

# Machbarkeitsstudie

Energiekonzept Wenige-Quartier  
- Wärmebedarf und Strombedarf -  
in Osnabrück



gefördert durch



Stand: 18.11.2021

Auftraggeber:

WENGEOS eG  
Hasestraße 58a  
49074 Osnabrück

Berater:

IngenieurNetzwerk Energie eG  
Charlottenburger Ring 16  
49186 Bad Iburg



## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	4
1.1	Zusammenfassung.....	4
1.2	Umfang der Machbarkeitsstudie.....	5
1.3	Beteiligte Personen.....	6
2	Wärmebedarf.....	7
2.1	Bedarfsabschätzung.....	7
2.2	Kalte Nahwärme.....	8
2.2.1	Erdwärmesonden.....	9
2.2.2	Grundwasserbrunnen.....	10
2.3	Wärmeerzeuger.....	10
2.4	Strombedarf der Wärmeerzeugung.....	11
3	Strombedarf.....	12
3.1	Kundenanlage.....	12
3.1.1	Photovoltaik.....	12
3.1.2	Batteriespeicher.....	13
3.2	Bedarfsabschätzung.....	14
3.2.1	Haushaltsstrom.....	14
3.2.2	Strom für die Wärmeerzeugung.....	14
3.2.3	E-Mobilität.....	15
3.3	Eigenverbrauchsanteil.....	16
3.3.1	Haushaltsstrom & Wärmeerzeuger.....	16
3.3.2	E-Mobilität.....	18
3.3.3	Batteriegrößen.....	18
4	Wirtschaftlichkeit.....	22
4.1	Kalte Nahwärme.....	22
4.1.1	Investitionskosten.....	22
4.1.2	Fördermöglichkeiten.....	22
4.1.3	Wärmepreise.....	23

4.1.4	Bilanzierung .....	24
4.2	Kundenanlage .....	25
4.2.1	Investitionskosten .....	25
4.2.2	Fördermöglichkeiten .....	25
4.2.3	Strompreise.....	26
4.2.4	Bilanzierung .....	26
5	Fazit und Ausblick .....	30
6	Anhang.....	30
6.1	Hinweis – Erklärung.....	30
6.2	Verzeichnisse .....	30
6.2.1	Abbildungsverzeichnis .....	30
6.2.2	Diagrammverzeichnis .....	31
6.2.3	Tabellenverzeichnis .....	31

## 1 Einleitung

Das WENGE-Quartier im Landwehrviertel in Osnabrück verfolgt einen ganzheitlichen Ansatz. Die 53 barrierearmen Mietwohnungen in den sieben geplanten Gebäuden sollen sich zu einer solidarischen Nachbarschaft zusammenschließen. So sind z.B. gemeinsam genutzte Räume wie eine Wasch- und Trockner-Lounge vorgesehen. Zudem ist ein Mobilitätskonzept mit E-Carsharing und gemeinsam nutzbaren elektrischen Lastenfahrrädern geplant und auch die Nutzung des öffentlichen Personennahverkehrs soll über die Mietkosten mit abgedeckt werden.

Weitere Bausteine aus städtebaulicher Sicht sind zudem die Nachhaltigkeit der verwendeten Baumaterialien sowie die auf möglichst geringe CO<sub>2</sub>-Emissionen ausgelegte Energieversorgung. Gebaut wird in Holzbauweise.

Die Gebäude werden demnach den neuesten Standard der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) erfüllen und als Effizienzhaus 40 EE gebaut. Dementsprechend wird auch die Energieerzeugung für die Gebäude vor Ort aus erneuerbaren Energien (EE) realisiert.

In dieser Machbarkeitsstudie wird das Energiekonzept zur Wärme- und Stromversorgung für das Quartier untersucht und aufgestellt.

### 1.1 Zusammenfassung

Durch die Wärmeversorgung des Quartiers mit Wärmepumpen ergeben sich konkrete Schnittstellen mit der Stromversorgung des Quartiers. Weshalb an dieser Stelle das ganzheitliche Energiekonzept untersucht wird.

Die Wärme für die Gebäude soll durch ein Kaltes Nahwärmenetz gedeckt werden. Das Nahwärmenetz sammelt Umweltwärme an einem zentralen Erschließungspunkt ein und liefert diese an die einzelnen Gebäude, wo die Wärme mittels einer Wärmepumpe je Gebäude auf ein brauchbares Niveau gehoben wird. Die Erschließung der Umweltwärme ist für das WENGE-Quartier mittels 10 Erdwärmesonden à 100 m-Tiefenbohrung oder über die Nutzung des Grundwassers vorgesehen. Die Wärmepumpen decken den Heizbedarf vollständig. Der Trinkwarmwasserbedarf wird zumindest teilweise durch elektrische Durchlauferhitzer bereitgestellt. Der

Strombedarf der Wärmeerzeuger soll auch durch den lokal erzeugten Photovoltaik-Strom gedeckt werden.

Um einen möglichst hohen Anteil des lokal erzeugten Stroms im Quartier zu nutzen, soll eine Kundenanlage im Quartier errichtet werden. Das heißt für das Quartier gibt es zum übergeordneten Netz nur einen Übergabepunkt. Über diesen kann Strom, der im Quartier nicht benötigt wird, eingespeist oder Strom, der zusätzlich benötigt wird, bezogen werden. Die Dachflächen der Staffelgeschosse sollen vollständig mit Photovoltaik (PV) belegt werden. Dadurch ergibt sich für das gesamte Quartier eine PV-Anlage mit einer Leistung von etwa 180 kWp und einem jährlichen Ertrag von etwa 160 MWh/a. Neben dem Strombedarf für die Wärmeerzeugung soll der Haushaltsstrombedarf und der Strombedarf für die Mobilität mit einem möglichst großen Eigenanteil der PV-Anlage gedeckt werden. Dieser Eigenanteil soll durch den Einsatz von Batteriespeichern erhöht werden.

### 1.2 Umfang der Machbarkeitsstudie

Zunächst wird das Konzept auf die Deckung des Wärmebedarfs untersucht. Hierfür wird zunächst der Wärmebedarf anhand von Wohnflächen bestimmt. Anschließend werden potentielle Umweltwärmequellen (Erdwärme und Grundwasser) und die Wärmeerzeuger (Wärmepumpen und Durchlauferhitzer) betrachtet. Abschließend wird der Strombedarf der Wärmeerzeuger bestimmt.

Neben dem Wärmeerzeugungsstrombedarf werden der Haushaltsstrombedarf und Mobilitätsstrombedarf bestimmt. Daraufhin wird das System der Kundenanlage mit seinen Komponenten PV-Anlage und Batteriespeicher genauer beschrieben. Anhand dieser Parameter wird der Eigenverbrauchsanteil bestimmt.

Abschließend wird die Wirtschaftlichkeit des Kalten Netzes und der Kundenanlage untersucht. Hierfür werden die Kosten abgeschätzt, Fördermöglichkeiten aufgezeigt und mögliche Energiepreise ermittelt.

### 1.3 Beteiligte Personen

Die im Folgenden aufgeführten Kontakt- und Adresdaten stellen eine Übersicht über Kontakte und Ansprechpartner zur Verfügung, welche im Zusammenhang mit dieser Machbarkeitsstudie stehen.

Auftraggeber:

WENGEOS eG

Hasestraße 58a

49074 Osnabrück

Die IngenieurNetzwerk Energie eG (iNeG) wurde als externes Ingenieurbüro mit der Machbarkeitsstudie beauftragt. Die iNeG ist ein Spezialist für dezentrale, regenerative und bürgernahe Energieerzeugung. Mit mehr als 35 Mitarbeitern aus den Bereichen Energietechnik und technische Gebäudeausrüstung ist die iNeG erfahren in der Begutachtung energetischer Sachverhalte sowie bei der Projektentwicklung komplexer Energiekonzepte. Seit 2007 ist die iNeG als ein unabhängiges, in der Form einer Genossenschaft organisiertes, Ingenieurbüro tätig.

Name	Funktion	Telefon	Email
WENGEOS eG			
Lutz Igelmann		0172/18 88 260	<a href="mailto:planung@wenge-os.de">planung@wenge-os.de</a>
IngenieurNetzwerk Energie eG			
Bastian Hoffmann	Vorstand	05403/72439-35	<a href="mailto:hoffmann@ineg-energie.de">hoffmann@ineg-energie.de</a>
Wilm Rogge	Projektplaner	05403/72439-81	<a href="mailto:rogge@ineg-energie.de">rogge@ineg-energie.de</a>

*Tabelle 1 Ansprechpartner*

## 2 Wärmebedarf

Der Wärmebedarf des Quartiers soll mit Hilfe von Wärmepumpen und vor Ort entzogener Umweltwärme bereitgestellt werden. Durch den hohen KfW 40 Baustandard werden niedrigere Heiztemperaturen benötigt, welche sehr gut durch Wärmepumpen bereitgestellt werden können. Weshalb ein klassisches Nahwärmenetz mit höheren Netztemperaturen nicht in Erwägung gezogen wird. Außerdem würde durch den Einsatz von erdgasbefeuerten Energieerzeugern der Erneuerbare Energien-Bonus nicht erzielt werden können.

### 2.1 Bedarfsabschätzung

Der Wärmebedarf wird anhand der Wohnfläche nach KfW40-Standard bestimmt. Je nach Nutzung werden verschiedene spezifische Heizwärme- und Warmwasserbedarfe angesetzt:

Nutzung	spez. Heizwärmebedarf	spez. Warmwasserbedarf
	[kWh/m <sup>2</sup> *a]	[kWh/m <sup>2</sup> ]
Wohnungen	22	12,5
Treppenhaus, Waschlounge	12	-
Café, Verwaltung	22	-

Tabelle 2 Spezifische Wärmebedarf je Fläche

Daraus ergeben sich folgende Gesamtwärmebedarfe je Haus:

	Nutzung	WE	Gesamt- fläche	Heizbedarf nach m <sup>2</sup>	Warmwasser- bedarf nach m <sup>2</sup>	Gesamt- wärme- bedarf	Gesamt- wärmebedarf je Haus
			[m <sup>2</sup> ]	[kWh/a]	[kWh/a]	[kWh/a]	[kWh/a]
<b>Haus 1</b>	Wohnungen	4	278	6.120	3.478	9.598	<b>10.778</b>
	Treppenhaus		98	1.180		1.180	
<b>Haus 2</b>	Wohnungen	12	830	18.268	10.380	28.648	<b>28.648</b>
<b>Haus 3</b>	Wohnungen	4	292	6.432	3.655	10.087	<b>22.296</b>
	Treppenhaus		74	885		885	
	Café		405	8.902		8.902	
	Verwaltung		110	2.423		2.423	
<b>Haus 5</b>	Wohnungen	6	375	8.243	4.683	12.926	<b>14.132</b>
	Treppenhaus		100	1.206		1.206	
<b>Haus 6</b>	Wohnungen	9	672	14.785	8.400	23.185	<b>24.070</b>
	Treppenhaus		74	885		885	

## Machbarkeitsstudie Energiekonzept WENGE-Quartier

<b>Haus 7</b>	Wohnungen	6	419	9.218	5.238	14.456	<b>17.643</b>
	Treppenhaus		140	1.680		1.680	
	Wasch-Lounge		126	1.507		1.507	
<b>Haus 8</b>	Wohnungen	12	792	17.430	9.903	27.334	27.334
<b>Summe</b>		<b>53</b>	<b>4.786</b>				<b>144.900</b>

Tabelle 3 Wärmebedarf Quartier

Insgesamt ergibt sich ein Jahreswärmebedarf von 144.900 kWh/a für das Quartier.

Für die Bestimmung der Lastgänge werden zwei verschiedene Ansätze gewählt. Der Heizlastgang orientiert sich an der Außenlufttemperatur 2020 der Wetterstation Hasbergen (Latitude: 52.24 Nord, Longitude: 7.95 Ost). Die Heizperiode beginnt am 1. September und endet am 31. Mai. Der Warmwasserlastgang orientiert sich an einem Zapfprofil, welches mit DHW-Calc über 365 Tage erzeugt wird. Das Programm verteilt die täglichen Zapfmengen nach Wahrscheinlichkeiten je Tag.

## 2.2 Kalte Nahwärme

Das Kalte Nahwärmenetz erschließt zentral Umweltwärme und leitet diese an die einzelnen Gebäude weiter, wo sie durch die einzelnen Wärmepumpen auf Heizniveau gehoben wird. Die Temperatur im Netz beträgt gemittelt über das Jahr etwa 10 °C. Das Netz wird aus unisolierten PE-Rohren gebaut und mit einem Glykolgemisch befüllt. Die Netztechnik wird zentral im Quartier aufgebaut. Hier in der Technikzentrale werden Netzpumpen, Druckhaltung und Regeleinheiten untergebracht.

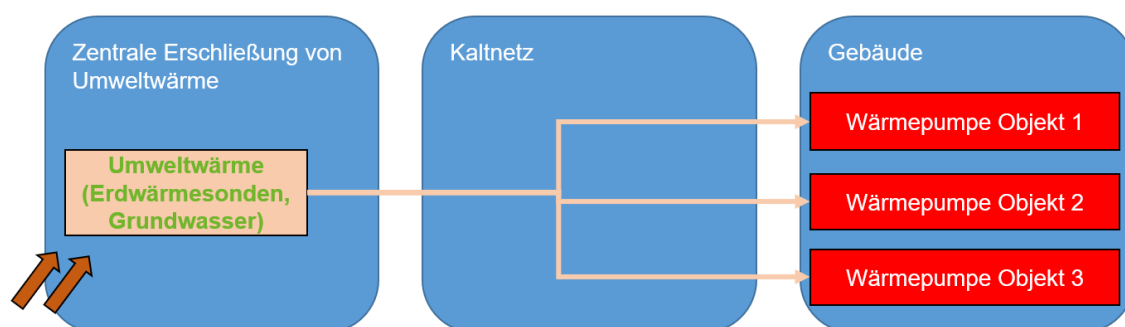


Abbildung 1 Fließschema Kalte Nahwärme

Außerhalb der Heizperiode bietet das Kalte Netz durch das niedrige Temperaturniveau die Möglichkeit zur Passiven Kühlung. Hierbei werden die Fußbodenheizungen



außerhalb der Heizperiode mit der kühlen Netzfüllung zur Komfortkühlung durchströmt.

### 2.2.1 Erdwärmesonden

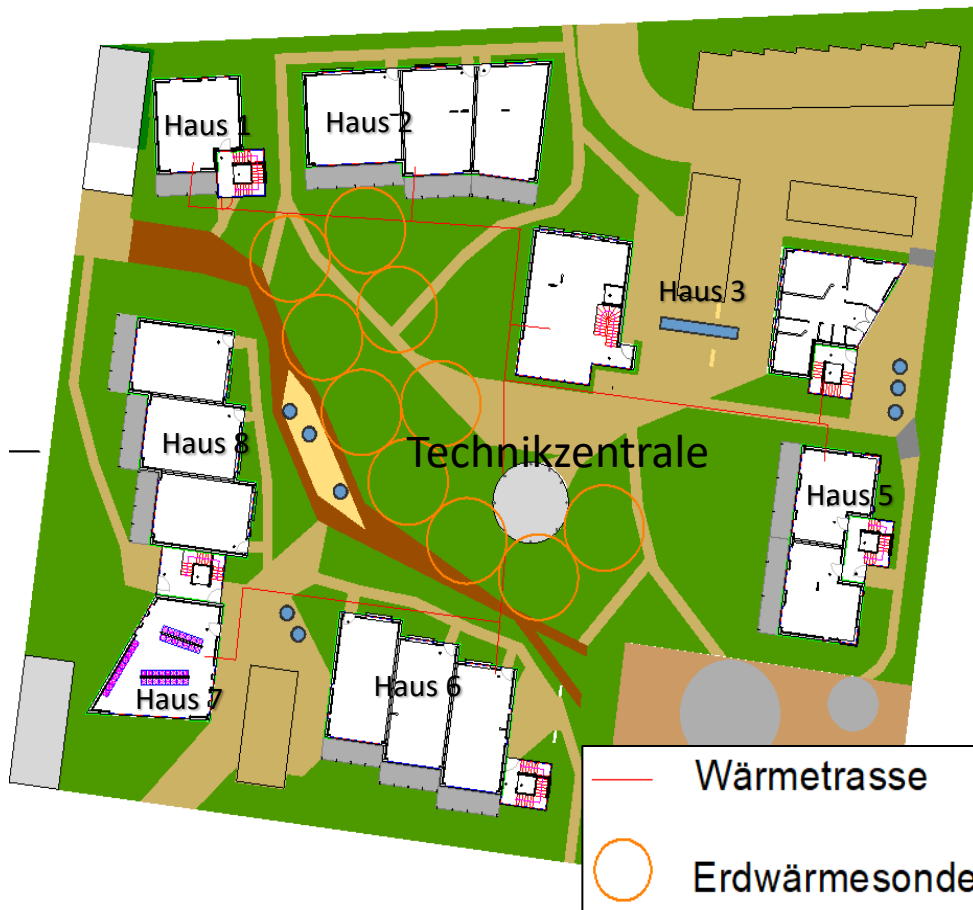


Abbildung 2 Lageplan des Quartiers mit Wärmetrasse und Sondenfeld

Als Umweltwärmequelle ist zunächst ein zentrales Erdsondenfeld in der Mitte zwischen den Gebäuden, bestehend aus etwa zehn Erdwärmesonden à 100 m Bohrtiefe, vorgesehen. Um der über einen langen Zeitraum möglichen Auskühlung der Umweltwärme-Entnahmestellen entgegenzuwirken, können ggf. solarthermische Kollektoren installiert werden. Diese können an sonnenreichen Tagen überschüssige Wärme über das Kaltwassernetz und das Erdsonden-Feld zurück in den Boden speisen, um so die Auskühlung des Erdreichs zu verhindern. Die Wärmeeinträge der Passiven Kühlung können ebenfalls zur Regeneration genutzt werden.

### 2.2.2 Grundwasserbrunnen

Alternativ zu Erdwärmesonden könnten sich hier auch ein geothermisches Brunnensystem anbieten. Das Grundwasser ist durch einen geringen Flurabstand gut erreichbar, die >20 m mächtigen Sande und Kiese stellen einen ergiebigen Grundwasserleiter da. Der Wasserchemismus müsste auf seine Eignung für eine Nutzung geprüft werden. Das Grundwasser könnte auch einen Pufferspeicher ersetzen, da hier bei ausreichender Förderkapazität der Entnahme- und Infiltrationsbrunnen eine Pufferwirkung gegeben ist. Hierfür ist eine Erkundungsbohrung vorgesehen.

Zu der alternativen Lösung mit geothermischen Brunnensystemen gab es bereits erste Gespräche von Vertretern der WEnGe-OS eG i.G. (Lutz Igelmann und Mike Voss) mit der Unteren Wasserbehörde der Stadt Osnabrück und dem Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie in Hannover. Das Alternativkonzept wurde befürwortet.

### 2.3 Wärmerezeuger

Der Heizbedarf wird komplett durch die dezentralen Wärmepumpen gedeckt. Für die Wärmepumpen wird eine mittlere Jahresarbeitszahl von 4,5 angenommen.

Für die Trinkwarmwassererzeugung werden vier verschiedene Varianten betrachtet. In Variante 1 wird das Trinkwarmwasser komplett von der Wärmepumpe bereitgestellt. Da die Wärmepumpe somit ein Temperaturniveau von 50 °C bereitstellen muss, wird für diese Variante als einzige Variante eine mittlere Jahresarbeitszahl von 4,0 angenommen. Alle anderen Varianten beinhalten je Wohneinheit einen Durchlauferhitzer. In Variante 2 wird von den Wärmepumpen Heizniveau (35 °C) bereitgestellt. Den abschließenden Temperaturhub für das Trinkwarmwasser stellen die Durchlauferhitzer bereit. In Variante 3 wird das Trinkwarmwasser von Vorerwärmung rein elektrisch durch die Durchlauferhitzer bereitgestellt.

Die vierte Variante (Variante 2b) stellt eine Mischvariante aus Variante 2 und 3 dar. Während der Heizperiode wird die Wärmepumpe zur Vorerwärmung wie in Variante 2 genutzt. Außerhalb der Heizperiode vom 1. Juni bis zum 31. August wird das Trinkwarmwasser wie in Variante 3 rein elektrisch bereitgestellt. Dies hat zum Vorteil,

dass im Gegensatz zur Variante 2 die Steigleitungen in den Sommermonaten für die Passive Kühlung genutzt werden können und kein 4-Leiter-System installiert werden muss.

## 2.4 Strombedarf der Wärmeerzeugung

Durch die Wärmepumpen und elektrischen Durchlauferhitzer ergibt sich eine enge Verknüpfung von Wärme- und Strombedarf:

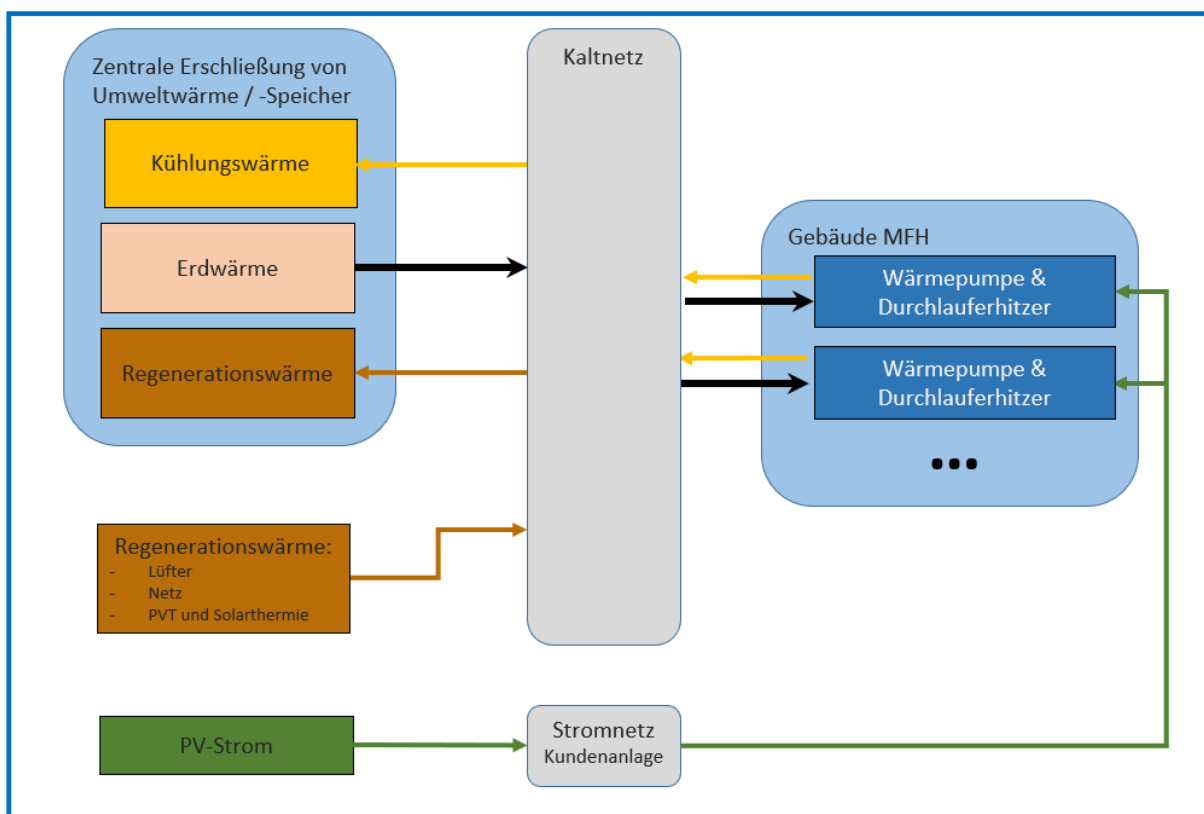


Abbildung 3 Funktionsschema Wärmeversorgung

Durch die verschiedenen Varianten ergeben sich vier unterschiedliche Strombedarfe für die Wärmeerzeugung. Die Strombedarfsabschätzung der Wärmeerzeuger wird in Kapitel 3.2.2 weiter erläutert.

### 3 Strombedarf

Im Quartier soll lokal Photovoltaik-Strom erzeugt werden. Um hiervon einen möglichst großen Anteil im Quartier zu verbrauchen, soll eine Kundenanlage errichtet werden.

#### 3.1 Kundenanlage

Das gesamte Stromnetz besitzt nur einen Übergabepunkt zum öffentlichen Netz. Hier werden eingespeiste und bezogene Strommenge gezählt. Außerdem besitzt jede Wohneinheit einen Kundenzähler.

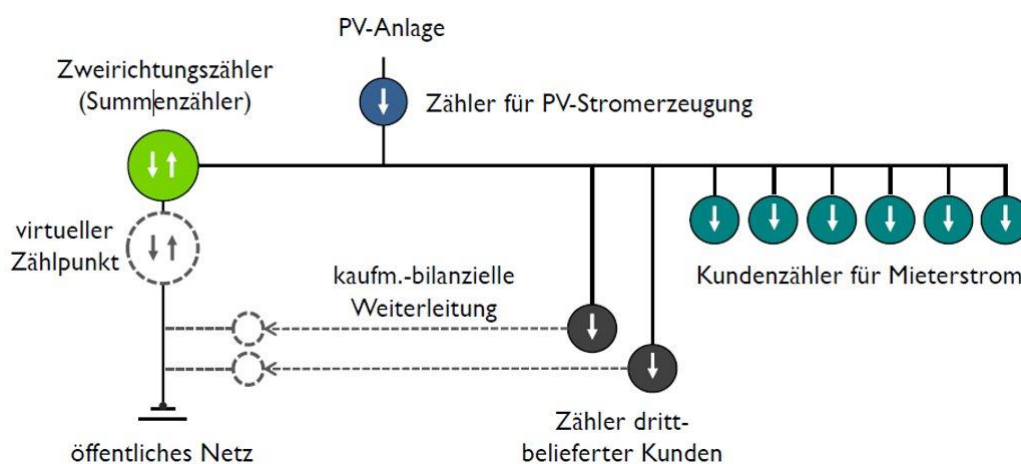


Abbildung 4 Funktionsschema Kundenanlage

#### 3.1.1 Photovoltaik

Die Dächer der Staffelgeschosse werden vollständig mit Photovoltaik-Anlagen belegt:



Abbildung 5 Photovoltaik-Belegung

Mit PV-Sol werden die Flächen belegt und die Jahreserträge und Leistung ermittelt. Es ergibt sich bei einer belegten Fläche von 884,2 m<sup>2</sup> eine Leistung von 181,6 kWp und ein Jahresertrag von 159.378 kWh/a.

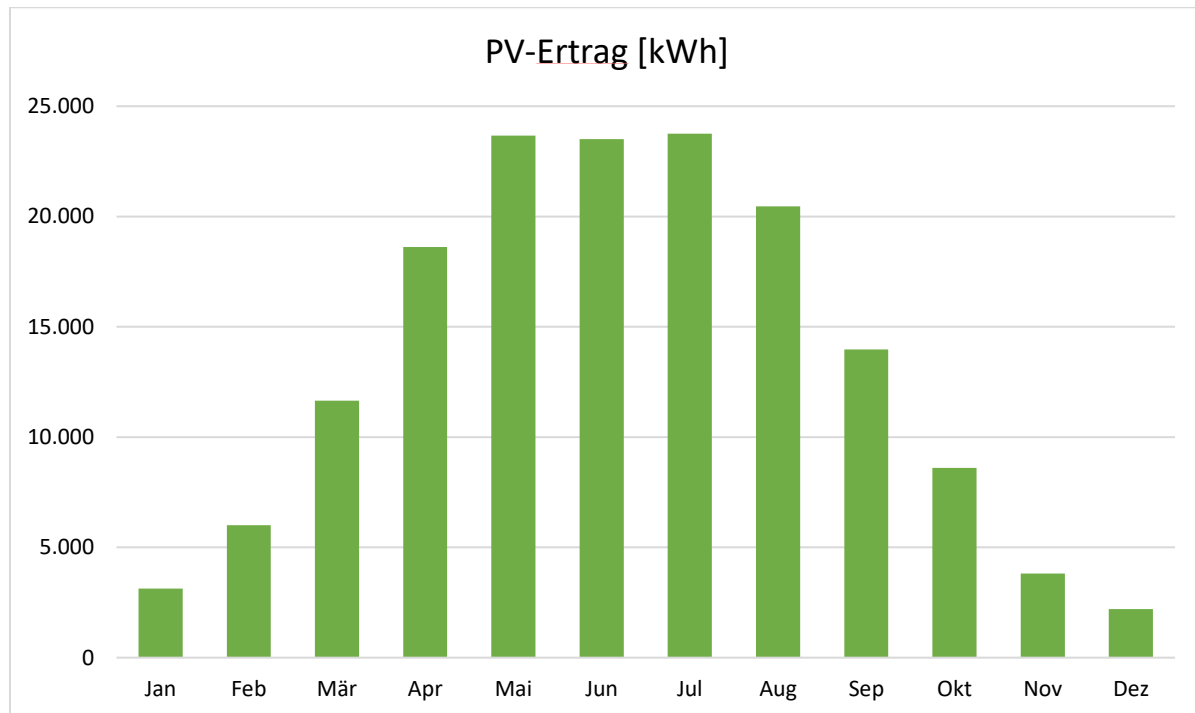


Diagramm 1 Photovoltaik-Ertrag über ein Jahr

Um das Förderprogramm KfW 40 Plus zu erreichen, muss jedes Jahr eine bestimmte Menge an Photovoltaik-Strom erzeugt werden. Die Größe der Photovoltaikanlage bei einer KfW 40 Plus Förderung beträgt mindestens 500 kWh pro Jahr zuzüglich 10 kWh pro Jahr pro Quadratmeter Gebäudenutzfläche. Für das Baugebiet wären das etwa 62 MWh jedes Jahr. Diese Bedingung wird eingehalten.

### 3.1.2 Batteriespeicher

Elektrische Stromspeicher sorgen dafür, dass an ertragreichen Tagen die überschüssige elektrische Energie gespeichert werden kann, um diese dann in den Abendstunden oder an bedeckten Tagen nutzen zu können. Hierdurch erhöht sich der Anteil der direkt vor Ort erzeugten und genutzten Energie.

Der Stromspeicher muss eine nutzbare Speicherkapazität von mindestens 500 Wh je Wohneinheit zuzüglich 10 Wh pro Quadratmeter Gebäudenutzfläche aufweisen. Dies entspricht einem Speicher von 62 kWh.

### 3.2 Bedarfsabschätzung

Der gesamte Strombedarf setzt sich aus dem Haushaltstrom der Wohneinheiten, dem Strombedarf für die Wärmeerzeugung und dem Strombedarf für die Mobilität zusammen.

#### 3.2.1 Haushaltsstrom

Der Haushaltsstrom wird anhand des Stromspiegels von Deutschland für 2021/22 bestimmt. Hierfür werden sinnvolle Personenzahlen von 1 bis 4 je Wohneinheit sowie eine sinnvolle Verteilung von Nutzerprofilen von A bis D angenommen:

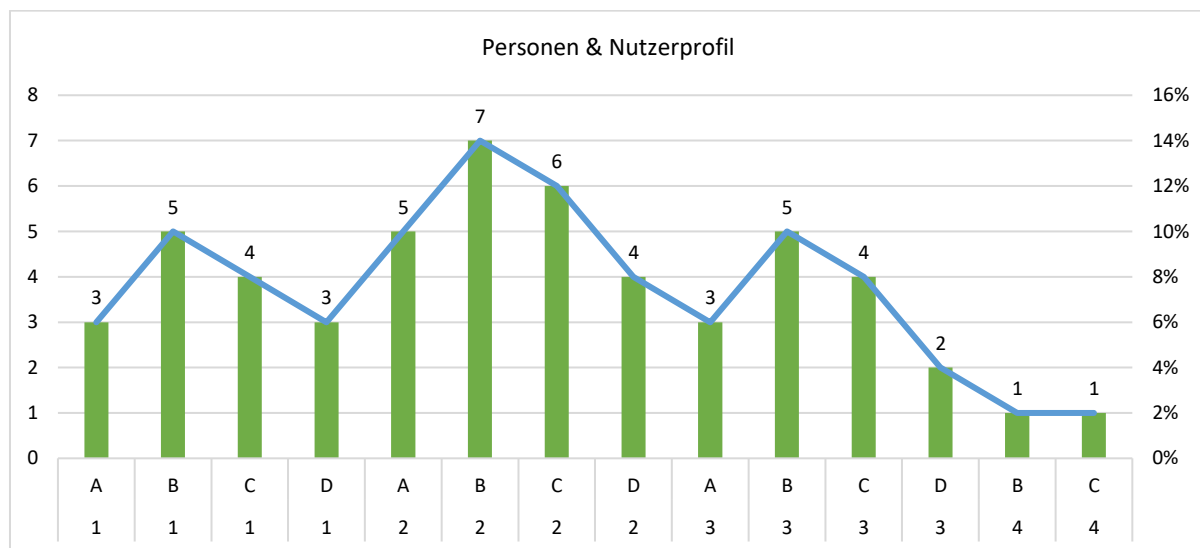


Diagramm 2 Verteilung Personen & Nutzerprofil Haushaltsstrom

Insgesamt ergibt sich ein Strombedarf von 106.900 kWh pro Jahr.

#### 3.2.2 Strom für die Wärmeerzeugung

Je nach Variante zur Wärmebereitstellung ergeben sich vier verschiedene Strombedarfsmengen:

	Strombedarf Wärmepumpe	Strombedarf Durchlauferhitzer
	[MWh/a]	[MWh/a]
Variante 1	42,4	-
Variante 2	27,9	27,7
Variante 2b	27,0	31,2
Variante 3	24,4	45,7

Tabelle 4 Strombedarf Wärmeerzeuger

Damit ergeben sich folgende Strombedarfe mit dem Haushaltsstrombedarf:

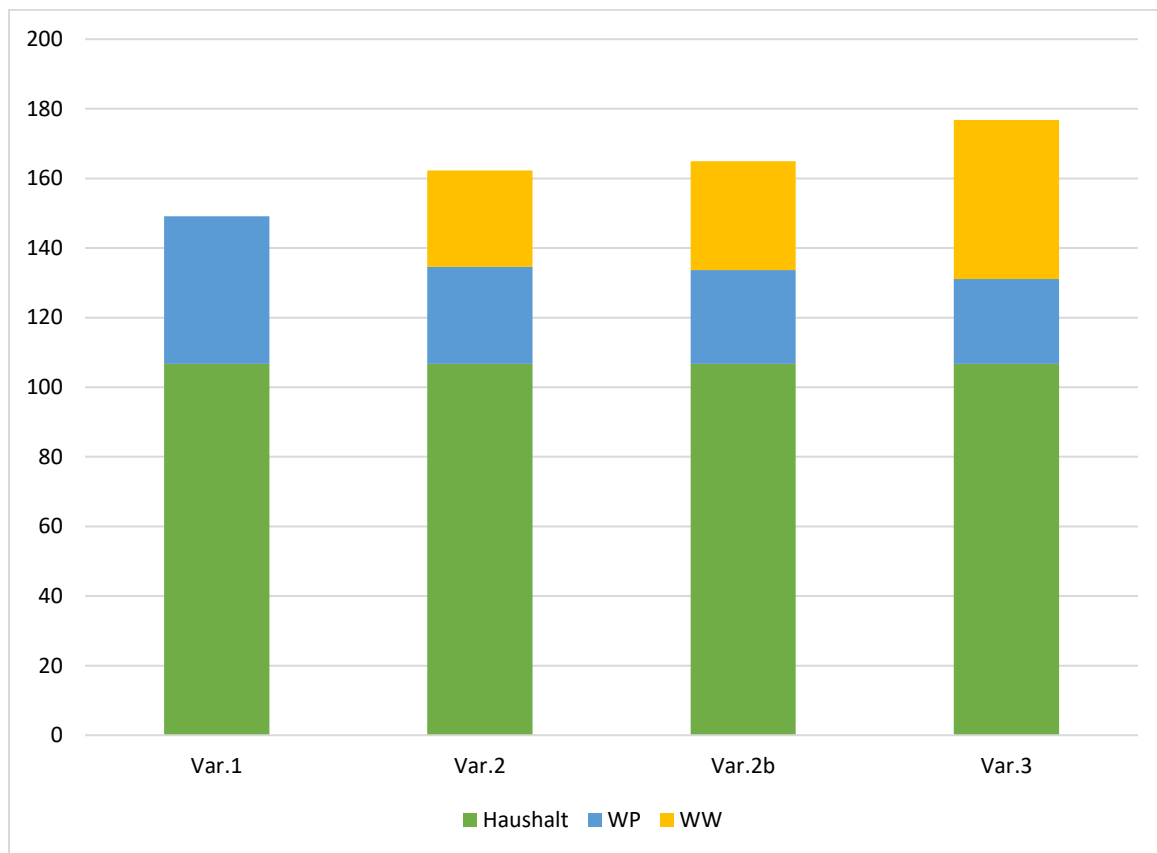


Diagramm 3 Strombedarf: Haushalt und Wärmeerzeuger

### 3.2.3 E-Mobilität

Der Strombedarf sowie die Lastgänge werden von der inno2grid GmbH bereitgestellt. Diese erstellen ein Mobilitätskonzept für das Wenge-Quartier. Für das Quartier sind insgesamt 20 Parkplätze für Wohnungen vorgesehen. Die Ladelastgänge werden nach dem Wohnprofil ermittelt. Der Markthochlauf für Elektroautos wird mitbetrachtet. Insgesamt werden drei verschiedene Jahre mit unterschiedlichen Anteilen an Elektroautos betrachtet:

Jahr	Anteil	Strombedarf E-Mobilität [MWh/a]
2025	2 von 20	4,9
2033	9 von 20	22,1
2040	19 von 20	46,4

Tabelle 5 Markthochlauf Elektroautos

Für die Varianten 2b und 3 ergeben sich dann in den drei Jahre dann folgende Strombedarfe:

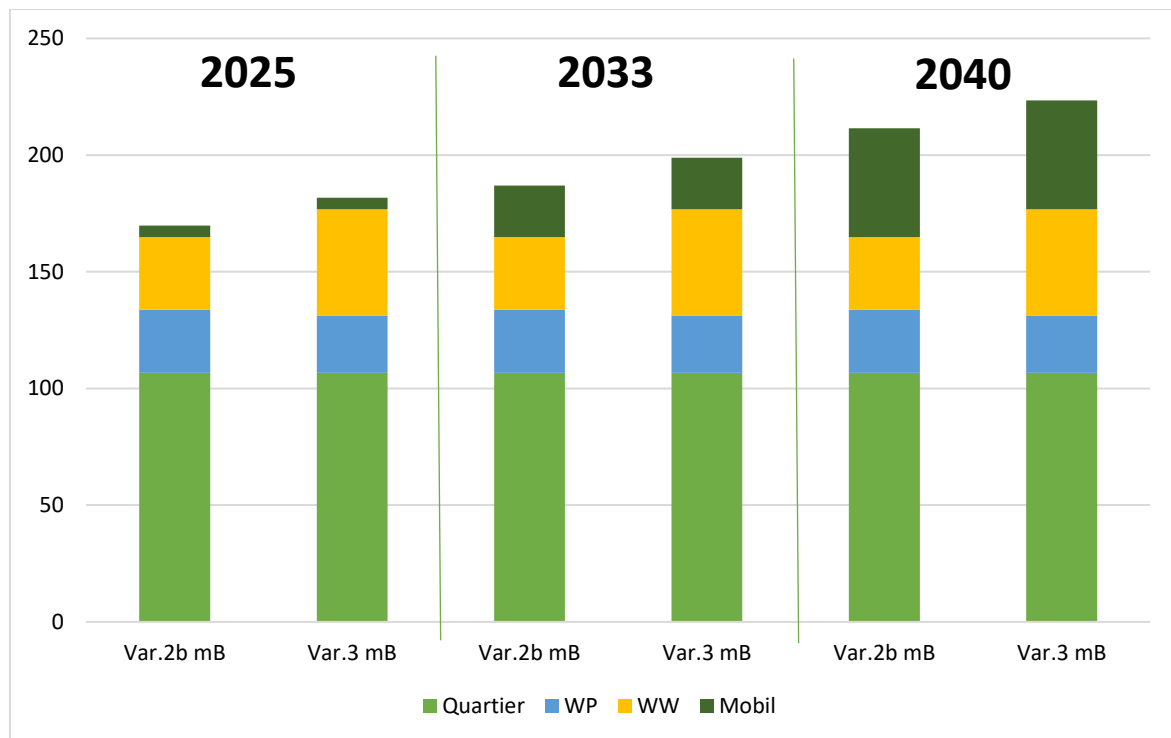


Diagramm 4 Strombedarf: Haushalt, Wärmeerzeuger, E-Mobilität

### 3.3 Eigenverbrauchsanteil

Um die Eigenverbrauchsanteile des lokal erzeugten Photovoltaik-Stroms zu bestimmen, werden die zuvor bestimmten Lastgänge (PV-Erzeugung, Haushaltsstrom, Wärmeerzeuger, E-Mobilität) in das Programm EnergyPro eingepflegt und mit verschiedenen Batteriegrößen simuliert. Zunächst werden alle vier verschiedenen Wärmeerzeugungsvarianten ohne und mit Batterie simuliert. Danach werden Variante 2b und Variante 3 mit verschiedenen Markthochlaufanteilen der E-Mobilität simuliert. Abschließend werden verschiedene Batteriegrößen mit Variante 3 für die Jahre 2033 (9/20 Elektroautos) und 2040 (19/20 Elektroautos) simuliert.

#### 3.3.1 Haushaltsstrom & Wärmeerzeuger

Die Eigenstromnutzungsanteile werden zunächst nur für Haushaltstrom- und Wärmeerzeugerstrombedarf bestimmt. Im folgenden Diagramm wird dargestellt wie viel PV-Strom direkt im Quartier genutzt wird, wie viel Strom aus dem Netz gekauft



## Machbarkeitsstudie Energiekonzept WENGE-Quartier

werden muss und wie viel PV-Strom ins Netz gespeist wird, wenn kein Batteriespeicher installiert wird.

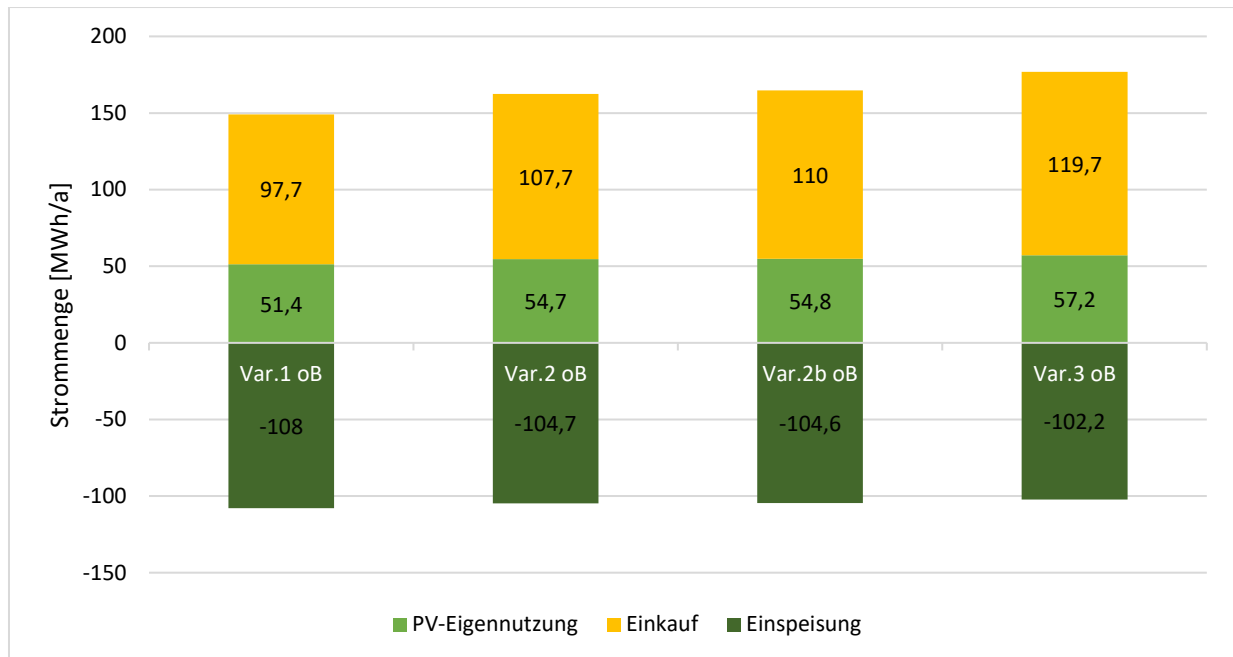


Diagramm 5 Eigenstromnutzung ohne Batteriespeicher

Mit Batteriespeicher stellen sich nachfolgende Anteile ein. Um die Förderbedingungen zu erfüllen, wird zuerst eine Speicherkapazität von 75 MWh für die Batterie gewählt.

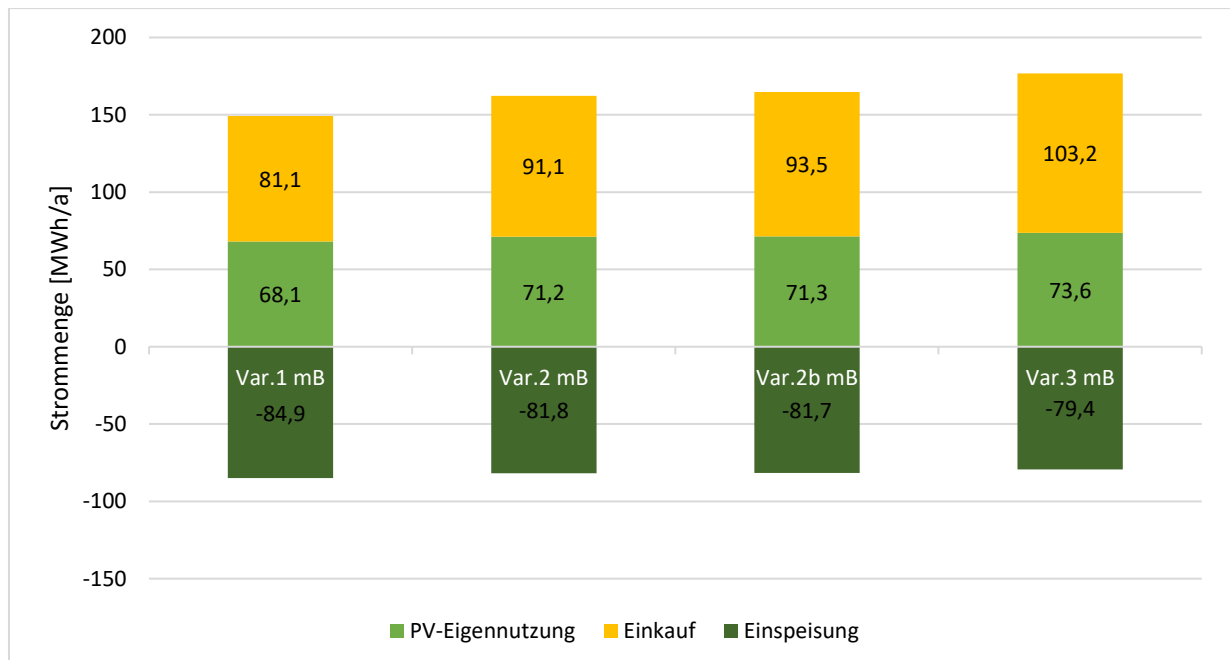


Diagramm 6 Eigenstromnutzung mit Batteriespeicher

Die Deckungsanteile von Photovoltaik-Strom bezogen auf den Strombedarf für Haushalte und Wärmeerzeuger sind in der folgenden Tabelle dargestellt.

	Ohne Batteriespeicher	Mit Batteriespeicher
	PV-Deckungsanteil	PV-Deckungsanteil
Variante 1	34,5 %	45,6 %
Variante 2	33,7 %	43,9 %
Variante 2b	33,3 %	43,3 %
Variante 3	32,3 %	41,6 %

Tabelle 6 PV-Deckungsanteile für Haushalt und Wärmeerzeuger

Der Einsatz von einem Batteriespeicher mit einer Speicherkapazität von 75 kWh kann den Eigenstromnutzungsanteil um etwa 10 % erhöhen.

### 3.3.2 E-Mobilität

Aufgrund der niedrigeren Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe in Variante 1 und aufgrund des zu installierenden 4-Leiter-Systems in Variante 2, werden beim weiteren Vorgehen nur noch Variante 2b und 3 betrachtet. Die PV-Deckungsanteile mit der E-Mobilitätsstrombedarf ergeben sich damit für die verschiedenen Jahre je nach Elektroautoanteil, wie folgt:

	2025	2033	2040
	PV-Deckungsanteil	PV-Deckungsanteil	PV-Deckungsanteil
Variante 2b	42,8 %	41,1 %	39,0 %
Variante 3	41,2 %	39,7 %	37,8 %

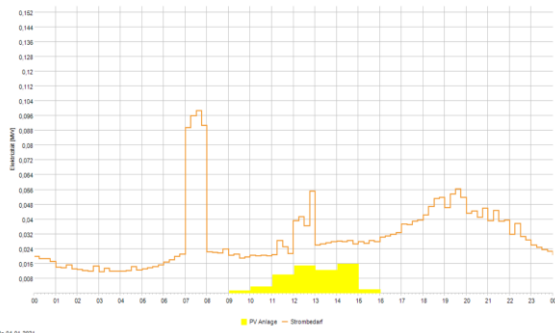
Tabelle 7 PV-Deckungsanteile für Haushalt, Wärmeerzeuger und E-Mobilität

Mit steigendem Markthochlauf der E-Mobilität sinkt der Eigenstromnutzungsanteil.

### 3.3.3 Batteriegrößen

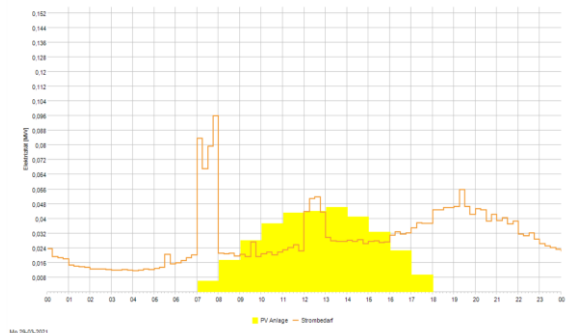
Abschließend wird der Einfluss verschiedener Batteriegrößen auf den Eigenstromnutzungsanteil überprüft. Hierfür werden zunächst Stromlastgänge (orange Linie) und PV-Lastgänge (gelbe Fläche) von vier über das Jahr verteilten Tagen betrachtet.

# Machbarkeitsstudie Energiekonzept WENGE-Quartier



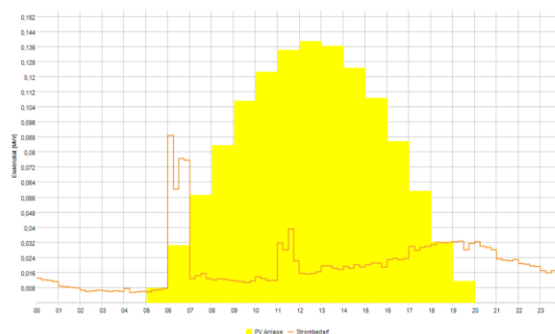
Mi 04.01.2021

Abbildung 6 Stromlastgang und PV-Lastgang 4. Januar



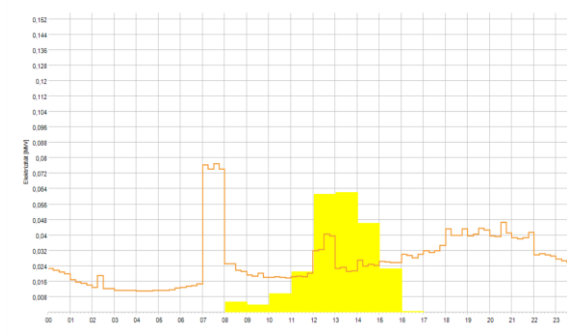
Mi 29.03.2021

Abbildung 7 Stromlastgang und PV-Lastgang 29. März



Mi 28.06.2021

Abbildung 8 Stromlastgang und PV-Lastgang 28. Juni



Mi 08.11.2021

Abbildung 9 Stromlastgang und PV-Lastgang 8. November

In den Wintermonaten liegt der PV-Ertrag deutlich niedriger als der Strombedarf. In den Sommermonaten liegt der PV-Ertrag deutlich über dem Strombedarf. Für die Batterieauslegung sind die Übergangsmonate (Abbildung 7 und Abbildung 9) interessant. Der hier generierte PV-Überschuss oberhalb des Strombedarfs kann in Batterien zwischengespeichert werden.

Datum	Strombedarf [kWh/a]	PV-Ertrag [kWh/a]	PV-Überschuss [kWh/a]	Ungedeckter Bedarf [kWh/a]
04.01.	722	61	0	661
29.03.	704	329	79	454
28.06.	483	1.244	954	193
08.11.	645	234	89	500

Tabelle 8 PV-Strom-Überschuss

Aus dem PV-Überschuss für die Übergangsmonate würden sich somit Batteriegrößen von etwa 85 kWh ergeben. Für die Sommermonate sollte der Speicher eine Kapazität

## Machbarkeitsstudie Energiekonzept WENGE-Quartier

von etwa 200 kWh besitzen, um den ungedeckten Strombedarf komplett durch Photovoltaik-Strom zu decken.

Um diese Überlegungen weiter zu untersuchen, werden für die Strombedarfe von 2033 und 2040 die PV-Deckungsanteile mit verschiedenen Batteriespeichern simuliert. Insgesamt werden sechs verschiedene Speichergrößen untersucht: 75 kWh, 150 kWh, 200 kWh, 250 kWh, 500 kWh und 1000 kWh.

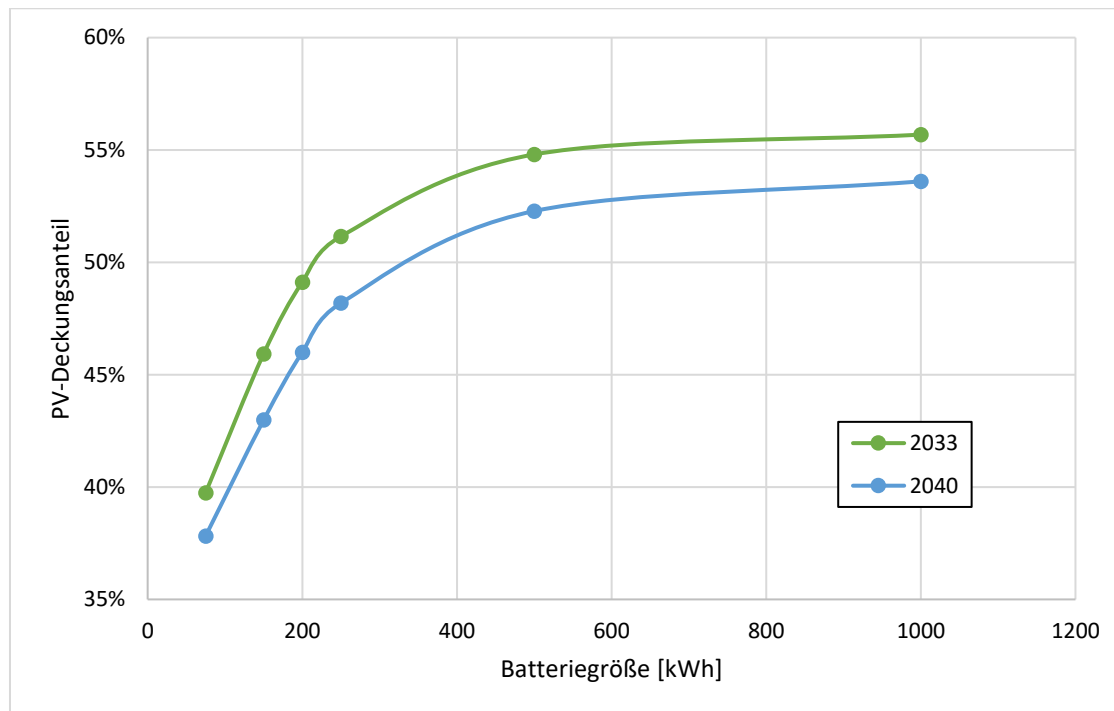


Diagramm 7 PV-Deckungsanteile für verschiedene Batteriegrößen

Für den Endausbau mit dem höchsten E-Mobilitätsanteil lässt sich mit der gewählten PV-Belegung maximal ein Deckungsanteil von 54 % erreichen. Ab Speichergrößen von 200 kWh erhöht sich der Deckungsanteil nicht mehr so stark. Da der Strombedarf der E-Mobilität zunächst noch geringer ausfällt und mit fallenden Preisen für Batteriespeicher zu rechnen ist, wäre es denkbar zunächst einen Speicher zu installieren, dessen Größe den Förderbedingungen entspricht, und diesen dann sukzessive zu vergrößern.

### 3.3.4 Umweltbilanz

Abschließend werden beispielhaft die CO<sub>2</sub>-Emissionen für die verschiedenen Konfigurationen von Variante 3 betrachtet. Diese Konfigurationen sind Variante 3 ohne

## Machbarkeitsstudie Energiekonzept WENGE-Quartier

E-Mobilität mit einem 75 kWh-Speicher, drei Markthochlaufszenerien der E-Mobilität von 2025, 2033 und 2040 mit einem 75 kWh-Speicher sowie die Markthochlaufszenerien von 2033 und 2040 mit einem 200 kWh-Speicher.

Zur Berechnung der CO<sub>2</sub>-Emissionen wird die spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen für den Deutschen Strommix von 427 g/kWh genutzt.

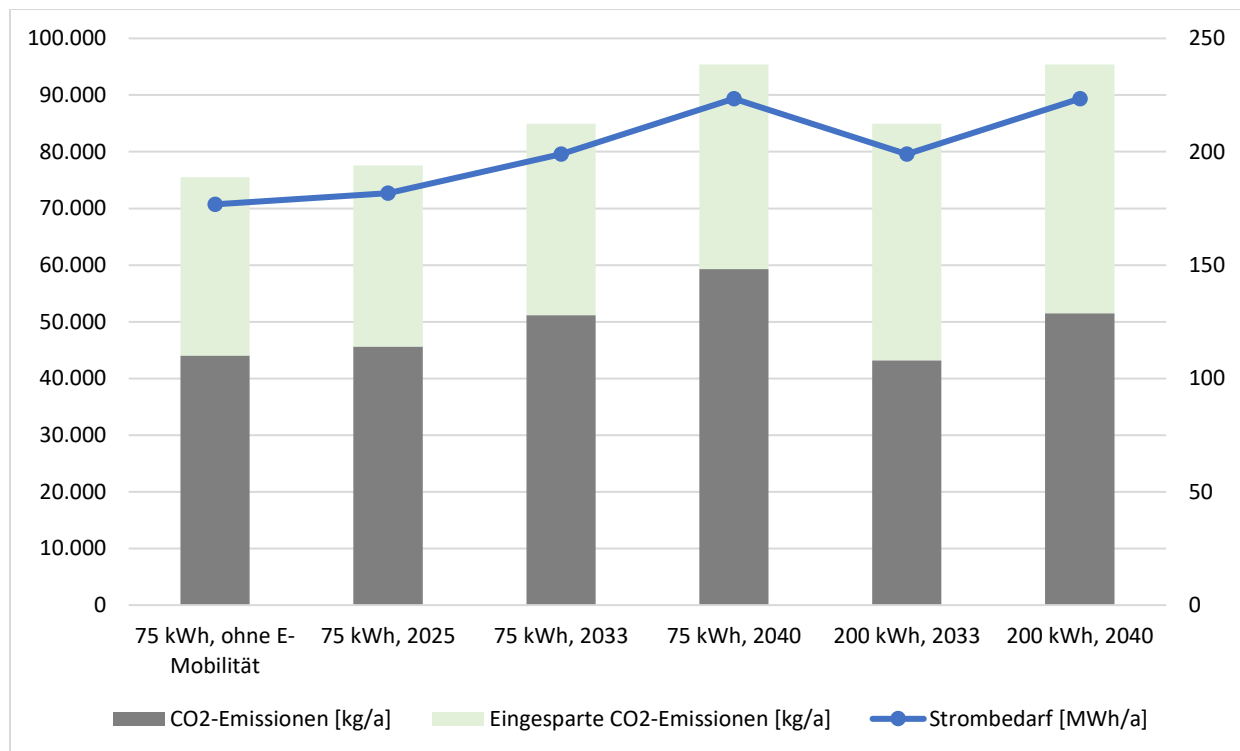


Diagramm 8 CO<sub>2</sub>-Emissionen der Variante 3

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen steigen mit dem höheren Strombedarf. Je höher der Anteil der Eigennutzung des PV-Stroms, desto mehr Emissionen können eingespart werden.

## 4 Wirtschaftlichkeit

Abschließend wird die Wirtschaftlichkeit der Kalten Nahwärme und der Kundenanlage betrachtet. Dabei werden zunächst die Kosten aufgeführt, dann die Fördermöglichkeiten sowie die jeweiligen Energiepreise für die Endkunden vorgestellt, bevor die Bilanzierung betrachtet wird.

### 4.1 Kalte Nahwärme

Nachfolgend wird die Wirtschaftlichkeit der Kalten Nahwärme untersucht.

#### 4.1.1 Investitionskosten

Die Investitionskosten setzen sich aus den Kosten für das Kalte Netz, das Sondenfeld, die Wärmepumpen, die Netztechnik und Baunebenkosten zusammen. Die Kosten für das Kalte Netz beinhalten die Tiefbaukosten, Kosten für die Montage und Materialkosten. Die Sondenfeldkosten beinhalten die Errichtungskosten sowie die Materialkosten der Sonden. Die Kosten für die Wärmepumpen sind inklusive der Montage abgeschätzt. Die Netztechnikkosten setzen sich aus den Kosten für die Regelung und Pumpen des Netzes zusammen. In den Baunebenkosten sind Kosten für Genehmigungsverfahren sowie die Planungskosten zusammengefasst.

	<b>Investitionskosten netto</b>
Kaltes Netz	24.300 €
Sondenfeld	70.000 €
Wärmepumpen	165.000 €
Netztechnik	29.000 €
Baunebenkosten	107.166 €
<b>Gesamt</b>	<b>395.466 €</b>

*Tabelle 9 Investitionskosten Kalte Nahwärme*

#### 4.1.2 Fördermöglichkeiten

Die Kalte Nahwärme soll nach der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) gefördert werden. Im Rahmen der BEG ist die Errichtung eines Gebäudenetzes förderfähig. Ein Gebäudenetz ist als nicht-öffentliches Wärmenetz zur Eigenversorgung von mindestens zwei Gebäuden eines Eigentümers definiert. Förderfähig mit bis zu 35 % der Investitionskosten sind Wärmeerzeugung, Wärmespeicherung, Wärmeverteilung, Wärmeübergabestationen, Steuer-, Mess- und

Regelungstechnik sowie die Installation, Inbetriebnahme und notwendige Umfeldmaßnahmen. Förderbedingung ist die Wärmeerzeugung aus mindestens 25 % Erneuerbaren Energien. Dies wird eingehalten. In der Wirtschaftlichkeit wurde die Förderung nach BEG mit 25 % der Investitionskosten niedrig abgeschätzt.

Die Gebäude selbst sollen auch nach BEG gefördert werden. Durch den Anschluss an die Kalte Nahwärme können die Gebäude das Erneuerbaren Energie (EE) Paket erreichen. Hieraus ergeben sich höhere Tilgungszuschüsse von zusätzlichen 9.750 € je Wohneinheit.

	Effizienzhaus Standard		Effizienz-Klassen EE	
Maximale Kredithöhe	120.000 €		150.000 €	
	Tilgungszuschüsse		Tilgungszuschüsse	
KfW 40	20 %	24.000 €	20 % +2,5 %	33.750 €
KfW 40 Plus			25 %	37.500 €

Tabelle 10 Förderkredite und Tilgungszuschüsse BEG

Für die Förderung nach KfW 40 Plus müssen weitere Bedingungen erfüllt werden, welche durch die Errichtung der Kundeanlage erreicht werden.

### 4.1.3 Wärmepreise

Der Wärmepreis wurde zunächst als kostendeckender Arbeitspreis bestimmt. Dieser beträgt 21 ct/kWh. In einem weiteren Schritt ist es nun nötig, den Arbeitspreis weiter auf Grund-, Leistungs- und Arbeitspreis aufzuteilen. Zusätzlich wird eine Kühlungspauschale von 40 €/a je Wohneinheit veranschlagt.

Für den Anschluss an das Kalte Nahwärmenetz werden keine Netzanschlusskosten veranschlagt.

Zur Vergleichbarkeit werden die Wärmekosten exemplarisch für drei weitere dezentrale Wärmeversorgungskonzepte für ein Mehrfamilienhaus mit 10 Wohneinheiten dargestellt.

	Nahwärme: Kaltes Netz	Sole- Wasser-WP mit eigener Bohrung	Luft-Wasser Wärme- pumpe	Pellet- heizung
Investition	- €	88.049 €	48.225 €	50.187 €
Nutzungsdauer [a]	30	30	18	15
Kapitalgebundene Kosten	- €	3.666 €	3.077 €	3.761 €
Jahresheizkosten	6.218 €	3.738 €	3.259 €	4.584 €
Wärmepreis [ct/kWh]	24,99	15,02	13,10	18,42
Gesamtjahreskosten	6.218 €	7.405 €	6.336 €	8.346 €
	100%	119%	102%	134%

Tabelle 11 Endkundenvergleich für 10 Parteien-Mehrfamilienhaus

Durch die wegfallenden Anschlusskosten ergeben sich für das Kalte Netz die niedrigsten Gesamtjahreskosten.

#### 4.1.4 Bilanzierung

In der Bilanzierung werden die Jahresausgaben den Jahreseinnahmen gegenübergestellt. Die Jahresausgaben setzen sich aus den kapitalgebundenen Kosten, den Energiekosten für die Wärmepumpen und Netztechnik, die betriebsgebundenen Kosten und sonstige Kosten für z.B. Versicherung zusammen. Für die Berechnung der kapitalgebundenen Kosten wurden die Fördermittel nach BEG den Investitionskosten bereits abgezogen.

<b>Jahresausgaben</b>	
kapitalgebundene Kosten unter Berücksichtigung der Fördermittel und Netzkostenbeiträge	14.954 €
bedarfsgebundene Kosten (Energiekosten)	8.510 €
betriebsgebundene Kosten (Betriebsführung + Instandhaltung)	7.022 €
sonstige Kosten	3.942 €
<b>Jahresausgaben gesamt</b>	<b>34.427 €</b>
<b>Jahreseinnahmen</b>	
Einnahmen durch Wärmeverkauf	32.317 €
Einnahmen durch Kühlung	2.120 €
<b>Jahreseinnahmen gesamt</b>	<b>34.437 €</b>
<b>Einnahmen - Ausgaben (Überschuss)</b>	<b>10 €</b>

Tabelle 12 Bilanzierung Kalte Nahwärme



## 4.2 Kundenanlage

Nachfolgend wird die Wirtschaftlichkeit der Kundenanlage untersucht. Die Wirtschaftlichkeit wurde in zwei Schritten untersucht. Zuerst wurde der Preis für den PV-Strom ohne EEG-Umlage bestimmt, zu welchem die PV-Anlage und der Batteriespeicher kostendeckend installiert und betrieben werden kann. Die EEG-Umlage wird im zweiten Schritt angerechnet. In diesem Schritt wird die Wirtschaftlichkeit des Netzes im Quartier betrachtet. Das Netz bezieht PV-Strom zu dem zuvor bestimmten kostendeckenden Preis plus der EEG-Umlage und Strom aus dem öffentlichen Netz. Die Anteile von Eigennutzung und Einkauf wurden in Kapitel 3.3 bestimmt.

### 4.2.1 Investitionskosten

Obwohl die Wirtschaftlichkeit in zwei aufeinanderfolgenden Schritten untersucht wird, werden an dieser Stelle zunächst die gesamten Investitionskosten aufgeführt. Die Investitionskosten setzen sich aus den Kosten für die PV-Anlage, den Batteriespeicher, die Kosten für den Netzanschluss sowie die Errichtung des Netzes und den Baunebenkosten zusammen.

	Investitionskosten netto
PV-Anlage	119.130 €
Batteriespeicher	26.325 €
Netzkosten	83.000 €
Baunebenkosten	30.573 €
<b>Gesamt</b>	<b>259.027 €</b>

*Tabelle 13 Investitionskosten Kundenanlage inkl. PV-Anlage und Batteriespeicher*

### 4.2.2 Fördermöglichkeiten

Die Einnahmen durch den Stromverkauf an die Bewohner kann durch das Mieterstrommodell aufgestockt werden. Voraussetzung für den Mieterstromzuschlag ist ein Strompreis für die Kunden, der 10 % unter dem im jeweiligen Netzgebiet geltenden Grundversorgungstarifs liegt. Je nach Anlagengröße ergeben sich unterschiedliche Zuschläge.

bis einschließlich einer installierten Leistung von	Zuschlag (netto)
10 kW	3,79 ct/kWh
40 kW	3,52 ct/kWh
750 kW	2,37 ct/kWh

Tabelle 14 Mieterstromzuschläge

Für einen Netzanschluss mit 150 kW ergibt sich somit ein Zuschlag von 2,77 ct/kWh. Eine Unterteilung der PV-Anlage in Anlagen je Gebäude und die damit verbundene Leistungsverringerung könnte zu höheren Mieterstromzuschlägen führen und wäre im weiteren Verlauf technisch und wirtschaftlich zu prüfen. Der Aufbau der einzelnen Anlagen muss dann jedoch mit 1 Jahr Versatz geschehen.

Durch die Installation der Photovoltaik-Anlage und des Batteriespeichers lässt sich der KfW 40 Plus Standard erreichen. Dies bedeutet, wie in „Tabelle 10 Förderkredite und Tilgungszuschüsse BEG“ zu sehen ist, einen zusätzlichen Tilgungszuschuss von 3.750 € je Wohneinheit.

#### 4.2.3 Strompreise

Der kostendeckende Strompreis für die PV-Anlage und Batteriespeicher beträgt 14 ct/kWh. Hinzukommen 6,5 ct/kWh EEG-Umlage. Für den Strom aus dem Netz werden 24 ct/kWh angesetzt. Durch die Mieterstromförderung ergeben sich bestimmte Anschlussnehmerpreise und Einnahmen für den Netzbetreiber.

	Arbeitspreis	Grundpreis
	[ct/kWh]	[EUR/a]
Kundenpreis (brutto)	26,99	83,59
Kundenpreis (netto)	22,68	70,24
Netzbetreibereinnahmen (netto)	25,45	70,24

Tabelle 15 Strompreise und Einnahmen

#### 4.2.4 Bilanzierung

In der Bilanzierung wird hier beispielhaft eine Kundenanlage mit dem Strombedarf aus Variante 3 ohne E-Mobilität mit der konventionellen Erschließung des Baugebiets verglichen. Abschließend wird dargestellt, wie sich verschiedene Strombedarfe auf das Ergebnis der Bilanzierung auswirken.

## Machbarkeitsstudie Energiekonzept WENGE-Quartier

Die Jahresausgaben setzen sich aus den kapitalgebundenen Kosten, den Energiekosten, die betriebsgebundenen Kosten und sonstige Kosten z.B. für Versicherung zusammen. Die kapitalgebundenen Kosten ergeben sich hier nur noch aus den Investitionskosten für die Errichtung des Netzes. Für den Konventionellen Netzanschluss fallen lediglich Netzanschlusskosten an, welche sich hier in den Kapitalkosten darstellen. Die Energiekosten von Variante 3 setzen sich aus den Preisen aus der PV-Anlage inklusive EEG-Umlage und dem Netzbezug zusammen. Die Anteile von PV-Strom und Netzbezug wurden in Kapitel 3.3 bestimmt.

	Variante 3	Konventionell
<b>Jahresausgaben</b>		
kapitalgebundene Kosten unter Berücksichtigung der Fördermittel und Netzkostenbeiträge	4.590 €	3.241 €
bedarfsgebundene Kosten (Energiekosten)	39.878 €	0 €
betriebsgebundene Kosten (Betriebsführung + Instandhaltung)	2.900 €	0 €
sonstige Kosten	3.248 €	0 €
<b>Jahresausgaben gesamt</b>	<b>50.616 €</b>	<b>3.241 €</b>
<b>Jahreseinnahmen</b>		
Einnahmen durch Stromverkauf	48.775 €	0 €
<b>Jahreseinnahmen gesamt</b>	<b>48.775 €</b>	<b>0 €</b>
<b>Einnahmen - Ausgaben (Überschuss)</b>	<b>-1.841 €</b>	<b>-3.241 €</b>

Tabelle 16 Bilanzierung Kundenanlage

Im Vergleich zur konventionellen Erschließung ist die Errichtung einer Kundenanlage wirtschaftlicher.

Vergleicht man die Wirtschaftlichkeit der Kundenanlage der weiteren Varianten untereinander, fällt auf, dass sich hohe Strombedarfe positiv auf die Wirtschaftlichkeit der Kundenanlage auswirken. Je höher der Stromverkauf, desto niedriger sind die wirtschaftlichen Verluste. Höhere PV-Nutzungsanteile sorgen zwar für niedrigere Stromkosten, jedoch wirken sich diese nicht so stark auf die Wirtschaftlichkeit aus. Dies ist im folgenden Diagramm dargestellt. Der höhere Stromverbrauch von Variante 2b und Variante 3 sorgt dafür, dass der Betrag des negativen Überschusses niedriger ausfällt.

## Machbarkeitsstudie Energiekonzept WENGE-Quartier

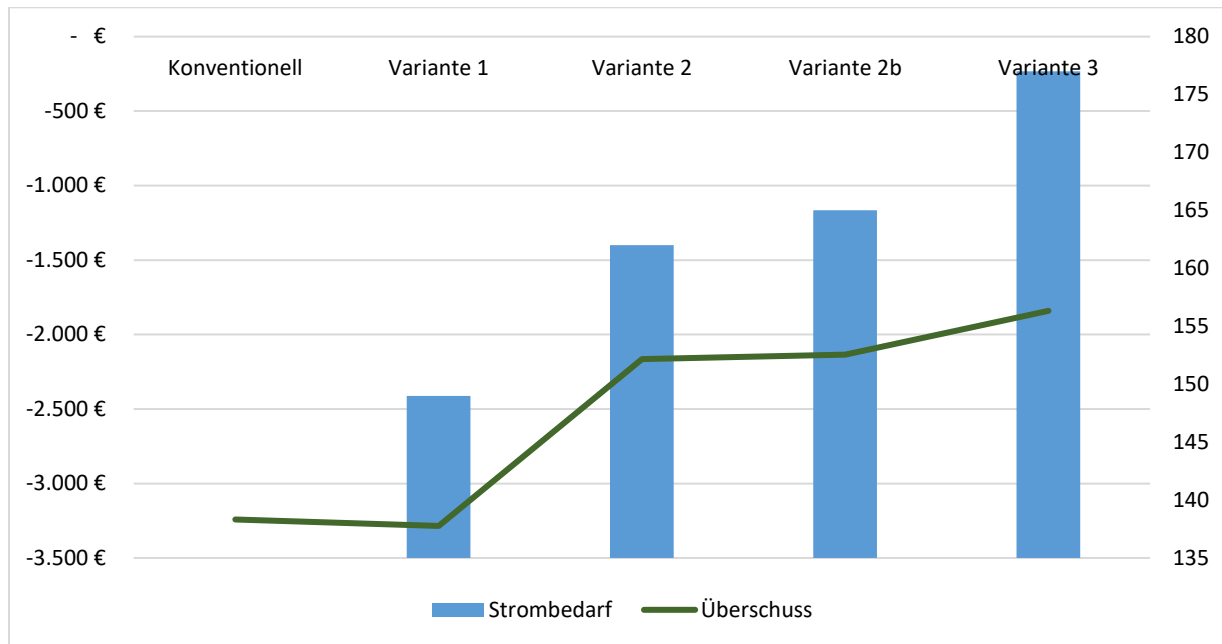


Diagramm 9 Strombedarf und bilanzieller Überschuss Kundenanlage

Abschließend werden die verschiedenen Konfigurationen des Strombedarfs für Variante 3 betrachtet. Die Konfiguration ohne E-Mobilität mit einem Batteriespeicher vom 75 kWh wird mit den Konfigurationen mit E-Mobilität sowie mit einem Batteriespeicher von 200 kWh verglichen.

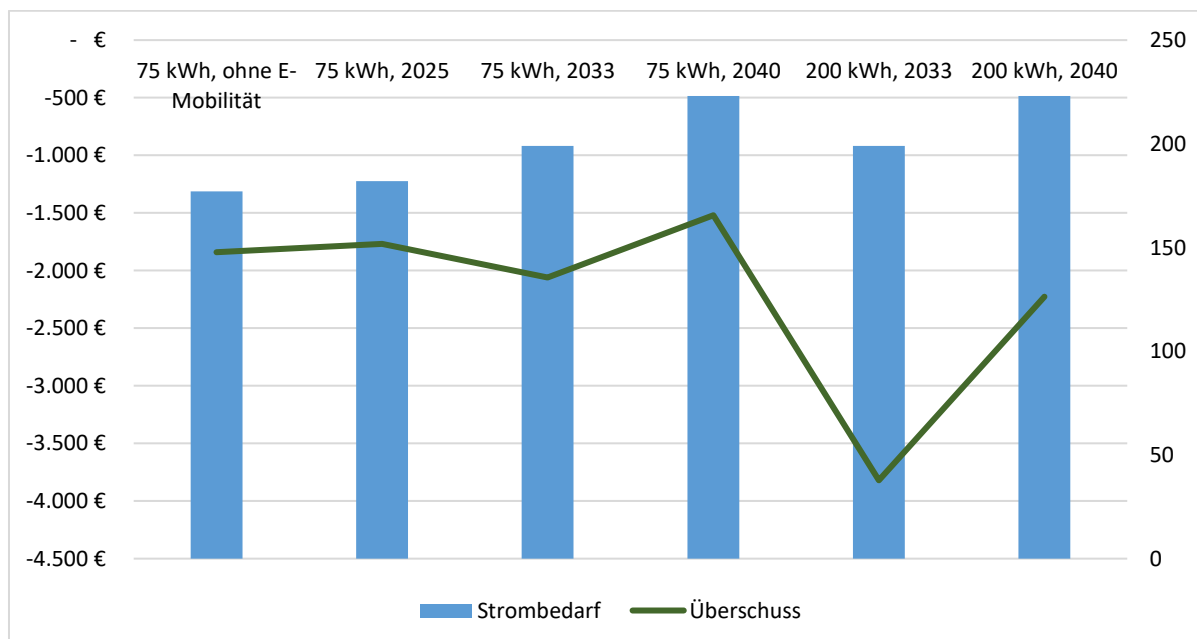


Diagramm 10 Strombedarf und bilanzieller Überschuss Kundenanlage Variante 3

## Machbarkeitsstudie Energiekonzept WENGE-Quartier

---

Tendenziell führt ein höherer Strombedarf zu niedrigeren Verlusten. Bei den zwei letzten Konfigurationen sorgt die Errichtung eines größeren Batteriespeichers für einen höheren kostendeckenden Strompreis aus PV-Anlage und Speicher von 16 ct/kWh statt 14 ct/kWh. Dieser kann nicht durch den höheren Eigennutzungsgrad ausgeglichen werden. Da der Batteriespeicher sukzessive ausgebaut werden soll, ist mit fallenden Kosten für die Speicher und damit auch mit fallenden kostendeckenden Strompreisen zu rechnen. Somit könnte diese Konfiguration noch wirtschaftlicher werden.

## 5 Fazit und Ausblick

Die Versorgung mit einem ganzheitlichem Energiekonzept mit einem möglichst hohen Anteil von lokal erneuerbar erzeugter Energie ist möglich. Allerdings liegen die lokal erzeugten Energiemengen bilanziell über das Jahr unter dem Energiebedarf. Weitere Steigerungen des PV-Eigennutzungsanteils können durch den sukzessiven Ausbau der Batteriespeicher erreicht werden.

Für die Endkunden können faire Energiepreise angeboten werden, ohne die Wirtschaftlichkeit der Energieversorgung zu gefährden. Um dies zu erreichen, wird die Bundesförderung effiziente Gebäude sowie der Mieterstromzuschlag genutzt.

Für das weitere Vorgehen sind tiefergehende Untersuchungen notwendig, wie eine Probebohrung und ein Thermal Response Test zur Erkundung des Erdwärmepotentials.

## 6 Anhang

### 6.1 Hinweis – Erklärung

Diese Machbarkeitsstudie wurde nach bestem Wissen auf Grundlage der verfügbaren Daten erstellt. Irrtümer sind vorbehalten. Die Durchführung und der Erfolg einzelner Maßnahmen bleiben deshalb in der Verantwortung des Auftraggebers.

Der Bericht beinhaltet keinerlei Planungsleistungen insbesondere im Bereich von energetischen Nachweisen oder Fördergeldanträgen, Kostenermittlungen und Bauphysik. Die Berechnungen des vorliegenden Berichts basieren auf den zur Verfügung gestellten Daten. Im weiteren Verlauf des Projektes empfehlen wir bei umfangreichen Maßnahmen eine sorgfältige fachliche Planung.

Die iNeG übernimmt keine Haftung für nicht bewilligte Förderanträge.

### 6.2 Verzeichnisse

#### 6.2.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Fließschema Kalte Nahwärme.....	8
Abbildung 2 Lageplan des Quartiers mit Wärmetrasse und Sondenfeld.....	9

Abbildung 3 Funktionsschema Wärmeversorgung .....	11
Abbildung 4 Funktionsschema Kundenanlage.....	12
Abbildung 5 Photovoltaik-Belegung.....	12
Abbildung 6 Stromlastgang und PV-Lastgang 4. Januar .....	19
Abbildung 7 Stromlastgang und PV-Lastgang 29. März .....	19
Abbildung 8 Stromlastgang und PV-Lastgang 28. Juni .....	19
Abbildung 9 Stromlastgang und PV-Lastgang 8. November.....	19

### 6.2.2 Diagrammverzeichnis

Diagramm 1 Photovoltaik-Ertrag über ein Jahr.....	13
Diagramm 2 Verteilung Personen & Nutzerprofil Haushaltsstrom .....	14
Diagramm 3 Strombedarf: Haushalt und Wärmeerzeuger.....	15
Diagramm 4 Strombedarf: Haushalt, Wärmeerzeuger, E-Mobilität.....	16
Diagramm 5 Eigenstromnutzung ohne Batteriespeicher .....	17
Diagramm 6 Eigenstromnutzung mit Batteriespeicher.....	17
Diagramm 7 PV-Deckungsanteile für verschiedene Batteriegrößen.....	20
Diagramm 8 CO <sub>2</sub> -Emissionen der Variante 3.....	21
Diagramm 9 Strombedarf und bilanzieller Überschuss Kundenanlage.....	28
Diagramm 10 Strombedarf und bilanzieller Überschuss Kundenanlage Variante 3 .	28

### 6.2.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Ansprechpartner .....	6
Tabelle 2 Spezifische Wärmebedarf je Fläche .....	7
Tabelle 3 Wärmebedarf Quartier .....	8
Tabelle 4 Strombedarf Wärmeerzeuger.....	14
Tabelle 5 Markthochlauf Elektroautos .....	15
Tabelle 6 PV-Deckungsanteile für Haushalt und Wärmeerzeuger.....	18
Tabelle 7 PV-Deckungsanteile für Haushalt, Wärmeerzeuger und E-Mobilität.....	18
Tabelle 8 PV-Strom-Überschuss .....	19
Tabelle 9 Investitionskosten Kalte Nahwärme .....	22
Tabelle 10 Förderkredite und Tilgungszuschüsse BEG.....	23

## Machbarkeitsstudie Energiekonzept WENGE-Quartier

---

Tabelle 11 Endkundenvergleich für 10 Parteien-Mehrfamilienhaus.....	24
Tabelle 12 Bilanzierung Kalte Nahwärme.....	24
Tabelle 13 Investitionskosten Kundenanlage inkl. PV-Anlage und Batteriespeicher	25
Tabelle 14 Mieterstromzuschläge .....	26
Tabelle 15 Strompreise und Einnahmen.....	26
Tabelle 16 Bilanzierung Kundenanlage .....	27