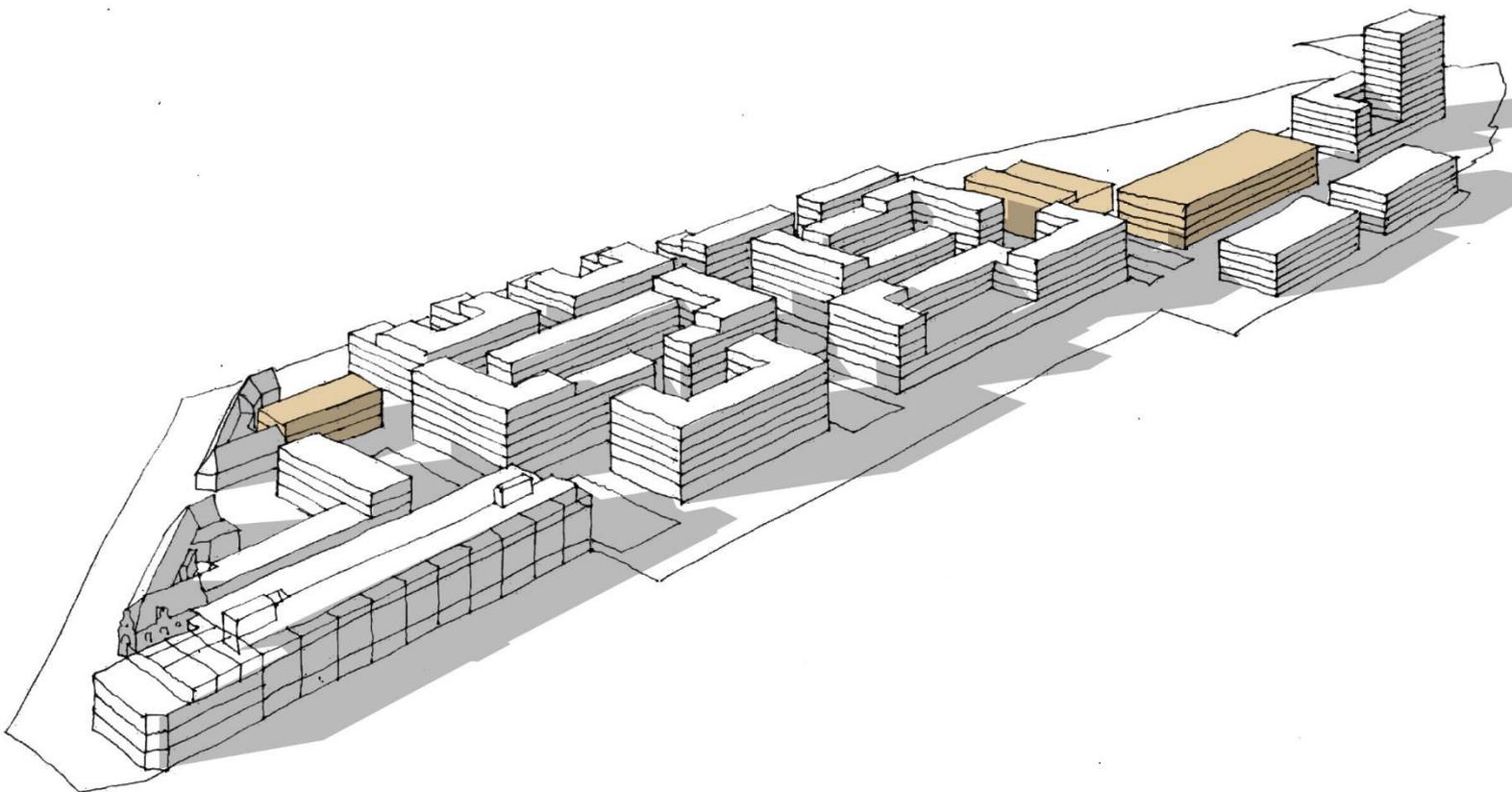


Bebauungsplan 323.2 „Westlich des Hauptbahnhofes, Teilbereich südlich der Parthe“

Energiekonzept - Extrakt



Impressum

Herausgeber:

RKW Architektur +
Rhode Kellermann Wawrowsky GmbH
Tersteegenstraße 30
40474 Düsseldorf

Redaktion, Satz und Gestaltung:

seecon Ingenieure GmbH, Spinnereistraße 7, Halle 14, 04179 Leipzig

Stand bzw. Redaktionsschluss:

15.01.2018

Bildnachweis Titelseite:

RKW Architektur +
Rhode Kellermann Wawrowsky GmbH

Anmerkung:

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird auf die gleichzeitige Verwendung männlicher und weiblicher Sprachformen verzichtet. Alle geschlechtsspezifischen Bezeichnungen, die in männlicher oder weiblicher Form benutzt wurden, gelten für beide Geschlechter gleichermaßen ohne jegliche Wertung oder Diskriminierungsabsicht.

Inhaltsverzeichnis

Impressum	2
Inhaltsverzeichnis.....	3
1 Einleitung	4
2 Energiebedarf.....	4
3 Wärmeversorgung.....	7
4 Kälteversorgung	8
5 Stromversorgung.....	8
6 Energie- und CO ₂ -Bilanz der Gebäude.....	8
7 Fazit	9

1 Einleitung

Die Leipzig eins GmbH plant die Entwicklung eines überwiegend zum Wohnen genutzten Gebiets auf dem Gelände westlich des Leipziger Hauptbahnhofes. Das Gebiet hat eine Fläche von 12 ha. Von der städtischen Verwaltung wurde ausgehend vom Kommunalen Klimaschutzkonzept die Erstellung eines Energiekonzeptes für den Standort gefordert. Da die baulichen Anforderungen durch die Energieeinsparverordnung weitestgehend geregelt sind und die Wahl der Wärmeversorgung den größten Einfluss auf den resultierenden Primärenergieeinsatz und die CO₂-Emissionen hat, konzentriert sich das vorliegende Dokument auf die Beschreibung möglicher Varianten in diesem Bereich und wird um die Möglichkeit einer lokalen regenerativen Strombereitstellung ergänzt.

2 Energiebedarf

Zur Ermittlung des Wärmebedarfs für Beheizung und Warmwasser ist die geplante Bebauung hinsichtlich ihrer geplanten Nutzung und zwischen Neu- und Altbau zu unterscheiden. Aus diesen Angaben lassen sich die zu erwartenden spezifischen Wärmebedarfe abschätzen und anhand der Flächen in einen absoluten Bedarf überführen.

Beim Ziehen der Wärmebilanz nach Nutzungsarten wird ein hoher Wärmebedarf der Objekte mit gewerblicher Nutzung deutlich. Dies ist zum einen in den höheren spezifischen Bedarfen im Vergleich zum Wohnen begründet und zum anderen in der Anwendung des Passivhausstandards auf die Schule. Die Wahl des Passivhausstandards für den zu errichtenden Schulneubau bleibt aber für die Umsetzung eine Option und ist für die folgende Berechnung als Annahme getroffen worden. Das öffentliche Gebäude wird bei Anwendung dieses Baustandards kaum noch eine Rolle beim Gesamtwärmebedarf spielen.

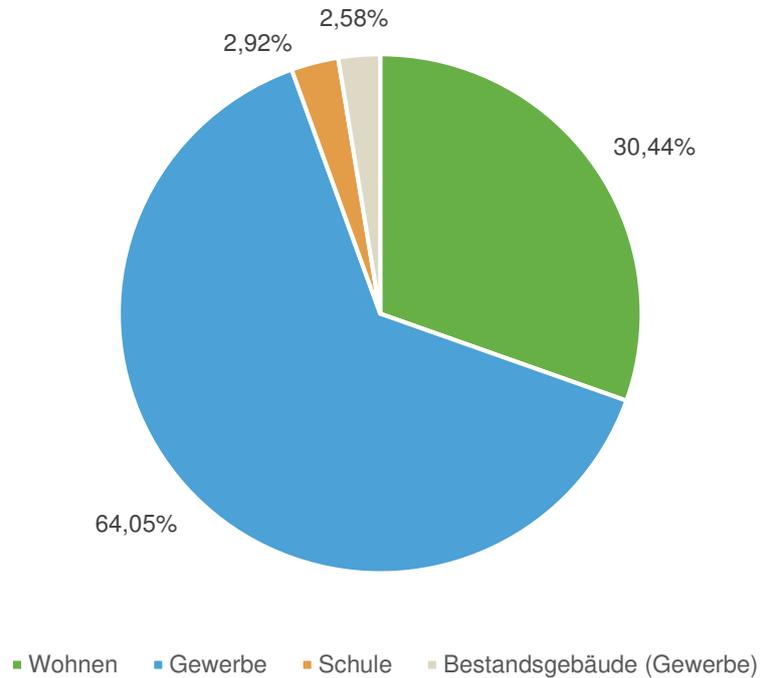


Abb. 1 Wärmebilanz der Baufelder nach Nutzungsarten

Für den Strombedarf wurden die Betrachtungen analog zum Wärmebedarf getrennt nach Nutzungsart vorgenommen, wobei keine Unterscheidung nach Neu- und Bestandsgebäude gemacht wurde. Aufgrund der vergleichsweise geringen Strombedarfe rückt die Wohnnutzung bei der Bilanzierung im Vergleich zum Wärmebedarf weiter nach hinten. Die Nichtwohnnutzungen werden maßgeblich für die Struktur der Strombedarfe in Zukunft im Planungsgebiet sein.

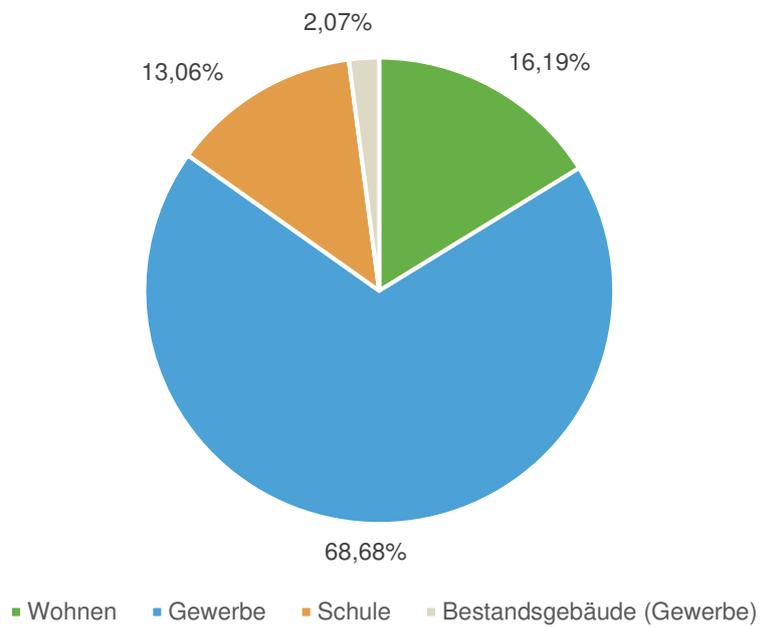


Abb. 2 Strombedarfsverteilung nach Nutzungsart

3 Wärmeversorgung

Für die geplante Bebauung im Planungsgebiet wurden im Rahmen der Erarbeitung des Energiekonzeptes folgende Versorgungsvarianten untersucht:

- Erdgasbrennwertthermen und Solarthermie
- Wärmepumpen und Geothermie
- Biomassefeuerung
- Fernwärme der Stadtwerke Leipzig
- Nahwärmeversorgung auf Basis von KWK-Lösungen
- Dezentrale Einspeisung von solarer Wärme (HANEST)

In einem Vergleich der Wirtschaftlichkeit auf Vollkostenbasis und Ökologie wurden die Varianten Erdgasthermen mit Solarthermieanlagen, Nahwärmeversorgung mit BHKW und Fernwärmeversorgung untersucht. Im Ergebnis zeigte sich, dass die Variante mit eigenem Nahwärmenetz und BHKW die höchsten Wärmepreise verursachen würde. Ein Fernwärmeanschluss würde nur leicht erhöhte Preise im Vergleich zum Einsatz von Gasthermen für die Nutzer bedeuten. Bei der Bewertung nach ökologischen Kriterien zeigt sich die Fernwärme mit den geringsten Primärenergiebedarfen und CO₂-Emissionen aber als klarer Favorit.

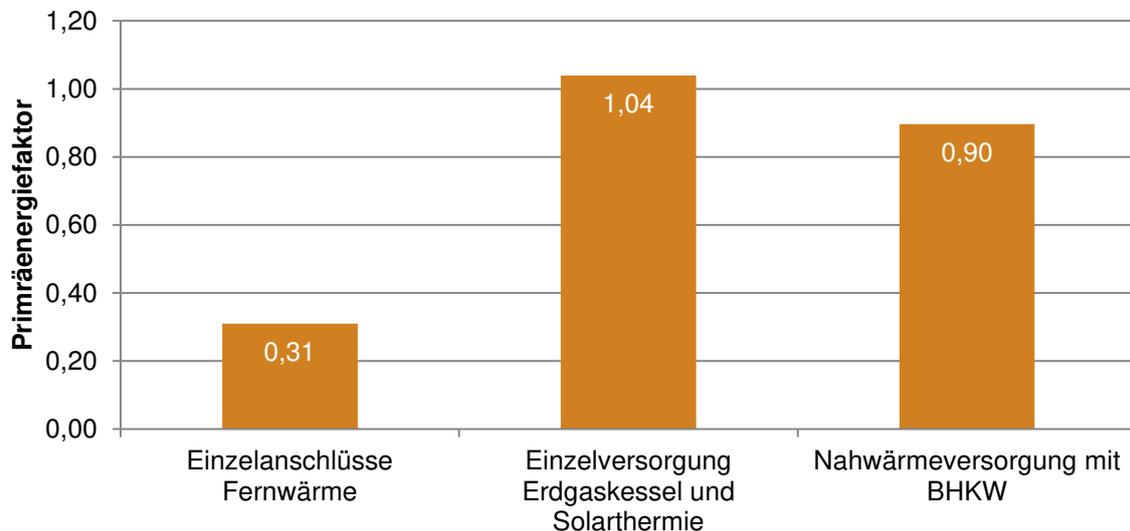


Abb. 3 Primärenergiefaktor der Versorgungsvarianten

4 Kälteversorgung

In der Investition liegen thermische Kälteanlagen über denen konventioneller Alternativen. Im Betrieb sind die Kosten aber deutlich geringer. Der ökologische Nachteil konventioneller elektrischer Verdichter kann durch den Bezug bzw. der direkten Erzeugung von Ökostrom ausgeglichen werden. Damit wird das entscheidende Kriterium zur Wahl zwischen einer konventionellen und einer thermischen Kältemaschine die jährliche Abnahmemenge und deren Struktur sein. Diese Entscheidung kann nur für jedes einzelne Gebäude im Planungsgebiet erfolgen. Bei einem Anschluss der Gebäude an das Fernwärmenetz ist der Einsatz thermisch angetriebener Kältemaschinen zu prüfen, da der Betrieb eventuell kostengünstiger erfolgen kann.

5 Stromversorgung

Die Stromversorgung wird grundsätzlich über das öffentliche Netz erfolgen. Zusätzlich ist der Einsatz von Photovoltaikanlagen zum direkten Verbrauch innerhalb der Gebäude bzw. der Einspeisung in das öffentliche Stromnetz denkbar. Bei Nutzung aller Dachflächen zur Installation von Photovoltaikanlagen könnte der Strombedarf bilanziell zu 20 % gedeckt werden. Die Nutzung von Photovoltaik ist vor der Errichtung der Gebäude individuell zu prüfen. Die Maßgabe sollte hierbei die möglichst hohe Eigennutzung des Stroms in den Gebäuden unter wirtschaftlichen Rahmenbedingungen sein.

Im Falle des Einsatzes eine BHKW in Verbindung mit einem Nahwärmenetz würden im Kraftwärmekopplungsprozess 30% der benötigten elektrischen Energie für das Planungsgebiet bereitgestellt werden.

6 Energie- und CO₂-Bilanz der Gebäude

Auf Basis der untersuchten Varianten lassen sich die Energieströme zur Deckung der Bedarfe innerhalb der Gebäude im Planungsgebiet quantifizieren. Wiederum auf Basis dieser Bedarfswerte und der aus der Art der Wärmeversorgung resultierenden Effizienz ergeben sich in einem weiteren Schritt die Primärenergiebedarfe und CO₂-Emissionen.

Für die Bilanzierung wurde angenommen, dass die Stromversorgung aus dem öffentlichen Netz erfolgt. Der für die CO₂-Bilanz relevante Strommix entspricht dem bundesdeutschen

Schnitt.¹ Der Primärenergiebedarf folgt aus dem aktuell gültigen Wert für den Strombezug in Höhe von 1,8.² Für den Sektor Wärme wurde der vollständige Bezug von Fernwärme aus dem Verbundnetz der Stadtwerke Leipzig sowie die Installation von Solarthermieanlagen zur dezentralen Einspeisung von solarer Wärme in das Fernwärmenetz angesetzt. Die Errichtung auf dem Dach der Schule bietet der Netz Leipzig als mögliche Betreiber den Vorteil der erleichterten Zugangsregelung, da kein Eigentümerwechsel über den Nutzungszeitraum zu erwarten ist.

Im Ergebnis nach Abb. 4 zeigt sich für die reinen Endenergiebedarfe eine Parität zwischen Wärme- und Strombedarf. Bei der Bilanzierung nach eingesetzter Primärenergie und den resultierenden CO₂-Emissionen wird aber eine Überhand des Sektors Strom deutlich. Dies resultiert vor allem aus dem nahezu vollständigen Anteil von KWK-Wärme im Fernwärmemix des Netzes in Leipzig.

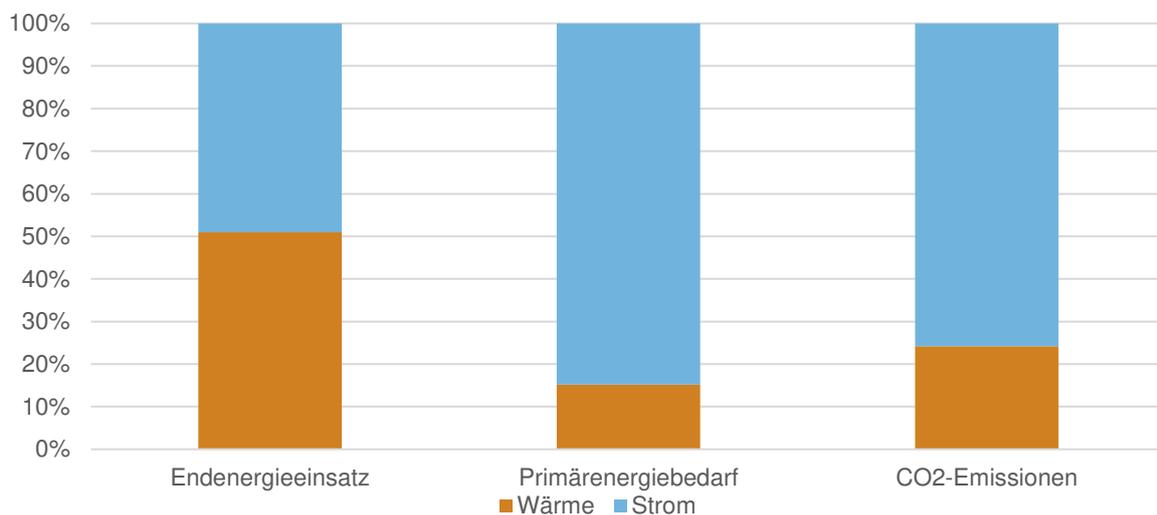


Abb. 4 Verteilung der Energiebedarfe und CO₂-Emissionen auf die Sektoren Wärme und Strom

7 Fazit

Die Energiebedarfe im Planungsgebiet Hauptbahnhof Westseite teilen sich falls gleich auf die Sektoren Strom und Wärme auf. Dies ist ein typisches Bild für nach den aktuellen Anforderungen der EnEV errichtete Gebäude. Für die in Frage kommenden Wärmeversorgungs-lösungen ergibt sich daraus die Herausforderung, auch auf einem vergleichsweise geringen Leistungsniveau wettbewerbsfähige Preise für die Nutzer bereitzustellen. In der Untersuchung hat sich

¹ Umweltbundesamt: Emissionsfaktor Stromverbrauch 2015, <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/energieversorgung/strom-waermeversorgung-in-zahlen>, letzter Zugriff Mai 2017.

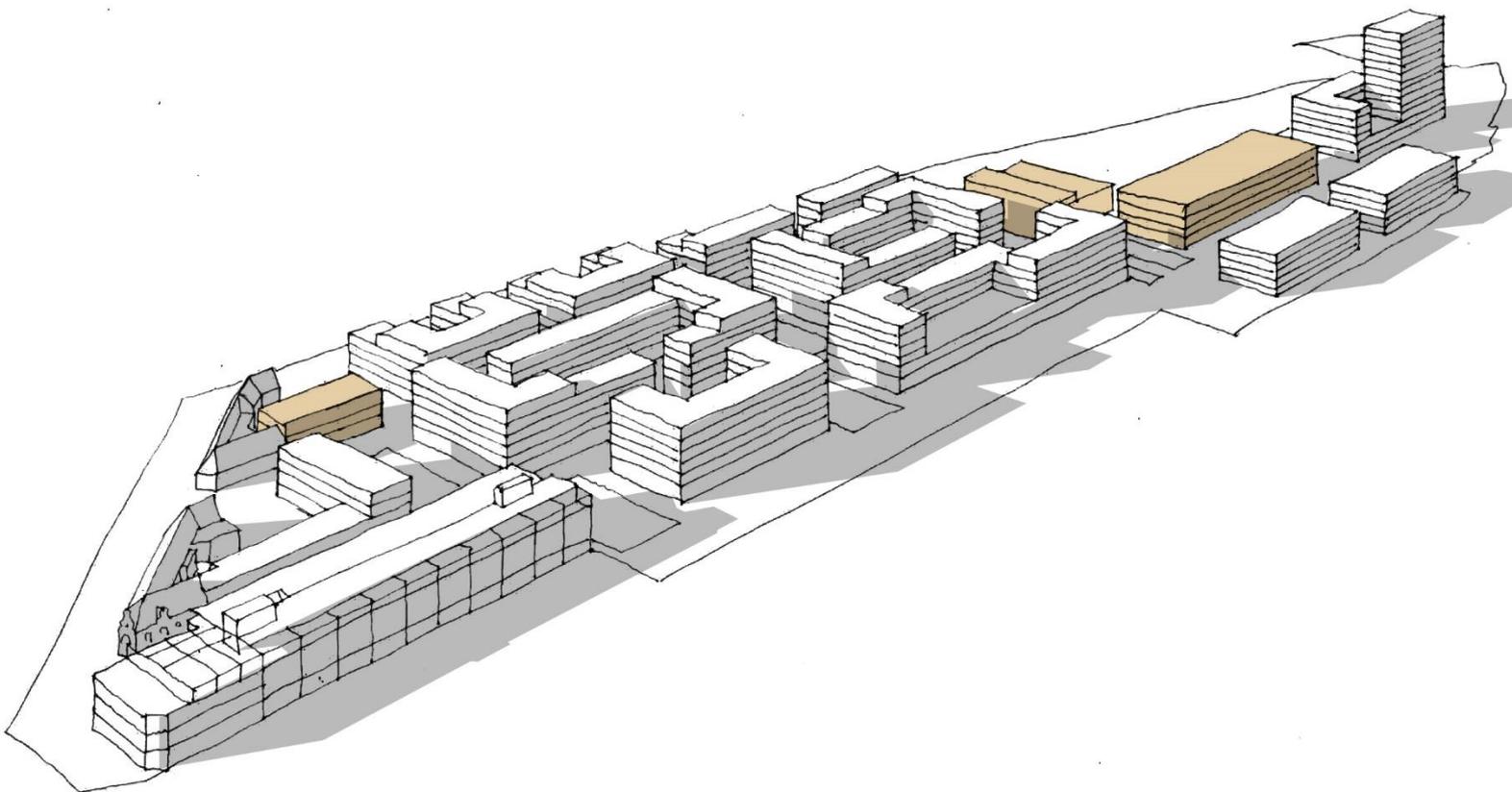
² EnEV: http://www.gesetze-im-internet.de/enev_2007/BJNR151900007.html, letzter Zugriff Mai 2017

gezeigt, dass der Anschluss an die unmittelbar anliegende Fernwärme dazu beiträgt, die Primärenergiebedarfe und die CO₂-Emissionen im Vergleich zu anderen konventionellen Versorgungslösungen (Erdgaskessel oder BHKW) gering zu halten. Weiterhin bietet ein Anschluss des Planungsgebiets an die Fernwärme der Stadt Leipzig die Möglichkeit, dezentrale Anlagen zur Einspeisung von solarer Wärme einzubinden. Dies kann beispielsweise auf der geplanten Schule und den umliegenden Gebäuden erfolgen. Der solare Deckungsgrad am Gesamtwärmebedarf des Quartiers würde 10 % betragen. Im Rahmen des Schulumbaus an der Karl-Heine-Straße 22b wird eine solche Anlage erstmals in Leipzig zum Einsatz kommen. Wenn die technischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen es zulassen, wird diese Maßnahme auch im Planungsgebiet *Westlich des Hauptbahnhofes* umgesetzt.

Für den Investor stellt die Nutzung der Fernwärme in der Investition den günstigsten Fall der untersuchten Varianten dar. Bei Bewertung der entstehenden Kosten über einen Betrachtungszeitraum von 20 Jahren ist die Fernwärme konkurrenzfähig und würde bei aktueller Vertriebspolitik den üblichen Wärmepreisen in Leipzig entsprechen.

Bebauungsplan 323.2 „Westlich des Hauptbahnhofes, Teilbereich südlich der Parthe“

Energiekonzept



Impressum

Herausgeber:

RKW Architektur +
Rhode Kellermann Wawrowsky GmbH
Tersteegenstraße 30
40474 Düsseldorf

Redaktion, Satz und Gestaltung:

seecon Ingenieure GmbH, Spinnereistraße 7, Halle 14, 04179 Leipzig

Stand bzw. Redaktionsschluss:

15.01.2018 (am 17.09.2018 zwei Abbildungen entnommen)

Bildnachweis Titelseite:

RKW Architektur +
Rhode Kellermann Wawrowsky GmbH

Anmerkung:

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird auf die gleichzeitige Verwendung männlicher und weiblicher Sprachformen verzichtet. Alle geschlechtsspezifischen Bezeichnungen, die in männlicher oder weiblicher Form benutzt wurden, gelten für beide Geschlechter gleichermaßen ohne jegliche Wertung oder Diskriminierungsabsicht.

Inhaltsverzeichnis

Impressum	2
Inhaltsverzeichnis.....	3
A Einleitung.....	4
B Energiebedarf.....	6
1 Rechtliche Rahmenbedingungen	6
2 Bedingungen im Planungsgebiet	6
3 Wärmebedarf.....	7
4 Kältebedarf.....	11
5 Strombedarf	12
C Wärmeversorgung.....	14
1 Möglichkeiten zur Wärmeversorgung im Planungsgebiet	14
1.1 Einzelversorgungsvarianten	14
1.2 Zentrale Versorgungsvarianten	17
2 Variantenuntersuchung.....	24
3 Empfehlung für das Planungsgebiet	29
D Kälteversorgung	30
E Stromversorgung.....	32
1 Anschluss an das öffentliche Stromversorgungsnetz	32
2 Dezentrale Stromerzeugung im Planungsgebiet.....	32
2.1 Photovoltaik.....	32
2.2 Kraftwärmekopplung.....	34
F Energie- und CO ₂ -Bilanz der Gebäude	34
G Fazit.....	35
Abbildungsverzeichnis.....	37
Tabellenverzeichnis.....	38

A Einleitung

Die Leipzig eins GmbH plant die Entwicklung eines überwiegend zum Wohnen genutzten Gebiets auf dem Gelände westlich des Leipziger Hauptbahnhofes. Das Gebiet hat eine Fläche von 12 ha. Von der städtischen Verwaltung wurde ausgehend vom Kommunalen Klimaschutzkonzept die Erstellung eines Energiekonzeptes für den Standort gefordert. Da die baulichen Anforderungen durch die Energieeinsparverordnung weitestgehend geregelt sind und die Wahl der Wärmeversorgung den größten Einfluss auf den resultierenden Primärenergieeinsatz und die CO₂-Emissionen hat, konzentriert sich das vorliegende Dokument auf die Beschreibung möglicher Varianten in diesem Bereich und wird um die Möglichkeit einer lokalen regenerativen Strombereitstellung ergänzt.

Die Erstellung von Energiekonzepten im Rahmen von Bauvorhaben ist eine direkte Umsetzung des Bestrebens nach einer nachhaltigen Klimapolitik in Leipzig, welche die kommunale Ebene der internationalen Bestrebungen zur Minderung des Klimawandels darstellt. Den Rahmen bilden zwei Strategien auf europäischer Ebene: Das Richtlinien- und Zielpaket für Klimaschutz und Energie, auch als 20/20/20 Ziele bekannt, einerseits und der EU-Klima- und Energierahmen 2030 andererseits. 20/20/20 bezieht sich dabei auf drei Ziele bis zum Jahr 2020:¹

- Senkung der Treibhausgasemissionen um min. 20 % gegenüber 1990
- Erhöhung der Energieeffizienz um 20 %
- Anteil der erneuerbaren Energien am Gesamtenergieverbrauch von 20 %

Der EU-Klima- und Energierahmen 2030 baut auf den Zielen auf. Er soll bereits heute Sicherheit für Investoren hinsichtlich der weiteren Zielvorgaben liefern. Die Ziele werden bis 2030 ausgeweitet auf eine Reduzierung der Treibhausgasemissionen um 40 %, auf 27 % Energieeinsparungen und einen Anteil der erneuerbaren Energien von 27 %.²

In Deutschland ist der Begriff „Energiewende“ in aller Munde. Grund dafür sind nicht nur Überlegungen zum Klimaschutz, sondern auch folgende entscheidende Faktoren:

- knapper werdende fossile Energieträger,
- die hohe Importabhängigkeit Deutschlands, vor allem bei Öl und Erdgas sowie
- die steigenden Energiekosten auf dem Weltmarkt.

Zentrale Elemente der Gestaltung und Umsetzung der Energiewende sind die Einsparung von Energie, der effizientere Umgang mit Energie und der Einsatz regenerativer Energieträger. Das Potenzial zur Energieeinsparung liegt größtenteils in der Senkung des Verbrauchs und

¹ <http://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/europaeische-energiepolitik.html>; letzter Zugriff: April 2017.
² https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_en; letzter Zugriff April 2017

der Vermeidung von Verkehr. Die Steigerung der Effizienz beschreibt die rationelle Energienutzung und -umwandlung, die z. B. durch die Nutzung von Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) verbessert werden kann. Der Einsatz regenerativer Energieträger zielt auf eine CO₂-arme Energieversorgung hin. Voraussetzung ist dabei im Allgemeinen, dass Einspar- und Effizienzmaßnahmen zuerst ausgeschöpft werden. Darauf aufbauend kann ein somit verringerter Energiebedarf durch die Nutzung emissionsarmer Energieträger gedeckt werden.

Die Beschlüsse innerhalb der Europäischen Union bilden die Grundlage des Handelns in Deutschland. Die Ziele der deutschen Bundesregierung sind im Rahmen des Energiekonzepts aus dem Jahr 2010 daher folgende:³

Tab. 1 Ziele der Energiewende in Deutschland⁴

Ziel	bis 2020	bis 2050
Anteil erneuerbarer Energien an der Stromversorgung	35 %	80 %
Senkung der Treibhausgasemissionen	40 %	80 %
Einsparung Primärenergie	20 %	80 %

Ein weiteres Kernelement der Energiewende ist der Strukturwandel, weg von den wenigen konventionellen fossilen Kraftwerken, hin zu einer Dezentralisierung und Demokratisierung der Energieerzeugung durch Wind- und Solarparks sowie Biomasse- und Geothermieanlagen an vielen verschiedenen Standorten. Hier kommen besonders regionale Akteure ins Spiel. Klimaschutz auf kommunaler Ebene ist die Vorbereitung und Umsetzung tatsächlicher Maßnahmen des Klimaschutzes, die auf den Vorgaben und Ideen der bereits erläuterten höheren Ebenen beruhen. Ein wichtiger Anhaltspunkt für die Kommunen ist das Integrierte Energie- und Klimaprogramm (IEKP) der Bundesregierung. Es ist ein seit 2007 bestehendes Gesetzgebungs- und Maßnahmenprogramm, das 29 Eckpunkte beinhaltet, die den Kommunen verbindliche Maßgaben liefern. Dazu zählen unter anderem die Energieeinsparverordnung (EnEV) oder das Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetz (KWKG). Es wird das gesamte Spektrum der energetisch relevanten Bereiche Wärme, Elektrizität und Mobilität abgedeckt. Die Herausforderung der Kommune ist es, die lokalen Gegebenheiten mit den Zielen des Klimaschutzes in Einklang zu bringen. Das heißt einerseits herauszufinden, welchen Beitrag die Kommune überhaupt leisten kann, andererseits ist es Aufgabe der Kommune, vor Ort alle denkbaren Akteure zusammenzuführen und gemeinsam Ziele und Strategien zu entwickeln, die in Zusammenarbeit geleistet werden können.

Die Erstellung von Energiekonzepten im Rahmen von komplexen und umfänglichen Bauvorhaben im Stadtgebiet bildet einen Baustein, den Zielen der Bundesregierung und des Klimaschutzkonzeptes der Stadt Leipzig gerecht zu werden.

³ https://www.bundesregierung.de/ContentArchiv/DE/Archiv17/_Anlagen/2012/02/energiekonzept-final.pdf?__blob=publicationFile&v=5, letzter Zugriff April 2017.

⁴ http://www.bundesregierung.de/Webs/Breg/DE/Themen/Energiewende/Fragen-Antworten/1_Allgemeines/1_warum/_node.html: letzter Zugriff April 2017.

B Energiebedarf

1 Rechtliche Rahmenbedingungen

Um ein Wohngebäude nutzen zu können, muss Energie eingesetzt werden, die für das Heizen und die Erwärmung von Trinkwasser aufgewendet wird. Weiterhin können das Lüften und das Kühlen hinzukommen. Der Sektor der privaten Wohngebäude nimmt gesamtgesellschaftlich einen großen Anteil am Energieverbrauch ein und weist daher auch ein großes Einsparpotenzial beim Einsatz moderner Wärmeversorgungs-lösungen auf. Aus diesen Gründen wurde die Energieeinsparverordnung EnEV 2016 in Verbindung mit dem Erneuerbare-Energien-Wärme-gesetz (EEWärmeG) erlassen, um die Energieverbräuche bzw. die CO₂-Emissionen in diesem Sektor zu verringern.

Beim Energiebedarf lässt sich zwischen Primär- und Endenergiebedarf unterscheiden. Während der Endenergiebedarf die Energie darstellt, die beim Nutzer in der gewünschten Energieform zur Verfügung steht, also bspw. die Kilowattstunde Strom aus der Steckdose, beinhaltet der Primärenergiebedarf die zusätzliche Energie, die in der Vorkette, bspw. im Kraftwerk und beim Transport, verbraucht wurde. Beim Strom beläuft sich der Primärenergiefaktor nach DIN V 4701-10:2003-08 auf ca. 1,8, d. h. um 1 kWh Strom zur Verfügung stellen zu können, werden Primärenergieträger mit einem Energiegehalt von 1,8 kWh benötigt. Zum Vergleich: Der Primärenergiefaktor für Holz wird in der Norm mit 0,2 beziffert. Bei der Wärmebereitstellung über klassische Erdgaskessel wird ein Primärenergiefaktor von 1,1 angesetzt. Die EnEV regelt die Anforderungen an die Gebäudehülle und den Primärenergieeinsatz.

2 Bedingungen im Planungsgebiet

Das Planungsgebiet liegt auf der Westseite des Leipziger Hauptbahnhofes. Das Stadtzentrum ist in wenigen Gehminuten erreichbar. Das Areal ist über die Kurt-Schumacher-Straße erreichbar und wird durch die Güterstraße, dem Fluss „Parthe“ sowie durch die Straße Preußenseite begrenzt.

Im Planungsgebiet wird eine Mischnutzung wie folgt angestrebt:

- Ca. 560 Wohnungen in den Baufeldern A2-A5, B2-3 und C1-2 inkl. sozialem Wohnbau
- ein Hochhaus (13 Etagen) in Baufeld C4 mit gewerblicher Nutzung
- eine Schule im Baufeld C3
- eine Kindertagesstätte im Baufeld A1

- gastronomische Einrichtungen, Hotel/Boardinghaus sowie weitere Gewerbe- und Dienstleistungsunternehmen in den Bändern A bis D

3 Wärmebedarf

Zur Ermittlung des Wärmebedarfs für Beheizung und Warmwasser ist die geplante Bebauung hinsichtlich ihrer geplanten Nutzung und zwischen Neu- und Altbau zu unterscheiden. Aus diesen Angaben lassen sich die zu erwartenden spezifischen Wärmebedarfe abschätzen und anhand der Flächen in einen absoluten Bedarf überführen.

In Tab. 2 sind die Bruttogrundflächen (BGF) der einzelnen Baufelder, aufgeteilt nach geplanter Nutzungsart, zusammenfassend dargestellt. Die Nutzungsart Bestandsgebäude Gebäude wurde für die Untersuchungen zum Energiekonzept eingeführt, um eine Differenzierung hinsichtlich des Wärmebedarfs durchführen zu können. Die beiden Bestandsgebäude befinden sich in den Baufeldern A1 (Gebäude 1) und B1 (Gebäude 1). Die restlichen Gebäude werden neu errichtet.

Tab. 2 Flächenbilanz der Baufelder (Stand Mai 2017)

Baufeld	Wohnen	Gewerbe	Schule	Bestandsgebäude (Gewerbe)	Gesamt
A1	0	2.155	0	479	2.634
A2	5.577	663	0	0	6.240
A3	5.122	598	0	0	5.720
A4	3.247	380	0	0	3.627
A5	2.633	293	0	0	2.925
B1	0	4.829	0	1.478	6.306
B2	12.613	3.619	0	0	16.232
B3	10.669	2.677	0	0	13.346
C1	2.162	6.842	0	0	9.003
C2	4.982	11.768	0	0	16.750
C3	0	0	15.560	0	15.560
C4	0	16.050	0	0	16.050
D1	0	7.500	0	0	7.500
D2	0	7.500	0	0	7.500
Summe	48.081	63.795	15.560	1.957	129.393

Beim Blick auf die Verteilung der Flächen wird ein relativer Überhang der Flächen zur Gewerbenutzung deutlich. Insgesamt wird aber eine sehr starke Durchmischung der Nutzungsarten im Planungsgebiet anzutreffen sein. Dadurch wird ein konstanter Wärme- und Strombedarf im Tagesverlauf zu erwarten sein, was den Einsatz von KWK und erneuerbaren Energien begünstigt.

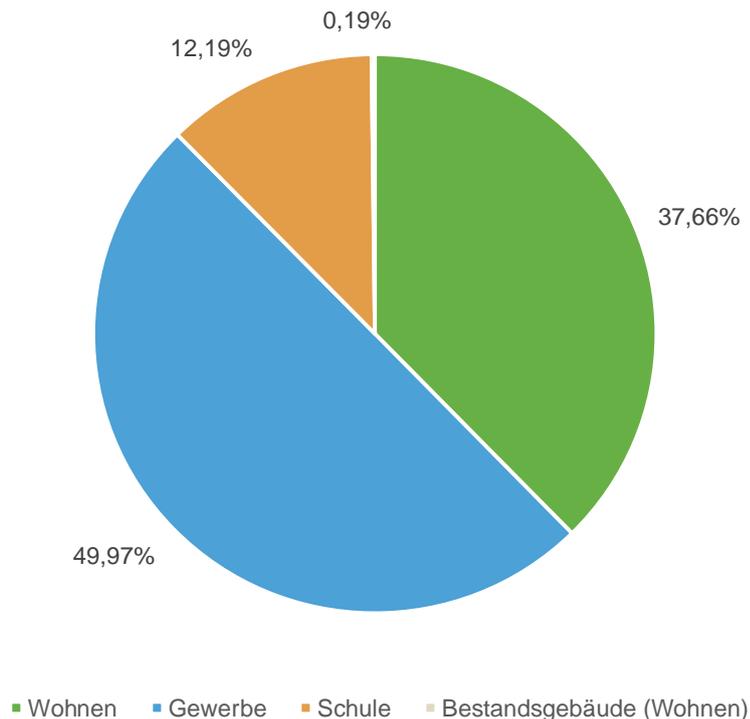


Abb. 1 Flächenbilanz Nutzungsart

Die Annahmen für die spezifischen Wärmebedarfe sind in Tab. 3 dargestellt. Als Grundlagen diente die Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchswerte und Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand⁵ für die gewerblichen Nichtwohngebäude mit einem Abschlag von 25 % für die Neubauvorhaben und der Passivbeschluss⁶ der Stadt Leipzig für die Schule. Die Wahl des Passivhausstandards für den zu errichtenden Schulneubau bleibt aber für die Umsetzung eine Option und ist für die folgende Berechnung als Annahme getroffen worden. Für die geplanten Wohngebäude wurde der mittlere Wärmebedarf entsprechend der gültigen Forderungen der EnEV 2016 angenommen.

⁵ BMWi, BMUB: Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchswerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand, Berlin 2015.

⁶ Beschluss Nr. RBIV-1138/08 vom 19.03.2008.

Tab. 3 spez. Wärmebedarfe für Heizung und Warmwasser nach Nutzungsart bezogen auf BGF

Nutzungsart	Wärmebedarf in [kWh/m²a]
Wohnen	46
Schule	13,35
Gewerbe	70,13
Bestandsgebäude (Gewerbe)	93,5

Die spezifischen Wärmebedarfe sind lediglich grobe Richtwerte und werden sich von den tatsächlichen Bedarfen unterscheiden. Aufgrund des zum Zeitpunkt der Erstellung unscharfen Nutzungsprofils der Gebäude genügen sie aber dem aktuellen Kenntnisstand. Insbesondere im gewerblichen Bereich hängt der Energiebedarf aber vom Nutzungsprofil ab. Dieses wird nicht nur in der Art des Gewerbes (bspw. klassisches Büro oder IT-Dienstleister mit Serverinfrastruktur), sondern auch durch die tägliche Auslastung beeinflusst. In folgender Tabelle sind die Ergebnisse der Anwendung der spezifischen Wärmebedarfe auf die BGF abgebildet.

Tab. 4 Wärmebilanz der Baufelder in kWh/a für Heizung und Warmwasser

Baufeld	Wohnen	Gewerbe	Schule	Bestandsgebäude (Gewerbe)	Gesamt
A1	0	151.107	0	44.809	195.916
A2	256.542	46.493	0	0	303.035
A3	235.612	41.935	0	0	277.547
A4	149.351	26.665	0	0	176.016
A5	121.095	20.512	0	0	141.607
B1	0	338.624	0	138.146	476.770
B2	580.180	253.796	0	0	833.976
B3	490.786	187.693	0	0	678.479
C1	99.434	479.767	0	0	579.201
C2	229.170	825.227	0	0	1.054.397
C3	0	0	207.729	0	207.729
C4	0	1.125.478	0	0	1.125.478
D1	0	525.938	0	0	525.938
D2	0	525.938	0	0	525.938
Summe	2.211.729	4.473.619	207.729	182.955	7.102.025

Beim Ziehen der Wärmebilanz nach Nutzungsarten wird eine leichte Erhöhung der Anteile der Objekte mit gewerblicher Nutzung deutlich. Dies ist zum einen in den höheren spezifischen Bedarfen im Vergleich zum Wohnen begründet und zum anderen in der Anwendung des Passivhausstandards auf die Schule. Das öffentliche Gebäude wird bei Anwendung des Baustandards kaum noch eine Rolle beim Gesamtwärmebedarf spielen.

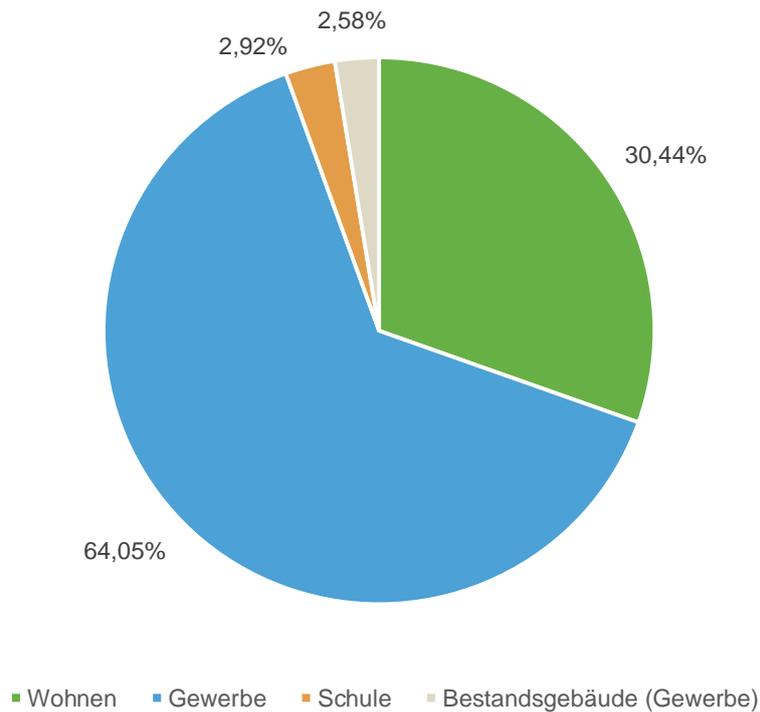


Abb. 2 Wärmebilanz der Baufelder nach Nutzungsarten

Für die weiteren Betrachtungen zur Wärmeversorgung ist die benötigte Wärmeleistung relevant. Diese lässt sich aus den Wärmebedarfen unter Verwendung typischer Vollbenutzungsstunden differenziert nach Nutzungsart ableiten.

Tab. 5 Vollbenutzungsstunden nach Nutzungsart

Nutzungsart	Vollbenutzungsstunden in [h/a]
Wohnen	2100
Schule	1300
Gewerbe	1500
Bestandsgebäude (Gewerbe)	1500

Durch Division der Wärmebedarfe nach Tab. 4 mit den Vollbenutzungsstunden nach Tab. 5 ergeben sich folgende Wärmeleistungen.

Tab. 6 Wärmeleistungsbilanz nach Baufeldern und Nutzungsart in kW

Baufeld	Wohnen	Gewerbe	Schule	Bestandsgebäude (Gewerbe)	Gesamt
A1	0	101	0	30	131
A2	122	31	0	0	153
A3	112	28	0	0	140
A4	71	18	0	0	89
A5	58	14	0	0	71
B1	0	226	0	92	318
B2	276	169	0	0	445
B3	234	125	0	0	359
C1	47	320	0	0	367
C2	109	550	0	0	659
C3	0	0	160	0	160
C4	0	750	0	0	750
D1	0	351	0	0	351
D2	0	351	0	0	351
Summe	1.030	3.033	160	122	4.344

Bei der Darstellung ist jedoch zu beachten, dass ggf. Leistungszuschläge für die Warmwasserbereitung notwendig werden.

4 Kältebedarf

Der Kältebedarf ist für das Konzept nicht explizit erfasst worden. Dies ist aufgrund der zum jetzigen Zeitpunkt nicht näher spezifizierten Nutzung nicht möglich. In den Bedarfswerten für Strom der Nichtwohnnutzung sind jedoch entsprechende Mittelwerte für die jeweilige Nutzungsform enthalten.

Für den Wohnbereich ist von keinem gesonderten Kühlbedarf auszugehen. Das Hochhaus ist als Sonderfall in einem weiteren Planungsschritt genauer zu betrachten.

5 Strombedarf

Für den Strombedarf wurden die Betrachtungen analog zum Wärmebedarf getrennt nach Nutzungsart vorgenommen, wobei keine Unterscheidung nach Neu- und Bestandsgebäude gemacht wurde.

In Tab. 7 sind die angenommenen Kennwerte dargestellt. Für die Nutzung Wohnung wurde ein jährlicher Strombedarf je WE von 2.000 kWh angenommen. Für die Schule ist die Differenz zum Primärenergiegrenzwert⁷ von 120 kWh/m² a gebildet worden. Aufgrund der notwendigen Lüftungstechnik ist bei dem Passivhaus von dem zum Wärmebedarf deutlich höheren Strombedarf auszugehen. Die restlichen Parameter entsprechen wiederum den Werten für Nichtwohngebäude nach den Bekanntmachungen des BMUB und BMWi zur Festlegung von Energiebedarfswerten für Nichtwohngebäude⁸.

Tab. 7 spez. Strombedarfe nach Nutzungsart bezogen auf BGF

Nutzungsart	Strombedarf in [kWh/m ² a]
Wohnen	23,5
Schule	57,29
Gewerbe	72,25
Bestandsgebäude (Gewerbe)	72,25

Nach Anwendung der spezifischen Bedarfe auf die Flächenverteilung nach Nutzungsart zeigt sich das Ergebnis für den Strombedarf nach Tab. 8 und Abb. 3.

Tab. 8 Strombedarfsbilanz nach Nutzungsart und Baufeldern in kWh/a

Baufeld	Wohnen	Gewerbe	Schule	Bestandsgebäude (Gewerbe)	Gesamt
A1	0	155.686	0	34.625	190.312
A2	131.060	47.902	0	0	178.961
A3	120.367	43.206	0	0	163.573
A4	76.299	27.473	0	0	103.772
A5	61.864	21.133	0	0	82.997

⁷ Passivhausinstitut: http://www.passiv.de/downloads/03_zertifizierungskriterien_gebaeude_de.pdf, letzter Zugriff April 2017.

⁸ [https://www.bdew.de/internet.nsf/id/9B9CD50DABEDCF48C1257E51003C1324/\\$file/704-4_2015-04-30-EnEV-Bekanntmachung-20150407-IV.pdf](https://www.bdew.de/internet.nsf/id/9B9CD50DABEDCF48C1257E51003C1324/$file/704-4_2015-04-30-EnEV-Bekanntmachung-20150407-IV.pdf), letzter Zugriff April 2017.

Baufeld	Wohnen	Gewerbe	Schule	Bestandsgebäude (Gewerbe)	Gesamt
B1	0	348.885	0	106.749	455.635
B2	296.396	261.487	0	0	557.883
B3	250.727	193.381	0	0	444.108
C1	50.798	494.306	0	0	545.103
C2	117.076	850.234	0	0	967.310
C3	0	0	891.398	0	891.398
C4	0	1.159.584	0	0	1.159.584
D1	0	541.875	0	0	541.875
D2	0	541.875	0	0	541.875
Summe	1.104.586	4.687.027	891.398	141.374	6.824.385

Aufgrund der vergleichsweise geringen Strombedarfe rückt die Wohnnutzung bei der Bilanzierung nach hinten. Die Nichtwohnnutzungen werden maßgeblich für die Struktur der Strombedarfe in Zukunft im Planungsgebiet sein.

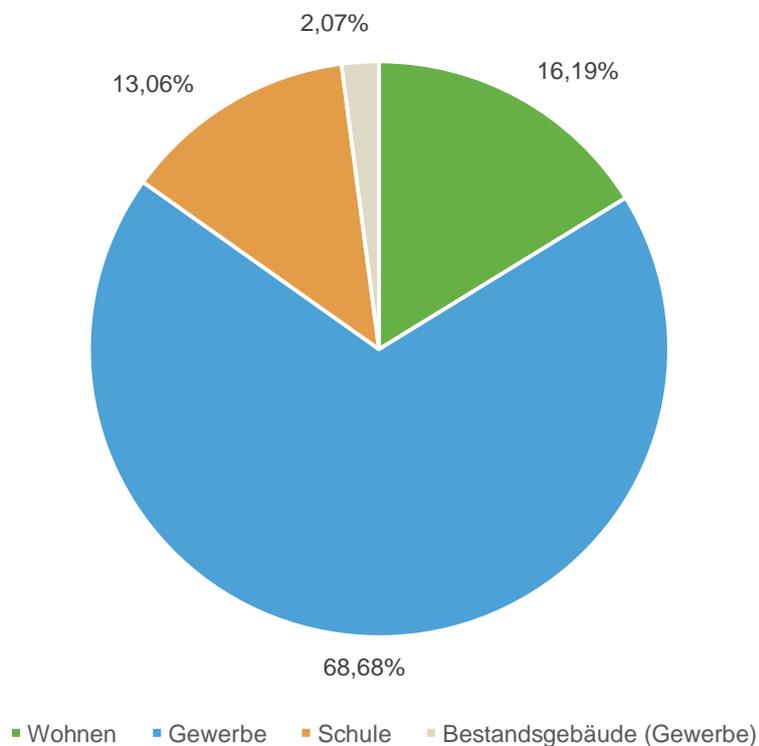


Abb. 3 Strombedarfsverteilung nach Nutzungsart

C Wärmeversorgung

1 Möglichkeiten zur Wärmeversorgung im Planungsgebiet

1.1 Einzelversorgungsvarianten

Für die geplanten Objekte kommen prinzipiell auch Einzelversorgungsvarianten infrage, also ein Wärmeerzeuger pro Gebäude. Im Folgenden werden drei mögliche Varianten beschrieben und hinsichtlich ihres Einsatzes für die Neubauten bewertet.

1.1.1 Erdgasbrennwerttherme

Der Einsatz von Gaskesseln oder wandhängenden Thermen ist eine Standardlösung und in Kombination mit der Nutzung des Brennwerteffektes eine ausgereifte Technologie zur Wärmebereitstellung. Der Einsatz ist für zu sanierende Bestandsgebäude auch problemlos möglich. Für die Neubauten müssen aber die Vorgaben des EEWärmeG eingehalten werden. Daher könnte bei diesen Objekten zusätzlich eine Solarthermieanlage zur anteiligen Trinkwasserbereitung und Heizungsunterstützung vorgesehen werden. Alternativ wäre auch die deutliche Unterschreitung der EnEV-Anforderungen an die Außenhülle eine Möglichkeit dem EE-WärmeG gerecht zu werden.

1.1.2 Wärmepumpen und Geothermie

Die Geothermie, auch Erdwärme genannt, ist die im oberen Teil der Erdkruste gespeicherte Wärme. Sie umfasst die in der Erde gespeicherte Energie, die sowohl direkt zum Heizen und Kühlen (Wärmepumpenheizung) als auch zur Erzeugung von elektrischem Strom oder in einer Kraft-Wärme-Kopplung genutzt werden kann. Dabei wird u. a. zwischen oberflächennaher und Tiefengeothermie unterschieden.

Als oberflächennahe Geothermie wird allgemein die Nutzung der Erdwärme in einem Tiefenbereich zwischen der Erdoberfläche und 400 m bezeichnet. Da die Temperaturen in diesem Bereich nur zwischen 8 und 25 °C liegen, ist der Einsatz von Wärmepumpen erforderlich. Einschränkung ist zu sagen, dass ab einer Tiefe von 100 m für die Errichtung von Sondenanlagen ein bergrechtliches Genehmigungsverfahren erforderlich ist.

Bei der Nutzung der oberflächennahen Geothermie kommen prinzipiell zwei geschlossene Systeme zum Zuge: Erdwärmekollektoren und Erdwärmesonden. Erdwärmesonden werden mittels Bohrung im Erdreich versenkt, um geothermische Wärmeströme nutzbar zu machen. Erdwärmekollektoren sind Wärmeübertrager, welche sehr nah unter der Erdoberfläche installiert werden. Der größte Teil der bereitgestellten Wärme stammt hierbei aus solaren Einträgen in den Boden. Der Flächenverbrauch von Erdwärmekollektoren übersteigt den der Sonden um ein Vielfaches, kann aber bei ohnehin erforderlichen Flächenumbauten (Parkplätze, Geländeauftrag etc.) eine kostengünstige Alternative darstellen. Die folgende Abbildung verdeutlicht den Aufbau beider Systeme.

Neben der Nutzung der Abwärme aus dem Boden besteht auch die Möglichkeit, Grund- oder Oberflächenwasser zu nutzen.⁹ Voraussetzung dafür ist, dass genügend Wasser in geringer Entfernung zur Wärmepumpe zur Verfügung steht und eine Möglichkeit zur Ableitung des nach der thermischen Nutzung abgekühlten Wassers vorhanden ist (z. B. in ein Oberflächengewässer). Zur Errichtung einer Wärmepumpe in einem Oberflächengewässer ist eine wasserrechtliche Genehmigung bei der unteren Wasserbehörde einzuholen. Eventuell ist auch die Naturschutzbehörde einzubeziehen. Diese Varianten sind auf dem Planungsgebiet nur bei umfangreichen Änderungen an der geplanten Bebauung umsetzbar. Aufgrund der zum Teil vorliegenden Altlasten im Untergrund ist von einer Nutzung abzusehen.

Im Bestand ist der Einsatz von Erdwärmekollektoren eher ungeeignet, da der Flächenbedarf deutlich höher ist und sich das Aufbrechen bereits versiegelter Flächen wirtschaftlich nicht darstellen lässt bzw. über diesen Flächen keine uneingeschränkte Nutzung möglich ist. Erdwärmesonden können eher sinnvoll eingesetzt werden, da bereits eine geringe Fläche genügt, um die Sonden zu setzen. Der Einsatz dieses Systems wird anhand folgender Beispielrechnung dargestellt. Als Referenzobjekt kommt ein Gebäude mit einem mittleren Wärmebedarf von 104 kW für das Planungsgebiet infrage.

Tab. 9 Beispielrechnung Geothermie

Parameter	Einheit	Wert
Heizleistung	kW	117,41
Jahresarbeitszahl	1	4,40
Entzugsleistung	kW	90,73
Verdichterleistung	kW	26,68
spezifischer Wärmeentzug	W/m	50,00
Länge aller Sonden	m	1.814,51

⁹ Die Möglichkeit der Nutzung von Abwärme aus der Luft wird im Rahmen des Konzepts nicht beleuchtet, da sich diese Option aufgrund der geringen Umgebungswärme während des Winters, wo der Wärmebedarf am höchsten ist, über den Betriebszeitraum der Anlage wirtschaftlich für Mehrfamilienhäuser nicht darstellen lässt.

Parameter	Einheit	Wert
Länge einer Sonde	m	100,00
Anzahl Sonden	Stk.	18,15
Flächenbedarf	m ²	513,04

Aus der Tabelle geht hervor, dass bereits für ein Gebäude 18 Sonden gesetzt werden müssten. Diese hätten aufgrund der einzuhaltenden Mindestabstände zu Bauwerken, anderen Sonden und der Grundstücksgrenze einen Flächenbedarf von 513 m². Die Platzverhältnisse sind im Bebauungsgebiet beschränkt, aufgrund der Innenstadtnähe ist auf eine möglichst dichte Bebauung mit maximaler Flächenausnutzung zu achten. Wärmepumpen in Kombination mit Geothermie werden daher nicht als flächendeckende Lösung im Planungsgebiet angesehen.

1.1.3 Biomassefeuerung

Der Einsatz von Holz in Form von Pellets oder Hackschnitzeln ist durch die Entwicklung moderner Feuerungssysteme immer populärer geworden. Weiterhin können dadurch einheimische erneuerbare Brennstoffe genutzt werden. Die Vorhaltung des Holzes erfolgt vor Ort in den Gebäuden oder extra errichteten Bunkern. Dadurch ergibt sich ein Platzbedarf, der zu Lasten der Wohn- oder Nebenfläche gehen würde. Für eine erste Abschätzung der notwendigen Lagerraumgröße lassen sich 0,9 m³ je kW Heizlast verwenden. Bei der in Tab. 6 aufgeführten Gesamtheizlast in Höhe von 4.344 kW ergibt sich ein benötigtes Volumen in Höhe von rund 3.910 m³. Bei einer nutzbaren Lagerraumhöhe von 2,5 m entspricht dies einer Fläche von ca. 1.564 m², welche durch den Bauträger entweder innerhalb der Neubauten vorzusehen ist oder von den bestehenden Flächen abgezogen werden müsste. Weiterhin würde eine regelmäßige Brennstoffanlieferung durch Lkw im Gebiet erfolgen müssen, was zu deutlichen Einschränkungen und zusätzlichen Eingriffen in die Straßenplanung führen würde.

Darüber hinaus verursacht die Wärmebereitstellung aus Holz ein spezifisches Emissionsprofil. Im verdichteten Siedlungsbereich ist diese Lösung daher – auch bei Einhaltung der Grenzwerte – nicht unumstritten. Insbesondere, da der Bereich um die Berliner Straße bereits unter vergleichsweise hoher Feinstaubbelastung durch den Verkehr leidet, ist eine flächendeckende Beheizung aller Gebäude durch Holzpellets oder Hackschnitzel nicht empfehlenswert.

1.2 Zentrale Versorgungsvarianten

1.2.1 Fernwärme der Stadtwerke Leipzig

Das Fernwärmenetz der Stadtwerke Leipzig erstreckt sich bis in die Innenstadt Leipzigs. Aufgrund der unmittelbaren Nähe zum Gas- und Dampfkraftwerk Nord der Stadtwerke Leipzig, ist davon auszugehen, dass die notwendige Wärmeleistung zur Versorgung der geplanten Bebauung vom Netz bereitstellbar sein wird. Es würde ein neues Heißwassernetz im verlegt werden. Im Rahmen der Trassierung wird eine Verlegung im Bereich der Straßen wahrscheinlich, da hierdurch ein Zugriff zu Wartungszwecken immer möglich sein wird. Die Verlegung über den privaten Grund der einzelnen Baufelder ist möglichst zu begrenzen.

Die Bereitstellung der Wärme erfolgt zu 99,6 % aus Kraft-Wärme-Kopplung-Prozessen (u. a. GuD-Kraftwerk Nord und Heizkraftwerk Lippendorf). Dadurch wird ein vergleichsweise geringer Primärenergiefaktor für die Bereitstellung der Wärme von 0,31 erreicht.¹⁰

Der hohe Anteil an Wärme aus KWK ist aufgrund des großen Fernwärmenetzes möglich. Die Vielzahl der Abnehmer und die unterschiedlichen Nutzungsprofile ermöglichen es, die Erzeugungsanlagen konstant zu fahren. In kleinen Nahwärmenetzen ist es dagegen schwer möglich, eine entsprechend hohe Vollbenutzungsstundenzahl der Strombereitstellung zu erreichen. Der signifikante Vorteil der Fernwärme liegt in der Vermeidung von lokalen CO₂- und Schadstoffemissionen im Quartier. Die Wärme wird weiterhin nahezu geräuschlos im Quartier verteilt und in den Gebäuden an die Heizungsanlagen übergeben.

Die Betriebsführung des Leitungsnetzes und der notwendigen Regelorgane erfolgt durch die Stadtwerke Leipzig. Durch eine weitgehende Verlegung der Hauptleitungen im öffentlich zugänglichen Raum kann auch eine schnelle Eingriffszeit im Havariefall gewährleistet werden. Die Hausübergabestationen, welche die Wärmeabnahme aus dem Netz regeln, können entweder durch die Stadtwerke gestellt und betrieben werden oder vom Kunden selbst erworben werden. In diesem Fall übernimmt dieser die Betriebsführung, Wartung und Instandhaltung. In diesem Fall liegt eine Fernwärmelieferung vor. Beim Betrieb durch die Stadtwerke kommt es zum Contracting.

Der Anschluss an die Fernwärme bietet dem Investor und den zukünftigen Eigentümern eine bequeme All-in-one-Lösung, welche aber bei der Entscheidungsfindung zur zukünftigen Wärmeversorgung auch den Anforderungen an die Wirtschaftlichkeit gerecht werden muss. Dies betrifft nicht nur die notwendigen Baukosten bzw. anfallenden Zuschüsse, sondern auch die laufenden Kosten für die Bereitstellung der Leistung und Arbeit.

¹⁰ Stadtwerke Leipzig: Primärenergiefaktor Fernwärme, <https://www.swl.de/web/swl/DE/Immobilienwirtschaft/Waerme/primaerenergiefaktor/Primaerenergiefaktor.htm>

Die Wärmebereitstellung im Netz der Stadtwerke Leipzig erfolgt zurzeit ausschließlich auf Basis fossiler Energieträger (Braunkohle und Erdgas). Da die Wärmebereitstellung aus dem Kraftwerk Lippendorf endlich ist, sind Strategien zur Deckung der dadurch entstehenden Lücke in Arbeit.

Im Entwurf zum InSEK 2030 der Stadt Leipzig sind die Ansätze dazu unter der Zwischenüberschrift *Einstieg in die postfossile Wärmeversorgung* wie folgt formuliert:

- „...schrittweise Substitution von Einzelfeuerungsanlagen (z.B. Gaskesseln, Kohleheizungen) und dem Braunkohlekraftwerk Lippendorf durch
 - moderne Energieverteilungsnetze (großflächig und kleinteilig), (Doppelung zu Einfeuerungsanlagen),
 - hocheffizienten KWK-Anlagen,
 - konsequenter Nutzung, Speicherung sowie Einbindung der lokal nutzbaren erneuerbaren Energien...“
- „...notwendigen Kapazitäten werden dezentral über das gesamte Stadtgebiet errichtet...“
- „...parallele deutliche Absenkung des Energiebedarfs im Gebäudebestand...“¹¹

Daher ist in Zukunft davon auszugehen, dass auch erneuerbare Energieträger in den Wärmemix eingehen werden. Das Planungsgebiet kann hierzu einen Beitrag leisten, der in Abschnitt C1.2.3 beschrieben ist.

1.2.2 Nahwärmeversorgung auf Basis von KWK-Lösungen

Als Nahwärme wird die Übertragung von Wärme zwischen Gebäuden zu Heizzwecken umschrieben, wenn sie im Vergleich zur Fernwärme nur über verhältnismäßig kurze Strecken erfolgt. Der Übergang zur Fernwärme mit größeren Leitungslängen ist fließend. Für das Planungsgebiet würde jedoch die Installation einer Heizzentrale vor Ort notwendig werden. Als klassische Technologien zur effizienten Wärmebereitstellung mit möglichst geringen Primärenergieaufwänden kommen Blockheizkraftwerke (BHKW) auf Erdgasbasis in Verbindung mit einem Erdgaskessel zur Spitzenlastdeckung zum Einsatz.

Die Unterbringung der BHKW und Spitzenlastkesselanlage kann in einem ohnehin geplanten Objekt erfolgen. Beengte Platzverhältnisse und hohe Aufwendungen zur Gewährleistung des Schallschutzes könnten diese Option aber verhindern. Dann ist ein weiteres Bauwerk vorzusehen, dass sich möglichst unauffällig in das Gesamtbild einfügen sollte.

¹¹ Entwurf Integriertes Stadtentwicklungskonzept „Leipzig 2030“ (INSEK): Fachkonzept Energie und Klimaschutz, S 11, Leipzig August 2017.

Die Auslegung der Aggregatleistung erfolgt auf Basis der zur erwartenden Wärmelastgänge im Gebiet, da eine möglichst hohe Laufzeit der BHKW als Grundversorgungseinheiten zu erreichen ist. Da im Gebiet eine sehr starke Durchmischung von verschiedenen Nutzungsprofilen vorliegen wird und von einer konstanten Wärmeabnahme im Tagesverlauf auszugehen ist, werden hohen Laufzeiten der BHKW möglich sein. Hierdurch wird ein Anteil von KWK-Wärme im Netz von 70 % und wirtschaftlich erreichbar sein. Der resultierende Primärenergiefaktor beliefe sich dann auf höchstens 0,7.

Die rein fossile Wärmebereitstellung kann noch durch den weiteren Einsatz von Wärmepumpen und solarthermischen Anlagen gestützt werden. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass diese Technologien, die Laufzeiten der BHKW mindern und damit den Anteil der KWK-Wärme und die Wirtschaftlichkeit reduzieren würden. Hier ist die möglichst genaue Vorausberechnung der Wärmebedarfslastgänge unabdingbar, um die ideale Anlagenkonstellation zu bestimmen.

Es ist üblich, den Betrieb eines Nahwärmenetzes und der Heizzentrale durch einen Dritten erledigen zu lassen. Dieser errichtet die Wärmeerzeugungsanlage und das Netz. Die Wärmeübergabestationen liegen dann je nach Vertragsverhältnis entweder im Eigentum der Betreibers oder des Gebäudeeigentümers.

1.2.3 LowEx und HANEST

Im Gegensatz zu konventionellen Wärmenetzen mit einem hohen Temperaturniveau, besteht auch die Möglichkeit, ein Wärmenetz mit niedrigeren Systemtemperaturen zu fahren, was dann auch die Möglichkeit der dezentralen Einspeisung erneuerbarer Energien (vor allem Solarenergie) in das Wärmenetz bietet. Dabei wird das Ziel eines möglichst geringen Exergieeinsetzes verfolgt.

Energie ist eine Erhaltungsgröße und kann weder erzeugt noch vernichtet werden. Die Energie beschreibt die Quantität einer Energieform. Kommt es zur Umwandlung in eine andere Energieform, bleibt die Menge der Energie erhalten, während ihre Qualität jedoch verringert werden kann. Um die Qualität der Energie zu bewerten, werden das Konzept der Exergie und der zweite Hauptsatz der Thermodynamik angewendet. Bezogen auf die Wärmeenergie ist die Exergie das Maximum an theoretisch nutzbarer Arbeit eines thermodynamischen Systems, die erzielbar ist, wenn sich das System im vollständigen Gleichgewicht mit seiner thermodynamischen Umgebung befindet und dabei ausschließlich mit dieser interagiert.¹² Der nicht nutzbare Anteil wird als Anergie bezeichnet. Im Vergleich zur elektrischen, kinetischen und potenziellen Energie, die zu 100 % aus Exergie bestehen, ist bei der Wärmeenergie die Temperaturdifferenz zwischen System und Umgebung ausschlaggebend für den Anteil der Exergie.

Hauptzielstellung des LowEx-Konzepts ist es, das Exergieniveau der Wärmeerzeugung und des Wärmebedarfs aneinander anzugleichen. Durch den Einsatz von niedrig-exergetischen

¹² G. Tsatsaronis, Definitions and nomenclature in exergy analysis and exergoeconomics, Energy 32 (2007) 249-253

Wärmequellen und eine optimierte Fahrweise soll die Exergieeffizienz gesteigert werden. Dem Heiz- oder Kühlsystem soll nur der minimal notwendige Exergiestrom zugeführt werden, während der Anergiestrom im Kreislauf gehalten wird.

Ein LowEx-Wärmenetz besteht aus den Erzeugungseinheiten (Produzenten), dem Verteilernetz sowie den Verbrauchern (Konsumenten). Im Gegensatz zu klassischen Wärmenetz hat der angeschlossene Verbraucher die Möglichkeit, gleichzeitig Produzent sein. Indem er dezentral regenerative Wärmeenergie einspeist, wird er zum Prosumenten. Kommt ein Mehrleitersystem zu Einsatz, kann die Einspeisung regenerativer Energien und die Entnahme individueller Verbraucher durch die Verwendung unterschiedlicher Temperaturniveaus optimiert werden. Bei der möglichen Umnutzung eines bestehenden Fernwärmesystems ist zudem der Rückgriff auf vorhandene Netzstrukturen möglich. In diesem Fall kann sich, aufgrund der zusätzlichen Investitionskosten für die Nachrüstung eines Mehleitersystems, die alleinige Absenkung der Temperaturen auf LowEx-Fahrweise als sinnvollste Lösung erweisen.

Die Identifikation der idealen Vor- und Rücklauftemperatur und die daraus resultierende Spreizung sind entscheidend bei der Planung und Bewertung von LowEx-Wärmenetzen. Durch eine signifikante Rücklauftemperaturabsenkung wird das Einspeisepotenzial dezentraler regenerativer Energien maximiert und Verteilverluste minimiert. Gleichzeitig müssen vorgegebene Mindesttemperaturen eingehalten werden, um die Anforderungen, die durch die Versorgung der Raumheizung und Trinkwassererwärmung entstehen, zu erfüllen.¹³

Auch seitens der Raumheizung müssen die Anforderungen an die LowEx-Fahrweise definiert werden. Grundsätzlich sind der spezifische Heizwärmebedarf, die Heizungsart und die Dimensionierung der Heizkörper ausschlaggebend für die benötigte Vorlauftemperatur und mögliche Spreizung. Im Neubau ist der größtmögliche Einsatz von Flächenheizungen zu bevorzugen. Hierdurch kann eine gleichmäßige Beheizung der Räume erreicht und ein hohes Maß an Behaglichkeit für die Nutzer gewährleistet werden. Für LowEx ist es ebenfalls förderlich, durch große wärmeübertragende Fläche mit geringen Systemtemperaturen die notwendige Leistung bereitstellen zu können.

Unter dem Begriff HANEST wird die dezentrale Einspeisung überwiegend erneuerbarer Energien in ein bestehendes Wärmenetz über HausAnschluss- und NetzEinspeiseSTationen zusammengefasst.

Für die Einbindung einer regenerativen Einspeisung in das LowEx-Wärmenetz ist eine komplexe Planung und Regelung notwendig, da das Einspeisepotenzial maßgeblich von der Fahrweise abhängig ist. Je niedriger die Rücklauftemperatur des LowEx-Netzes, desto höher ist das Einspeisepotenzial der regenerativen Erzeuger.

¹³ S. Henke and L. Langer, "Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben LowEx-Systeme Breitenanwendung von Niedertemperatur-Systemen als Garanten für eine nachhaltige Wärmeversorgung." 2014 http://www.eneff-stadt.info/fileadmin/media/Projektbilder/Neue_Technologien/LowEx_Systeme_Breitenanwendung/Abschlussbericht_LowEx-Systeme_September_2015.pdf, Letzter Zugriff: April 2017.

Durch die Einbindung dezentraler Erzeugungsanlagen ergeben sich gegenüber dem hohen Planungs- und Regelungsaufwand folgende Vorteile:

- Durch die dezentrale Einspeisung kann die Exergieeffizienz gegenüber einer zentralen Einspeisung gesteigert werden. In der Studie „Transformationsstrategien von fossiler zentraler Fernwärmeversorgung zu Netzen mit höheren Anteilen erneuerbarer Energien“¹⁴ wurde die Umstellung einer zentralen Wärmeeinspeisung auf eine dezentrale Einspeisung untersucht und simuliert, wobei folgende Erkenntnis deduziert wurde: Bei gleicher Trassenlänge, Gesamteinspeiseleistung und Fahrweise kann bei einer dezentralen Wärmeeinspeisung die Summe der Masseströme und die mittlere Förderhöhe und damit auch der Pumpstrombedarf herabgesenkt werden, während die prozentualen Netzverluste gleich bleiben. Durch die Absenkung des Pumpstrombedarfs kommt es letztendlich zur Erhöhung der Exergieeffizienz.
- Die Versorgungssicherheit kann ebenfalls durch die dezentrale Einspeisung gesteigert werden, da bei einem Trassenschaden oder Kraftwerksausfall nicht gleich das ganze Wärmenetz zum Erliegen kommt. Um die Versorgungssicherheit weiter zu steigern ist es sinnvoll die dezentrale Einspeisung mit einem geeigneten Wärmespeicherkonzept abzustimmen.
- Durch die Vernetzung der Posumenten mit anderen Konsumenten, ist die Dimensionierung der Solarthermieranlagen nicht mehr von dem Wärmebedarf des jeweiligen Gebäudes abhängig. Die Summe der einzelnen Anlagen wird als Gesamtwärmebedarf ausgelegt und richtet sich dabei nach dem optimalen Deckungsgrad, der wiederum abhängig von dem gewählten Wärmespeicherkonzept ist.

Um die Einbindung fluktuierender erneuerbarer Energien in das Wärmenetz zu erleichtern und die Einspeisetemperaturen und Netztemperaturen zu glätten, kommen Wärmespeicher zum Einsatz. Durch die teilweise zeitliche Entkopplung von Wärmeerzeugung und Wärmebedarf können die Erzeugungsanlagen mit höheren Vollbenutzungsstunden fahren und der Deckungsgrad gesteigert werden. Dies spielt vor allem bei der Wärmeerzeugung durch Solarthermieranlagen eine wichtige Rolle.

Bei der Einbindung von Solarthermieranlagen in Nahwärmenetzen stehen zwei verschiedene Speicherkonzepte zur Auswahl:

- Kurzzeitspeicher: Die Verbraucher werden über einen Kurzzeitspeicher direkt von der Solarthermieanlage versorgt. Häufig kommen sensible Wärmespeicher zum Einsatz. Durch die kurzfristige Wärmespeicherung können Deckungsgrade von 15 bis 20 % erzielt werden.
- saisonaler Wärmespeicher: Die Solarthermieanlage speist die Wärmeenergie verbrauchsunabhängig in einen saisonalen Wärmespeicher ein. Die Verbraucher sind

¹⁴ ifeu-Institut, AGFW, „ Transformationsstrategien von fossiler zentraler Fernwärmeversorgung zu Netzen mit höheren Anteilen erneuerbarer Energien.“ 2013.

direkt an den Langzeitwärmespeicher angeschlossen, wobei zumeist ein zwischengeschalteter Spitzenlastkessel die notwendige Vorlauftemperatur sicherstellt. Durch die Speicherung der überschüssigen, während der Sommermonate nicht genutzten Wärme können Deckungsgrade von 40 bis 60 % erzielt werden.

Der Einsatz solarer Wärme zur dezentralen Einspeisung von Wärme in das Fernwärmeverbundnetz der Stadtwerke Leipzig soll in verschiedenen Pilotvorhaben erprobt werden. Es ist das Ziel, Wege in eine dekarbonisierte Wärmebereitstellung unter Beachtung sinkender Wärmebedarfe zu finden. Für die Stadtwerke ist daher die Thematik kein Neuland und könnte auch für das Planungsgebiet relevant werden. Aufgrund des überwiegenden Neubauanteils ist weiterhin die Etablierung eines LowEx-Teilnetzes unter Einhaltung geringerer Systemtemperaturen denkbar. Die nicht im Gebiet erzielbaren Wärmeerträge durch solarthermische Anlagen könnten durch den Anschluss an das Fernwärmenetz gedeckt werden. Bei der weiteren Planung der Wärmeversorgung des Gebietes ist jedoch eine enge Abstimmung mit den gebäudebezogenen Prozessen erforderlich, um den notwendigen Platzbedarf für die Wärmespeicher in den Gebäuden decken zu können.

Für das Planungsgebiet kommt die Errichtung einer HANEST in Verbindung mit einer Solarthermieanlage am ehesten auf dem Dach des geplanten Schulgebäudes und gegebenenfalls auf Objekten im unmittelbaren räumlichen Zusammenhang in Frage. Im Folgenden sind die Erträge einer solchen Anlage dafür dargestellt. Als Baufeld neben der Schule wurde beispielhaft D2 ausgewählt, wobei daraus keine zwingende Konsequenz zur Errichtung einer solchen Anlage resultiert. Die Berechnung soll vielmehr beispielhaft das Potenzial erläutern. Die Errichtung auf dem Dach der Schule bietet der Netz Leipzig als mögliche Betreiber den Vorteil der erleichterten Zugangsregelung, da kein Eigentümerwechsel über den Nutzungszeitraum zu erwarten ist.

In Tab. 10 ist das aus der Nutzung von 75 % der theoretischen Grundfläche resultierende Ertragspotenzial einer Solarthermieanlage hinterlegt. Bilanziell entspricht dies 89 % des Wärmebedarfs der Gebäude. Bei klassischer Nutzung der Solarenergie innerhalb des Gebäudes würden diese Werte jedoch real nie erreicht werden. Aufgrund von Stillstandszeiten bei geringer oder gar keiner Abnahme und Speicherverlusten sind Deckungsgrade von 15 % bis 20 % realistisch erreichbar.

Tab. 10 Potenzial HANEST

Parameter	Einheit	Wert
Dachfläche	m ²	6.409
genutzte Fläche	%	75
Netto-Kollektorfläche	m ²	1.538
Einstrahlung auf die Kollektorfläche abzgl. optischer Verluste	kWh/a	1.307.436
nutzbarer Ertrag	kWh/a	653.718
Anteil am Wärmebedarf Schule und Gebäude D2	%	89,10
Anteil am Wärmebedarf Gesamtquartier	%	9,20

Bei Verteilung bzw. Einspeisung der Wärme innerhalb eines Fernwärmenetzes ist davon auszugehen, dass die solare Wärme besser ausgenutzt werden kann. Bei vollständiger Einspeisung der von der Anlage bereitgestellten Energie entspräche dies im Planungsgebiet 9,2 % des Wärmebedarfs. Der Platzbedarf für die Unterbringung der HANEST beträgt ca. 50 bis 60 m²¹⁵. Der im Vergleich zu konventionellen HAST erhöhte Bedarf ist auf die Ausdehnungsgefäße zurückzuführen, die im Kollektorkreis angeordnet sind. Die übliche Heizungstechnik (Verteilssysteme, Mischer, Speicher usw.) ist in dem Flächenbedarf noch nicht eingerichtet, ist aber in jedem Fall vorzusehen.

¹⁵ Angabe der Netz Leipzig für eine HANEST mit einer angeschlossenen Nettokollektorfläche von ca. 1.500 m², August 2017.

2 Variantenuntersuchung

Um einen Vergleich auf Basis messbarer Kriterien zu ermöglichen sind im Folgenden drei Versorgungsvarianten in einer Vergleichsrechnung gegenübergestellt. In Variante 1 wird die Referenzvariante des Einzelanschlusses der Gebäude an das Fernwärmeverbundnetz der Stadtwerke Leipzig beschrieben. Variante 2 umfasst die Beheizung und Warmwasserbereitung der Gebäude über Erdgaskessel in Verbindung mit Solarthermieanlagen auf den Dächern, um den Anforderungen des EEWärmeG gerecht zu werden. Variante 3 beinhaltet die Etablierung eines Nahwärmenetzes in Kombination mit der Bereitstellung von Wärme in einer Heizzentrale (BHKW und Erdgasspitzenlastkessel) im Planungsgebiet. Der Anteil der Wärme aus der KWK beträgt im Nahwärmemix 50 %. Dies ist die Mindestforderung gemäß EEWärmeG, wenn die KWK als Ersatzmaßnahme angewendet werden soll.

Fernwärme liegt in unmittelbarer Nähe in der Kurt-Schumacher-Straße an. Eine Erschließung wäre hydraulisch möglich und die erforderliche Leistung für das Gebiet steht zur Verfügung. Als gegebenenfalls zweiter Anschlussweg käme eine weitere Verbindung über die geplante Brücke zur Berliner Straße infrage. Bei diesem Weg wären die Anschlussleitungen jedoch deutlich länger und die Anbringung der Fernwärmeleitungen keine Vorzugsvariante.¹⁶

Die Erschließung mit Erdgas würde über die Gashochdruckleitung am Wilhelm-Liebknecht-Platz und die Heranführung über die Kurt-Schumacher-Straße erfolgen oder im nördlichen Bereich unter der zu errichtenden Brücke am Anschlusspunkt Berliner Straße/Ecke Roscherstraße.¹⁷

Tab. 11 Versorgungsvarianten

Pos.	Einheit	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Bezeichnung		Einzelanschluss Fernwärme	Einzelversorgung Erdgaskessel und Solarthermie	Nahwärmeversorgung mit BHKW und Erdgasspitzenlastkessel
Wärmebedarf	kWh/a	7.102.025	7.102.025	7.102.025
Installierte thermische Leistung	kW	4.344	4.344	5.616
Installierte elektrische Leistung	kW	0	0	405
thermische Arbeit	kWh/a	7.102.025	7.102.025	7.891.138
elektrische Arbeit	kWh/a	0	0	2.023.127

¹⁶ SWL, Netz Leipzig.: Abstimmungstermin zur Fernwärme im Planungsgebiet 05.05.2017.

¹⁷ Netz Leipzig: E-Mail-Korrespondenz vom 08.05.2017

Pos.	Einheit	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Eingesetzte Endenergie	kWh/a	/	6.707.468	10.676.740
Gesamtnutzungsgrad	%	/	106	92,86

Für die Berechnung der Einzelversorgungsvarianten 1 und 2 sowie die Auslegung der HAST für Variante 3 wurde ein Gebäude angesetzt, welches im Mittel den Energiebedarfen der gesamten geplanten Bebauung entspricht.

Die technische Auslegung dient der Ermittlung wirtschaftlicher Kenngrößen und der Berechnung der zu erwartenden CO₂-Emissionen. Die Wirtschaftlichkeitsrechnung basiert auf der in der VDI 2067¹⁸ zusammengefassten Annuitätenmethode, in der die auftretenden jährlichen Kosten¹⁹ getrennt nach ihrer Herkunft berechnet werden. Die kapitalgebundenen Kosten umfassen die Investitionskosten für die Wärmeerzeuger (die hausseitigen Aufwendungen für Heizkörperverrohrung, Heizkörper und Installation sind nicht enthalten), die bedarfsgebundenen Kosten beinhalten die auftretenden Kosten für den Einsatz der Energieträger, die betriebsgebundenen Kosten umfassen die Aufwendungen für die Wartung und Instandsetzung und die sonstigen Kosten beinhalten Abgaben für Versicherungen und ähnliches. Die Variante 3 beinhaltet weiterhin die Erlöse aus dem vollständigen Absatz des Stroms in das öffentliche Stromnetz. Der angenommene Strompreis entspricht einem angenommenen Preis bei Absatz im Baseload-Band an der EEX. In der Summe ergibt sich ein jährlicher Kostenbeitrag für die Gesamtanlage. Für die Fernwärmeversorgungsvarianten basieren die bedarfsabhängigen Kosten auf den Verbrauchspreisen für die Fernwärme in Leipzig. Die betriebsabhängigen Kosten resultieren aus dem Leistungs- und Verrechnungspreis. In den drei Varianten wurden keine Fördermöglichkeiten (bspw. BAFA) betrachtet, da der Umsetzungszeitraum je nach Baufeld unterschiedlich sein wird und die Entwicklung der Förderlandschaft zu volatil ist, um eine Aussage treffen zu können, die für den gesamten Zeitraum der Bautätigkeiten im Planungsgebiet gültig sein würde.

Der Berechnung der bedarfsgebundenen Kosten liegen die Verbrauchspreise und Preissteigerungsraten nach Tab. 12 zugrunde. Es gilt hierbei jedoch zu beachten, dass die Grundpreise für einen Fernwärmeanschluss die einer Erdgasversorgung deutlich übersteigen. Die Kosten werden individuell je nach Anschlussgröße berechnet.

¹⁸ VDI 2067: Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen, September 2012.

¹⁹ Die Aufstellung der Kosten ist eine reine Nettokostenrechnung und betrachtet keine Steuern oder Abgaben. Dies betrifft auch alle folgenden Kostenrechnungen.

Tab. 12 Arbeitspreise und Preissteigerungsraten

Energieträger	Wert [€/kWh]	Jährliche Steigerung [%] ²¹
Erdgas ²⁰	0,054	2
Strom (Verkauf) ²¹	0,04	4
Fernwärme ²²	0,0548	2

Tab. 13 angesetzte Investitionskosten²¹

Pos.	Variante	Einheit	Wert
Brennwertkessel Erdgas (120 kW)	2	€	9.500
Sonnenkollektor (81 m ²)	2	€	37.000
Wärmeübergabestation (120 kW)	1,3	€	10.000
Hausanschlusskosten Fernwärme	1	€	10.000
Hausanschlusskosten Erdgas	1	€	5.000
Nahwärmenetz (2.170 m)	3	€	1.365.000
BHKW (790 kW thermisch) inkl. Verteilung NW-Netz	3	€	253.000
Spitzenlastkessel Erdgas (4.400kW)	3	€	25.000

Tab. 14 Ergebnisse des Versorgungsvariantenvergleichs

Pos.	Einheit	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Bezeichnung		Einzelanschluss Fernwärme	Einzelversorgung Erd- gaskessel und Solar- thermie	Nahwärmeversorgung mit BHKW und Erd- gasspitzenlastkessel
Investitionskosten für den Bauträger	€	740.000	1.901.200	2.013.209
kapitalgebundene Kos- ten	€/a	49.740	127.793	135.319
bedarfsgebundene Kosten	€/a	463.726	472.733	679.461
betriebsgebundene Kosten	€/a	213.156	61.584	126.996
sonstige Kosten	€/a	0	19.012	16.532

²⁰ Preisblatt Erdgas Stadtwerke Leipzig, Stand April 2017

²¹ Annahmen seecon

²² Preisblatt Fernwärme Stadtwerke Leipzig, Stand April 2017²²

Pos.	Einheit	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Erlöse	€/a	0	0	115.953
Summe	€/a	726.622	681.122	842.355
CO2-Emissionen Wärme	t/a	1.281,92	1.656,74	1.364,43
CO2-Emissionen (spe- zifisch)	g/kWhend	180,50	247,00	192,12
Endenergieeinsatz	kWh/a	/	6.707.467,68	10.676.739,69
Primärenergiefaktor	1	0,31	1,04	0,90
Primärenergieeinsatz	kWh/a	2.201.627,63	7.378.214,45	6.362.896,36
Wärmegestehungs- preis	Ct/kWh	10,23	9,59	11,86

In der Summe zeigt sich die Versorgung über Erdgaskessel in Verbindung mit Solarthermie als günstigste Variante zur Wärmebereitstellung. Im Bereich der für den Investor fälligen Investitionskosten ist die Variante 1 hingegen deutlich günstiger. Für die Variante 3 wurde angenommen, dass die Errichtung und der Betrieb durch den Investor erfolgen würden. Es ist für die realistische Umsetzung aber anzunehmen, dass die Investition und der Betrieb durch einen Contractor erfolgt. Die für den Abnehmer resultierenden Kosten würden sich durch die entstehenden Contractingkosten in dieser Variante noch weiter erhöhen. Die Aufstellung der Kosten ist eine reine Nettokostenrechnung und betrachtet keine Steuern oder Abgaben. Der resultierende Wärmegestehungspreis ist nicht mit dem aktuellen Arbeitspreis einer Gasversorgung zu vergleichen. Er beinhaltet sämtliche über die Laufzeit der Wärmeversorgungsanlage anfallenden Kosten und bezieht diese auf die bereitgestellte Wärmemenge.

Der Vergleich zwischen den Versorgungsvarianten sollte nicht allein auf wirtschaftlichen Parametern basieren, sondern die resultierenden CO₂-Emissionen und die Primärenergieeinsätze mit erfassen.

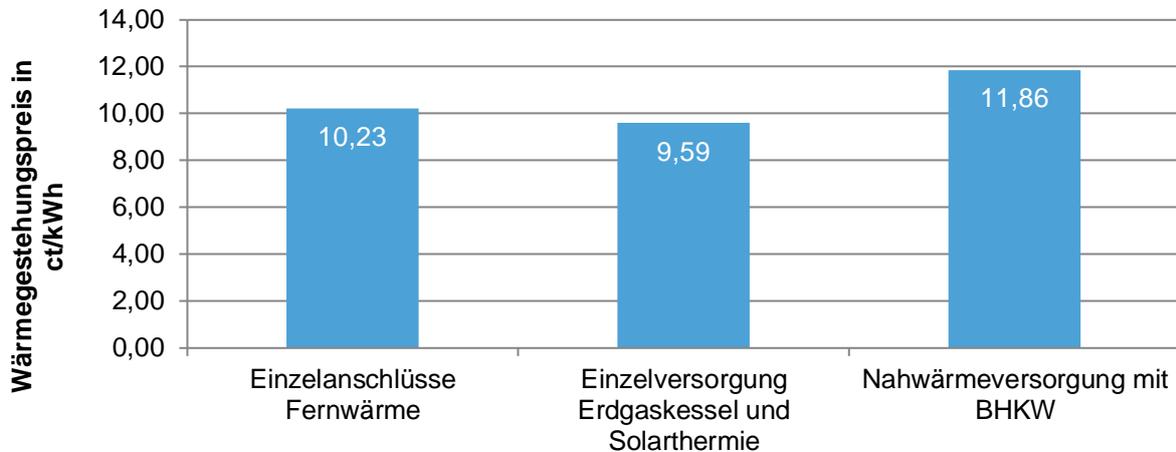


Abb. 4 Wärmepreise der Wärmeversorgungsvarianten

Die aus der Wärmeversorgung resultierenden CO₂-Emissionen nach Abb. 5 zeigen, dass die aus der Fernwärme resultierenden am geringsten sind. Die Variante 2 der Versorgung über Erdgaskessel weist trotz der zusätzlichen Deckung über die Solarthermieanlagen die größten Emissionen auf. In Variante 3 werden im Vergleich zur Variante 1 etwas erhöhte CO₂-Emissionen erreicht.

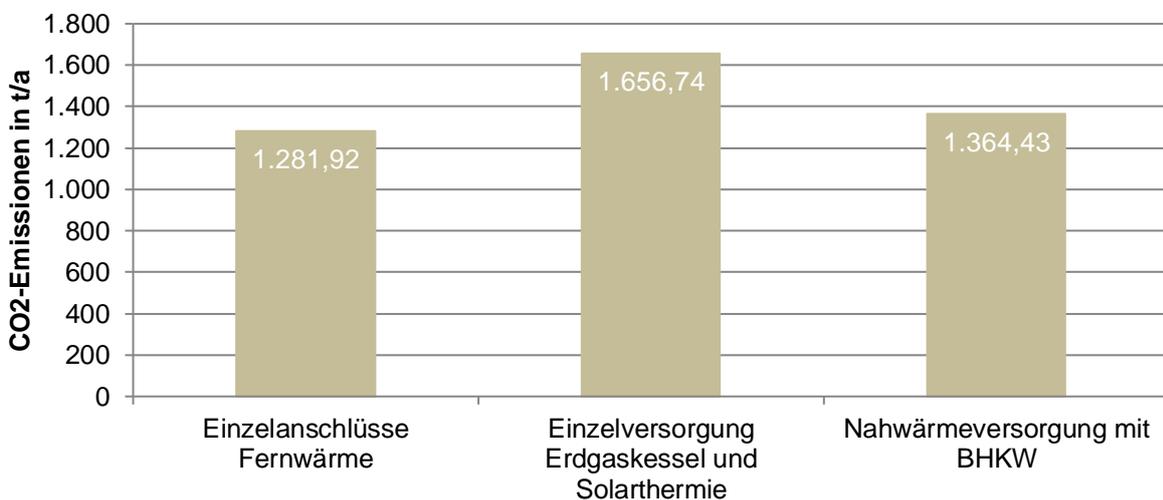


Abb. 5 CO₂-Emissionen aus den Wärmeversorgungsvarianten

Der ökologische Vorteil der Fernwärme wird im Vergleich der Primärenergiefaktoren gemäß Abb. 6 noch deutlicher. Der Primärenergiefaktor im Verbundnetz der Fernwärme Leipzig ist mit einem Wert von 0,31 zertifiziert. Der aus dem Erdgaseinsatz resultierende Primärenergieaufwand schlägt sich in Variante 2 mit einem Faktor von 1,04 nieder. In Variante 3 wird ein

etwas niedrigerer Wert von 0,9 erreicht, welcher aus der Einspeisung des erzeugten Stroms resultiert.

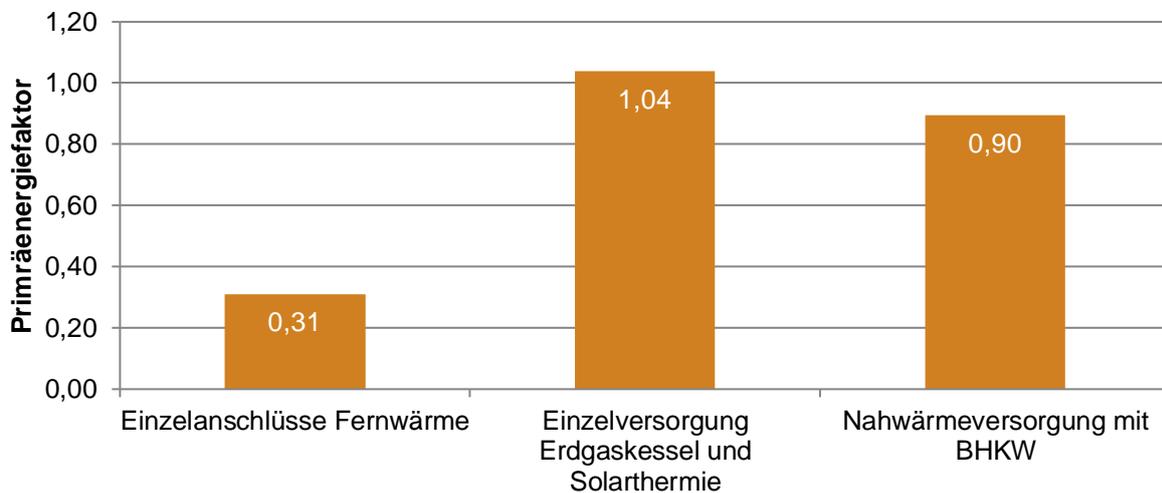


Abb. 6 Primärenergiefaktor der Versorgungsvarianten

3 Empfehlung für das Planungsgebiet

Für die im Planungsgebiet vorgesehenen Objekte ist ein Anschluss an das Fernwärmeverbundnetz der Stadtwerke Leipzig zu empfehlen. Der vergleichsweise geringe Primärenergiefaktor in Höhe von 0,31 wirkt sich sehr begünstigend auf die Energieeffizienz der anzuschließenden Gebäude aus. Für die entsprechenden Nachweise gemäß der EnEV wird dadurch der Primärenergiebedarf im Vergleich zu anderen Versorgungsvarianten deutlich verringert.

Für Neubauten findet ebenfalls das EEWärmeG Anwendung. Es beinhaltet konkrete Anforderungen an die Qualität der eingesetzten Technologie zur Beheizung des Gebäudes. Mit Stand 2017 sind für die Beheizung eines Gebäudes nach EEWärmeG²³ erneuerbare Energien zu bestimmten Anteilen einzusetzen. Als Ersatzmaßnahme kann auch Fernwärme eingesetzt werden, welche zu 50 % aus der Kraft-Wärme-Kopplung kommt. Im Falle der Fernwärme der Stadtwerke Leipzig beträgt der KWK-Anteil 99,6 %. Ein Erfüllen der gesetzlichen Anforderungen ist damit problemlos möglich.

Ein wesentlicher Vorteil der zentralen Wärmeerzeugung und Verteilung über ein Wärmenetz ist die Vermeidung von lokalen Kohlenstoffdioxidemissionen oder Feinstaub. Bei Nutzung der Fernwärme werden für die Wärmeversorgung im Planungsgebiet gar keine Emissionen verursacht.

²³ Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz vom 7. August 2008 (BGBl. I S. 1658), das zuletzt durch Artikel 9 des Gesetzes vom 20. Oktober 2015 (BGBl. I S. 1722) geändert worden ist

Die Preisgestaltung der reinen Fernwärmelieferung ist über die Aufteilung in den verbrauchsbezogenen Arbeitspreis, dem von der Heizlast bestimmten Leistungspreis und einem Verrechnungspreis transparent dargestellt. In den vergangenen Jahren wurde der Fernwärmepreis deutlich reduziert, was die Fernwärme konkurrenzfähig zur bis dahin günstigeren reinen Erdgasversorgung gemacht hat. Für die Nutzer im Planungsgebiet entsteht durch den Anschluss an die Fernwärme ein für Leipzig übliches und nicht überteuertes Kostenniveau für die Wärme. Für die Stadt Leipzig ist der Anteil kommunaler Wertschöpfung im Falle einer Nutzung der Fernwärme im Vergleich zu den anderen möglichen Wärmeversorgungsvarianten am höchsten. Im Vergleich der Wärmepreise nach Abschnitt C2 zeigen sich für die Fernwärme etwas höhere Kosten als beim Einsatz konventioneller Erdgaskessel in Verbindung mit Solarthermie. Hierbei ist jedoch noch zu beachten, dass durch den Einsatz von Kesseln Platz für die Schornsteine und die Solarspeicher in den Gebäuden von der verwertbaren Fläche abgezogen werden muss. Dies ist bei Einsatz von Fern- oder Nahwärme nur im geringen Maße der Fall. Die ohnehin höheren Kosten einer Wärmebereitstellung aus einem KWK-Nahwärmenetz würden sich bei Einbindung eines Contractors noch weiter erhöhen, was diese Variante aus wirtschaftlichen Gründen ausschließt und der Fernwärme den Vorzug gibt.

Dem in den kommenden Jahren stärker werdenden Druck, die Fernwärme in ihrer Effizienz zu verbessern, soll durch den Einsatz solarer Wärme in Verbindung mit dezentraler Einspeisung in Leipzig begegnet werden. Das Prinzip der HANEST soll hierbei in ersten Pilotvorhaben in den kommenden Jahren erprobt werden. Schulen und angeschlossene Turnhallen eignen sich als Standorte besonders. Daher sollte auch für den geplanten Schulstandort im Planungsgebiet die Möglichkeit einer Errichtung einer Solarthermieanlage nicht ausgeschlossen werden. Nach Rücksprache mit den zuständigen Stellen bei den Stadtwerken Leipzig und der Netz Leipzig wird die prinzipielle Bereitschaft zur Errichtung und dem Betrieb einer solchen Anlage zur dezentralen Einspeisung von Solarenergie geäußert.²⁴ Als mögliche Standorte kämen neben der Schule mit Turnhalle auch zusätzlich die Gebäude in den Baufeldern D1 und D2 in Frage.

Es ist festzuhalten, dass für den Investor hierbei keine zusätzlichen Aufwendungen zur Installation oder dem Betrieb einer solchen Anlage entstünden. Die Anlage würde sich im Eigentum der SWL bzw. Netz Leipzig befinden, welche insbesondere aus Gründen der Regelanforderungen den steten Zugriff auf die Betriebsführung der HANEST haben müssen.

D Kälteversorgung

Der Kältebedarf und die Art der Kälteversorgung stehen in einem engen Zusammenhang zur Nutzungsstruktur innerhalb eines Gebäudes. Konventionelle Kompressionskältemaschinen nutzen zirkulierende Kältemittel zur kontrollierten Abfuhr von Wärmelasten. Die notwendige

²⁴ SWL, Netz Leipzig.: Abstimmungstermin zur Fernwärme im Planungsgebiet 05.05.2017.

Verdichtung erfolgt durch Verdichter, die elektrisch angetrieben werden. Die Technologie ist am stärksten verbreitet und wird vor allem im Bestand eingesetzt, um gezielt einzelne Räume oder ganze Gebäudebereiche zu kühlen. Die Installationskosten für die Geräte selbst und die Zufuhr der Hilfsenergie (hier Strom) sind relativ gering. In dem Einsatz von elektrischen Strom zum Betrieb der Kühlgeräte liegt der entscheidende Nachteil der Technologie, da dieser bei Bezug des deutschen Strommixes höherer CO₂-Emissionen verursacht als alternative Technologien und im Vergleich zu Wärmepreisen deutlich kostenintensiver im Betrieb ist.

Im Gegensatz zu den mechanisch angetriebenen Klimageräten kommen für das Planungsgebiet auch thermisch arbeitende Kältemaschinen in Frage. Hierbei wird die im Prozess notwendige Verdichtung durch eine Ab- bzw. Adsorption des Kältemittels erreicht. Durch Wärmezufuhr wird das Kältemittel aus seiner Bindung getrieben und erhöht damit die Verdichtung im System. Das Verfahren thermischen Kältemaschinen wird vor allem im Zusammenhang mit der Kraftwärmekopplung eingesetzt, also der Wärmebereitstellung aus BHKW oder Großkraftwerken. Dadurch entsteht der Begriff der Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung (KWKK). Die Wärme wird in umgesetzten Projekten dann entweder direkt von der KWK-Anlage (bspw. BHKW im Gebäude) oder indirekt (Fernwärmenetz) zur Kältemaschine geleitet. In der Leipziger Innenstadt wird dieses Verfahren auf Basis des Wärmebezugs aus dem Fernwärmeverbundnetz in einigen Objekten eingesetzt.

Für die Fernwärmebetreiber liegt der entscheidende Vorteil eines solchen Angebots darin, dass auch in den warmen Sommermonaten Wärme abgesetzt werden kann und damit die gekoppelte Stromproduktion effizient erfolgen kann. Es ist jedoch zu beachten, dass das notwendige Temperaturniveau für optimale Wirkungsgrade je nach eingesetzter Technologie relativ hoch sein muss, was im Gegensatz zum Ziel einer sommerlichen Absenkung der Temperaturniveaus im Fernwärmenetz steht.

In der Investition liegen thermische Kälteanlagen über denen konventioneller Alternativen. Im Betrieb sind die Kosten aber deutlich geringer. Der ökologische Nachteil konventioneller elektrischer Verdichter kann durch den Bezug bzw. der direkten Erzeugung von Ökostrom ausgeglichen werden. Damit wird das entscheidende Kriterium zur Wahl zwischen einer konventionellen und einer thermischen Kältemaschine die jährliche Abnahmemenge und deren Struktur sein. Diese Entscheidung kann nur für jedes einzelne Gebäude im Planungsgebiet erfolgen.

E Stromversorgung

1 Anschluss an das öffentliche Stromversorgungsnetz

Die Versorgung mit elektrischer Energie wird im Planungsgebiet über ein öffentliches Stromnetz erfolgen. Der Betrieb des öffentlichen Stromnetzes erfolgt auf dem Gebiet der Stadt Leipzig durch die Netz Leipzig GmbH als Konzessionsnehmer. Die notwendige Anschlussleistung der Objekte an das Niederspannungsnetz wird bestimmen, ob die im bestehenden Niederspannungsnetz anliegende Leistung ausreicht, oder weitere Trafostationen vorzusehen sind, die die notwendige Energie aus dem Mittelspannungsnetz bereitstellen. Für die Privatkunden in den Wohngebäuden wird es durch die Regelung des Energiewirtschaftsgesetzes immer die Möglichkeit geben, ihren Stromversorger selbst zu wählen. Der real vor Ort anliegende Strommix und die daraus resultierenden CO₂-Emissionen werden sich daher von dem bilanziell bezogenen Strommix unterscheiden. Die Aufstellung und erneuerbaren Energieanlagen zur Stromerzeugung führt damit zwar zur realen Erhöhung des Ökostroms im Netz, aber nicht zwangsläufig zu einem klimaverträglicheren Strombezug der Abnehmer.

2 Dezentrale Stromerzeugung im Planungsgebiet

2.1 Photovoltaik

Die direkte Umwandlung der Solarstrahlung in eine elektrische Spannung mittels Photovoltaikmodulen ist eine etablierte Technologie zur dezentralen Stromerzeugung im urbanen Raum. Die durch die Module bereitgestellte Energie wird über Wechselrichter in die üblichen Parameter einer Haustromanlage überführt und entweder direkt im Haus genutzt oder zumindest teilweise in das öffentliche Netz abgegeben.

Durch die hohen Anteile gewerblicher Nutzung im Planungsgebiet ist auch in den sonnenreichen Stunden mit einem hohen Abnahmeniveau von Strom zu rechnen. Dies würde den Anteil direkt im Gebiet absetzbaren Solarstroms gegenüber einer reinen Wohnnutzung deutlich erhöhen.

Um die erreichbaren Strommengen quantifizieren zu können, lassen sich die Erträge anhand der zur Verfügung stehenden Fläche für Photovoltaikanlagen auf den Dächern der Gebäude abschätzen. Aufgrund der notwendigen technischen Aufbauten mit der daraus resultierenden

Verschattung von Teilbereichen der Dächer ist jedoch davon auszugehen, dass eine vollständige Nutzung der zur Verfügung stehenden Dachfläche zu Zwecken der Stromerzeugung nicht möglich sein wird. Es ist weiterhin zu beachten, dass eine Konkurrenz zu solarthermischen Anlagen vorliegt.

Um die Leistungsfähigkeit der Photovoltaik zu beurteilen, lässt sich der erreichbare Maximalertrag je Baufeld in Relation zum dort erwartbaren Strombedarf nach Abschnitt B5 setzen. Für die Berechnung wurden folgende Annahmen getroffen.

Tab. 15 Annahmen zur Berechnung des Photovoltaikpotenzials

Parameter	Einheit	Wert
Strombedarf	kWh/a	6.760.180
spezifischer Ertrag	kWh/kWpa	950
spezifische Leistung	kWp/m ²	0,16
nutzbare Dachfläche/Grundfläche	1	0,8
Modulfläche/nutzbarer Dachfläche	1	0,4

Tab. 16 Potenzial Photovoltaik je Baufeld

Baufeld	Grundfläche [m ²]	Dachfläche [m ²]	Modulfläche [m ²]	installierbare Leistung [kWp]	erzielbarer Ertrag [kWh/a]	Deckungsgrad [%]
A1	1.326	1.061	424	68	64.480	34%
A2	1.326	1.061	424	68	64.497	36%
A3	1.196	957	383	61	58.173	36%
A4	761	608	243	39	36.991	36%
A5	585	468	187	30	28.454	34%
B1	2.042	1.634	653	105	99.322	22%
B2	2.946	2.357	943	151	143.284	26%
B3	2.374	1.899	760	122	115.462	26%
C1	1.938	1.550	620	99	94.264	17%
C2	4.038	3.230	1.292	207	196.384	20%
C3	4.909	3.927	1.571	251	238.774	27%
C4	2.174	1.739	696	111	105.743	9%
D1	1.500	1.200	480	77	72.960	13%
D2	1.500	1.200	480	77	72.960	13%
Summe	28.613	22.891	9.156	1.465	1.391.748	20%

Es zeigt sich, dass bei Ausreizung der zur Verfügung stehenden Fläche 20 % des Strombedarfs durch konventionelle Aufdachsolaranlagen decken lässt. Der Anteil ließe sich durch die Installation der von Fassadenanlagen noch erhöhen. Aufgrund der Ausrichtung des Baugebietes und des sehr geringen Anteil optimal ausgerichteter und gering verschatteter Fassaden ist aber nur ein Potenzial für die Fassadenflächen von einzelnen Gebäuden in den Baufeldern B und C sowie des Hochhauses zu vermuten. Dies kann in den Einzelobjektplanungen individuell bestimmt und mit entsprechenden Anlagen gehoben werden.

Die Nutzung von Photovoltaik ist vor der Errichtung der Gebäude individuell zu prüfen. Die Maßgabe sollte hierbei die möglichst hohe Eigennutzung des Stroms in den Gebäuden unter wirtschaftlichen Rahmenbedingungen sein.

2.2 Kraftwärmekopplung

Das in der Variantenuntersuchung zur Wärmeversorgung beschriebene Nahwärmenetz wird über ein BHKW versorgt. Die aus dem KWK-Prozess resultierende Elektroenergie kann prinzipiell auch direkt im Planungsgebiet verbraucht werden. Die bilanzielle Gutschrift kann auch bei Nutzung entsprechender Vertragsmodelle direkt erfolgen. Das im Abschnitt C2 beschriebene BHKW mit rund 400 kW elektrischer Leistung würde eine Strommenge in Höhe von 2.023 MWh/a zur Verfügung stellen. Dies entspricht bei einem Gesamtstromverbrauch von 6.760 MWh/a einem Deckungsgrad von rund 30 %.

F Energie- und CO₂-Bilanz der Gebäude

Auf Basis der untersuchten Varianten lassen sich die Energieströme zur Deckung der Bedarfe innerhalb der Gebäude im Planungsgebiet quantifizieren. Wiederum auf Basis dieser Bedarfswerte und der aus der Art der Wärmeversorgung resultierenden Effizienz ergeben sich in einem weiteren Schritt die Primärenergiebedarfe und CO₂-Emissionen.

Für die Bilanzierung wurde angenommen, dass die Stromversorgung aus dem öffentlichen Netz erfolgt. Der für die CO₂-Bilanz relevante Strommix entspricht dem bundesdeutschen Schnitt.²⁵ Der Primärenergiebedarf folgt aus dem aktuell gültigen Wert für den Strombezug in Höhe von 1,8.²⁶ Für den Sektor Wärme wurde der vollständige Bezug von Fernwärme aus

²⁵ Umweltbundesamt: Emissionsfaktor Stromverbrauch 2015, <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/energieversorgung/strom-waermeversorgung-in-zahlen>, letzter Zugriff Mai 2017.

²⁶ EnEV: http://www.gesetze-im-internet.de/enev_2007/BJNR151900007.html, letzter Zugriff Mai 2017

dem Verbundnetz der Stadtwerke Leipzig nach Abschnitt C2 sowie die Installation von Solarthermieranlagen zur dezentralen Einspeisung von solarer Wärme in das Fernwärmenetz angesetzt.

Im Ergebnis nach Tab. 17 und Abb. 7 zeigt sich für die reinen Endenergiebedarfe eine Parität zwischen Wärme- und Strombedarf. Bei der Bilanzierung nach eingesetzter Primärenergie und den resultierenden CO₂-Emissionen wird aber eine Überhand des Sektors Strom deutlich. Dies resultiert vor allem aus dem nahezu vollständigen Anteil von KWK-Wärme im Fernwärmemix des Netzes in Leipzig (vgl. Abschnitt C1.2.1).

Tab. 17 Ergebnis der Energie- und CO₂-Bilanz für das Planungsgebiet

Sektor	Endenergiebedarf [MWh/a]	Primärenergiebedarf [MWh/a]	CO ₂ -Emissionen [t/a]
Wärme	7.102	2.202	1.277
Strom	6.824	12.284	4.006
Summe	13.926	14.486	5.283

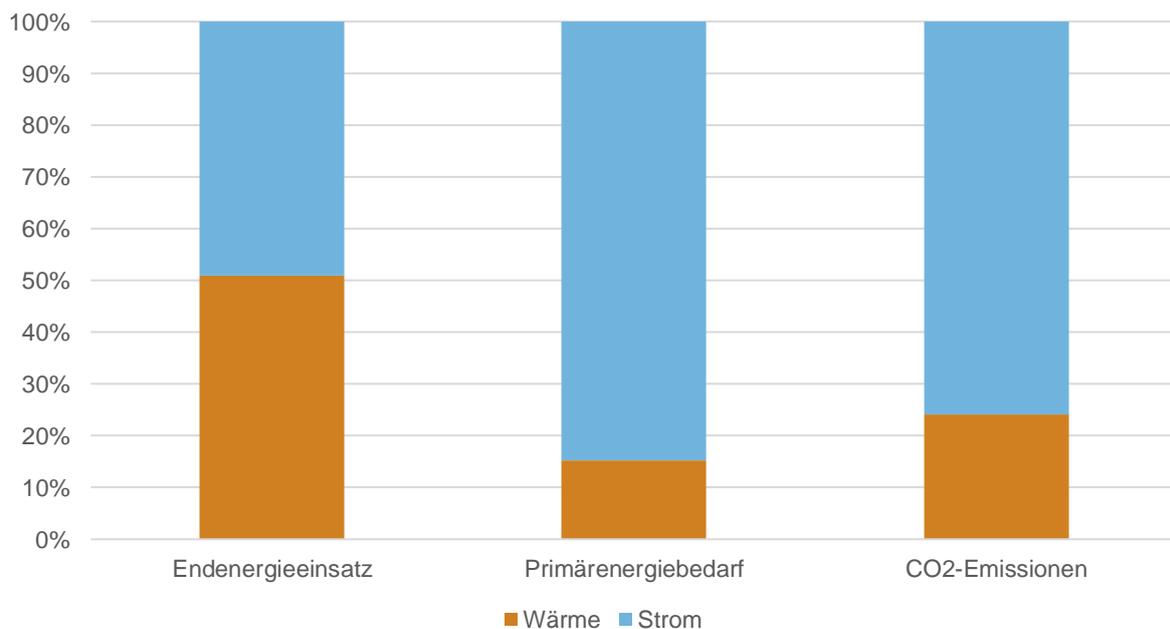


Abb. 7 Verteilung der Energiebedarfe und CO₂-Emissionen auf die Sektoren Wärme und Strom

G Fazit

Die Energiebedarfe im Planungsgebiet Hauptbahnhof Westseite teilen sich fast gleich auf die Sektoren Strom und Wärme auf. Dies ist ein typisches Bild für nach den aktuellen Anforderungen der EnEV errichtete Gebäude. Für die in Frage kommenden Wärmeversorgungs-lösungen

ergibt sich daraus die Herausforderung, auch auf einem vergleichsweise geringen Leistungsniveau wettbewerbsfähige Preise für die Nutzer bereitzustellen. In der Untersuchung hat sich gezeigt, dass der Anschluss an die unmittelbar anliegende Fernwärme dazu beiträgt, die Primärenergiebedarfe und die CO₂-Emissionen im Vergleich zu anderen konventionellen Versorgungslösungen (Erdgaskessel oder BHKW) gering zu halten. Weiterhin bietet ein Anschluss des Planungsgebiets an die Fernwärme der Stadt Leipzig die Möglichkeit, dezentrale Anlagen zur Einspeisung von solarer Wärme einzubinden. Dies kann beispielsweise auf der geplanten Schule und den umliegenden Gebäuden erfolgen. Der solare Deckungsgrad am Gesamtwärmebedarf des Quartiers würde 10 % betragen. Im Rahmen des Schulumbaus an der Karl-Heine-Straße 22b wird eine solche Anlage erstmals in Leipzig zum Einsatz kommen. Wenn die technischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen es zulassen, wird diese Maßnahme auch im Planungsgebiet *Westlich des Hauptbahnhofs* umgesetzt.

Für den Investor stellt die Nutzung der Fernwärme in der Investition den günstigsten Fall der untersuchten Varianten dar. Bei Bewertung der entstehenden Kosten über einen Betrachtungszeitraum von 20 Jahren ist die Fernwärme konkurrenzfähig und würde bei aktueller Vertriebspolitik den üblichen Wärmepreisen in Leipzig entsprechen.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 Flächenbilanz Nutzungsart	8
Abb. 2 Wärmebilanz der Baufelder nach Nutzungsarten	10
Abb. 3 Strombedarfsverteilung nach Nutzungsart	13
Abb. 4 Wärmepreise der Wärmeversorgungsvarianten	28
Abb. 5 CO ₂ -Emissionen aus den Wärmeversorgungsvarianten	28
Abb. 6 Primärenergiefaktor der Versorgungsvarianten	29
Abb. 7 Verteilung der Energiebedarfe und CO ₂ -Emissionen auf die Sektoren Wärme und Strom	35

Tabellenverzeichnis

Tab. 1	Ziele der Energiewende in Deutschland	5
Tab. 2	Flächenbilanz der Baufelder (Stand Mai 2017)	7
Tab. 3	spez. Wärmebedarfe für Heizung und Warmwasser nach Nutzungsart bezogen auf BGF	9
Tab. 4	Wärmebilanz der Baufelder in kWh/a für Heizung und Warmwasser	9
Tab. 5	Vollbenutzungsstunden nach Nutzungsart	10
Tab. 6	Wärmeleistungsbilanz nach Baufeldern und Nutzungsart in kW	11
Tab. 7	spez. Strombedarfe nach Nutzungsart bezogen auf BGF	12
Tab. 8	Strombedarfsbilanz nach Nutzungsart und Baufeldern in kWh/a	12
Tab. 9	Beispielrechnung Geothermie	15
Tab. 10	Potenzial HANEST	23
Tab. 11	Versorgungsvarianten	24
Tab. 12	Arbeitspreise und Preissteigerungsraten	26
Tab. 13	angesetzte Investitionskosten	26
Tab. 14	Ergebnisse des Versorgungsvariantenvergleichs	26
Tab. 15	Annahmen zur Berechnung des Photovoltaikpotenzials	33
Tab. 16	Potenzial Photovoltaik je Baufeld	33
Tab. 17	Ergebnis der Energie- und CO ₂ -Bilanz für das Planungsgebiet	35