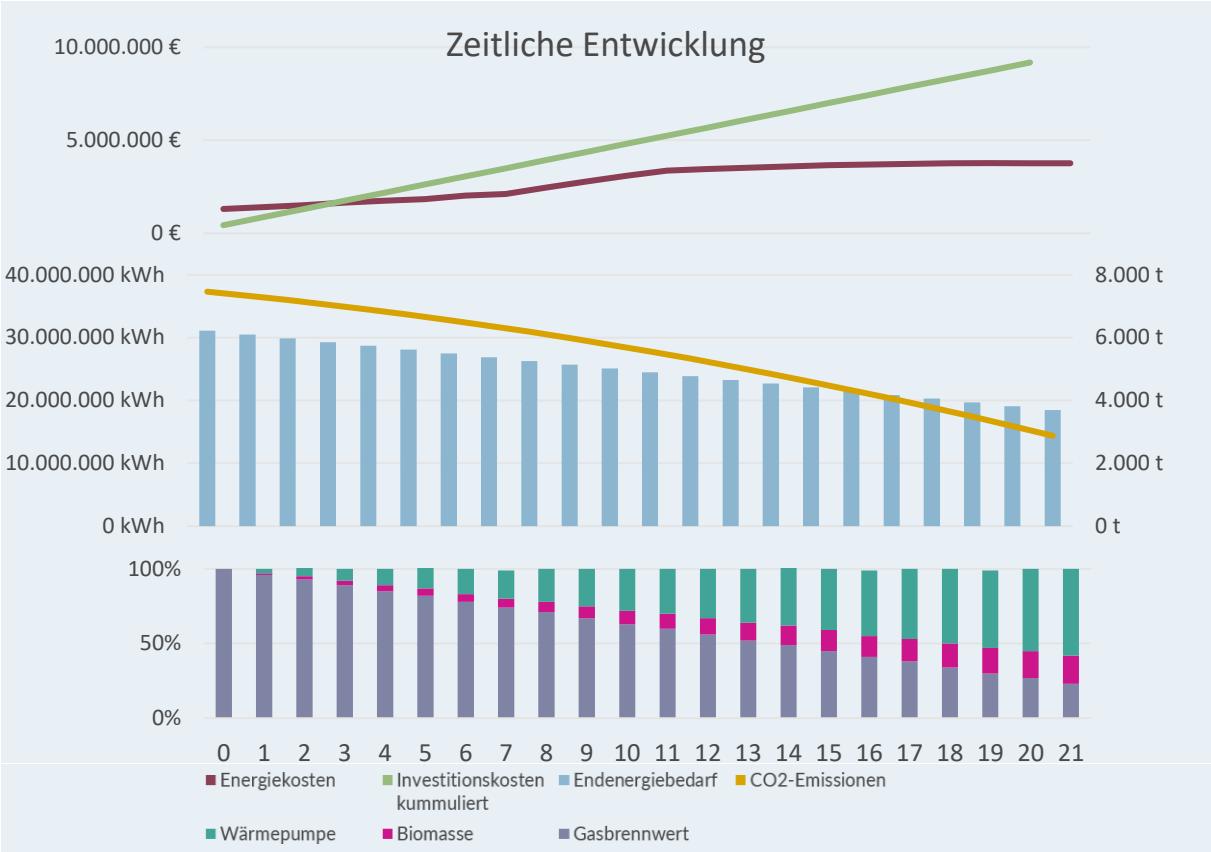

Abbildung 4-7 Zeitliche Entwicklung Zielpfad

4.6 SOLARE ENERGIENUTZUNG

4.6.1 Photovoltaik

Für die lokale Erzeugung von elektrischer Energie wurden Photovoltaik Potenziale analysiert.

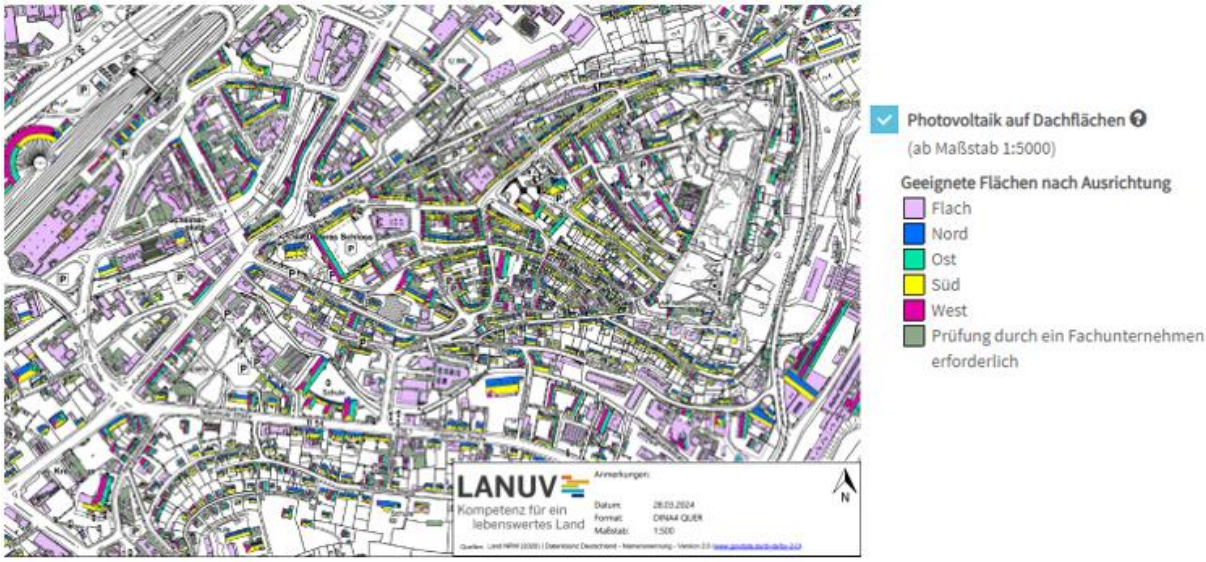

Abbildung 4-8 PV-Eignungsflächen nach LANUV

Laut dem Solarpotenzialkataster weisen fast alle Gebäude eine geeignete Dachfläche auf. Die Angaben des Solarpotenzialkatasters dienen einer ersten Einschätzung, die keine Energieberatung vor Ort ersetzt.

Folgende Kriterien wurden zur Bestimmung geeigneter Dachflächen zugrunde gelegt:

- Dachfläche mit einer solaren Einstrahlung >900 kWh/m²/a
- Gebäude gehört zu einer der folgenden Nutzungskategorie an:
    - Gebäude für öffentliche Zwecke
    - Verwaltungsgebäude
    - Wohngebäude
    - Gebäude für Wirtschaft oder Gewerbe

Für die Berechnungen in diesem Kapitel wurden folgende Annahmen getroffen:

Tabelle 4-5 Annahmen für PV- Berechnungen

Eigenstromanteil PV ohne Speicher	*35 %*
Stromverbrauchssteigerungsrate	*1 %*
Vollbenutzungsstunden	*900 h/a*
Eigenstromanteil PV mit Speicher	*70 %*
Photovoltaik Investitionskosten	*1.200€/kWp*
Stromspeicher Investitionskosten	*2.200€/kWh*

Insgesamt konnten 328 geeignete Einzelgebäude identifiziert werden, inklusive Nebengebäude. Auf diesen kann potenziell ein Jahresertrag von insgesamt 16.713 MWh erzielt werden. Die Ergebnisse zeigen, dass ein signifikanter Anteil des Potentials im Bereich der Schulgebäude verortet ist. Die folgende Tabelle zeigt die Erträge der Gebäude. Diese wurden dabei jeweils einem Bauwerkstyp zugeordnet.

Tabelle 4-6 Ergebnisse der Potenzialanalyse Photovoltaik

Bauwerkszuordnung	***PV-Potential in kWh/a***
Ausstellungsgebäude	*764.863*
Bauhöfe	*243.144*
Betreuungseinrichtungen	*262.130*
Betriebsgebäude/-höfe	*105.207*
Bürgerhäuser/Dorfgemeinschaftshäuser	*184.061*
Feuerwehren	*750.847*
Friedhof – Friedhofsgebäude	*278.860*
Gebäude für Sportplatz-/Freibadeanlagen	*545.311*
Hallenbäder	*620.895*
Kindertagesstätten	*250.898*
Schulen allgemein	*9.393.912*
Stadthallen/Saalbauten	*711.426*
Turn- und Sporthallen	*795.849*
Verwaltungsgebäude	*854.866*
Wohnheime allgemein	*951.377*
Summe	***16.713.646***

Um das volle Potenzial der Photovoltaik bis 2040 zu erreichen, wäre ein jährlicher Ausbau von 884 kWp erforderlich, beginnend im Jahr 2020. Die Grafik verdeutlicht diesen Ausbaupfad.

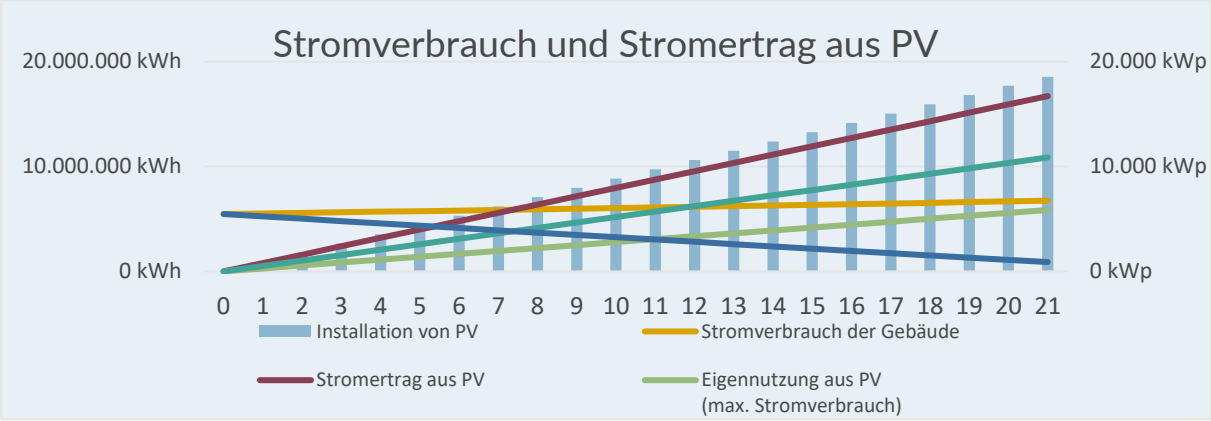

Abbildung 4-9 Ausbaupfad Photovoltaik

Die Grafik des Ausbaupfades zeigt PV-Ertrag, installierte Modulleistung, Gebäudestromverbrauch sowie den Anteil an Eigennutzung und Überschusseinspeisung. Trotz voller Nutzung des PV-Potenzials wird im Zieljahr der Eigenverbrauch nicht vollständig gedeckt, da die Diskrepanz zwischen Erzeugung und Bedarf ohne Zwischenspeicherung zu hoch ist.

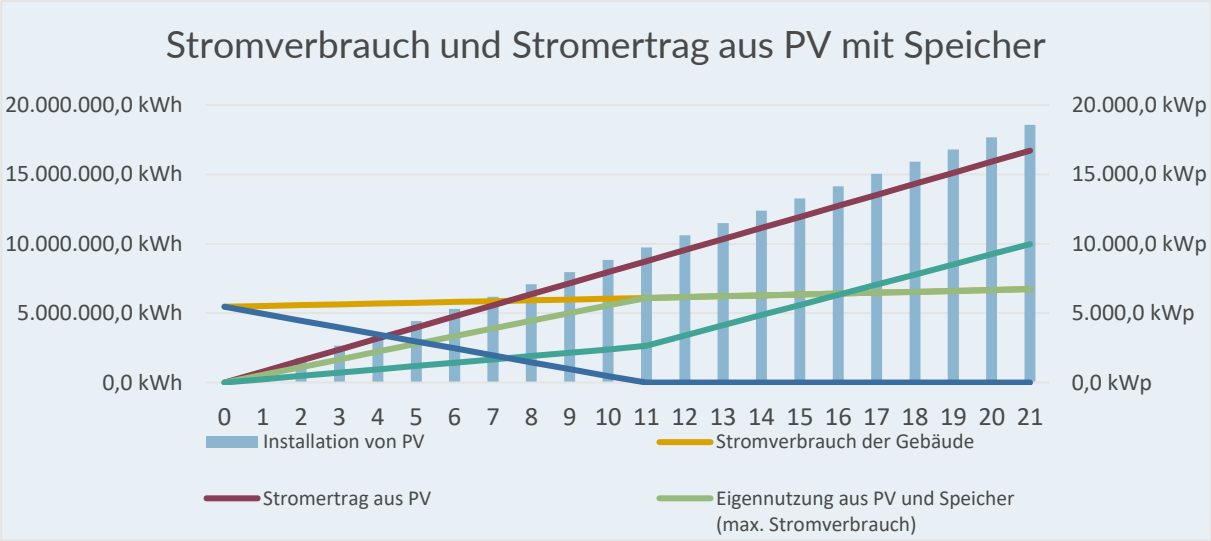

Abbildung 4-10 Ausbaupfad Photovoltaik + dezentrale Stromspeicher

Die zweite Grafik in Abbildung 3.6 zeigt die Entwicklung mit dezentralen Stromspeichern, um den Eigenverbrauchsanteil zu erhöhen. Durch die Kombination von Photovoltaik und Stromspeichern kann eine Eigenverbrauchsquote von etwa 70 % erreicht werden. Im 11. Jahr könnte theoretisch eine Eigenversorgung erreicht werden, während der eingespeiste Stromanteil stark ansteigt. Der Eigenverbrauchsbedarf steigt nur leicht aufgrund einer jährlichen Steigerungsrate von 1 %. Abbildung 3.8 und 3.9 zeigen das Verhältnis von Ausgaben zu Einnahmen für beide Szenarien.

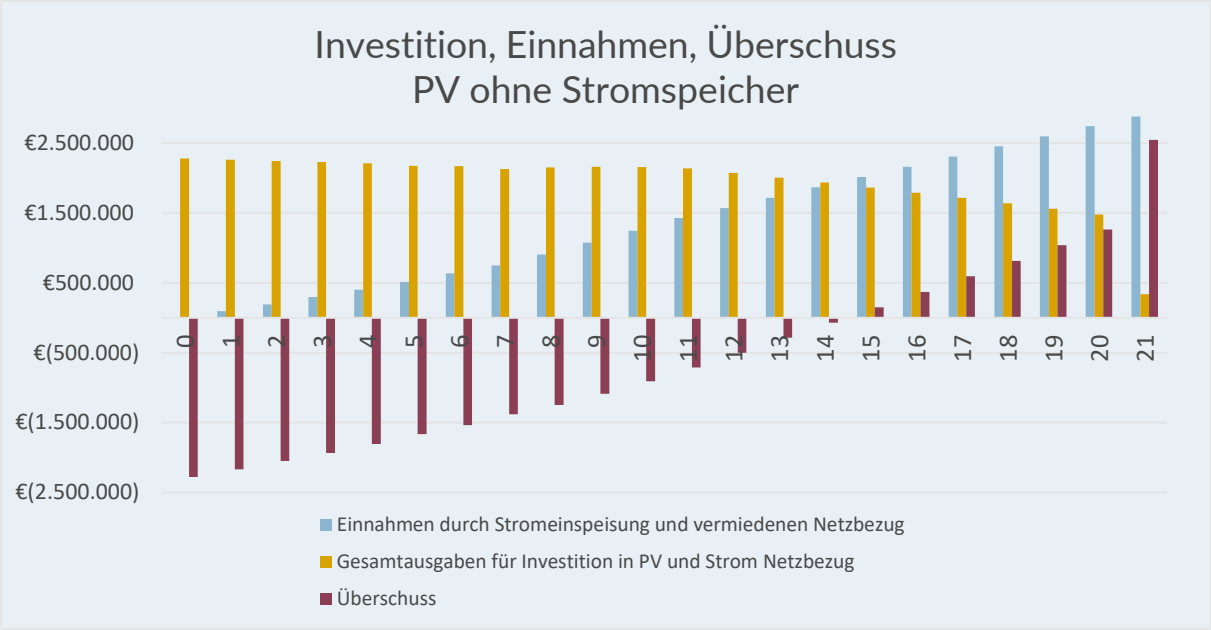

Abbildung 4-11 Ausbaupfad Photovoltaik + dezentrale Stromspeicher

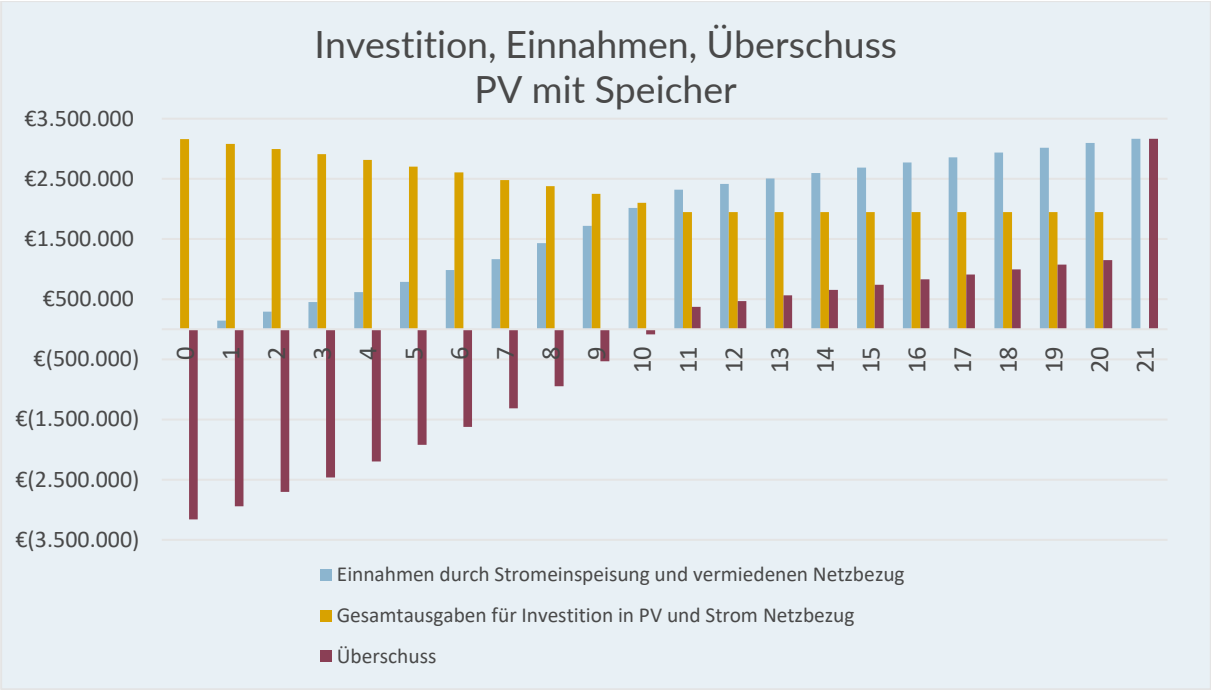

Abbildung 4-12 Ausbaupfad Photovoltaik + dezentrale Stromspeicher

4.7 PHOTOVOLTAIK UND WÄRMEPUMPEN

Dieser Abschnitt analysiert das Zusammenspiel von Photovoltaik und Wärmepumpen. Der Eigenverbrauch des erzeugten Stroms wird durch den Haushaltsstrombedarf begrenzt, der durch dezentrale Stromspeicher abgedeckt wird. Der Einsatz von Wärmepumpen erhöht den Stromverbrauch, was den Eigenverbrauch von PV-Strom steigert. Ohne Stromspeicher beträgt der Eigenverbrauchsanteil etwa 43 %, mit Speicher etwa 78 %. Die Abbildung 4-11 zeigt diese Korrelation.

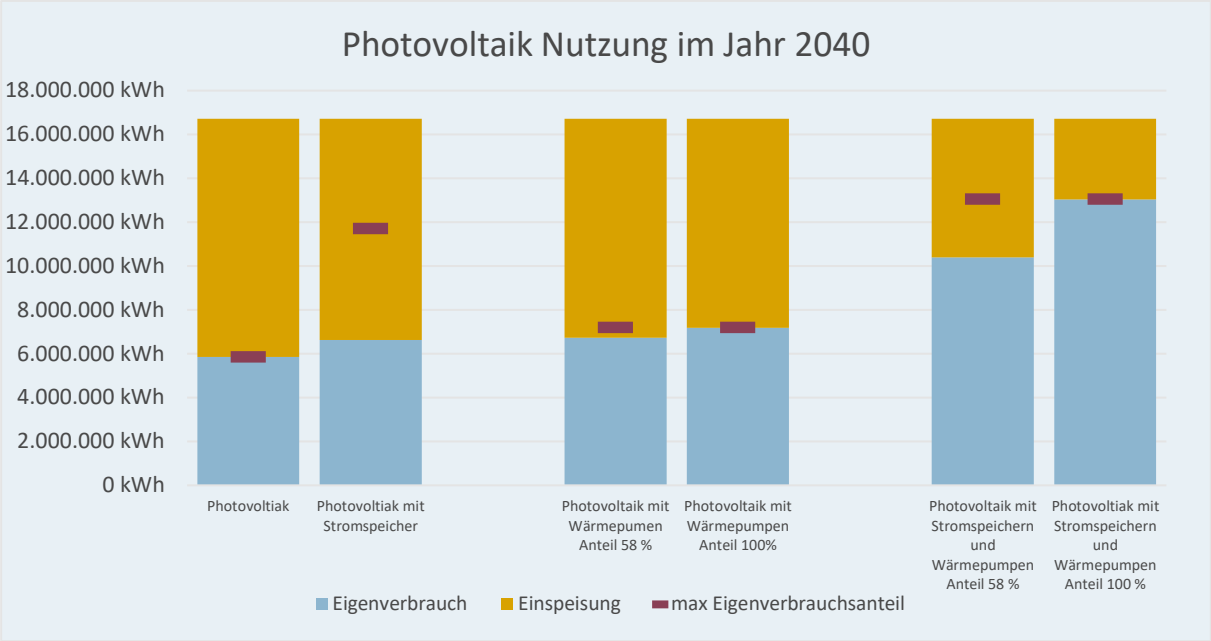

Abbildung 4-13 Photovoltaik Eigenverbrauchsquoten

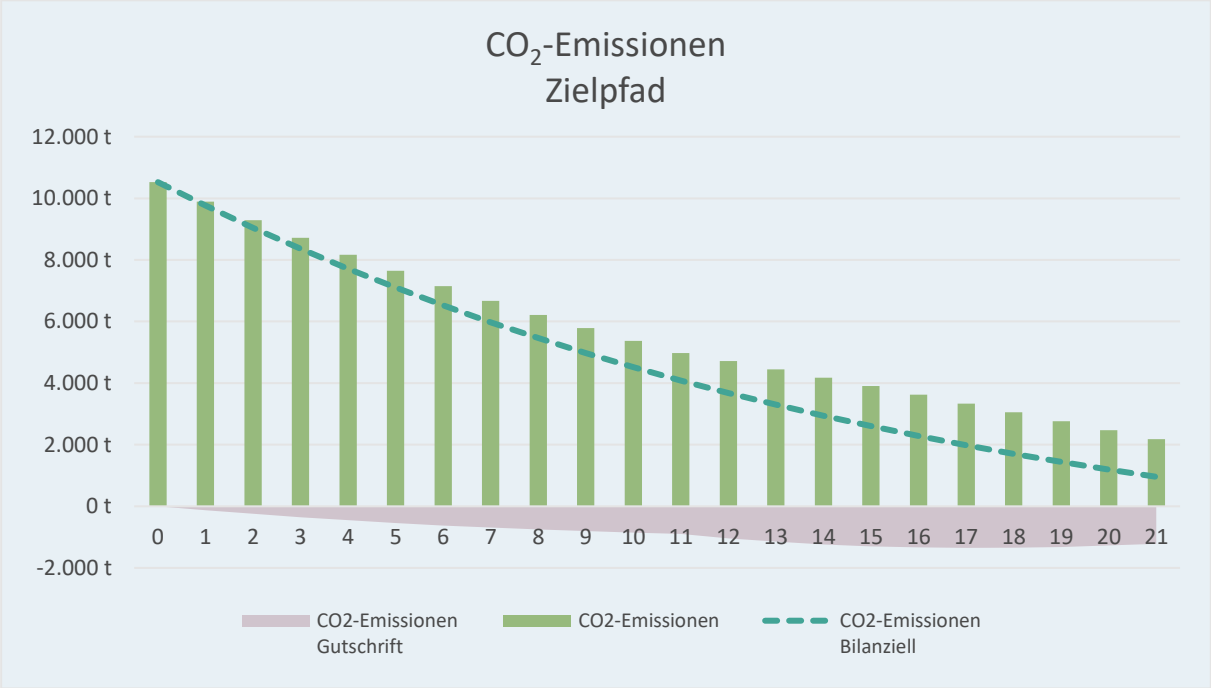

Abbildung 4-14 Bilanzielle CO2-Emissionen

Für die Umsetzung der Maßnahmen wird ein jährlicher Investitionsbedarf von etwa 2,38 Mio. € benötigt, der für Heizungssysteme, Photovoltaikanlagen und Energiespeicher aufgewendet wird. Abbildung 4-13 zeigt die Kosten-Einnahme-Relation für den Entwicklungsplan. Dabei werden Kosten und Einnahmen gegenübergestellt, wobei die Einnahmen neben der Vergütung für eingespeisten Photovoltaikstrom auch Einsparungen durch den reduzierten Netzbezug umfassen. Die anfänglichen Kosten überwiegen die Einsparungen, doch mit dem Ausbau steigen letztere stetig an. Im Zieljahr übersteigen die generierten Einnahmen und Einsparungen die verbleibenden Energiekosten deutlich.

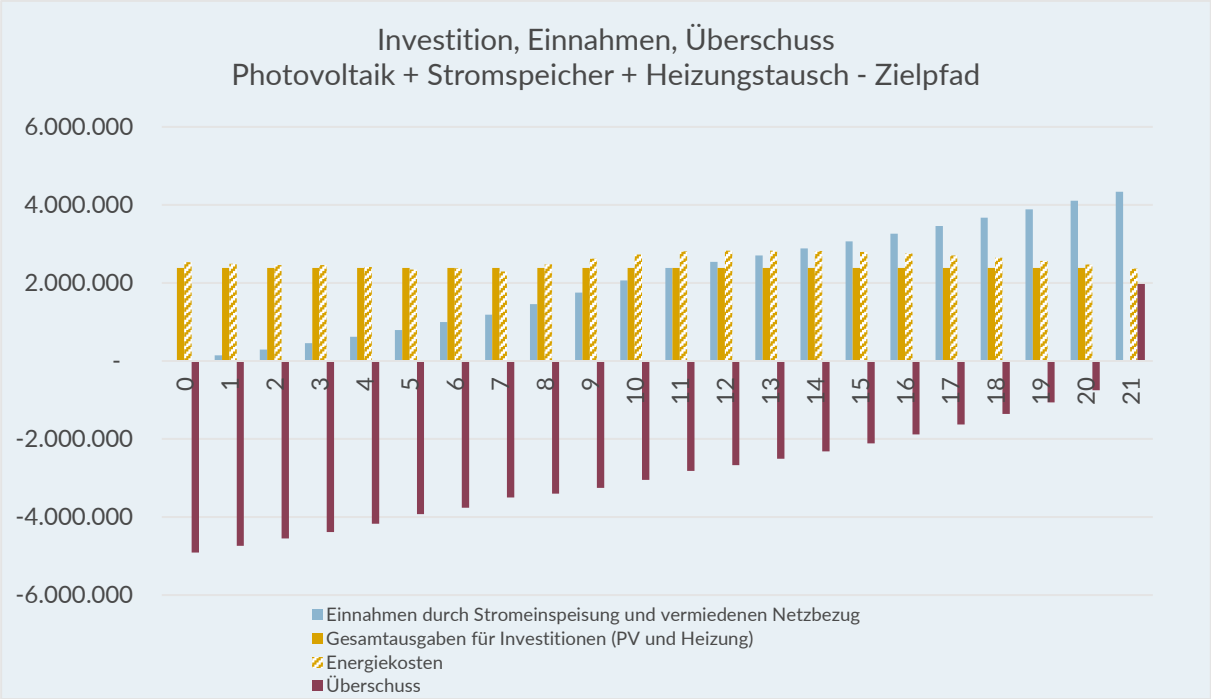

Abbildung 4-15 Vergleich Einnahmen/Einsparungen zu Kosten

5 SOMMERLICHER WÄRMESCHUTZ

Angesichts des verschärften Klimawandels ist es entscheidend, Maßnahmen zur Verbesserung des sommerlichen Wärmeschutzes von Gebäuden zu ergreifen. Folgende Abbildung zeigt den Kaltluftvolumenstrom im Kreis Siegen- Wittgenstein.

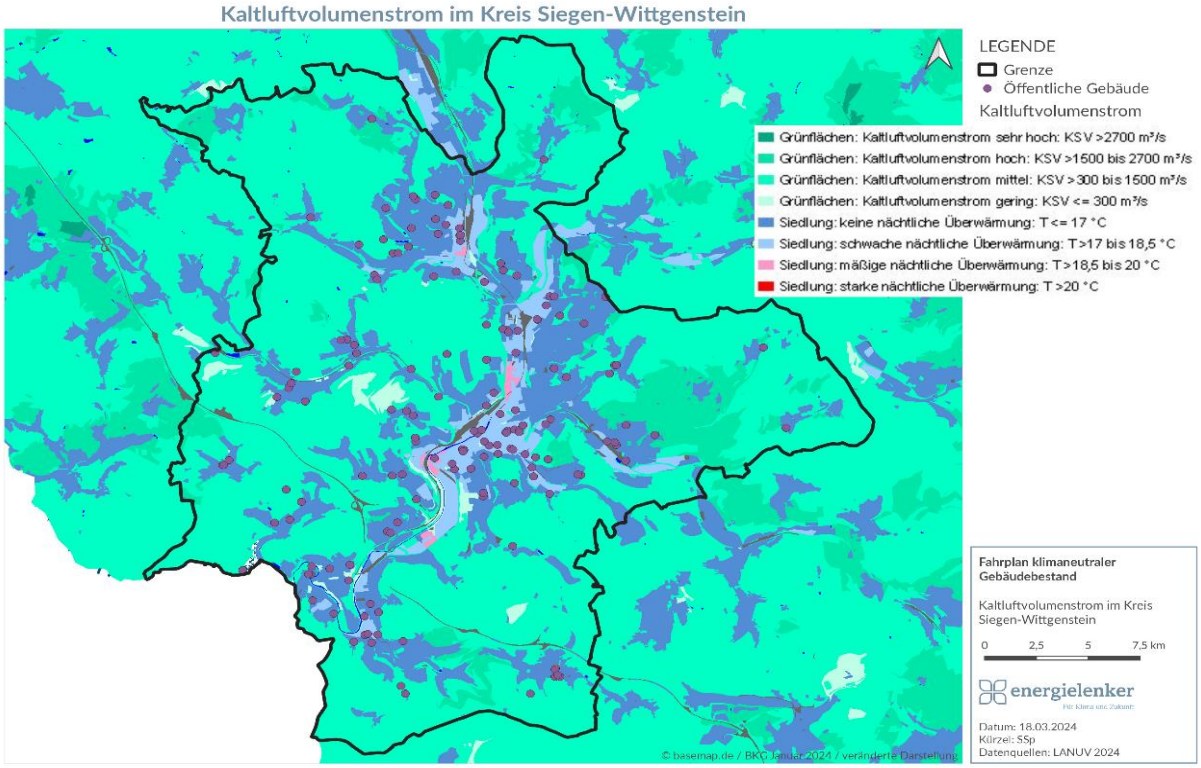

Abbildung 5-1 Kaltluftvolumenstrom im Kreis Siegen- Wittgenstein

Folgende Tabelle zeigt das Ergebnis einer Analyse von Gebäuden auf ihr Überhitzungspotential.

Tabelle 5-1 Überhitzungspotential Gebäude

Gebäude	Überhitzungspotenzial
FW-Gerätehaus Hammerhütte	Mäßige nächtliche Überwärmung, Gewerbe, Industrieklima
Treffpunkt Sicherheit, Bahnhofstraße	Schwache nächtliche Überwärmung, Innenstadtklima
Apollo Theather	Schwache nächtliche Überwärmung, Innenstadtklima
Haus Seel	Schwache nächtliche Überwärmung, Innenstadtklima
Kornmarkt	Schwache nächtliche Überwärmung, Innenstadtklima
Stockweg 7, FW-Gerätehaus Weidenau	Schwache nächtliche Überwärmung, Stadtklima
Weidenauer Str. 215, Rathaus Weidenau	Schwache nächtliche Überwärmung, Stadtklima

6 MAßNAHMENPLAN UND UMSETZUNGSSTRATEGIE

Für die Stadt Siegen wurde ein umfassender Maßnahmenkatalog ausgearbeitet, der darauf abzielt, den Energiebedarf der Stadt zu minimieren und durch erneuerbare Energien zu substituieren, um bis zum Jahr 2040 einen klimaneutralen Gebäudebestand zu erreichen. Dieser Maßnahmenkatalog enthält eine Vielzahl von Strategien und Initiativen, die auf die nachhaltige Reduzierung des Energieverbrauchs und die verstärkte Nutzung erneuerbarer Energien fokussiert sind.

Die erste Maßnahme umfasst die Einführung eines systematischen Energiemanagements für den Gebäudebestand der Stadt Siegen. Dies beinhaltet die Überwachung und Analyse des Energieverbrauchs, die Identifizierung von Einsparpotenzialen sowie die Umsetzung von Maßnahmen zur Effizienzsteigerung. Hierfür soll eine Energiemanagementsoftware angeschafft werden.

Zweitens wird eine detaillierte Aufnahme des gesamten Gebäudebestandes durchgeführt, um den aktuellen Zustand der Bausubstanz und der technischen Anlagen zu erfassen. Diese Daten sollen dann in einer zentralen Datenbank gespeichert werden, die, in Verbindung mit dem Energiemanagement, umfassende Informationen über den energetischen Zustand und die Sanierungsbedarfe der einzelnen Gebäude enthält.

Ein weiterer wichtiger Schritt ist danach die Erstellung weiterer individueller Sanierungsfahrpläne für ausgewählte, priorisierte Gebäude der Stadt Siegen. Diese Fahrpläne enthalten konkrete Maßnahmen zur energetischen Verbesserung und Zeitpläne für deren Umsetzung. Die Maßnahmen werden priorisiert, basierend auf dem energetischen Zustand der Gebäude und dem erwarteten Einsparpotenzial.

Daneben sind weitere Maßnahmen, wie der Ausbau der Photovoltaik und eine Verschärfung der Anforderungen an die Energieeffizienz von zentraler Bedeutung.

Durch die Umsetzung dieser umfassenden Maßnahmen soll die Stadt Siegen in die Lage versetzt werden, den Energieverbrauch seiner Gebäude signifikant zu reduzieren und den verbleibenden Bedarf größtenteils durch erneuerbare Energien zu decken. Damit wird das ambitionierte Ziel eines klimaneutralen Gebäudebestands bis zum Jahr 2040 realisierbar und die Stadt leistet einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz

Tabelle 6-1 Auszug aus dem Maßnahmenkatalog

Maßnahme	Beschreibung	Möglicher Umsetzungszeitraum
Einführung Energiemanagement	Einführung eines Einheitlichen Energiemanagementsystems	**2024 - 2026**
Detaillierte Aufnahme des Gebäudebestandes	Der energetische Sanierungszustand der Gebäude ist bisher noch wenig erfasst und ausgewertet. Im Rahmen von Gebäudebegehungen sollte zunächst der energetische Ausgangszustand der Gebäude erfasst werden, beispielsweise in Steckbriefform.	**2024 - 2025**
Erstellung weiterer Sanierungsfahrpläne	Erstellung weiterer Sanierungsfahrpläne, zunächst für Gebäude mit höherer Priorisierung. Die Priorisierung der Gebäude sollte in einem partizipativem Prozess festgelegt werden.	**2024-2035**
Verschärfung der Anforderungen an Energieeffizienz	Bisher gibt es keine festgeschriebenen Anforderungen an die Energieeffizienz der Gebäude, die über den gesetzlichen Mindeststandard hinausgehen. Festlegung von Gebäudestandards, Mindestanteil Erneuerbarer Energien, etc.. Prüfung auf maximale Energieeffizienz.	**2024-2025**
Einführung eines Prozesscontrollings für Sanierungs- und Modernisierungsprozesse	Verankerung einer festen organisatorischen Zuordnung, die die Gesamtkoordination eines Controllings bei Sanierungsmaßnahmen, Umbauprozessen, etc. übernimmt.	**2024-2040**
Ausbau von Photovoltaikanlagen	Bislang sind nur wenige PV-Anlagen installiert. Das Gesamtpotenzial beträgt 16,7 GWh/a. Investition: ca. 1 Mio. €/a	**2024-2040 ff.**
Energetische Sanierung der Gebäude	Sanierung der Gebäude auf Basis der Sanierungsfahrpläne und Priorisierung	**2024-2045**

Die Stadt Siegen hat mit den Maßnahmen einen weiteren Handlungsansatz und Orientierungsrahmen erhalten, um bis zum Jahr 2030 die CO_2-Emissionen deutlich zu reduzieren. Es gilt diese Maßnahmen vorzubereiten, zu planen und tatsächlich zu projektieren und in eine Umsetzungsstrategie zu überführen. Um die Maßnahmen umzusetzen, bedarf es zunächst der Definition einer ausführlichen Aufbau-, Anfangs-, Umsetzungs- und Etablierungsphase. Die Abbildung 6-1 illustriert den Planungs- und Umsetzungsprozess für den Fahrplan klimaneutraler Gebäudebestand 2040 in der Stadt Siegen. Hier sind die Phasen "Aufbauphase", "Umsetzungsphase" und "Etablierungsphase" dargestellt.

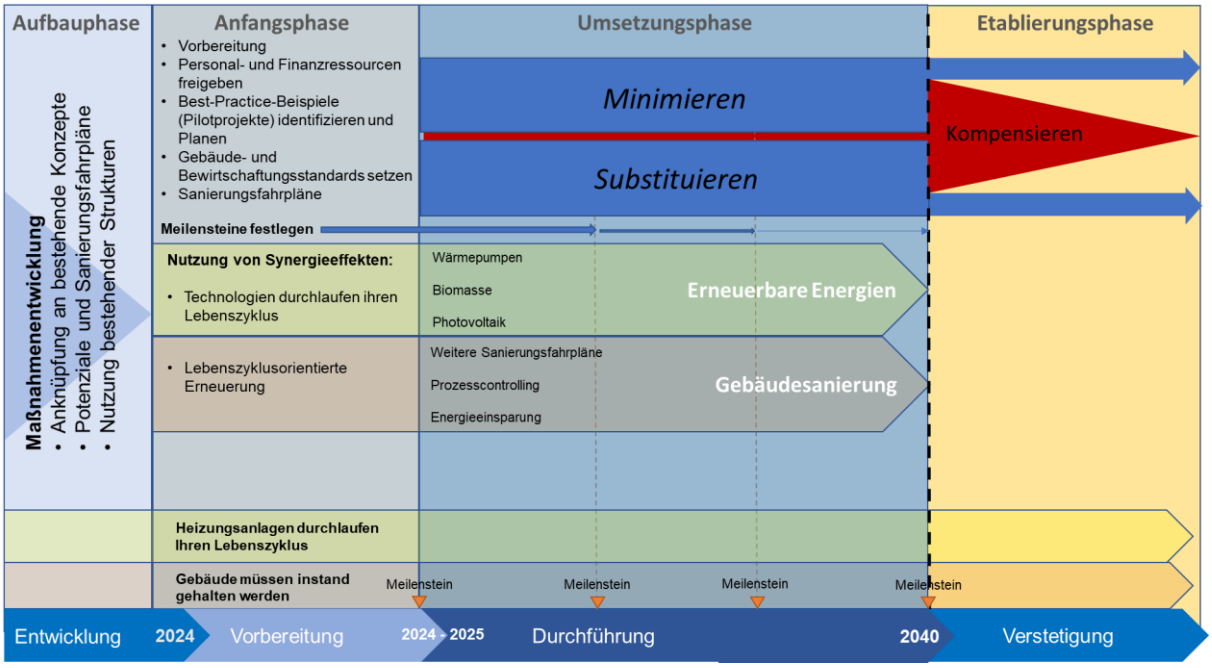

Abbildung 6-1 Veranschaulichung der Umsetzungsstrategie

Die Aufbauphase beinhaltet die Entwicklung der hier neu entwickelten Maßnahmen, in die bestehende Konzepte mit integriert und genutzt werden, aktuelle Projekte mit einbezogen und Synergieeffekte aus den vorliegenden Strukturen genutzt werden. Aus dieser Phase heraus werden alle weiteren Prozesse entwickelt.

Folgend auf die Aufbauphase knüpft die Anfangsphase, welche die Vorbereitungen für den Umsetzungszeitraum legt. Während dieser Phase wird die Umsetzung grundlegend organisiert. Die frühzeitige organisatorische und personelle Institutionalisierung ist noch vor Beginn der Maßnahmenumsetzung von großer Bedeutung. Dazu müssen proaktiv vorhandene Strukturen genutzt, verfestigt bzw. weiterentwickelt werden.

Nach den Vorbereitungen beginnt die Umsetzungsphase der geplanten Projekte und Maßnahmen. Im Bereich der Gebäude wird die Sanierung der Gebäude, der Einsatz erneuerbarer Energien und die Erneuerung der Wärmeversorgung angestrebt. Im Allgemeinen liegt das Hauptaugenmerk dabei wie bisher auf der Minimierung sowie Substituierung.

Fahrplan Klimaneutraler Gebäudebestand 2040| Kurzfassung

2024

Auftraggeber	Auftragnehmer
Stadt Siegen	energielenker projects GmbH
Stabstelle Klimaschutz	
Lindenplatz 7	Hüttruper Heide 90
57078 Siegen	48268 Greven
Tel.: +49 271 404-3213	Tel.: +49 2571 58866 0
Ansprechpartner:	Ansprechpartner:
Erik Berge,	Patrick Kosmalla
Bernd Wiezorek	Patrick Wierling