



**Zentrum für Energie, Bauen, Architektur
und Umwelt GmbH**

Wärmeversorgung Frederikspark

Hamburg, Oktober 2014

Auftraggeber

EGNO - Entwicklungsgesellschaft Norderstedt mbH

Rathausallee 64 - 66
22846 Norderstedt, Germany

Die Studie „Wärmeversorgung Frederikspark“ mit der Ermittlung von Gebäudeenergiebedarfen und einer Analyse verschiedener Wärmeversorgungsvarianten wurde von Mai bis September 2014 erarbeitet.

Auftragnehmer

ZEBAU - Zentrum für Energie, Bauen, Architektur und Umwelt GmbH

Große Elbstraße 146
22767 Hamburg
T: 040 – 380 384 0
F: 040 – 380 384 29
www.zebau.de
E-Mail: info@zebau.de

bearbeitet durch:
Anna Mucho, M.Sc.
Dipl.-Ing. Jens Gebhardt

arrhenius Institut für Energie- und Klimapolitik

arrhenius consult gmbh
Am Waldpark 18, 22589 Hamburg
info@arrhenius.de – www.arrhenius.de
040 – 3708 4420

info@arrhenius.de
www.arrhenius.de

bearbeitet durch:
Dr. Helmuth-M. Groscurth

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis 3

1 Einleitung 4

 1.1 Vorbemerkung 4

 1.2 Ausgangssituation 4

 1.3 Entwurf 5

 1.4 Aufgabenstellung 6

 1.5 Vorgehen 7

2 Energieeinsparungskonzept / Prognose des Energiebedarfs 8

 2.1 Optimierung der Gebäudeausrichtung und -kubatur 8

 2.1.1 Grundsätzliche Parameter 8

 2.1.2 Optimierung des städtebaulichen Entwurfes 9

 2.2 Prognose des Warmwasserbedarfs 13

 2.3 Definition von Gebäudestandards 14

 2.3.1 Ausgangsszenario „Neubaustandard 2014“ 15

 2.3.2 Szenario „verbesserter Neubaustandard 2017“ 18

 2.3.3 Szenario „Neubaustandard 2021“ (nearly zero energy buildings) 20

 2.4 Zwischenfazit 24

3 Varianten der Energieversorgung 26

 3.1 Voruntersuchung alternativer Wärmequellen 26

 3.1.1 Nutzung von Abwärme aus Abwasser 26

 3.1.2 Nutzung von Geothermie-Sonden im Erdreich 26

 3.2 Auswahl der zu betrachtenden Versorgungsvarianten 26

 3.3 Ergebnisse der Modellierung der betrachteten Versorgungsvarianten 28

 3.3.1 Ermittlung des Endenergiebedarfs für Raumwärme, Warmwasserbereitung und Hilfsenergie 28

 3.3.2 Ermittlung der CO₂-Emissionen 30

 3.4 Wirtschaftlichkeit der Versorgungsvarianten 32

4 Umsetzungsmöglichkeiten 42

 4.1 Empfehlungen zum weiteren Vorgehen 42

ANHÄNGE 43

 Abkürzungen und Glossar 43

 Referenzen 44

 Verzeichnis der Tabellen 44

 Verzeichnis der Abbildungen 45

1 Einleitung

1.1 Vorbemerkung

Die Minderung der CO₂-Emissionen aus der Wärmeversorgung von Gebäuden ist einer der wichtigsten Bausteine, um die ambitionierten Klimaschutzziele Deutschlands zu erreichen.

Auf welchem Weg diese Minderung erreicht werden kann und ob die dabei anfallenden Kosten verhältnismäßig sind, wird aber nach wie vor intensiv diskutiert.

Diese Kurzstudie leistet einen Beitrag zu dieser Debatte, indem sie die Kosten verbesserter Gebäudestandards mit den Kosten einer CO₂-armen Wärmeversorgung der Gebäude vergleicht. Es werden alle Kosten erfasst, die mit der Wärmeversorgung in Zusammenhang stehen: Investitionen in Energieanlagen, Kosten beim Betrieb dieser Anlagen und Mehrkosten für anspruchsvollere energetische Standards der Gebäude.

Ausgangspunkt der Studie ist dabei nicht die Frage, was notwendig ist, um die Klimaschutzziele für 2050, d.h. eine Minderung der Treibhausgasemissionen um mindestens 80%, zu erreichen. Vielmehr wird untersucht, welche Maßnahmen die geringsten CO₂-Vermeidungskosten aufweisen. Dabei besteht natürlich die Gefahr, dass es zu einem „Lock-in“ kommt, d.h. Gebäudestandards oder Versorgungsoptionen realisiert werden, die es erschweren oder sogar unmöglich machen, weitergehende Minderungsziele zu erreichen.

1.2 Ausgangssituation

Die Stadt Norderstedt ist seit 1995 Mitglied im Klima-Bündnis europäischer Städte und hat sich zu einer Minderung der gesamtstädtischen CO₂-Emissionen um 10 % alle 5 Jahre verpflichtet. Bis zum Jahr 2040 hat sie sich sogar das Ziel gesetzt, klimaneutral zu werden, d.h. es soll weniger CO₂ auf dem Stadtgebiet freigesetzt werden, als gleichzeitig gebunden werden kann.

Bei der Entwicklung neuer Baugebiete ist daher zu beachten, dass deren zukünftiger CO₂-Ausstoss möglichst gering gehalten wird – anzustreben ist sogar eine CO₂-freie Wärmeversorgung neuentstehender Gebäude. Im Bebauungsplanverfahren zum Gebiet B300 „Westlich Lawaetzstraße“ soll aus diesem Grund ein nachhaltiges Energiekonzept von Beginn an mitbetrachtet werden.

Das Gebiet befindet sich im Stadtteil Friedrichsgabe südlich der Quickborner Straße und westlich der Lawaetzstraße. Es ist damit Teil des in den kommenden Jahren neuentstehenden Quartiers Frederikspark, das auf 124 Hektar in den kommenden Jahren Raum für Unternehmen und Wohnnutzung bieten soll.

Das Plangebiet besitzt eine Größe von ca. 9 ha. Zurzeit werden die Flächen noch vorwiegend landwirtschaftlich genutzt. Eine Ausnahme bildet der Bereich an der Quickborner Straße. Hier ist bis zu einer Tiefe von ca. 40 m überwiegend Wohnbebauung vorhanden. Im westlichen Teil des Plangebietes befindet sich ein Grundstück, welches ursprünglich als Abgrabungsfläche genutzt wurde. Dieses Grundstück befindet sich heute zwischen 4,50 und 6,40 m tiefer als die angrenzenden Grundstücke. Dieses Grundstück wird zurzeit noch gewerblich genutzt.

Die Grundstücke im Plangebiet befinden sich sowohl zu Teilen in privatem Besitz, dies gilt insbesondere für den westlichen Bereich, als auch im Eigentum der Stadt Norderstedt bzw. der städtischen Entwicklungsgesellschaft EGNO.

Mit dem Bebauungsplan Nr. 300 sollen in dem Gebiet weitere Wohnbauflächen entwickelt werden. Laut dem Bebauungsplan-Entwurf werden folgende Planungsziele verfolgt:

- Entwicklung eines Wohnquartieres mit verschiedenen Bauformen
- Sicherung der vorhandenen Wohnbebauung entlang der Quickborner Straße
- Sicherung des erhaltenswerten Baumbestandes
- Entwicklung eines Grünzuges zwischen Lawaetzstraße und Dreibeckenweg
- Entwicklung einer Grün- und Wegeverbindung von der Quickborner Straße zum geplanten Grünzug
- Verfüllung der ehemaligen Abgrabungsfläche auf angrenzendes Geländeniveau.

(Quelle: Stadt Norderstedt, Begründung Bebauungsplan Nr. 300 Norderstedt "Westlich Lawaetzstraße", 2013).

1.3 Entwurf

Der Bearbeitung liegt ein städtebauliches Konzept zu Grunde, welches neben Einzel-Doppel- und Reihenhäusern insbesondere in dem zentralen Bereich auch eine Bebauung mit zwei- bis dreigeschossigen Mehrfamilienhäusern vorsieht. Insbesondere in diesem Bereich ist auch die Realisierung von sozialem Wohnungsbau vorgesehen.



Abbildung 1: Städtebaulicher Entwurf

Der Entwurf lässt sich in acht Baufelder gliedern. In den Baufeld 1 und Baufeld 6 sind zweigeschossige Einzel- und Doppelhäuser in offener Bauweise vorgesehen. Mit dem Bau-feld 7 ermöglicht der Bebauungsplan auf den Bestands-Grundstücken bauliche Erweiterungen sowie rückwärtige Bebauungen vorwiegend für Einfamilienhäuser. In den Baufeldern 4

und 5 ist eine Bebauung mit zweigeschossige Reihenhäusern vorgesehen. Die Baufelder 2 und 3 sehen zwei- bis dreigeschossige Mehrfamilienhäuser mit Tiefgaragen vor.

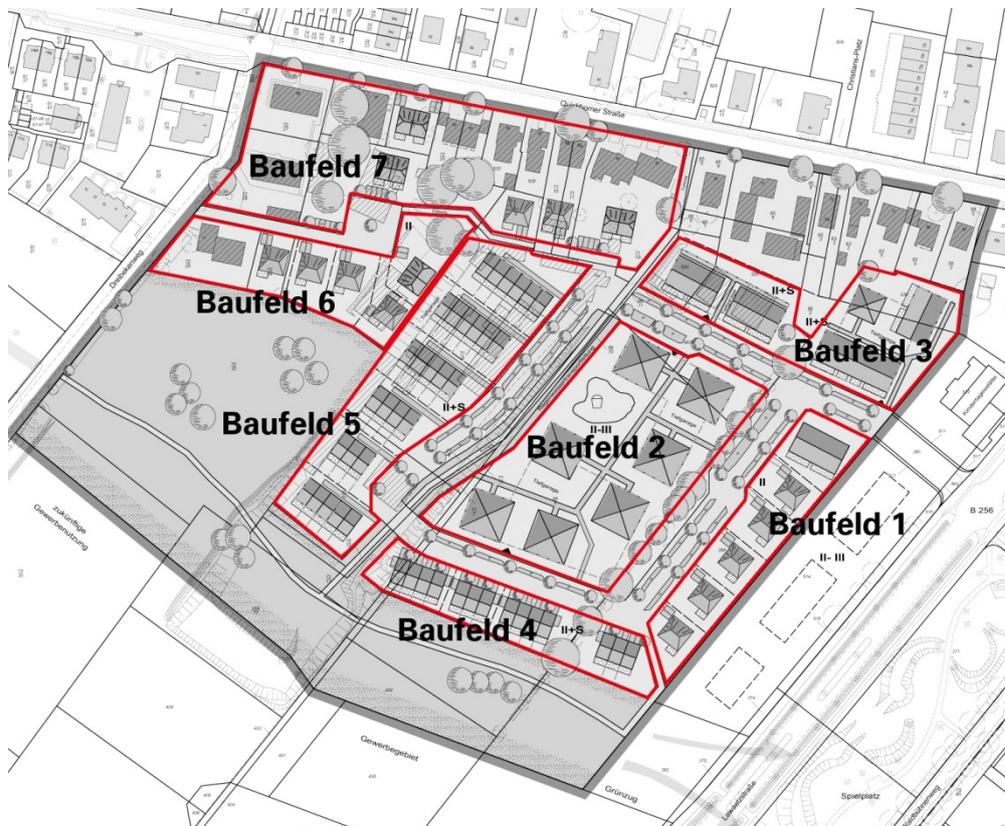


Abbildung 2: Übersicht Baufelder

Für die Bebauung im östlichen Bereich des Baufeldes 3 liegt bereits ein Architektorentwurf seitens eines Wohnungsbauunternehmens vor, der in die nachfolgenden Berechnungen und Annahmen hinsichtlich des Verbrauchs eingeflossen ist.

1.4 Aufgabenstellung

Auf Basis dieses Planungsstandes wurde die ZEBAU GmbH gemeinsam mit dem arhenius Institut für Energie- und Klimapolitik seitens der Entwicklungsgesellschaft Norderstedt mbH mit der Erstellung eines Konzeptes für eine Zukunft gerichtete Energieversorgung des Bebauungsplangebietes B 300 „Westlich Lawaetzstraße“ beauftragt.

Im Rahmen des Auftrags wird von der Arbeitsgemeinschaft ein Energiekonzept mit zwei Schwerpunkten erstellt:

1. Reduzierung des Wärmeenergiebedarfs durch Optimierung der thermischen Gebäudehüllen und die Nutzung passiver solarer Wärmeeinträge.
2. Effiziente und zukunftsgerichtete Energieversorgung einschließlich der Nutzung erneuerbarer Energieträger

Die angebotenen Beratungsleistungen umfassten daher eine Analyse des städtebaulichen Entwurfs hinsichtlich der Nutzung solarer Energie, eine Untersuchung unterschiedlicher Gebäudestandards bezogen auf den Bedarf an Wärme für Heizung und Warmwasser sowie

den dafür benötigten Hilfsstrom und eine darauf aufbauende Untersuchung möglicher Versorgungsvarianten mit unterschiedlichen Energieträgern.

Ziel ist eine Abwägung zwischen einer kostengünstigen Energieversorgung und einer möglichst CO₂-freien Energieversorgung, vor dem Hintergrund des Klimaschutzes und der städtischen Ziele.

1.5 Vorgehen

In einem ersten Schritt wurde der städtebauliche Entwurf hinsichtlich einer optimalen Gebäudeausrichtung und der möglichen passiven Nutzung solarer Gewinne bewertet und darauf aufbauend mögliche weitere Entwürfe skizziert, die eine optimale Ausnutzung der solaren Gewinne bzw. eine kompaktere Gebäudekubatur zulassen.

Zur Ermittlung des zukünftigen Energiebedarfs für Heizwärme, Warmwasserbereitung und Hilfsenergie wurden in Absprache mit dem Auftraggeber drei unterschiedliche Gebäudestandards definiert, die sich in ihren energetischen Anforderungen an die Gebäudehülle und die Anlagentechnik unterscheiden.

Die jeweiligen Energiebedarfe wurden mit Hilfe von unterschiedlichen Berechnungsmodellen und einer Energieberatersoftware ermittelt. Das Ergebnis dieser Berechnungen und Simulationen ist die prognostizierte Nutzenergie der Gebäude. D.h. die zu erwartenden Bedarfe beziehen sich auf die Energiemenge, die notwendig ist, um die Räume der Gebäude bzw. das Brauchwasser zu erwärmen. Außerdem wurden die anlagentechnischen Verluste und die Strommenge, die benötigt wird, um die Geräte z.B. Pumpen anzutreiben, ermittelt.

Da ein Ziel dieser Untersuchung die Darstellung der zukünftigen CO₂-Emissionen ist, spielt aber die Betrachtung der Endenergie und der Primärenergie eine wichtige Rolle. Diese beiden Energieformen sind wiederum abhängig von den gewählten Energieträgern.

Auf Basis der berechneten Nutzenergiebedarfe wurden aus diesem Grund Versorgungsmodelle (zentral und dezentral) mit unterschiedlichen Energieträgern hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit und ihrer CO₂-Emissionen untersucht. Hier kam ein eigens dafür entwickeltes Berechnungstool zum Einsatz, welches unter Einbeziehung zentraler Faktoren z.B. Verteilungsverlusten, Wirkungsgraden usw. den End- und den Primärenergiebedarf berechnet, auf dessen Basis sich wiederum Aussagen zu den zukünftigen CO₂-Emissionen treffen lassen.

Auf Grundlage dieser Berechnungen und Prognosen werden Schlussfolgerungen und Empfehlungen hinsichtlich einer effizienten und zukunftsgerichteten Energieversorgung für das Bebauungsplangebiet B 300 „Westlich Lawaetzstraße“ getroffen.

2 Energieeinsparungskonzept / Prognose des Energiebedarfs

In diesem Kapitel wird untersucht, wie sich der Energiebedarf des Bebauungsplangebietes voraussichtlich entwickeln wird. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass eine Bewertung des Gesamtgebiets und der Einzelgebäude zu diesem Planungsstand nur möglich ist, wenn der städtebauliche Entwurf interpretiert und Annahmen z.B. zu Grundrissen und Ausstattung der Gebäude getroffen werden. Auf welchen Annahmen die Berechnungen beruhen, wird jeweils an der entsprechenden Stelle dieses Kapitels erläutert.

Zur Berechnung des zukünftigen Nutzenergiebedarfs wurden unterschiedliche Einflussfaktoren betrachtet. Dazu zählen neben den Vorgaben des städtebaulichen Entwurfs hinsichtlich Gebäudeausrichtung und -kubatur auch die gegenseitige Verschattung der Gebäude bzw. Verschattung durch den Baumbestand sowie auch ihr energetischer Standard und der Warmwasserbedarf.

2.1 Optimierung der Gebäudeausrichtung und -kubatur

Die Gebäudeausrichtung hat ebenso wie die Gebäudekubatur Einfluss auf deren späteren Energiebedarf und auf die mögliche Nutzung der solaren Gewinne. Aus diesem Grund sind eine Untersuchung des städtebaulichen Entwurfs hinsichtlich einer optimalen Gebäudeausrichtung und eine Bewertung der Gebäudekubatur Teil des vorliegenden Berichts.

2.1.1 Grundsätzliche Parameter

Im Allgemeinen wird für eine optimale passive und aktive Nutzung von Solarenergie eine Südausrichtung der Gebäude empfohlen, d.h. die Hauptfassade (längste Gebäudeseite) sollte nach Süden orientiert sein, um hohe solare Erträge zu ermöglichen. Die passiven solaren Gewinne stellen während der Heizperiode wichtige Wärmeeinträge dar, die hauptsächlich über die Fenster in der Südfassade gewonnen werden. Ist es aufgrund städtebaulicher Gründe notwendig, von der Südorientierung abzuweichen, wird empfohlen, dass diese Abweichung weniger als 45° beträgt. Bei einer Abweichung in diesem Bereich bleiben die Verluste relativ gering (unter 5% Energieverbrauchssteigerung im Vergleich zur Südausrichtung). Bei einer Ost-West-Orientierung, also einer Abweichung von 90° , beträgt die Energieverbrauchssteigerung bereits ca. 20%.

Bei einer solchen Orientierung der Gebäude lassen sich durch bauliche Maßnahmen, z.B. großflächige Verglasung in der Ost- und Westfassade, Einbau hochwertiger Fenster usw., diese Verluste weitestgehend ausgleichen. Dies führt zwar zu Mehrkosten bei der Umsetzung, rechnerisch sind aber auch bei ungünstiger Orientierung anspruchsvolle energetische Gebäudestandards umsetzbar.

Von größerer Bedeutung ist aus diesem Grund die Vermeidung von Verschattung durch benachbarte Bebauung sowie vorhandener Baumbestand. Der aus fehlenden solaren Gewinnen entstehende zusätzliche Energiebedarf kann kaum kompensiert werden. Da sich eine gegenseitige Verschattung bei den heutigen Ansprüchen an die Stadtentwicklung aber nicht vermeiden lässt, sollte eine durchschnittliche Verschattung in einem Baugebiet von ca. 20% nicht überschritten werden.

Ein weiterer Faktor ist die Gebäudekubatur. Die Baukörper sollten über eine möglichst hohe Kompaktheit verfügen, die ein günstiges Verhältnis von Gebäudehülle zu umbauten Volumen zulässt. Diese Gebäudeformen verringern den Energiebedarf auf Grund geringerer

Wärmeverluste bezogen auf die Wohn- bzw. Nutzfläche [Vgl. Energie Agentur NRW, 2008; S.12 ff].

2.1.2 Optimierung des städtebaulichen Entwurfes

Der städtebauliche Entwurf sieht weitestgehend eine süd-west-orientierte Bebauung vor, die eine Abweichung von weniger als 45° gegenüber der strikten Südorientierung vorsieht. Die daraus resultierenden geringeren Erträge können vernachlässigt werden. Es besteht kein Optimierungsbedarf hinsichtlich der Gebäudeorientierung.

Ein weiterer wichtiger Faktor, der bereits in der Bauleitplanung die zukünftigen Energiebedarfe beeinflusst, ist die Gebäudekubatur. Sie lässt sich bewerten, indem die Flächen der Gebäudehülle in Relation zu dem umbauten Volumen gesetzt werden (A/V-Verhältnis). Dabei sollte ein Wert von $0,65 \text{ m}^2/\text{m}^3$ (Hüllfläche/Bruttovolumen) nicht überschritten werden.

In der folgenden Betrachtung wird davon ausgegangen, dass es sich um einfache Kubaturen handelt, also kaum Vorsprünge in der Fassade wie z.B. Erker und Gauben vorhanden sind. Sollte in der Umsetzung des Baugebietes eine höhere Differenziertheit der Fassaden, z.B. durch Vorsprünge realisiert werden, ist zu beachten, dass sich das errechnete A/V-Verhältnis und der unter Kapitel 3.3. ermittelte Energiebedarf entsprechend erhöht. Anhand eines Beispielgebäudes, wurde mit Hilfe einer Gebäudeenergieberater-Software eine Kurzstudie zu den Energiebedarfen bei unterschiedlichen Kubaturen erstellt. Die Ausgangsvariante stellt eine vereinfachte Gebäudekubatur dar, während in Variante 2 Gauben im Dachgeschoss angenommen wurden. In Variante 3 wurden zusätzlich noch Vorsprünge in der Fassade angenommen. Wie erwartet führen die Veränderungen der Kubatur zu erhöhten Nutzenergiebedarfen. Die Variante 2 benötigt im Vergleich zur Ausgangsvariante 15% mehr Nutzenergie. Der Mehrbedarf von Variante 3 beträgt 17% im Vergleich zur Ausgangsvariante (vgl. Abbildung 3).

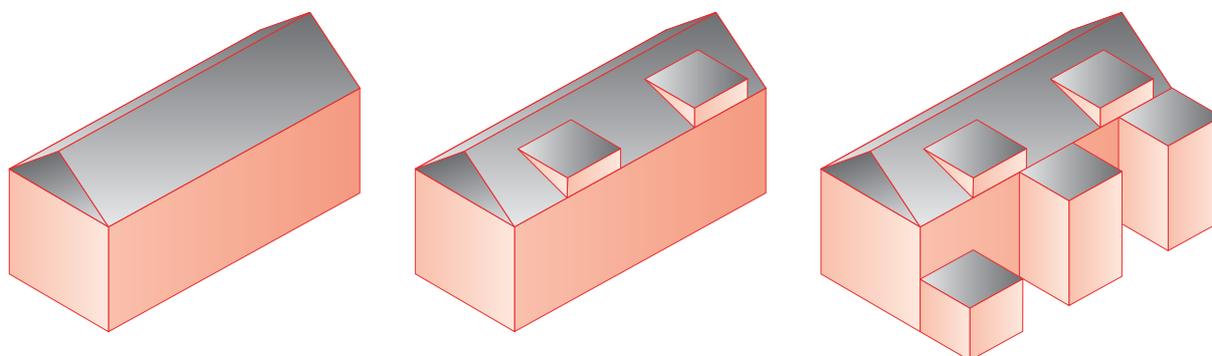


Abbildung 3: Unterschiedliche Gebäudekubaturen

Der städtebauliche Entwurf sieht bei den einfachen Kubaturen ein A/V-Verhältnis von $0,49 \text{ m}^2/\text{m}^3$ über alle Gebäude hinweg betrachtet vor. Dieses durchschnittliche A/V-Verhältnis kann als positiv bewertet werden.

Zur differenzierten Betrachtung des Planungsquartiers wurden die acht Baufelder hinsichtlich ihrer Verschattung und ihrer Gebäudekubatur untersucht.

Baufeld 1

Der städtebauliche Entwurf sieht für das Baufeld 1 vorrangig eine Bebauung mit Einfamilien- und Doppelhäusern sowie einem Mehrfamilienhaus im nördlichen Bereich vor. Der Abstand dieser Gebäude beträgt ca. 10 m. Bei Gebäudehöhen von 7 bis 8 m sind auch auf Grund der versetzten Gebäudeanordnung günstige solare Gewinne zu erwarten. Da auch durch den Baumbestand keine relevante Verschattung zu erwarten ist, gibt es für diese Bebauung keinen Optimierungsbedarf.

Auch hinsichtlich der Bebauungsdichte wird kein Optimierungsbedarf gesehen, da der schmale Zuschnitt des Baufeldes bereits optimal ausgenutzt wird.

Die laut Bebauungsplan vorgesehenen 22 Wohneinheiten werden in diesem Baufeld jedoch nicht erreicht.

Baufeld 2

Im zentralen Bereich des Planungsgebiets (Baufeld 2) ist laut dem städtebaulichen Entwurf eine Bebauung mit zwei- bis dreigeschossigen Mehrfamilienhäusern in Form von Stadtvillen geplant. Aufgrund der aufgelockerten Bebauung ist auch hier keine gegenseitige Verschattung, insbesondere in den Übergangszeiten (Frühjahr und Herbst), festzustellen. Straßenbegleitende Bestandsbäume mit Höhen von bis zu 17 m führen allerdings zu einer Verschattung insbesondere der Straßenfassaden der östlichen Bebauung.

Darüber hinaus verfügen die geplanten Stadtvillen mit einem A/V-Verhältnis von 0,48 m²/m³ über eine verbesserungsfähige Kubatur.

Aus diesem Grund wurden für dieses Baufeld noch einmal drei unterschiedliche Bauungen untersucht. Dazu zählen:

1. ein verdichteter Entwurf mit Stadtvillen,
2. ein Entwurf mit Blockrandbebauung und
3. ein Entwurf mit Mehrfamilienhäusern in Zeilenbebauung und optimaler Ausrichtung.

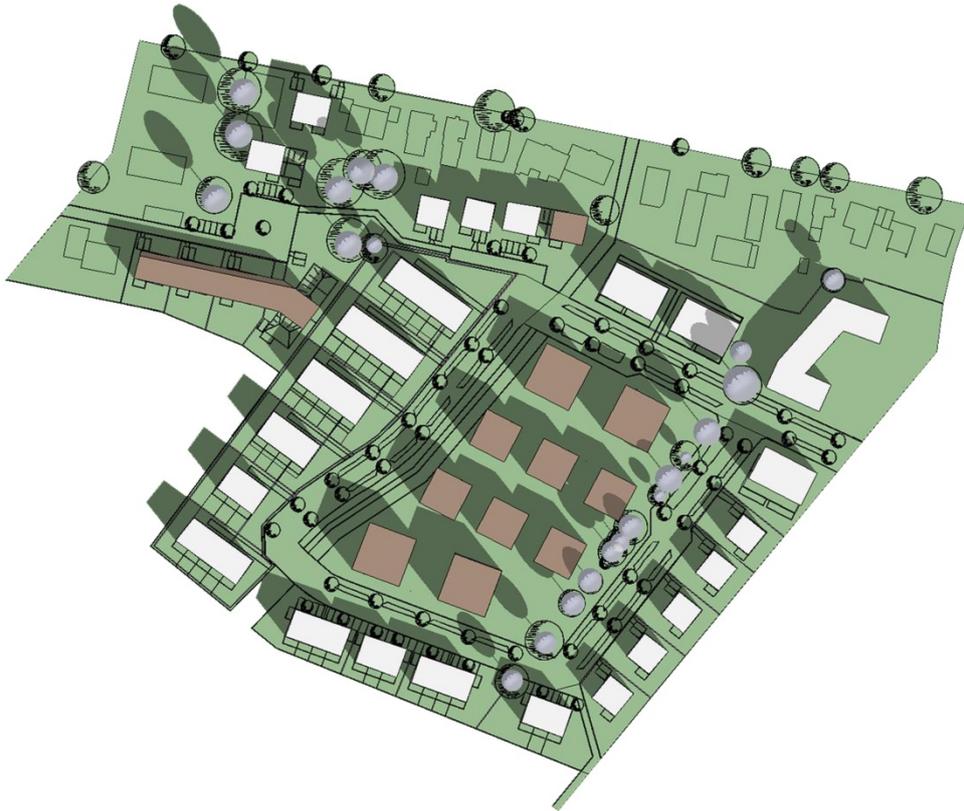


Abbildung 4: verdichteter Entwurf mit Stadt villen

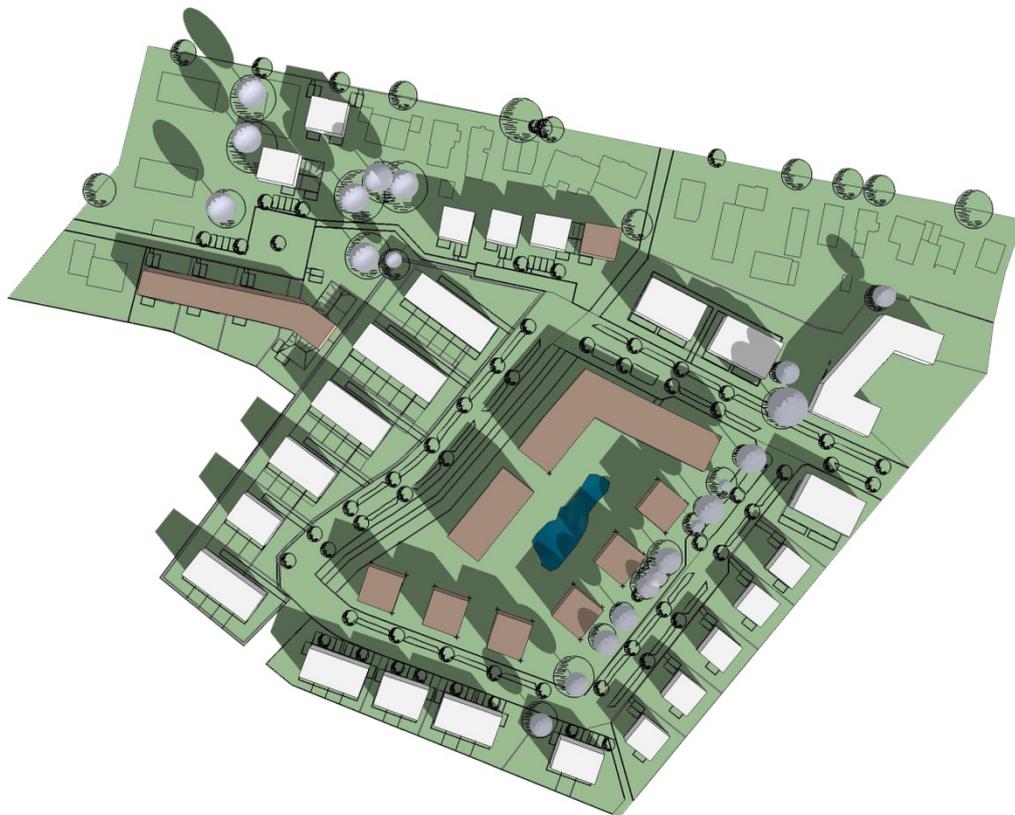


Abbildung 5: Entwurf mit Blockrandbebauung

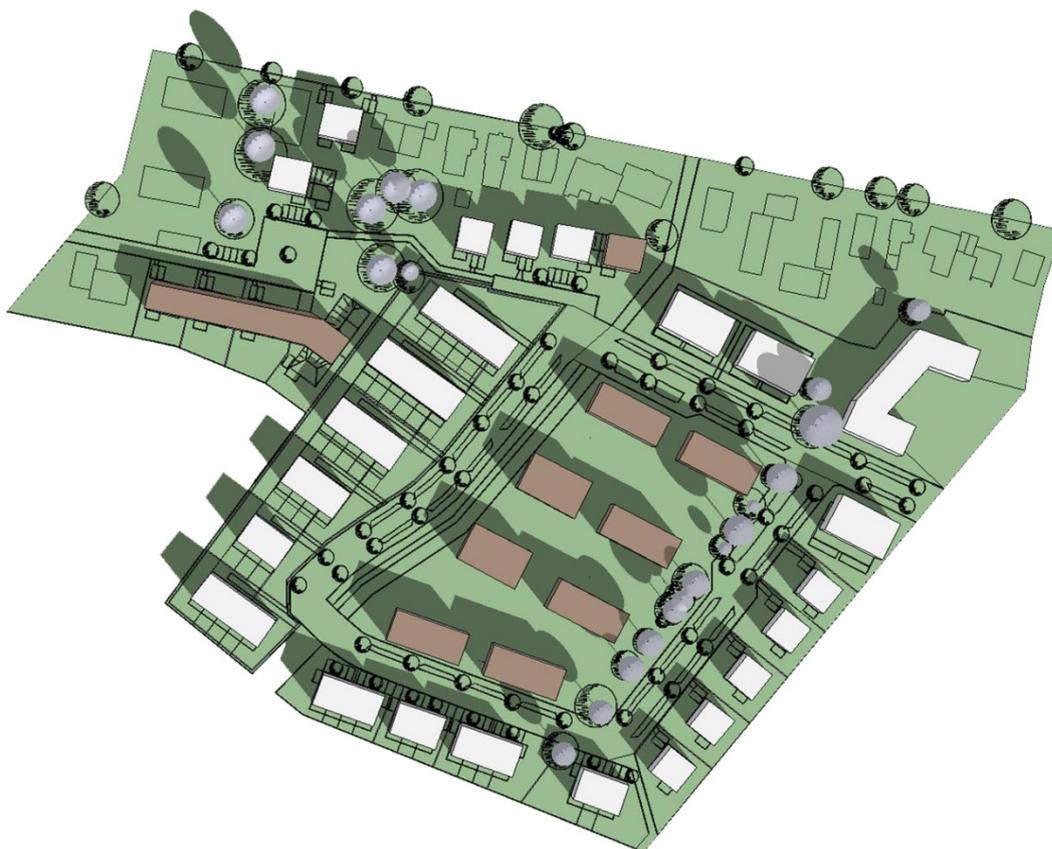


Abbildung 6: Entwurf mit Zeilenbebauung

Baufeld 3

Abweichend vom städtebaulichen Entwurf liegt für die östliche Bebauung des Baufelds 3 bereits ein architektonischer Entwurf seitens eines Wohnungsbaunternehmens vor. Dieser wird nicht weiter untersucht, sondern fließt in die Berechnungen zu dem Energiebedarf ein.

Die verbleibende vorgesehene Bebauung (straßenbegleitende Mehrfamilienhäuser) verfügen über eine gute solare Ausrichtung und nutzt auch das Baufeld optimal aus. Zwar liegt hier z.T. eine geringfügige Verschattung durch die Bestandsbäume vor, diese kann aber vernachlässigt werden.

Baufeld 4 und 5

Der städtebauliche Entwurf sieht für die Baufelder 4 und 5 Reihenhausbebauung vor. Während an das Baufeld 4 südlich ein Grünzug ohne nennenswerte Bepflanzung für die Verschattung angrenzt, begünstigt die versetzte Anordnung bei Baufeld 5 die solaren Gewinne.

Unter Berücksichtigung des Planungsziels, in dem Planungsgebiet unterschiedliche Bauformen zuzulassen, werden auch die Grundstücke mit der Reihenhausbebauung optimal ausgenutzt. Für diese Baufelder liegt kein Optimierungsbedarf vor.

Baufeld 6

Wie auch bei Baufeld 4 grenzt an das Baufeld 6 der Grünzug an. Auch hier ist keine Verschattung durch die vorgesehene Bepflanzung zu erwarten. Die Gebäude sind alle nach Süden orientiert und somit optimal für solare Einstrahlungsgewinne orientiert.

Da Einfamilienhäuser immer über ein ungünstiges A/V-Verhältnis verfügen, ist aus energetischer Sicht hier eine dichtere Bebauung, z.B. durch Reihenhäuserzeilen, zu empfehlen. Dadurch könnten auch 5 zusätzliche Wohneinheiten geschaffen werden.

Baufeld 7

In diesem Baufeld ermöglicht der Bebauungsplan auf den Bestands-Grundstücken bauliche Erweiterungen sowie rückwärtige Bebauungen vorwiegend für die Einfamilienhäuser.

2.2 Prognose des Warmwasserbedarfs

Neben dem Heizwärmebedarf hat auch der Warmwasserbedarf Einfluss auf den Energiebedarf von Gebäuden. Während der Heizwärmebedarf maßgeblich durch eine verbesserte Wärmedämmung und hochwärmedämmende Gebäudekomponenten wie z.B. Fenster und Türen beeinflusst werden kann, richtet sich der Warmwasserbedarf bei Wohngebäuden in erster Linie nach der Anzahl der Haushalte, die Anzahl der Bewohner und die Ausstattung der Wohnungen. Der Warmwasserbedarf ist somit unabhängig von dem energetischen Gebäudestandard.

Für die Anzahl der Bewohner wurden folgende Annahmen getroffen:

- Einfamilienhäuser: 4 Bewohner
- Doppelhäuser: 3 Bewohner
- Reihenhäuser: 3 Bewohner
- Stadtvillen: 2 bis 3 Bewohner
- Mehrfamilienhäuser (Zeilen): 2 bis 3 Bewohner

Die Bewohnerdichte beruht auf dem bundesdeutschen Durchschnitt von 35 m² Wohnfläche pro Person. Des Weiteren wurde davon ausgegangen, dass alle Einfamilien-, Doppel- und Reihenhäuser über ein Vollbad und Gäste-WC verfügen, während die Wohnungen in den Mehrfamilienhäusern nur über ein Vollbad verfügen. Der Warmwasserbedarf ist jedoch vorrangig von der Personenzahl abhängig.

Auf dieser Basis wurden mit Hilfe des Programms DHW-calc der Universität Kassel Zapfmengen ermittelt, die auf Basis einer durchschnittlichen Zapftemperatur in stündliche Energiemengenprofile umgerechnet wurden.

Die oben beschriebenen Daten wurden in das Berechnungsmodell eingepflegt und lieferten stundengenaue und gebäudespezifische Prognosen für den Nutzwärmebedarf Warmwasser. Für den städtebaulichen Entwurf mit 177 Wohneinheiten beläuft sich der Gesamtwärmebedarf für Warmwasser auf 477 MWh/a.

Zusätzlich wurde nach demselben Verfahren auch der Wärmebedarf für die drei Entwurfsskizzen berechnet. Die Berechnungen ergaben folgende Bedarfe:

Tabelle 1: Warmwasserbedarf der Szenarien

	Anzahl WE	Anzahl Bewohner	Warmwasserbedarf
Städtebaulicher Entwurf	194	541	427 MWh/a
Szenario 1 verd. Entwurf	232	581	459 MWh/a
Szenario 2 Blockrand	250	577	455 MWh/a
Szenario 3 Zeilen	246	569	449 MWh/a

Wie Tabelle 1 zu entnehmen ist, nehmen die Bedarfe proportional zu der Anzahl der Personen ab. Über alle Szenarien hinweg beträgt der Warmwasserbedarf ca. 789 kWh/a pro Person. Bezieht man den Warmwasserbedarf auf die Wohneinheiten zeigt die Tabelle 2 jedoch, dass Szenario 2 den geringsten Warmwasserbedarf pro Wohneinheit besitzt. Dies ist nicht nur auf die geringere Bewohnerzahl zurückzuführen, sondern auch auf einen höheren Anteil Wohnungen mit einer geringeren Ausstattung (z.B. ohne Gäste-WC).

Tabelle 2: Warmwasserbedarf pro Wohneinheit

	Anzahl WE	Warmwasserbedarf	Warmwasserbedarf / WE
Städtebaulicher Entwurf	194	427 MWh/a	2,20 MWh/a
Szenario 1 verd. Entwurf	232	459 MWh/a	1,98 MWh/a
Szenario 2 Blockrand	250	455 MWh/a	1,82 MWh/a
Szenario 3 Zeilen	246	449 MWh/a	1,83 MWh/a

Zusammenfassend lässt sich also sagen, dass sich der Warmwasserbedarf zwar durch die Ausstattung und Größe der Wohneinheiten beeinflussen lässt, dennoch über alle Szenarien hinweg relativ konstant ist.

2.3 Definition von Gebäudestandards

Während sich also der Warmwasserbedarf nur bedingt beeinflussen lässt, kann der Heizwärmebedarf durch unterschiedliche Gebäudeenergiestandards stark reduziert werden. Der Heizwärmebedarf resultiert aus der Leistung, die benötigt wird, um eine Gebäude zu beheizen, und der Zeit in der geheizt werden muss. Eine verbesserte Gebäudehülle trägt zum einen dazu bei, die Wärmeverluste zu verringern, so dass eine geringere Leistung notwendig ist und zum anderen, verkürzt sie die Zeit in der geheizt werden muss. Insbesondere in den Übergangsmonaten im Frühjahr und Herbst hat der Gebäudestandard somit Einfluss auf den Heizwärmebedarf.

Um diesen Einfluss für das Planungsgebiet zu untersuchen, wurden als Grundlage für die Energiebedarfsprognose, zunächst in Absprache mit dem Auftraggeber, drei unterschiedliche Gebäudestandards definiert. Die Gebäudestandards unterscheiden sich in erster Linie in

ihren Transmissionswärmeverlust. Unter dem Transmissionswärmeverlust versteht man die auf Temperaturunterschiede zurückzuführende Wärmeabgabe eines Gebäudes an die Umgebung. Die unterschiedlichen Anforderungen an den Transmissionswärmeverlust haben auch Konsequenzen für anlagentechnische Ausstattung der Gebäude.

Der Untersuchung liegen folgende Standards zu Grunde:

Als Ausgangsszenario wurde der heute gültige Neubaustandard nach EnEV₂₀₁₄ festgelegt. Aufbauend darauf wurde als nächst besserer Standard eine Reduzierung des Transmissionswärmeverlustes um 30%, im Folgenden verbesserter Neubaustandard 2017 genannt, gewählt. Als anspruchsvollster energetischer Standard wurde der Passivhausstandard, im Folgenden Neubaustandard 2021 genannt, angesetzt.

Zur Berechnung des Heizwärmebedarfs wurden die Gebäude unter Berücksichtigung unterschiedlicher Faktoren wie z.B. Unterkellerung bzw. Tiefgaragen, Gebäudeausrichtung, geografische Lage usw. in die Energieberater-Software eingepflegt. Für alle Gebäude wurde dabei ein Anteil der Fensterflächen in der Fassade von durchschnittlich ca. 25% angenommen. So wurden mittels der Software die zu erwartenden monatlichen Energiebedarfe gebäudespezifisch und unter Berücksichtigung der lokalen meteorologischen Daten ermittelt.

Mit Hilfe eines Berechnungsmodells wurden diese Monatswerte unter Einbeziehung der meteorologischen Daten eines Testreferenzjahres (TRY) des Deutschen Wetterdienstes für Norderstedt in Stundenwerte umgerechnet.

Da die unterschiedlichen Gebäudestandards auch ein unterschiedliches Maß an technischer Gebäudeausstattung, z.B. eine kontrollierte Be- und Entlüftungsanlage, voraussetzen, wurde pro Variante auch der Bedarf an Hilfsstrom mit der Energieberater-Software ermittelt. Die Monatswerte wurden dann mit Hilfe eines Berechnungsmodells in Abhängigkeit von den Laufzeiten der Geräte ebenfalls in Stundenwerte umgewandelt.

2.3.1 Ausgangsszenario „Neubaustandard 2014“

Der hier definierte „Neubaustandard 2014“ entspricht dem jeweiligen Referenzgebäude nach EnEV₂₀₁₄. Auch bei der Betrachtung des Heizwärmebedarfs wurden die vier unterschiedlichen Szenarien betrachtet. Wie Tabelle 3 zeigt, beträgt der theoretische jährliche „Netto“-Heizwärmebedarf, ohne Berücksichtigung der solaren Gewinne, für die betrachteten Szenarien zwischen 1.770 und 2.012 MWh/a. Zuzüglich der solaren Gewinne, die durch die Sonneneinstrahlung durch die Fensterflächen zur Erwärmung der Gebäude beitragen, ergibt sich insgesamt ein Heizwärmebedarf von 1.126 bis 1.032 MWh/a. Dieser Heizwärmebedarf bildet die Grundlage für die weiteren Berechnungen.

Den niedrigsten Heizwärmebedarf hat das Ausgangsszenario, also der städtebauliche Entwurf, den höchsten das Szenario 2 (verdichteter Entwurf). Das Szenario 3 (Zeilen) verfügt zwar über einen höheren Heizwärmebedarf ohne solare Gewinne als das Szenario 2, aufgrund der optimalen solaren Ausrichtung ist der Heizwärmebedarf dennoch geringer. Mit einem Anteil der solaren Gewinne von 44,4 % vom Heizwärmebedarf verfügt dieses Szenario über die höchsten solaren Gewinne der untersuchten Szenarien.

Tabelle 3: Jährlicher Heizwärmebedarf der betrachteten Szenarien

	Heizwärmebedarf ohne solare Gewinne	Solare Gewinne	Anteil Solare Gewinne	Heizwärmebedarf
Städtebaulicher Entwurf	1.770 MWh/a	738 MWh/a	41,7 %	1.032 MWh/a
Szenario 1 verd. Entwurf	1.967 MWh/a	841 MWh/a	42,7 %	1.126 MWh/a
Szenario 2 Blockrand	2.012 MWh/a	890 MWh/a	44,3 %	1.122 MWh/a
Szenario 3 Zeilen	1.998 MWh/a	887 MWh/a	44,4 %	1.111 MWh/a

Bezieht man die für Warmwasser und Heizung benötigte Nutzenergie auf die Quadratmeter der Nutzfläche der Gebäude, wie in Tabelle 4 dargestellt, zeigt sich, dass Szenario 3 mit 50,2 kWh/(m²a) den geringsten Heizwärmebedarf pro m² Nutzfläche aufweist. Mit 62,5 kWh/(m²a) ist der Heizwärmebedarf pro m² Nutzfläche des Szenario 1 (verdichteter Entwurf) am höchsten.

Tabelle 4: Jährlicher Heizwärmebedarf pro m² Nutzfläche

	Heizwärmebedarf	m ² Nutzfläche	Heizwärmebedarf / m ²
Städtebaulicher Entwurf	1.032 MWh/a	19.551 m ²	52,8 kWh/(m ² a)
Szenario 1 verd. Entwurf	1.126 MWh/a	18.032 m ²	62,5 kWh/(m ² a)
Szenario 2 Blockrand	1.122 MWh/a	18.813 m ²	59,6 kWh/(m ² a)
Szenario 3 Zeilen	1.111 MWh/a	22.122 m ²	50,2 kWh/(m ² a)

Für den Betrieb der Anlagen sowohl der Warmwasserbereitung als auch der Heizungsanlage wird Strom benötigt, der sich ebenfalls auf die CO₂-Bilanz der Gebäude auswirkt. In dem Ausgangsszenario sind folgende technische Anlagen als Stromverbraucher berücksichtigt worden: Eine Standard-Kesselanlage zur Wärmeerzeugung und -speicherung, Pumpen zur Verteilung von Heizwärme und Warmwasser, Pumpen der Solarthermieanlagen gemäß EnEV-Referenzgebäude und Lüftungsanlagen.

Insgesamt fallen für den Hilfsstrom je nach betrachtetem Szenario zwischen 16,33 und 17,80 MWh/a an. Wie Tabelle 5 zeigt fallen der geringste Hilfsstrombedarf auf das Szenario 2 und der höchste Hilfsstrombedarf auf das verdichtete Szenario 1. Dies ist insbesondere darauf zurückzuführen, dass je mehr Heizenergie benötigt wird auch die Hilfsenergie für die Verteilung dieser steigt. Darüber hinaus fließen noch weitere Faktoren in den Hilfsstrombedarf mit ein, wie z.B. die Leitungslängen und zu überwindende Höhenunterschiede. Es haben also auch die Gebäudekubatur und die Geschoszahl Einfluss auf den Hilfsstrombedarf.

Tabelle 5: Jährlicher Hilfsstrombedarf für den Betrieb der Anlagen

	Benötigter Hilfsstrom
Städtebaulicher Entwurf	17.34 MWh/a
Szenario 1 verd. Entwurf	17.80 MWh/a
Szenario 2 Blockrand	16.26 MWh/a
Szenario 3 Zeilen	16.33 MWh/a

In Tabelle 6 sind noch einmal die Nutzenergiebedarfe der unterschiedlichen Szenarios gegenübergestellt.

Tabelle 6: Übersicht der jährlichen Nutzenergiebedarfe

	Warmwasserbedarf	Heiz- wärmebedarf	Benötigter Hilfs- strom
Städtebaulicher Entwurf	427 MWh/a	1.032 MWh/a	17.34 MWh/a
Szenario 1 verd. Entwurf	459 MWh/a	1.126 MWh/a	17.80 MWh/a
Szenario 2 Blockrand	455 MWh/a	1.122 MWh/a	16.26 MWh/a
Szenario 3 Zeilen	449 MWh/a	1.111 MWh/a	16.33 MWh/a

Auf Basis von statistischen Kennwerten des Baukosteninformationszentrum (BKI) wurden insgesamt Investitionskosten in Höhe zwischen 27,52 M (Millionen) Euro (netto) und 30,37 M Euro netto angenommen. Dabei resultieren die Investitionssummen insbesondere aufgrund von unterschiedlichen Baukosten je nach Gebäudetyp. Betrachtet man die Baukosten pro m² Nutzfläche fällt auf, dass Szenario 3 die geringsten Baukosten aufweist, während für Szenario 1 die höchsten Baukosten pro m² Nutzfläche aufgebracht werden müssen.

Tabelle 7: Baukosten pro m² Nutzfläche

	Baukosten	m ² Nutzfläche	Kosten / m ² Nutzfläche
Städtebaulicher Entwurf	27,93 M €	19.551 m ²	1.428,57 € / m ²
Szenario 1 verd. Entwurf	30,37 M €	18.032 m ²	1.684,23 € / m ²
Szenario 2 Blockrand	29,52 M €	18.813 m ²	1.569,13 € / m ²
Szenario 3 Zeilen	27,52 M €	22.122 m ²	1.244,01 € / m ²

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Szenario 3 aufgrund der optimalen Gebäudeausrichtung den niedrigsten Heizwärmebedarf aufweist und in Zusammenspiel mit der günstigen Gebäudekubatur auch zu den geringsten Hilfsenergiebedarfen führt. Bei den Baukosten sticht Szenario 3 wieder positiv hervor. Hier ist aufgrund der einfachen Gebäudekubaturen mit geringen Investitionen pro Quadratmeter Nutzfläche zu rechnen.

2.3.2 Szenario „verbesserter Neubaustandard 2017“

Der verbesserte Neubaustandard definiert sich ebenfalls auf Basis des heutigen Neubaustandards EnEV₂₀₁₄ abzüglich 30% des Transmissionswärmeverlustes. Dies lässt sich z.B. durch die Vermeidung von Wärmebrücken, eine verbesserte Dämmung oder bessere Fenster erreichen. Bei den Berechnungen zu diesem Energiestandard wurde angenommen, dass die Wohngebäude die Grenzwerte auch dann erreichen, wenn sie nicht mit einer Lüftungsanlage ausgestattet werden sondern lediglich über Abluftanlagen verfügen.

Die verbesserte Gebäudehülle sorgt für einen geringeren Heizwärmebedarf. Unter dieser Annahme beläuft sich der Heizwärmebedarf ohne solare Gewinne je nach Szenario auf eine Summe zwischen 1.391 MWh/a und 1.584 MWh/a, abzüglich der solaren Gewinne ergibt sich ein Heizwärmebedarf von 759 MWh/a bis 826 MWh/a. Im Vergleich zu dem Gebäudestandard EnEV₂₀₁₄ verringert sich der Heizwärmebedarf wie zu erwarten bei allen Szenarien.

Auch hier ist auf Grund der optimierten Gebäudeausrichtung das Szenario 3, das Szenario mit dem geringsten Heizwärmebedarf ohne solare Gewinne.

Tabelle 8: Jährlicher Heizwärmebedarf der betrachteten Szenarien im verbesserten Neubaustandard

	Heizwärmebedarf ohne solare Gewinne	Solare Gewinne	Anteil Solare Gewinne	Heizwärmebedarf
Städtebaulicher Entwurf	1.391 MWh/a	632 MWh/a	45,5 %	759 MWh/a
Szenario 1 verd. Entwurf	1.547 MWh/a	721 MWh/a	46,6 %	826 MWh/a
Szenario 2 Blockrand	1.584 MWh/a	763 MWh/a	48,2 %	821 MWh/a
Szenario 3 Zeilen	1.572 MWh/a	763 MWh/a	48,4 %	812 MWh/a

Im Vergleich zum Neubaustandard verändert sich der Heizwärmebedarf also um ca. 27 % (s. Tabelle 9).

Tabelle 9: Jährlicher Heizwärmebedarf der betrachteten Szenarien im Vergleich zum Neubaustandard 2014

	Heiz- wärmebedarf 2014	Heiz- wärmebedarf verbessert	Verbesserung im Vergleich
Städtebaulicher Entwurf	1.032 MWh/a	759 MWh/a	26,5 %
Szenario 1 verd. Entwurf	1.126 MWh/a	826 MWh/a	26,7 %
Szenario 2 Blockrand	1.122 MWh/a	821 MWh/a	26,8 %
Szenario 3 Zeilen	1.111 MWh/a	812 MWh/a	26,9 %

Bezieht man auch für diesen Gebäudestandard die errechneten Heizwärmebedarfe auf die jeweilige Nutzfläche der Szenarien ergeben sich im Vergleich zum Neubaustandard 2014 deutlich verringerte Heizwärmebedarfe pro Quadratmeter Nutzfläche.

Auch hier ist das Szenario 3 mit 36,7 kWh/(m²a) das Szenario mit dem geringsten Heizwärmebedarf.

Tabelle 10: Jährlicher Heizwärmebedarf pro m² Nutzfläche bei Neubaustandard 2017

	Heizwärmebedarf ohne solare Gewinne	m ² Nutzfläche	Heizwärmebedarf / m ²
Städtebaulicher Entwurf	758.673 kWh/a	19.551 m ²	38,8 kWh/(m ² a)
Szenario 1 verd. Entwurf	826.035 kWh/a	18.032 m ²	46,6 kWh/(m ² a)
Szenario 2 Blockrand	820.737 kWh/a	18.813 m ²	43,6 kWh/(m ² a)
Szenario 3 Zeilen	811.751 kWh/a	22.122 m ²	36,7 kWh/(m ² a)

Auch für diesen Gebäudestandard wurde der benötigte Hilfsstrom ermittelt. Wie Tabelle 11 zeigt verringert sich auch der Hilfsstrombedarf bei Verbesserung der Gebäudehülle. Dies ist insbesondere darauf zurückzuführen, dass sich die Heizperiode verkürzt und aus diesem Grund auch die Einzelelemente der Heizanlage, wie z.B. die Pumpen wesentlich geringere Laufzeiten haben.

Tabelle 11: Jährlicher Hilfsstrombedarf für den Betrieb der Anlagen

	Benötigter Hilfsstrom 2014	Benötigter Hilfsstrom verbessert	Verbesserung im Vergleich
Städtebaulicher Entwurf	17.34 MWh/a	13,70 MWh/a	21,0 %
Szenario 1 verd. Entwurf	17.80 MWh/a	14,15 MWh/a	20,5 %
Szenario 2 Blockrand	16.26 MWh/a	13,25 MWh/a	18,5 %
Szenario 3 Zeilen	16.33 MWh/a	14,34 MWh/a	12,2 %

Tabelle 11 zeigt, dass sich der Hilfsstrom nicht proportional zu der Heizenergieeinsparung entwickelt. Dies ist u. a. auf die bereits unter Kapitel 2.3.1. beschriebenen Gründe zurückzuführen.

Eine Verringerung des Transmissionswärmeverlustes ist in erster Linie durch eine verbesserte Gebäudedämmung und den Einsatz von Wärmeschutz optimierten Bauteilen zu gewährleisten. Aus diesem Grund erhöhen sich die Baukosten laut BKI, wie Tabelle 12 zeigt, szenarioübergreifend um ca. 5 %. Da eine prozentuale Preissteigerung angenommen wurde, sind auch bei dem verbesserten Gebäudestandard, die Investitionskosten für das Szenario 3 am geringsten.

Tabelle 12: Baukosten pro m² Nutzfläche

	Baukosten	m ² Nutzfläche	Kosten / m ² Nutzfläche
Städtebaulicher Entwurf	29,32 M €	19.551 m ²	1.499,67 € / m ²
Szenario 1 verd. Entwurf	31,84 M €	18.032 m ²	1.765,75 € / m ²
Szenario 2 Blockrand	30,88 M €	18.813 m ²	1.641,42 € / m ²
Szenario 3 Zeilen	28,84 M €	22.122 m ²	1.303,68 € / m ²

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich sowohl der Heizwärmebedarf als auch der Hilfsenergiebedarf Szenario übergreifend verringert. Während die Einsparungen beim Heizwärmebedarf, auch auf Grund der Annahmen, konstant bei ca. 27 % liegen, bewegen sich die Einsparungen bei der Hilfsenergie zwischen ca. 12 % und 21 %. Auch in diesem Standard verfügt das Szenario 3 über den niedrigsten Heizwärmebedarf pro m² Nutzfläche und die höchsten solaren Gewinnen.

2.3.3 Szenario „Neubaustandard 2021“ (nearly zero energy buildings)

Die Europäische Union hat sich zum Ziel gesetzt, dass ab dem Jahr 2021 nur noch sogenannte „nearly zero energy buildings“ gebaut werden. Dieser Standard ist zurzeit nicht eindeutig definiert. Ein definierter Standard, der in Zukunft als Grundlage dienen könnte, ist der Passivhaus-Standard. Dieser seitens des Passivhaus Instituts Darmstadt definierte Standard bezieht sich, im Gegensatz zu den beiden vorherigen Gebäudestandards, nicht auf das

EnEV-Referenzgebäude sondern verfügt über vordefinierte Kennzahlen. So muss der Jahresheizwärmebedarf unter 15 kWh/(m²a) liegen, der sich im Wesentlichen aus dem Transmissionswärmeverlust und einer Gebäude-Luftdichtheit von max. 0,6 l/h (n₅₀-Wert) ergibt. Für dieses Szenario wurden die einzelnen Gebäudetypen nicht neu berechnet, sondern es wurde angenommen, dass die definierten Grenzwerte eingehalten werden. Für die Ermittlung der Monatswerte wurden die jeweils ermittelten Jahresheizwärmebedarfe (kWh/a) auf die Heizkurven von vergleichbaren, bereits gebauten Passivhäusern übertragen.

Diese beschriebenen Grenzwerte lassen sich nur erreichen, wenn auch die Gebäudetechnik auf die Anforderungen abgestimmt wird. So wird bei den Berechnungen in diesem Bericht davon ausgegangen, dass die Gebäude – anders als in den vorhergegangenen Berechnungen – über eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung verfügen.

Erwartungsgemäß ist der Heizwärmebedarf bei einer Umsetzung aller Gebäude im Passivhausstandard relativ gering. Der Heizwärmebedarf ohne solare Gewinne beträgt je nach Szenario zwischen 892 MWh/a und 1.039 MWh/a.

Auch in diesem Szenario nehmen die solaren Gewinne ab. Insgesamt betragen sie in diesem Szenario „nur noch“ zwischen 554 MWh/a und 644 MWh/a, obwohl sie eine wichtige Wärmequelle für diese Gebäude darstellen. Dies ist in der Summe deutlich geringer, als bei den anderen Gebäudestandards. Es ist aber darauf zurück zu führen, dass solare Gewinne nur als solche bezeichnet werden, wenn zum Zeitpunkt des Wärmeeintritts auch ein Heizwärmebedarf vorliegt. Aufgrund der stark verbesserten Gebäudehülle verkürzt sich diese Zeit und somit reduzieren sich auch die solaren Gewinne.

Abzüglich der solaren Gewinne beträgt somit der jährliche Heizwärmebedarf zwischen 395 MWh/(m²a) und 338 MWh/(m²a).

Tabelle 13: Jährlicher Heizwärmebedarf der betrachteten Szenarien im verbesserten Neubaustandard

	Heizwärmebedarf ohne solare Gewinne	Solare Gewinne	Anteil Solare Gewinne*	Heizwärmebedarf
Städtebaulicher Entwurf	892 MWh/a	554 MWh/a	62,0 %	338 MWh/a
Szenario 1 verd. Entwurf	1.008 MWh/a	625 MWh/a	62,0 %	383 MWh/a
Szenario 2 Blockrand	1.039 MWh/a	644 MWh/a	62,0 %	395 MWh/a
Szenario 3 Zeilen	1.012 MWh/a	628 MWh/a	62,0 %	384 MWh/a

*Die prozentualen Anteile der Solaren Gewinne sind für diesen Gebäudestandard aufgrund der tabellarischen Ermittlung über alle Szenarien konstant. Diese Abweichung gegenüber den beiden vorherigen Standards kann jedoch, bei den hier deutlich geringeren Absolut-Werten, vernachlässigt werden.

Bezieht man auch diese Heizwärmebedarfe ohne solare Gewinne auf die Nutzfläche, kommt man zu dem Ergebnis, dass das Szenario 3 „Zeilen“ auch im Passivhausstandard mit 17,4 kWh/(m²a) den geringsten Heizwärmebedarf pro Quadratmeter Nutzfläche aufweist und sich gleichzeitig von den anderen Szenarien abhebt, die alle Heizwärmebedarfe von etwa 21 kWh/(m²a) aufweisen.

Tabelle 14: Jährlicher Heizwärmebedarf pro m² Nutzfläche

	Heizwärmebedarf	m ² Nutzfläche	Heizwärmebedarf / m ²
Städtebaulicher Entwurf	338 MWh/a	19.551 m ²	21,3 kWh/(m ² a)
Szenario 1 verd. Entwurf	383 MWh/a	18.032 m ²	21,3 kWh/(m ² a)
Szenario 2 Blockrand	395 MWh/a	18.813 m ²	21,0 kWh/(m ² a)
Szenario 3 Zeilen	384 MWh/a	22.122 m ²	17,4 kWh/(m ² a)

Verbesserung der Gebäudehülle auf Passivhausniveau führt in diesem Szenario übergreifend zu Einsparungen beim Heizwärmebedarf von ca. 66% im Vergleich zu dem Neubaustandard EnEV₂₀₁₄.

Tabelle 15: Jährlicher Heizwärmebedarf der betrachteten Szenarien im Vergleich zum Neubaustandard 2014

	Heizwärmebedarf 2014	Heizwärmebedarf Passivhaus	Verbesserung im Vergleich
Städtebaulicher Entwurf	1.032 MWh/a	338 MWh/a	66,0 %
Szenario 1 verd. Entwurf	1.126 MWh/a	383 MWh/a	66,0 %
Szenario 2 Blockrand	1.122 MWh/a	395 MWh/a	64,8 %
Szenario 3 Zeilen	1.111 MWh/a	384 MWh/a	65,4 %

Auch für den Passivhausstandard wurde der benötigte Hilfsstrombedarf ermittelt. Wie bereits eingangs erwähnt, erfordert dieser Standard einen höheren Technisierungsgrad als die voran berechneten Standards. Insbesondere die Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung, die Wärmeverluste durch Fensterlüftung vermeidet, sorgt für einen höheren Hilfsstrombedarf bei den untersuchten Szenarios.

Tabelle 16: Jährlicher Hilfsstrombedarf für den Betrieb der Anlagen

	Benötigter Hilfsstrom
Städtebaulicher Entwurf	68,97 MWh/a
Szenario 1 verd. Entwurf	78,75 MWh/a
Szenario 2 Blockrand	80,57 MWh/a
Szenario 3 Zeilen	78,49 MWh/a

Im Vergleich zu den zuvor untersuchten Standards erhöht sich der Hilfsstrombedarf also um ein Vielfaches. Szenario übergreifend ist er vier- bis fünfmal so hoch wie der Hilfsstrombedarf für den Neubaustandard 2014. Im Vergleich zu dem verbesserten Neubaustandard erhöht er sich sogar um das fünf- bis sechsfache. In Anbetracht der deutlich geringeren Heizwärmebedarfe bringen diese Gebäudevarianten jedoch immernoch den geringsten Gesamtenergiebedarf. Zudem lässt sich der mit der Anlagentechnik verbundene Hilfsstrombedarf durch den Einsatz energieeffizienter Geräte deutlich senken. Der Einsatz dieser Technologie wurde jedoch bei der Berechnung nicht berücksichtigt.

Tabelle 17: Jährlicher Hilfsstrombedarf für den Betrieb der Anlagen im Vergleich zum Neubaustandard 2014

	Benötigter Hilfsstrom 2014	Benötigter Hilfsstrom verbessert	Benötigter Hilfs- strom Passivhaus
Städtebaulicher Entwurf	17,34 MWh/a	13,70 MWh/a	68,97 MWh/a
Szenario 1 verd. Entwurf	17,80 MWh/a	14,15 MWh/a	78,75 MWh/a
Szenario 2 Blockrand	16,26 MWh/a	13,25 MWh/a	80,57 MWh/a
Szenario 3 Zeilen	16,33 MWh/a	14,34 MWh/a	78,49 MWh/a

Der erhöhte Technisierungsgrad hat nicht nur Auswirkungen auf den Hilfsstrombedarf sondern auch auf die Baukosten. Wie Tabelle 18 zeigt ist auch bei diesem Standard noch einmal von höheren Baukosten auszugehen. Laut BKI beträgt auch in diesem Fall die Baukostensteigerung ca. 3%.

Tabelle 18: Baukosten pro m² Nutzfläche

	Baukosten	m ² Nutzfläche	Kosten / m ² Nutzfläche
Städtebaulicher Entwurf	30,15 M €	19.551 m ²	1.542,12 € / m ²
Szenario 1 verd. Entwurf	32,72 M €	18.032 m ²	1.814,55 € / m ²
Szenario 2 Blockrand	31,75 M €	18.813 m ²	1.687,66 € / m ²
Szenario 3 Zeilen	29,67 M €	22.122 m ²	1.341,20 € / m ²

Durch den Passivhausstandard lässt sich zwar der Bedarf an Heizenergie deutlich verringern, der Bedarf an der benötigten Hilfsenergie steigt aber aufgrund der erforderlichen Gebäudetechnik signifikant an. Dies lässt sich jedoch in Kombination mit einer effizienten Anlagentechnik wieder kompensieren.

2.4 Zwischenfazit

Der absolute Warmwasserbedarf ist über alle betrachteten Szenarien hinweg ungefähr einheitlich bei ca. 450 MWh/a, gleiches gilt für den Warmwasserbedarf pro Bewohner. Hier liegt der Bedarf bei ca. 790 kWh/a. Bezieht man den Warmwasserbedarf jedoch auf die Wohneinheiten ergeben das Szenario 2 (Blockrand) und das Szenario 3 (Zeilen) den geringsten Warmwasserbedarf. Dies ist insbesondere auf einen höheren Anteil von Wohnungen mit einer geringeren Ausstattung (z.B. der Verzicht auf mehrere Bäder) zurückzuführen.

Insgesamt betrachtet sind die Unterschiede jedoch marginal.

Auf den ersten Blick lässt sich auch bei den Heizwärmebedarfen im Neubaustandard 2014 kaum ein signifikanter Unterschied ersehen (1.126 bis 1.032 MWh/m²a). Setzt man jedoch den Heizwärmebedarf in Relation zu der gebauten Nutzfläche (18.032 m² bis 22.122 m²), weist das Szenario 3 mit ca. 50 kWh/(m²a) den geringsten Heizwärmebedarf auf. Dies ist insbesondere auf die optimale solare Ausrichtung zurückzuführen. Szenario 1 (verdichteter Entwurf) verfügt mit 62,5 kWh/(m²a) über den höchsten Heizwärmebedarf. Dieses Verhältnis spiegelt sich auch beim Hilfsstrombedarf wieder: Während Szenario 1 mit ca. 18 MWh/(m²a) den höchsten Strombedarf hat, verfügen Szenario 3 und 2 mit ca. 16 MWh/(m²a) über den geringsten Hilfsstrombedarf. Darüber hinaus ist das Szenario 3 mit ca. 1.244 € / m² Nutzfläche auch das kostengünstigste Szenario. Während Szenario 1 mit 1.684 € / m² Nutzfläche laut BKI deutlich höhere Investitionskosten benötigt.

Dieses Verhältnis setzt sich auch in den zwei anderen betrachteten Szenarien fort. Szenario 3 (Zeilen) ist auch bei dem Neubaustandard 2017 und 2021 das Szenario mit dem geringsten Heizwärmebedarf / m² Nutzfläche (36,7 kWh/(m²a) bzw. 17,4 kWh/(m²a)) und das Szenario mit den geringsten Investitionskosten pro Nutzfläche nach BKI (1.304 € / m² bzw. 1.341 € / m²). Das Szenario 1 hat den höchsten Heizwärmebedarf / m² Nutzfläche (46,6 kWh/(m²a) bzw. 23,3 kWh/(m²a)) und auch die höchsten Investitionskosten (1.766 € / m² bzw. 1.815 € / m²).

Zusammenfassend ist in Abbildung 7 noch einmal der Nutzenergiebedarf des betrachteten Neubau-Quartiers B300 zusammengestellt. Dabei ist zu erkennen, dass

- der Warmwasserbedarf etwa die Hälfte des Raumwärmebedarfs im Szenario „EnEV 2014“ beträgt.
- Im Szenario „Passivhäuser“ ist der Raumwärmebedarf kleiner als der Wärmebedarf für die Brauchwassererwärmung.
- Der Strombedarf für Hilfsenergie liegt im Passivhaus-Szenario höher, da hier eine kontrollierte Lüftung erforderlich ist.

Ein Faktor, den man kaum durch Vorschriften in der Bauleitplanung beeinflussen kann, ist der Warmwasserbedarf. Strebt man ein Quartier mit möglichst geringen CO₂-Emissionen an, ist daher neben den baulichen Gebäudestandards auch die Energieversorgung, welche die benötigte Energie bereitstellt, in die Betrachtung miteinzubeziehen.

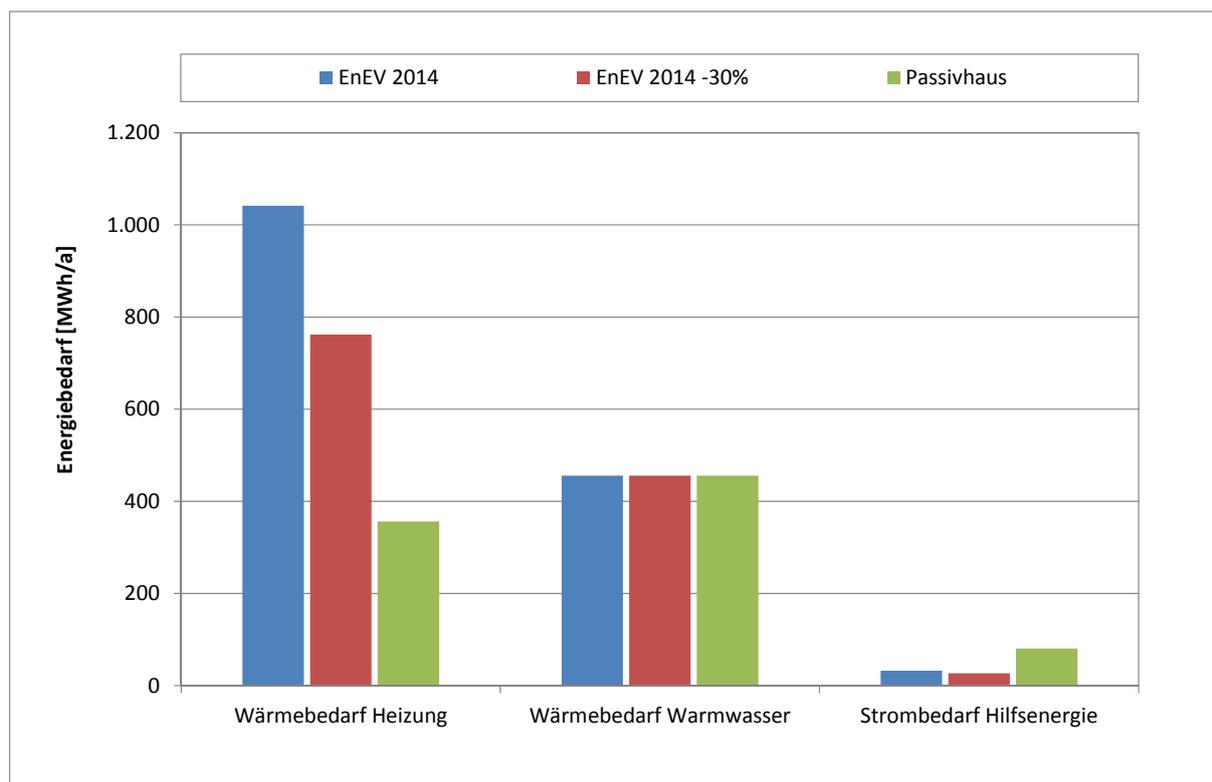


Abbildung 7: Nutzenergiebedarf für das gesamte Neubau-Quartier B300 nach Nutzungszwecken (inkl. Verteilungsverluste in den Gebäuden).

Aus diesem Grund werden in den folgenden Kapiteln unterschiedliche Versorgungsvarianten analysiert. Um den Datenumfang zu begrenzen und eine Übersichtlichkeit der Ergebnisse zu gewährleisten, wurde diese Untersuchung nur für das Szenario 2 (Blockrand) durchgeführt. Da dieses Szenario am ehesten die mittleren Bedarfe widerspiegelt.

3 Varianten der Energieversorgung

Im vorherigen Kapitel wurde dargestellt, wie sich die Energiebedarfe in Abhängigkeit der unterschiedlichen Gebäudestandards und der städtebaulichen Struktur entwickeln. Entscheidend für die CO₂-Emissionen ist aber aus welchen Quellen die benötigte Energie bereitgestellt wird.

In Absprache mit dem Auftraggeber wurden unterschiedliche Wärmequellen voruntersucht, bevor einzelne Energieversorgungsvarianten berechnet wurden.

3.1 Voruntersuchung alternativer Wärmequellen

Bevor die Auswahl der zu untersuchenden Versorgungsvarianten getroffen wurde, wurden zu folgenden Varianten Voruntersuchungen durchgeführt:

- Nutzung von Abwärme des Abwassers
- Versorgung mit Geothermie (99m-Sonden)

3.1.1 Nutzung von Abwärme aus Abwasser

Für die Nutzung von Abwärme aus dem Abwasser lag bereits eine Potenzialanalyse vor. Diese wurde noch einmal aufgrund der aktualisierten Gebäudebedarfe durch einen Experten geprüft. Die erneute Prüfung kommt zu demselben Schluss wie die Potenzialanalyse: Der Kanalquerschnitt des vorhandenen Abwasserkanals lässt den Einbau einer Wärmepumpe nicht zu. Für die weitere Betrachtung wurde diese Lösung also ausgeschlossen.

3.1.2 Nutzung von Geothermie-Sonden im Erdreich

Eine grobe Voruntersuchung zu den Potenzialen der Geothermie ergab, dass eine Versorgung mit 99m-Sonden mit einer Entzugsleistung von 3,5 kW rechnerisch möglich ist. Für eine genauere Untersuchung ist es aber zunächst notwendig, das Potenzial für die Nutzung des geologischen Untergrundes als Wärmequelle am Standort zu quantifizieren und mit den zuständigen Behörden zu klären.

Eine Benennung des geothermischen Potentials des Gebietes der ableitbaren technischen Anforderungen sowie die Investitionskosten einer Großanlage erfordern deshalb zwingend eine weiterführende Potentialanalyse inklusive einer Anlagensimulation und Planungsleistungen zur Dimensionierung der Wärmequellenanlagen.

Aus diesen Gründen wurde die Nutzung von Geothermie für dieses Gutachten aus der Betrachtung ausgeschlossen.

3.2 Auswahl der zu betrachtenden Versorgungsvarianten

Im vorigen Kapitel wurden verschiedene Varianten zur Ausgestaltung der Baukörper im Hinblick auf den daraus resultierenden Wärmebedarf der Gebäude analysiert. Im Folgenden wird die Analyse um mögliche Varianten zur Deckung des verbleibenden Wärmebedarfs erweitert. Dabei stehen zunächst energetische und umweltbezogene Aspekte im Vordergrund (Kap. 3.3). In Kapitel 3.4 wird dann der Frage nachgegangen, welche Kombinationen von Gebäudestandards und Versorgungstechnik unter wirtschaftlichen Aspekten sinnvoll sind.

Es wurden folgende grundsätzliche Versorgungsoptionen in Betracht gezogen:

- Objektbezogene Versorgung
 - Gasbrennwertkessel in jedem Gebäude
 - mit Erdgas oder mit Biogas
 - zusätzliche Nutzung von Solarthermie
 - Pellet-Heizung
 - elektrische Wärmepumpe
- Leitungsgebundene Versorgung
 - Wärmenetz mit Holzhackschnitzel-Feuerung
 - Wärmenetz mit Blockheizkraftwerk(en) plus Spitzenkessel
 - mit Erdgas oder mit Biogas
 - Anschluss an das bestehende Fernwärmenetz

Erste Voruntersuchungen ergaben, dass ein Wärmenetz, das allein mit einem erdgasgefeuerten Kessel betrieben wird, wenig sinnvoll ist, da das Netz zusätzliche Kosten und einen durch Verteilungsverluste bedingten höheren Energieeinsatz verursacht, denen im Vergleich zu dezentralen Kesselanlagen in den jeweiligen Gebäuden keine Vorteile gegenüber stehen.

Weitere Voruntersuchungen haben auch gezeigt, dass Blockheizkraftwerke (BHKW) mit einer Leistung von weniger als 0,05 MW nur einen sehr geringen Beitrag zur Wärmeversorgung leisten, BHKW mit mehr als 0,1 MW aber so selten eingesetzt werden können, dass ihr Betrieb nicht wirtschaftlich ist und sie daher auch keine Vorteile bei der Einsparung von Energie und Emissionen bieten. Daher werden nur BHKW mit einer Leistung von 0,05 und 0,1 MW näher betrachtet.

Die Nutzung von Solarthermie ist nur in Verbindung mit der Objektversorgung mittels Gaskesseln eine sinnvolle Option. Bei den anderen Optionen steht die solare Wärme in Konkurrenz zur Wärme aus anderen erneuerbaren Energien bzw. aus Kraft-Wärme-Kopplung, was den Nutzen begrenzt, aber die Kosten in die Höhe treibt. Solarthermie in Verbindung mit einem saisonalen Speicher konnte im Rahmen dieser Studie nicht untersucht werden.

Ein Anschluss an das in Norderstedt bestehende Fernwärmesystem wurde in Erwägung gezogen, aber dann – nach Rücksprache mit den Stadtwerken – verworfen. Zum einen beträgt die Entfernung zum bestehenden System ca. 950 m, so dass ein Anschluss Investitionen in Höhe von rund 800.000 Euro erfordern würde, was die Wirtschaftlichkeit dieser Lösung beeinträchtigt. Zum anderen wird das Fernwärmesystem in Norderstedt mit einem BHKW und einem Spitzenkessel versorgt. Diese Kombination lässt keine signifikanten Vorteile gegenüber der Installation eines BHKW vor Ort in einem Nahwärmesystem erwarten.

Tabelle 19 gibt einen Überblick über die für die nähere Analyse ausgewählten Versorgungsoptionen.

Tabelle 19: Ausgewählte Versorgungsoptionen für das Neubau-Quartier.

Option	Anmerkung
Objektbezogene Versorgung	
1a	Brennwertkessel (Erdgas) Referenzfall (Basis für Vergleiche)
1b	Brennwertkessel (Erdgas) + Solarthermie
1c	Pelletheizung
1d	Brennwertkessel (Biogas)
1e	Elektrische Wärmepumpe - spezifische CO ₂ -Emissionen für Strom: 680 g/kWh bzw. 340 g/kWh
Leitungsgebundene Versorgung	
<i>Beschränkt auf das Quartier</i>	
2a	Heizzentrale mit Holzhackschnitzelfeuerung
2b	Heizzentrale mit BHKW (Erdgas): 0,1 MW (+ Spitzenkessel)
2c	Heizzentrale mit BHKW (Erdgas): 0,05 MW
2d	Heizzentrale mit BHKW (Biogas): 0,1 MW (+ Spitzenkessel)
2e	Heizzentrale mit BHKW (Biogas): 0,05 MW

3.3 Ergebnisse der Modellierung der betrachteten Versorgungsvarianten

3.3.1 Ermittlung des Endenergiebedarfs für Raumwärme, Warmwasserbereitung und Hilfsenergie

Im Gegensatz zu der zuvor ermittelten Nutzenergie ist die *Endenergie* die von einem Versorgungsunternehmen bezogene Energieform und -menge, aus der dann die Nutzenergie gewonnen wird. In diesem Projekt werden als Endenergieformen Erdgas, Biogas, elektrische Energie (Strom) und Bioenergie (Holzhackschnitzel, Pellets) betrachtet. Die benötigte Endenergiemenge berücksichtigt die Wirkungsgrade der Versorgungstechniken.

Für die nachfolgenden Berechnungen werden die in Tabelle 20 zusammengestellten technische Daten der ausgewählten Versorgungsoptionen zugrunde gelegt.

Tabelle 20: Annahmen zu technischen Daten der ausgewählten Versorgungsoptionen.

	1 a/d	1 c	1 e	2 a	2 b-e
	Brennwertkessel	Pelletheizung	Elektrische Wärmepumpe	Heizzentrale mit Holz-hackschnitzelfeuerung	Heizzentrale mit BHKW
thermischer Wirkungsgrad					
- Heizung	105%	} 91%		} 91%	} 55%
- Warmwasser	98%				
elektrischer Wirkungsgrad					35%
Arbeitszahl			3		
Verteilungsverluste im Wärmenetz				5%	5%

Abbildung 8 zeigt den auf Basis der technischen Daten in Tabelle 20 ermittelten Endenergiebedarf des gesamten Bauvorhabens B300 für die ausgewählten Versorgungsoptionen (horizontale Kategorien) sowie die drei betrachteten Gebäudestandards (farbige Balken).

Der Endenergiebedarf ist für die Versorgungsoption 1e (Elektrische Wärmepumpe) mit weitem Abstand am geringsten, da hier ein großer Teil der Heizwärme aus Umgebungswärme gewonnen wird, die nicht zur Endenergie zählt.

Es folgt die Option 1b (Brennwertkessel plus Solarthermie), da die solare Wärme ebenfalls nicht zur Endenergie gerechnet wird. In den Optionen 2a-e treten zusätzliche Verteilungsverluste im Wärmenetz auf, so dass der Endenergiebedarf hier höher ist als bei dezentralen Optionen. Für die Heizzentrale mit BHKW ist der Erdgaseinsatz höher als bei einer reinen Kesselfeuerung, da mit der elektrischen Energie ein zusätzliches Produkt erzeugt wird. Diese Tatsache wird bei der Berechnung der CO₂-Emissionen und bei der wirtschaftlichen Betrachtung über Gutschriften bzw. zusätzliche Einnahmen aus dem Stromverkauf berücksichtigt.

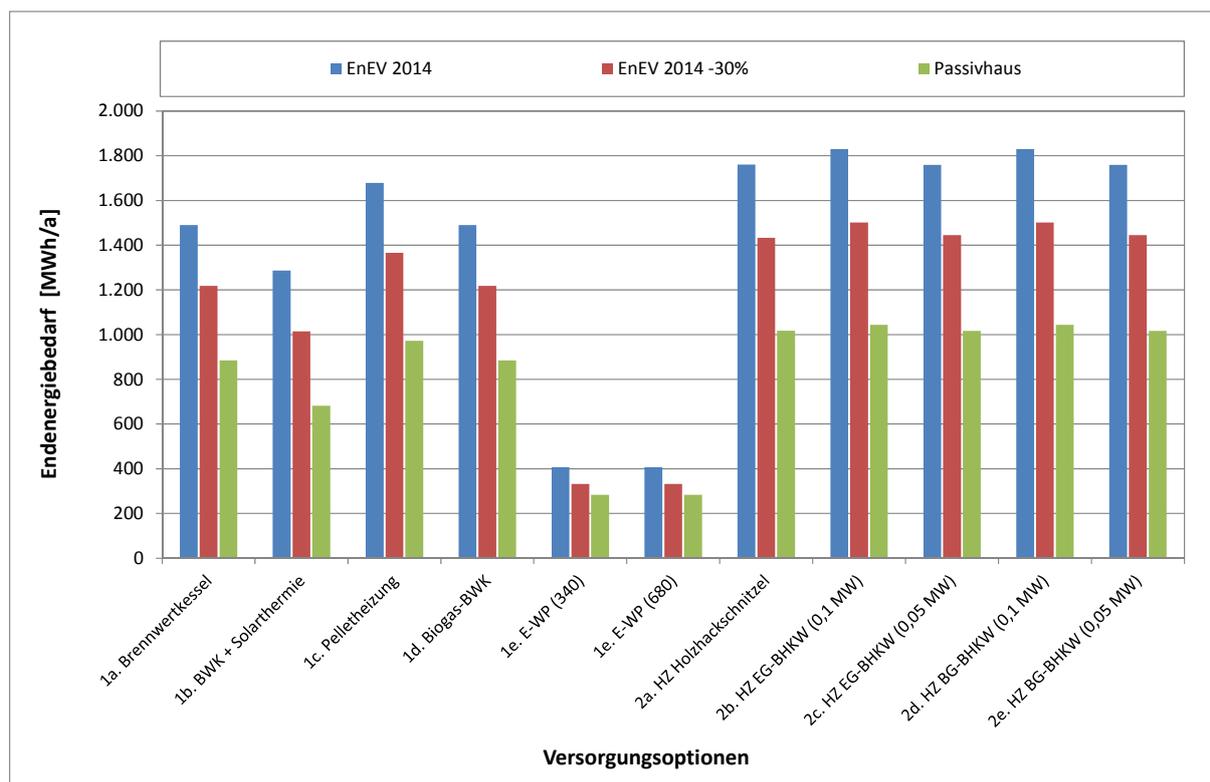


Abbildung 8: Endenergiebedarf des Neubau-Quartiers B300
 der ausgewählten Versorgungsoptionen für verschiedene Gebäudestandards
 (= Einsatz von Erdgas, Strom etc. für Raumwärme, Warmwasser und Hilfsenergie).

3.3.2 Ermittlung der CO₂-Emissionen

Die CO₂-Emissionen in den verschiedenen Versorgungsvarianten ergeben sich, wenn die jeweilige Endenergiemenge mit dem entsprechenden Emissionsfaktor multipliziert wird. Die verwendeten Faktoren sind in Tabelle 21 zusammengestellt.

Für die BHKW erfolgt eine Gutschrift in Höhe der Emissionen, die im deutschen Kraftwerkspark im Mittel für die Erzeugung derselben Strommenge angefallen wären.

Tabelle 21: Spezifische CO₂-Emissionen der eingesetzten Endenergieformen (Quelle: Gemis).

	Erdgas	Pellets	Biogas	Holzhack-schnittzel	Strom
CO ₂ -Emissionen[g je kWh]	250	41	67	50	680

Abbildung 9 zeigt die CO₂-Emissionen für die ausgewählten Versorgungsoptionen und Gebäudestandards bezogen auf das gesamte Vorhaben.

Die geringsten CO₂-Emissionen weisen – unabhängig von den Gebäudestandards – die Versorgungsoptionen auf Bioenergiebasis auf, da diese per Definition geringe spezifische CO₂-Emissionen haben. Die Emissionswerte liegen um 70% bis 90% unter denen der objektbezogenen Versorgung mit Brennwertkesseln.

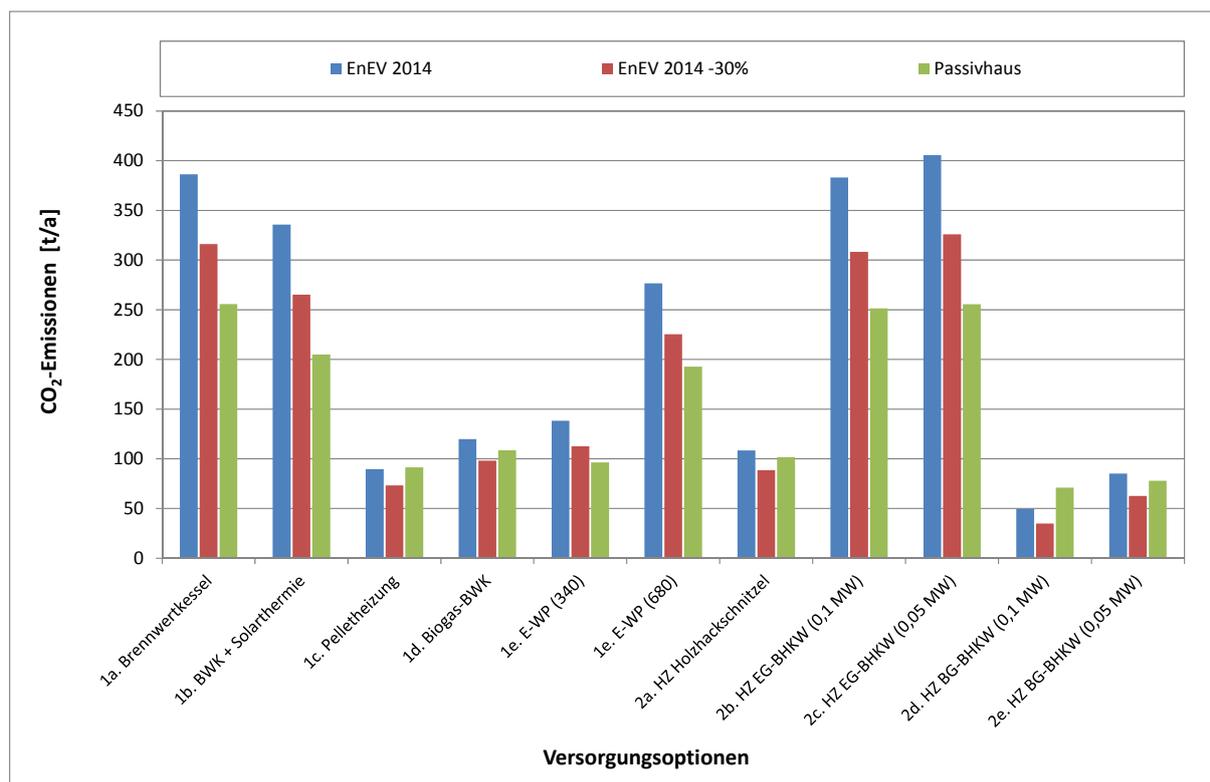


Abbildung 9: CO₂-Emissionen der ausgewählten Versorgungsoptionen des Neubau-Quartiers B300 für verschiedene Gebäudestandards.

Durch den Einsatz von Solarthermie lassen sich knapp 15% der CO₂-Emissionen einsparen, mit einer Elektrowärmepumpe ca. 30% bei heutigem Kraftwerkspark (680 g/kWh) und rund zwei Drittel, wenn die spezifischen CO₂-Emissionen der Stromerzeugung auf 340 g/kWh halbiert werden.

Das größere BHKW (0,1 MW) reduziert die CO₂-Emissionen dagegen lediglich um 1%, während das kleinere BHKW (0,05 MW) sogar zu einer Erhöhung des Ausstoßes um 5% führt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass Gasbrennwertkessel bereits einen sehr hohen Wirkungsgrad haben, der sich durch den Einsatz von BHKW nur wenig steigern lässt. Bei reinen Wohngebieten ist die Verteilung des Wärmebedarfs so, dass BHKW nur einen begrenzten Anteil der Wärme liefern können. Dafür treten aber Verluste bei der Wärmeverteilung auf. In Summe ergeben sich wenig bis keine Vorteile beim Klimaschutz.

Eine Verbesserung der Gebäudehülle auf den Standard „EnEV 2014 -30%“ verringert die CO₂-Emissionen ebenfalls um 18%, mit Hilfe des Passivhaus-Standards lassen sie sich um ein Drittel vermindern.

In manchen Kombinationen von verbesserter Gebäudehülle mit besonders CO₂-armer Versorgung sind die Emissionen für die Passivhäuser höher als für die Variante „EnEV 2014 -30%“. Dies ist der Tatsache geschuldet, dass der Stromverbrauch in Passivhäusern aufgrund der dann nötigen kontrollierten Lüftung wesentlich höher ist als bei den beiden anderen Varianten (vgl. Abbildung 7).

3.4 Wirtschaftlichkeit der Versorgungsvarianten

Im Folgenden werden die Kosten der verschiedenen Varianten der Energieversorgung für das ausgewählte Neubaugebiet ermittelt. Zu diesen Kosten zählen

- die *Investitionskosten* für die energietechnischen Anlagen,
- die *Betriebskosten* dieser Anlagen, darunter insbesondere die Bezugskosten für Endenergie, sowie
- ggf. die *Mehrkosten für die anspruchsvolleren Gebäudestandards* „EnEV 2014 -30%“ und „Passivhaus“.

Folgende Annahmen und Rahmendaten wurden bei den Rechnungen verwendet:

- Generell werden hier Nettokosten (d.h. ohne Mehrwertsteuer) betrachtet, da sich die Studie vorrangig an Investoren bzw. vorgelagerte Entscheidungsträger im politischen Bereich richtet. Für die Kernaussagen ist diese Annahme ohne Belang, da sich alle Kosten bei der Bruttobetrachtung lediglich um den Mehrwertsteuersatz erhöhen würden.
- Investitionskosten werden mit Hilfe der Annuitätenmethode auf einzelne Jahre verteilt. Dabei wird für die Mehrkosten der Gebäudestandards eine Abschreibungszeit von 30 Jahren unterstellt, für Wärmeleitungen 50 Jahre.
- Als Zinssatz werden generell 5% unterstellt. Die Auswirkungen des Zinssatzes auf die Ergebnisse sind gering.
- Für das Wärmeverteilnetz im Quartier wurde eine Trassenlänge von 1.700 m angenommen.
- Den BHKW werden Erlöse aus dem Verkauf des erzeugten Stroms sowie die derzeit gültige KWK-Förderung gutgeschrieben.
- Die Basiswerte für die Energiepreise sind in Tabelle 22 zusammengestellt. Sie entsprechen in etwa dem heutigen Niveau. Die Preise werden später Gegenstand einer Sensitivitätsanalyse sein, mit deren Hilfe der Einfluss steigender Energiepreise abgeschätzt wird. Die entsprechenden Werte sind ebenfalls in Tabelle 22 aufgeführt. Alle Preise beziehen sich auf die Abnahmemenge des Gesamtvorhabens, sind also nicht mit Preisen für private Endverbraucher gleichzusetzen.

Tabelle 22: Basiswerte für die Netto-Preise der eingesetzten Endenergieformen (eigene Abschätzungen).

	Erdgas	Pellets	Biogas	Holz- hack- schnittel	Strom	Fern- wärme
Basiswerte						
Preis [€/MWh]	50	40	150	30	200	65
Erlöse Stromverkauf [€/MWh]					40	
Werte für die Sensitivitätsanalyse „hohe Energiepreise“						
Aufschlag	100%	25%	25%	25%	50%	50%
Preis [€/MWh]	100	50	188	38	300	97,5
Erlöse Stromverkauf [€/MWh]					60	

Abbildung 10 zeigt die jährlichen Energiekosten des gesamten Bauvorhabens für die ausgewählten Versorgungsoptionen und Gebäudestandards. Im Weiteren wird die Variante 1a (Brennwertkessel, Erdgas) in Verbindung mit dem Standard „EnEV 2014“ als Referenzfall bezeichnet, auf den Vergleiche bezogen werden. Dieser Referenzfall weist – bei heutigen Energiepreisen – die niedrigsten Kosten aller Varianten auf.

Die geringsten Kosten nach den Brennwertkesseln weisen Solarthermie und Elektrowärmepumpen auf. An dritter Stelle folgt der verbesserte Gebäude-Standard „EnEV2014-30%“ in Verbindung mit Brennwertkesseln ohne und an vierter Stelle mit Solarthermie. Danach folgen die Optionen mit Erdgas-BHKW.

Generell ist festzustellen, dass die Optionen auf Basis von Bioenergien mit den höchsten Kosten verbunden sind, da sowohl die Investitionen in die Energieanlagen als auch die Brennstoffe höher sind als bei konventionellen Optionen.

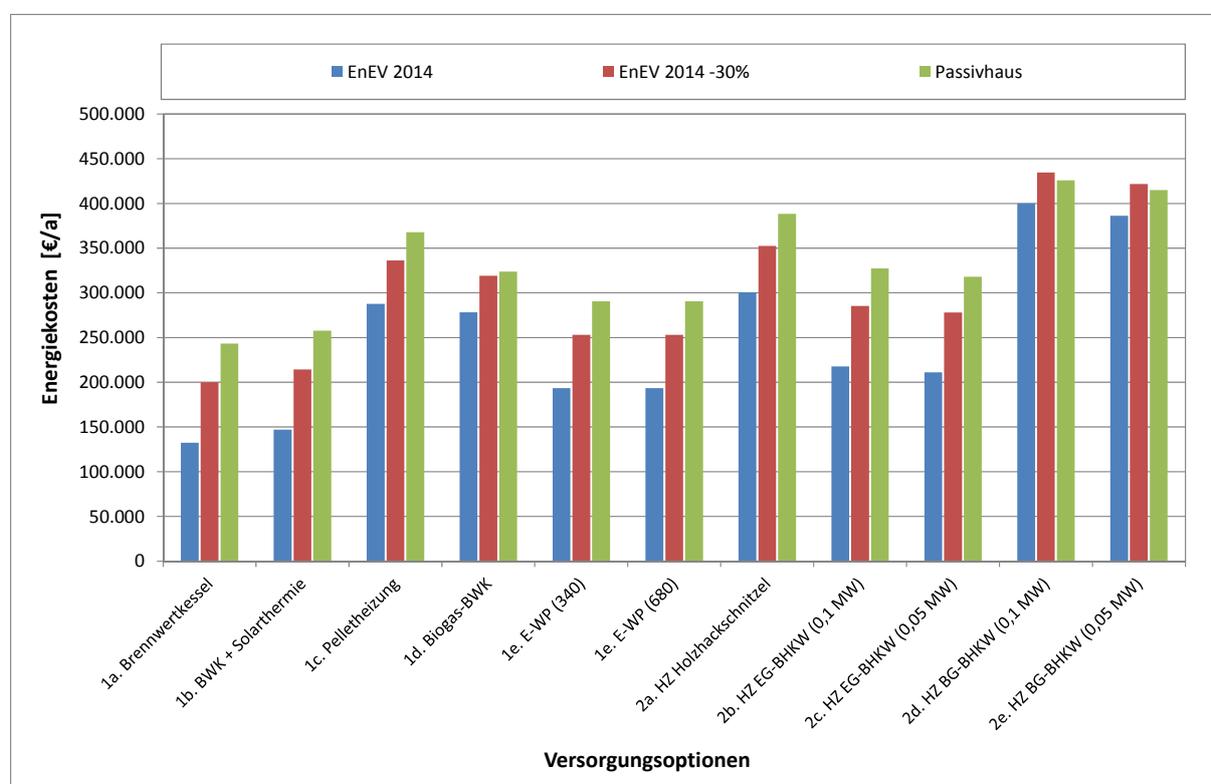


Abbildung 10: Jährliche Energiekosten des Neubau-Quartiers B300 für die verschiedenen Versorgungsoptionen und Gebäudestandards, bestehend aus Energiebezugskosten, Kosten der Energieanlage und Mehrkosten des Gebäudestandards (Grundlage: Basiswerte der Energiepreise).

Abbildung 11 bis Abbildung 13 weisen die jährlichen Energiekosten aufgeschlüsselt nach Kostenarten aus. Dabei zeigt sich, dass die jährlichen Kosten aus der Anschaffung der Energieanlagen in der Regel deutlich kleiner sind als die Kosten aus deren Betrieb.

Die Mehrkosten für den Standard „EnEV 2014 -30%“ sind deutlich höher als die Investitionskosten für Brennwertkessel, aber in der gleichen Größenordnung wie diejenigen in anderen Varianten (Abbildung 12).

Die Mehrkosten für den Passivhaus-Standard sind mit 140.000 Euro pro Jahr (Abbildung 13) nicht nur deutlich höher als die jährlichen Investitionskosten für Gasbrennwertkessel in Höhe von 26 bis 34 Tausend Euro pro Jahr, sondern auch höher als deren Betriebskosten, die – je nach Option – zwischen 71 und 97 Tausend Euro pro Jahr liegen.

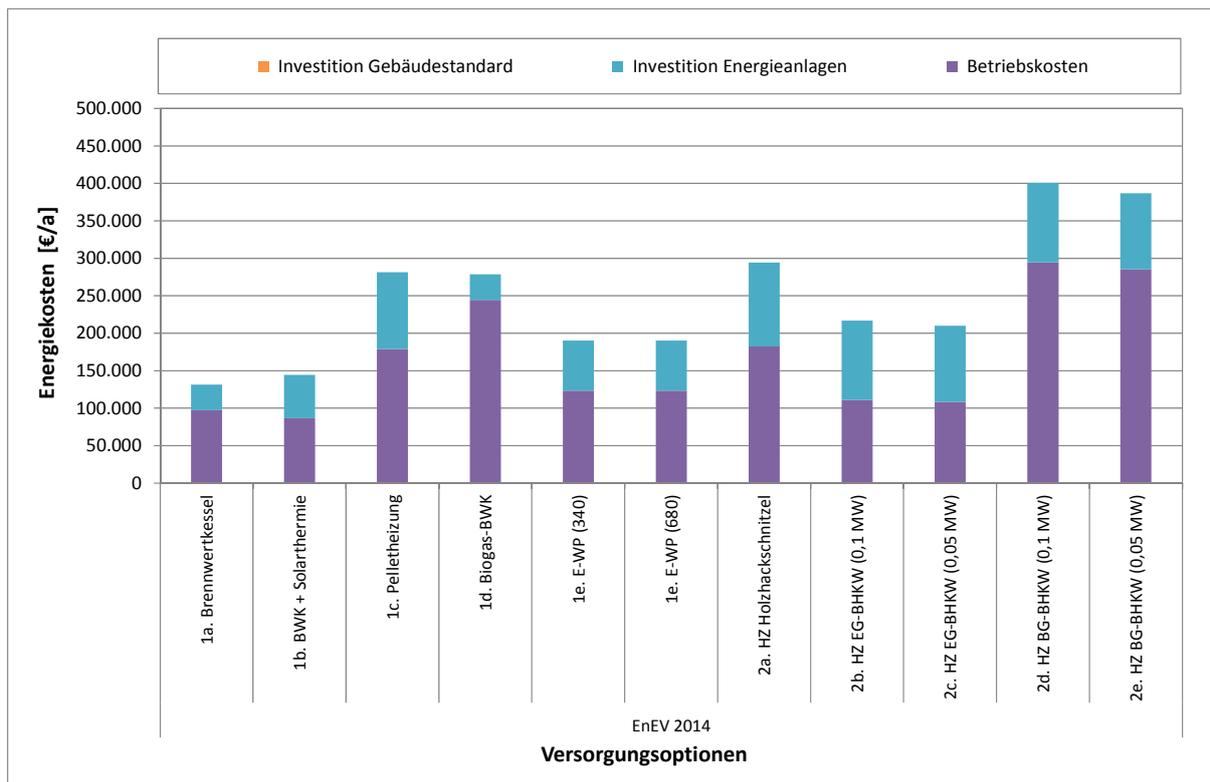


Abbildung 11: Jährliche Energiekosten des Neubau-Quartiers B300 für die verschiedenen Versorgungsoptionen des Gebäudestandards „EnEV 2014“ nach Kostenblöcken.

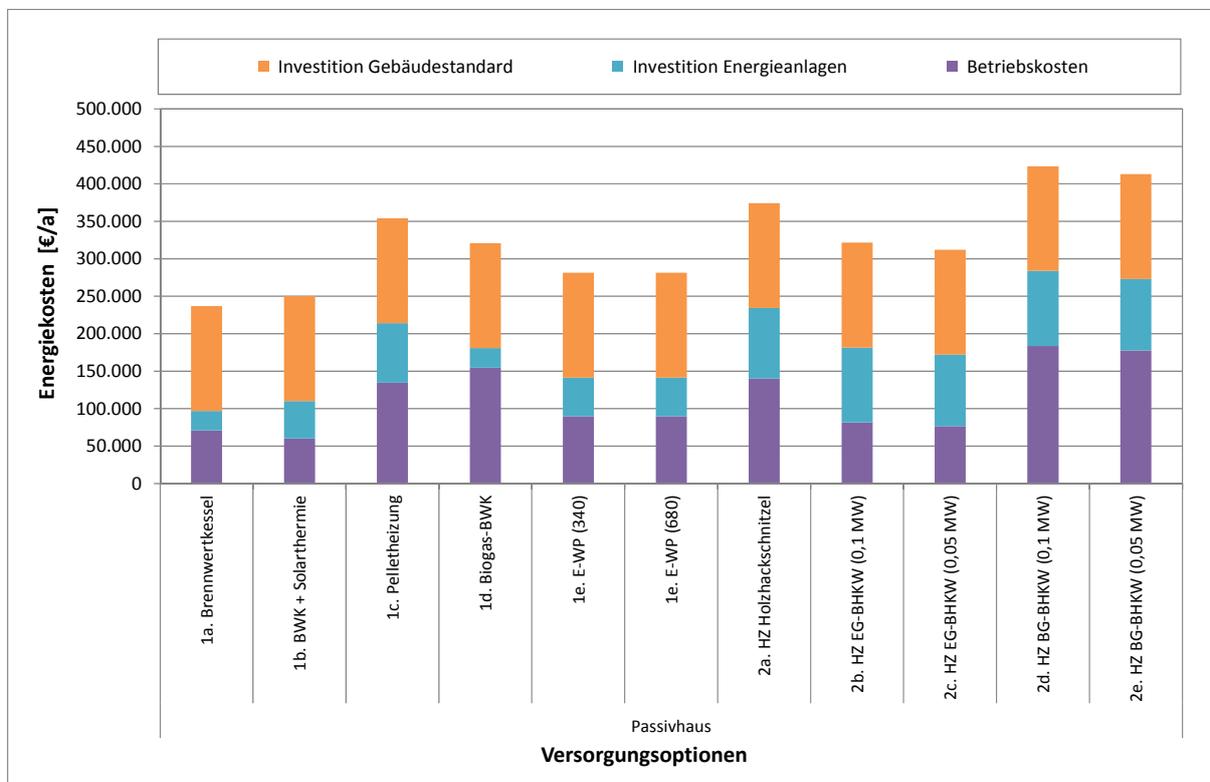


Abbildung 12: Jährliche Energiekosten des Neubau-Quartiers B300 für die verschiedenen Versorgungsoptionen des Gebäudestandards „EnEV 2014 -30%“ nach Kostenblöcken.

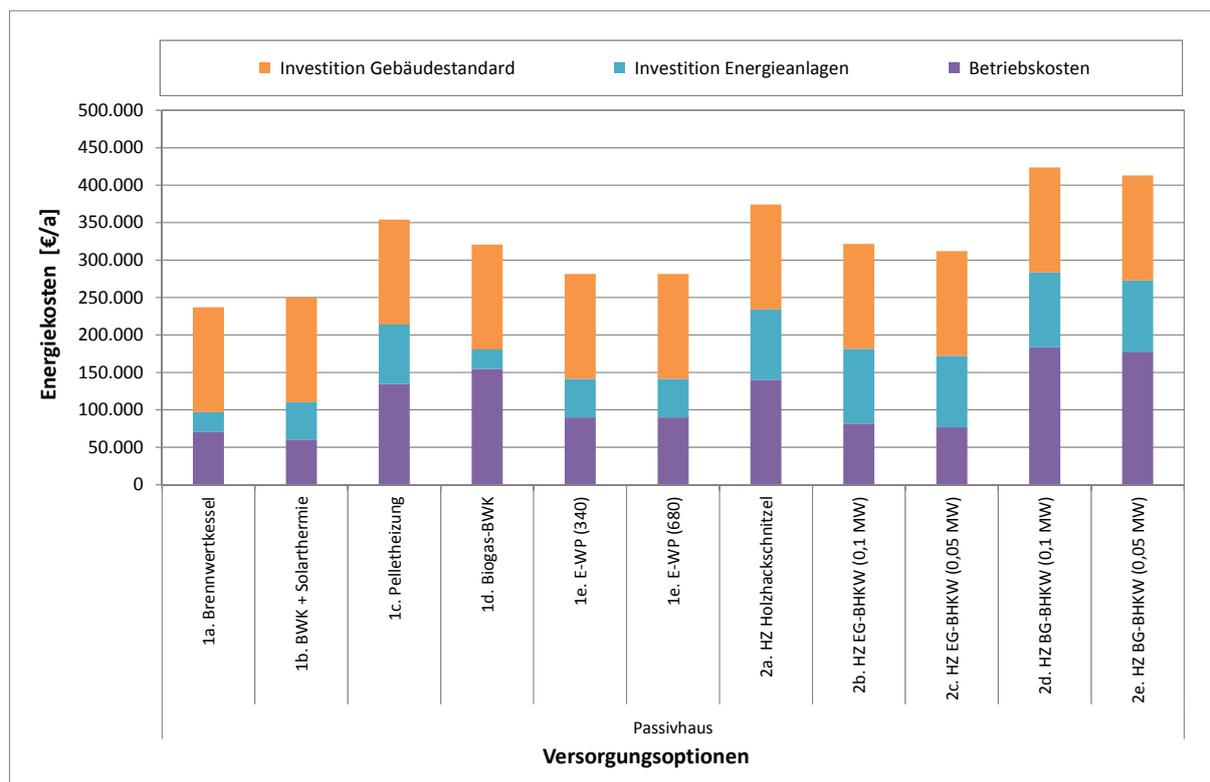


Abbildung 13: Jährliche Energiekosten des Neubau-Quartiers B300 für die verschiedenen Versorgungsoptionen des Gebäudestandards „Passivhaus“ nach Kostenblöcken.

Erneuerbare Energien und energieeffiziente Gebäude dienen nicht nur dem Klimaschutz, sondern können auch eine Versicherung gegen steigende Energiepreise darstellen. Abbildung 14 zeigt daher die Energiekosten bei einer Verdopplung der Preise für Erdgas und Hackschnitzel sowie 50% höheren Preisen für Strom und Fernwärme („hohe Energiepreise“) und 25% höheren Preisen für Bioenergie (vgl. Tabelle 22). Die Preise für Strom und Fernwärme steigen nicht proportional mit den Preisen fossiler Brennstoffe, da hier die hohen Investitionen in die jeweiligen Anlagen einen dämpfenden Einfluss auf die Preise haben. Preise für Bioenergie unterliegen nicht den gleichen Weltmarktbedingungen wie fossile Energien. Daher wird hier eine geringere Steigerung angenommen.

Bei den erhöhten Energiepreisen weist die Option 1b (Brennwärtekessel plus Solarthermie) nahezu die gleichen Kosten auf wie die Brennwärtekessel allein.

Die Kostenunterschiede zwischen den verschiedenen Gebäudestandards werden deutlich geringer. Die Optionen mit Bioenergien bleiben am teuersten.

Es ist festzuhalten, dass auch eine Verdopplung der Preise für Endenergie keine wesentliche Verschiebung in der Reihenfolge der Wirtschaftlichkeit mit sich bringt.

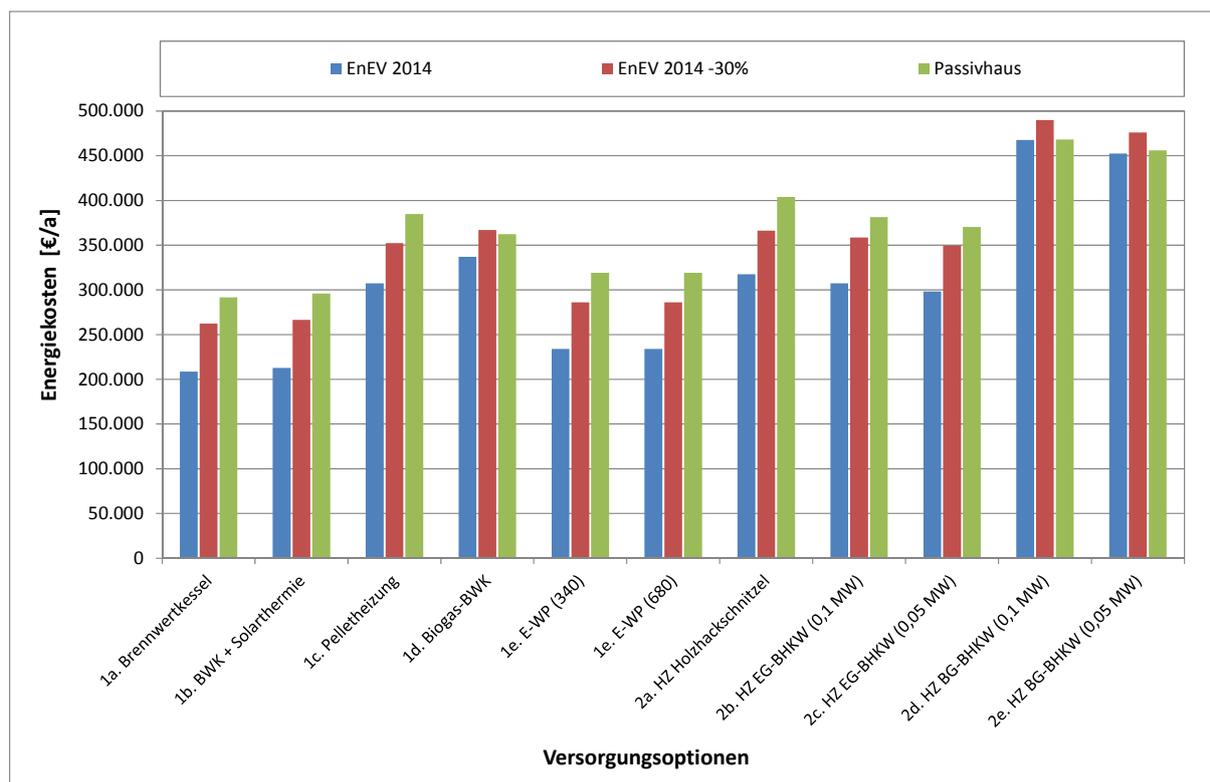


Abbildung 14: Jährliche Energiekosten des Neubau-Quartiers B300 für die verschiedenen Versorgungsoptionen und Gebäudestandards bei „hohen Energiepreisen“ gemäß Tabelle 22 (= u.a. verdoppelte Kosten für Erdgas und Hackschnitzel sowie 50% höheren Kosten für Strom und Fernwärme).

Welche Schlussfolgerungen sind aus diesen Erkenntnissen zu ziehen?

Es geht in dieser Studie nicht in erster Linie darum, die wirtschaftlichste Variante zu identifizieren, sondern abzuwägen zwischen einer kostengünstigen und einer möglichst umweltverträglichen Energieversorgung, insbesondere vor dem Hintergrund des Klimaschutzes. Es ist daher hilfreich, Indikatoren für das Verhältnis von Kosten und Nutzen zu betrachten.

Ein solcher Indikator sind die CO₂-Vermeidungskosten der ausgewählten Versorgungsoptionen und Gebäudestandards, die in Abbildung 15 ausgewiesen werden. Die CO₂-Vermeidung und die Mehrkosten sind dabei jeweils auf den Referenzfall bezogen, der zum einen – bei heutigen Energiepreisen – der kostengünstigste ist, aber gleichzeitig auch eine in der Praxis häufig anzutreffende Lösung ist.

Es hat sich gezeigt, dass die BHKW auf Erdgasbasis die CO₂-Emissionen wenig bis gar nicht verringern. Daraus folgen extrem hohe bis negative CO₂-Vermeidungskosten. Letztere stellen in diesem Fall keine besonders günstige Form der CO₂-Vermeidung dar, sondern zeigen an, dass hier – bei höheren Gesamtkosten – die CO₂-Emissionen sogar ansteigen.

Abbildung 15 zeigt die Vermeidungskosten einmal so, dass alle Balken in voller Höhe erkennbar sind und dann vergrößert, so dass auch die Unterschiede der kleineren Balken erkennbar werden.

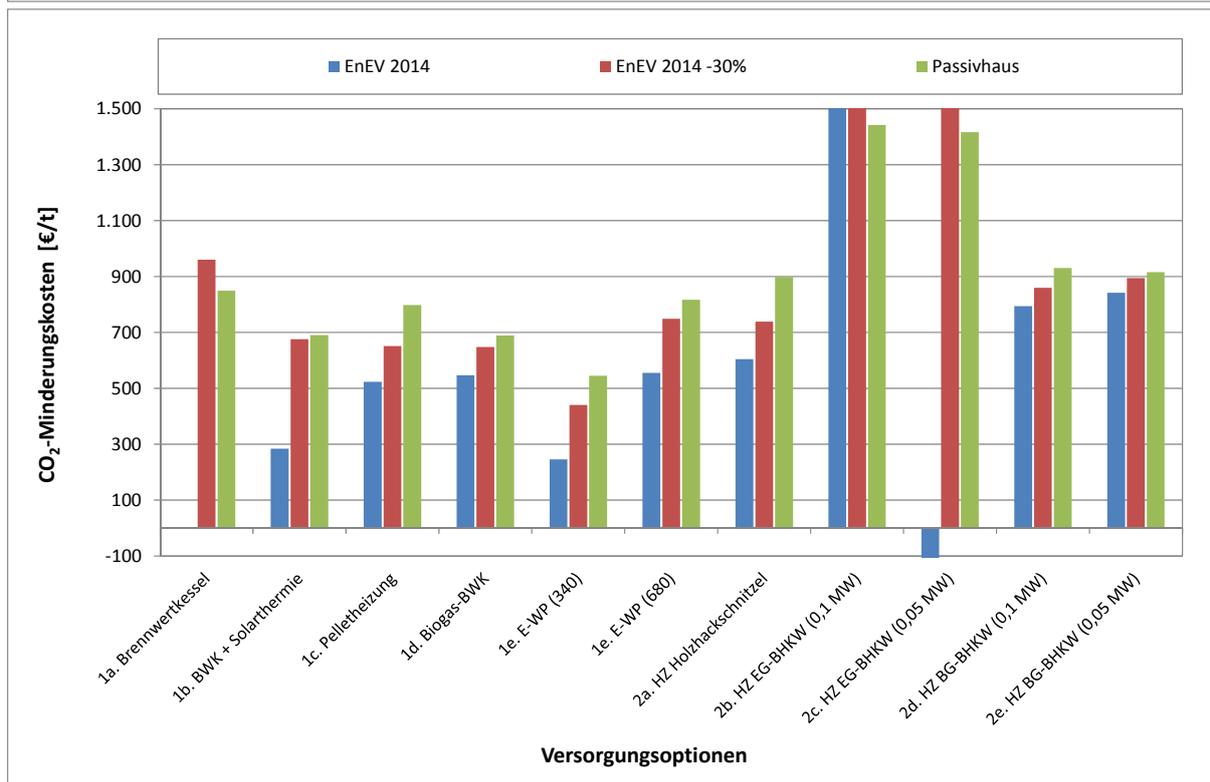
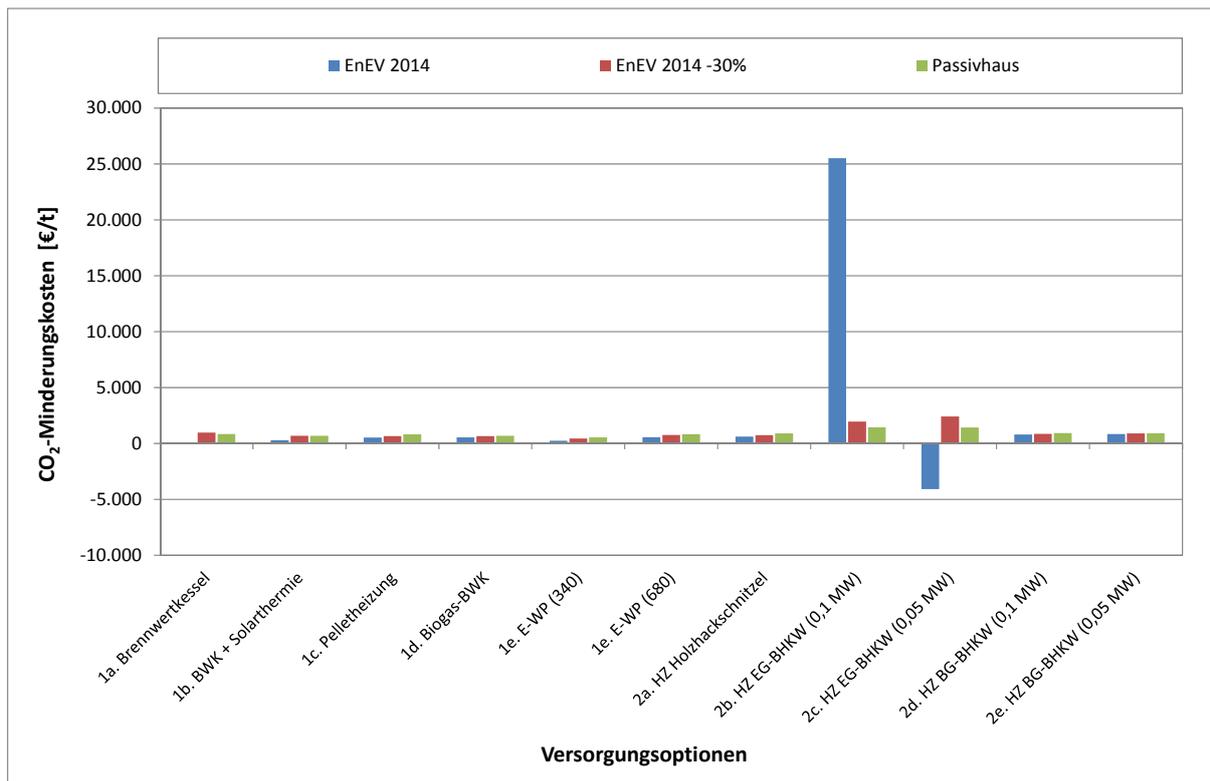


Abbildung 15: CO₂-Vermeidungskosten des Neubau-Quartiers B300 für die verschiedenen Versorgungsoptionen und Gebäudestandards gegenüber dem Szenario „EnEV 2014 mit Gasbrennwertkessel“.

Die geringsten CO₂-Minderungskosten weisen die Solarthermie (1b) und die elektrischen Wärmepumpen (1e) auf. Für die Wärmepumpen gilt dies allerdings erst dann, wenn die elektrische Energie zu einem wesentlich größeren Teil als heute aus erneuerbaren Energien

kommt und die spezifischen CO₂-Emissionen der Stromerzeugung von 680 auf 340 g/kWh gesunken sind. Wenn die „Energiewende“ wie geplant umgesetzt wird, dann ist allerdings zu erwarten, dass solche Werte noch während der Lebensdauer der hier geplanten Investitionen erreicht werden.

An dritter Stelle liegt der Gebäudestandard „EnEV 2104 -30%“ in Verbindung mit der Wärmepumpe (mit 340 g/kWh Strom) gefolgt von der Pelletheizung. Außer in diesem Fall liegen die CO₂-Vermeidungskosten für alle Optionen mit verbesserten Gebäudestandards jenseits von 500 €/t CO₂.

Die beschriebene Reihenfolge ändert sich auch bei den oben schon beschriebenen erhöhten Energiepreisen nicht (Abbildung 16).

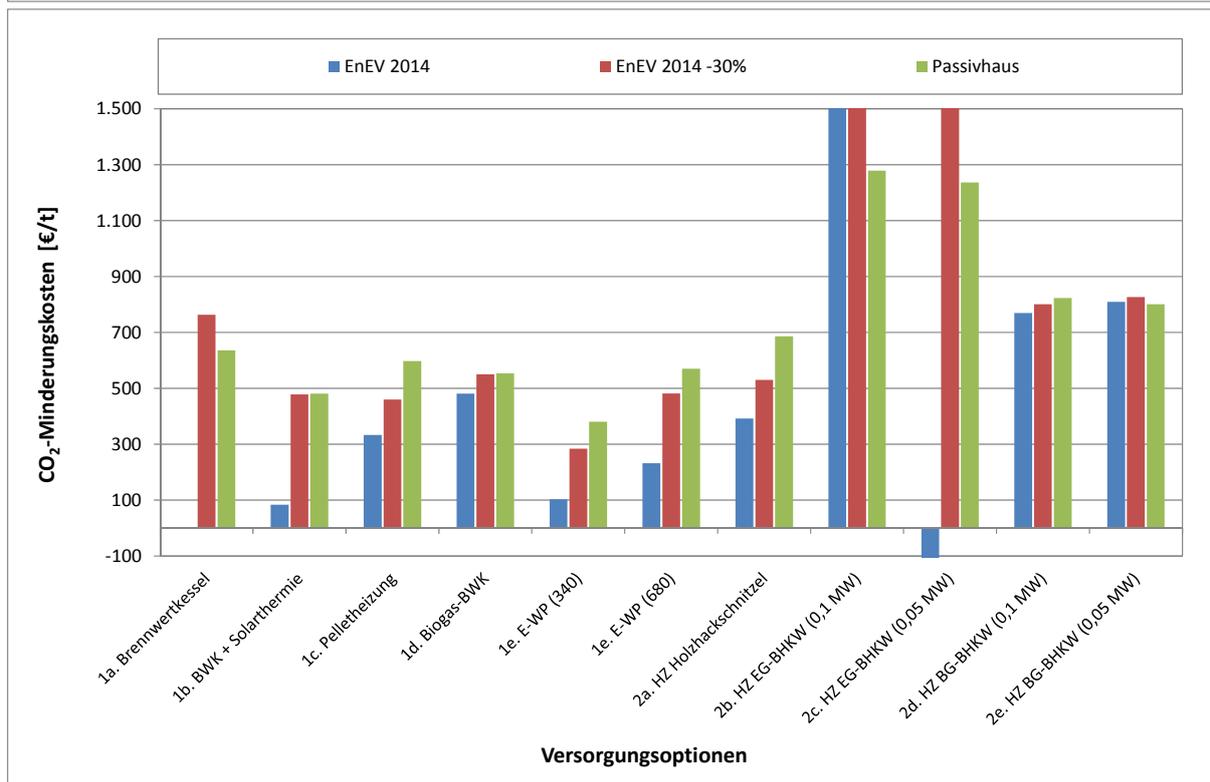
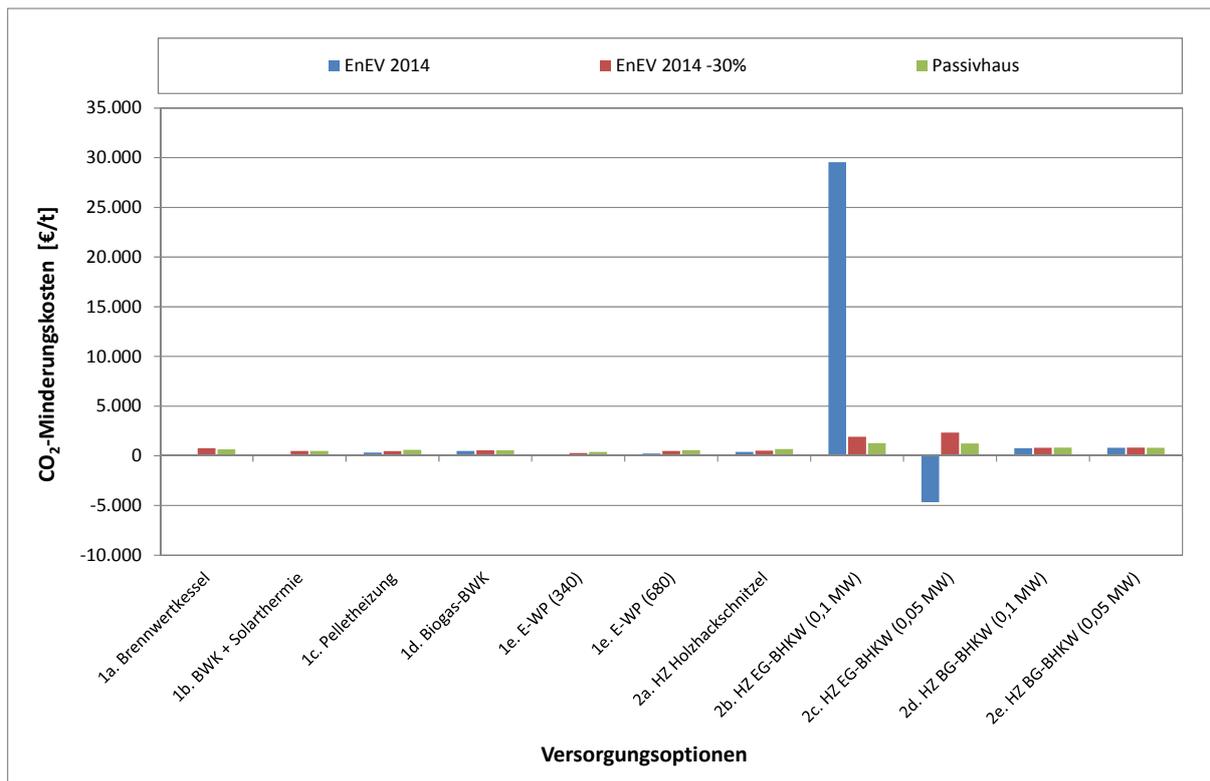


Abbildung 16: CO₂-Vermeidungskosten des Neubau-Quartiers B300 für die verschiedenen Versorgungsoptionen und Gebäudestandards gegenüber dem Szenario „EnEV 2014 mit Gasbrennwertkesseln“ bei „hohen Energiepreisen“ gemäß Tabelle 22 (= u.a. verdoppelte Kosten für Erdgas und Hackschnitzel sowie 50% höheren Kosten für Strom und Fernwärme).

Die in den vorstehenden Abbildungen ausgewiesenen CO₂-Vermeidungskosten vermitteln einen Eindruck, mit welchen Optionen sich Klimaschutz besonders wirtschaftlich umsetzen

lässt. Sie lassen aber noch keine Rückschlüsse darauf zu, wie viel Klimaschutz denn erreicht werden kann. Abbildung 17 weist daher die Mehrkosten in Abhängigkeit von der CO₂-Minderung aus. Die Werte für die unterschiedlichen Gebäudestandards innerhalb einer Versorgungsoption sind durch Linien verbunden.

Es sind drei Zonen unterschiedlicher Minderungskosten gekennzeichnet (bis 200 €/t, bis 400 €/t, bis 600 €/t).

Man erkennt, dass es unter 200 €/t überhaupt keine Optionen gibt. Im Feld von 200 bis 400 €/t liegen die schon erwähnten Optionen Solarthermie und elektrische Wärmepumpe, wobei mit letzteren fünfmal mehr CO₂ eingespart werden kann als mit Solaranlagen.

Es muss aber an dieser Stelle darauf verwiesen werden, dass elektrische Wärmepumpen, die allein für die Wärmeversorgung zur Verfügung stehen, das Backup-Problem in einer Stromerzeugung, die vorrangig auf erneuerbare Energien setzt, verschärft und hier unter Umständen zu zusätzlichen Kosten für neue gesicherte Leistung führen.

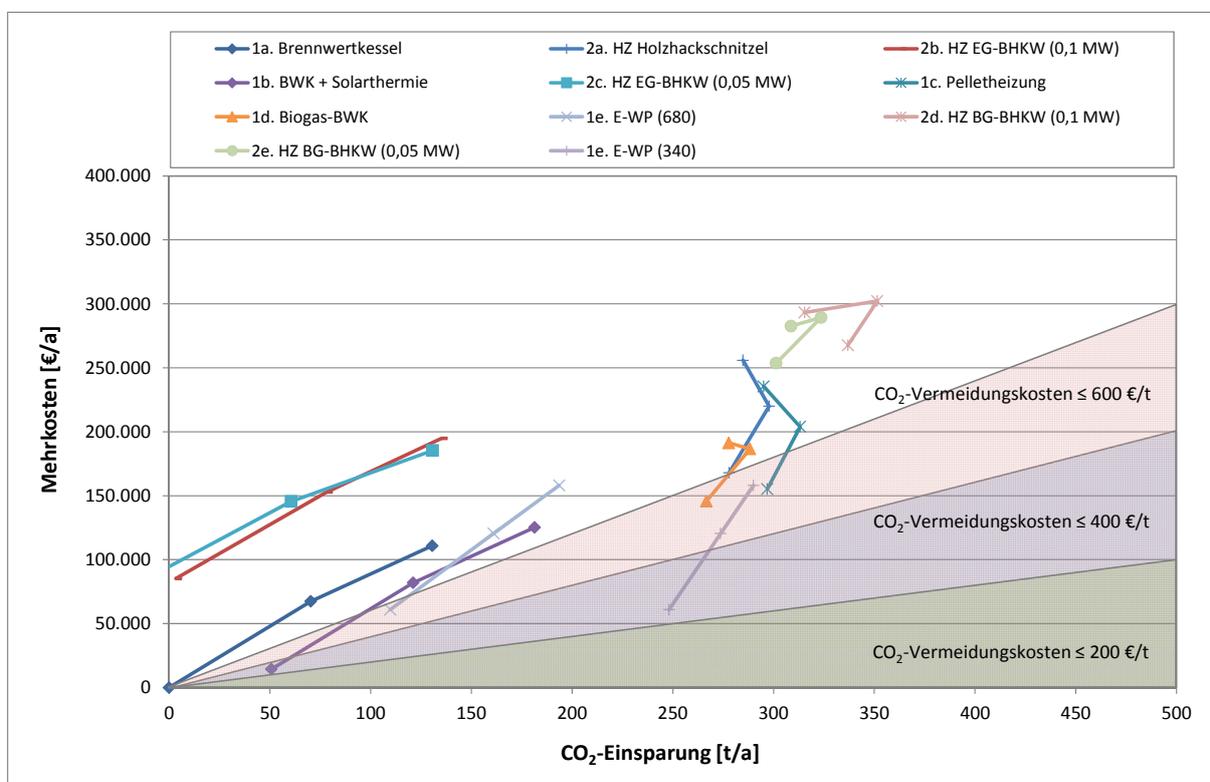


Abbildung 17: Mehrkosten der CO₂-Minderung des Neubau-Quartiers B300 versus eingesparte CO₂-Emissionen in verschiedenen Szenariengruppen.

Fazit

- Die Optionen „Wärmepumpe bei hohem Anteil erneuerbarer Energien (340 g CO₂ je Kilowattstunde)“ und Solarthermie in Verbindung mit dem Standard „EnEV 2014“ weisen das beste „Preis-Leistungs-Verhältnis“ auf. Ihr CO₂-Vermeidungskosten liegen knapp über 200 €/t.
- Alle Optionen mit verbessertem Gebäudestandard haben mindestens doppelt so hohe CO₂-Vermeidungskosten.
- Optionen mit Bioenergie haben zwar hohe Potentiale zur CO₂-Vermeidung, aber auch hohe CO₂-Vermeidungskosten jenseits von 500 €/t.
- Erdgas-BHKW haben hohe CO₂-Vermeidungskosten bei gleichzeitig geringem Vermeidungspotential.

4 Umsetzungsmöglichkeiten

4.1 Empfehlungen zum weiteren Vorgehen

Weitere Untersuchung Versorgungsvarianten

Erste Analysen haben ergeben, dass eine Kombination von Solarthermie und Elektrowärmepumpe zwar zusätzliche Minderungen der CO₂-Emissionen bewirken kann, dass aber erhebliche Konkurrenzeffekte auftreten. Dies konnte im Rahmen der vorliegenden Studie nicht näher untersucht werden. Weiterhin wurde nicht untersucht, welche Effekte ein sehr großer (saisonal) Speicher haben könnte.

Kombinationen von Solarthermie, elektrischer Wärmepumpe oder elektrischem Heizstab sowie großen Wärmespeichern könnten interessante Lösungen im Kontext einer übergreifenden Energiewende sein. Sie wurden hier nicht untersucht, weil sie zum gegenwärtigen Zeitpunkt mit zusätzlichen Kosten verbunden wären, die ein privater Investor vermutlich nicht zu tragen bereit wäre. Es ist aber durchaus vorstellbar, dass sich dafür Fördermittel einwerben ließen, sofern Interesse an derartigen Zukunftsprojekten besteht. Im Rahmen einer Fortsetzung des Projektes könnte diese von ZEBAU GmbH und arrhenius genauer analysiert werden.

Gebäudestandards

Erfahrungen aus vorhergehenden Projekten haben gezeigt, dass sich die Mehrkosten für die Gebäudeeffizienzstandards stark reduzieren lassen, wenn diese bereits bei der Planung von Beginn an definiert sind und berücksichtigt werden können sowie ein planungsbegleitendes Beratungsangebot geschaffen wird. Denn energetisch anspruchsvolle Gebäudestandards lassen sich in der Umsetzung nur erzielen, wenn eine zielgerichtete Architektur- und Gebäudetechnikplanung erfolgt. Es wird empfohlen eine Person oder Institution als Anlaufstelle einzusetzen, welcher Ziele und Anforderungen des Projektes an Architekten und Investoren vermittelt, die wesentlichen Erkenntnisse dieser Untersuchung in die Architekturplanung einfließen lässt und diese bereits in der Planungsphase berät. Insbesondere Fragen zum Energiekonzept, bautechnische Fragen aber auch in allgemeinen finanziellen Fragen z.B. Förderprogrammen können Gegenstand der Beratungen sein.

Durch die frühzeitige Berücksichtigung der energetischen Ziele, können Planungskosten und -zeiten verringert und Anforderungen an die Qualität der Umsetzung gewahrt werden.

Da sich energetische Anforderungen an den Gebäudebestand nicht im Bebauungsplan festschreiben lassen, wird darüber hinaus empfohlen diese in städtebaulichen Verträgen bei Verkauf der Grundstücke an den Investor festzuhalten.

Umsetzung

Neben den CO₂-Emissionen, die durch den Energiebedarf für Wärme und Strom erzeugt werden, werden auch durch die Erstellung, Transport und Verarbeitung von Baustoffen CO₂-Emissionen freigesetzt. Die Menge dieser Emissionen schwankt stark in Abhängigkeit der eingesetzten Baustoffe. Wenn man das städtische Ziel, bis zum Jahr 2040 CO₂-neutral zu sein, streng verfolgt, sollte bei der Umsetzung des Quartiers auf den Einsatz von nachwachsenden Baustoffen geachtet. Die ZEBAU GmbH wäre bei der Vorbereitung von Ausschreibungen bzw. städtebaulichen Verträgen behilflich entsprechende Vorgaben zu definieren.

ANHÄNGE

Abkürzungen und Glossar

€	Euro
€/MWh	Euro je Megawatt-Stunde 1 €/MWh = 1/10 ct/kWh
a	Jahr
BHKW	Blockheizkraftwerk
ct	Euro-Cent
ct/kWh	Euro-Cent je Kilowatt-Stunde
EnEV	Energieeinsparverordnung
GuD	Gas- und Dampfturbinen(-Kraftwerk)
GW	Gigawatt = 1.000 MW
GWh	Gigawatt-Stunde = 1.000 MWh
h	Stunde
HZ	Heizzentrale
kW	Kilowatt = 1.000 Watt
kWh	Kilowatt-Stunde = 1.000 Wattstunden
M€	Millionen €
MW	Megawatt = 1.000 kW
MWh	Megawatt-Stunde = 1.000 kWh
MWh _{th}	Megawatt-Stunde (thermischer Energiegehalt, z.B. bei Methan)
n ₅₀ -Wert	Luftwechselrate
STH	Solarthermie
TWh	Terawatt-Stunde = 1 Million MWh
W	Watt (elektrische Leistung)
Wh	Watt-Stunden (physikalische Arbeit)

Größenordnungen

c	Centi = 10 ⁻²
k	Kilo = 10 ³
M	Mega = 10 ⁶
G	Giga = 10 ⁹
T	Tera = 10 ¹²

Referenzen

BKI Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern GmbH, 2012: BKI Baukosten Gebäude 2012: Statistische Kostenkennwerte Teil1. Stuttgart, 2012.

Energie Agentur NRW, 2008: Planungsleitfaden. 50 Solarsiedlungen in Nordrhein-Westfalen.

Öko-Institut, 2008: U. Fritsche, L. Rausch, Bestimmung spezifischer Treibhausgas-Emissionsfaktoren für Fernwärme, Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes, Forschungsbericht Nr. 360 16 008, Dessau, Mai 2008.

Stadt Norderstedt, 2013: Begründung zum Bebauungsplan Nr. 300 Norderstedt "Westlich Lawaetzstraße", Stand 19. März 2013

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1: Warmwasserbedarf der Szenarien	14
Tabelle 2: Warmwasserbedarf pro Wohneinheit	14
Tabelle 3: Jährlicher Heizwärmebedarf der betrachteten Szenarien	16
Tabelle 4: Jährlicher Heizwärmebedarf pro m ² Nutzfläche	16
Tabelle 5: Jährlicher Hilfsstrombedarf für den Betrieb der Anlagen	17
Tabelle 6: Übersicht der jährlichen Nutzenergiebedarfe	17
Tabelle 7: Baukosten pro m ² Nutzfläche	17
Tabelle 8: Jährlicher Heizwärmebedarf der betrachteten Szenarien im verbesserten Neubaustandard	18
Tabelle 9: Jährlicher Heizwärmebedarf der betrachteten Szenarien im Vergleich zum Neubaustandard 2014	19
Tabelle 10: Jährlicher Heizwärmebedarf pro m ² Nutzfläche bei Neubaustandard 2017	19
Tabelle 11: Jährlicher Hilfsstrombedarf für den Betrieb der Anlagen	20
Tabelle 12: Baukosten pro m ² Nutzfläche	20
Tabelle 13: Jährlicher Heizwärmebedarf der betrachteten Szenarien im verbesserten Neubaustandard	21
Tabelle 14: Jährlicher Heizwärmebedarf pro m ² Nutzfläche	22
Tabelle 15: Jährlicher Heizwärmebedarf der betrachteten Szenarien im Vergleich zum Neubaustandard 2014	22
Tabelle 16: Jährlicher Hilfsstrombedarf für den Betrieb der Anlagen	22
Tabelle 17: Jährlicher Hilfsstrombedarf für den Betrieb der Anlagen im Vergleich zum Neubaustandard 2014	23
Tabelle 18: Baukosten pro m ² Nutzfläche	23
Tabelle 19: Ausgewählte Versorgungsoptionen für das Neubau-Quartier.	28
Tabelle 20: Annahmen zu technischen Daten der ausgewählten Versorgungsoptionen	29
Tabelle 21: Spezifische CO ₂ -Emissionen der eingesetzten Endenergieformen (Quelle: Gemis).	30
Tabelle 22: Basiswerte für die Netto-Preise der eingesetzten Endenergieformen (eigene Abschätzungen).	32

Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1: Städtebaulicher Entwurf	5
Abbildung 2: Übersicht Baufelder	6
Abbildung 3: Unterschiedliche Gebäudekubaturen	9
Abbildung 4: verdichteter Entwurf mit Stadtvillen	11
Abbildung 5: Entwurf mit Blockrandbebauung	11
Abbildung 6: Entwurf mit Zeilenbebauung	12
Abbildung 7: Nutzenergiebedarf für das gesamte Neubau-Quartier B300 nach Nutzungszwecken (inkl. Verteilungsverluste in den Gebäuden).	25
Abbildung 8: Endenergiebedarf des Neubau-Quartiers B300 der ausgewählten Versorgungsoptionen für verschiedene Gebäudestandards (= Einsatz von Erdgas, Strom etc. für Raumwärme, Warmwasser und Hilfsenergie).	30
Abbildung 9: CO ₂ -Emissionen der ausgewählten Versorgungsoptionen des Neubau- Quartiers B300 für verschiedene Gebäudestandards.	31
Abbildung 10: Jährliche Energiekosten des Neubau-Quartiers B300 für die verschiedenen Versorgungsoptionen und Gebäudestandards, bestehend aus Energiebezugskosten, Kosten der Energieanlage und Mehrkosten des Gebäudestandards (Grundlage: Basiswerte der Energiepreise).	33
Abbildung 11: Jährliche Energiekosten des Neubau-Quartiers B300 für die verschiedenen Versorgungsoptionen des Gebäudestandards „EnEV 2014“ nach Kostenblöcken.	34
Abbildung 12: Jährliche Energiekosten des Neubau-Quartiers B300 für die verschiedenen Versorgungsoptionen des Gebäudestandards „EnEV 2014 -30%“ nach Kostenblöcken.	34
Abbildung 13: Jährliche Energiekosten des Neubau-Quartiers B300 für die verschiedenen Versorgungsoptionen des Gebäudestandards „Passivhaus“ nach Kostenblöcken.	35
Abbildung 14: Jährliche Energiekosten des Neubau-Quartiers B300 für die verschiedenen Versorgungsoptionen und Gebäudestandards bei „hohen Energiepreisen“ gemäß Tabelle 22 (= u.a. verdoppelte Kosten für Erdgas und Hackschnitzel sowie 50% höheren Kosten für Strom und Fernwärme).	36
Abbildung 15: CO ₂ -Vermeidungskosten des Neubau-Quartiers B300 für die verschiedenen Versorgungsoptionen und Gebäudestandards gegenüber dem Szenario „EnEV 2014 mit Gasbrennwertkesseln“.	37
Abbildung 16: CO ₂ -Vermeidungskosten des Neubau-Quartiers B300 für die verschiedenen Versorgungsoptionen und Gebäudestandards gegenüber dem Szenario „EnEV 2014 mit Gasbrennwertkesseln“ bei „hohen Energiepreisen“ gemäß Tabelle 22 (= u.a. verdoppelte Kosten für Erdgas und Hackschnitzel sowie 50% höheren Kosten für Strom und Fernwärme).	39
Abbildung 17: Mehrkosten der CO ₂ -Minderung des Neubau-Quartiers B300 versus eingesparte CO ₂ -Emissionen in verschiedenen Szenariengruppen.	40