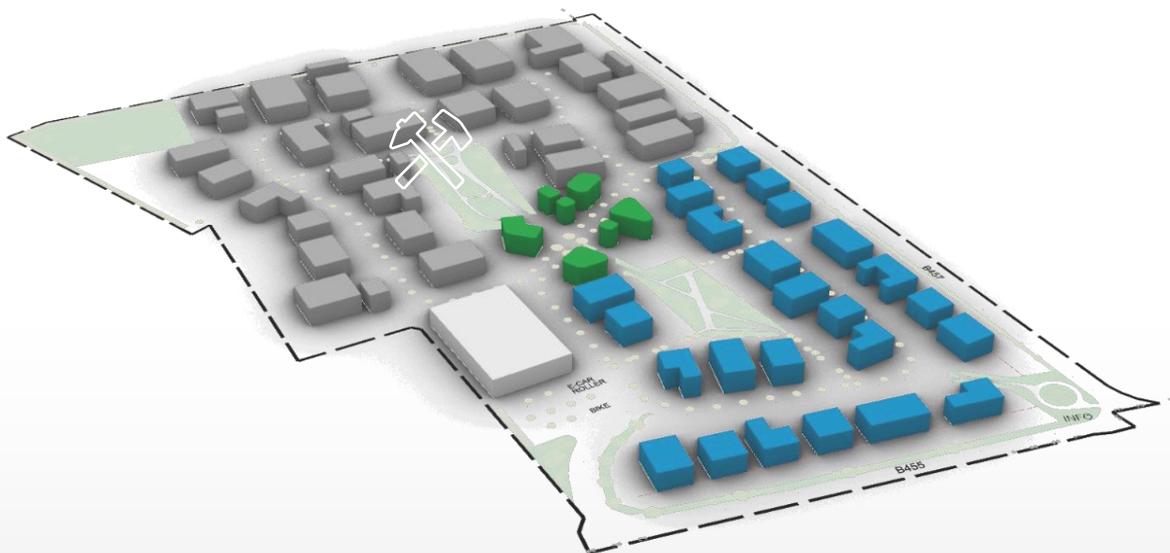


Energiekonzept für den Interkommunalen Gewerbepark Oberhessen

- Endbericht -



Impressum

Herausgeber:

Der Magistrat der Stadt Nidda
Fachbereich technisches Rathaus
Wilhelm-Eckhardt-Platz, 63667 Nidda

Redaktion, Satz und Gestaltung:

Seecon Ingenieure GmbH,
Spinnereistraße 7, Halle 14
04179 Leipzig

Stand bzw. Redaktionsschluss:

01.02.2023

Bildnachweis Titelseite:

© seecon

Anmerkung:

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird auf die Verwendung gendergerechter Sprache verzichtet. Alle geschlechtsspezifischen Bezeichnungen, die in generisch männlicher oder weiblicher Form benutzt wurden, gelten für alle sozialen Geschlechter gleichermaßen ohne jegliche Wertung oder Diskriminierungsabsicht.

Zusammenfassung

Mit dem vorliegenden Konzept verfügt die Stadt Nidda über ein Instrumentarium an Möglichkeiten zur nachhaltigen Entwicklung des Plangebietes „Interkommunaler Gewerbepark Hessen“. Es werden bauliche und energetische Aspekte der Baulandentwicklung beleuchtet sowie weiterführende Empfehlungen gegeben.

Ausgehend von der geplanten Ansiedlung der gewerblichen Unternehmen (u.a. kleines und großes Gewerbe sowie Büros, Dienstleistungen und Gastronomie) sowie der zu bebauenden Flächen und Geschossigkeit aus dem städtebaulichen Entwurf kann für die Versorgung des Plangebietes ein **Endenergiebedarf über Strom, Wärme und Kälte zwischen 7,02 GWh/a bis 12,22 GWh/a** festhalten werden. Demnach lässt sich durch die Realisierung der Neubauten auf einem höheren Gebäudeeffizienzstandard nach Passivhausniveau gegenüber den gesetzlichen Vorgaben nach Gebäudeenergiegesetz der Endenergiebedarf für Wärme deutlich reduzieren.

Im **Wärmesektor** kann die Versorgung der Gebäude über eine zentrale Versorgung mittels Wärmenetz oder dezentrale Einzelversorgungsanlagen erfolgen. Für die gesteckten Ziele eines klimaneutralen Gewerbeparks stehen verschiedene erneuerbare Energiequellen wie die solare Energie, Windkraft oder auch die Nutzung von Abwasserwärme sowie Biomasse zur Verfügung. Die Nutzung von Erdwärme ist aufgrund eines weitreichenden Wasserschutzgebietes ausgeschlossen.

Das **Potenzial** von Solarthermieanlagen übersteigt den Wärmbedarf deutlich. Aufgrund der Volatilität wird in Kombination mit Wärmespeichern ein Deckungsgrad von bis zu 41 % erreicht. Bei einer zentralen Wärmeversorgung über eine Heizzentrale könnte ein solarer Anteil über die Freiflächen von 20 % erzielt werden. Regionale Biomasse, in Form von Energieholz, nimmt einen Anteil am Deckungsgrad von bis zu 22 % ein. Diese lässt sich z.B. über Hackschnittel aus der Landschaftspflege gewinnen. Ein geringes Potenzial wird der Nutzung von Abwasser mit lediglich 6 % zugewiesen.

Im **Stromsektor** kann durch die Belegung der Dachflächen auf den Gebäuden der Unternehmen in Kombination mit einem Batteriespeicher ein potenzieller Deckungsgrad von 65 % erreicht werden. Weitere Fassadenmodule an der Südseite der Gebäude ermöglicht eine weitere Anhebung um rund 13 %. Freiflächen im westlich anliegenden Gebiet bieten weiteres Potenzial von 7 % Deckungsgrad am gesamten Endenergiebedarf für Strom. Letzteres findet insbesondere bei der Deckung des Strombedarfs von Wärmepumpen bei einer zentralen Wärmeversorgung über eine Heizzentrale Anwendung. Die Heizzentrale wäre im südwestlichen Plangebiet in der Mobilitätszentrale nahe der potenziellen Freifläche stimmig einzubinden.

Die **zentrale Wärmeversorgung** kann entlang der untersuchten Potenziale über verschiedene Energiesysteme realisiert werden. Um das Potenzial der Abwasserwärme oder Außen-

luft nutzbar zu machen, werden als die Wärmepumpen wesentlicher Erzeuger verstanden. Ergänzend sollte aus der regionalen Wertschöpfung Biomasse mittels Brennwertgeräte oder auch KWK-Anlagen genutzt werden. Alternativen bestehen in dem leitungsgebundenen Bezug von Biogas.

Im Bereich der nachhaltigen Mobilität kann auf Elektromobilität und/oder Wasserstoff gesetzt werden. Im Bereich **Elektromobilität** ergibt sich bei einer jährlichen Fahrleistung von 14.000 km ein Energiebedarf von ca. 2.000 kWh/a pro Fahrzeug. Wenn E-Fahrzeug-Besitzer 25 % der benötigten Energie im Plangebiet laden, werden ca. 324 MWh pro Jahr benötigt.

Für die Implementierung der **E-Ladestation** muss eine entsprechende Energienetzleistung vorhanden sein. Für private Ladestationen ist eine Leistung zwischen 7 und 11 kW anzunehmen, bei öffentlichen Ladestationen in der Regel 22 kW. Für die Erschließung des Neubaugebietes bietet es sich darüber hinaus an, Leerrohre für einen späteren Ausbau der Ladeinfrastruktur vorzusehen.

Im Bereich **Wasserstoff** ergibt sich ein Potenzial von 2,4 GWh/a. Dies entspricht 12.307 Tankfüllungen, mit denen 800 PKW 14 bis 16 Tankfüllen jährlich erhalten und jeder Pkw etwa 7.500 km/a fahren kann. Den aktuell hohen Verlusten bei der Erzeugung und Umwandlung zur Speicherung steht der Vorteil gegenüber, dass überschüssiger Strom in Form von Wasserstoff am Standort gespeichert und flexibel nutzbar gemacht werden kann. Hinzu kommt ein positiver CO₂-Effekt aufgrund eines minimierten Gesamtausstoßes.

Die daraus abgeleiteten **Versorgungsvarianten** werden entsprechend den verursachten CO₂-Emissionen, der Wirtschaftlichkeit und der Genehmigungsbedürftigkeit, der regionalen Wertschöpfung sowie der Versorgungssicherheit untersucht. Als **Vorzugsvariante** stellt sich eine Versorgung mittels Sole/Wasser-Wärmepumpe heraus, welche die Abwasserwärme nutzt, sowie einer Solarthermie- und Photovoltaik-Freiflächenanlage in Kombination mit einem Biomasse-Spitzenlastkessel. Eine weitere Option stellt die zusätzliche Einbindung einer Luft/Wasser-Wärmepumpe dar.

Im Vergleich empfiehlt sich bei einer **Einzelversorgung** die die Wärmebereitstellung über einen Biomasse-Kessel in Verbindung mit einer Solarthermie-Anlage. Eine Alternative besteht in der Versorgung mittels Luft/Wasser-Wärmepumpe, Heizstab und PV-Anlage oder auch einer Kombination aus beiden Systemen.

Die Entscheidung einer zentralen oder dezentralen Versorgung hängt letztendlich von verschiedenen Faktoren ab, welche im Konzept benannt sind. Für die **Umsetzung** eines klimaneutralen Gewerbegebietes ist es wichtig, die richtigen Vorgaben und Anreize gegenüber den ansiedelnden Unternehmen zu schaffen. Diese Kriterien können durch Festsetzungen im Bebauungsplan oder durch eine gerichtete Ansiedlungspolitik vorgegeben werden. Letztere soll durch ein Bepunktungssystem in einem Kriterienkatalog umgesetzt werden, für den das vorliegende Konzept mögliche energetische Bewertungskriterien benennt.

Abkürzungen und Einheiten

AbW/W-WP.....	Abwasser-Wasser-Wärmepumpe
AC.....	Wechselstrom
atro.....	absolut trocken
BauGB.....	Baugesetzbuch
BBSR.....	Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
BEG.....	Bundesförderung für effiziente Gebäude
BEW.....	Bundesförderung für effiziente Wärmenetze
BHKW.....	Blockheizkraftwerk
CcH ₂	komprimierter, gekühlter Wasserstoff
CGH ₂	komprimierter, gasförmiger Wasserstoff
cm.....	Zentimeter
COP.....	Coefficient of Performance
DC.....	Gleichstrom
DEC.....	Desiccative Evaporative Cooling
DIN.....	Deutsche Industrienorm
dm ³	Kubikdezimeter
DWA.....	Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.
EE.....	Erneuerbare Energien
EPS.....	Expandiertes Polystyrol
Eq.....	Äquivalent
EV.....	Einzelversorgung
GEG.....	GebäudeEnergieGesetz
GHD.....	Gewerbe, Handel und Dienstleistungen
GWh.....	Gigawattstunde
GWP.....	Global Warming Potential
h.....	Stunde
H ₂	Wasserstoff
ha.....	Hektar
KfW.....	Kreditanstalt für Wiederaufbau
Kfz.....	Kraftfahrzeug
kg.....	Kilogramm
km.....	Kilometer
KUP.....	Kurzumtriebsplantage
KWK.....	Kraft-Wärme-Kopplung
kWp.....	Kilowatt Peak
l.....	Liter
L/W-WP.....	Luft-Wasser-Wärmepumpe
LH ₂	flüssiger Wasserstoff
m.....	Meter
m ³	Kubikmeter
MIV.....	Motorisierter Individualverkehr
MW.....	Megawatt
NGF.....	Nettogrundfläche
Nr.....	Nummer
ÖPVN.....	Öffentlicher Personennahverkehr
PKW.....	Personenkraftwagen

PV	Photovoltaik
PVT	Photovoltaik und Solarthermie kombiniert
QV	Quartiersversorgung
RLT	Raumluftechnische Anlagen
s	Sekunde
S/W-WP	Sole-Wasser-Wärmepumpe
srm	Schüttraummeter
ST	Solarthermie
t	Tonne
TWW	Trinkwarmwasser
W	Watt
WGK	Wärmegestehungskosten
WRG	Wärmerückgewinnung

Inhaltsverzeichnis

IMPRESSUM	2
ZUSAMMENFASSUNG	3
ABKÜRZUNGEN UND EINHEITEN	5
INHALTSVERZEICHNIS	7
1 EINLEITUNG	10
1.1 Kontext und Zielsetzung	10
1.2 Vorgehen bei der Konzeptbearbeitung	11
2 VORBETRACHTUNGEN	13
2.1 Anforderungen an die Gebäudehülle	13
2.2 Klimafreundliche Energieversorgung	17
2.2.1 Stromversorgung.....	18
2.2.2 Wärmeversorgung.....	20
2.2.3 Kälteversorgung	21
2.3 Reduzierung des Energieverbrauchs.....	22
2.4 Mobilität	23
2.4.1 Elektromobilität.....	24
2.4.2 Wasserstoff	28
2.4.3 Umweltverbund	33
3 ALLGEMEINE STADT- UND QUARTIERSANALYSE	34
3.1 Stadt Nidda.....	34
3.1.1 Lage und Funktion.....	34
3.1.2 Infrastruktur und Verkehr	35
3.2 Bebauungsplangebiet „Interkommunaler Gewerbepark Hessen“	36
4 STÄDTEBAULICHER ENTWURF	39

5	ENERGIEBEDARFSERMITTLUNG	41
5.1	Gebäude	41
5.1.1	Methodik	41
5.1.2	Endenergiebedarf – Heizung, Warmwasser, Kühlung und Strom	46
5.2	Ladeinfrastruktur & E-Mobilität	47
5.3	Elektrolyse (Wasserstoff-Tankstelle)	48
6	POTENZIALANALYSE	49
6.1	Geothermie	50
6.2	Solare Energie	51
6.2.1	Photovoltaik	51
6.2.2	Solarthermie	56
6.2.3	Photovoltaikthermische Nutzung (PVT)	57
6.3	Abwasserwärme	58
6.4	Biomasse	59
6.4.1	Heckenprojekt Wetterau	60
6.4.2	Waldbestände	60
6.4.3	Kurzumtriebsplantagen	62
6.5	Windenergie	64
6.5.1	Kleinwindkraftanlagen bis 12 MW	64
6.5.2	Großwindkraftanlagen bis 5 MW	66
6.6	Wasserstoff	67
6.7	Industrielle Abwärme	69
6.8	Zusammenfassung der Potenziale	69
6.8.1	EE-Wärmepotenzial	69
6.8.2	EE-Strompotenzial	71
6.8.3	EE-Wasserstoff	73
7	VARIANTENVERGLEICH	74
7.1	Wärmebereitstellung über verschiedene Versorgungsvarianten	74
7.1.1	Energiebilanzen	77
7.1.2	Wirtschaftlichkeit	81

7.1.3	CO ₂ -Bilanz.....	86
7.1.4	Bewertung der Versorgungsvarianten	89
7.2	Strombereitstellung über solare Anlagen	96
8	UMSETZUNGSSTRATEGIE	99
8.1	Finanzierung und Förderung.....	99
8.1.1	Finanzierung für Betreiber – Quartiersversorgung	100
8.1.2	Finanzierung für Unternehmen.....	102
8.2	Bebauungsplan und Kriterienkatalog.....	104
8.2.1	Festsetzungen im Bebauungsplan.....	104
8.2.2	Kriterienkatalog.....	106
8.3	Ablaufplan Nahwärmelösung	108
	QUELLENVERZEICHNIS.....	111
	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	114
	TABELLENVERZEICHNIS.....	116
	ANLAGEN.....	117
	Parameterliste.....	117
	Mindestanforderungen BEW – Fördermodul I	118
	Mindestanforderungen BEW – Fördermodul II	119

1 Einleitung

1.1 Kontext und Zielsetzung

Das Thema der Energieversorgung hat nicht zuletzt durch den Krieg in der Ukraine enorm an Aufmerksamkeit und Wichtigkeit gewonnen. Hinsichtlich möglicher Versorgungsengpässe, aber vor allem in Bezug auf die Umweltverträglichkeit werden zukünftig hohe Anforderungen an die Energieversorgung von Industrie- und Gewerbegebieten gestellt.

Deutschlandweit wurden im Jahr 2020 28,5 % des Endenergieverbrauchs für industrielle Zwecke aufgewendet¹. Im Vergleich zu den deutschen Haushalten (Endenergieverbrauch 28,6 %) und dem Verkehrssektor (27,2 %) sind die Entwicklungen des Gewerbe- und Industriesektors zur Energieeinsparung und Substitution durch erneuerbare Energien noch nicht so weit fortgeschritten. Dies liegt unter anderem an fehlenden finanziellen Mitteln für energetische Erneuerungen, fehlendem Knowhow oder auch technischen Prozessen, welche kaum oder nur schwer durch rein erneuerbare Energien versorgungssicher betrieben werden können.

Im Rahmen der Entwicklung einer neuen Gewerbefläche (nachfolgend als Plangebiet bezeichnet) am Standort Nidda / Borsdorf (Oberhessen) soll ein Energiekonzept zur vertiefenden Auseinandersetzung für eine zukunftsweisende und ökologische Energieversorgung erstellt werden. Der neue interkommunale Gewerbepark Oberhessen soll ein hochattraktiver Gewerbestandort im Zeichen klimagerechter und nachhaltiger Stadtentwicklung werden. Dies gibt Anlass, sich mit der Fragestellung der Energieversorgung auseinanderzusetzen, um die genannten städtischen Ziele für das Entwicklungsgebiet zu erreichen und mögliche Energie-Versorgungsvarianten zu untersuchen.

Ziel des Energiekonzeptes ist es, unterschiedliche Energieversorgungen des zukünftigen Gewerbegebiets unter den drei Dimensionen der Nachhaltigkeit „Ökonomie“, „Ökologie“ und „soziokulturelle Aspekte“ zu untersuchen und eine mögliche Zielvariante für das Plangebiet aufzustellen. Das Energiekonzept soll dabei einen praxisorientierten Charakter aufweisen und in der späteren Umsetzung des Neubaugebiets unter Abwägung umweltrelevanter und wirtschaftlicher Aspekte Berücksichtigung finden.

¹ Vgl. Umweltbundesamt (2022)

1.2 Vorgehen bei der Konzeptbearbeitung

Bei der Erstellung des Energiekonzepts werden im ersten Teil, der Vorbetrachtung, allgemeine Informationen und nützliche Maßnahmen zur Energieeinsparung in Gewerbebetrieben zusammengetragen. Anschließend werden die vorhandenen Daten zum entsprechenden Quartier (nachfolgend Plangebiet) und des dazugehörigen städtebaulichen Entwurfs genauer betrachtet.

Dieser Entwurf und die Einschätzungen über mögliche Unternehmensansiedlungen bilden die Grundlage der anschließenden Energiebedarfsermittlung des Plangebiets. Als wesentlicher Bestandteil des Energiekonzepts werden sämtliche vorhandene Energiepotenziale für Wärme- und Strombereitstellung untersucht. Die daraus abgeleiteten Versorgungsvarianten werden in ihren ökonomischen und ökologischen Eigenschaften verglichen und lassen den Schluss auf eine empfohlene Vorzugsvariante zu. Abschließend werden Fördermöglichkeiten und mögliche Betreibermodelle thematisiert sowie kleine Exkurse zur Dachbegrünung und Festsetzungen im Bebauungsplan gegeben.

Vorbetrachtung und Quartiersanalyse

In einer informativen Vorbetrachtung werden Maßnahmen zur Reduzierung des Energiebedarfs im industriellen bzw. gewerblichen Kontext beschrieben. Weiterhin werden besondere Anforderungen an die Gebäudehülle sowie Möglichkeiten nachhaltiger Mobilität betrachtet. Der städtebauliche Entwurf wird anschließend aufgegriffen bildet im Zusammenhang mit dem Standort die Grundlage der weiteren Untersuchung.

Energiebedarfsermittlung und Potenzialanalyse

Als Hauptteil des Energiekonzepts wird der Status Quo des Plangebietes erfasst und die Abschätzung des zukünftigen Energiebedarfs durchgeführt. Zur Ermittlung der Energiekennzahlen werden spezifische Verbrauchswerte für entsprechende Gebäudestandards und der prognostizierte Flächenbedarf in Zusammenhang mit Nutzungsprofilen für Wärme und Strom herangezogen. Als Ergänzung dienen Studien zum Endenergieverbrauch industrieller Branchen des Umweltbundesamtes. Anschließend werden die Potenziale erneuerbarer Energien analysiert.

Versorgungsvarianten und Empfehlung

Als Ableitung des Energiebedarfs und der Potenzialanalyse werden mögliche Versorgungsvarianten erstellt. Eine möglichst hohe Deckung des Energiebedarfs über erneuerbare Energien, geringe CO₂-Eq.-Emissionen und finanzielle Kennwerte bilden die Indikatoren des Variantenvergleichs. Abschließend werden eine Einschätzung der Vorzugslösung gegeben und die wichtigsten Erkenntnisse aus den Untersuchungen zusammengefasst. Ergänzend werden nützliche Informationen zu aktuellen Fördermöglichkeiten und Betreibermodellen der Energieversorgung bereitgestellt. Ein Fazit und Handlungsempfehlungen für den weiteren Projektverlauf, sowie Best-Practice-Beispiele sollen die weitere Planung des interkommunalen Gewerbegebiets Oberhessen unterstützen.

2 Vorbetrachtungen

Der Endenergieverbrauch der Sektoren Industrie und Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD) hatte 2020 in Summe einen Anteil von rund 45 % des gesamten Endenergieverbrauchs in Deutschland.² Die Potenziale der Energieeinsparungen sind hoch, werden aber häufig nicht genutzt. Dies kann an mangelndem Bewusstsein liegen, meistens jedoch an finanziellen Einschränkungen.³ Verfügbare Mittel werden vorrangig ins Kerngeschäft investiert. Aus ökonomischer und ökologischer Sicht wird es jedoch immer wichtiger, Einsparpotenziale zu erkennen und zu heben.

Bei der Erschließung eines neuen Industrie-/Gewerbegebietes ist es wichtig, Maßnahmen zur Energieeinsparung bereits bei der Planung und der Vergabe von Gewerbeflächen zu berücksichtigen. Dadurch können zukunftsweisende, innovative Versorgungskonzepte für die Entwicklung klimaneutraler Industrie-/Gewerbegebiete noch vor Baubeginn integriert werden.

2.1 Anforderungen an die Gebäudehülle

Das Plangebiet soll als Neubaugebiet errichtet werden. Durch die aktuellen Bauvorschriften und hohen Ansprüche an die Gebäudehülle kann im Gebäudebetrieb ein erheblicher Anteil Energie im Vergleich zu weniger gedämmten Baukonstruktionen eingespart werden. Den gesetzlichen Rahmen stellt dabei das Gebäude-Energiegesetz (GEG), welches ab 1. Januar 2023 angepasst wird (siehe 2.2). Die Anforderungen an die Gebäudehülle gelten jedoch weiterhin.

Einsparpotenziale für den **Kälte- und Wärmeverbrauch** ergeben sich insbesondere aus der Gebäudekompaktheit, der Ausrichtung, dem Fensterflächenanteil und der Bauweise des Gebäudes. Entscheidend sind die Dämmeigenschaften der Außenbauteile und die Vermeidung von Wärmebrücken.⁴ Bei der Planung ist ebenfalls zu beachten, welche Innenraumtemperaturen benötigt werden (thermische Konditionierung). Diese können sich nach Art der industriellen Nutzung stark voneinander unterscheiden. Bei der Auslegung entsprechender Temperaturen sind die oft hohen internen Wärmeeinträge (bspw. durch Prozesse) einzukalkulieren.

Dabei ist jedoch zu beachten, dass bei der Errichtung neuer Gebäude in hohem Standard auch sehr viel Energie für die Rohstoffgewinnung, die Weiterverarbeitung zu Baumaterialien, Transportwege und das Verarbeiten auf der Baustelle aufgebracht wird – sogenannte graue

² Vgl. Umweltbundesamt (2022)

³ Vgl. Umweltbundesamt (2021)

⁴ Vgl. VDI Zentrum Ressourceneffizienz (2018), S.18

Energie. Sie betrachtet die aufgewendete Energie für die Prozesse vor und nach der eigentlichen Nutzungsperiode, somit auch Rückbau und die Entsorgung bzw. Wiederverwertung. Neben dem Energiebedarf entstehen bei der Herstellung von Baumaterialien sehr viele Emissionen, wodurch der Gebäudesektor für einen erheblichen Anteil der weltweiten CO₂-Emissionen verantwortlich ist. Allein die Zementherstellung stellt einen Anteil von 5 % der Gesamtemissionen.⁵

Das Plangebiet soll möglichst klimaschonend entwickelt werden. Aus diesem Grund werden an dieser Stelle einige Anregungen gegeben, wie ein guter Komfort mit unterschiedlichen Baumaterialien erreicht wird und die dabei entstehenden Emissionen der Bauteile ebenfalls berücksichtigt werden.

Die folgenden Abbildungen vergleichen drei verschiedene Möglichkeiten zur Errichtung einer Außenwand für ein Effizienzhaus 40. Es wird deutlich, dass – je nach Materialauswahl – sowohl die Baukosten der Wand als auch die dabei entstehenden Emissionen voneinander abweichen.

Als erstes Beispiel wird die im Neubau sehr übliche Kombination aus einem Porenbetonstein als tragendes Material mit einem Wärmedämmverbundsystem aus erdölbasiertem expandiertem Polystyrolschaum (EPS) dargestellt. Dieser Wandaufbau weist besonders niedrige Investitionskosten auf und ist den ausführenden Gewerken sehr bekannt. Durch die feste Klebverbindung ist eine sortenreine Trennung jedoch praktisch unmöglich, sodass diese Kombination von einigen Experten bereits heute als Sondermüll angesehen wird. Bauherren könnten daher bei späteren Sanierungen mit stark erhöhten Entsorgungskosten konfrontiert werden, die zum jetzigen Zeitpunkt aber nicht belastbar zu erfassen sind.

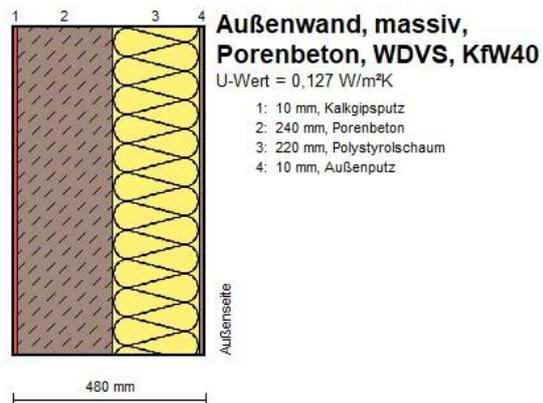
Der zweite Wandaufbau ist ein zweischaliges Mauerwerk mit Kerndämmung aus einem mineralischen Dämmstoff. Während Kalksandstein neben Porenbeton ein sehr gängig eingesetzter Baustoff für Wohngebäude ist, zählt Mineralwolle zu den am häufigsten verwendeten Dämmmaterialien, da diese nicht brennbar ist und somit auch gern bei mehrgeschossigen Gebäuden genutzt wird. Der Kalksandstein kommt als Verblendklinker zum Einsatz und ist sowohl Schmuckelement als auch langfristiger Witterungsschutz.

Als dritter Wandaufbau wird die Holzrahmenkonstruktion dargestellt, deren Marktanteile in den letzten Jahren deutlich zugelegt haben. Im Jahr 2020 sind bereits 20 % aller genehmigten Wohnhäuser in Deutschland in Holzbauweise errichtet worden.⁶ Neben den ökologischen Argumenten eines nachwachsenden Rohstoffes und der Möglichkeit der CO₂-Speicherung im Baumaterial als aktiver Beitrag zum Klimaschutz, ist vor allem auch die sehr kurze Bauerrichtungszeit durch Vorfertigung ein klarer Vorteil für den Holzrahmenbau.

⁵ Vgl. Umweltbundesamt (2020), S.1

⁶ Vgl. Statista 2021a

Da eine Vollholzkonstruktion ökologisch nicht optimal und zugleich deutlich teuer ist, wurde die Rahmenbaukonstruktion gewählt, welche mit einem ökologischen Dämmstoff kombiniert wird.

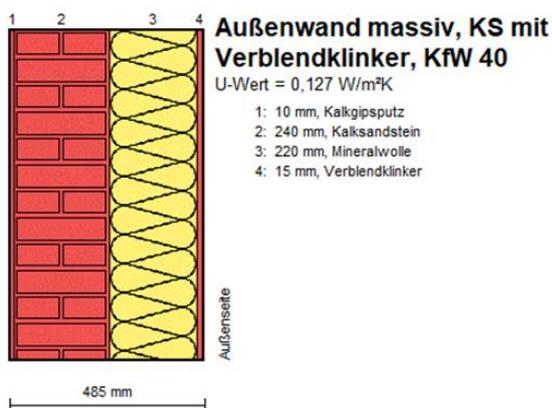


Baukonstruktion 1

GWP = 2,24 kg CO_{2äq}/m²_{NGFa}

Herstellkosten = 165,43 €/m²

Abbildung 1 Baukonstruktion 1: Porenbetonstein und Polystyrolschaum

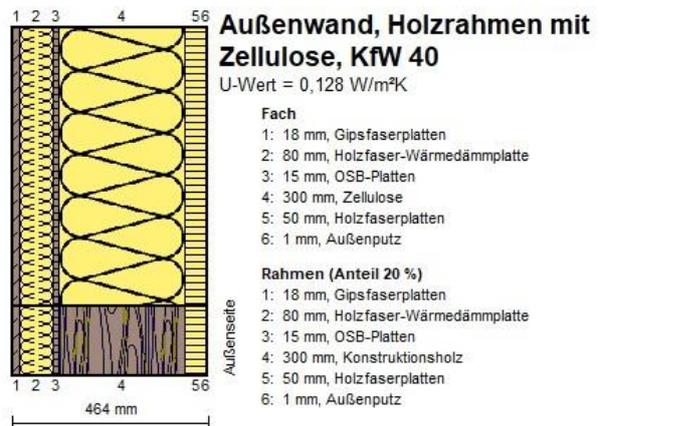


Baukonstruktion 2

GWP = 2,38 kg CO_{2äq}/m²_{NGFa}

Herstellkosten = 204,58 €/m²

Abbildung 2 Baukonstruktion 2: Kalksandstein und Mineralwolle



Baukonstruktion 3

GWP = 0,34 kg CO_{2äq}/m²_{NGFa}

Herstellkosten = 208,76 €/m²

Abbildung 3 Baukonstruktion 3: Holzrahmen mit ökologischem Dämmstoff

Inzwischen liegen die Kosten für die Dämmmaterialien Zellulose (meist aus Altpapier hergestellt) und Holzfaser (häufig Reststoffe der Sägeindustrie) in einem vergleichbaren Maß zu konventionellen Dämmstoffen wie Mineralwolle. Alle Herstellkosten wurden aus Datenbanken von real abgerechneten Projekten entnommen und sollen eine Indikation darstellen. Spezifische kurzfristige Schwankungen der Rohstoffpreise wie im Sommer 2021 durch Engpässe oder die Preisentwicklung aufgrund des Ukraine-Konflikts sind in der Datenbank kaum bis gar nicht abgebildet, können anhand entsprechender Faktoren aber überschlägig berücksichtigt werden. Die konkreten Kosten zum Zeitpunkt der Errichtung können ohne genaue Planungsunterlagen ebenfalls nicht exakt bestimmt werden. Daher sind die genannten Zahlen als grobe Kostenabschätzung zu verstehen, bei der zukünftige Trends nicht enthalten sind.

Der Vergleich verdeutlicht, dass es verschiedene Wege mit individuellen Vor- und Nachteilen gibt, ein Effizienzhaus zu errichten. Im Sinne einer klimagerechten Gewerbe- und Industriegebiets sollten neben reinen Startparametern wie Investitionskosten jedoch auch spätere Auswirkungen im Betrieb bis zum Rückbau der Gebäude betrachtet werden. Themen der Gesundheit und emissionsarmen Baustelle sollten im späteren Planungsablauf ebenfalls mit bedacht werden. Abschließend ist zu betonen, dass klimaschonendes Bauen bei guter Planung und Ausführung über den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes betrachtet nicht teurer sein muss als die aktuell noch überwiegende konventionelle Bauweise. Wird die CO₂-Bepreisung mit eingerechnet und spätere Folgen in der Nutzungsphase für Mensch und Material mitbetrachtet, dann sollte im Plangebiet zugunsten der ökologischen Bauweise entschieden werden.

Die Diagramme in Abbildung 4 vergleichen die Wandaufbauten mit den Wandstärken, Preisen und CO₂-Emissionen.

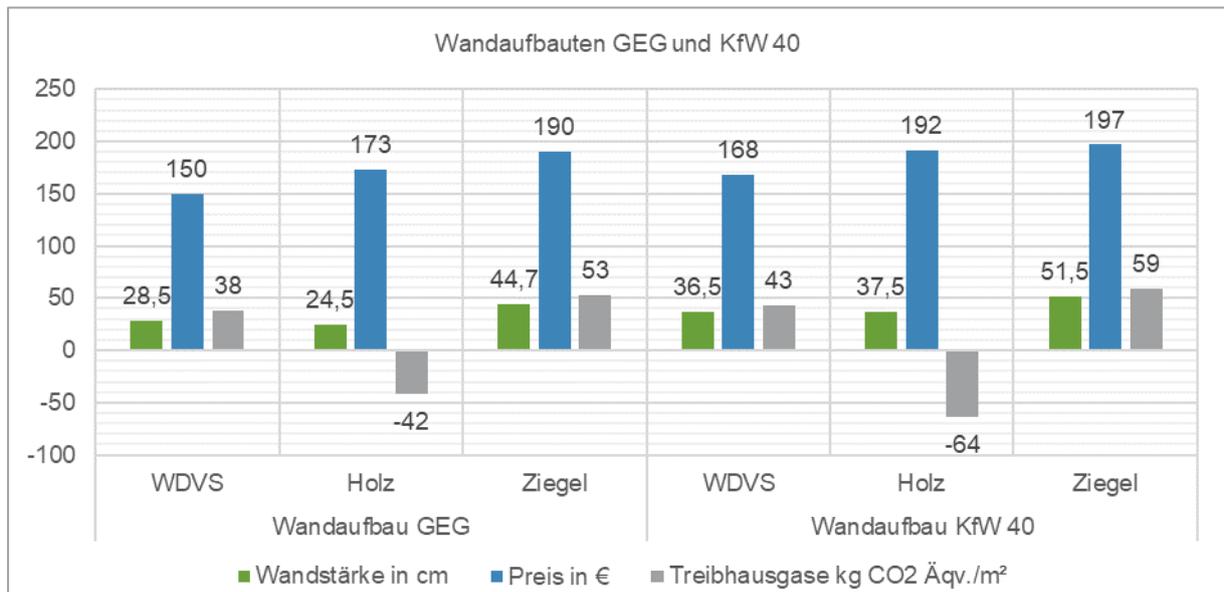


Abbildung 4 Szenarien und Wandaufbauten

Die günstigste Variante ist der Wandaufbau mit einem herkömmlichen Wärmedämmverbundsystem. Allerdings ist dies auch die umweltschädlichste Variante. Durch die geringere Wandstärke im Holzbau und die Möglichkeiten der Vorfertigung ist der Preisunterschied zu herkömmlichen Außenwandkonstruktionen, zum Beispiel bei Wärmedämmverbundkonstruktionen, nur noch gering. Die Kosten steigen je nach Energiestandard und verwendeter Dämmung. Diese Aspekte könnten bei der Umsetzung im Kriterienkatalog aufgegriffen werden (siehe Kapitel 8.2.2).

2.2 Klimafreundliche Energieversorgung

Gemäß GEG müssen bei einem Neubau mindestens 15 % der Wärme- und Kälteversorgung von erneuerbaren Energien gedeckt werden. Abhängig vom gewählten Energieträger kann der Anteil auch höher ausfallen:

- Solarthermie: 15 Prozent
- Kraft-Wärme-Kopplung: 30 Prozent
- Biomasse: 50 Prozent
(z.B. bei Biogas oder Holzpellets)
- Wärmepumpen: 50 Prozent
- Fernwärme: 50 Prozent

Ab dem 1. Januar 2023 tritt die Novelle des GEG in Kraft, welche im Juli 2022 beschlossen wurde. Demnach wird es keine Verschärfung bei der Gebäudedämmung und der eingesetzten Technik geben. Folgende Änderungen werden ab 2023 gelten:

- verbesserte Rahmenbedingungen für Wärmepumpen
- zulässiger Primärenergiebedarf von Neubauten wird von bisher 75 % des Primärenergiebedarfs des Referenzgebäudes auf 55 % reduziert (Effizienzhaus-Standard 55)
- Absenkung des Primärenergiefaktors für Großwärmepumpen
- mindestens 65 % erneuerbarer Energien bei neuen Heizungen
- Fernwärmeversorgung 50 % klimaneutrale Wärme

2.2.1 Stromversorgung

Die Stromversorgung wird für die Hauptverbraucher betrachtet. Diese setzen sich aus dem Strombedarf des Gebäudes, dem Hilfsstrom für die Wärmeerzeugungsanlagen (Pumpen, etc.) und aus dem Laden von Elektrofahrzeugen zusammen. All diese Verbraucher sollen möglichst günstig und effizient versorgt werden. Dies erreicht man in der Regel über eigens installierte Stromerzeugungsanlagen.

Varianten der Stromerzeugung

KWK-Anlagen (Kraft-Wärme-Kopplung) stellen Strom und Wärme gleichzeitig unter dem Einsatz von meist fossilen Energieträgern bereit. Ein Motor erzeugt mittels eines Generators Strom, die Abwärme wird als Heizenergie verwendet. KWK-Anlagen werden meist für die Grundlastabdeckung verwendet, um eine möglichst gleichmäßige Betriebsart zu erreichen und die Nutzungsdauer des Motors zu erhöhen. Häufig sind KWK-Anlagen daher wärmegeführt betrieben, d.h. der Wärmebedarf bestimmt die Laufzeiten der Anlage. Durch die gleichzeitige Nutzung von Strom und Wärme erreichen diese Anlagen im Durchschnitt einen Gesamtwirkungsgrad von 85 – 90 %.

Abhängig von der Art des Motors und seiner Leistung beträgt ein durchschnittlicher elektrischer Wirkungsgrad eines BHKW zwischen 30 und 40 % und ein thermischer Wirkungsgrad zwischen 50 und 60 %. Bei kleineren Anlagen (bis ca. 1.000 kW) ist der Anteil des produzierten Stroms im Vergleich zum thermischen Anteil geringer. Erst bei großen Anlagen halten sich Strom- und Wärmebereitstellung die Waage.

PV-Anlagen (Photovoltaik = „Solarzellen“) auf Dach oder Fassaden erzeugen Strom direkt aus solarer Strahlung. Hauptbestandteil der Solarzellen ist Silizium, welches zu den häufigsten natürlich vorkommenden Elementen in der Erdschicht zählt. Die einzelnen Solarzellen werden zu PV-Modulen verschaltet.

Es gibt drei unterschiedlich Zelltypen:

- Monokristalline Zellen
- Polykristalline Zellen
- Amorphe Zellen (Dünnschichtzellen)

Diese unterscheiden sich im Wesentlichen in der Produktion, den damit verbundenen Kosten und der Ausnutzung des Sonnenlichts bei unterschiedlichen Einstrahlungswerten. So eignen sich monokristalline Zellen besonders für Dachanlagen mit Ausrichtung gen Süden. Amorphe Zellen wiederum erzeugen auch bei geringeren Strahlungswerten Energie und eignen sich daher besonders gut für Fassaden.

PV-Module werden in Leistungsklassen von 360 bis 410 Wp hergestellt und vertrieben. Der Wirkungsgrad der Module ist hierbei stark vom verwendeten Zelltyp abhängig.

PV-Dach-Anlagen können oft nicht flächendeckend auf dem gesamten Dach installiert werden. Oft ergeben sich Hindernisse aus der Gebäudeplanung (z.B. RLT-Anlagen, Kamine, Oberlichter), welche auch Flächen benötigen oder Schatten werfen. Im Normalfall können ca. 70 – 80 % der Dachfläche für PV genutzt werden. Eine Aufständigung (Schrägstellen der Module hin zur Sonne) erhöht den Ertrag, verringert aber gleichzeitig die Anzahl der zu installierenden Module, da sich diese sonst verschatten würden.

PV-Fassaden-Anlagen weisen aufgrund der schlechteren Solarstrahlungswerte und der Verwendung amorpher Zellen einen geringeren Wirkungsgrad (ca. 2/3 von Dachanlagen) auf. Hinzu kommen höhere Investitionskosten durch die aufwendige Montage. Dennoch können Fassaden-Anlagen einen erheblichen Teil zur Strombereitstellung beitragen, wenn z.B. Dachflächen nicht oder nur unzureichend genutzt werden können.

Ausschlaggebend für die Rentabilität einer PV-Anlage ist heutzutage der Nutzungs- und Deckungsgrad, welcher mit der Anlage erreicht werden kann. Der Nutzungsgrad beschreibt die Energieausbeute und ist der Quotient aus dem tatsächlich erreichbaren und dem maximal möglichen Ertrag. Der Deckungsgrad hingegen beschreibt den Anteil der PV-Strommenge in Bezug zum Gesamtverbrauch eines einzelnen Verbrauchers oder des gesamten Gebäudes.

Das wirtschaftliche Optimum beim Nutzungsgrad stellt sich bei rund 60 – 70 % ein. Typischerweise liegt der Deckungsgrad des Gebäudestroms dann bei 50 %. Durch Nutzung eines Batteriesystems kann der Wert bis ca. 70 % ansteigen. Der Deckungsgrad einer Wärmepumpe liegt bei ca. 20 % und kann mittels Batterie auf rund 25 % steigen. Die Wärmepumpe dient der Wärmebereitstellung und läuft meist in der kühleren und dunkleren Jahreszeit. Daher liegen die Werte des Deckungsgrads weit unter jenen des Gebäudes.

Der Deckungsgrad für E-Fahrzeuge ist stark von den Ladezeiten der Fahrzeuge abhängig. Werden tagsüber Fahrzeuge von Mitarbeitern eines Unternehmens geladen, können diese den Strom zu großen Teilen aus der PV-Anlage beziehen, wohingegen Servicefahrzeuge, welche über Nacht laden, immer auf den Strombezug aus dem Netz angewiesen sind.

Wie bereits erwähnt kann ein Batteriespeicher den Nutzungsgrad bzw. auch den Deckungsgrad erhöhen. Dieser gleicht die volatile Erzeugung durch Zwischenspeichern aus und bringt somit den Stromertrag mit dem -bedarf in Einklang. Hier ist noch erhebliches Potential verborgen, welches jedoch oft an den (noch) hohen Investitionskosten scheitert. Perspektivisch können auch Batteriespeicher von Fahrzeugen mit einer bidirektionalen Ladefunktion verwendet werden. Dies ist jedoch noch nicht Stand der Technik und oftmals auch mit neuen Fahrzeugen nicht möglich.

Exkurs PVT

PVT-Module kombinieren herkömmliche PV-Module mit einem Solarthermie-Modul. Hinter den PV-Zellen wird ein Solarthermie-Kollektor installiert, welcher die Erwärmung des Gesamtmoduls nutzt, um Warmwasser zur Heizungsunterstützung bereit zu stellen. Solche Anlagen eignen sich besonders bei eingeschränkten Platzverhältnissen oder in Kombination mit Geothermie-Bohrungen zur aktiven Regeneration der Temperaturen im Erdreich während der Sommermonate.

2.2.2 Wärmeversorgung

Die Wärmeversorgung hängt stark von der zukünftigen Nutzung ab. Für Heizwärme genügen in der Regel Flächenheizungen mit einer Vorlauftemperatur von 35 °C, die Warmwasseraufbereitung erfolgt bei 60 °C und Industrieprozesse können mehrere 100 °C voraussetzen. Daher können der Wärmebedarf und somit die Versorgungsvariante im Vorfeld nicht pauschalisiert werden.

Bei Raumheizungen bieten sich Wärmepumpen an, die als Quellmedium Erdwärme oder die Umgebungsluft nutzen und bei geringen Vorlauftemperaturen hohe Effizienzgrade erreichen. Der Strombedarf kann neben dem Netzbezug über PV- oder KWK-Anlagen (Kraft-Wärme-Kopplung) gedeckt werden.

Die Warmwasserversorgung ist über den Heizkreislauf oder dezentral möglich. Bei geringem Bedarf bietet sich die dezentrale Warmwasseraufbereitung über einen Heizstab an, dessen Strombedarf über PV-Anlagen gedeckt wird. Die zentrale Versorgung könnte über verschiedene Formen eines Nahwärmenetzes erfolgen:

- Niedertemperaturnetz (10 °C)

Wie beim Heizwärmebedarf wird Umweltwärme als Quellmedium verwendet. Der Temperaturhub erfolgt dezentral mittels Wärmepumpen.

- Low-ex-Netz (30-40 °C)

Der Temperaturhub erfolgt zentral über eine Wärmepumpe oder ein bivalentes System mit Verbrenner. Die Nacherhitzung geschieht mittels Heizstab in einem dezentralen Wärmespeicher.

- Heißwassernetz (ca. 60 °C)

Kombination eines Verbrenners wie ein Blockheizkraftwerk (BHKW) und eines zentralen Großwärmespeichers

Werden höhere Temperaturen für Prozesswärme benötigt, können diese über Verbrennungsanlagen erreicht werden. Ein Blockheizkraftwerk (BHKW) kann mittels KWK Wärme und Strom erzeugen. Neben konventionellem Erdgas können auch nachhaltige Energieträger wie Biogas oder Wasserstoff zum Einsatz kommen.

Für die Heizung und Warmwasserversorgung empfiehlt sich ein Nahwärmenetz. Individuelle Prozesse, die deutlich höhere Temperaturen als 60 °C benötigen, sollten über dezentrale Anlagen in den jeweiligen Unternehmen versorgt werden.

2.2.3 Kälteversorgung

Generell ist eine nachhaltige Kälteerzeugung kosten- bzw. energieintensiv. Daher sollte bei Büro- und Verwaltungsgebäuden, in denen das Halten der optimalen Raumtemperatur während der Sommermonate im Vordergrund steht, der Kältebedarf über bauphysikalische Lösungen gedeckt werden, zum Beispiel über die Gebäudehülle, intelligentes Lüften oder Fassadenbegrünung.

Für die Bereitstellung von Kälte in Industrieprozessen sollten nach Möglichkeit Absorptionsmaschinen zum Einsatz kommen. Allerdings ist hierfür ein Abwärmepotenzial aus anderen Prozessen notwendig. Je nach Ansiedlung können hier Synergien zwischen mehreren Unternehmen genutzt werden.

Wenn kein Abwärmepotenzial besteht, sollten für Prozesskälte Kompressionskältemaschinen mit Adiabattkühlung vorgeschrieben werden, welche nachhaltig mittels Verdunstung arbeiten. Hier ist auf natürliche Kältemittel zu achten (z.B. Propan R290), welche über ein geringes Global Warming Potenzial (GWP) verfügen.

2.3 Reduzierung des Energieverbrauchs

Die wirkungsvollste Maßnahme zur Einsparung von Endenergie ist die Senkung des Energieverbrauchs. Dabei steht vor allem eine optimale Nutzung bei möglichst geringem Energieeinsatz im Vordergrund. Im Folgenden wird auf die wichtigsten gebäudetechnischen Einsparpotenziale hingewiesen.

Lüftungswärmeverluste lassen sich durch raumluftechnische Anlagen (RLT) minimieren. Zur Effizienzsteigerung können Systeme mit Wärmerückgewinnung (WRG) oder adiabater Kühlung verwendet werden. Damit lassen sich hohe Verluste sowie Betriebskosten für Kältemaschinen und Heizung deutlich reduzieren. Kombinierte Systeme wie bspw. DEC-Anlagen (engl. Desiccative Evaporative Cooling) sind etablierte und nachhaltige Klimaanlage. Für die Regeneration eignet sich Solarwärme oder Abwärme aus technischen Prozessen. Aussagen über den energetischen Nutzen lassen sich mit entsprechenden Entwurfsplanungen der Gebäude treffen.

Ein weiterer Punkt der Energieeinsparung bei Nichtwohngebäuden sind **Beleuchtungsanlagen**. Diese verursachen etwa fünf Prozent des industriellen Stromverbrauchs.⁷ Durch Reduzierung der Beleuchtungsstärke, effizientere Leuchtmittel und bedarfsangepasste Steuerung kann dieser deutlich gesenkt werden.

Die Prozesswärme hat in einem Industriebetrieb häufig den höchsten Energiebedarf. Die **nicht vermeidbare Abwärme aus den Prozessen** lässt sich unter Umständen an anderer Stelle zur Deckung des Energiebedarfes nutzen. Da die genauen Wärmeflüsse sowie Temperaturniveaus und Wärmemengen zum aktuellen Zeitpunkt der Planung nicht bekannt sind, kann nur auf die allgemeine Verwendung hingewiesen werden. In Abbildung 5 werden potenzielle Abwärmequellen und ihre Temperaturniveaus sowie Abwärmesenken und deren Temperaturbereich gegenübergestellt.

Typische Nutzungen für Abwärme sind z. B. Anlagen zur Raumheizung und Warmwassererzeugung oder zur erneuten Prozesswärmeerzeugung. Darüber hinaus kann überschüssige Abwärme auch in andere Nutzenergieformen, wie Kälte oder Strom, umgewandelt werden. Es bieten sich also zahlreiche Technologien zur Abwärmennutzung an, wodurch die Effizienz der Prozesse deutlich gesteigert werden kann.⁸

⁷ Vgl. Deutsche Energie-Agentur GmbH (2015a), S.16

⁸ Vgl. Deutsche Energie-Agentur GmbH (2015b), S.4 f.

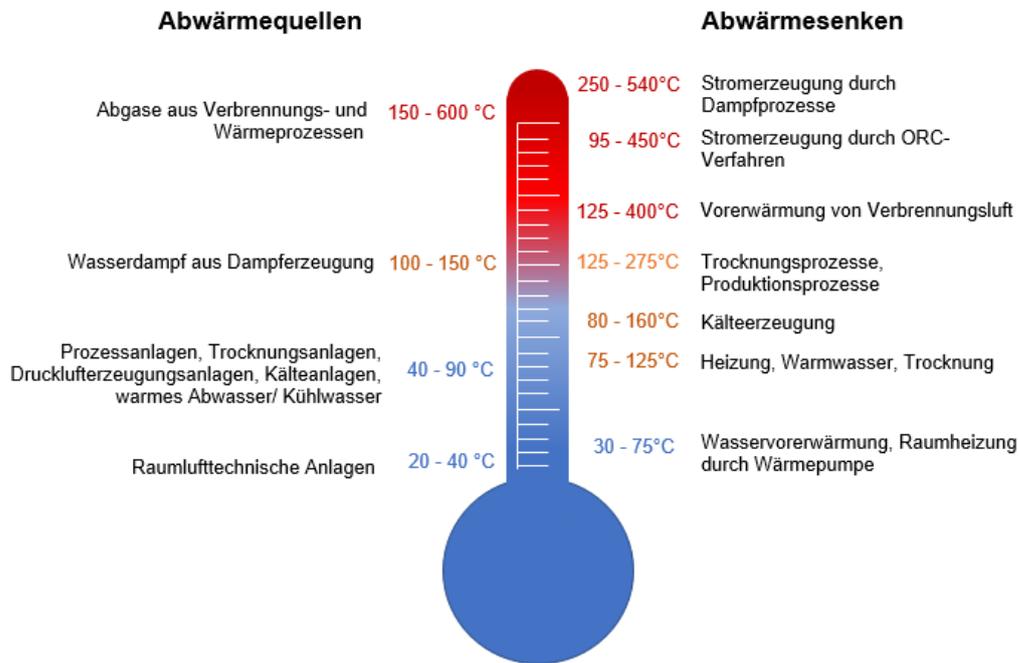


Abbildung 5 Abwärmequellen und -senken industrieller Prozesse

Sektorübergreifend kann die überschüssige Wärmeenergie in ein Nah- und Fernwärmenetz eingespeist werden oder die Versorgung eines benachbarten Betriebs unterstützen. Dabei sind die entscheidenden thermodynamischen Parameter wie die Einspeisetemperatur ins Wärmenetz und der Energiebedarf der Wärmeabnehmer zu analysieren (kaltes Wärmenetz bis 30 °C, Niedertemperatur bis 65 °C oder Hauptnetz 80-130 °C).

2.4 Mobilität

Die Mobilität ist ein unverzichtbares Bedürfnis unserer heutigen Gesellschaft und bildet die Voraussetzung für gesellschaftliche Teilhabe, wirtschaftlichen Austausch, Beschäftigung und Wohlstand. Damit in Quartieren Nutzungs- und Aufenthaltsqualität erhalten bleiben und der Autoverkehr nicht proportional zu den Einwohnerzahlen steigt, müssen die Verkehrswege und ihre Nutzung anders gedacht und organisiert werden. Dies gelingt, wenn Wege kurzgehalten werden oder Mobilitätsangebote, wie Alternativ-Mobilitätsstationen oder ÖPNV-Haltestellen, in zumutbarer fußläufiger Entfernung vorhanden sind, sodass Wege komfortabel zu Fuß zurückgelegt werden können. Weiterhin kann dies durch die Schaffung alternativer Mobilitätsangebote, wie bspw. Sharing-Angebote, erreicht werden.

Gesetzlicher Rahmen

Bei der Entwicklung des Standorts und der Förderung von E-Mobilität ist das Gebäude-Elektromobilitätsinfrastruktur-Gesetz (GEIG) vom 18.03.2021 zu beachten. Das GEIG regelt die Errichtung von und die Ausstattung der Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge in zu errichtenden und bestehenden Gebäuden (vgl. §1 Abs. 1 GEIG). Das GEIG ist nicht anzuwenden auf Nichtwohngebäude, die sich im Eigentum von kleinen und mittleren Unternehmen befinden und überwiegend von diesen selbst genutzt werden. Diese Vorgaben sind in der zukünftigen Entwicklung des Standorts zu berücksichtigen.

Nach §7 Abs. 1 Nr. 2 GEIG muss bei Neubau von Nichtwohngebäuden, welche mehr als sechs Stellplätze aufweisen, mindestens jeder dritte Stellplatz ein Ladepunkt oder mindestens ein Ladepunkt nachgewiesen werden. Es ist anzumerken, dass eine Elektrifizierungsquote von 33 % der gesamten zu errichtenden Stellplätze am Standort nicht dem Realbedarf entspricht. Daher wird im Rahmen des Energiekonzeptes mit einer Elektrifizierungsquote von 25 % gerechnet, um Orientierungswerte für zukünftige Bedarfe zu schaffen.

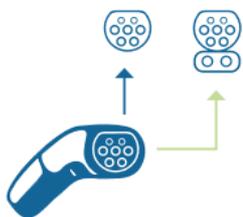
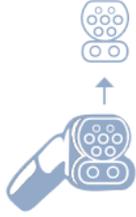
2.4.1 Elektromobilität

Die Elektromobilität gilt als eine mögliche Alternative zur Fortbewegung mit Verbrennungsmotoren. Besondere Bedeutung gewinnt das Thema in verdichteten Innenstädten mit regelmäßigen Überschreitungen der Grenzwerte zur Luftreinhaltung. Zwar verringert E-Mobilität nicht die Höhe des motorisierten Individualverkehrs (MIV) in der Stadt, doch sie reduziert Emissionen. Weiterhin wird durch die Berücksichtigung von E-Mobilität der Anteil der alternativen und nachhaltigen Mobilität im Quartiersumfeld langfristig gefördert. Voraussetzung für den Umstieg auf ein Elektrofahrzeug ist eine vorhandene Lade- und Netzinfrastruktur, so dass eine flächige Abdeckung gewährleistet sein muss.

Die Fahrleistung eines E-Autos begründet sich auf der Akkukapazität des Autos. Der kWh-Verbrauch auf 100 Kilometer liegt im Schnitt zwischen 15 und 25 kWh. Bei einer E-Auto-Batterie mit einer Kapazität von 100 kWh können damit Distanzen von 400-600 km mit einer Ladung zurückgelegt werden. Dadurch werden E-Autos im alltäglichen Verbrauch immer attraktiver im Vergleich zu Verbrennungsmotoren. Üblicherweise liegt die Lebensdauer einer E-Auto-Batterie bei ca. 8-10 Jahren, wobei anzumerken ist, dass die verbauten Batterien nicht kaputt gehen, sondern sich die Akkukapazität schrittweise auf ca. 70-80 % der ursprünglichen Leistung verringert.

Für die Versorgung von Elektrofahrzeugen mit elektrischer Energie existieren verschiedene Übertragungsmöglichkeiten. Beim konduktiven Laden (leitungsgebunden) mit Wechselstrom (AC-Laden) wird die elektrische Energie aus dem Wechselstromnetz über zwei bis drei Phasen in das E-Auto übertragen. Das im E-Auto eingebaute Ladegerät übernimmt die Gleichrichtung und ist für die Ladesteuerung der Batterie verantwortlich. Die Übertragung kann mit

einer AC-Ladestation oder AC-Wallbox geschehen. Beim Laden mit Gleichstrom (DC-Laden) ist eine Verbindung des Fahrzeugs mit der Ladestation über eine Ladeleitung die Voraussetzung. Dabei ist das Ladegerät nicht im E-Auto, sondern in der Ladestation integriert. Die Ladungssteuerung erfolgt dabei über eine spezielle Kommunikationsschnittstelle zwischen Auto und Ladestation. Beim induktiven Laden erfolgt die Übertragung der elektrischen Energie über ein Magnetfeld. Dabei erfolgt das Laden kabellos.

	AC-Laden	DC-Laden	Induktives Laden
Normalladen	3,7 kW 7,4 kW 11 kW 22 kW	10 kW 20 kW	3,7 kW 7,4 kW 11 kW 22 kW
Schnellladen	44 kW	50 kW	
Hochleistungs- laden		150 kW 350 kW 450 kW	
	TYP 2 Combo 2 	Combo 2 	Spule 

© VDE FNN bzw. Mindeststandard nach Ladesäulenverordnung

Abbildung 6 Fahrzeugseitige Steckvorrichtungen für das Laden von E-Autos⁹

Wie bereits erwähnt, ist die vorhandene Ladeinfrastruktur und die Leistungskapazität entscheidend für den Ausbau und Gewährleistung von E-Mobilität. Dabei ist die korrekte Dimensionierung der Anschlussleistung Grundvoraussetzung für einen sicheren und zuverlässigen Betrieb. In der Planung müssen folglich die erwartbare Art und die Anzahl der Fahrzeuge, ihre Ladeleistung, Parkdauer sowie das Ladeverhalten berücksichtigt werden. Mit einem Leistungsmanagement kann der Bedarf an Anschlussleistungen reduziert werden. In der Abbildung 7 sind die derzeit geltenden Ladeleistungen und -strom sowie der benötigte Netzanschluss für die Ladeinfrastruktur aufgeführt.

⁹ DKE: Technischer Leitfaden Ladeinfrastruktur Elektromobilität (2021), S. 11.

Fahrzeuge	Ladetechnologie	Ladeleistung (kW)	Ladestrom (A)	Netzanschluss der Ladeinfrastruktur
 Elektrofahrzeuge BEV und PHEV	AC 1-phasig	bis 3,7	bis 16	AC, 1-phasig 230 V, 16 A
	AC 3-phasig	bis 22	bis 32	AC, 3-phasig 400 V 3 x 32 A
	DC	bis 150	bis 200	AC, 3-phasig 400 V 3 x 125 A
	HPC	bis 350	bis 500	AC, 3-phasig 400 V 3 x 125 A

Abbildung 7 Werte beim Laden von E-Autos¹⁰

Exkurs Wirtschaftlichkeit E-Mobilität

In Zeiten von dynamischen und steigenden Energiepreisen, vor allem Bereich von Benzin und Diesel, steht die Wirtschaftlichkeit von E-Auto unter einem neuen Licht. Im Rahmen des Förderschwerpunkts „IKT für Elektromobilität II“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) wurde die Wirtschaftlichkeit von Verbrennern und E-Autos verglichen. In Hinblick auf die Jahresfahrleistung ergab sich im Rahmen der Untersuchung, dass ab ca. 30.000 km Jahresfahrleistung ein E-Auto wirtschaftlich attraktiv sein kann (siehe Abbildung 8). Dabei wurden konventioneller Pkws im Mittelklasse-Segment (Dienstwagen) verglichen.

¹⁰ DKE: Technischer Leitfaden Ladeinfrastruktur Elektromobilität (2021), S. 20.

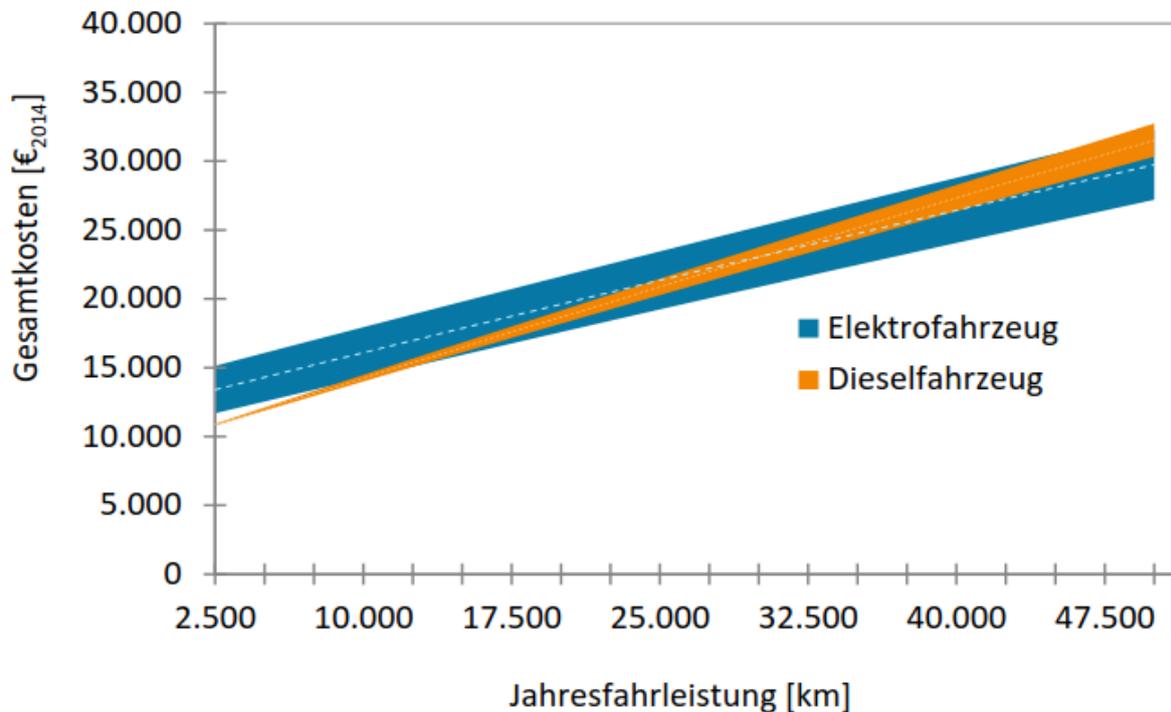


Abbildung 8 Vergleich Diesel- und Elektroauto

Des Weiteren wurde die wirtschaftliche Rentabilität zwischen Schwerlastfahrzeugen verglichen. Dabei ergab sich, dass ab einer Jahresfahrleistung von ca. 100.000 km das E-Fahrzeug die wirtschaftliche Schwelle gegenüber dem Dieselfahrzeug übertritt.

Insgesamt ergeben sich im Hinblick auf die Anschaffung eines E-Autos höher Kosten als bei einem Dieselfahrzeug sowie muss die benötigte Ladeinfrastruktur geschaffen werden. Jedoch sind im Vergleich die Energiekosten für den Betrieb deutlich geringer als bei einem Dieselfahrzeug, wodurch eine wirtschaftliche Rentabilität in einem langfristigen Betrachtungshorizont ergibt.

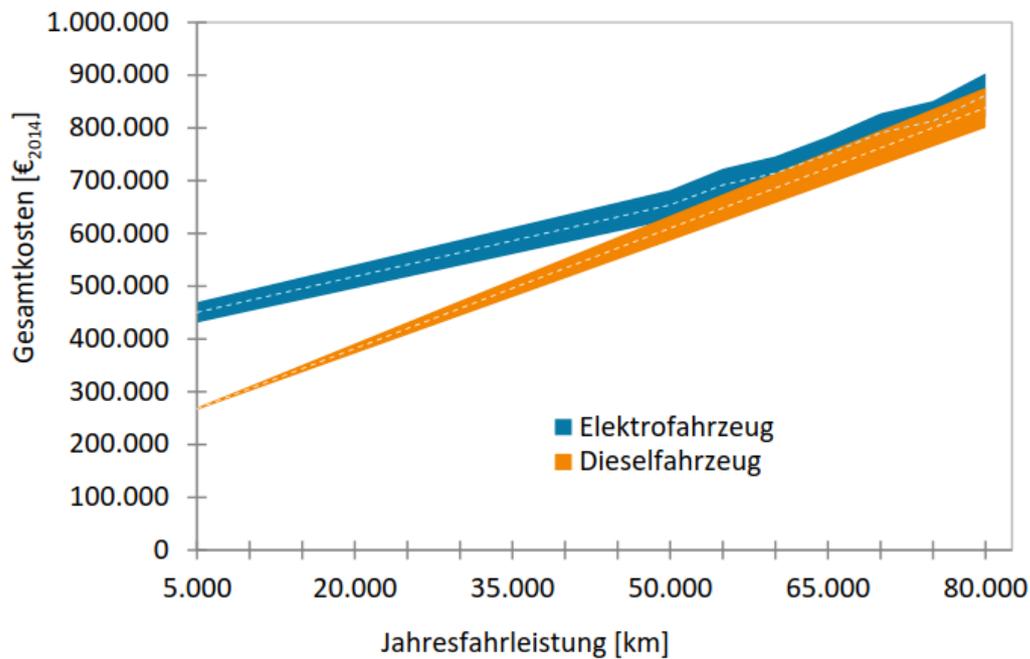


Abbildung 9 Vergleich Schwerlastfahrzeuge Diesel- und E-Auto

2.4.2 Wasserstoff

Wasserstoff als Kraftstoff

Wasserstoff ist das kleinste, leichteste und einfachste Element des Universums und trägt die chemische Bezeichnung „H“ (griech.-lat.: hydrogenium = „Wasserbildner“). Wasserstoff besteht aus einem negativ geladenen Elektron und einem positiv geladenen Proton. Er ist das häufigste Element des Universums, tritt auf der Erde jedoch fast ausschließlich in chemisch gebundener Form, z.B. in Wasser oder Kohlenwasserstoffen wie Erdgas und Biomasse, auf.

Reiner Wasserstoff tritt immer paarweise auf (H_2) und wird entweder gasförmig (CGH_2 , CG für „compressed gaseous“, englisch „gasförmig komprimiert“), als Kombination aus komprimiertem und gekühltem Wasserstoff (CcH_2) oder flüssig LH_2 („L“ für liquid, englisch „flüssig“) gespeichert. Wasserstoff kann unter Einsatz von Energie freigesetzt und damit sowohl zu einem Energie-Speicher als auch zu einem Energie-Träger werden. Zusammen mit Sauerstoff reagieren sowohl CGH_2 , CcH_2 als auch LH_2 zu reinem Wasser. Von allen Brenn- und

Kraftstoffen hat Wasserstoff, bezogen auf die Masse, die höchste Energiedichte. Ein Kilogramm Wasserstoff enthält so viel Energie wie 2,8 kg Benzin.¹¹

Wasserstoff-Tankstelle

Aktuell findet sich in Deutschland eine HRS-Infrastruktur mit der Speicherform des gasförmigen Wasserstoffes CGH_2 . Hierbei wird bei Personenkraftwagen mit Brennstoffzellensystemen primär ein Druckniveau von 700 bar präferiert. Für Nutzfahrzeuge wie z. B. Busse und Lkw, die einen größeren Tank mit sich führen können, hat sich die Speicherung und Betankung von komprimiert gasförmigem Wasserstoff (CGH_2) mit einem Druck von 350 bar vorerst durchgesetzt (siehe Abbildung 10).

Zapfsäulen sind spezifisch auf ein Druckniveau ausgelegt, sodass Fahrzeuge mit einem 350-bar-Tank nicht an 700-bar-Zapfsäulen betankt werden können. Umgekehrt sollten Fahrzeuge mit 700-bar-Tanks nicht an 350-bar-Zapfsäulen aufgetankt werden. Durch den hohen Druckanstieg bei der Druckgasbetankung entsteht eine nicht unerhebliche Wärmeenergieerzeugung beim Betankungsvorgang. Aus diesem Grund wird bei Betankungsdrücken größer 350 bar des gasförmigen Wasserstoffes an der H_2 -Tankstelle vorgekühlt und bei -33 °C bis -40 °C bevorratet und zur Druckgasbetankung verwendet. Um Tankstellenkomponenten vor Überhitzung zu schützen, dürfen die Temperaturen in den Tanks der Brennstoffzellen-Fahrzeuge nicht über 85 °C ansteigen. Weitere Informationen hierzu weist das Betankungsprotokoll SAE J2601 for light duty vehicle fueling standard bzw. EN 17127 und ISO 19880-1 für PKW und leichte Nutzfahrzeuge aus.¹²

¹¹ Vgl. NOW GmbH (2022), Seite 4

¹² Vgl. NOW GmbH (2022), Seite 6

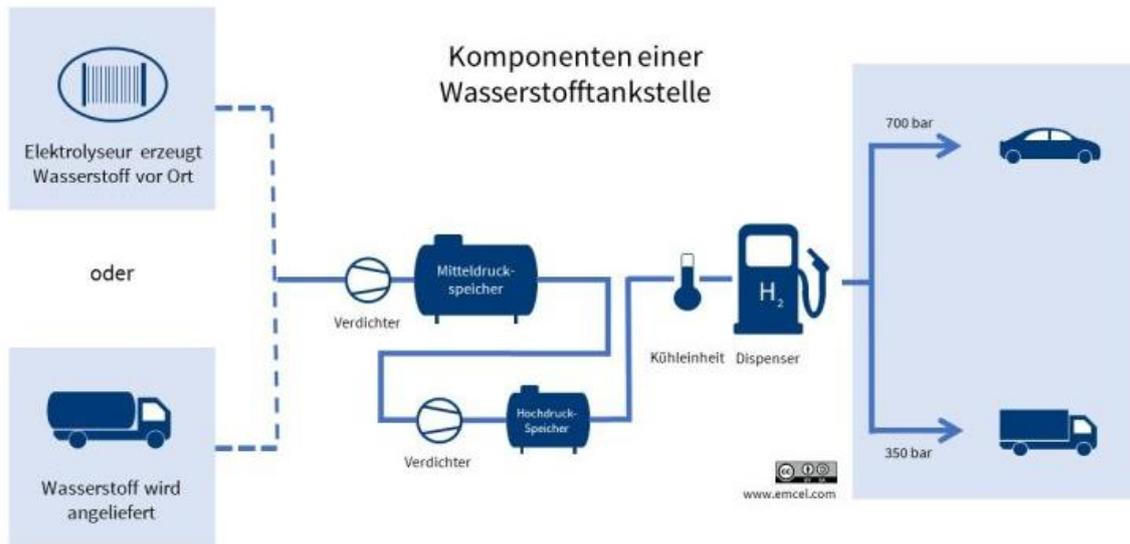


Abbildung 10 Komponenten einer Wasserstofftankstelle¹³

Brennstoffzelle

Brennstoffzellen als Energiewandler, insbesondere in der Strom- und Wärmeerzeugung für Gebäude sowie im Antriebssystem von Wasserstoff-Elektrofahrzeugen, bieten ein enormes Verbesserungspotenzial hinsichtlich Energieverbrauch und Emissionen (Luftschadstoffe und Lärm) gegenüber herkömmlichen Technologien. Als Energiewandler eröffnen sie einen vielversprechenden Weg, den Wirkungsgrad von Stromerzeugungssystemen zu erhöhen.

Im Gegensatz zu konventionellen Energiewandlern wie beispielsweise Verbrennungsmotoren oder Turbinen, die die chemische Energie des Kraftstoffs zuerst in thermische und dann in mechanische Energie umwandeln, erzeugen Brennstoffzellen aus der chemischen Energie des Kraftstoffs (Wasserstoff) direkt Strom. In der mobilen Anwendung ist der Wirkungsgrad eines Brennstoffzellen-Elektro-Antriebs mit knapp 50 % heute schon doppelt so hoch wie der eines modernen Dieselmotors. In der Brennstoffzelle wird ein Kraftstoff (meist Wasserstoff) und Sauerstoff (aus der Luft) mit Hilfe eines Katalysators über eine Membran kontrolliert zusammengeführt. Dabei entstehen Strom, Wasser und Wärme. Brennstoffzellen, die mit reinem Wasserstoff betrieben werden, verursachen lokal keinerlei Emissionen. Selbst beim Einsatz von Erdgas oder Methanol fallen wesentlich niedrigere CO₂-Emissionen pro Einheit Nutzenergie an als bei der Verbrennung von fossilen Flüssigbrennstoffen.¹⁴

¹³ Wasserstoff Tankstelle Komponenten

¹⁴ Wasserstoff Tankstelle, Seite 8

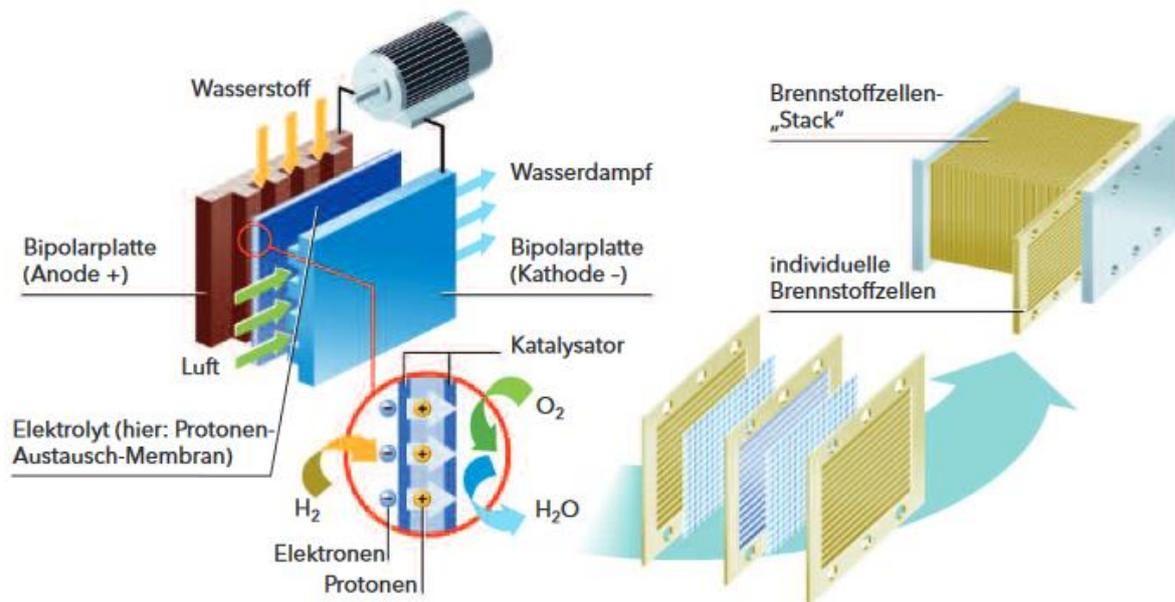


Abb. 1 Funktionsweise einer Brennstoffzelle¹⁴

Regelungen für die Errichtung einer Wasserstoff-Tankstelle

Für die Errichtung und den Betrieb von Wasserstoff-Tankstellen greifen verschiedene spezifische Richtlinien und Normen sowie übergreifende Regelungen.

Spezifische Richtlinien für Wasserstoff-Tankstellen:

- Herstellerangaben (Vorgaben und Handbücher)
- VdTÜV Merkblatt 514: Anforderungen an Wasserstofftankstellen
- ISO/TS 20100 Gaseous hydrogen – Fuelling stations
- SAE 2600 – Compressed Hydrogen Vehicle Fueling Connection Devices
- SAE J2601 – Compressed Hydrogen Vehicle Fueling Communication Devices
- Entwurf TRG 406 – Druckgase – Anlagen zum Füllen von festverbundenen Fahrzeugtanks
zum Antrieb mit verdichtetem Druckgas
(Tankstellen für verdichtete Gase – Druckgastankstellen)
- ISO/PAS 15594, Airport hydrogen fuelling facility operations¹⁵

Übergreifende Regelungen:

¹⁵ Wasserstoff Tankstelle, Seite 27

- Herstellerangaben (Vorgaben und Handbücher)
- BetrSichV, Betriebssicherheitsverordnung
- GaVo, Garagen Verordnung (länderspezifisch)
- BGI 518, Gaswarneinrichtungen für den Explosionsschutz – Einsatz und Betrieb
- BGR 104, Berufsgenossenschaftliche Regeln für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit – Explosionsschutz-Regeln
- BGV A 8, Berufsgenossenschaftliche Vorschrift „Sicherheits- und Gesundheitsschutzkennzeichnung am Arbeitsplatz“
- ISO 15916, Basic considerations for the safety of hydrogen systems¹⁶

Für die Planung und Auslegung einer Wasserstoff-Tankstelle spielen u.a. folgende Faktoren eine entscheidende Rolle:

- Welche Arten von Fahrzeugen sollen an der Tankstelle betankt werden?
Autos, Busse, Lieferfahrzeuge (Transporter), Gabelstapler, Sonderfahrzeuge?
Verschiedene Fahrzeuge tanken unterschiedliche Mengen H₂ und können ihn sowohl flüssig als auch gasförmig in unterschiedlichen Druckstufen nutzen.
- Welche Mengen Wasserstoff müssen erzeugt bzw. bereitgestellt werden, d. h. wie viele Fahrzeuge werden wie oft betankt?
Pro Tag, pro Woche? Schätzen Sie möglichst genau ein, wie viele Fahrzeuge wie oft und in welchen Zeitabständen hintereinander betankt werden sollen.
- Wann muss der Wasserstoff bereitgestellt werden?
Gibt es feste Betriebszeiten für die Tankstelle? Muss der Wasserstoff nur zu bestimmten Tageszeiten zur Verfügung stehen, z. B. morgens oder abends, bevor die Fahrzeuge in Betrieb gehen oder gleichmäßig verteilt über den Tag?
- Wie muss der Wasserstoff an der Zapfsäule bereitgestellt werden?
Flüssig oder gasförmig? Bei welchem Druck: 200, 350 oder 700 bar?
- Welche Kunden nutzen den H₂ an der geplanten Tankstelle?
Wird es eine öffentlich zugängliche Tankstelle sein, an der alle tanken können, oder haben nur ausgesuchte Nutzer mit Genehmigung Zugriff?
- Wo steht die Tankstelle?
Wird die Tankstelle auf der „grünen Wiese“, in einem Industriegebiet oder in der Stadt, z. B. einem Wohngebiet, stehen? Davon abhängig sind bauliche Anforderungen und Genehmigungen
- Flächenbedarf vor Ort verfügbar?
Welche Einheiten (Erzeugung, Speicherung, Abgabe) umfasst die Tankstelle und wie groß ist der Platzbedarf dafür?

¹⁶ Wasserstoff Tankstelle, Seite 27

- Projektzeitraum des Tankstellenbetriebs?
Wird die Tankstelle für eine befristete oder unbefristete Nutzung ausgelegt?
- Flächenbedarf vor Ort?
Welche Einheiten (Erzeugung, Speicherung, Abgabe) umfasst die Tankstelle und wie groß ist der Platzbedarf dafür?
- Wer sind die Projektpartner und wie sind die Aufgaben untereinander verteilt?
- Wer ist der Betreiber der Anlage?
Privat, Dienstleister oder Kommune?
- Welcher Informations- und Schulungsbedarf ist für den Betreiber erforderlich?
- Wer übernimmt die Schulung? Wer ist für die Wartung der Anlage nach Inbetriebnahme zuständig?¹⁷

Eine Bearbeitung zum Flächenbedarf und im Weiteren eines Umsetzungskonzeptes ist im Rahmen des Energiekonzeptes nicht möglich, da die Angaben aus dem Mobilitätskonzept hierfür nicht vorhanden sind.

2.4.3 Umweltverbund

Unter dem Begriff Umweltverbund werden die Mobilitätsarten im Sinne des ÖPNV, des Rad- und Fußverkehr verstanden. Diese Fortbewegungsarten zeichnen sich im Vergleich zum MIV durch ihre Umweltfreundlichkeit und deutlich geringeren Treibhausgas-Emissionen aus. Dennoch müssen die entsprechenden Infrastrukturen zur Nutzung vorgehalten werden

In diesem Kontext ergibt sich eine Nachfrage durch die Schaffung eines Angebots. Das heißt, dass ein barrierefreies und lückenloses Gehwege-Netz, ein Radwege-Netz und ausreichend ÖPNV-Haltestellen in fußläufig erreichbarer Nähe vorgehalten werden müssen. Die Betrachtung der vorhandenen Infrastrukturangebote für die Mobilitäten des Umweltverbunds werden im Kapitel 3.1.2 genauer betrachtet und aufgeführt.

Durch die Förderung des Umweltverbunds sowie alternativer Mobilitäten kann in der Gesamtschau ein wichtiger Schritt zum Erreichen der Verkehrswende in Deutschland erreicht werden.

¹⁷ Wasserstoff Tankstelle, Seite 28

3 Allgemeine Stadt- und Quartiersanalyse

Da sich dieses Konzept ausschließlich auf die energetische Versorgung eines neu zu erschließenden Gewerbeparks konzentriert, wird die Stadt- und Quartiersanalyse an dieser Stelle nur kurz angerissen und auf räumliche sowie verkehrsinfrastrukturelle Aspekte beschränkt.

3.1 Stadt Nidda

3.1.1 Lage und Funktion

Nidda ist eine Stadt im hessischen Wetteraukreis im Naturraum „Unterer Vogelsberg“. Ihren Namen verdankt die Stadt dem angrenzenden Fluss Nidda. Mit fast 18.000 Einwohnern ist Nidda ein Mittelzentrum in der Region. Die vielen Stadtteile machen sie zur Großgemeinde mit einer ungefähren Fläche von 118 km². Der Stadtteil Borsdorf, in dem der „Interkommunale Gewerbepark Oberhessen“ entstehen soll, zählt 704 Einwohner (Stand 2019). Borsdorf wurde erstmals 1207 n. Chr. erwähnt; viel alte Baukultur wie Fachwerkhäuser befindet sich in dem 4,67 km² großen Stadtteil.

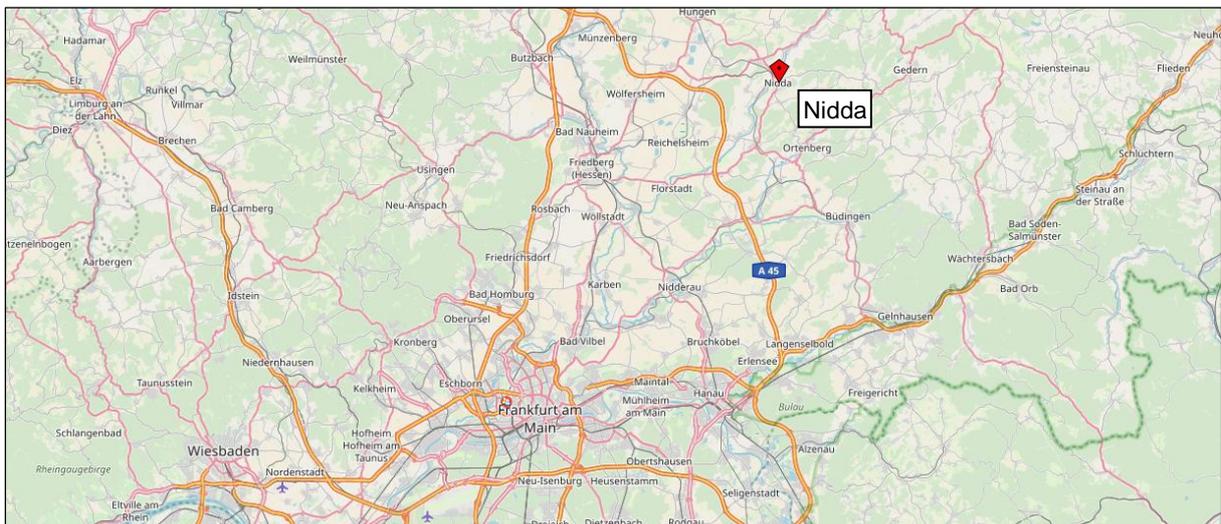


Abbildung 11 Lage von Nidda nordöstlich von Frankfurt am Main¹⁸, genordet, ohne Maßstab

¹⁸ © OpenStreetMap contributors unter Verwendung der [Open Database License](https://openstreetmap.org/)

3.1.2 Infrastruktur und Verkehr

Die Stadt Nidda befindet sich in Mittelhessen im Landkreis Wetteraukreis. Die Großgemeinde Nidda zählt zur Metropolregion Frankfurt-Rhein-Main und liegt im Norden des gleichnamigen Regionalverbands.

Motorisierter Individualverkehr (MIV)

Die Städte Frankfurt, Fulda oder Gießen befinden sich in einem Radius von ca. 50 km Luftlinie vom Standort entfernt. Frankfurt a. M. ist in ca. 60 Minuten mit dem PKW erreichbar. Der Standort liegt zwischen den Stadtteilen Borsdorf und Harb und befindet sich somit ca. 3 km nördlich von der Kernstadt. Der zukünftige Gewerbepark liegt in direkter Anbindung an der Bundesstraße B455 in Richtung Südwest-Nordost und B457 in Richtung Südost-Nordwest. Über die B455 ist der Standort innerhalb von 10 Fahrminuten mit der A45 verbunden.

ÖPNV

Insgesamt befinden sich vier Bahnhöfe (Borsdorf, Bad Salzhausen, Nidda und Häuserhof) innerhalb des Gemeindegebiets. Der nächste Bahnhof zum Plangebiet ist der Bahnhof Borsdorf, wobei dieser fußläufig in zwölf Minuten, mit dem Fahrrad in drei Minuten und mit dem PKW in zwei Minuten erreichbar ist. Am Bahnhof Borsdorf besteht Anschluss an die Regionalbahn RB 46. Die RB 46 verbindet Gießen und Gelnhausen über Nidda miteinander. Die RB 48 bindet Nidda an Frankfurt a.M. an, ist allerdings erst ab Nidda bzw. Bad Salzhausen nutzbar.

In einem fußläufig gut erreichbaren Radius von 500 m vom Standort befinden sich zwei Bushaltestellen (Alois-Thums-Straße und Lillienthalstraße). Über die Buslinie 83 ist der Anschluss an den Bahnhof Nidda in ca. zehn Minuten Fahrtzeit gegeben.

Radverkehr

Eine direkte Radwegeinfrastruktur am Standort ist nur über die Parallel-Nutzung der Straßenverkehrsflächen möglich. Ein separater Radstreifen ist nur als Teilstück entlang der B455 vorhanden. Auf Betrachtungsebene des Gemeindegebiets verläuft das deutsche Fahrradnetz durch Nidda, welches bis nach Frankfurt a.M. führt. Dennoch ist kein ausgebautes, separates Radwegenetz innerhalb der Stadt Nidda gegeben, wodurch die Radroutendichte entsprechend gering ist. Zukünftig soll der Standort an das bestehende lokale Fahrradnetz angebunden werden. Neue Routen sollen am und innerhalb des Gebietes entwickelt werden.

Alternative Mobilität

Innerhalb des Plangebiets existieren aufgrund der derzeitigen Nutzung (landwirtschaftliche Fläche) keine Angebote für alternative Mobilität (E-Mobilität und Sharing). Der nächste öffentliche Ladepunkt befindet sich in der Kernstadt Nidda. Dieser ist in ca. vier Minuten Fahrzeit mit dem PKW erreichbar. Es gibt keine Sharing-Angebote in der Großgemeinde Nidda.

3.2 Bebauungsplangebiet „Interkommunaler Gewerbepark Hessen“

Die Stadtverordnetenversammlung hat am 29. September 2020 in ihrer Sitzung beschlossen, den Bebauungsplan „Interkommunaler Gewerbepark Oberhessen“ in der Gemarkung Borsdorf aufzustellen. Das ca. 19,5 ha große, bisher landwirtschaftlich genutzte Gebiet soll eine zusammenhängende Fläche zur Ansiedlung für Kleingewerbe und Büros, Großgewerbe und Dienstleistungen / Gastronomien (zur Versorgung des Gewerbegebiets) bereitstellen. Entsprechend des Leitbildes „Grün statt Grau“ sind im Gewerbepark zwei große öffentliche Parkanlagen vorgesehen.

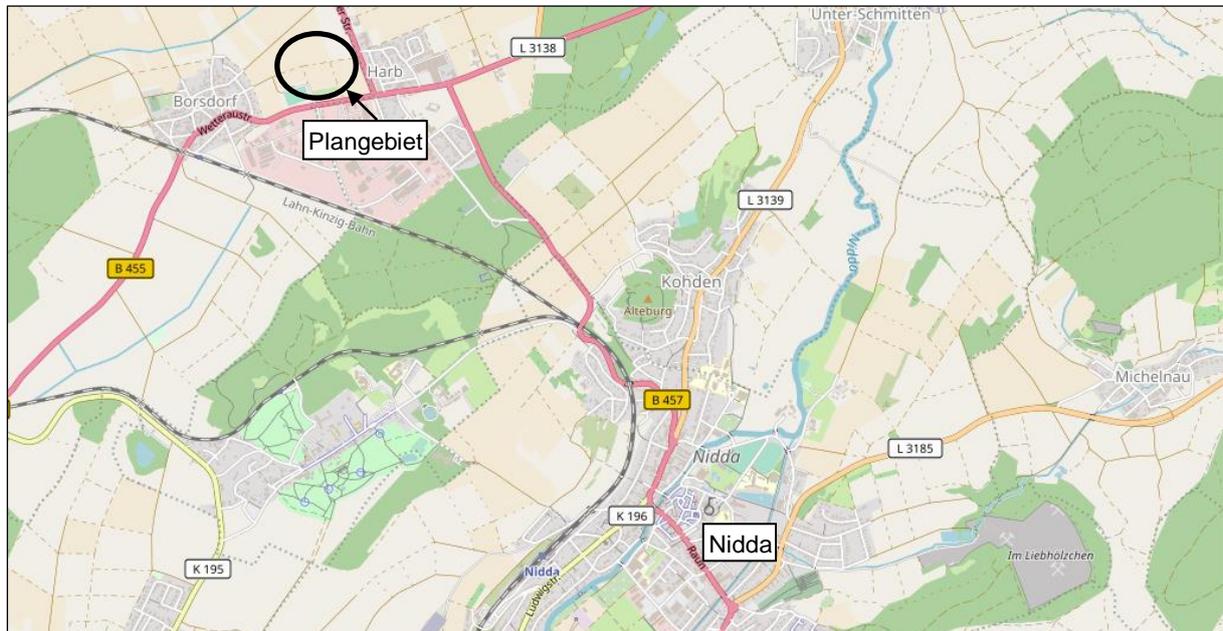


Abbildung 12 Lage des Plangebiets¹⁹ nordwestlich von Nidda, genordet, ohne Maßstab

¹⁹ © OpenStreetMap contributors unter Verwendung der [Open Database License](https://www.openstreetmap.org/de/about)

Die angrenzenden Flächen des Plangebiets werden teils sehr unterschiedlich genutzt. So sind nach Norden hauptsächlich landwirtschaftliche Fläche und Waldgebiete. Östlich des Gebiets befindet sich Harb, ein Stadtteil Niddas mit 775 Einwohnern. Die Bebauung besteht größtenteils aus Einfamilienhäusern, kleineren Gewerben (z.B. Kfz-Werkstatt) und einem größeren Warenhaus.

Südlich des zukünftigen Gewerbeparks befindet sich ein Industriegebiet. Neben klassischen Gewerbebetrieben wie Kfz-Betrieben, ein McDonalds und dem Gesundheitspark Nidda befindet sich ein Fertigbetonteilwerk auf dem Gelände. Dort werden, durch ein Tochterunternehmen der Lupp Unternehmensgruppe, Spannbetonteil hergestellt. Dieses Werk nimmt flächentechnisch den Großteil des Industriegebietes ein.

Das Plangebiet soll sich in dieses Cluster einordnen und eine einheitliche Formsprache durch die Anordnung der Gebäude innerhalb des Gebiets bekommen.



Abbildung 13 Lokale Einordnung des Plangebiets mit Luftbild, genordet, ohne Maßstab

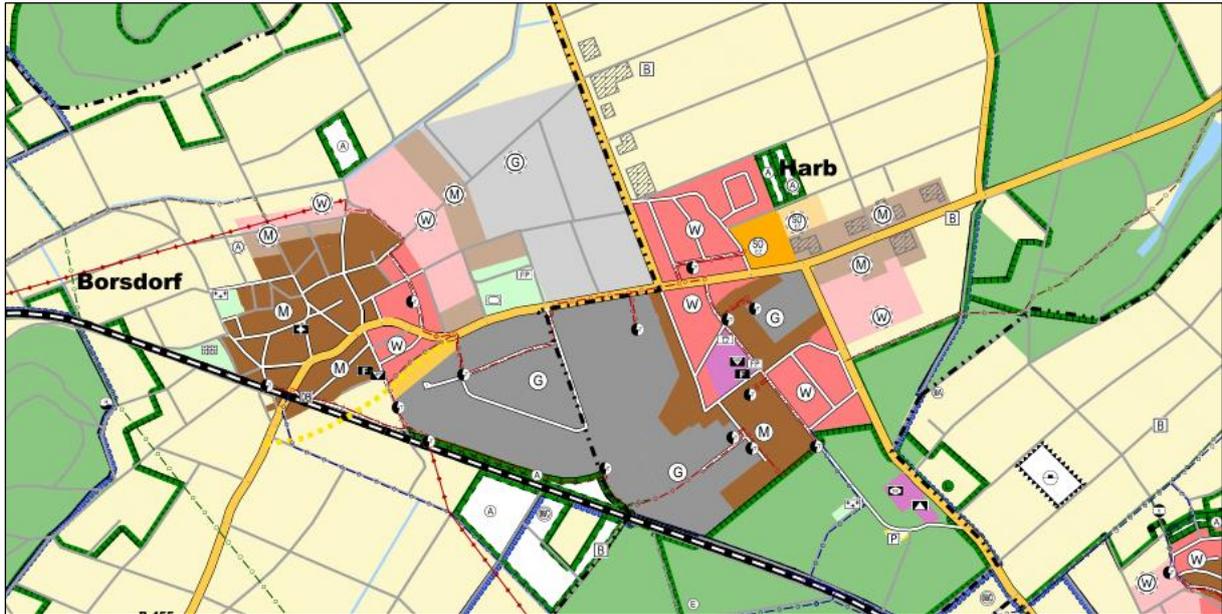


Abbildung 14 Lage des Plangebiets²⁰ (G – hellgrau) im Ortsteil Borsdorf, genordet, ohne Maßstab

²⁰ Gemäß Flächennutzungsplan der Stadt Nidda, Karte B

4 Städtebaulicher Entwurf

Die Baufelder werden um zwei Straßenschleifen herum organisiert. Die südliche Schleife umfasst Grundstücke für kleinere Gewerbeeinheiten und Büronutzungen, während die nördliche Schleife für größere Gewerbebetriebe vorgesehen ist. Mit der Planung wird eine größtmögliche Flexibilität bei der Grundstücksaufteilung angestrebt. Im Zentrum (in Abbildung 15 grün markiert) befinden sich Gastronomie- und Dienstleistungsbetriebe, zur Versorgung des neuen Gewerbegebiets. Im Westen soll ein Mobilitätszentrum errichtet werden, um die Verkehrsflüsse im Plangebiet zu steuern und den Aufbau einer E-Ladestruktur bereitzustellen.

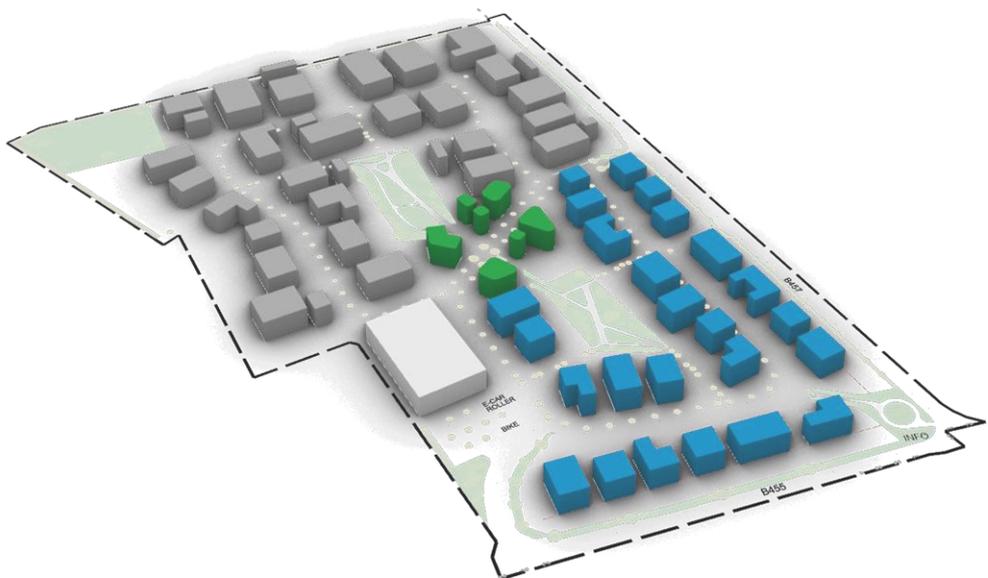


Abbildung 15 Exemplarisches 3D-Modell des Plangebiets „Interkommunaler Gewerbepark Oberhessen“

Die Grundstücke sind, durch die im vorläufigen Bebauungsplan festgehaltene Grundflächenzahl von 0,8, in ihrer zulässigen Grundfläche beschränkt. Nachfolgender Abbildung 16 können die aktuell geplanten Flurstücke und entsprechende Flächen entnommen werden.



Abbildung 16 Vorläufige Flächenaufteilung der Flurstücke²¹

Das größte Grundstück umfasst 2.900 m² im Nordwesten des Plangebiets. Anliegend befindet sich ein Eckgrundstück, welches für eine mögliche Energiezentrale vorgehalten werden kann. Das zulässige Höchstmaß baulicher Anlagen soll flächendeckend auf 12,0 m festgesetzt werden. Einzige Ausnahme bildet der zentrale Gastro- und Dienstleistungsbereich, welcher bis auf 13,5 m hoch bebaut werden darf. Mit diesen Vorgaben soll sich das neue Gewerbegebiet in die Bebauung der anliegenden Gebiete einfügen.

²¹ Planungsbüro Fischer (2021). Städtebauliches Konzept S4.

5 Energiebedarfsermittlung

Für die Erstellung der Versorgungsvarianten ist es erforderlich, den benötigten Endenergiebedarf des Gewerbeparks abzuschätzen. Hierbei sollen die Sektoren Gebäude und Mobilität betrachtet werden, um Lösungsansätze für eine nachhaltige Energieversorgung zu entwickeln.

5.1 Gebäude

5.1.1 Methodik

Grundlage zur Ermittlung des Energiebedarfs ist der Gestaltungsplan mit spezifischen Verbrauchswerten für entsprechende Gebäudestandards in Zusammenhang mit Nutzungsprofilen für Wärme und Strom. Zu beachten ist, dass der tatsächliche Energiebedarf im Neubaugebiet in beide Richtungen variieren kann, da dieser sehr stark von den individuellen Nutzungen der Gebäude abhängig ist.

In diesem frühen Stadium des Vorentwurfs der Gebäude wurde für die Berechnung der Energiebedarfe das Ein-Zonen-Model gewählt, wobei die Nutzungen dem städtebaulichen Konzept entnommen sind.

Für die Ausführung des Heizenergiebedarfs und der Gebäudehülle wurden in diesem Konzept folgende Bedarfe angenommen:

- I. Standard-Szenario (Energiebedarf gem. gesetzlichen Vorschriften nach GEG)
- II. Niedrigenergie-Szenario (Energiebedarf gem. KfW-40 Standard, EE-Klasse)
- III. Passivhaus-Szenario (Energiebedarf gem. Passivhausbauweise)

Als Bezugsgröße werden die Nutzerbedarfe entsprechend dem Leitfaden „Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Nichtwohngebäudebestand“²² des Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) herangezogen. Der GEG-Standard entspricht der Energieaufwandsklasse „mittel“, das Niedrigenergiehaus der Energieaufwandsklasse „gering“ und der Passivhaus-Standard der Klasse „sehr gering“.

²² Im Einvernehmen mit dem Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie werden die Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Nichtwohngebäudebestand bekannt gemacht. Diese Bekanntmachung ersetzt die „Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Nichtwohngebäudebestand“ vom 26. Juli 2007 [Stand: 30. Juli 2009]

In den nachfolgenden Tabellen sind die daraus angenommenen Werte für die Berechnung der Energieversorgung aufgelistet.

Tabelle 1 Energiekennzahlen für die Energiestandards bei „Gewerblichen und industrielle Hallen – leichte Arbeit, überwiegend sitzende Tätigkeit“

spez. Bedarf in kWh/(m ² *a)	GEG/ KfW55 „mittel“	Niedrigenergie, KfW-40 „gering“	Passivhaus „sehr gering“	Plusenergiehaus
Warmwasser	37,0	30,9	21,2	21,2
Heizung	79,0	30,0	13,0	13,0
Kühlung	22,1	18,6	10,5	10,5
Strom				55,0

Tabelle 2 Energiekennzahlen für die Energiestandards bei „Gewerblichen und industrielle Hallen – schwere Arbeit, stehende Tätigkeit“

spez. Bedarf in kWh/(m ² *a)	GEG/ KfW55 „mittel“	Niedrigenergie, KfW-40	Passivhaus	Plusenergiehaus
Warmwasser	37,0	30,9	21,2	21,2
Heizung	69,0	28,0	12,2	12,2
Kühlung	13,8	10,9	6,2	6,2
Strom				71,0

Tabelle 3 Angenommene Werte für die Energiestandards bei „Dienstleistungen und Gastronomie“ in kWh/(m²*a)

	GEG/ KfW55 „mittel“	Niedrigenergie, KfW-40	Passivhaus	Plusenergiehaus
Warmwasser				110,0
Heizung	135,0	55,0	17,0	17,0
Kühlung	13,8	10,9	6,2	6,2
Strom				68,9

Anmerkung:

Die Kennzahlen für das Gewerbe „Dienstleistungen und Gastronomie“ werden aus verschiedenen Gewerbegruppen ermittelt.

Aufgrund der unbekanntem zukünftigen Ansiedlungssituation des Plangebiets und den teils sehr unterschiedlichen Bedarfsanforderungen von Wärme, Strom und Kühlung wurde ein Ansiedlungsszenario entworfen und nach kleinen Abänderungen durch den Auftraggeber bestätigt. Dieses Modell bildet die Grundlage zur Berechnung der Bedarfsanalyse.

Durch die vorläufigen Festsetzungen im Bauleitplan wurden folgende Einrichtungen ausgeschlossen: Lagerplätze, Logistikunternehmen, Tankstellen, Gebäude für kirchliche, kulturelle und gesundheitliche Zwecke, Vergnügungsstätten sowie Einzelhandelbetriebe, welche nicht zur Versorgung des Gewerbegebiets dienen.

Um die Vielfalt an übrigen Gewerbebetrieben abzudecken, wurden die Gebäude nach ihren Nutzungsprofilen gem. DIN V 18599 geclustert. Die Norm dient zur energetischen Bewertung von Gebäuden und beschreibt ein Verfahren zur Bewertung des Gesamtenergieeffizienz von Wohn- und Nichtwohngebäuden. Abschnitt 10 dieser Norm definiert die Nutzungsrandbedingungen entsprechender Nutzungsklassen, bspw. die durchschnittliche Soll-Temperatur für Sommer und Winter, die Beleuchtungsstärken, die Nutzungsdauer, Anzahl an Mitarbeitern etc.

Auf Grundlage dieser Informationen und unter Berücksichtigung entsprechender Gebäudestandards (GEG, KfW 40 und Passivhaus) lässt sich der Wärme- und Strombedarf errechnen. Eine Unschärfe in dieser Betrachtung ergibt sich durch mögliche Industrie- bzw. Gewerbeprozesse, welche einen außerordentlich hohen Wärme- und/oder Strombedarf aufweisen.

Folgende Tabelle 4 zeigt die Flächenaufteilung des erarbeiteten Ansiedlungsszenarios.

Energiekonzept für den Interkommunalen Gewerbepark Oberhessen I - Endbericht -
Energiebedarfsermittlung

Tabelle 4 Flächenaufteilung in % nach Nutzungsprofilen der DIN 18599

Nutzungsprofil	Büros und kleines Gewerbe		Größeres Gewerbe	Dienstleistungen und Gastro			Mobilitätszentrum
	Büro	kleines Gewerbe	Mehr Büro	Mehr Produktion	Dienstleistungen	Gastronomie	Parkhaus
Büro (Einzelbüros, Gruppenbüro und Großraumbüro)	60,0	25,0	15,0	10,0	15,0	10,0	
Einzelhandel/ Kaufhaus					15,0	5,0	
Kantine						15,0	
Restaurant					10,0	25,0	
Küchen in Nichtwohngebäuden	5,0	5,0	5,0	2,5	10,0	10,0	
Küche - Vorbereitung, Lager					5,0	10,0	
WC und Sanitärräume in Nichtwohngebäuden	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	
Sonstige Aufenthaltsräume	5,0	5,0	5,0	2,5	5,0	5,0	5,0
Verkehrsflächen	10,0	10,0	10,0	10,0	5,0	5,0	20,0
Lager, Technik, Archiv	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Gewerbliche und industrielle Hallen - mittelschwere Arbeit, überwiegend stehende Tätigkeit		10,0	25,0	35,0			
Gewerbliche und industrielle Hallen - leichte Arbeit, überwiegend sitzende Tätigkeit		20,0	10,0				
Parkhäuser (öffentliche Nutzung)							65,0
Fitnessraum	5,0				20,0		
Labor		5,0		20,0			
Lagerhallen, Logistikhallen		5,0	15,0	5,0			
Summe	100	100	100	100	100	100	100
Anzahl der Gebäude	12	11	13	13	2	3	1

Zum besseren Verständnis bei der Konzepterarbeitung wurden die einzelnen Gebäude des städtebaulichen Entwurfs wie folgt nummeriert.



Abbildung 17 Gebäudeaufteilung im Gewerbegebiet

5.1.2 Endenergiebedarf – Heizung, Warmwasser, Kühlung und Strom

Neben dem Heizwärmebedarf wird die Erwärmung des Trinkwarmwassers (TWW) ebenfalls im Wärmebedarf berücksichtigt. Diese wird in allgemeinen Berechnungen mit einem Standardwert bedacht. Der Strom- und Kühlbedarf wurde auf Basis durchschnittlicher Verbrauchsdaten der verschiedenen Nutzungen ermittelt. Beide Bedarfe sind unabhängig vom Gebäudestandard.

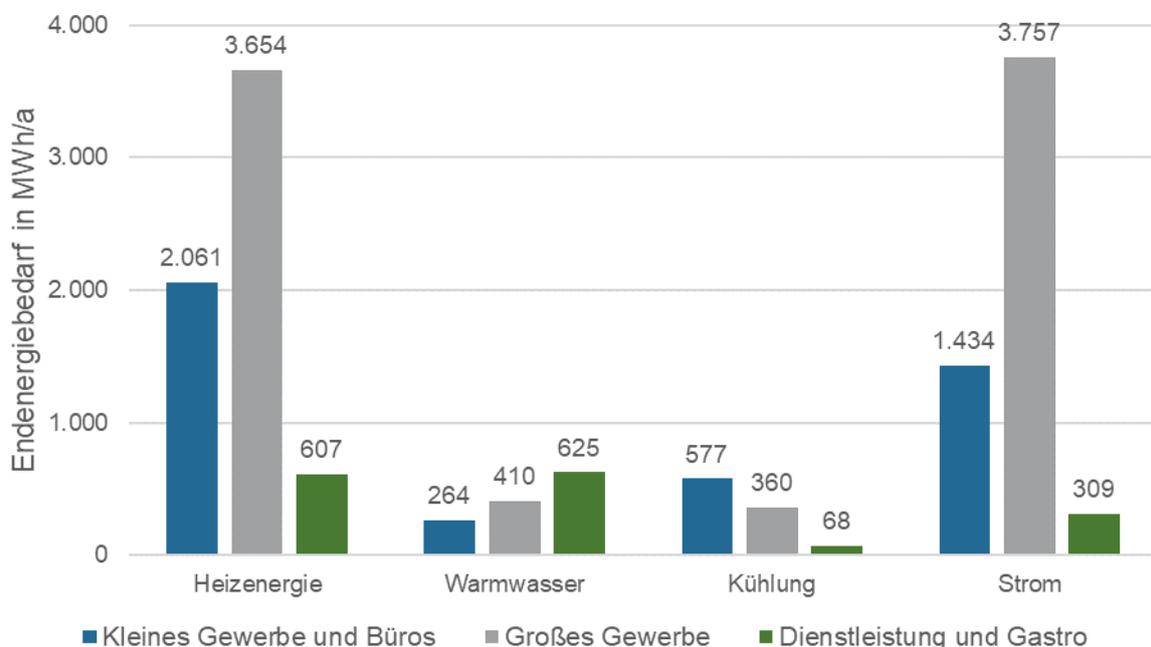


Abbildung 18 Mögliche Energiebedarfe in Abhängigkeit des Nutzungstyps

Die Heizenergie entspricht, mit einem Anteil von rund 45 % am Gesamtenergiebedarf, 6,3 GWh/a. 39 % (5,5 GWh/a) entfallen auf den Strombedarf. Der Anteil am Warmwasser sowie der Kühlung beträgt 9 % (1,3 GWh/a) bzw. 7 % (1,0 GWh/a). Der maximal bereitzustellende Wärmebedarf für Heizung und Warmwasser beläuft sich demnach auf 54 %.

Die Ausführung der Gebäudehülle wird im Konzept, neben der Beschreibung von verschiedenen Bauarten (vgl. Kapitel 2.1), in drei Energiestandards betrachtet. Als Basis werden die gesetzlichen Mindestanforderungen für Neubauten nach dem Gebäudeenergiegesetz (GEG) verwendet, welche dem heutigen KfW55-Standard entsprechen. Die beiden höheren Stufen

basieren auf den Anforderungen der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG).²³ Die mittlere Stufe bildet die Anforderungen an ein Niedrigenergiehaus (KfW40) und die sehr geringe Stufe die Anforderungen an ein Passivhaus ab.

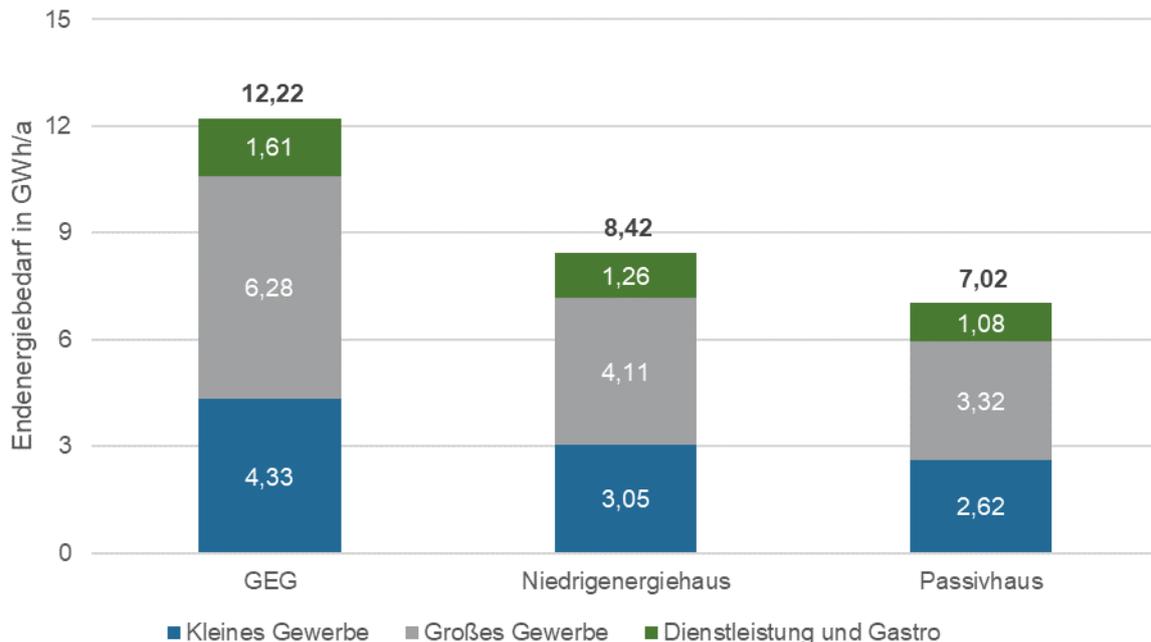


Abbildung 19 Endenergiebedarf in Abhängigkeit der Gebäudeeffizienz nach Gebäudetyps

Abbildung 19 verdeutlicht, dass der summierte Energiebedarf aller Verbrauchergruppen (Heizung, Warmwasser, Strom) bei allen drei Nutzungen mit steigendem Qualitätsniveau der Gebäudehülle sinkt, was auf den abnehmenden Bedarf an Heizenergie zurückzuführen ist.

5.2 Ladeinfrastruktur & E-Mobilität

Die Elektromobilität bietet eine emissionsärmere Alternative für den mobilisierten Individualverkehr und gewinnt sukzessive an Bedeutung im Verkehrssektor. E-Autos stellen heutzutage bereits eine valide Alternative zur Erledigung von alltäglichen Kurz- bis Mittelstrecken dar. Aktuell wird von einem E-Fahrzeug-Anteil von ca. 10 % ausgegangen, dieser soll bis zum

²³ Seit dem 24. Januar 2022 wurde die KfW 55 Förderung für Neubauten eingestellt. KfW 40 bleibt 2022 für Neubauten bestehen, allerdings mit geringeren Fördersummen.

Jahr 2030 perspektivisch auf 20 % erhöht werden. Der zukünftig erhöhte Strombedarf soll im Energiekonzept berücksichtigt werden.

Von der Firma Drees & Sommer wurden 3.240 benötigte Kfz-Stellplätze für das Plangebiet ermittelt. Die Aufteilung auf die Betriebe und der Parkplatzbedarf nach Uhrzeiten sind dem Mobilitätskonzept zu entnehmen.

Bei einer jährlichen Fahrleistung von 14.000 km ergibt sich ein Energiebedarf von ca. 2.000 kWh/a pro Fahrzeug. Die mittelfristig erwarteten 20 % E-Autoanteil entsprechen im Plangebiet 648 E-Fahrzeugen. Weiterhin ist zu kalkulieren, wie viel der benötigten Jahresenergiemenge im Plangebiet tatsächlich abgenommen wird, da davon auszugehen ist, dass einige E-Auto-Besitzer bereits zuhause bzw. an anderen Orten ihr Auto laden. Für eine erste Abschätzung wird von 25 % ausgegangen. Folglich werden ca. 324 MWh pro Jahr zusätzlich abgenommen.

Für die Implementierung der E-Ladestation muss eine entsprechende Energienetzleistung vorhanden sein. Für private Ladestationen ist eine Leistung zwischen 7 und 11 kW anzunehmen, bei öffentlichen Ladestationen in der Regel 22 kW. Für die Erschließung des Neubaugebietes bietet es sich darüber hinaus an, Leerrohre für einen späteren Ausbau der Ladeinfrastruktur vorzusehen.

5.3 Elektrolyse (Wasserstoff-Tankstelle)

Im Bereich der Wasserstofferzeugung mittels Elektrolyse lässt sich am Beispiel der Fahrzeugbetankung Folgendes zusammenfassen:

Bei 700 bar betriebenen Pkw hat Wasserstoff eine Dichte von 40 kg/m³, dies entspricht bei einem Tankinhalt von ca. 6 kg (etwa 0,15 m³) einer Reichweite von durchschnittlich 500 km. Bei 350 bar betriebenen Lkw beträgt die Dichte 24 kg/m³, dies entspricht bei einem Tankinhalt von 30 kg (etwa 0,75 m³) ebenfalls einer Reichweite von durchschnittlich 500 km.²⁴

Wird davon ausgegangen, dass für die Betankung von Fahrzeugen ca. 2,4 GWh Wasserstoff zur Verfügung stehen, dann entspricht dies im komprimierten Zustand auf 700 bar etwa 1.846.153 l. Bei einem Tankvolumen von 150 l ergeben sich knapp 12.307 Tankfüllungen. Damit können bspw. 800 PKW 14 bis 16 Tankfüllen jährlich erhalten und jeder Pkw etwa 7.500 km/a fahren.²⁵

²⁴ Vgl. emcel

²⁵ Vgl. Energie Wasserstoff

6 Potenzialanalyse

Bei der Erarbeitung des Energiekonzepts für den interkommunalen Gewerbepark Oberhessen sollen die lokalspezifischen Potenziale zur Nutzung von erneuerbaren Energien untersucht werden. Diese umfassen Geothermie, Solarenergie, Abwasserwärmepumpen, Biomasse, Windkraft und Abwärme-Potenziale. Durch die Analyse soll ein Überblick gegeben werden, welche erneuerbare Energiequellen im Plangebiet zukünftig einen Beitrag zur energetischen Versorgung leisten können.

Die ergebnisoffene Potenzialanalyse wird den konkreten Umsetzungsmöglichkeiten in Kapitel 7 vorangestellt, da Potenziale in der Regel nicht ihre Gültigkeit verlieren. So werden etwaige variable Restriktionen wie z.B. Richtlinien nicht berücksichtigt. Die nachfolgende Tabelle verdeutlicht, wie der Potenzialbegriff während der Konzeptbearbeitung geschärft wird, um zu realistischen Umsetzungsmöglichkeiten zu gelangen.

Tabelle 5 Definition des Potenzialbegriffs

Potenzial	Beschreibung
Theoretisch	Maximal mögliches Potenzial ohne Einschränkungen
Technisch	Berücksichtigung technischer Möglichkeiten sowie rechtlicher und ökologischer Beschränkungen
Wirtschaftlich	Ökonomisch sinnvoll erschließbares Potenzial unter Berücksichtigung von Investitionskosten, Wärmegebungskosten, Annuitäten und Sensitivitäten

Abbildung 20 zeigt erneuerbare Energiequellen sowie mögliche Bereitstellungspfade auf. Grün markiert (durchgezogener Rand) sind jene erneuerbaren Energien, die in der folgenden Potenzialanalyse näher betrachtet werden.

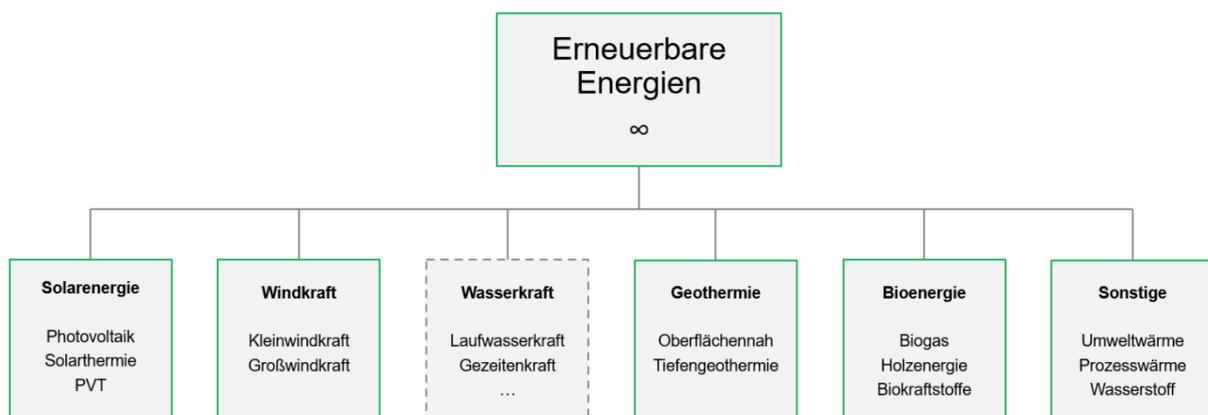


Abbildung 20 Erneuerbare Energiequellen und mögliche Bereitstellungspfade

6.1 Geothermie

Eine Möglichkeit zum Decken des Wärmebedarfs durch Zuhilfenahme von Umweltwärme aus dem Erdreich stellt die Verwendung von Erdwärmekollektoren oder Erdsonden dar.

Erdwärmesonden können durch Bohrungen Wärme aus tieferen Erdschichten nutzbar machen und haben dadurch einen geringeren Flächenbedarf, jedoch höhere Investitionskosten durch den erhöhten Aufwand der Bohrungen. Des Weiteren müssen hydrogeologische Eigenschaften des Untergrundes berücksichtigt werden. Im Plangebiet hat die Nutzung von Erdwärmesonden **keine Relevanz**, da es als Wasserschutzgebiet eingeordnet ist.

Eine Alternative stellen Erdwärmekollektoren dar. Diese sind horizontal im Erdreich verlegte Wärmetauscher, die die Wärme des Erdreichs als Energiequelle für eine Wärmepumpe nutzbar machen.

Für eine konkrete Aussage, inwiefern Erdkollektoren Anwendung finden können, ist im Einzelfall durch die untere Wasserschutzbehörde eine Genehmigung für oberflächennahe Geothermie einzuholen. Bei Zusage gilt es für eine genaue Bestimmung der thermodynamischen Parameter in der oberflächennahen Geothermie ein anschließendes Bodengutachten zu erstellen, um eine abschließende Aussage zur realen Entzugsleistung und damit der Menge an entzogener Wärmemenge aus dem Erdreich geben zu können.

Nachfolgende Kalkulation soll das Potenzial von Erdwärmekollektoren abschätzen.

Tabelle 6 Potenzialberechnung Erdkollektoren

Berechnungsparameter	Einheit	Erdkollektor
Unbebaute Fläche	m ²	25.000
Davon potenziell für GT nutzbar	%	80
Verlegeabstand	cm	70
Entzugsleistung	W/m	30
Vollbenutzungsstunden	h	2.100

Als überschlägiges Gesamtpotenzial der unverbauten Fläche des Plangebiets ergibt sich unter den Annahmen aus Tabelle 6 eine entziehbare Energiemenge von **1.800 MWh pro Jahr**.

Bei marktüblichen Geothermie-Wärmepumpen und einem COP (Wirkungsgrad) von 4 muss zur Erzeugung der genannten Wärmemengen ein Viertel der Energie im System durch Strom aufgewendet werden, sprich 450 MWh/a.

Da zum jetzigen Zeitpunkt nicht von einer Nutzung der Erdwärme (auch durch Erdkollektoren) ausgegangen werden kann, findet im weiteren Konzept keine tiefergehende Untersuchung des überschlägig ermittelten Potenzials statt.

6.2 Solare Energie

Für die Nutzung solarer Energie kommen mehrere Optionen infrage. Zumal sollten Überlegungen zur Art der Nutzung gemacht werden, d. h. stromseitige Nutzung über Photovoltaik-Anlagen (PV), wärmeseitige Nutzung über Solarthermieanlagen (ST) oder eine Kombination (PVT). Zur Potenzialermittlung müssen anschließend die für die solare Energiegewinnung nutzbaren Flächen bestimmt werden. Für das Plangebiet bieten sich die Dachflächen und/oder ergänzend die Fassaden der zukünftig ansiedelnden Unternehmen an sowie eine mögliche Freifläche südwestlich des Neubaugebiets (ehemaliger Sportplatz), die als Ansatz für die Potenzialanalyse genutzt werden soll.

Sollte die Fläche zukünftig anderer Nutzung unterliegen (bspw. Gewerbefläche), so trifft die Analyse zumindest eine Aussage über die Nutzung von Freiflächen für die zukünftige Stromversorgung im Plangebiet. Eine alternative Flächennutzung gilt es ggf. zu prüfen.

6.2.1 Photovoltaik

Über eine beispielhafte Berechnung einer Dachfläche sollen die Gesamtpotenziale für die später bestehenden Gebäude hochgerechnet werden. Es wurden eine PV-Anlage nach Süden (höchste Effizienz der Module) und eine Ost-West-Ausrichtung (max. installierbare Leistung ohne erhebliche Verschattungsverluste) untersucht.

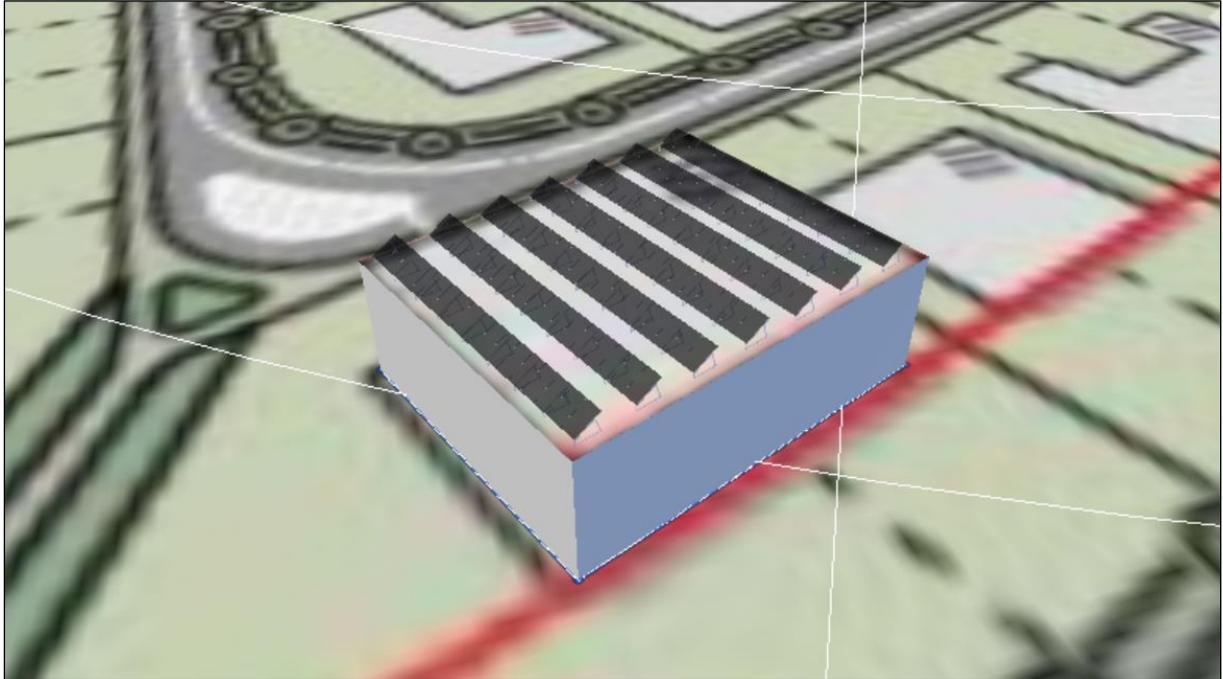


Abbildung 21 PV-Dachpotenzial Südausrichtung

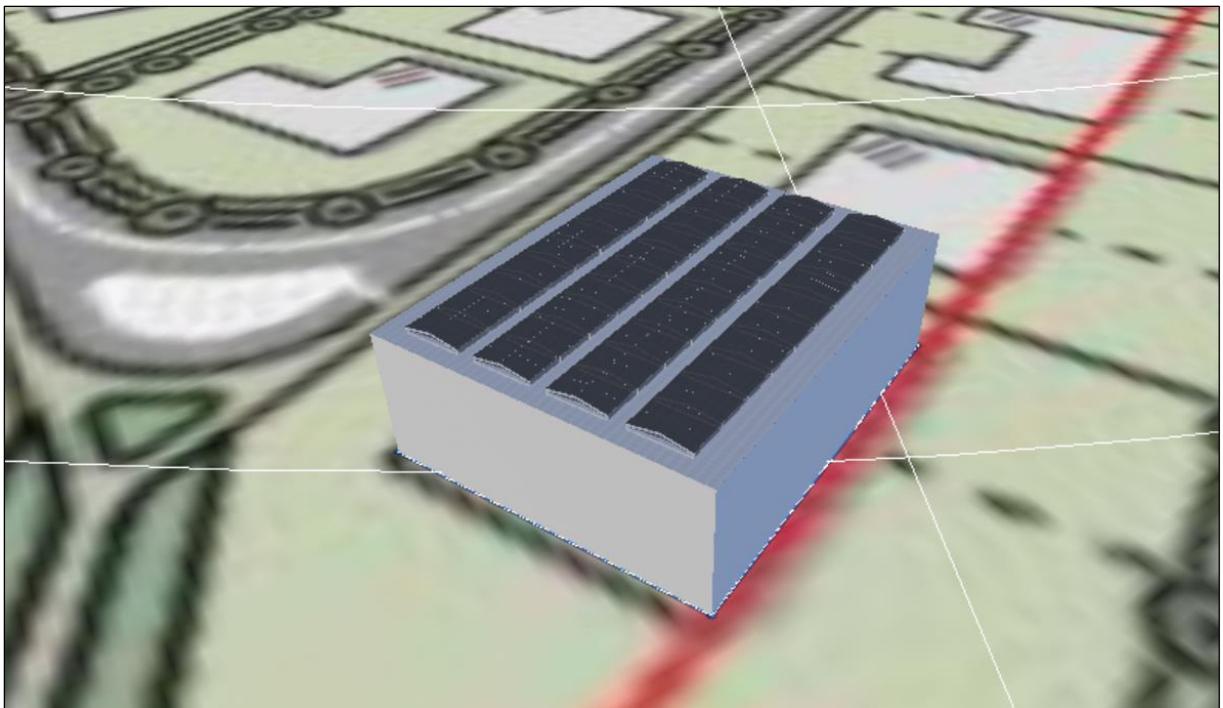


Abbildung 22 PV-Dachpotenzial Ost-West-Ausrichtung

Für die Berechnung wurde eine 3D-Simulation eines Grundrisses auf Grundlage des städtebaulichen Entwurfs erstellt. Unter der Annahme, dass die Gebäude gleiche Höhen besitzen, wurde eine nahezu verschattungsfreie Simulation durchgeführt. Die Dachfläche des dargestellten Gebäudes beträgt ca. 500 m².

Tabelle 7 Ergebnisse der PV-Dachsimulation

Parameter	Einheit	Südausrichtung	Ost/West-Ausrichtung
Ausrichtung ²⁶	°	158 (Süd)	68 (Ost) / 248 (West)
Neigung	°	30	15
Installierte Leistung	kWp	45,36	63,36
Spez. Jahresertrag	kWh/kWp	979,27	912,07
Jahresertrag	kWh/a	44.422	58.170

Unter der Annahme, dass 70 % der Dachflächen mit PV-Anlagen besetzt werden und ein vergleichbarer spezifischer Ertrag erzielt wird, ist im Plangebiet ein Jahresgesamtertrag von ca. **7,7 GWh/a in Südausrichtung** bzw. ca. **11,2 GWh/a in Ost/West-Ausrichtung** erzielbar.

Ergänzend wurde eine 3D-Simulation für eine an einer Südfassade installierten PV-Anlage unter der Annahme durchgeführt, dass 50 % einer verschattungsfreien Fassade nutzbar sind und 50 % der Fläche auf Fenster und Türen entfallen.

Mit Photovoltaikanlagen an der Fassade von Einzelgebäuden können etwa 16,6 MWh/a erzeugt werden. Für das gesamte Plangebiet können unter der Annahme, dass 50 % der Südfassaden nutzbar sind, mit Fassadenmodulen zusätzliche 2 MW_p installiert werden, die ca. **1,7 GWh/a** erzeugen können.

²⁶ Bedingt durch die Gebäudeausrichtung

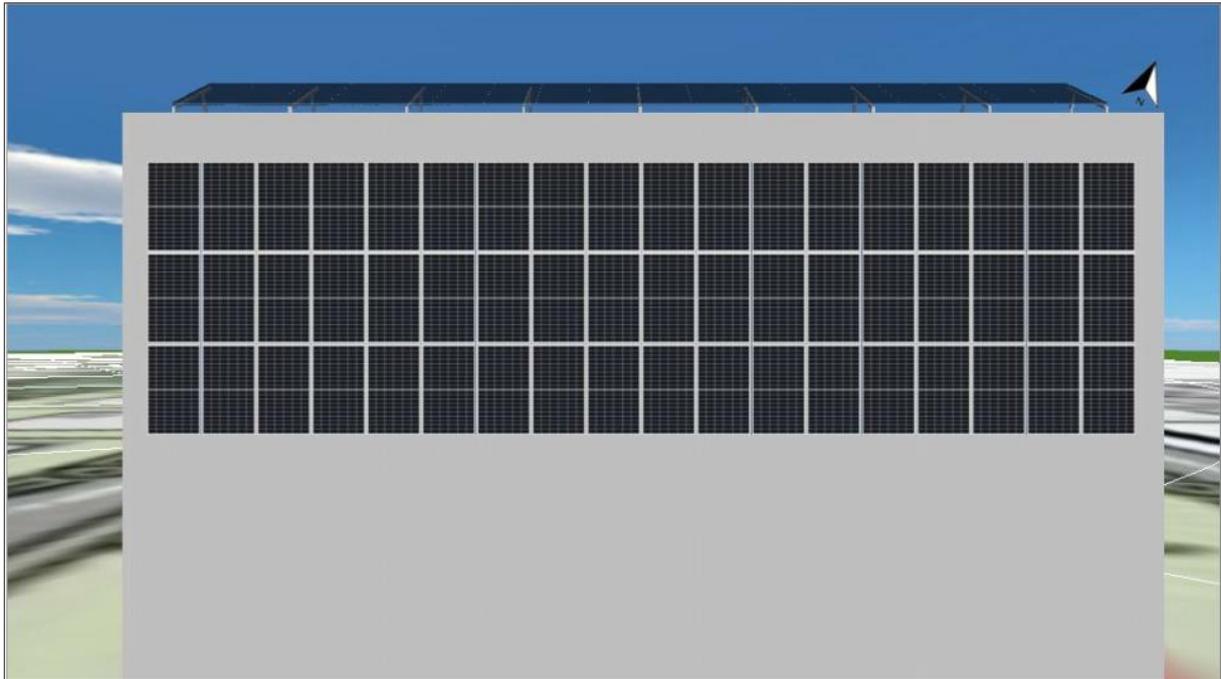


Abbildung 23 PV-Potenziale an Südfassaden aus der Simulation

Tabelle 8 Ergebnisse der PV-Fassadesimulation

Parameter	Einheit	Südausrichtung	Südfassade	Gesamt
Ausrichtung ²⁷	°	158° Süd	158° Süd	-
Neigung	°	30°	90°	-
Installierte Leistung	kWp	45,36 kWp	19,44 kWp	64,8 kWp
Spez. Jahresertrag	kWh/kWp	979,27 kWh/kWp	856,48 kWh/kWp	942,47 kWh/kWp
Jahresertrag	kWh/a	44.422 kWh/a	16.650 kWh/a	61.072 kWh/a

Bei der Freiflächenbetrachtung soll eine möglichst effiziente Ausrichtung der Anlage angestrebt werden. Dies wird in Südausrichtung 180° mit einer Neigung von 30° erreicht. Folgende Abbildung 24 zeigt die vorhandene Freifläche und Anordnung der PV-Anlage. Diese ist so ausgelegt, dass die Verschattung durch genügend Abstand zur anliegenden Baureihe geringgehalten wird. Im Jahresverlauf entstehen Verschattungsverluste von ca. 6 %.

²⁷ Bedingt durch die Gebäudeausrichtung

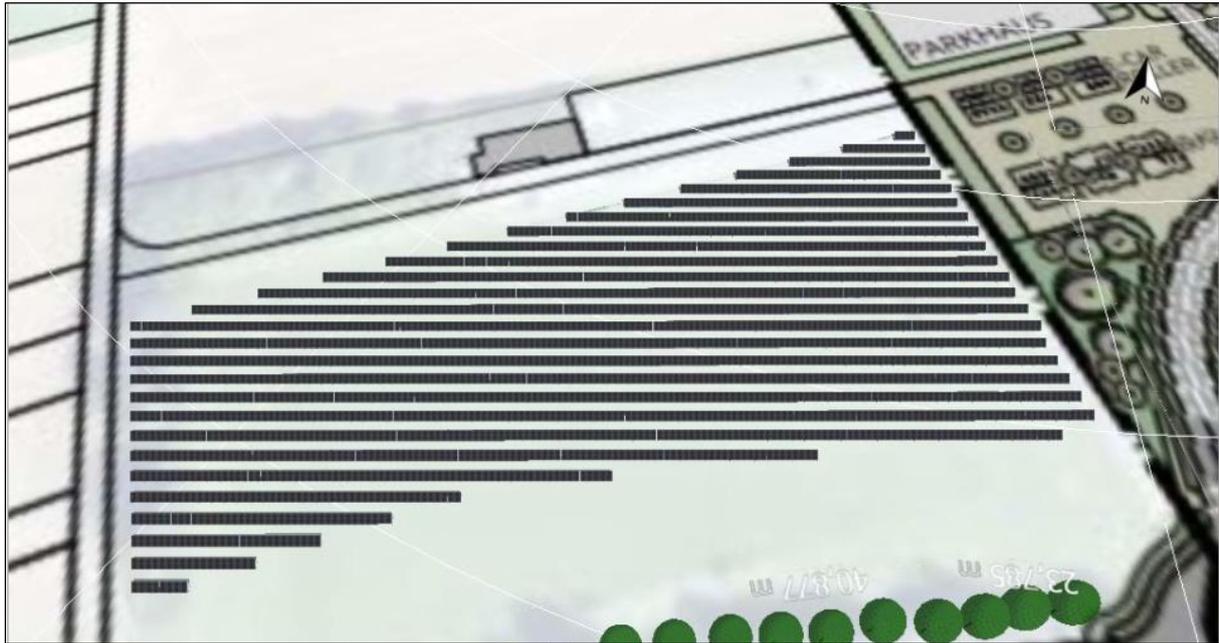


Abbildung 24 Anordnung der PV-Anlage auf der Freifläche

Tabelle 9 Ergebnisse der PV-Freiflächensimulation

	Südausrichtung
Flächeninanspruchnahme	7.800 m ²
Ausrichtung²⁸	176° Süd
Neigung	30°
Generatorfläche	4.295 m ²
Installierte Leistung	848,88 kW _p
Spez. Jahresertrag	1.066,51 kWh/kW _p

Somit lässt sich mit der Freiflächenanlage ein jährlicher Ertrag von ca. **900 MWh/a** erzeugen.

Zusammenfassung der PV-Potenzialanalyse

Der Anteil des Strombedarfs, der durch die Photovoltaikmodule eines beispielhaften Gebäudes gedeckt werden kann, variiert je nach Gebäudefläche, Ausrichtung und Gesamtstrombedarf. In Verbindung mit einem Batteriespeicher, der im Verhältnis von 1 zu 1 zu der Speicherkapazität in kWh und der Leistung der PV-Anlagen in kW_p gewählt wird, kann bei

²⁸ Bedingt durch die Gebäudeausrichtung

dem untersuchten Gebäude ein Deckungsgrad von bis zu 65 % erreicht werden (siehe Abbildung 25).

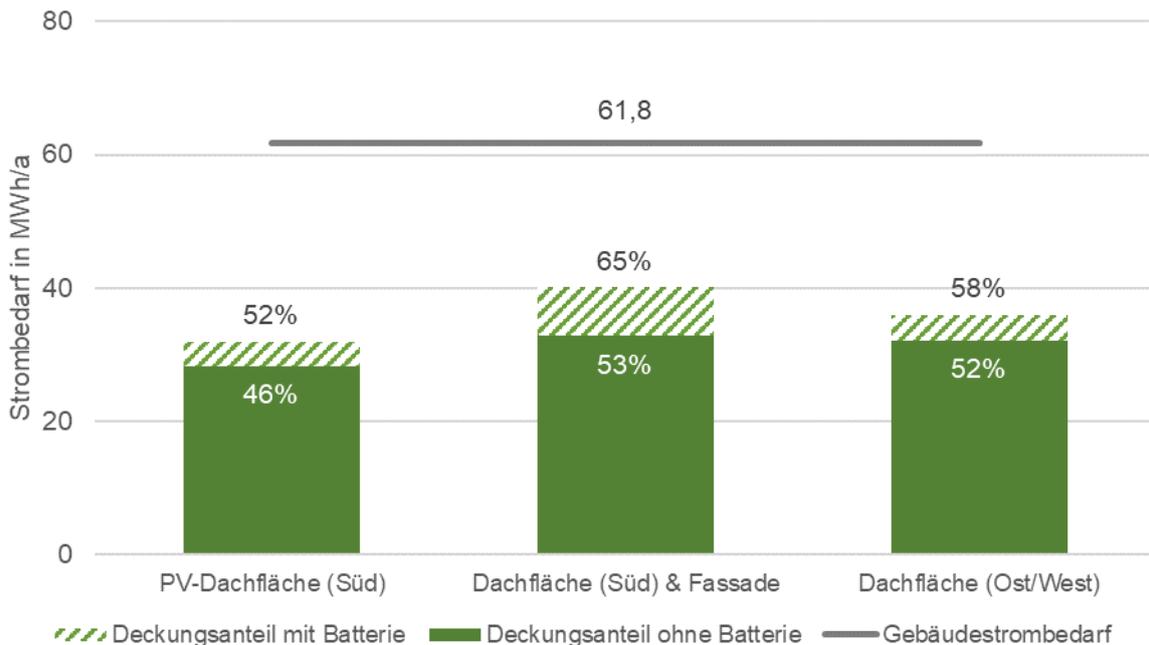


Abbildung 25 Deckungsgrad am Strombedarf eines beispielhaften Gebäudes durch PV-Anlagen und Batteriespeicher nach Art genutzter Flächen

Der gesamte Strombedarf könnte auf der Ebene des Plangebiets gedeckt werden. Dies geschieht durch die Installation von Photovoltaikmodulen auf den Dächern, an den Südfassaden sowie auf den Freiflächen. Eine Ergebnisübersicht mit allen weiteren Potenzialen erfolgt in Kapitel 6.8.2.

6.2.2 Solarthermie

Entsprechend der simulierten Stromerzeugung der PV-Anlagen auf den jeweiligen Flächen wird das solare Wärmepotenzial untersucht und der mögliche Deckungsgrad mittels Lastgangverfahren bestimmt. Nachfolgend wird, neben dem Potenzial der solaren Wärme, auf den möglichen Deckungsgrad am Wärmebedarf durch Solarthermieanlagen in Kombination mit Wärmespeichern eingegangen.

Bezogen auf das untersuchte Gebäude kann bei der Belegung der Dachflächen ein jährlicher Ertrag von rund 158 MWh erreicht werden. Der Deckungsgrad beträgt bei einem jährlichen Wärmebedarf für Heizung und Warmwasser von 164 MWh rund 22 % mit einem Nutzungs-

grad der solaren Anlage von 23 %. Bei einem herkömmlichen Speichervolumen von 2.000 Litern wird der Deckungsgrad bzw. Nutzungsgrad auf 38 % bzw. 40 % angehoben.

Anzumerken gilt, dass für die Auslegung einer Solarthermieanlage wichtig ist, einen Nutzungsgrad von 60 % anzustreben (wirtschaftliche Auslegung). Dieser wird bei einer Auslegung der Dachflächen von 50 % erreicht. Demnach liegt der Nutzungsgrad der solaren Anlage bei 61 % mit einem solaren Deckungsgrad am Wärmebedarf (Heizung und Warmwasser) von 30 %. Das Ergebnis kann für die Nutzung der Dachflächen entsprechend für alle weiteren Gebäude im Quartier (auch als Quartiersbilanz) verstanden werden. Im Quartier könnte demnach bei einer Belegung aller Dachflächen ein solarer Wärmeertrag von **36,0 GWh/a** erzielt werden.

Im Hinblick auf die Freiflächennutzung liegt der jährliche Ertrag bei ca. **4,2 GWh/a**. Durch Einbindung eines Großwärmespeichers mit 75 m³ kann ein jährlicher Nutzungsgrad von 42 % und ein solarer Deckungsgrad am gesamten Wärmebedarf von 18 % erzielt werden.

6.2.3 Photovoltaikthermische Nutzung (PVT)

Um die beschränkte Fläche möglichst effizient zu nutzen und Konflikt zwischen Photovoltaik (zur Stromerzeugung) und Solarthermie (zur Bereitstellung thermischer Energie) zu vermeiden, wurden die Potenziale einer Hybridtechnologie (PVT) in Betracht gezogen.

Der solare Wärmeertrag der PVT-Anlage kann annähernd den Solarthermieanlagen gleichgesetzt werden. Im Bereich der Stromerzeugung erreichen marktübliche Produkte eine elektrische Leistung von 450 W_p je PVT-Kollektorfläche von rund zwei Quadratmeter Fläche. Damit weisen diese Anlagen einen um 10 % bis 20 % höheren Stromertrag auf als marktübliche PV-Module. Ein weiterer wichtiger Punkt im Zusammenhang mit PVT-Anlagen ist der kühlende Effekt und somit eine Optimierung der PV-Ausbeute durch das sich unterhalb befindliche Solarthermie-Modul. Voraussetzung ist, dass die Wärme abgenommen wird.

Der größte Nachteil einer PVT-Anlage sind die hohen Investitionskosten, sodass sich ein wirtschaftlicher Betrieb erst wesentlich später als bei PV- oder ST-Anlagen einstellt. Aus diesem Grund wird lediglich eine beispielhafte Darstellung der PVT-Kollektoren in einer Versorgungsvariante im nachfolgenden Kapitel gegeben, jedoch von einer tiefergehenden Untersuchung an dieser Stelle abgesehen.

6.3 Abwasserwärme

Die Stromgewinnung durch Fließgewässer ist aufgrund der geographischen Lage in der Umgebung nicht möglich. Es sind keine größeren Fließgewässer oder Stauanlagen mit ausreichend Durchfluss vorhanden.

Wärmepumpen können jedoch bei entsprechendem Wasservorkommen dem Medium Wärme entziehen, sie auf ein höheres Niveau heben und für Heizwecke nutzbar machen. Nutzbares Oberflächenwasser ist nicht vorhanden, jedoch sollen die Potenziale der Wärmequelle Abwasser betrachtet werden.

Zur Abschätzung der vorhandenen Abwassermenge dienen die Richtwerte zur „hydraulischen Bemessung von Schmutz-, Regen- und Mischwasserkanälen.“ Im Arbeitsblatt DWA-A 118 werden folgende Werte genannt:

- Betriebe mit geringem Wasserverbrauch = 0,5 l/s*ha
- Betriebe mit mittlerem Wasserverbrauch = 1,0 l/s*ha
- Betriebe mit hohem Wasserverbrauch = 1,5 l/s*ha

Die Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA) weist darauf hin, dass in der Praxis häufig ein deutlich geringeres Schmutzwasseraufkommen zu erwarten ist.

Da die Abwassermengen der zukünftigen Unternehmen nicht bekannt sind, wurde die Einordnung der Unternehmen eher konservativ vorgenommen. Folgende Annahmen bilden die Grundlage der thermodynamischen Berechnung:

- Dienstleistungen und Gastro mit hohem Wasserverbrauch
- Große Gewerbe mit mittlerem Wasserverbrauch
- Kleine Gewerbe mit eher geringem Wasserverbrauch

Somit ergibt sich ein durchschnittlicher Schmutzwasserabfluss, betrachtet auf das Gesamtgebiet (Annahme: volle Ausnutzung der bebaubaren Fläche) von ca. 18,93 l/s bzw. 68,1 m³/h.

Um wie viel Kelvin das Abwasser abgekühlt werden kann, ohne den Betrieb der Abwasserreinigungsanlage zu beeinträchtigen, hängt von der vorhandenen Abwassertemperatur des Plangebietes ab. Beim Wärmeentzug von einem Kelvin können aus 1 m³ Abwasser rund 1,5 kWh/h Wärmeenergie gewonnen werden. Bei ca. 220 Arbeitstagen im Jahr und einer

Kernarbeitszeit von 8 bis 10 Stunden ergibt sich ein Potenzial von **180 - 225 MWh/a** pro entzogenes Kelvin.²⁹

6.4 Biomasse

In diesem Kapitel werden Potenziale der biogenen Festbrennstoffe betrachtet. Entsprechend den unterschiedlichen Eigenschaften wird zwischen halmgutartigen, holzartigen und sonstigen Brennstoffen unterschieden (siehe Abbildung 26). Da die Stadt Nidda die Verwendung von Alt- und Totholz nicht als prioritär betrachtet, wird nur das Potenzial aus Heckenverschnitt in die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung (Kapitel 7) mit aufgenommen.

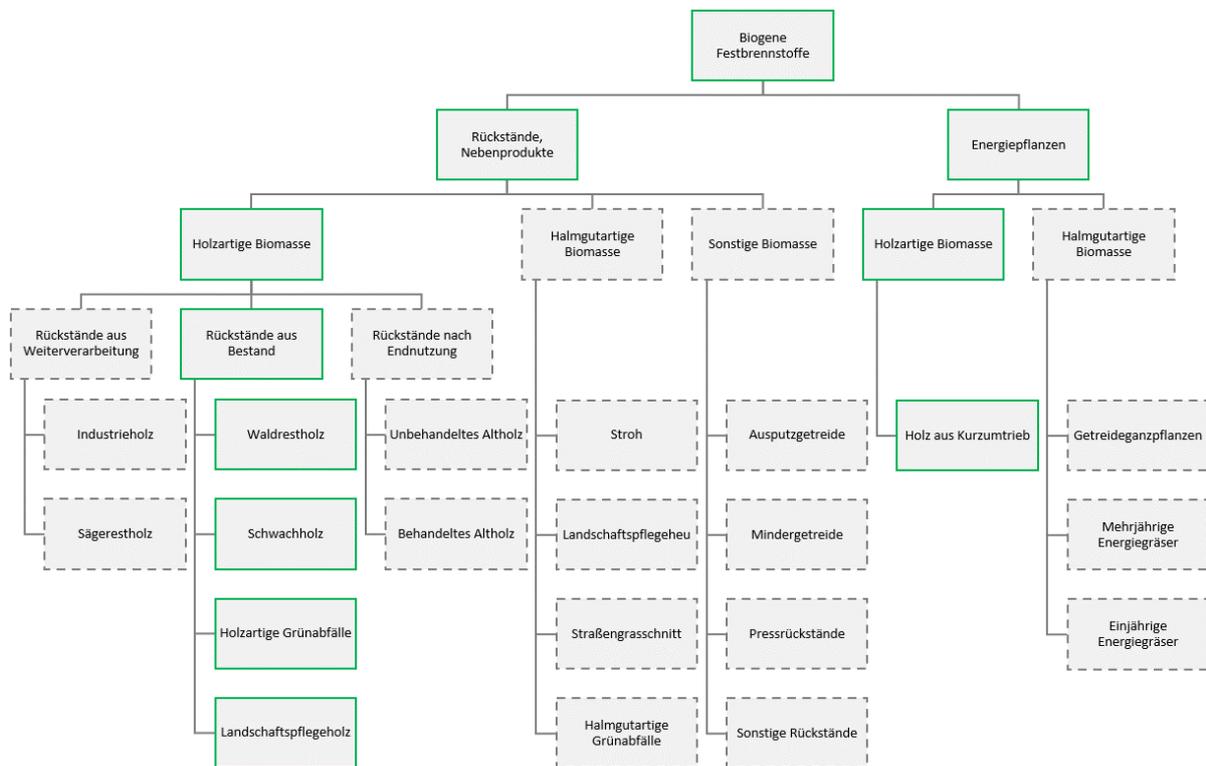


Abbildung 26 Formen biogener Festbrennstoffe in Deutschland³⁰, grün markiert (durchgezogener Rand) sind mögliche Bereitstellungspfade für das Plangebiet

²⁹ Abwasser ist hauptsächlich während des Betriebes vorhanden. In diesem Zeitraum muss auch die Potenzial-Nutzung erfolgen.

³⁰ nach FNR, S. 15

6.4.1 Heckenprojekt Wetterau

Bezüglich der Rückmeldung der Stadt Nidda ergeben sich folgende theoretische Biomasse-Potenziale in Nidda (aus dem Heckenprojekt Wetterau, Stand August 2018).

- für Hecken und Feldgehölz liegt bei ca. 6.300 srm/a \triangleq 4.000 l Heizöl/a \triangleq 39,2 MWh/a (bei einem Heizwert von 9,8 kWh/l ³¹)
- Streuobst ca. 600 srm/a \triangleq 380 l Heizöl/a \triangleq 2,58 MWh/a (bei einem Heizwert von 9,8 kWh/l ³²)
- Potenzial in der Region für über 60 Jahre
- Für Hecken- und Feldgehölzer ergibt sich demnach ein Energiegehalt von ca. 41,78 MWh/a

Die durchschnittlichen Holzmengen außerhalb der Potenziale, die jährlich am Bauhof erfasst werden, betragen ca. 800 m³ gehäckseltes Material (Gehölzschnitt, Schlagabraum durch Baumpflege) aus innerörtlicher Pflege. Getrocknet, mit einer Restfeuchte von 20 %, würde diese Menge etwa 184 t-atro/a entsprechen³³ und einen Energiegehalt von **759 MWh/a** aufweisen. Wertiges Stammholz wird gesondert als Brennholz verkauft und ist nicht zu betrachten.

6.4.2 Waldbestände

Im Rahmen einer Potenzialkalkulation zur Energieholzproduktion aus den Waldgebieten im Stadtgebiet Nidda ergeben sich folgende Erkenntnisse: Die Gesamtwaldfläche beträgt ca. 3.680 ha und ist hauptsächlich in vier größere Waldgebiete aufgeteilt. Der „Haißbacher“ Grund (Nr. 1) mit ca. 1.700 ha, das Waldgebiet "Wallernhausen" (Nr. 2) mit 280 ha, das Waldgebiet „Ulfa“ (Nr. 4) mit ca. 1.150 ha und das Waldgebiet westlich (Nr. 3) von Nidda mit ca. 550 ha.

³¹ Heizwert Heizöl

³² Heizwert Heizöl

³³ Gewicht Hackgut

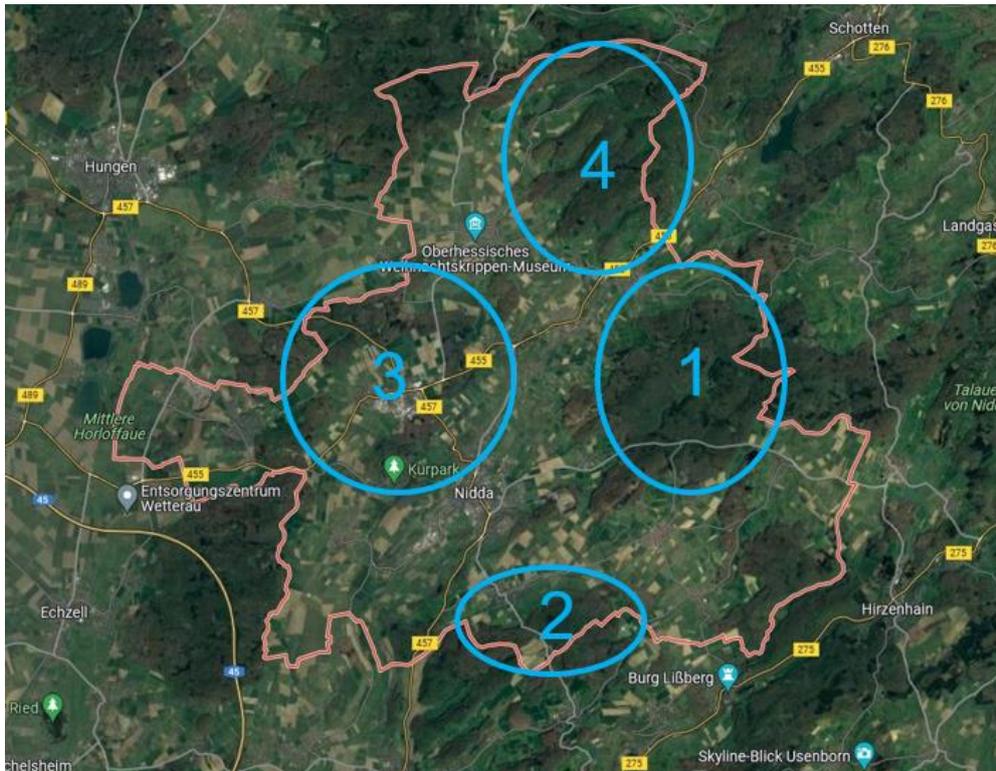


Abbildung 27 Waldgebiete der Gemeinde Nidda

Durchgeführt wurde diese Grobschätzung mit der Erfassung über den Karten von Google Maps (Abbildung 27). Es wurden hierbei die Gebiete mit der Bemaßungsfunktion erfasst.

Die Baumartenverteilung ist in nachfolgender Abbildung (Abbildung 28) ersichtlich. Der überwiegende Anteil sind Laubwälder mit insgesamt 57 % und ein etwas geringerer Anteil an Nadelwäldern mit 36 %³⁴. Sonstige Mischwälder liegen bei etwa 7 %.

Der Anteil an Holzvorräten liegt für Hessens Wälder im Durchschnitt bei 341 m³/ha³⁵. Für Nadel- und Laubwälder ergeben sich bestimmte Totholzanteile aus den Holzvorräten der Waldgebiete. Bezüglich der Bundeswaldinventur in Hessen im Jahr 2018 liegen diese für Nadelwälder bei 2 % und bei Laubwäldern bei 5 %. Werden diese Mengen jährlich aus dem Wald entnommen, zu Hackschnitzeln verarbeitet und getrocknet, dann ergeben sich für Nadelhölzer eine getrocknete (20 % Restfeuchte) Masse von ca. 31.638 t und für Laubwälder ca. 7.101 t. Der Energiegehalt beträgt zwischen 33.803 kWh/a bei Nadelholz mit 4,76 kWh/t

³⁴ Bundeswaldinventur (2018)

³⁵ Bundeswaldvorräte (2012)

und 144.269 kWh/a bei Laubholz mit 4,56 kWh/t. ³⁶ In Summe ergibt sich ein theoretischer Energiegehalt von ca. **178 MWh/a**.

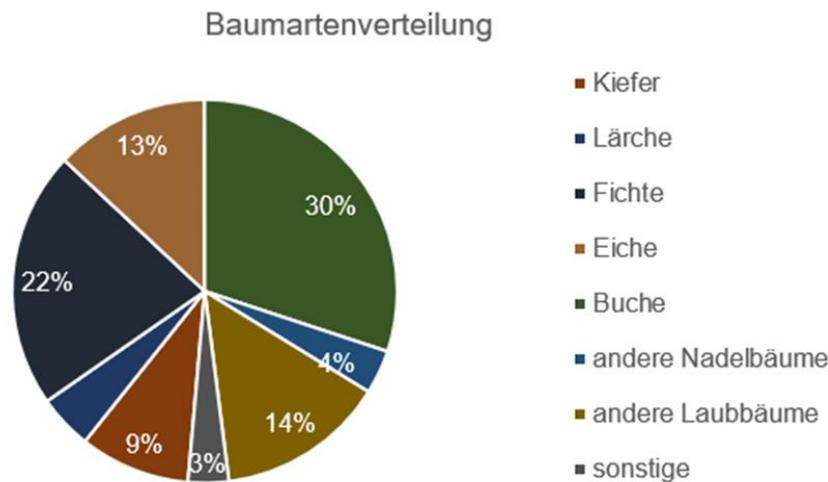


Abbildung 28 Baumartenverteilung im Gebiet Nidda

6.4.3 Kurzumtriebsplantagen

Wie bei den Waldbeständen sollen Kurzumtriebsplantagen an dieser Stelle zur vollständigen Potenzialermittlung betrachtet werden. Das Potenzial fließt jedoch nicht in die wirtschaftliche Untersuchung in Kapitel 7 mit ein.

Neben der Holzbereitstellung aus Rückständen kann Energieholz auch auf Kurzumtriebsplantagen (KUP) angebaut werden. Hierfür werden schnellwachsende Baumarten wie Weide oder Pappel auf landwirtschaftlichen Flächen in die Fruchtfolge integriert.

Die maximale Anbauzeit von Kurzumtrieb auf Agrar- oder Brachflächen richtet sich nach dem Bundeswaldgesetz. Demnach dürfen KUP höchstens 20 Jahre auf einer Fläche bewirtschaftet werden. Danach werden sie als Wald deklariert und dürfen nicht mehr geschlagen werden.

Ein durchschnittlicher Jahresertrag einer KUP von 12 t-atro/ha (Ackerzahl > 54) entspricht einem Heizwert von 4,38 MWh atro/t. Ein möglicher Standort könnte die Fläche des alten

³⁶ Biomasserechner (2022)

Sportgeländes sein (1,25 ha, siehe Abbildung 29). Entsprechend dieser Fläche ergibt sich ein Energieertrag von ca. **52 MWh/a**³⁷.



Abbildung 29 Flächenpotenzial einer Kurzumtriebsanlage für das alte Sportplatzgelände

³⁷ Vgl. Kurzumtriebsanlagen

6.5 Windenergie

6.5.1 Kleinwindkraftanlagen bis 12 MW

Bei der Windenergie lassen sich die realen Potenziale ohne konkrete Eingangsparameter nur bedingt ermitteln. Der wichtigste Parameter ist die Windgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Zeit, sprich: Mit welcher Geschwindigkeit ist an wie vielen Stunden im Jahr am jeweiligen Standort zu rechnen. Es gibt zwar Windpotenzialkarten und nahliegende Wetterstationen, bei denen Werte abgerufen werden können, jedoch ist gerade bei der Betrachtung von Kleinwindkraftanlagen (bis max. 50 m Gesamthöhe) die örtliche Situation entscheidend. Hindernisse wie Gebäude, Wald oder Hügel und Bodenrauheitsbeiwerte haben bis mindestens 100 m über dem Boden erheblichen Einfluss auf den Windfluss, sodass Kleinwindkraftanlagen somit den un stetigen Windverhältnissen bodennaher Luftschichten unterliegen.

Bei der Berechnung des Ertrags fällt die Windgeschwindigkeit mit der dritten Potenz ins Gewicht. Somit unterscheidet sich der Ertrag einer Windkraftanlage bei 2 m/s und 4 m/s Windgeschwindigkeit um den Faktor Acht. Darüber hinaus ist die Rotorfläche ein weiterer wichtiger Faktor der Ertragsberechnung. So steht der Radius der Rotorfläche einer Windkraftanlage im Quadrat zum Ertrag der Anlage.

Aus diesem Grund sollte vor der Errichtung einer Windkraftanlage immer eine Windmessung durchgeführt werden. Diese sollte mindestens einen Zeitraum von einem Jahr abdecken (um Schwankungen aus den Jahreszeiten zu erkennen) und im Optimalfall über mehrere Jahre vorhanden sein. Neben der Windgeschwindigkeit kann dabei auch die Hauptwindrichtung ermittelt werden.

In Tabelle 10 ist ersichtlich, welcher Gesamtjahresertrag bei einer Installation von einer Anlage je Grundstück erzielt werden könnte. Unterschieden wird zwischen Anlagen von 5,5 kW und 12 kW. Angenommen wird, dass die Anlagen bis zu 1000 h³⁸ Strom pro Jahr produzieren, einen Wirkungsgrad von 40 % aufweisen und die Luftdichte 1,2 kg/dm³ beträgt.³⁹

Die Anzahl von 55 Kleinwindkraftanlagen entspricht der theoretisch möglichen Installation einer Anlage je Grundstück.

Tabelle 10 Ertrag in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit

Anlage	Einheit	Ertrag Gewerbepark (55 mögliche Anlagen im Gebiet)
--------	---------	-------------------------------------------------------

³⁸ Vgl. Gehling (2022), Seite 34

³⁹ Vgl. Luftdichte

Anlage	Einheit	Ertrag Gewerbepark (55 mögliche Anlagen im Gebiet)		
		4	5	6
Windgeschwindigkeit	m/s	4	5	6
5,5 kW Rotordurchmesser: 3 m	MWh/a	6,0	11,7	20,2
12 kW Rotordurchmesser: 6,5 m	MWh/a	28,0	54,7	94,6

Ob eine Kleinwindkraftanlage wirtschaftlich ist, kann nicht pauschal beantwortet werden, da das Leistungsverhalten und die Kosten einzelner Windgeneratoren zu unterschiedlich sind. Als Faustregel wird von Kleinwindkraft-Experten oft der Wert von rund 4 m/s⁴⁰ genannt. Ab einer mittleren Windgeschwindigkeit von ca. 4 m/s über das gesamte Jahr betrachtet kann ein Windkraftwerk wirtschaftlich arbeiten.

Typologie

Kleinwindkraftanlagen haben ein breites Spektrum in Bezug auf Größe und Anwendung, angefangen bei der Mikro-Windanlage mit 100 Watt Leistung und einem Rotor so klein wie eine Satellitenschüssel. Private Kleinwindkraftanlagen haben eine Leistung bis ca. 5 kW und eine Gesamthöhe bis 15 m. Für Gewerbebetriebe mit höherem Stromverbrauch kommen Windgeneratoren ab ca. 10 kW Leistung zum Einsatz.

In Deutschland beträgt die maximale Gesamthöhe einer Kleinwindanlage 50 Meter. Dann handelt es sich um Windanlagen für den Eigenbedarf, die in unmittelbarer Nähe des Verbrauchers aufgestellt werden dürfen. In Tabelle 11 sind beispielhaft drei verschiedene Windkraftanlagen von 5,5 kW bis 12,0 kW aufgelistet. Ersichtlich sind neben der Anlagenleistung auch die Rotor-Größe und Masthöhe.

Tabelle 11 Kleinwindkraftanlagen

	Einheit	Windanlage 1	Windanlage 2	Windanlage 3
Nennleistung	kW (m/s)	5,5 (12,0)	6,0 (10,6)	12,0 (12)
Rotorgöße	m	4,0 m	6,8 m	6,5 m
Strom-Nutzung		Hausnetz (AC)	Hausnetz (AC)	Hausnetz (AC)
Anmerkung			4 Rotorblätter mit Verstellung	
Lieferumfang		Alle Komponenten inkl. Wechselrichter, 12 m Mast, ohne	Alle Komponenten, 12 m Mast mit Montage	Alle Komponenten inkl. Wechselrichter, 18 m Mast,

⁴⁰ Vgl. Kosten Kleinwindkraftanlagen

	Einheit	Windanlage 1	Windanlage 2	Windanlage 3
		Fundament und Montage		ohne Fundament und Montage
Preis (netto)	€	17.500	27.000	33.000

In Abbildung 30 ist das Plangebiet inkl. einer möglichen Aufstellung von Kleinwindkraftanlagen ersichtlich. Theoretisch kann auf jedem Grundstück, unter Berücksichtigung der Abstände der Anlagen zueinander, eine Anlage installiert werden.

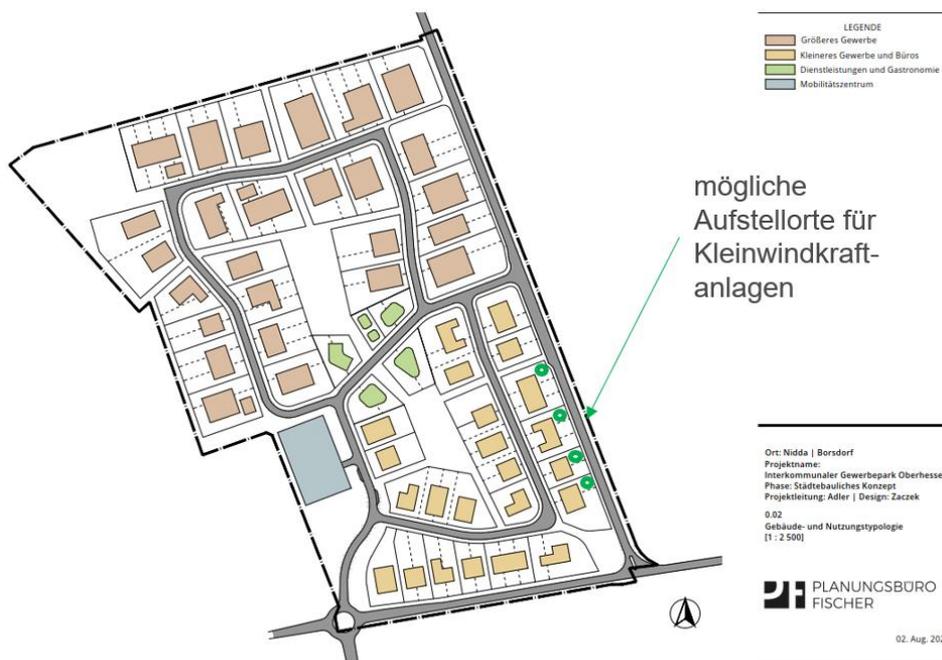


Abbildung 30 Beispielhafte Darstellung möglicher Aufstellorte für Kleinwindkraftanlagen

6.5.2 Großwindkraftanlagen bis 5 MW

Nördlich des Stadtteils Ulfa (ca. 7 km nördlich von Nidda) läuft aktuell ein Genehmigungsverfahren für drei Windkraftanlagen durch die Firma ABO Wind. Die Entfernung zum Plangebiet beträgt ca. 5 km Luftlinie.

Die Nabenhöhe der geplanten Windkraftanlagen beträgt 166 m, der Rotordurchmesser 160 m und die Gesamthöhe 246 m. Eine erste Windmessung hat für den Standort eine Windgeschwindigkeit von 6,1 m/s auf Nabenhöhe ergeben. Die Anlagen sollen jährlich rund

36 Millionen Kilowattstunden Strom produzieren. Voraussichtlich wird der Windpark Ulfa 2023 in Betrieb genommen.⁴¹

Die Firma I-Terra energy GmbH plant in der Nähe (< 5 km) zum Gewerbepark bis zu zwölf Großwindkraftanlagen mit einer Erzeugung von 12-15 GWh/a je Anlage, welche 2027 in Betrieb gehen sollen.⁴² Der erzeugte Strom wird in das Netz eingespeist. Eine direkte Versorgung im Sinne einer eigenständigen Trasse vom Windpark zum Gewerbegebiet ist aktuell nicht vorgesehen, weil es nicht wirtschaftlich darstellbar ist. Die Energie könnte jedoch im Rahmen eines Contractings über den Betreiber des Windparks bezogen werden.

Werden im Gewerbepark Batteriespeicher in Betracht gezogen oder eine längerfristige Speicherung mittels Elektrolyse und Umwandlung in Wasserstoff, dann könnte die I-Terra energy GmbH ein möglicher Partner dafür sein.

6.6 Wasserstoff

Aus der Potentialanalyse in Kapitel 6 geht hervor, dass mittels Solarstromerzeugung aus PV, PVT sowie der Windenergie verschiedene (je nach System und Auslegung) Stromüberschüsse entstehen können.

Im gesamten Gewerbegebiet besteht ein theoretischer Strombedarf von 5.50 GWh/a, demgegenüber steht eine potenzielle Stromerzeugung im Bereich PV und Wind (siehe Abbildung 31).

Wie in Kapitel 6.5 beschrieben, wird eine direkte Leitungslegung von den iTerra Windparks zum Gewerbegebiet nicht möglich sein, daher wird an dieser Stelle eine beispielhafte Potenzialberechnung für die Elektrolyse aus überschüssigem PV-Strom angeführt.

⁴¹ Windpark Ulfa | ABO Wind (abo-wind.com)

⁴² Gespräch mit dem Projektentwickler vom 09.09.2022

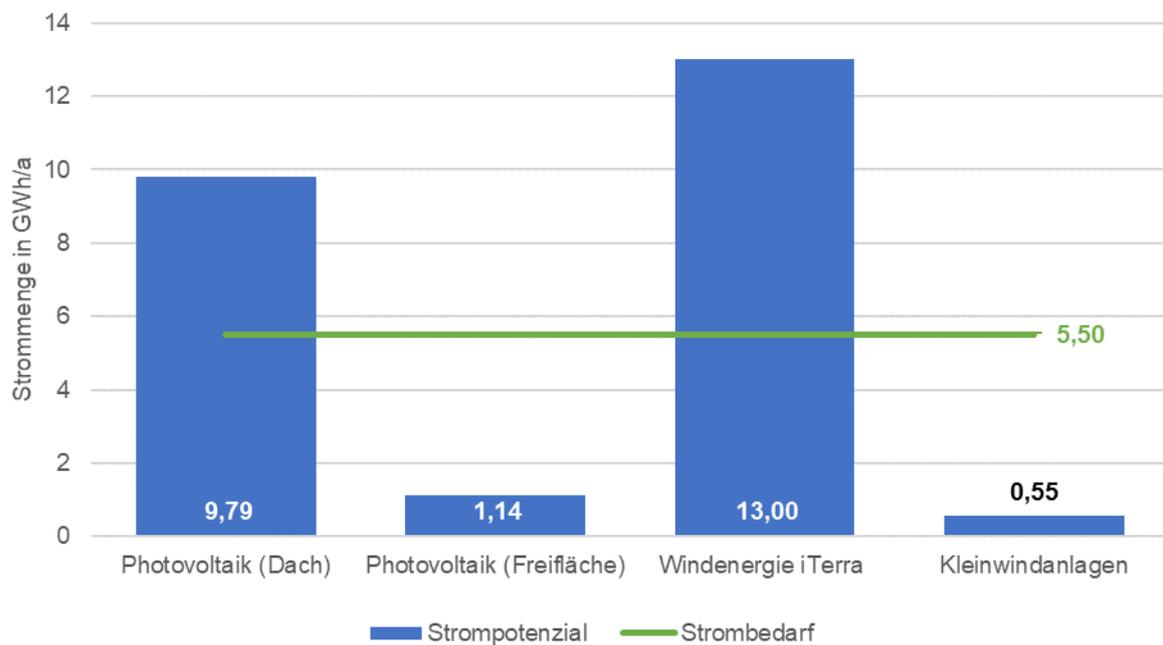


Abbildung 31 Strompotenzial erneuerbarer Energiequellen

In Abbildung 31 ist ersichtlich, dass je nach System ein Jahresüberschuss von bis zu ca. 4 GWh erreicht werden kann. Bei einer durchschnittlichen Elektrolyseleistung von derzeit 70 % entspricht dies einer Speicherung von 2,8 GWh. Soll der Wirkungsgrad der Elektrolyse erhöht werden, kann die entstehende Abwärme bei der Umwandlung von Strom in das speicherbare Gas Wasserstoff genutzt werden. Somit könnte der Wirkungsgrad auf bis zu 90 % gesteigert werden.

Wenn die Speicherung des erzeugten Gases in Betracht gezogen wird, sind grundsätzlich zwei Varianten im Gewerbepark denkbar. Zum einen kann das Gas in das vorhandene Erdgasnetz eingespeist werden, zum anderen mittels Komprimierung für Drucktanks (bspw. für eine Wasserstofftankstelle mit 350/700 bar) unter weiteren Umwandlungsverlusten von 12 bis 14 % gespeichert werden.⁴³

Werden diese Verluste noch abgezogen, dann können insgesamt 2,4 GWh/a Wasserstoff in 700-bar-Drucktanks gespeichert werden. Der Speicher muss nicht für diese theoretische Gesamtmenge ausgelegt sein. Für die Umsetzung bedarf es einer separaten Berechnung der Speicherdimensionen.

⁴³ Vgl. Wasserstoffspeicher

6.7 Industrielle Abwärme

Industrielle Abwärme bezeichnet Wärme, die in Industrieprozessen als Nebenprodukt anfällt und zumeist ungenutzt an die Umwelt abgegeben wird. Diese Energie kann dem Prozess zugeführt werden, aus dem sie entstammt (Wärmerückgewinnung), für weitere betriebsinterne Prozesse oder auch extern (z.B. für Nah- oder Fernwärmenetze) genutzt werden.

Die entscheidenden Kenngrößen der industriellen Abwärmennutzung sind Menge und Temperatur. Diese unterscheiden sich in den Industriebranchen wie z.B. Metallerzeugung oder Nahrungsmittelindustrie zum Teil deutlich. Je nach Branche sind jedoch rund ein bis zwei Drittel der anfallenden Abwärme energetisch nutzbar.⁴⁴

Im Plangebiet wird aufgrund der vorgesehenen Art von Unternehmen nicht von einem größeren und nutzbaren Abwärme-Potenzial ausgegangen.

6.8 Zusammenfassung der Potenziale

Nachfolgend werden die Ergebnisse der lokalen Potenziale für die Wärme- und Stromversorgung für das gesamte Gewerbegebiet dargestellt. Dabei wurden für die Abwasserwärme die theoretisch anfallenden Mengen berechnet, für das Energieholz die lokalen Bestände geprüft und für das solare Potenzial die Dach- und Freiflächen zusammengefasst.

Im Sektor der Stromversorgung wurden die energetischen Möglichkeiten von PV-Anlagen auf Dach- und Freiflächen unter örtlichen Gegebenheiten und das Windenergiepotenzial betrachtet. Generell wird bei der Betrachtung eine wirtschaftliche Auslegung der Anlagen angestrebt und nicht nach einem Maximalprinzip berechnet. Das Potenzial aus PVT-Modulen wird im Bereich der Solarthermie-Wärmeerzeugung und der PV-Stromerzeugung nicht gesondert betrachtet, sondern aus Gründen der besseren Visualisierung kombiniert dargestellt.

⁴⁴ Vgl. Fraunhofer 2013

6.8.1 EE-Wärmepotenzial

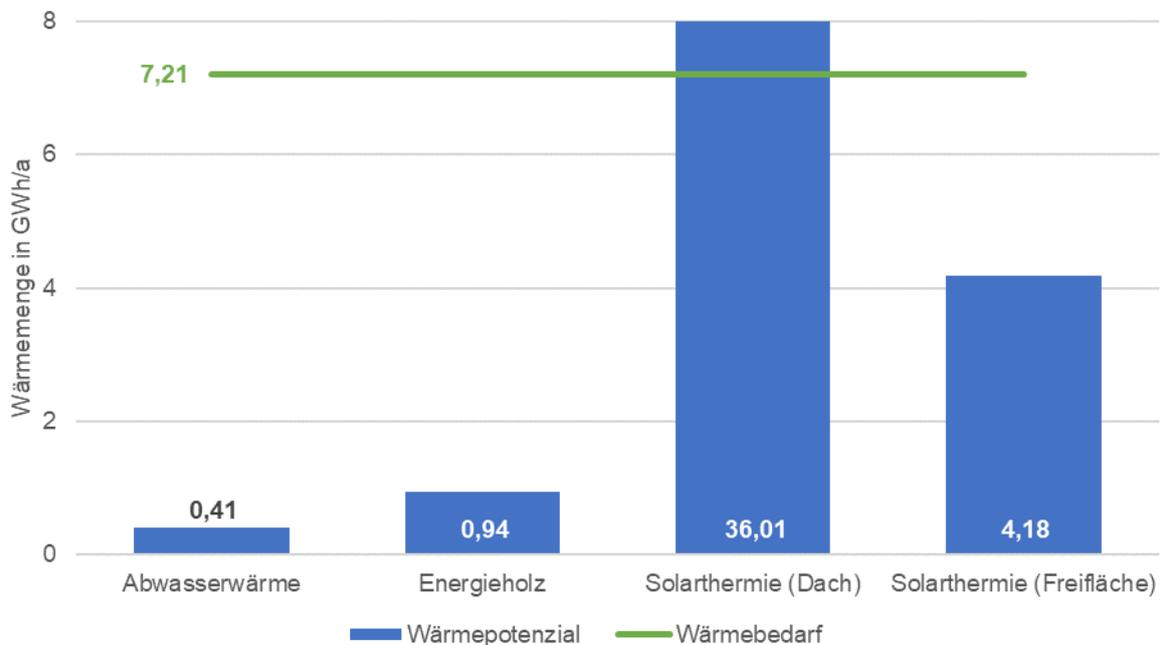


Abbildung 32 zeigt das Wärmepotenzial aus der Abwasserwärmenutzung (6.3), dem Energieholz aus den umliegenden Wäldern sowie dem Heckenprojekt (6.4.1) und der solaren Nutzung aus Solarthermie (6.2.2) und PVT (6.2.3).

Im Ergebnis ist festzuhalten, dass im Vergleich zum Wärmebedarf von ca. 7,21 GWh/a kein Potenzial außer Solarthermie auf den Dachflächen den Bedarf übersteigt. Allerdings ist bei Solarthermie anzumerken, dass aufgrund der witterungsbedingten und teilweise gegensätzlichen Lastprofile aus Erzeugung und Bedarf eine in der Nutzbarkeit geringere Deckung als in der Erzeugung gegenübersteht.

Im Bereich Energieholz werden die Potenziale aus Hackschnitzeln und Waldbeständen zusammengefasst. Kurzumtriebsplantagen könnten ein zukünftiges Potenzial darstellen, sind in der Praxis jedoch noch keine etablierte Form der Energieholzproduktion. Zudem sind mögliche Freiflächen nicht abschließend definiert, infolgedessen die Darstellung des Potenzials in Kapitel 6.4.3 nur beispielhaft zu verstehen ist und in der weiteren Untersuchung unberücksichtigt bleibt.

Im nächsten Schritt wird das technisch und wirtschaftlich nutzbare Potenzial (Abbildung 33) betrachtet. Es wird deutlich, dass keines der Potenziale in ausreichendem Maße zu einer vollständigen Bedarfsdeckung vorhanden ist.

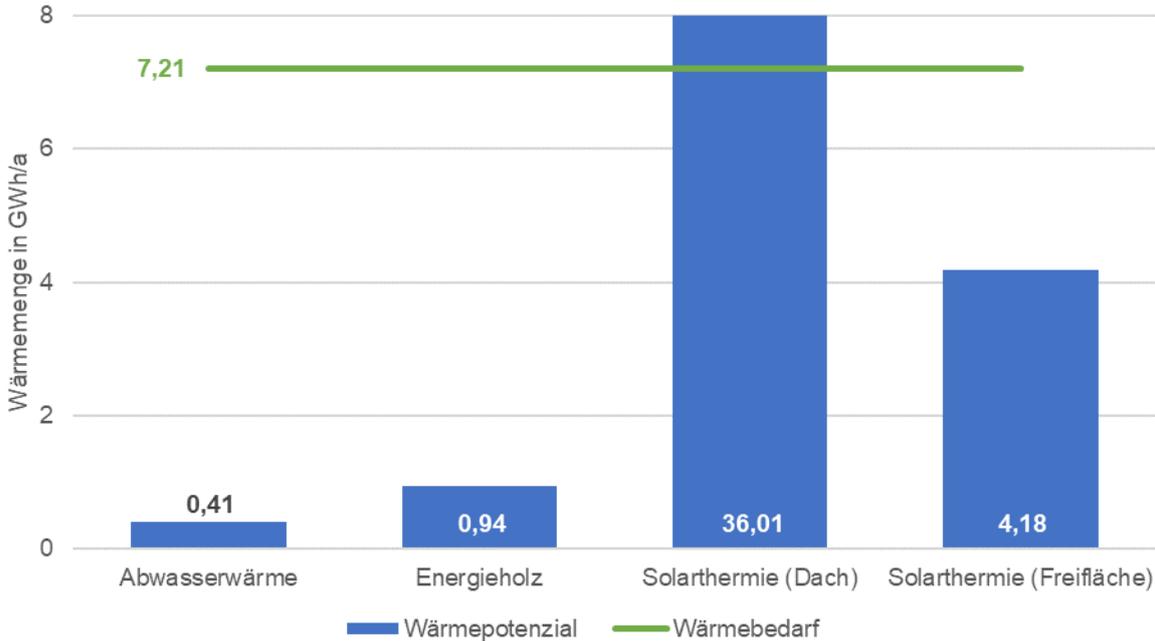


Abbildung 32 Wärme Potenzial erneuerbarer Energiequellen

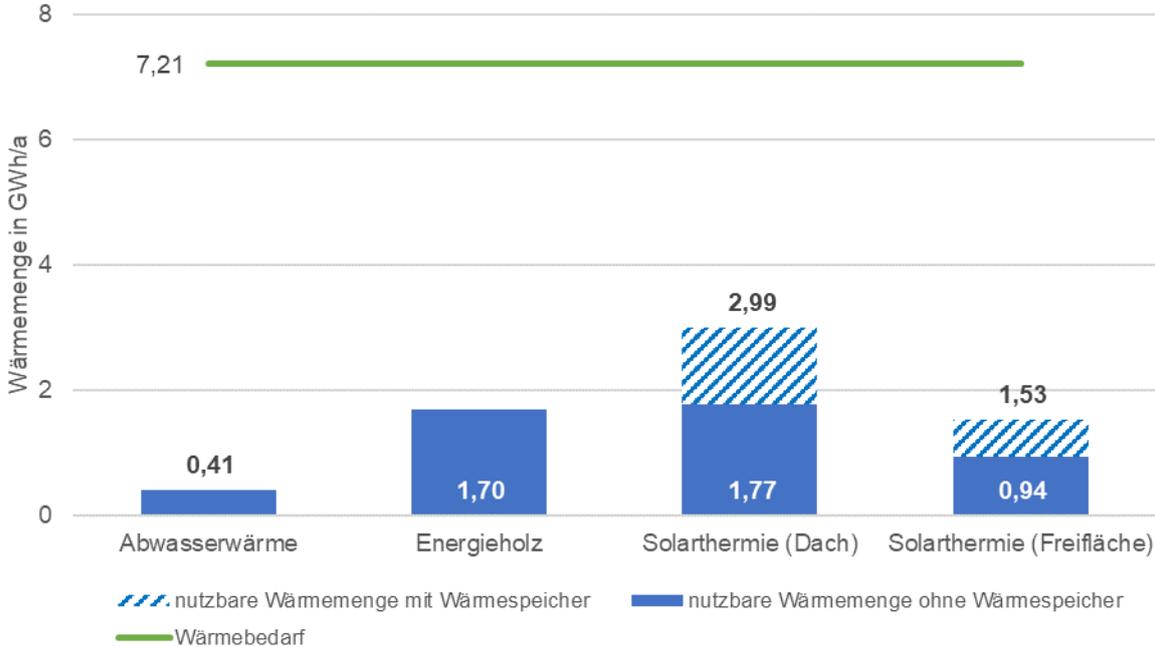


Abbildung 33 Technisch und wirtschaftlich nutzbares Wärme Potenzial erneuerbarer Energiequellen

6.8.2 EE-Strompotenzial

Im Bereich der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien (Abbildung 34) kann teilweise deutlich mehr Energie erzeugt als tatsächlich verbraucht bzw. gespeichert (Abbildung 35) werden.

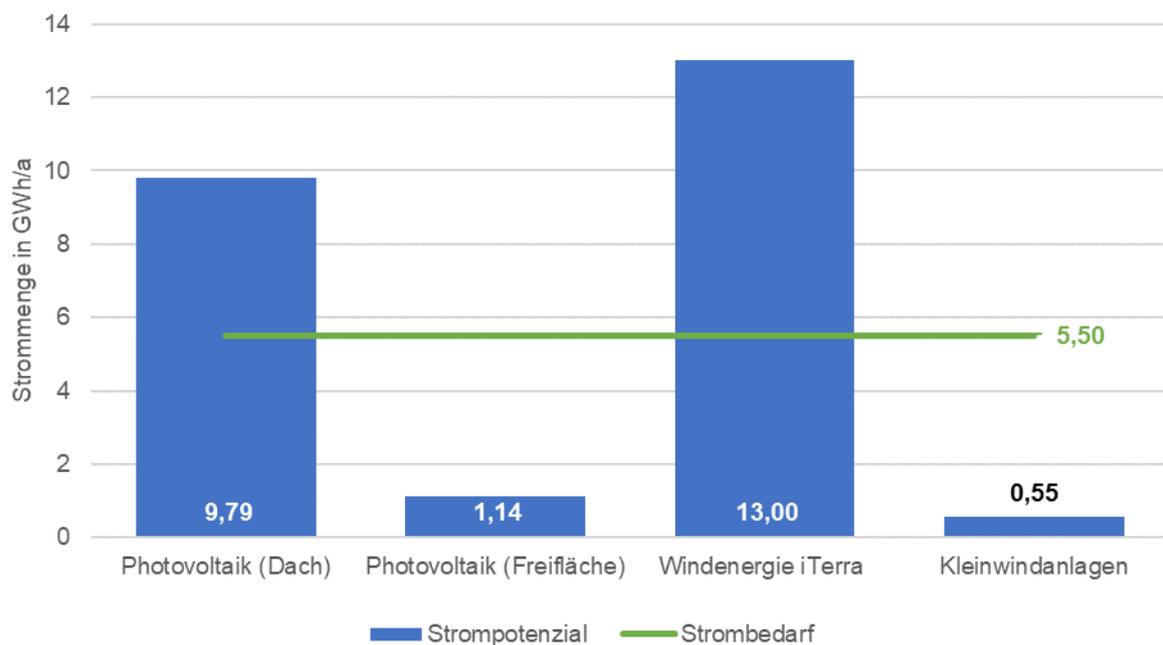


Abbildung 34 Strompotenzial erneuerbarer Energiequellen

Bei den Deckungsgraden ist festzuhalten, dass diese im Bereich der PV-Dachanlagen in Verbindung mit Batteriespeichern (6.2.1) ein deutlich höheres Potenzial als die alleinige Installation auf der Referenzfreifläche aufweisen. An dieser Stelle könnte eine Quartierslösung angestrebt werden.

Bei den Windkraftanlagen (6.5.1) ergeben sich aus Kleinwindanlagen Deckungsgrade von etwa 10 %. Vollständig könnte der Bedarf aus der Erzeugung von Großwindkraftanlagen (6.5.2) gedeckt werden. Diese sind in unmittelbarer Umgebung geplant und sollen in den nächsten Jahren realisiert werden (abschließende Genehmigungen stehen noch aus).

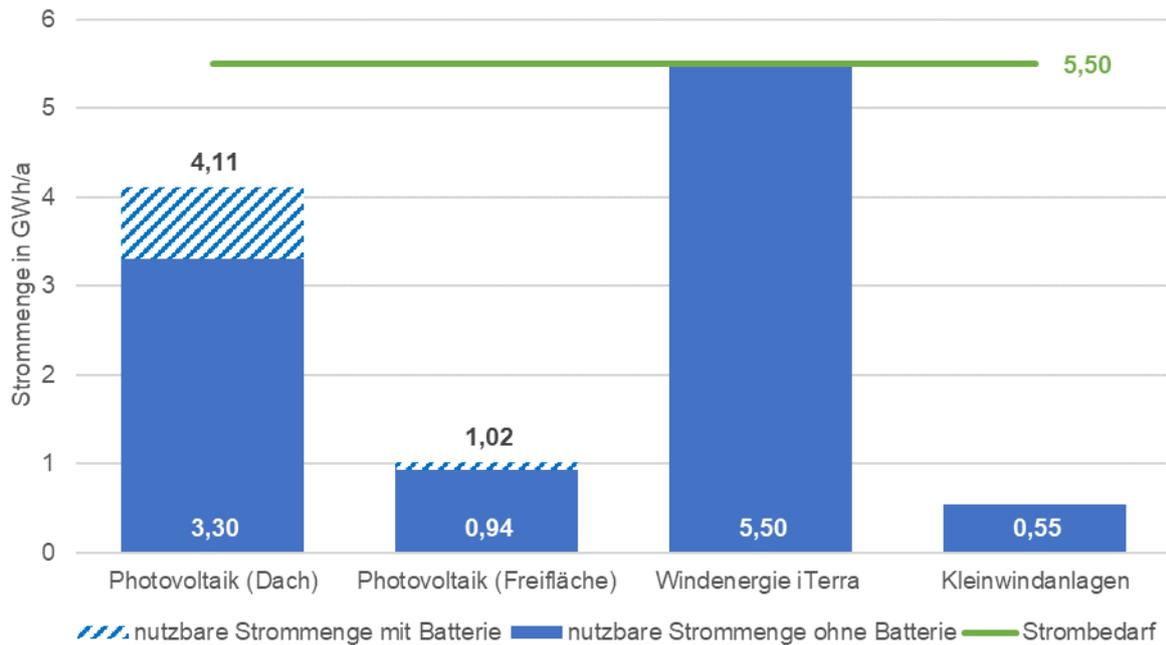


Abbildung 35 Technisch und wirtschaftlich nutzbares Strompotenzial erneuerbarer Energiequellen

6.8.3 EE-Wasserstoff

Es bestehen die Möglichkeiten, Wasserstoff in das Gasnetz einzuspeisen oder vor Ort direkt zu nutzen, bspw. in Form einer Wasserstofftankstelle zu Betankung von Fahrzeugen.

Der aktuelle Stand der Technik birgt im Vergleich zu herkömmlichen (fossilen) Energieträgern hohe Verluste in der Erzeugung und Umwandlung zur Speicherung. Dem steht jedoch gegenüber, dass überschüssiger Strom am Standort gespeichert und flexibel nutzbar gemacht werden könnte. Hinzu kommt ein positiver CO₂-Effekt in Form einer Minimierung des Gesamtausstoßes.

Eine genauere Prüfung des Potenzials kann hinsichtlich der zur Verfügung stehenden Stromüberschusspotenziale erfolgen. An dieser nachgelagerten Stelle ist eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ebenfalls sinnvoll.

7 Variantenvergleich

Im folgenden Kapitel sollen mögliche Versorgungsvarianten des zukünftigen Industrie- und Gewerbeparks unter Beachtung der zuvor durchgeführten Potenzialanalyse aufgestellt werden. Eine möglichst hohe Versorgung über erneuerbare Energien bildet dabei die Grundlage der Betrachtung. Die unterschiedlichen Konzepte werden anschließend in ihrer technischen Ausführung, in der Wirtschaftlichkeit und nach ökologischen Aspekten beurteilt.

7.1 Wärmebereitstellung über verschiedene Versorgungsvarianten

In nachfolgender Tabelle 12 sind die Varianten mit ihren technischen Komponenten dargestellt. Es wurden in diesem Zusammenhang Quartiersversorgungsvarianten (QV) und nachfolgend Einzelversorgungsvarianten (EV) untersucht.

Auf Grundlage der betrachteten Kriterien (technische Machbarkeit, Wirtschaftlichkeit und CO₂-Bilanz) sollen die unterschiedlichen Versorgungsvarianten verglichen werden und folglich zu einer Vorzugsvariante führen. Diese wird in Kapitel 7.1.4 genauer erläutert.

Tabelle 12 Versorgungsvarianten für das Plangebiet

	L/W-WP	S/W-WP	AbW/W-WP	BM-K	EG-K	PV	ST	PVT	Bio - BHKW
QV 0					x		x		
QV 1			x	x		x	x		
QV 2	x		x			x	x		
QV 3	x			x					x
QV 4	x			x					x
EV 1	x					x			
EV 2	x	x						x	
EV 3	x	x				x	x		
EV 4				x			x		
EV 5	x			x		x	x		
L/W-WP	Luft/Wasser-Wärmepumpe				PV	Photovoltaikanlage			
S/W-WP	Sole/Wasser-Wärmepumpe				PVT	kombinierte Photovoltaik-/Solarthermieranlage			
AbW/W-WP	Abwasser-/Wasser-Wärmepumpe				BHKW	Block-Heiz-Kraftwerk			
BM-K	Biomasse-Kessel				EG-K	Erdgas-Kessel zzgl. Pufferspeicher im Gebäude			
ST	Solarthermieranlage								

Quartiersversorgung

QV 0: Erdgas-Kessel und ST-Freiflächenanlage

Ein zentral installierter Erdgaskessel deckt den Wärmebedarf des Areals. Die Solarthermie dient als Heizungsunterstützung und wird so dimensioniert, dass im Jahresverlauf ein Nutzungsgrad von ca. 15 % erreicht wird.

QV 1: Biomasse-Kessel, ergänzt durch das vorhandene Potential der Abwasser/Wasser-Wärmepumpe und der PV- und ST-Freiflächenanlage

Der Abwasserkanal wird an zentraler Stelle mit Wärmeübertragern ausgerüstet und dient so einer Wasser/Wasser-Wärmepumpe als Energiequelle. Die restliche benötigte Wärmeenergie wird von einer Holzfeuerungsanlage (Pellet oder Hackschnitzel) bereitgestellt. Die Freiflächen-Solarthermie unterstützt in den Sommermonaten das Gesamtsystem und reduziert die Laufzeiten der Anlagen. Eine PV-Freiflächenanlage stellt ausreichend Elektrizität für das Areal bereit. Mittels Power to Heat kann der PV Strom im zentralen Heizhaus zur Heizwasserbereitstellung direkt genutzt werden und somit die Laufzeiten der Feuerungsanlage reduziert werden. Stromüberschuss wird in einer zentralen Batterie gespeichert.

QV 2: Abwasser/Wasser-Wärmepumpe in Verbindung mit Luft/Wasser-Wärmepumpe und Nutzung von PV- und ST-Freiflächenanlage

Der Abwasserkanal wird an zentraler Stelle mit Wärmeübertragern ausgerüstet und dient so einer Wasser/Wasser-Wärmepumpe als Energiequelle. Die restliche benötigte Wärmeenergie wird von einer Luft/Wasser-Wärmepumpe bereitgestellt. Der mittels der Freiflächen-PV-Anlage produzierte Strom kann durch die Wärmepumpen Eigenverbraucht werden. Überschuss wird in einer zentralen Batterie gespeichert. Die Freiflächen-Solarthermie unterstützt in den Sommermonaten das Gesamtsystem und reduziert die Laufzeiten der Anlagen. Dank Power to Heat Funktion kann im Sommer Überschussstrom direkt als Heizwärme genutzt werden. Der hier verwendete industrielle „Heizstab“ kann sogar auch im Winter Lastspitzen beim Wärmebedarf decken.

QV 3: Biogas-BHKW, Biomasse-Kessel und Luft/Wasser-Wärmepumpe

Ein BHKW betrieben mit Biogas (bilanziell gedacht, Bezug z.B. aus naher Biogasanlage) deckt die Grundlast des Quartier-Wärmebedarfs. Die Mittellast wird von einer Luft/Wasser-Wärmepumpe getragen. Die Spitzenlast deckt eine Holzfeuerungsanlage (Pellet oder Hackschnitzel).

QV 4: Biomasse-BHKW, Luft/Wasser-Wärmepumpe, Biogas-Kessel und Photovoltaik

Ein BHKW mit Gasbezug aus einer Holzvergasungsanlage deckt die Grundlast des Quartier-Wärmebedarfs. Die Mittellast wird von einer Luft/Wasser-Wärmepumpe getragen. Die Spitzenlast deckt ein Biogaskessel mit Gasbezug aus der Holzvergasung. Ergänzend sollte der Strombedarf der L/W-Wärmepumpe durch PV-Strom der Freiflächenanlage gedeckt werden.

Ergänzend zu den erneuerbaren Versorgungsvarianten Q1 bis Q4 wird die Spitzenlast über zentrale bzw. dezentrale Heizstäbe unterstützt. Damit können Spitzenlasten abgedeckt bzw. dezentral das Temperaturniveau für die Warmwasserbereitstellung sichergestellt werden.

Einzelversorgung

EV 1: Luft/Wasser-Wärmepumpen und PV-Dachanlage + Heizstab

Die Luft/Wasserwärmepumpe ist an einem Speicher angeschlossen und versorgt hieraus die Heizungsanlage als Fußbodenheizung. Ein Heizstab fängt Lastspitzen ab um die Wärmepumpe nicht überzudimensionieren und die thermische Desinfektion des Trinkwassers in den vorgeschriebenen Zeitintervallen durchführen zu können. Das System verfügt über einen Power to Heat Modus in welchem Überschussstrom der PV Anlage durch die Wärmepumpe verbraucht wird.

EV 2: PVT-Anlage in Kombination mit einer Sole/Wasser-Wärmepumpe und eine Luft/Wasser-Wärmepumpe + Heizstab

Die Wärmeerzeugung ist gleichartig aufgeteilt. Die PVT-Anlage versorgt unter Verwendung eines Speichers die Primärseite der Sole/Wasser-Wärmepumpe als Quelle. Die Luft/Wasser-Wärmepumpe bezieht nutzt als Quelle die Umweltwärme und deckt damit die zweite Hälfte des Wärmebedarfs. Ein Heizstab deckt Lastspitzen und kann, ebenso wie die Wärmepumpen, im Power to Heat Modus betrieben werden um den Eigenverbrauch der PV zu erhöhen.

EV 3: Solarthermie in Kombination mit einer Sole/Wasser-Wärmepumpe, PV-Anlage und eine Luft/Wasser-Wärmepumpe + Heizstab

Die Wärmeerzeugung ist gleichartig aufgeteilt. Die Solarthermie kann wahlweise einen Sole Speicher oder den zentralen Wärmespeicher (Sommerfall) bedienen. Die Sole/Wasser Wärmepumpe wird aus dem Solespeicher versorgt. Eine Luft/Wasser-WP deckt die andere Hälfte der Heizlast. Die PV Anlage stellt ganzjährig Strom zum Eigenverbrauch bereit, welcher durch einen Power to Heat

Modus durch die Wärmepumpen oder den Heizstab auch im Sommer genutzt werden kann. Der Heizstab dient vornehmlich zur Deckung von Laspitzen.

EV 4: Biomasse-Kessel und ST-Anlage + Heizstab

Eine Pelletanlage oder Hackschnitzelfeuerung deckt die gesamte Heizlast. Um den Primärenergieverbrauch zu senken ist zusätzlich eine Solarthermieanlage installiert. Im Sommer kann dank des zentralen Wärmespeichers die Laufzeit der Feuerungsanlage minimiert und die benötigte Wärmeenergie nahezu ausschließlich über die Solarthermie bereitgestellt werden. Der Heizstab dient zur Deckung von Laspitzen; hierdurch kann die Feuerungsanlage kleiner dimensioniert werden.

EV 5: Biomasse-Kessel und ST-Anlage, Luft/Wasser-Wärmepumpe und PV-Anlage + Heizstab

Eine Pelletanlage deckt die Grundlast des Wärmebedarfs. Die Mittellast wird von der Luft/Wasser-Wärmepumpe und die Spitzenlast mittels Heizstab gedeckt. Der Strombedarf der L/W-WP kann teilweise durch die PV Anlage gedeckt werden. Im Sommerfall kann die Biomasse abgeschaltet und die benötigte Wärmemenge zum einen Teil aus der Solarthermie und zum anderen Teil aus Power to Heat (PV und L/W-WP) erzeugt werden.

7.1.1 Energiebilanzen

In den folgenden Diagrammen sind die Energiebilanzen für die Wärme- und Strombereitstellung ersichtlich. Bspw. ist bei Variante QV 1 eine Zusammensetzung aus 73,4 % Wärmebereitstellung aus dem Bio-Kessel, 6,8 % aus der S/W-WP mit Abwasserwärmenutzung und 9,3 % aus der S/W-WP mit PV und 13,5 % durch den Heizstab vorgesehen, welcher Überschussstrom in einen Pufferspeicher abgibt.

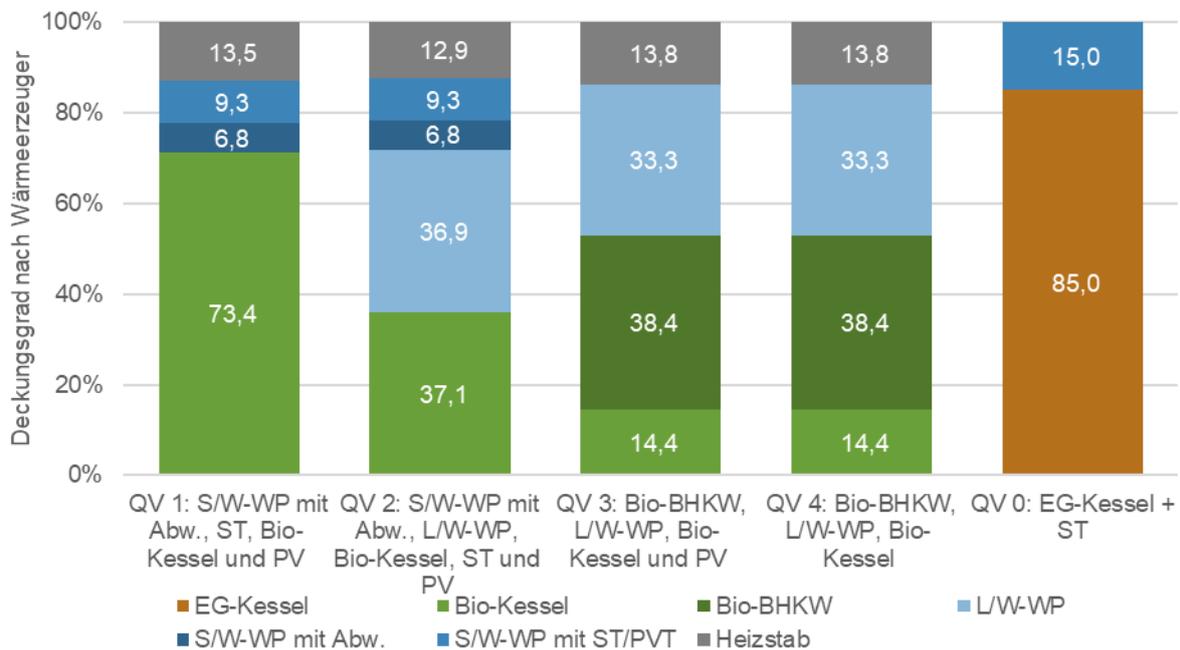


Abbildung 36 Energiebilanz in der Wärmebereitstellung verschiedener Quartiersversorgungsvarianten

In Abbildung 37 sind die Energiebilanzen für die Wärmebereitstellung in der Einzelversorgung ersichtlich. Die Wärmebereitstellung der Varianten EV1 bis EV3 erfolgt zu über 90 % mittels Wärmepumpen. Die restlichen knapp 10 % ergeben sich aus der Warmwasserbereitung sowie der Heizungsunterstützung an Tagen mit sehr geringen Außentemperaturen über den Heizstab. In EV4 stellt sich ein technischer und wirtschaftlicher Betrieb der ST-Anlage bei rund 20 % ein und wird mit einem Deckungsgrad an der Wärmebereitstellung von 74 % durch den Bio-Kessel unterstützt. In der letzten Variante ergibt sich aus dem Erzeugermix der L/W-Wärmepumpe und dem Bio-Kessel an Anteil von 67,0 % und 27,4 % am Deckungsgrad. Die Residualmenge von 5,6 % wird wiederum durch den Heizstab gedeckt.

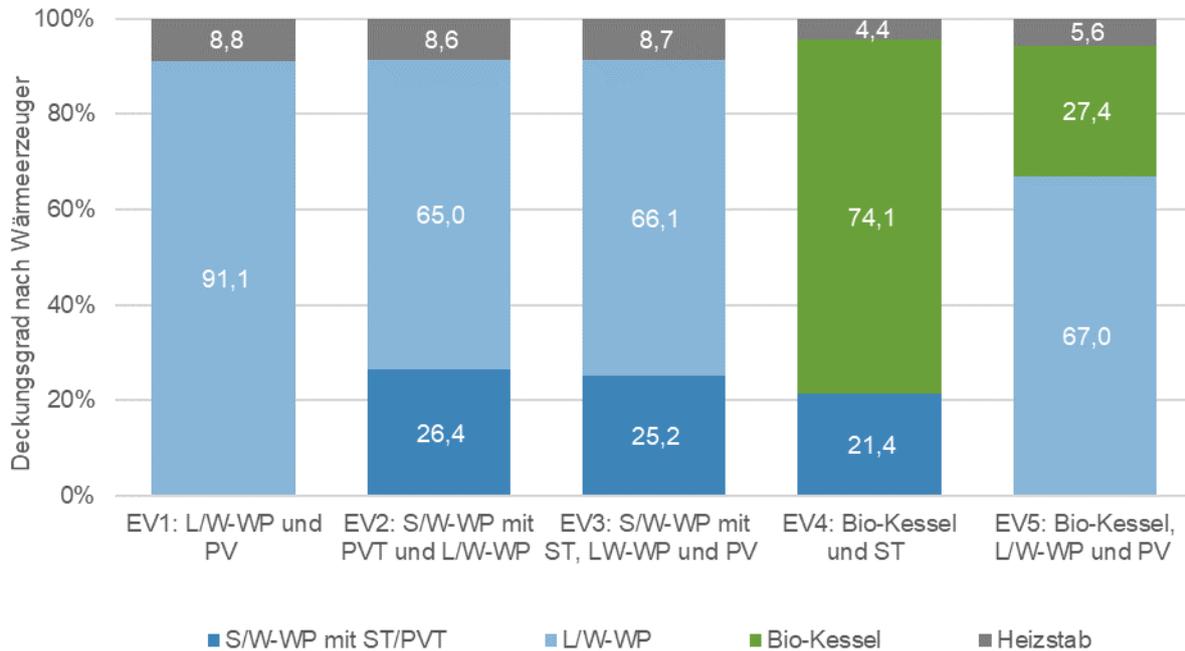


Abbildung 37 Energiebilanz in der Wärmebereitstellung verschiedener Einzelversorgungsvarianten

Abbildung 38 zeigt die Nutzung der erzeugten PV-Strommenge über die PV-Freiflächenanlage. In Variante QV3 und QV 4 wird lediglich ein Nutzungsgrad von 7 %, da in dieser Variante bereits ein wesentlicher Anteil des Strombedarfs durch die KWK-Anlagen bereitgestellt wird. Variante Q1 und zeigt bei einer maximalen Belegung der Freifläche (vgl. Kapitel 6.2.1) einen Nutzungsgrad von 39,7 % bei der Deckung des Strombedarfs der Wärmeerzeuger. Durch den Einsatz eines Groß-Batteriespeichers (Verhältnis von 1 kW_p-PV zu 1 kWh-Speicherkapazität der Batterie) wird dieser um weiteren 9,6 % auf 49,7 % angehoben. Der Deckungsgrad erreicht dabei einen Wert von rund 30 %. Durch die zusätzliche L/W-Wärmepumpe in QV2 steigt der Nutzungsgrad der PV-Anlage mit Batteriespeicher um weitere 9 Prozentpunkte auf insgesamt 58,3 %. In Die Darstellung der Variante QV 5 entfällt , da keine PV-Stromerzeugung erfolgt.

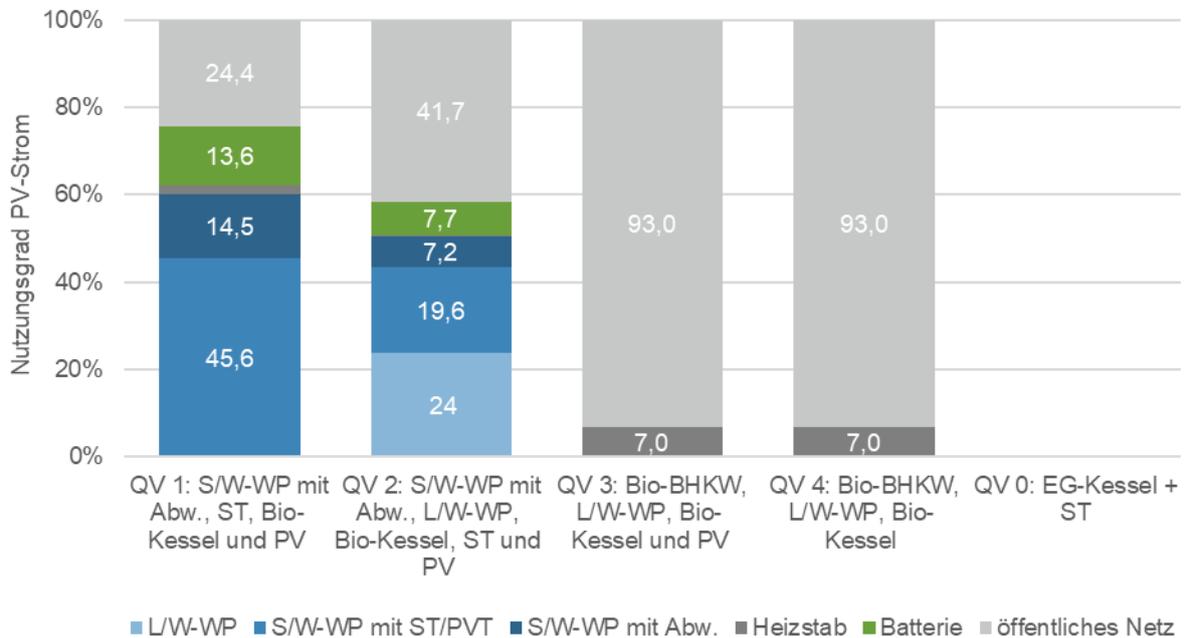


Abbildung 38 Energiebilanz in der Strombereitstellung, Quartiersversorgung

Gegenüber der untersuchten Quartiersversorgung wird der erzeugte PV-Strom in den dezentralen Einzelversorgungsvarianten ebenso für die Deckung des Strombedarfs von Verbrauchern im Gebäude berücksichtigt. Bezogen auf die Nutzung des PV-Stromes zur Deckung des Strombedarfs der Wärmeerzeuger wird ein Anteil von rund 20 -25 % entlang der Varianten erreicht. Mittels Batteriespeicher steigt dieser auf bis zu 24 %. Zusammen mit der Deckung des gebäudespezifischen Strombedarfs liegt ein Überschussstrom von rund 20 % vor, der ins öffentliche Netz eingespeist wird. In Variante EV 4 entfällt die Darstellung, da keine PV-Stromerzeugung erfolgt.

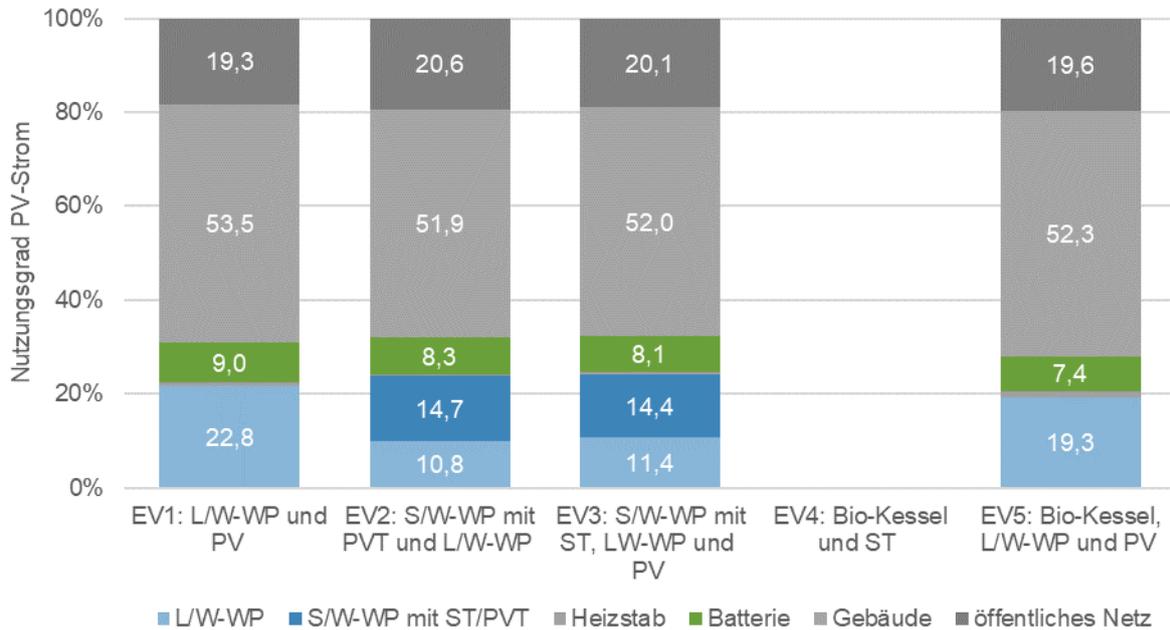


Abbildung 39 Energiebilanz in der Strombereitstellung, Einzelversorgung

7.1.2 Wirtschaftlichkeit

Für den wirtschaftlichen Vergleich wurde eine Wirtschaftlichkeitsberechnung nach VDI 2067 durchgeführt und dadurch die Wärmegestehungskosten im Lebenszyklus ermittelt.

In der Wirtschaftlichkeitsberechnung werden kapitalgebundene, bedarfsgebundene, betriebsgebundene und sonstige Kosten sowie Erlöse betrachtet. Zu den kapitalgebundenen Kosten zählen die Investitionskosten für Gebäude und technische Anlagen, aber auch die Montagekosten, Kosten für Planung und Umsetzung und die Berücksichtigung von Kapitaleinsparungen durch die Verwendung von Fördermitteln. Bedarfsgebundene Kosten sind sämtliche Energiekosten (z.B. Pellets, Strom) inkl. aller Umlagen und Nebenkosten, inkl. CO₂-Bepreisung. Zusätzlich werden diesen Kosten noch Preissteigerungsfaktoren zugeordnet. Die betriebsgebundenen Kosten berücksichtigen die Aufwendungen für Wartung und Instandhaltung. Dabei werden auch technologiespezifische Barwertfaktoren angesetzt. Sonstige Kosten ergeben sich aus zusätzlichen Ausgaben für Versicherung und Pacht. Als Erlöse wurden u.a. die Umsätze aus der Netzeinspeisung von erneuerbar erzeugtem Strom aus Photovoltaik berücksichtigt. Diese entfallen seit 1. Juli 2022.

Investitionskosten

Die Investitionskosten entsprechen den Ausgaben zur Beschaffung der technischen Anlagen. Darin enthalten sind Montagekosten, Kosten für Planung und Umsetzung sowie die Berücksichtigung von Kapitaleinsparungen durch die Verwendung von Fördermitteln.

Bei den Quartiersvarianten (Abbildung 41) ist ersichtlich, dass die Referenz-Variante QV 0 nach Abzug der Fördermittel nach der Bundesförderung effizienter Wärmenetze die geringsten Investitionskosten aufweist. Höhere Investitionskosten ergeben sich durch kompliziertere Anlagentechniken in Variante QV 2 bis QV 4. Aufgrund des fehlenden Anteils an erneuerbaren Energien des Referenzszenarios Q1, entfallen hierbei der Anspruch an investiven Fördermitteln.

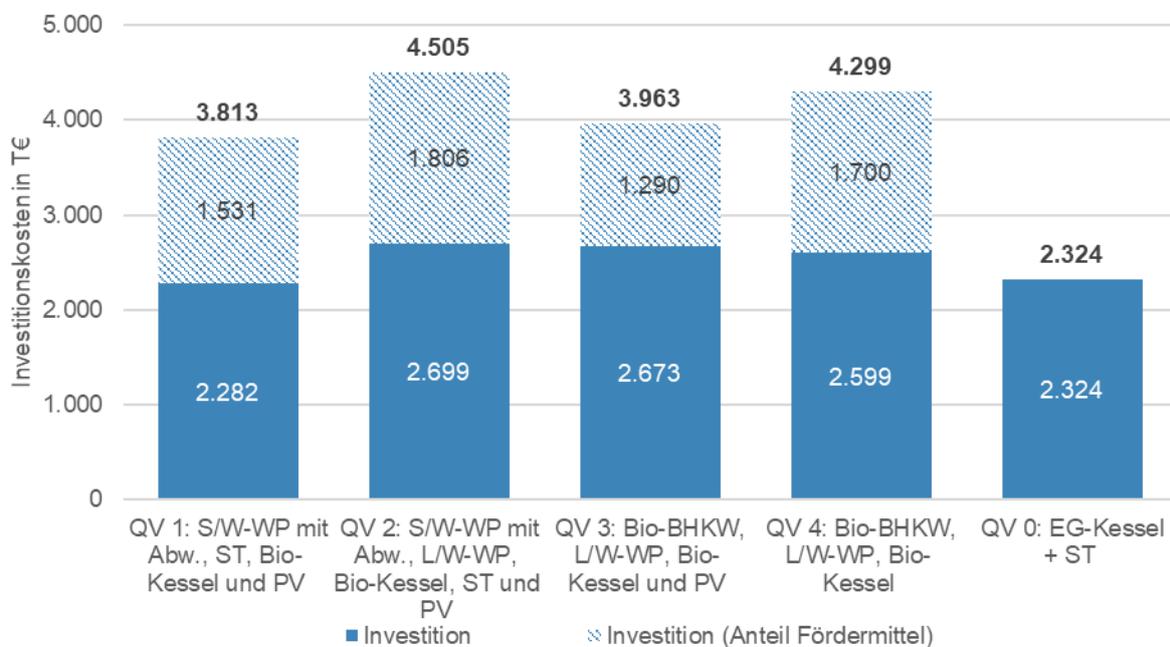


Abbildung 40 Investitionskosten verschiedener Quartiersversorgungsvarianten

Entgegen der Quartiersversorgung werden nach der Bundesförderung effizienter Gebäude aktuell keine relevanten Fördermittel auf erneuerbaren Energiesysteme in Neubauten gewährt. Bei den Investitionskosten in der Einzelversorgung (Abbildung 41) ist ebenfalls ein Variante EV 2 durch die komplexe Anlagentechnik am preisintensivsten. Die deutlichen Mehrkosten in EV2 gegenüber EV3 sind in den hohen Investitionskosten der PVT-Kollektoren begründet. Die günstigste Variante ist EV 1 bestehend aus einer L/W-Wärmepumpe mit Heizstab und PV-Anlage.

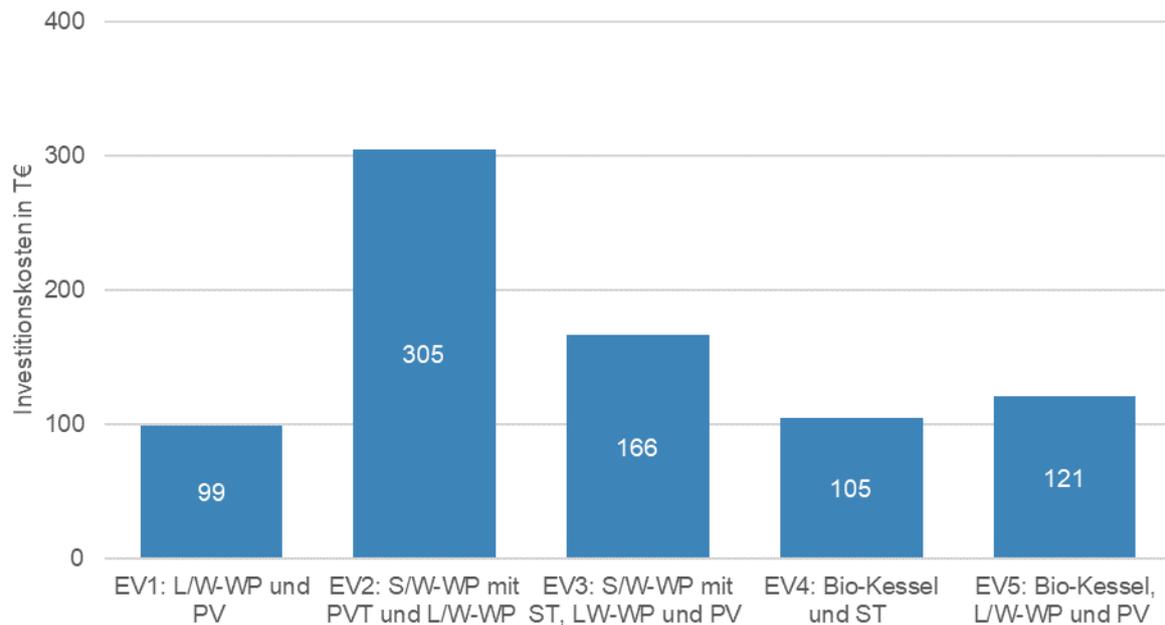


Abbildung 41 Investitionskosten verschiedener Einzelversorgungsvarianten

Annuität

Die Annuität entspricht der jährlichen finanziellen Belastung der Versorgungsvariante über die Nutzungsdauer. In der Berechnung werden kapitalgebundene, bedarfsgebundene, betriebsgebundene und sonstige Kosten sowie Erlöse betrachtet.

Die kapitalgebundenen Kosten entsprechen den Investitionskosten. Bedarfsgebundene Kosten sind sämtliche Energiekosten (z. B. Pellets, Strom, Erdgas) inkl. aller Umlagen und Nebenkosten inkl. CO₂-Bepreisung. Zukünftige Preissteigerungsfaktoren werden dabei ebenfalls berücksichtigt. Die betriebsgebundenen Kosten entstehen durch Aufwendungen für Wartung und Instandhaltung. Sonstige Kosten ergeben sich aus zusätzlichen Ausgaben für Versicherung und Pacht.

Bei der Quartiersversorgung (Abbildung 42) sind die Varianten QV 1, QV 2 und QV 4 in der Annuität im Bereich von 2.256 T€ und 2.470 T€ am günstigsten. Deutlich teurer gestaltet sich aktuell Variante QV 3.

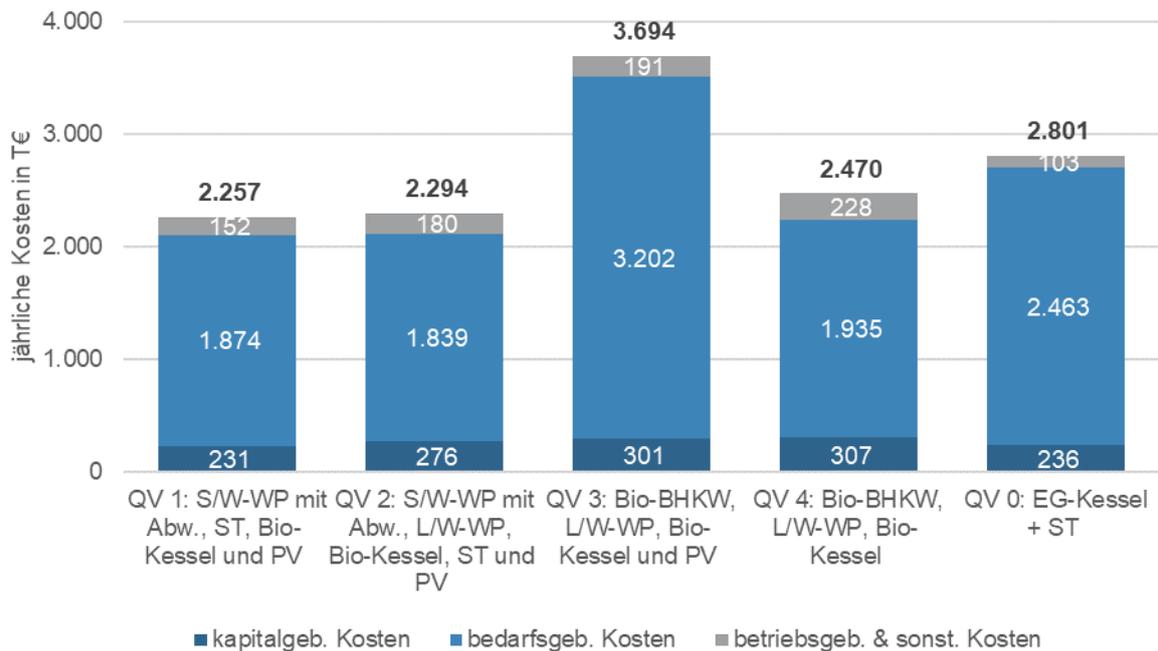


Abbildung 42 Jährliche Kosten (Annuität) verschiedener Quartiersversorgungsvarianten

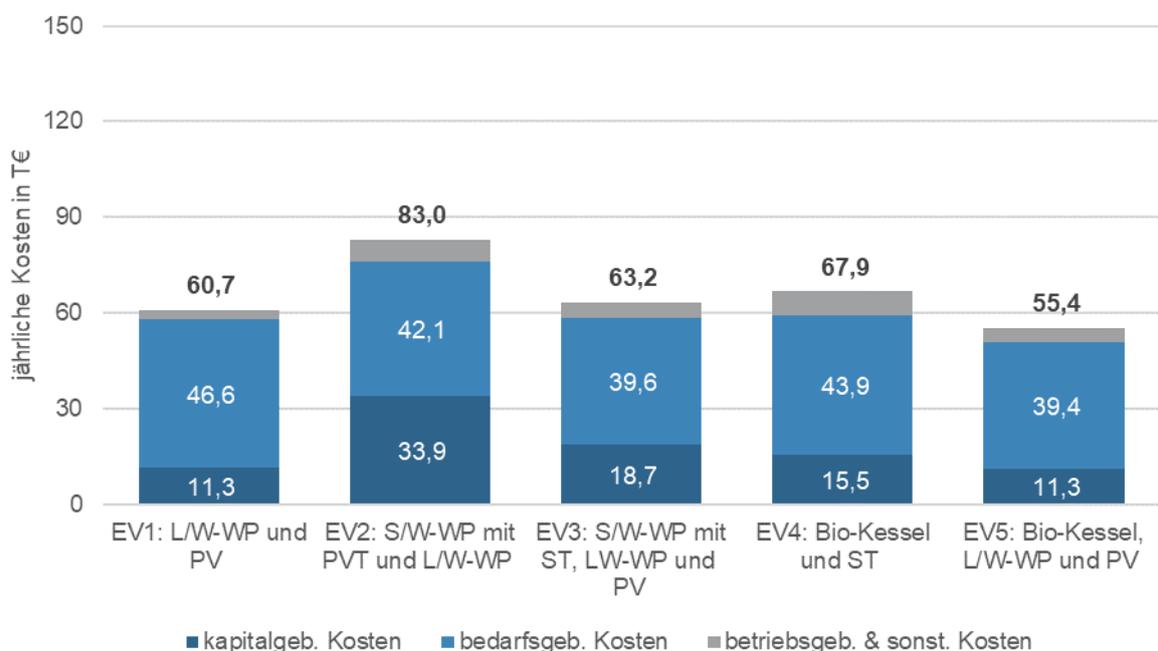


Abbildung 43 Jährliche Kosten (Annuität) verschiedener Einzelversorgungsvarianten

Wärmegestehungskosten

Die Wärmegestehungskosten (WGK) sind die über die Laufzeit der Heizanlage konstant angenommenen Kosten, die der Nutzer für die Produktion einer Wärmeinheit zahlt (hier € je MWh). Sie ergeben sich aus dem Quotienten der jährlichen Kosten (Annuität) und der abgesetzten jährlichen Wärmemenge. Minderkosten durch Fördermittel sowie anfallende Kosten aus der CO₂-Bepreisung bei der Verwendung von fossilen Energieträgern finden zudem Berücksichtigung.

Nachfolgende Abbildung 44 zeigt die Wärmegestehungskosten (WGK) der untersuchten Quartiersversorgungsvarianten. Die höchsten WGK nach Abzug der Fördermittel mit 512 €/MWh entfallen auf die Variante QV3. Die kostengünstigsten Versorgungslösungen werden in QV1 und QV2 mit 312,9 €/MWh bzw. 318,1 €/MWh erzielt. Vorteile zeigen sich hierbei insbesondere durch die Nutzung der Abwasserwärme im Vergleich zur QV4, die einen Wert von 342,5 €/MWh erreicht. Im Vergleich zur Referenzvariante QV0 liegen die WGK, aufgrund der stark ansteigenden Energiepreise für den fossilen Energieträger sowie der zusätzlichen CO₂-Kosten mit 463,3 €/MWh deutlich über den erneuerbaren Varianten.

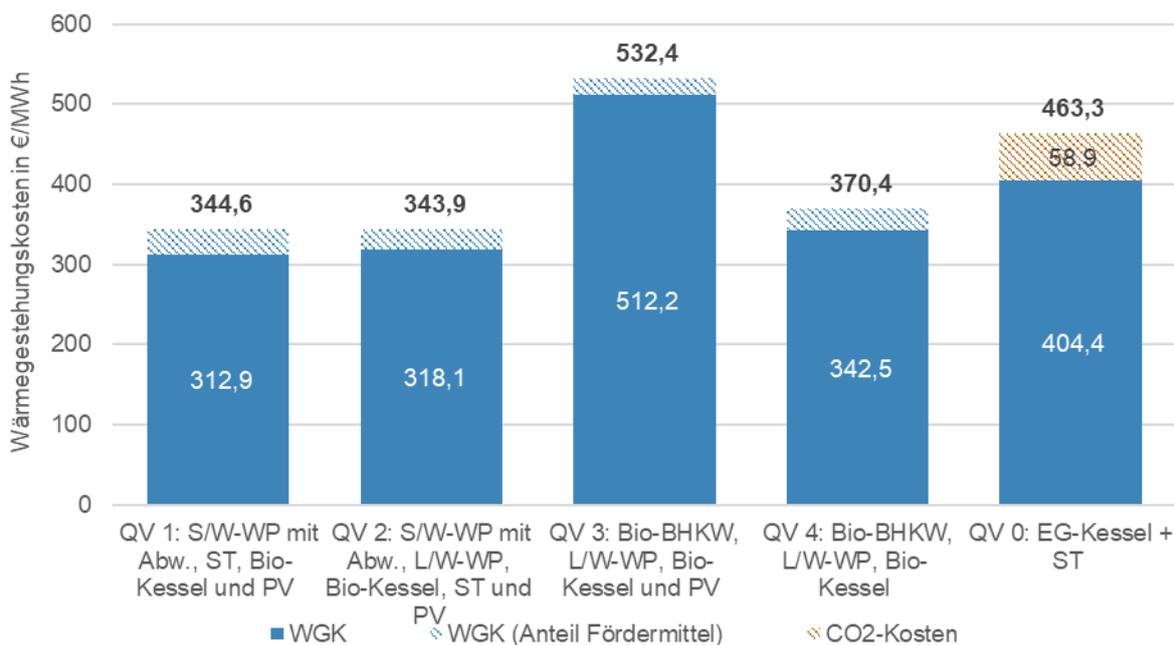


Abbildung 44 Wärmegestehungskosten verschiedener Quartiersversorgungsvarianten

Die Wärmegestehungskosten in der Einzelversorgung (Abbildung 45) sind am vorteilhaftesten in der EV 1. Schlusslicht bildet die Variante EV 2, was auch den im Vergleich hohen In-

vestitionskosten der PVT-Kollektoren geschuldet ist. Eine kostengünstige Alternative zum Variante EV1 mit L/W-Wärmepumpe bietet die Versorgungsvariante EV5 über eine Erweiterung des Erzeugerparks um einen Biomasse-Kessel. Kostenverteile ergeben sich im Vergleich zum EV4 durch den Einsatz von Wärmepumpen.

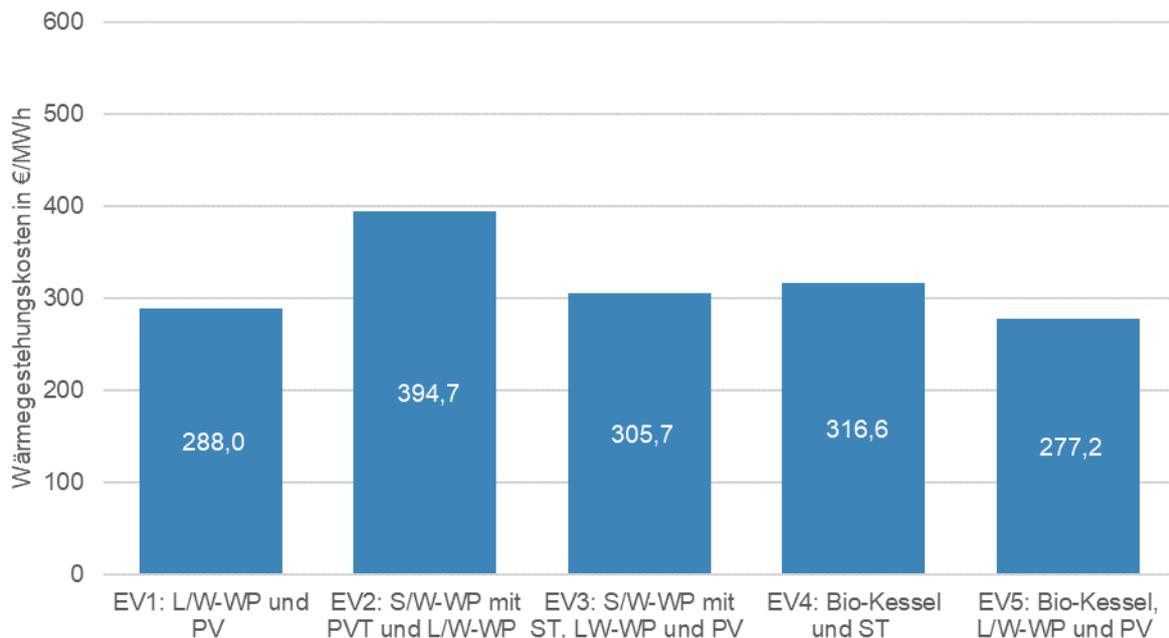


Abbildung 45 Wärmegestehungskosten verschiedener Einzelversorgungsvarianten

7.1.3 CO₂-Bilanz

In diesem Kapitel sollen die ökologischen Aspekte, stellvertretend durch den Indikator der CO₂-Emissionen, bewertet werden. Bei der Betrachtung der CO₂-Bilanz werden entsprechende CO₂-Emissionsfaktoren der Energieträger angesetzt. Dabei werden z.B. die CO₂-Emissionen des deutschen Strommixes mit ca. 0,414 kgCO₂/kWh im aktuellen Jahr (2022) angesetzt. Dieser Wert wird, aufgrund des steigenden Anteils an erneuerbaren Energien bei der Strombereitstellung, perspektivisch bis 2030 um ca. 42 %, auf 0,244 kgCO₂/kWh sinken (siehe Tabelle 13).

Tabelle 13 CO₂-Emissionsfaktoren unterschiedlicher Energieträger

Energieträger	Wert kg CO ₂ -Eq/kWh
Strommix	0,414
Braunkohle	0,411
Erdgas	0,247
Biogas	0,11
Biomasse	0,022
Solarthermie	0,025
Photovoltaik	0,04
Windkraft	0,01

In Abbildung 46 ist die CO₂-Bilanz der einzelnen Varianten in der Quartiersversorgung ersichtlich. Die Referenzvariante QV 0 mit dem Erdgas-Kessel stößt deutlich mehr CO₂ aus als die erneuerbaren Versorgungsvarianten. Die geringsten Emissionen werden bei einem Erzeugermix mit Wärmepumpe und Bio-BHKW nach den Versorgungsvarianten QV1 und QV4 erzielt. Letzteres ist in der Gutschrift des erzeugten BHKW-Stroms begründet. Die freigesetzten Emissionen fallen, aufgrund des Einsatzes von Biogas in QV3 deutlich höher aus als in der Variante QV4.

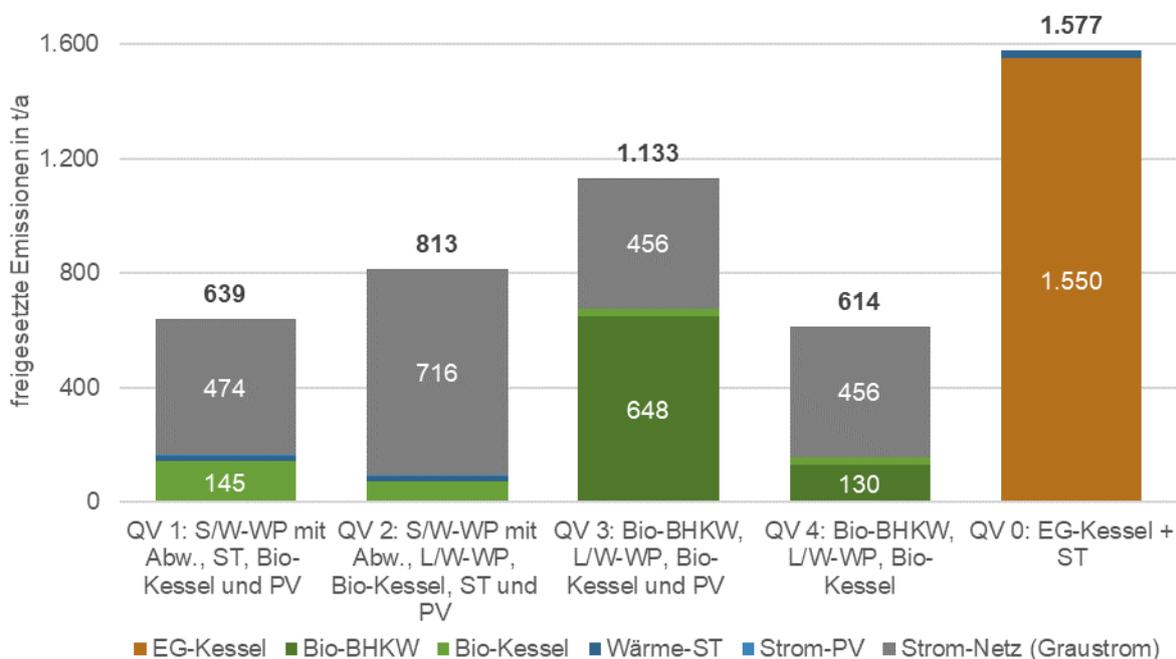


Abbildung 46 CO₂-Bilanz verschiedener Quartiersversorgungsvarianten

Bei den Einzelversorgungen (Abbildung 47) sind die Varianten EV 1 bis EV 3 relativ gleichwertig. Die beste CO₂-Bilanz weist Variante EV 4 auf.

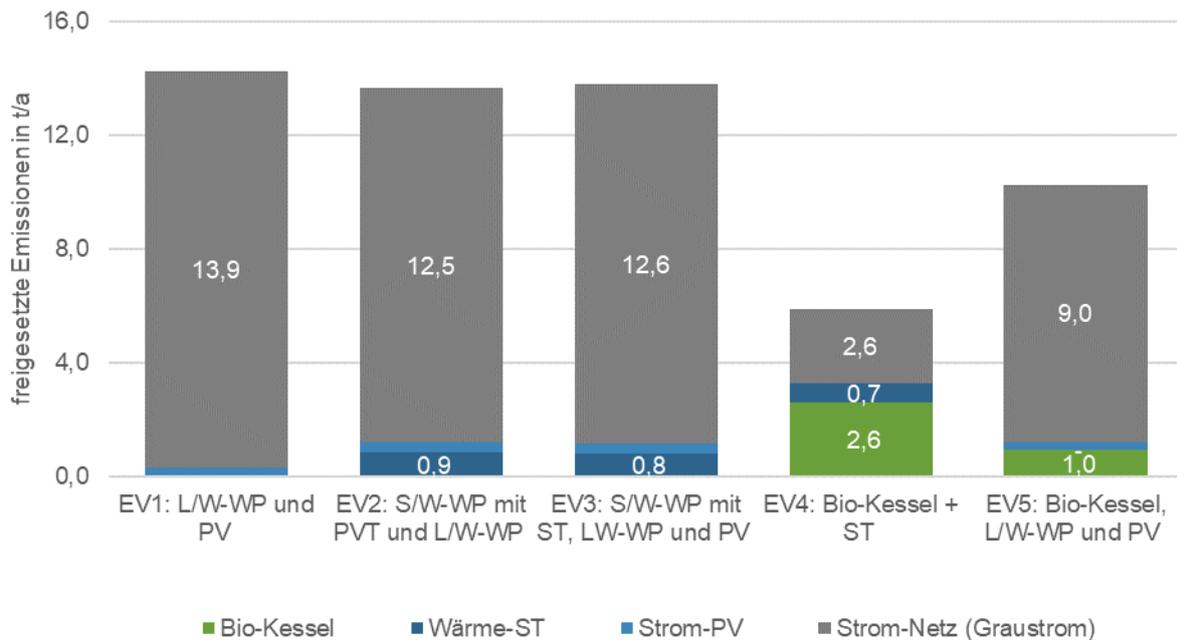


Abbildung 47 CO₂-Bilanz verschiedener Einzelversorgungsvarianten

Grundsätzlich gilt es anzumerken, dass der hohe CO₂-Ausstoß der regenerativen Energiesysteme im Wesentlichen auf den Bezug von Graustrom (CO₂-Emissionen deutscher Strommix) zurückzuführen ist. Würde hingegen Grünstrom bezogen werden, so wäre der Anteil der Emissionen um einen Faktor von ca. 40 zu reduzieren.

7.1.4 Bewertung der Versorgungsvarianten

Methodik: Herangehensweise & Kriterien

Die Bewertung der untersuchten Varianten für die Einzel- und Quartiersversorgung erfolgt anhand nachfolgender Kriterien:

- CO₂-Bilanz
- Wirtschaftlichkeit: Investitionskosten und jährliche Kosten (Annuität)
- Genehmigungsbedürftigkeit
- Regionale Wertschöpfung/ Autarkie
- Versorgungssicherheit

Eines der wesentlichsten Kriterien bildet die **CO₂-Bilanz**, die eine Einstufung der Klimaverträglichkeit der untersuchten Versorgungsszenarien ermöglicht. Für einen angestrebten klimaneutralen Gewerbepark sollte die Zielvariante eine nahezu CO₂-neutrale Energiebereitstellung ermöglichen.

Unter der **Wirtschaftlichkeit** einer Versorgungsvariante werden neben den Investitionskosten die Wärmegestehungskosten verstanden. Die Investitionskosten zeigen auf, welche finanziellen Mittel für die Errichtung des jeweiligen Energiesystems erforderlich sind. Das Investitionsvolumen wird darin jeweils nach Abzug geltender Fördermittel bewertet. Die Wärmegestehungskosten ermöglicht die Vergleichbarkeit von Energiesystemen mit unterschiedlichen Versorgungsaufgaben (abgesetzte Wärmemenge) und ergibt sich aus dem Quotienten der jährlichen Kosten (Annuität) und der abgesetzten Wärmemenge. Mittels der Wärmegestehungskosten kann die Wirtschaftlichkeit über die Lebenszyklusbetrachtung einer Versorgungsvariante über einen Betrachtungszeitraum von 20 Jahren verglichen werden und stellt demnach ein weiteres wichtiges Kriterium dar.

Die **Genehmigungsbedürftigkeit** von Anlagen kann unter Umständen viele Monate beanspruchen und ist, in Bezug auf der zeitlichen Realisierung eines Energieversorgungssystems, einen nicht unerheblicher Einflussfaktor. Darunter zählen u.a.

- Großfeuerungsanlagen, deren Inbetriebnahme ab einer gewissen Leistungsklasse nach § 4 BImSchG „genehmigungsbedürftige Anlagen“ einer gesonderten Prüfung und Genehmigung unterliegen
- Luft/Wasser-Wärmepumpen, die bei dichter Bebauung ab einer gewissen Leistungsklasse einem Schallgutachten unterliegen
- Erdsonden oder -kollektoren, die einer Prüfung der oberflächennahen Bodenbeschaffenheit sowie des Grundwasserspiegels bedarf. Wasser- oder sonstige Schutz-

gebiete können weitere Verfahrensschritte mit sich bringen. Zuständig hierbei wäre die untere Wasserschutzbehörde.

Die erforderlichen Genehmigungsverfahren werden, zusammen mit der Wertung der Versorgungsvarianten, benannt.

Der **regionale Wertschöpfung und/oder Autarkiegrad** beschreibt das Maß der Energieerzeugung sowie der Grad der Eigenversorgung vor Ort und somit die Unabhängigkeit von äußeren Einflüssen auf die Verfügbarkeit und die Volatilität der Energiebereitstellungskosten. Im Kontext der heutigen energiepolitischen Lage ein wichtiger Aspekt bei der Planung zukünftiger Energiesysteme. Darunter zählen u.a.

- Werden Energieträger wie z.B. Hackschnitzel eigener Herkunft bezogen
- Deckungsgrad der PV oder Solarthermie-Anlage
- Anteil leitungsgebundener Energieträger am Erzeugungssystem

Die Bewertung der **Versorgungssicherheit** trifft eine Aussage über die Komplexität des betrachteten Energiesystems und die damit einhergehende Störanfälligkeit des Gesamtsystems. Beispielsweise ist ein Brennwertgerät erfahrungsgemäß wartungsärmer als eine Wärmepumpenanlage. Luft/Wasser-Wärmepumpen sind aufgrund der stark schwankenden Quelltemperaturen der Außenluft anfälliger als Sole/Wasser-Wärmepumpen. Ein hoher Betriebs- und Wartungsaufwand ist wiederum den KWK-Anlagen zuzuschreiben.

Bewertungsschema

Die Kriterien werden in Abstimmung mit dem Auftraggeber nach deren Relevanz gewichtet. Die Summe der Gewichtungen aller Kriterien entspricht 100%. Das Produkt aus der Gewichtung und den jeweiligen Punktzahlen der Kriterien ergibt die gewichtete Gesamtpunktzahl einer jeden Versorgungsvariante. Für jedes Kriterium können 1 bis 5 Punkte vergeben werden. 5 Punkte entsprechen der höchstmöglichen Punktzahl. Bei einer ähnlichen Bewertung eines Kriteriums verschiedener Versorgungsvarianten wird die gleiche Punktzahl vergeben. Die Punktevergabe geschieht nach der Interpolationsmethode. Der beste Wert für das Bewertungskriterium „CO₂“ wird mit der Maximalpunktzahl (hier: 5 Punkte) multipliziert und diese Zahl dann durch die folgenden Werte der Varianten dividiert. Das Ergebnis wird gerundet und bildet dann die Bewertungspunktzahl. Somit erhält man eine abgestufte Bewertung abhängig nach Größe und Differenz der Variantenergebnisse.

Insofern im Laufe der Untersuchung von Versorgungsvarianten eine Realisierung ausgeschlossen werden kann, wird diese mit 0 Punkten (K.O.-Kriterium) bewertet.

Ergebnis der Einzelversorgung (für Unternehmer)

Bei der **CO₂-Bilanz** emittiert EV 4 deutlich weniger als alle anderen Varianten. Dies ist auf den Einsatz des Biomassekessels zurückzuführen. Wenn der Netzstrombezug aus erneuerbarer Erzeugung kommt, wird die CO₂-Bilanz für alle anderen EVs perspektivisch positiver.

Bei den derzeitigen **Wärmegestehungskosten** sind die Varianten EV 1 und 5 im Vergleich zu den anderen berechneten Varianten am vorteilhaftesten.

Die **Genehmigungsverfahren** fallen in allen Varianten mit Wärmepumpen in Kombination mit einem Biomassekessel am aufwendigsten aus, da für Großfeuerungsanlagen, die Biomasse nutzen, ein Genehmigungsverfahren nach § 4 BImSchG notwendig ist. Bei Wärmepumpen gilt es, Schallgutachten durchzuführen. Vorteile ergeben sich demnach für einfache mono- oder bivalente Systeme, wie in EV1 untersucht.

Größtmögliche **Autarkie** können die Varianten EV 1 bis EV3 erreichen, da hier – ausgenommen vom Strombezug aus dem öffentlichen Netz – die Abhängigkeiten im Bereich des Energiebezuges am geringsten sind. Ebenfalls ist die **regionale Wertschöpfung** bei den Varianten EV 4 & 5 am geringsten aufgrund des leitungsgebundenen Bezuges von Biogas sowie etwaiger Lieferung von Biomasse, welche stark von der weltwirtschaftlichen Marktlage abhängig ist. Bei einer gewünschten Wärmeversorgung der Unternehmen sollten folglich immer der regionale Bezug von Biomasse geprüft und den Unternehmen entsprechende Optionen angeboten werden, da der Biomasse-Bedarf im Plangebiet aus regionalen Sammelstellen oder aus Grünschnittabfällen ein Potenzial darstellt.

Die **Versorgungssicherheit** ist in Variante 1 am größten, da das monovalente System die geringsten Störanfälligkeiten aufweist.

Die nachfolgende Abbildung 48 bewertet die Varianten anhand der vorausgegangenen Ausführungen und Darstellungen.

Energiekonzept für den Interkommunalen Gewerbepark Oberhessen I - Endbericht -
Variantenvergleich

Bewertungsschlüssel (Punkte): 0 = K.O.-Kriterium 1 = schlecht 2...4 = mittel 5 = gut			EV1: L/W-WP mit PV, Heizstab		EV2: PVT mit S/W-WP + L/W-WP, Heizstab		EV3: ST mit S/W-WP + L/W-WP + PV, Heizstab		EV4: Biomassekessel + ST		EV5: Biomasse-Kessel + ST & L/W-WP +PV	
Bewertungskriterium	Einheit	Gewichtung	Bewertung	Punkte	Bewertung	Punkte	Bewertung	Punkte	Bewertung	Punkte	Bewertung	Punkte
CO ₂ -Bilanz	kg(CO ₂)/m ² *a	30%	13	2,0	12	2,0	12	2,0	5	5,0	9	3,0
Investitionskosten (ohne FöMi)	€/m ²	20%	88	5,0	271	2,0	148	3,0	94	5,0	108	4,0
Wärmegestehungskosten	€/MWh	10%	288	5,0	394,7	3,0	305,7	4,0	316,6	3,0	277,2	5,0
Genehmigungsbedürftigkeit	-	10%	gering ¹⁾	5,0	gering ^{1,6)}	3,0	gering ^{1,6)}	3,0	gering ²⁾	4,0	gering ^{1,2)}	3,0
Regionale Wertschöpfung/ Autarkiegrad	-	25%	hoch	5,0	hoch	5,0	hoch	5,0	mittel ³⁾	4,0	mittel ³⁾	4,0
Versorgungssicherheit	-	5%	hoch	5,0	mittel ⁴⁾	3,0	mittel ⁴⁾	3,0	mittel ⁵⁾	4,0	mittel ^{4,5)}	3,0
Summe		100%	4,1		3,0		3,3		4,4		3,7	
Rang			2		5		4		1		3	
¹⁾ L/W-Wärmepumpe: Außensplitgerät mit Prüfung Lärmentwicklung												
²⁾ Biomasse-Kessel: Abgasanlage mit Prüfung Abgaswerte												
³⁾ niedrig insofern Lieferung von Holzpellets; regionaler Bezug von Hackschnitzel etc. sehr hoch												
⁴⁾ hohe Komplexität in der trivalenten Wärmebereitstellung												
⁵⁾ Anfälligkeit Vergaser abhängig Güte/ Qualität der Biomasse												
⁶⁾ S/W-Wärmepumpe: Bodenprobe und/ oder Thermal Response Test (TRT)												

Abbildung 48 Bewertungsmatrix verschiedener Einzelversorgungsvarianten

Ergebnis der Quartiersversorgung (für Betreiber)

In Hinblick auf die **CO₂-Bilanz** sind die Varianten QV 1 & 4 am vorteilhaftesten, da keinerlei fossile Energieträger über Feuerungsanlagen zum Einsatz kommen. Insbesondere der Einsatz von Biomasse in QV4 führt zu einer starken Reduktion der bei der Wärmeerzeugung verursachten Emissionen. Die CO₂-Bilanz kann bei allen Varianten mit dem überwiegenden Einsatz von Wärmepumpen weiter verbessert werden, wenn Grünstrom bezogen wird.

Bezogen auf die **Wirtschaftlichkeit** ergeben sich die geringsten Investitionskosten in der Referenzvariante QV5 mit dem Erdgaskessel und Solarthermie. Aufgrund der KWK-Anlagen in QV3 und QV4 liegen diese wiederum am höchsten, neben dem sehr komplexen Erzeugerpark in QV2. Die geringsten **Wärmegestehungskosten** werden bei nahezu identischen Werten in den Varianten QV 1, 2 & 4 erzielt. Deutliche Mehrkosten sind beim Einsatz von größeren Mengen an Biogas einzuplanen. Auch der Einsatz von Erdgas führt zu höheren Gestehungskosten. Demnach sind insbesondere Energiesysteme mit Wärmepumpen und ergänzenden Biomasse-Kessel in Verbindung mit ST- und PV-Anlagen zu empfehlen.

Die **Genehmigung** des Biomasse-BHKWs ist aufwendig und bedarf eines fundierten Fachwissens über das Anlagensystem.

Größtmögliche **Autarkie** könnte Variante QV2 erreichen, da hier die Abhängigkeiten im Bereich des Energiebezuges am geringsten sind und ein sehr hoher Anteil des Wärmebedarfs aus der lokalen Erzeugung erreicht wird. Aufgrund des hohen Erdgaseinsatzes erhält QV5 eine schlechtere Bewertung bzgl. der **regionalen Wertschöpfung**.

Die **Versorgungssicherheit** ist überwiegend in einfachen Systemen wiederzufinden. Insbesondere die Komplexität des Erzeugerparks in QV2 sowie der KWK-Anlagen mit Abgasanlagen führt zu hohen Wartungsaufwänden und einer bestehenden Störanfälligkeit.

Die beiden Versorgungsvarianten QV 1 & 2 haben exzellente Eigenschaften über alle Bewertungskriterien hinweg. Je nach Möglichkeit, Biomasse regional und kostengünstig beziehen zu können, verschieben sich die Vorteile in Richtung QV1.

Die nachfolgende Tabelle bewertet die Varianten anhand der vorausgegangenen Ausführungen und Darstellungen.

Energiekonzept für den Interkommunalen Gewerbepark Oberhessen I - Endbericht -
Variantenvergleich

Bewertungsschlüssel: 0 = K.O.-Kriterium 1 = schlecht 2...4 = mittel 5 = gut	Einheit	Gewichtung	QV1: S/W-WP mit Abwasser, ST, PV, Bio-Kessel		QV2: S/W-WP mit Abwasser + L/W-WP, Bio-Kessel, ST, PV		QV3: Biogas-BHKW, L/W- WP, Bio-Kessel		QV4: Biomasse-BHKW, L/W-WP, Bio- Kessel		QV5: Erdgas-Kessel + ST (15%)	
			Bewertung	Punkte	Bewertung	Punkte	Bewertung	Punkte	Bewertung	Punkte	Bewertung	Punkte
CO ₂ -Bilanz	kg(CO ₂)/m ² *a	30%	19	4,0	22	4,0	31	3,0	17	5,0	43	2,0
Investitionskosten (ohne FöMi)	T€/m ²	20%	103	5,0	122	4,0	107	4,0	116	4,0	93	5,0
Wärmegestehungskosten (mit FöMi)	€/MWh	10%	313	5,0	318	5,0	512	3,0	343	5,0	463	3,0
Genehmigungsbedürftigkeit	-	10%	gering ⁶⁾	5,0	mittel ^{1,6)}	4,0	mittel ^{1,6)}	4,0	mittel ^{1,2)}	4,0	gering	5,0
Regionale Wertschöpfung/ Autarkiegrad	-	25%	hoch	4,0	hoch	5,0	gering	2,0	mittel ³⁾	3,0	gering	2,0
Versorgungssicherheit	-	5%	mittel ^{4,7)}	4,0	mittel ^{4,7)}	3,0	mittel ⁴⁾	3,0	mittel ^{4,5)}	2,0	hoch ^{*)}	5,0
Summe		100%	4,4		4,3		3,1		4,1		3,2	
Rang			1		2		5		3		4	
¹⁾ L/W-Wärmepumpe: Außensplitgerät mit Prüfung Lärmentwicklung, ggf. Schallgutachten												
²⁾ Biomasse-Kessel: Abgasanlage mit Prüfung Abgaswerte												
³⁾ niedrig insofern Lieferung von Holzpellets; regionaler Bezug von Hackschnitzel etc. sehr hoch												
⁴⁾ hohe Komplexität in der trivalenten Wärmebereitstellung												
⁵⁾ Anfälligkeit Vergaser abhängig Güte/ Qualität der Biomasse												
⁶⁾ S/W-Wärmepumpe: Bodenprobe und/ oder Thermal Response Test (TRT)												
⁷⁾ Wärmetauscher im Abwasser: regelmäßiger Wartungsaufwand durch mögliche Verunreinigungen im Abwasser (gering)												
^{*)} internationale Einflüsse am Beispiel der Lieferung von Erdgas nach Deutschland werden nicht berücksichtigt												

Abbildung 49 Bewertungsmatrix verschiedener Quartiersversorgungsvarianten

Vergleich und Zwischenfazit: Einzel- und Quartiersversorgung

Damit eine Empfehlung der untersuchten Einzel- und Quartiersversorgungen gegeben werden kann, erfolgt abschließend ein Abgleich mit Angaben zu den Vor- und Nachteilen der beiden Optionen.

Im Hinblick auf die Klimaverträglichkeit, welche aus der **CO₂-Bilanz** abgeleitet wird, zeigt die Quartiersversorgung deutliche Vorteile gegenüber der Einzelversorgung auf. Begünstigend kann eine Nutzung der lokal anfallenden Abwasserwärme hervorgehoben werden, welche lediglich bei einer zentralen Wärmeversorgung über ein Wärmenetz sinnvoll genutzt werden kann.

Auch der Aspekt der lokalen Stromversorgung über erneuerbaren Energien über die Windparks lässt sich deutlich einfacher bei einer zentralen Versorgung über einen Betreiber realisieren, wodurch eine klimaneutrale Wärmebereitstellung bei der Sektorenkopplung erreicht werden kann. Im Vergleich wären für die Bereitstellung des Windstromes gegenüber allen Unternehmen separate Verträge abzuschließen. Demnach ergeben sich im Punkt **regionale Wertschöpfung** Vorteile bei einer zentralen Wärmeversorgung. Bei einer Stromversorgung über den Windpark, der signifikant mehr Strom erzeugt als erforderlich ist, kann eine 100%-Versorgung auch ohne zusätzliche PV-Freiflächenanlagen realisiert werden.

Die **Genehmigungsbedürftigkeit** hängt von den untersuchten Varianten an, ist in den beiden Versorgungsoptionen jedoch gleichwertig zu gewichten. Im Quartier ist der Aufwand aufgrund einer möglichen Nutzung von Abwasserwärme mittels Wärmeübertragung oder auch Großfeuerungsstätten für die Nutzung von Biomasse höher. Wiederum kompensiert die Expertise des zukünftigen Betreibers (Energieversorger, Stadtwerk o.ä.) eines Nahwärmenetzes die mit der Genehmigung anfallenden Aufwendungen.

In puncto Wärmegestehungskosten, welche eine entscheidende Größe für den Vergleich der **Wirtschaftlichkeit** (Kosten der Wärmebereitstellung) darstellen, kann keine eindeutige Empfehlung der Versorgungsoptionen gegeben werden. Die Einzelversorgung stellt sich im Einzelfall etwas günstiger (< 10 % geringer) heraus als bei der Quartiersversorgung. Wiederum ist im Rahmen der Konzeptphase nur eine Kostenannahme zugrunde gelegt.

Letztendlich profitieren die Unternehmen durch ein Rundum-sorglos-Paket bei einer klimaneutralen Wärmebereitstellung über das Wärmenetz mit stabilen Preisen über die kommenden Jahrzehnte. Entsprechend sind die Unternehmen durch obige Aspekte von der zentralen Wärmeversorgung zu überzeugen. Bei einer gewünschten Realisierung der Nahwärmeversorgung gilt es, die genannten Aspekte im Rahmen einer Machbarkeitsstudie nach dem Förderprogramm BEW weiter zu forcieren. Weitere Informationen zur Umsetzung der Nahwärme werden in Kapitel 8.3 gegeben.

7.2 Strombereitstellung über solare Anlagen

Am Beispiel der untersuchten PV-Anlagen auf den Dachflächen sowie an den Fassaden eines ausgewählten Gebäudes (siehe Kapitel 6.2.1) wird eine Einschätzung der wirtschaftlichen Vorteilhaftigkeit der verschiedenen Systeme mit Berücksichtigung der Einbindung eines Batteriespeichers gegeben. Die Auslegung des Batteriespeicher entspricht einem Verhältnis von 1 kWp-PV-Anlagenleistung zu 0,8 kWh-Speicherkapazität der Batterie.

Darunter werden folgende Szenarien untersucht:

- Ost/West-Anlage: 63,36 kWp
- Ost/West-Anlage: 63,36 kWp, Batterie: 51 kWh
- Ost/West-Anlage: 63,36 kWp; Südfassaden-Anlage: 19,44 kWp; Batterie: 66 kWh

Neben den Investitionskosten für die PV-Module, Wechselrichter und Batteriespeicher werden die Kosten für Montagesystem, PV-Gestell, Montage, Gerüst, Verkabelung und Netz- und Anschlusskosten berücksichtigt. Zudem wird eine Reinvestition der Wechselrichter nach 10 Jahren Betrieb veranschlagt.

Die betriebsgebundenen Kosten betragen jährlich 2,5 % zzgl. sonstigen Kosten für Versicherungskosten in Höhe von 1,0 % der Investitionskosten. Die Erlöse aus dem Eigenverbrauch durch die Substitution von Netzstrom werden mit 43 ct/kWh veranschlagt. Weitere Erlöse aus der Netzeinspeisung richten sich nach den aktuellen Angaben des EEG zum Stand Dez. 2022.

Abbildung 50 zeigt die Investitionskosten sowie spez. Investitionskosten in € je kW_p-Leistung der PV-Anlage. Diese steigen dabei wesentlich durch die Installation der Fassadenmodule, da die Montage durch zusätzliche Gerüstkosten, kostenintensiver Verankerungen wesentlich höhere spezifische Kosten mit sich bringen als die untersuchten PV-Dachanlage. Die Investitionskosten belaufen sich entlang der untersuchten Szenarien zwischen 92,7 T€ bis 161,4 T€, bei spezifischen Investitionskosten von 1.463 €/kW_p bis 1.950 €/kW_p.

Der über einen Betrachtungszeitraum von 20 Jahren erzielten Kapitalwert beträgt 197,9 T€ im Szenario der PV-Dachanlage bis 317,1 T€ im Szenario der PV-Anlagen auf Dach und an der Fassade mit Batteriespeicher. Anhand der internen Verzinsung von 22,5 % wird der wirtschaftliche Vorteil bei der Einbindung eines Batteriespeichers gegenüber der PV-Dachanlage ohne Speicher mit einer internen Verzinsung von 20,2 % ersichtlich. Bei der Nachrüstung einer PV-Fassadenanlage sinkt diese zudem auf 18,6 %.

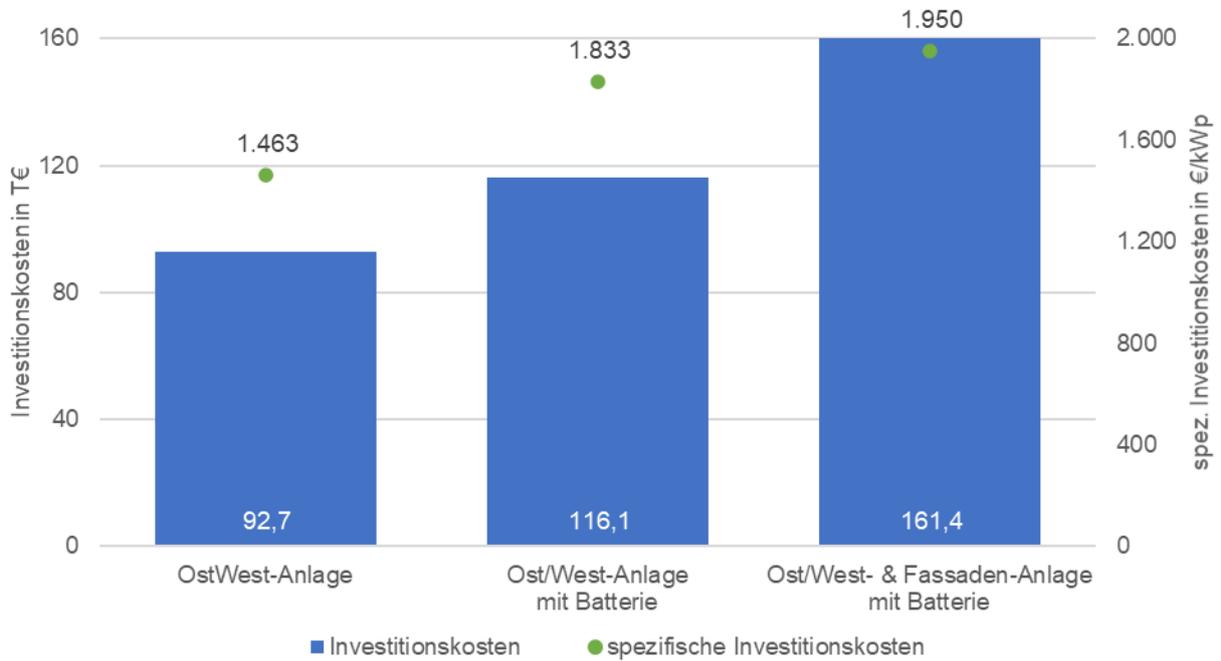


Abbildung 50 Investitionskosten und spezifische Investitionskosten verschiedener PV-Anlagenkonfigurationen an einem ausgewählten Gebäude

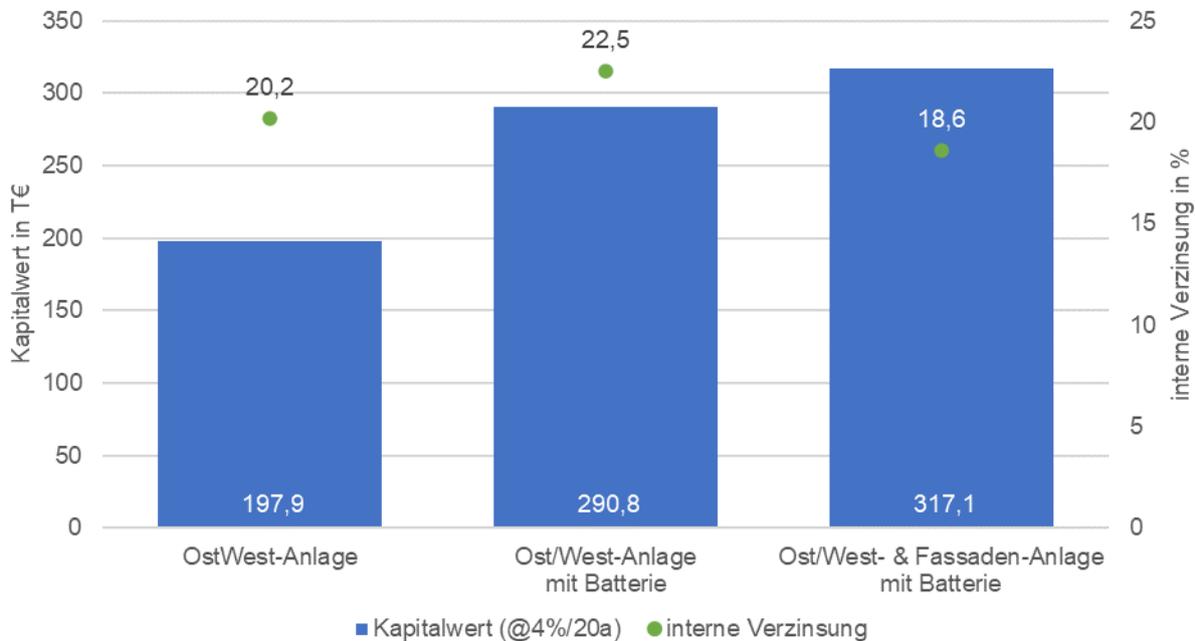


Abbildung 51 Kapitalwert und interne Verzinsung verschiedener PV-Anlagenkonfigurationen an einem ausgewählten Gebäude

Im Hinblick auf die Amortisation, sprich Zeitraum der Refinanzierung der Erstinvestition, beträgt die statische Amortisation entlang der Szenarien 4,8 % bis 5,7 %. Die dynamische Amortisation liegt bei einem kalkulatorischen Zinssatz von 4 % ca. 0,5 % über der statischen Amortisation der Systeme dementsgegen.

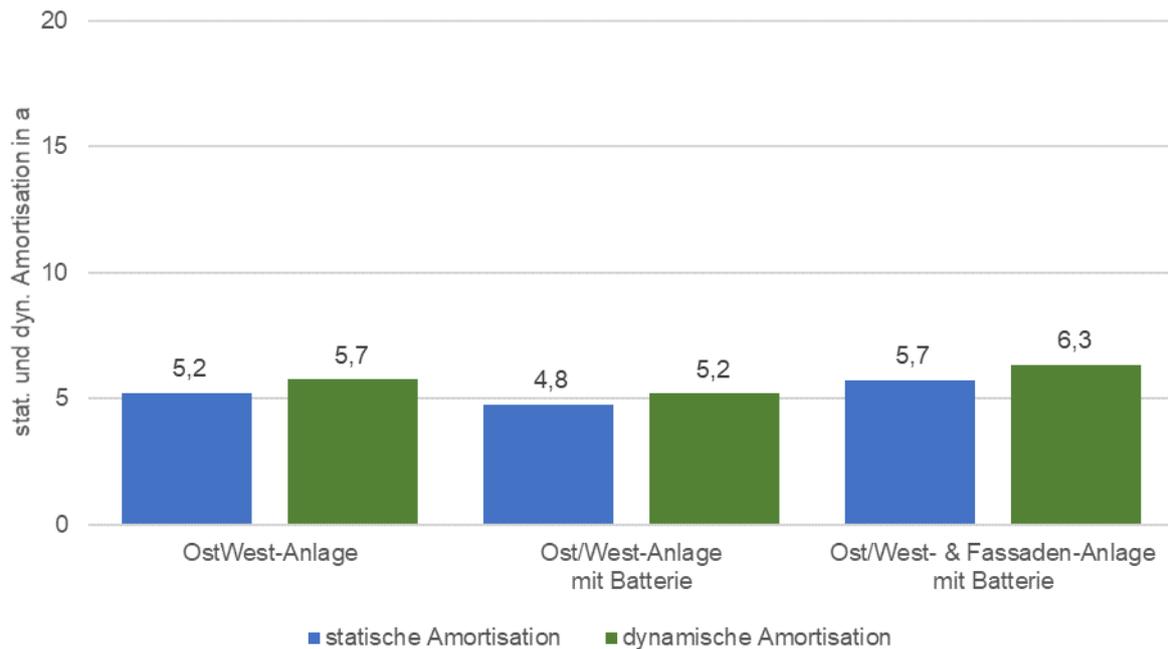


Abbildung 52 statische und dynamische Amortisation verschiedener PV-Anlagenkonfigurationen an einem ausgewählten Gebäude

Die Ergebnisse zeigen eine durchweg geringer Amortisationszeit und somit keine klare Empfehlung für die Umsetzung eines der Systeme. Festzuhalten gilt, dass mit der Installation einer PV-Anlage die Einbindung eines Batteriespeicher aus ökologischen sowie ökonomischen Aspekten mitgedacht werden sollte.

8 Umsetzungsstrategie

In diesem Kapitel sollen Empfehlungen gegeben werden, um den Interkommunalen Gewerbepark Oberhessen erfolgreich umzusetzen. Neben Finanzierungsmöglichkeiten wird ein besonderer Fokus auf energetische Ansiedlungskriterien für zukünftige Unternehmen gelegt.

8.1 Finanzierung und Förderung

Kommunalrichtlinie

Die Realisierung von Energieeffizienzmaßnahmen wird mit der hessischen Kommunalrichtlinie gefördert. Zu den förderfähigen Maßnahmen gehören u.a. Batteriespeicher für Photovoltaikanlagen.⁴⁵

Antragsberechtigt sind alle hessischen Städte und Gemeinden, die Landkreise sowie kommunale Zweckverbände. Mit dem Förderangebot werden u.a. hocheffiziente Neubauprojekte bei zuwendungsfähigen Ausgaben von mindestens 500.000 Euro gefördert. „Klimakommunen“ erhalten einen zusätzlichen Zuschuss von 10 %. Die Förderhöhe ist variabel und richtet sich nach der Einstufung in folgende Qualitätsstufen und wird als nicht rückzahlbarer Zuschuss gewährt⁴⁶:

bis zu

- 50 % (Qualitätsstufe 1): Modernisierung auf KfW-Effizienzgebäude 100 Standard
- 65 % (Qualitätsstufe 2): Modernisierung auf einen Neubaustandard nach GEG (GEG)
- 75 - 80 % (Qualitätsstufe 3): Modernisierung zum Passivhaus im Bestand und Passivhaus im Bestand Plus Solar
- 30 % (Qualitätsstufe 4): Einzelmaßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz; Zusatzförderung bis zu 10%, wenn ein Modernisierungsfahrplan vorliegt, der mindestens den Neubaustandard nach dem geltenden GEG zum Ziel hat

⁴⁵ <https://www.wibank.de/resource/blob/wibank/306354/64178f78fa48942c0b3350852ce22af7/richtlinie-energetische-modernisierung-data.pdf>

⁴⁶ <https://www.lea-hessen.de/kommunen/mit-der-neuen-kommunalrichtlinie-massnahmen-unterstuetzen/mit-der-kommunalrichtlinie-energieeffizienzmassnahmen-realisieren/>

Die Anträge sind bei der Wirtschafts- und Infrastrukturbank Hessen einzureichen. Der Antrag für kommunaleretzende Träger muss über die Kommunen erfolgen und die Förderung wird über die Kommune an die Träger weitergeleitet.⁴⁷

KfW 270: Erneuerbare Energien – Standard

Mit dem Förderprogramm werden u.a. die Errichtung, Erweiterung der Erwerb von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien unterstützt. Dazu gehören u.a. Batteriespeicher.

Für ein Darlehen in Höhe von 50.000 Euro gelten folgende Konditionen: 3,90 % p. a. Sollzins und 3,96 % p. a. Effektivzins bei 5 Jahren Laufzeit, 1 tilgungsfreies Anlaufjahr und 5 Jahre Zinsbindung, bei Einstufung in Preisklasse A. Nicht infrage kommt das Förderprogramm, wenn die Kommune der Anlagenbetreiber ist.

8.1.1 Finanzierung für Betreiber – Quartiersversorgung

Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW)

Die Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW) ist am 15. September 2022 in Kraft getreten.

Das Förderprogramm wird vier zeitlich aufeinander aufbauender Module gegliedert:

In Modul 1 werden Transformationspläne und Machbarkeitsstudien zur Transformation bzw. Neubau von Wärmenetzsystemen gefördert. Diese müssen auf die Wärmeversorgung von mehr als 16 Gebäuden oder mehr als 100 Wohneinheiten ausgerichtet sein. Von der systemischen Förderung wird zum einen der Neubau von Wärmenetzen (mind. 75 % mit erneuerbaren Energien und Abwärme gespeist) und zum anderen die Transformation von Bestandsinfrastrukturen zu treibhausgasneutralen Wärmenetzen umfasst. Die Förderung in Modul 2 enthält Maßnahmen von der Installation der Erzeugungsanlagen über die Wärmeverteilung bis zur Übergabe der Wärme an die Gebäude. Der systemische Ansatz wird durch Einzelmaßnahmen im dritten Modul ergänzt. Die Betriebskostenförderung für die Erzeugung von erneuerbarer Wärme aus Solarthermieanlagen und aus strombetriebenen Wärmepumpen, die in Wärmenetze einspeisen, wird mittels Modul 4 gewährt.⁴⁸

⁴⁷ <https://www.wibank.de/wibank/energieeffizienz-und-erneuerbare-energien/foerderung-energieeffizienz-und-nutzung-erneuerbarer-energien-307140>

⁴⁸ https://www.bafa.de/SharedDocs/Kurzmeldungen/DE/Energie/Energieeffizienz_waerменetze/20220822.html#:~:text=Die%20BEW%20nimmt%20bei%20der,vier%20aufeinander%20aufbauende%20Module%20gegliedert.

Tabelle 14 Zusammenfassung Art und Umfang der BEW-Module⁴⁹

Modul 1: Transformationspläne und Machbarkeitsstudien	<ul style="list-style-type: none"> • Nicht rückzahlbarer Zuschuss • 50 % förderfähiger Kosten • Bewilligungszeitraum zwölf Monate, kann auf Antrag einmalig um bis zu zwölf Monate verlängert werden • Max. 2 Millionen Euro
Modul 2: Systemische Förderung für Neubau und Bestandsnetze	<ul style="list-style-type: none"> • 40 Prozent der förderfähigen Ausgaben • Bewilligungszeitraum 48 Monate, kann auf Antrag einmalig 24 Monate verlängert werden • Max. 100 Millionen Euro • auf Wirtschaftlichkeitslücke begrenzt.
Modul 3: Einzelmaßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> • 40 Prozent der förderfähigen Ausgaben • Bewilligungszeitraum 24 Monate, kann zwölf Monate verlängert werden • Max. 100 Millionen Euro • Förderung auf Wirtschaftlichkeitslücke begrenzt. • auf Basis von Kalenderjahren ausgezahlt
Modul 4: Betriebskostenförderung	<ul style="list-style-type: none"> • Stichtag für Betrachtungszeitraum 31. Dezember • endet 10 Jahre nach Inbetriebnahme der geförderten Anlage • Auszahlung erfolgt nach Vorlage und Prüfung eines Zwischennachweises • Zwischennachweise bis spätestens 31. März des Folgejahres

Wärme- und Kältenetze nach KWKG (BAFA)

Mit dem Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetz (KWKG) unterstützt die Bundesregierung den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung. Neben Stromvergütungen für KWK-Anlagen und Förderung von Wärme- und Kältespeichern sind Zuschüsse für Wärme- und Kältenetze vorgesehen.⁵⁰

Förderung: Zuschuss, 30 % bis 40 % der ansatzfähigen Investitionskosten, maximal 20 Millionen Euro. Die Höhe der Förderung bzw. Zuschlags richtet sich nach dem mittleren Nenn-durchmesser der verlegten Wärmeleitungen und wird durch das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) festgelegt.⁵¹

Fördervoraussetzungen für Wärmenetze, die ab dem 01.01.2020 in Betrieb genommen wurden:

- Max. 20 Mio. Euro

⁴⁹

https://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Waermenetze/Effiziente_Waermenetze/effiziente_waermetze_node.html

⁵⁰

https://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Kraft_Waerme_Kopplung/Waerme_Kaeltenetze/waerme_kaeltenetze_node.html

⁵¹

<https://www.foerderung-leea-mv.de/bafa-waerme-und-kaeltenetze-nach-dem-kwkg-zuschuss/>

- Versorgung Abnehmende des Wärmenetzes mit mind. 75 % aus KWK-Wärme, alternativ Wärmemix aus KWK und EE oder industrielle Abwärme (sofern mind. 10 % KWK vorhanden)
- Nachweis über beantragte Zuschlagzahlung für den wirtschaftlichen Betrieb des Wärmenetzes erforderlich
- Vorbescheid beantragen bei über 5 Mio. € (Beginn Bau Wärmenetzes muss innerhalb von 12 Monaten ab Unanfechtbarkeit des Vorbescheides, Dauerbetrieb muss innerhalb von 3 Jahren ab Baubeginn erfolgen)
- Auszahlung Zuschlag durch Übertragungsnetzbetreiber

Die Bearbeitungsgebühr beträgt 0,2 % des in der Zulassung festgelegten Zuschlags, mindestens 100 Euro und maximal 40.000 Euro.

8.1.2 Finanzierung für Unternehmen

KfW 263: Nichtwohngebäude – Kredit & Tilgungszuschuss

Mit der Förderkreditkommune 263 fördert die KfW die Sanierung, den Neubau oder den Kauf eines neuen bzw. frisch sanierten Effizienzgebäudes und einzelne energierelevante Maßnahmen bei Bestandsgebäuden.

Aktuell werden im Rahmen der Neubauförderung nur Gebäude gefördert, die den Effizienzgebäudestandard KfW 40 mit Nachhaltigkeits-Klasse erfüllen und für das geplante Gebäude eine Siegelvariante des Qualitätssiegels Nachhaltiges Gebäude existiert.

Antragsberechtigt sind u. a. Privatpersonen, Einzelunternehmer, kommunale Unternehmen und Contracting-Geber, welche die Energie-Dienstleistungen an Nichtwohngebäuden erbringen.

Nähere Informationen zum Förderprogramm können der Homepage entnommen werden⁵² („263“ im Suchfeld eingeben).

⁵² <https://www.kfw.de/kfw.de.html>

Bundesförderung Effiziente Gebäude (BEG)

Tabelle 15 Förderrahmen der „Bundesförderung effiziente Wärmenetze“ (BEG), Stand: 01/2023⁵³

Bundesförderung effiziente Gebäude (BEG)⁵⁴	
Wohngebäude (WG) und Nichtwohngebäude (NWG)	<p>Neubau Effizienzhaus/-gebäude 40 NH: 5 %, 12,5 % Kommune, max. 120.000€/WE und bei NWG 2.000€/m² bzw. 10 Mio. €</p> <p>Bestand: bis 20 %, je nach EH/EG</p> <ul style="list-style-type: none"> • EE-Klasse, wenn mind. 65 % der Wärme- und Kälteversorgung aus Erneuerbaren Energien • NH-Klasse, wenn Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude • 10 % Bonus für Worst-Performing Buildings • max. 120.000 € / Wohneinheit bzw. 150.000 € bei EE/NH-Klasse und bei NWG 2.000€/m² bzw. 10 Mio. € • 5 % Tilgungszuschuss für EE/NH-Klasse • 15 % Bonus „Serielle Sanierung“
Einzelmaßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> • Heizungs-Tausch-Bonus 10 %; Öl, Kohle, Nachtspeich. Gas (20J.) Gasetagenh • 5 % Bonus für individuellen Sanierungsfahrplan • 5 % Bonus für Wärmepumpen, wenn Wärmequelle aus Wasser, Erdreich oder Abwasser • max. 60.000 € pro Wohneinheit bzw. 600.000 €, bei Nichtwohngebäuden max. 1.000 €/m² bzw. 5 Mio. €
<ul style="list-style-type: none"> • Gebäudehülle • Anlagentechnik • Heizungsoptimierung • Fachplanung und Baubegleitung • Heizungstechnik 	

Nachhaltigkeitszertifizierung

Das "Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude" (QNG) ist ein staatliches Gütesiegel des Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen für Gebäude, das durch akkreditierte Zertifizierungsstellen vergeben wird. Für die Vergabe sind Nachweise der Erfüllung allgemeiner und besonderer Anforderungen an die ökologische, soziokulturelle und ökonomische Qualität des Gebäudes zu erbringen. Vergeben wir das Siegel in zwei Stufen: QNG-PLUS (nachhaltigkeitsrelevante Merkmale und Eigenschaften in überdurchschnittlicher Qualität) und QNG-PREMIUM (deutlich überdurchschnittliche Qualität).⁵⁵

Seit Juli 2021 werden Nachhaltigkeitsaspekte im Rahmen der BEG nur über die NH-Klasse gefördert. Bisherige Effizienzhausstandards werden bei Neubauten nicht mehr gefördert. Der Nachweis erfolgt über die gebäudebezogene Vergabe des Qualitätssiegels. Ab 2023 gelten die ergänzten QNG-Anforderungen für den Neubau und die Komplettmodernisierung von Wohn- und Nichtwohngebäuden.⁵⁶

⁵³ Im Augenblick unterliegen die Förderprogramme teils wöchentlichen Änderungen. Die vorliegende Darstellung datiert vom Stand bzw. Redaktionsschluss.

⁵⁴ https://www.envisys.de/fileadmin/_processed_/csm_2023_BEG_Uebersicht_ohneLogo_33bd817ec9.png

⁵⁵ <https://www.bmwsb.bund.de/>

⁵⁶ <https://www.nachhaltigesbauen.de/austausch/beg/>

8.2 Bebauungsplan und Kriterienkatalog

8.2.1 Festsetzungen im Bebauungsplan

Um die Entwicklung des Plangebiets zugunsten des Klimaschutzes positiv zu beeinflussen, sollte die Kommune einen rechtlichen Rahmen für zukünftige Bauungen schaffen. Dabei können Festsetzungen des planerischen Instruments des Bauleitplans oder vertragliche Vereinbarungen wichtige Entwicklungen zukünftiger Baugebiete lenken.

Mit den Festsetzungen im Bebauungsplan wird der rechtsverbindliche Rahmen der städtebaulichen Ordnung angestrebt, welche die städtebaulichen Zielsetzungen widerspiegeln und die Raumordnungsplanung berücksichtigt. Dies bedarf einer sorgfältigen Planung, da nicht alles im Bebauungsplan festgesetzt werden darf.

In der Praxis bedeutet dies, dass Umsetzungen z. B. durch Festsetzung eines Energiestandards über das gesetzliche Niveau hinaus derzeit nicht rechtssicher möglich ist. Energetische Ziele oder Klimaschutzziele müssen deshalb u.a. über Festsetzungen zu Art und Maß der baulichen Nutzung, Baugrenzen oder Zuschnitt der Grundstücke erreicht werden. Es ist jedoch legitim, entsprechende Hinweise zum gewünschten Energiestandard in den Bebauungsplan aufzunehmen.

Ein effektives Instrument zur Umsetzung klimagerechter Bebauung stellen städtebauliche Verträge bzw. zivilrechtliche Vereinbarungen dar. Über solche Festsetzungen lassen sich weitergehende Regelungen treffen, als dies allein nach §9 BauGB durch Satzungsregelung im Rahmen eines Bebauungsplans rechtlich zulässig ist. Hierbei können insbesondere erweiterte Vorgaben gemacht werden als nach Mindestanforderung definiert.⁵⁷

Weiterführend können folgende Festsetzungen zum Maß der baulichen Nutzung einen erheblichen Beitrag für einen klimagerechten Gewerbepark leisten:

- Versiegelung auf niedrigem Niveau mit Hilfe wasserdurchlässiger Materialien
- Ausrichtung der Gebäude für optimale Sonneneinstrahlung
- Verwendung von hellen Oberflächen zur Reduzierung der Aufheizung
- Anpflanzungen zum Erhalt von Habitaten und Reduzierung der Aufheizung
- Reduzierung der Stellplatzanzahl für PKW und Verbesserung des ÖPVN-Anschlusses

Festsetzungen zum Ausschluss von Luftverunreinigungen, zur Erzeugung, Nutzung und Speicherung von Strom, Wärme oder Kälte aus erneuerbaren Energien oder Kraft-Wärme-

⁵⁷ Vgl. Ebök, Planung und Entwicklung Gesellschaft mbH (2020), S. 19 f.

Koppelung etc. können allerdings auf Basis des §9 Abs. 1 Nr. 23a und 23b BauGB getroffen werden.

Tabelle 16 Mögliche Festsetzungen im Bauleitplan

Gebäudeeffizienz	EE-Erzeugung	Wärmeversorgung	Begrünung
Pflicht zur Einhaltung des gesetzlichen Mindeststandards	Pflicht X% von 100% der Dachflächen Photovoltaik	Anschlusszwang als Wahlpflicht A: Pflicht zum Anschluss an eine Quartiersversorgung (bspw. Nahwärme- u. / o. Kältenetz)	Pflicht X% von 100% der Dachflächen für Begrünung
	Pflicht X% von 100% der Dachflächen Solarthermie alternativ: Pflicht X% von 100% (Richtwert 2/3) der Dachflächen PVT (Kombination Photovoltaik / Solarthermie)	Einzelversorgung als Wahlpflicht B: Pflicht zur überwiegenden / Anteil X % Deckung des Wärme- u. / o. Kältebedarfs über erneuerbare Energien	Pflicht X% von 100% der Fassadenfläche für Begrünung

Gründächer

Gründächer können einen wesentlichen Beitrag leisten, um Büro- oder Verwaltungsgebäude im Plangebiet bauphysikalisch zu kühlen. Ein begrüntes Dach wirkt sich positiv auf die darunter liegenden Räume aus, denn die Verdunstungsleistung der Pflanzenschicht sorgt im Sommer für Kühlung. Im Winter hingegen wirkt der Gründachaufbau wärmespeichernd und folglich als Wärmedämmung.

Darüber hinaus speichern bepflanzte Dächer bis zu 80 % Regenwasser und verdunsten es langsam wieder. Laut dem Naturschutzbund Deutschland e.V. (NABU) entsteht mehr Lebensraum für Insekten, und die Bepflanzungen produzieren „Sauerstoff, filtern verschmutzte Luft, absorbieren Strahlung und verbessern dadurch insgesamt das Klima. Sie wirken temperaturnausgleichend durch Wärmedämmung, dämpfen Lärm und schützen das Dach vor Witterungseinflüssen und mechanischem Verschleiß.“⁵⁸

Beim konstruktiven Dachaufbau sind zwei Arten der Dachbepflanzung zu unterscheiden, denen verschiedenste Vegetationsformen zugeordnet werden können:

⁵⁸ Vgl. NABU (2022)

- Extensive Begrünung (niedrig wachsende, dürrebeständige Pflanzen)
- Intensive Begrünung (bodendeckende niedrig- bis hochwachsende Gräser, Stauden und Gehölze)

Die Materialkosten für eine Intensivbegrünung liegen bei Komplettangeboten zwischen 50 und 100 Euro je Quadratmeter (Stand 2022), bei extensiver Begrünung zwischen 30 und 50 Euro. Die Arbeitskosten entsprechen jenen eines Kiesdaches, da der Arbeitsaufwand in etwa gleich ist⁵⁹. Aufgerechnet gegen die Minderkosten durch Energiespareffekte können sich die Herstellungskosten schnell amortisieren.

Zusätzlich ist es vorteilhaft, ein Gründach mit einer PV- oder Solarthermieanlage zu kombinieren. „Denn während sich ein Bitumen- oder Kiesdach im Sommer auf mehr als 70 Grad Celsius aufheizen kann, wird ein Gründach selten wärmer als 35 Grad Celsius. Die Verdunstung hat einen kühlenden Effekt, der auch der Solaranlage zugutekommt, weil sie sich weniger aufheizt. In Kombination mit einem Gründach kann sich die Leistungsfähigkeit einer PV-Anlage im Jahresmittel um bis zu 4 Prozent erhöhen (abhängig u. a. von Standort, Sonneneinstrahlung, Pflegezustand und Art der Dachbegrünung).“⁶⁰

Zu beachten sind jedoch die möglichen Dachneigungen. Mit zunehmender Steigung erhöht sich der Sicherungsaufwand bis zur Unwirtschaftlichkeit und der Bepflanzungsaufbau kann nicht mehr naturnah gestaltet werden. Eine genaue Abgrenzung ist nicht möglich, jedoch können Dächer mit Neigungen von 15° bis 20° problemlos bepflanzt werden.

8.2.2 Kriterienkatalog

Die Wirtschaftsförderung Wetterau GmbH erarbeitet im Kontext nachhaltiger Gewerbeparks Ansiedlungs- und Vermarktungskriterien, welche auch für den Interkommunalen Gewerbepark Oberhessen gelten sollen. Nachfolgend werden energetische Aspekte benannt, die in den Kriterienkatalog aufgenommen werden können.

Nachhaltiges Bauen

- Zertifizierung nach DGNB⁶¹ (KfW40 ist ab 2025 gesetzlich Mindeststandard) wie z.B. Goldstandard nach DGNB
 - Exkurs: Ressourceneffizienz, schonender Einsatz von seltenen Materialien (z.B. Wasser, Sande); branchenspezifische Festlegungen

⁵⁹ Vgl. NABU (2022)

⁶⁰ Vgl. Berliner Regenwasseragentur (2022)

⁶¹ <https://www.dgnb.de/de/verein/system/index.php>

- Gebäudeeffizient bauen
 - Gebäudeeffizienzstandard: KfW40 oder höher
 - zusätzliche Kriterien: EE-Plus Standard; Nachhaltigkeitszertifizierung (Förderung)
- Anmerkung: 2023 fordert GEG eine Gesamtbilanz (siehe auch DGNB als Lebenszyklusbetrachtung)

Klimafreundliche Energieversorgung

- Ansatz: CO₂-Faktor bzw. Primärenergiefaktor für die Bereitstellung von Wärme und Strom festlegen
 - Nach Versorgungssystem oder unter Angaben eingesetzter Energieträger
- Ausblick: Gemäß Referenzentwurf GEG 2023 könnte Erdgas perspektivisch verboten werden⁶²

Energieeffiziente Prozesse

- Wärmerückgewinnung intern
 - mechanische Belüftung (Abluft)
Anmerkung: gesetzliche Verpflichtung Wärmerückgewinnung von mindestens 85%
 - Prozessabwärme (branchenspezifische Einordnung, z.B. Öfen für Backwaren)
- Wärmerückgewinnung extern
 - Einspeisung überschüssiger Abwärme (bspw. aus Prozessen in das Nahwärmenetz)

Flächennutzung

- %-Anteil Nutzung von Grauwasser für Brauchwasser (u.a. auch Regenwasseraufbereitung)
- Nicht bebaute Flächen: Geringe Versiegelung und hohen Versickerungsgrad (Regenwasser) gewährleisten
- sonstige: Begrünung von Dachflächen oder Fassaden

⁶² <https://www.haustec.de/management/normen-recht/geg-novelle-2023-erster-entwurf-aufgetaucht>

Alternative Mobilität

- Elektromobilität
 - %-Anteil an elektrischen Ladepunkten
 - %-Anteil an elektrifizierten Fahrzeugen (Pkw & Kleintransporter; Lkw ausgenommen) → branchenspezifisch
- sonstige: Nutzung von Wasserstoff
- Anteil an Nutzung des ÖPNV, Fahrrads etc.

Monitoring und Controlling über Managementsysteme

- kontinuierlicher Verbesserungsprozess
 - Umwelt- oder Energiemanagementsystem
 - Klimamanagement (CO₂-Fußabdruck)

8.3 Ablaufplan Nahwärmelösung

Für die Umsetzung einer Nahwärmeversorgung ist der zeitliche Verlauf bei der Entwicklung des Gewerbeparks ein wichtiges Entscheidungskriterium. Diese wird beispielhaft entsprechend nachfolgender Tabelle 17 dargestellt, welche eine Übersicht des Ablaufes von der Antragstellung der Förderung nach BEW, über die Erstellung der Machbarkeitsstudie bis hin zur Planung und Realisierung nach Leistungsphasen (HOAI) im Rahmen des Förderprogrammes bietet.

Der Umsetzung mittels Förderung nach BEW ist mit der Erschließungsplanung und der Ansiedlung der Unternehmen in Einklang zu bringen.

In der **Erschließungsplanung** ist die Verlegung der Rohrleitungen des Nahwärmenetzes zu berücksichtigen. Informationen zum Durchmesser (DN) der Nahwärmeleitung mit Skizze der Leitungsführung können für die Mediierschließung bereits in den ersten Monaten der Machbarkeitsstudie erarbeitet werden. Planunterlagen folgen mit der Planung in Leistungsphase 2 und Leistungsphase 3. Wann die Vorplanung der Erschließungsplanung erfolgen wird, hängt zum aktuellen Zeitpunkt noch von der Fertigstellung der Verkehrsuntersuchung ab. Weiterhin erfolgt zurzeit die Ausschreibung über ein europäisches Verfahren. Angestrebter Zeitraum für die Erschließungsplanung ist Juni / Juli 2023.

Damit die Umsetzung einer Nahwärmeversorgung gelingen kann, sind weitere wichtige Aspekte nach **Kriterienkatalog** bei der **Ansiedlungspolitik** (Auswahl der Unternehmen) zu beachten. Neben wichtigen Informationen zum prognostizierten Energiebedarf sowie An-

schlussleistungen zu Strom und Wärme, sollte auch die Verbindlichkeit in Form einer Absichtserklärung für eine Anbindung der Unternehmen an die Nahwärmeversorgung eingeholt werden. Diese schafft Sicherheit bei der Strategieentwicklung und Planung des Wärmenetzes bereits während der Machbarkeitsstudie. Entsprechend sollte im Kriterienkatalog die Bekundung einer Anbindung an die Nahwärme eine wichtige Position einnehmen und gewillte Unternehmen priorisieren. Das operative Geschäft wird über den Zweckverband erfolgen. Entsprechende Vermarktungsstrategien sind mit der Erschließungsplanung zu entwickeln.

Sollte eine Nahwärmeversorgung nicht in den Fokus rücken, dann wären alternative Vorgaben zur klimaneutralen Energiebereitstellung als Einzelversorgung festzulegen, die auch im Kriterienkatalog zu verankern sind.

Letztendlich kann das Ziel, einen klimaneutralen Gewerbepark zu entwickeln, über beide Ansätze realisiert werden.

Tabelle 17 Zeitplan einer Realisierung des Wärmenetzes nach BEW

Pos.	M03/23	M04/23	M05/23	M06/23	M07/23	M08/23	M09/23	M10/23	M11/23	M12/23	M01/24									
Antragstellung Fördermittel	■	■																		
Machbarkeitsstudie			■	■	■	■	■	■	■	■										
Planung										■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
LP1			■	■	■	■	■	■	■	■										
LP2										■	■									
LP3											■	■								
LP4												■	■							
LP5													■	■						
LP6														■	■					
LP7															■	■				
LP8																	■	■	■	
Bau																				
Wärmenetz																		■	■	■
EWS																				
Inbetriebnahme																				■

Ablaufplan Fördermittelantrag

Die Antragstellung erfolgt über das elektronische Antragsportal des BAFA. Für die Beantragung des Fördermoduls 1 (Transformationspläne und Machbarkeitsstudien) müssen

- eine Projektskizze,
- Nachweise zur Plausibilisierung der Ausgabenpositionen im Finanzierungsplan,
- Vollmacht (falls ein Bevollmächtigter eingetragen wurde),
- Voruntersuchungen (bspw. vorliegendes Konzept)

eingereicht werden. Das Fördermodul 1 umfasst neben der Erstellung der Machbarkeitsstudie auch Planungsleistungen gemäß den Leistungsphasen 1-4 der HOAI. Unter Umständen kann das vorliegende Energiekonzept vom BAFA als gleichwertig zu einer Machbarkeitsstudie anerkannt werden, sodass direkt die Planungsleistungen nach Modul 1 beantragt werden können. Lieferungs- und Leistungsverträge dürfen erst nach Erhalt des Zuwendungsbescheides beauftragt werden.

Nach Fertigstellung aller Leistungen des Moduls 1 erfolgt die Antragstellung von Modul 2. Hierzu sind die nachfolgenden Unterlagen einzureichen:

- Machbarkeitsstudie,
- Projektbeschreibung
- Wirtschaftlichkeitslückenberechnung,
- Planungsunterlagen (LP3-4, überwiegend abgeschlossen),
- Nachweise zur Plausibilisierung der Ausgabenposten im Finanzierungsplan,
- Zeit- und Ressourcenplan und
- Vollmacht (falls ein Bevollmächtigter eingetragen wurde)

Quellenverzeichnis

ASUE (2015): Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch (2015): Wirkungsgrade von BHKW mit unterschiedlichen Leistungen.

https://asue.de/blockheizkraftwerke/grafiken/wirkungsgrade_von_bhkw_mit_unterschiedlichen_leistungen

Biomasserechner: Gammel Engineering (2022): Biomasse-Rechner.

<https://gammel.de/de/tools/biomasserechner>

Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (2022): Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW).

https://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Waermenetze/Effiziente_Waermenetze/effiziente_waermenetze_node.html

Bundeswaldinventur (2018): Panek, Norbert (2018): Hessens Wälder im Fokus der dritten Bundeswaldinventur aus naturschutzfachlicher Sicht.

http://cms.bund-hessen.de/hessen/dokument/2018/2018_BWI_Hessens-Waelder.pdf

Bundeswaldvorräte (2012): Staatsbetrieb Sachsenforst (2012): Vorrat [m³/ha] nach Land und Eigentumsart. Alle Bestandesschichten.

https://www.wald.sachsen.de/1_07_29b_Vorrat_m3_pro_ha_nach_Land_und_Eigentumsart_alle_Bestandesschichten_final.pdf

DIN V 18599-10: Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwasser und Beleuchtung – Teil 10: Nutzungsbedingungen, Klimadaten.

Ebök, Planung und Entwicklung Gesellschaft mbH (2020): Leitfaden Klimagerechte Bauleitplanung für die Region Mittler Oberrhein. Version 2-1.7 – Stand 24.09.2020.

<https://reabw.de/wp-content/uploads/2020/10/200924-Leitfaden-klimagerechte-Bauleitplanung.pdf>

emcel: Ingenieurbüro für Brennstoffzelle, Wasserstofftechnologie und Elektromobilität
(2019): Warum fasst ein Wasserstofftank bei 700 bar nicht doppelt so viel wie bei
350 bar?

<https://emcel.com/de/warum-fasst-ein-wasserstofftank-bei-700-bar-nicht-doppelt-so-viel-wie-bei-350-bar/>

Energie Wasserstoff: Gloor (2021): Ist Wasserstoff CO₂-frei?

<https://energie.ch/wasserstoff/>

Fraunhofer 2013: Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI (2013):
Industrielle Abwärmenutzung. Kurzstudie.

https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/cce/2013/Kurzstudie_Abwaermenutzung.pdf

FNR: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (2007): Leitfaden Bioenergie. Planung, Betrieb und Wirtschaftlichkeit von Bioenergieanlagen (3. Aufl.). Gülzow.

Gehling, Matthias (2022): Installierte Leistung, Stromerzeugung und Marktentwicklung von Kleinwindanlagen in Deutschland. Kurzstudie. Zentrum für Sonnenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW), Stuttgart

<https://www.gehl-ing.de/papers/2018-BVKW-Kurzstudie-KWEA-40-Veroeff.pdf>

Gewicht Hackgut: Baumann (2022): Hackschnitzel. Maßeinheit und Gewicht von Hackgut.

<https://www.hackschnitzel-preisanfrage.de/seite/hackschnitzel-masseinheit-und-gewicht/>

Heizwert Heizöl: TotalEnergies (2022): Heizwert und Brennwert von Heizöl.

<https://heizoel.totalenergies.de/rund-um-heizoel/aktuelles-tipps/heizoelkaufberatung/heizwert-und-brennwert-von-heizol/>

Kleinwindkraftanlagen: Jüttemann (2022): Windmessung für Kleinwindkraftanlagen.

<https://www.klein-windkraftanlagen.com/basisinfo/windmessung/>

Kosten Kleinwindkraftanlagen: Jüttemann (2022): Kleinwindanlage kaufen: Ultimativer Leitfaden vom neutralen Experten.

<https://www.klein-windkraftanlagen.com/kauf/>

Kurzumtriebsplantagen (2022): Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (2022): Kurzumtriebsplantagen.

<https://www.lwf.bayern.de/forsttechnik-holz/biomassenutzung/050535/index.php>

Luftdichte: Chemie.de (2022): Luftdichte.

<https://www.chemie.de/lexikon/Luftdichte.html>

NOW GmbH (2022): Genehmigungsleitfaden Wasserstofftankstellen.

https://www.now-gmbh.de/wp-content/uploads/2022/03/NOW_Genehmigungsleitfaden_H2-Tankstellen.pdf

Statista (2021): Anteil der genehmigten Wohngebäude in Holzbauweise an allen genehmigten Wohngebäuden in Deutschland in den Jahren 2003 bis 2020.

<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/456639/umfrage/quote-der-genehmigten-wohngebaeude-in-holzbauweise-in-deutschland/>

Umweltbundesamt (2020): Dekarbonisierung der Zementindustrie.

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/dokumente/factsheet_ze mentindustrie.pdf

Wasserstoffspeicher: Paschotta (2022): Wasserstoffspeicher.

<https://www.energie-lexikon.info/wasserstoffspeicher.html>

Wasserstoff Tankstelle: Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2012): Wasserstoff-Tankstellen. Ein Leitfaden für Anwender und Entscheider.

https://www.h2bz-hessen.de/mm/Wasserstofftankstellen_web.pdf

Wasserstoff Tankstelle Komponenten: EMCEL (2022): Wie gehe ich bei der Planung einer Wasserstofftankstelle vor.

<https://emcel.com/de/planung-einer-wasserstofftankstelle/>

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Baukonstruktion 1: Porenbetonstein und Polystyrolschaum	15
Abbildung 2	Baukonstruktion 2: Kalksandstein und Mineralwolle	15
Abbildung 3	Baukonstruktion 3: Holzrahmen mit ökologischem Dämmstoff	16
Abbildung 4	Szenarien und Wandaufbauten	17
Abbildung 5	Abwärmequellen und -senken industrieller Prozesse.....	23
Abbildung 6	Fahrzeugseitige Steckvorrichtungen für das Laden von E-Autos.....	25
Abbildung 7	Werte beim Laden von E-Autos.....	26
Abbildung 8	Vergleich Diesel- und Elektroauto.....	27
Abbildung 9	Vergleich Schwerlastfahrzeuge Diesel- und E-Auto.....	28
Abbildung 10	Komponenten einer Wasserstofftankstelle	30
Abbildung 11	Lage von Nidda nordöstlich von Frankfurt am Main, genordet, ohne Maßstab.....	34
Abbildung 12	Lage des Plangebiets nordwestlich von Nidda, genordet, ohne Maßstab.....	36
Abbildung 13	Lokale Einordnung des Plangebiets mit Luftbild, genordet, ohne Maßstab.....	37
Abbildung 14	Lage des Plangebiets (G – hellgrau) im Ortsteil Borsdorf, genordet, ohne Maßstab	38
Abbildung 15	Exemplarisches 3D-Modell des Plangebiets „Interkommunaler Gewerbepark Oberhessen“	39
Abbildung 16	Vorläufige Flächenaufteilung der Flurstücke	40
Abbildung 17	Gebäudeaufteilung im Gewerbegebiet.....	45
Abbildung 18	Mögliche Energiebedarfe in Abhängigkeit des Nutzungstyps	46
Abbildung 19	Endenergiebedarf in Abhängigkeit der Gebäudeeffizienz nach Gebäudetyps.....	47
Abbildung 20	Erneuerbare Energiequellen und mögliche Bereitstellungspfade.....	49
Abbildung 21	PV-Dachpotenzial Südausrichtung	52
Abbildung 22	PV-Dachpotenzial Ost-West-Ausrichtung.....	52
Abbildung 23	PV-Potenziale an Südfassaden aus der Simulation	54
Abbildung 24	Anordnung der PV-Anlage auf der Freifläche.....	55
Abbildung 25	Deckungsgrad am Strombedarf eines beispielhaften Gebäudes durch PV-Anlagen und Batteriespeicher nach Art genutzter Flächen	56
Abbildung 26	Formen biogener Festbrennstoffe in Deutschland, grün markiert (durchgezogener Rand) sind mögliche Bereitstellungspfade für das Plangebiet.....	59
Abbildung 27	Waldgebiete der Gemeinde Nidda.....	61
Abbildung 28	Baumartenverteilung im Gebiet Nidda	62

Abbildung 29	Flächenpotenzial einer Kurzumtriebsanlage für das alte Sportplatzgelände.....	63
Abbildung 30	Beispielhafte Darstellung möglicher Aufstellorte für Kleinwindkraftanlagen.....	66
Abbildung 31	Strompotenzial erneuerbarer Energiequellen	68
Abbildung 32	Wärmepotenzial erneuerbarer Energiequellen	70
Abbildung 33	Technisch und wirtschaftlich nutzbares Wärmepotenzial erneuerbarer Energiequellen	71
Abbildung 34	Strompotenzial erneuerbarer Energiequellen	72
Abbildung 35	Technisch und wirtschaftlich nutzbares Strompotenzial erneuerbarer Energiequellen	73
Abbildung 36	Energiebilanz in der Wärmebereitstellung verschiedener Quartiersversorgungsvarianten	78
Abbildung 37	Energiebilanz in der Wärmebereitstellung verschiedener Einzelversorgungsvarianten	79
Abbildung 38	Energiebilanz in der Strombereitstellung, Quartiersversorgung.....	80
Abbildung 39	Energiebilanz in der Strombereitstellung, Einzelversorgung.....	81
Abbildung 40	Investitionskosten verschiedener Quartiersversorgungsvarianten	82
Abbildung 41	Investitionskosten verschiedener Einzelversorgungsvarianten.....	83
Abbildung 42	Jährliche Kosten (Annuität) verschiedener Quartiersversorgungsvarianten	84
Abbildung 43	Jährliche Kosten (Annuität) verschiedener Einzelversorgungsvarianten	84
Abbildung 44	Wärmegestehungskosten verschiedener Quartiersversorgungsvarianten.....	85
Abbildung 45	Wärmegestehungskosten verschiedener Einzelversorgungsvarianten	86
Abbildung 46	CO ₂ -Bilanz verschiedener Quartiersversorgungsvarianten	87
Abbildung 47	CO ₂ -Bilanz verschiedener Einzelversorgungsvarianten	88
Abbildung 48	Bewertungsmatrix verschiedener Einzelversorgungsvarianten.....	92
Abbildung 49	Bewertungsmatrix verschiedener Quartiersversorgungsvarianten	94
Abbildung 50	Investitionskosten und spezifische Investitionskosten verschiedener PV-Anlagenkonfigurationen an einem ausgewählten Gebäude.....	97
Abbildung 51	Kapitelwert und interne Verzinsung verschiedener PV-Anlagenkonfigurationen an einem ausgewählten Gebäude.....	97
Abbildung 52	statische und dynamische Amortisation verschiedener PV-Anlagenkonfigurationen an einem ausgewählten Gebäude.....	98

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Energiekennzahlen für die Energiestandards bei „Gewerblichen und industrielle Hallen – leichte Arbeit, überwiegend sitzende Tätigkeit“	42
Tabelle 2	Energiekennzahlen für die Energiestandards bei „Gewerblichen und industrielle Hallen – schwere Arbeit, stehende Tätigkeit“	42
Tabelle 3	Angenommene Werte für die Energiestandards bei „Dienstleistungen und Gastronomie“ in kWh/(m ² *a).....	42
Tabelle 4	Flächenaufteilung in % nach Nutzungsprofilen der DIN 18599	44
Tabelle 5	Definition des Potenzialbegriffs.....	49
Tabelle 6	Potenzialberechnung Erdkollektoren.....	50
Tabelle 7	Ergebnisse der PV-Dachsimulation.....	53
Tabelle 8	Ergebnisse der PV-Fassadesimulation	54
Tabelle 9	Ergebnisse der PV-Freiflächensimulation.....	55
Tabelle 10	Ertrag in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit.....	64
Tabelle 11	Kleinwindkraftanlagen	65
Tabelle 12	Versorgungsvarianten für das Plangebiet.....	74
Tabelle 13	CO ₂ -Emissionsfaktoren unterschiedlicher Energieträger	87
Tabelle 14	Zusammenfassung Art und Umfang der BEW-Module.....	101
Tabelle 15	Förderrahmen der „Bundesförderung effiziente Wärmenetze“ (BEG), Stand: 01/2023	103
Tabelle 16	Mögliche Festsetzungen im Bauleitplan	105
Tabelle 17	Zeitplan einer Realisierung des Wärmenetzes nach BEW.....	109

Anlagen

Parameterliste

Technische Parameter

Parameter	Wert	Quelle
Stündliche Wetterdaten	Min. Temperatur, Max. Temperatur Jahresdurchschnittstemperatur	DWD Klimadaten Deutschland für Standort Delmenhorst
Überschlägige Heizlast	Energiestandard GEG: 35 W/m ² Energiestandard EH 40: 25 W/m ²	Abschätzung auf Basis üblicher Ge- bäude – ersetzt nicht die genaue Be- rechnung der Heizlast nach DIN EN 12831-1 in späterer Planung!
Abschätzung Warmwasserbedarf	Starke Schwankung, daher Mittelwert aus mehreren Quellen gebildet	Bauwerkszuordnungskatalog 3610 und 4400 DIN V 18599-10 2018 - Tabelle 7 BBSR-Online-Publikation Nr. 20/2019 Vergleichswerte für den Energiever- brauch von Nichtwohngebäuden
Wirkungsgrad Gas- Brennwertgerät	96 %	Techn. Datenblätter
COP der Luft-Wasser und Sole-Wasser Wärme- pumpen	z.B. 3,2 bei A-10/W35 z.B. 4,4 bei B0/W35	Wärmepumpen-Testzentrum der Ostschweizer Fachhochschule
Modulleistung Photovoltaik	360 Wp pro Modul	Techn. Datenblätter

Wirtschaftliche Parameter

Parameter	Wert	Quelle
Kalkulatorischer Zinssatz	2 %	BNB Kriterium 2.1.1
Jährliche Preissteigerung für Bau- und Dienstleistun- gen	2 %	BNB Kriterium 2.1.1
Jährliche Preissteigerung für Energie	5 %	BNB Kriterium 2.1.1
Investitionskosten Haupt- Komponenten	z.B. 1280 €/kWp für PV Module	Abschätzung auf Basis spezifischer Kennwerte und Herstelleranfragen
Abschätzung technische Lebensdauer der Kompo- nenten	z.B. 20 Jahre für Gas-Brennwertgerät	VDI 2067

Parameter	Wert	Quelle
Betriebsgebundene Kosten für Wartung und Instandhaltung	z.B. 0,5 % der Investitionskosten für Wartung bei Solarkollektoren	VDI 2067
Endkundenpreis Strom	43,42 ct/kWh netto	Preisblatt reg. Energieversorger
Endkundenpreis Erdgas	12,06 ct/kWh netto	Preisblatt reg. Energieversorger
CO ₂ -Preisentwicklung	z.B. 30 €/tCO ₂ im Jahr 2022 bis 180 €/tCO ₂ (2050) im Szenario COP1 und 260 €/tCO ₂ (2050) im Szenario COP2	Gesetzliche Vorgaben und Trendstudie von Agora Energiewende

Ökologische Parameter

Parameter	Wert	Quelle
Strommix gesamt	0,366 kg CO ₂ /kWh	Informationsblatt BAFA, 15.11.2021 CO ₂ -Faktoren –
Erdgas	0,201 kg CO ₂ /kWh	Informationsblatt BAFA, 15.11.2021 CO ₂ -Faktoren –
Biogas	0,152 kg CO ₂ /kWh	Informationsblatt BAFA, 15.11.2021 CO ₂ -Faktoren –
Solarthermie	0,0237 kg CO ₂ /kWh	Informationsblatt BAFA, 15.11.2021 CO ₂ -Faktoren –
Photovoltaik	0,040 kg CO ₂ /kWh	GEMIS 5.0
Windkraft	0,010 kg CO ₂ /kWh	GEMIS 5.0

Mindestanforderungen BEW – Fördermodul I

Eine Machbarkeitsstudie soll die folgenden Mindestinhalte enthalten:

- eine Analyse der Wärmebedarfe des zu versorgenden Gebiete
- Ermittlung der Potenziale erneuerbarer Energien und von Abwärme im Untersuchungsgebiet
- Analyse des Wärmeerzeugerportfolios unter Berücksichtigung der Anforderungen an ein Wärmenetzsystem, ggf. Durchführung einer Variantenbetrachtung zur Ermittlung einer favorisierten und wirtschaftlichen Wärmeversorgung im Untersuchungsgebiet
- Das Zielbild des treibhausgasneutralen Wärmenetzes und der Transformationspfad sind zu skizzieren. Dabei sind ansteigende indikative Anteile erneuerbarer Energien

und Abwärme an der Wärmeerzeugung für die Wegmarken 2030, 2035 und 2040 anzugeben.

- In Netzen mit einer Länge von 20-50 km ist der maximal zulässige Anteil von Biomasse an der jährlich erzeugten Wärmemenge im Netz im Endzustand der Transformation auf 25 % begrenzt und bis spätestens 2045 zu erreichen.
- In Netzen mit einer Länge größer 50 km ist der maximal zulässige Anteil von Biomasse an der jährlich erzeugten Wärmemenge im Netz im Endzustand der Transformation auf 15 % begrenzt und auch bis spätestens 2045 zu erreichen.
- Untersuchung der Phase-out-Optionen für etwaige fossile gekoppelte und insbesondere ungekoppelte Wärmeerzeugung im Untersuchungsgebiet bis spätestens 2045
- Analyse der notwendigen Wärmenetzparameter (Temperatur, Druck, Volumenströme etc.) und Ermittlung der erforderlichen Maßnahmen zur Netzausgestaltung
- Erstellung eines Zeit- und Ressourcenplans für den Bau des Wärmenetzes und ggf. Durchführung der dafür notwendigen Planung
- kurze Beschreibung der Maßnahmen zur Bürgereinbindung (inkl. Planung), um mittels hoher Akzeptanz eine schnelle Realisierung des Vorhabens zu erreichen

Mindestanforderungen BEW – Fördermodul II

Gefördert wird der Neubau von Wärmenetzen, welche die nachfolgenden Voraussetzungen erfüllen:

- Anteil erneuerbarer Energien und Abwärme an der jährlichen eingespeisten Wärmemenge von mindestens 75 %
- Die Wärme, die durch Biomasse-Anlagen erzeugt wird, die vor Inkrafttreten dieser Richtlinie genehmigt wurden, kann als erneuerbare Energie angerechnet werden, wenn Brennstoffe nach der Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen (1. BImSchV) und ggf. bereits genehmigte andere Biomassen (gemäß Betriebsgenehmigung) eingesetzt werden, unabhängig von der Anlagengröße.
- Die Wärme, die durch Biomasse-Anlagen erzeugt wird, die nach Inkrafttreten dieser Richtlinie genehmigt wurden, kann nur dann als erneuerbare Energie angerechnet werden, wenn die Anforderungen an die eingesetzten Brennstoffe, die laut dieser Richtlinie für geförderte Anlagen gelten, erfüllt werden.
- In Netzen mit einer Länge von 20-50 km ist der Anteil Biomasse an der jährlich erzeugten Wärmemenge im Netz auf 35 % begrenzt. Dieser Biomasseanteil ist spätestens zum Ende des Bewilligungszeitraums einzuhalten. Die Wärme, die durch Biomasse-Anlagen erzeugt wird, wird auf den begrenzten Anteil Biomasse an der erzeugten Wärme angerechnet, unabhängig vom Zeitpunkt der Genehmigung der Anlage und dem Bezug von Förderung im Rahmen dieser Richtlinie. Wärme aus der

thermischen Nutzung des biogenen Anteils von Abfall (Siedlungsabfall, Klärschlamm, (ggf. weitere Produkte in dieser Kategorie; Näheres regelt ggf. ein Merkblatt der Bewilligungsbehörde) wird nicht auf den Biomasseanteil angerechnet.

- In Netzen mit einer Länge größer 50 km ist der Anteil Biomasse an der jährlich erzeugten Wärmemenge im Netz auf 25 % begrenzt. Die Ausführungen für Netze mit 20-50 km Länge gelten ebenso.
- Maximal 10 % der eingespeisten Wärmemenge aus gas- oder ölbefeuerten Anlagen, die nicht Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK-Anlagen) sind.
- Keine Einspeisung von Wärme aus kohlebefeuerten Anlagen.
- Anschluss von mehr als 16 Gebäuden oder mehr als 100 Wohneinheiten
- Maximal 95 °C Vorlauftemperatur. Ausgenommen von der Temperaturanforderung sind Fälle, in denen eine klimaschonende Wärmequelle auf hohem Temperaturniveau ganzjährig vorliegt und durch die Temperaturabsenkung keine wesentliche Erhöhung der Ausnutzung der Wärmequelle realisiert werden kann.