



Planung und Entwicklung  
Gesellschaft mbH  
Schellingstraße 4/2  
72072 Tübingen  
Telefon 0 70 71 93 94 0  
Telefax 0 70 71 93 94 99  
mail@eboek.de  
www.eboek.de

# Klimagerechte Pilotsiedlung Marienhöhe Stadt Erfurt

## Städtebauliche Optimierung und Energiekonzept

Datum des Berichts: 17.10.2014  
im Auftrag von: Landeshauptstadt Erfurt, Stadtverwaltung  
Projektleitung: Dipl.-Ing. Olaf Hildebrandt  
Inhaltliche Bearbeitung: Dipl.-Ing. Olaf Hildebrandt  
Dipl.-Ing. Kathrin Judex  
Dipl.-Phys. Nadine Roth



## Inhaltsverzeichnis

<b>1 Aufgabenstellung</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Zusammenfassung der Ergebnisse</b> .....	<b>2</b>
<b>3 Methodik</b> .....	<b>5</b>
3.1 Energiekennwert-Berechnung .....	5
3.2 Wirtschaftlichkeit .....	5
3.3 Rechnerische Grundlagen.....	7
<b>4 Städtebauliche Analyse</b> .....	<b>12</b>
4.1 Baugebiet.....	12
4.2 Mustergebäude .....	13
4.3 Kompaktheit, Orientierung und Verschattung .....	14
4.3.1 Abschnitt Nord .....	15
4.3.2 Abschnitt Mitte .....	15
4.3.3 Abschnitt Süd .....	18
4.3.4 Ergebnis .....	19
<b>5 Energieversorgungskonzept</b> .....	<b>20</b>
5.1 Datengrundlage.....	21
5.1.1 Energiebezugsflächen für das Baugebiet Marienhöhe .....	21
5.1.2 Endenergiebedarf und Heizlast für das Baugebiet .....	21
5.2 Vorkommen Energiequellen .....	22
5.3 Nahwärmeversorgung .....	24
5.3.1 Netzausbaustufen .....	25
5.3.2 Vergleich der zentralen Wärmeerzeugungsvarianten.....	33
5.3.3 Fazit und Empfehlungen .....	37
5.4 Mustergebäude Wärmeversorgung .....	37
5.4.1 Untersuchte Versorgungsvarianten.....	38
5.4.2 Mustergebäude Einfamilienhaus.....	38
5.4.3 Mustergebäude Mehrfamilienhaus .....	45
5.5 NO <sub>x</sub> -Emissionen .....	49
<b>6 Gesamtbilanzen</b> .....	<b>54</b>

<b>7 Zusammenfassung und Empfehlungen</b> .....	<b>58</b>
<b>8 Umsetzung</b> .....	<b>60</b>
8.1 Energetische Ziele .....	60
8.2 Empfehlungen zur Umsetzung .....	60
8.3 Umsetzungsstrategien .....	61
8.3.1 Bindende Vorgaben im Bebauungsplan.....	62
8.3.2 Anschluss- und Benutzungszwang .....	63
8.3.3 Bindende Vereinbarung in Verträgen.....	65
8.3.4 Motivation, Marketing und Information .....	66
8.4 Vorschläge für vertragliche Bindungen.....	72
8.5 Einhaltung von Bindungen .....	74
8.6 Bereits erfolgte Umsetzungen.....	76
<b>9 Anhang</b> .....	<b>78</b>
9.1 Begriffe und Energetische Größen.....	78
9.2 Städtebauliche Einflussfaktoren .....	80
9.3 Energetische Standards und Anforderungen.....	82
9.3.1 Gesetzlicher Standard Energieeinsparverordnung.....	82
9.3.2 Überblick und weitergehende Standards .....	83
9.3.3 Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) .....	85
9.4 Bauweisen .....	86
9.5 Energieversorgung.....	88
9.5.1 Nahwärmeversorgung .....	89
9.5.2 Blockheizkraftwerke.....	90
9.5.3 Wärmepumpen.....	91
9.5.4 Erdwärmenutzung .....	93
9.5.5 Kompaktaggregat.....	95
9.6 Beispiele aus anderen Städten / Gemeinden .....	96
9.6.1 Beispiel Bahnstadt Heidelberg:.....	97
9.6.2 Beispiel Würzburg – neuer Stadtteil „Hubland“: .....	99
9.6.3 Beispiel Esslingen am Neckar - Baugebiet Weststadt.....	101
9.6.4 Modellvorhaben Stuttgart - „Wohnen am Veielbrunnen – LowEnergy als Standortfaktor“ .....	103
9.6.5 Resumée.....	105
<b>10 Literatur</b> .....	<b>107</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Lage des Baugebiets in der Stadt Erfurt.....	12
Abb. 2	Städtebauliches Konzept für das Baugebiet Marienhöhe vom Büro raumwerk, Gebietsabschnitte und ausgewählte Mustergebäude.....	13
Abb. 3	Mustergebäude im Abschnitt Nord .....	15
Abb. 4	Mustergebäude im Abschnitt Mitte .....	15
Abb. 5	Mindestabstände zur Südfassade von RH_1.....	16
Abb. 6	Städtebauliche Optimierung für das RH_2 .....	16
Abb. 7	Städtebaulichen Optimierung für das PKT .....	17
Abb. 8	Mustergebäude im Abschnitt Süd.....	18
Abb. 9	Geändertes städtebauliches Konzept des Büros raumwerk mit den empfohlenen Optimierungsvorschlägen .....	19
Abb. 10	Gliederung des Baugebietes Marienhöhe zur Untersuchung der Nahwärmevarianten .....	25
Abb. 11:	erste Netzauslegung zur Ermittlung der Rohrdurchmesser und Leitungslängen.....	27
Abb. 12:	Der Standort für die Heizzentrale ist überall entlang der Verbindungsleitung (rot) denkbar. ....	28
Abb. 13	Nutz- und Endenergie der Netzausbaustufen.....	29
Abb. 14	Investitionskosten der Netzausbaustufen .....	30
Abb. 15	resultierende Wärmepreise (ohne Baukostenzuschuss) der Netzausbaustufen .....	31
Abb. 16	resultierender Wärmepreis (mit Baukostenzuschuss) der Netzausbaustufen .....	32
Abb. 17:	Übersicht Abschätzung Investitionskosten der unterschiedlichen Nahwärmeversorgungsvarianten.....	34
Abb. 18	Resultierender Wärmepreis (mit Baukostenzuschuss) .....	35
Abb. 19:	Ergebnisse der CO <sub>2</sub> -Bilanz für das Gesamtgebiet Marienhöhe in unterschiedlichen Versorgungsvarianten.....	36
Abb. 20:	Übersicht Investitionskosten in Gebäudehülle und Haustechnik (Gebäudehülle Mehrkosten) für Gebäudetyp EFH_1 bei den verschiedenen Versorgungsvarianten und Baustandards.....	39
Abb. 21	Nutz- und Endenergie des EFH_1 bei unterschiedlichen Versorgungsvarianten und Baustandards .....	41
Abb. 22:	Wirtschaftlichkeitsberechnung des Gebäudetyps EFH. Die Berechnung beinhaltet Mehrkosten zur Erlangung des energetischen Standards, Kosten der Haustechnik sowie Verbrauchskosten. Energiepreissteigerung 6,92 % p.a. ....	42
Abb. 23:	Ergebnisse CO <sub>2</sub> -Bilanz für das EFH. Vergleich verschiedener Versorgungs- und Einsparvarianten. ....	43
Abb. 24:	Übersicht Investitionskosten in Gebäudehülle und Haustechnik (Gebäudehülle Mehrkosten) für Gebäudetyp BR_1 bei den verschiedenen Versorgungsvarianten und Baustandards.....	45

Abb. 25	Nutz- und Endenergie des BR_1 bei unterschiedlichen Versorgungsvarianten und Baustandards .....	46
Abb. 26:	Wirtschaftlichkeitsberechnung des Gebäudetyps BR_1. Die Berechnung beinhaltet Mehrkosten zur Erlangung des energetischen Standards, Kosten der Haustechnik sowie Verbrauchskosten. Energiepreissteigerung 6,92 % p.a.....	47
Abb. 27:	Ergebnisse CO <sub>2</sub> -Bilanz für das BR_1. Vergleich verschiedener Versorgungs- und Einsparvarianten.....	48
Abb. 28	Gesamtbilanz zur Endenergie mit Passivhaus-Standard.....	55
Abb. 29	Gesamtbilanz zu den CO <sub>2</sub> -Emissionen mit Passivhaus-Standard.....	56
Abb. 30:	Gesamtbilanz zu den CO <sub>2</sub> -Emissionen mit EffH55-Standard.....	57
Abb. 31:	Beispiel direkte Förderung der Stadt Heidelberg (Stand 2014) – Auszug aus der Broschüre <a href="http://www.heidelberg.de/hd,Lde/HD/Leben/Foerderprogramm+Rationelle+Energieverwendung.html">http://www.heidelberg.de/hd,Lde/HD/Leben/Foerderprogramm+Rationelle+Energieverwendung.html</a> .....	66
Abb. 32:	Beispiel Informationsveranstaltung: Sommerakademie Tuttlingen (2008).....	67
Abb. 33:	Beispiel Gutschein für direkte Beratung (hier Bauherren in Tübingen-Hirschau) .....	68
Abb. 34:	Tag des Passivhauses. Infos unter <a href="http://www.ig-passivhaus.de">http://www.ig-passivhaus.de</a> .....	68
Abb. 35:	Passivhausprojekte in Erfurt aus der Datenbank <a href="http://Passivhausprojekte.de">Passivhausprojekte.de</a> (Stand 3/2014) .....	69
Abb. 36:	Infobroschüren der Stadt Heidelberg zum neuen Stadtteil Bahnstadt . .....	70
Abb. 37:	Auszug: Flyer zur Öffentlichkeitsbeteiligung „Energie“ in Würzburg .....	71
Abb. 38:	Überblick: A/V-Verhältnis ausgewählter Kubaturen (Quelle GoSol Dr. Goretzki, [PlanSonne]) .....	78
Abb. 39:	Berechnung des Energiebedarfs in Richtung der Bedarfsentwicklung sowie Bilanzgrenzen (Quelle [DIN V 4701-10:2003]) .....	79
Abb. 40:	Einflussfaktoren auf den Energieverbrauch und die Emissionen einer Stadt bzw. Siedlung .....	81
Abb. 41:	Überblick wärmetechnische Standards in Deutschland (Quelle: BINE, ebök) .....	83
Abb. 42:	Übersicht der energetischen Anforderungen für die KfW-Effizienzhäuser .....	84
Abb. 43:	Wesentliche Teile eines Nahwärmeversorgungssystems.....	89
Abb. 44:	Energiebilanz eines Blockheizkraftwerkes .....	91
Abb. 45:	Prinzip einer Wärmepumpe (Quelle VDEW) .....	92
Abb. 46:	Schema eines geothermischen Kraftwerks zur Stromerzeugung .....	93
Abb. 47:	Wärmepumpe mit Erdwärmesonde.....	95
Abb. 48:	Das Prinzip eines Kompaktaggregats – hier in Kombination mit Erdreichwärmetauscher und Solarkollektor.....	96

Abb. 49 Luftbild mit Modell der Bahnstadt Heidelberg; Quelle: Amt für Umweltschutz, Gewerbeaufsicht und Energie (Vortragsmanuskript) .....	97
Abb. 50 Ergebnisse der Nutzenergie-, Endenergie-, Primärenergie- und CO <sub>2</sub> -Bilanz für die Bahnstadt. Vergleich verschiedener Versorgungsvarianten (Quelle: Energiekonzept für die Bahnstadt 2007).....	98
Abb. 51 Städtebauliches Konzept Würzburg-Hubland (Quelle: Stadt Würzburg .....	99
Abb. 52 CO <sub>2</sub> -Bilanzen für Wärme und Strom für verschiedene Einspar- und Versorgungsvarianten und Kompensationsmöglichkeiten der verbleibenden CO <sub>2</sub> -Emissionen durch eine regenerative Stromerzeugung in und in der Nähe des Quartiers.....	101
Abb. 53 CO <sub>2</sub> -Bilanzen für Wärme, Kälte und Strom für verschiedene Einspar- und Versorgungsvarianten und Kompensationsmöglichkeiten der verbleibenden CO <sub>2</sub> -Emissionen durch den Einsatz PV im Quartier (Quelle: Vortrag von Herrn Broll, EGS-plan, Stuttgart).....	102
Abb. 54 Masterplan Büro Pesch und Partner, Stand 2009.....	103
Abb. 55 CO <sub>2</sub> -Bilanz des Baugebietes NeckarPark Stuttgart für Wärme und Strom für verschiedene Einspar- und Versorgungsvarianten.....	104

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1	Verwendete Primärenergiefaktoren und CO <sub>2</sub> -Äquivalente.....	8
Tab. 2:	Energietarife. Alle Preise ohne MwSt. (netto).....	10
Tab. 3	Daten der Mustergebäude .....	14
Tab. 4	Solare Gewinne und Energiekennwert nach PHPP für BR_1 und BR_2 .....	15
Tab. 5	Solare Gewinne und Energiekennwerte nach PHPP für RH_1.....	16
Tab. 6	Solare Gewinne und Energiekennwerte nach PHPP für RH_2 im Entwurf und nach städtebaulicher Optimierung.....	17
Tab. 7	Solare Gewinne und Energiekennwerte nach PHPP für das PKT im Entwurf und nach städtebaulicher Optimierung .....	17
Tab. 8	Solare Gewinne und Energiekennwerte nach PHPP für das PKT im Entwurf und nach städtebaulicher Optimierung .....	18
Tab. 9:	Energiebezugsflächen für das Baugebiet Marienhöhe .....	21
Tab. 10:	Endenergiebedarf und Heizlast Marienhöhe bei flächendeckendem Passivhaus-Standard.....	21
Tab. 11:	Vorkommen und qualitative Bewertung der Energiequellen am Standort Marienhöhe .....	22
Tab. 12	Kenndaten zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit der Netzausbauvarianten.....	26
Tab. 13	Übersicht der Parameter der untersuchten Versorgungsvarianten .....	33
Tab. 14	Übersicht der CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktoren der Nahwärmeversorgungsvarianten .....	37
Tab. 15:	Kenndaten Erdgas-BHKW – sortiert nach NO <sub>x</sub> .....	51
Tab. 16:	Bindende Vorgabe im Bebauungsplan.....	63
Tab. 17:	Anschluss- und Benutzungszwang .....	64
Tab. 18:	Bindende Vereinbarung in Verträgen.....	65
Tab. 19:	Förderung, Information, Motivation .....	71



# 1 Aufgabenstellung

Das Neubaugebiet Marienhöhe der Stadt Erfurt soll als klimagerechte Pilotsiedlung entwickelt werden. Unter der Beachtung ökonomischer Kriterien soll ein Quartier entstehen, von dem ein möglichst niedriger CO<sub>2</sub>-Ausstoß ausgeht. Dieses Ziel kann durch die Realisierung energieeffizienter Gebäude und den Einsatz emissionsarmer erneuerbarer Energien erreicht werden. Weiterhin wird für die Wärmeversorgung der Aufbau einer quartiersbezogenen Nahwärmeversorgung angestrebt.

Mit den oben genannten Zielen wurde ein Wettbewerbsverfahren durchgeführt, aus dem das Büro raumwerk aus Frankfurt am Main als erster Preisträger hervorging. Der bereits unter energetischen Gesichtspunkten gut entwickelte städtebauliche Entwurf soll hinsichtlich Kompaktheit, Gebäudeabstände und Gebäudeausrichtung weiter optimiert werden.

Für das Quartier sollen die Möglichkeiten einer zentralen oder dezentralen Wärmeversorgung aufgezeigt sowie der Einsatz von regenerativen Energiequellen untersucht werden. Für mögliche Kombinationen von Wärmeschutz und Gebäudetechnik sollen Wirtschaftlichkeit und Umweltwirkung aufgezeigt werden. Daraus sollen auch Vorschläge für mögliche wärmetechnische Standards abgeleitet werden.

Grundlagen zur städtebaulichen Optimierung und zur Energieversorgung finden sich kompakt im Anhang, ebenso die Klärung von Begriffen und Methoden.

## 2 Zusammenfassung der Ergebnisse

Im Rahmen des Energiekonzeptes für das Baugebiet Marienhöhe wurden realisierbare energetische Baustandards und verschiedene Varianten zur Wärmeversorgung ökonomisch und ökologisch untersucht.

Die im städtebaulichen Entwurf unter Zugrundelegung der Vorgaben des städtebaulichen Konzepts erreichte kompakte Baustruktur mit einer konsequenten Orientierung der Gebäude nach Süden zur Nutzung der aktiven und passiven Solargewinne schafft bereits gute Voraussetzungen für die Realisierung hochwertiger baulicher Energiestandards.

Im ersten Schritt des Energiekonzeptes wurden die städtebaulichen Indikatoren Dichte, Kompaktheit, Ausrichtung und weitgehende Verschattungsfreiheit der Baukörper in einem kooperativen Planungsprozess weiter optimiert und verbessert.

Passivhäuser sind mit vertretbarem Dämmaufwand überwiegend, in wenigen Teilbereichen mit etwas erhöhtem Aufwand möglich. Die erste Empfehlung lautet daher, alle Neubauten als Passivhäuser, mindestens jedoch nach dem Energiestandard des KfW-Förderprogrammes Effizienzhaus 55 (EffH55) zu realisieren.

Im zweiten Schritt wurde der Aufbau eines Nahwärmenetzes und einer emissionsarmen Wärmeversorgung untersucht. Das Ergebnis ist, dass sowohl der Passivhausstandard als auch der Aufbau eines geeigneten Nahwärmenetzes für das Gesamtgebiet wirtschaftlich darstellbar und sinnvoll sind.

Der Anschluss des Gebietes an die Fernwärme Erfurt scheidet aus wirtschaftlichen Gründen für die Stadtwerke Erfurt aus. Ebenso ist momentan keine flächendeckende Gasversorgung für dezentrale Verbrennungsanlagen vorgesehen. Der Energieträger Holz scheidet aufgrund eines Feststoffverbrennungsverbotes aus. Für die Nutzung der Abwasserwärme mit einer Wärmepumpe steht kein ausreichender Abwasserkanal zur Verfügung. Für die Nutzung von hydrothormaler Tiefengeothermie mit einer Bohrtiefe zwischen 1.400 und 1.700m sind die Investitionen sehr hoch und das Risiko einer Fehlbohrung ist nicht abzusichern.

Untersucht wurden als Wärmequellen daher verschieden Varianten der Wärmekraftkopplung (BHKW) und eine hydrothermale Anlage mit 450m Bohrtiefe bzw. eine Kombination von beiden Quellen.

Eine Nahwärmeversorgung mit einem Biomethan-Blockheizkraftwerk (BHKW) führt zu den niedrigsten CO<sub>2</sub>-Emissionen und dem geringsten Wärmepreis. Ursache ist das gute Verhältnis zwischen dem Biomethanbezugspreis und der Stromvergütung nach dem aktuellen EEG.

Auch gegenüber den dezentralen Versorgungsvarianten, wie z.B. Luft-Wasser-Wärmepumpen, Erdwärmesonden, Gas-Brennwertanlage mit Solarthermie oder bei Mehrfamilienhäusern mit einem eigenen kleinen BHKW, weist die Biomethan-Nahwärmeversorgung die niedrigsten (oder bei den Mehrfamilienhäusern vergleichbare) jährlichen Kosten auf.

Biomethan kann über das vorhandene Gasnetz der Stadtwerke Erfurt Gruppe (SWE) bezogen werden. Der Anschluss einer Energiezentrale auf dem Baugebiet Marienhöhe an das städtische Gasnetz und der Aufbau einer zentralen Nahwärmeversorgung mit Biomethan-BHKW sind versorgungstechnisch machbar.

Aus Gutachtersicht wird für das Gesamtgebiet Marienhöhe der Aufbau eines Nahwärmenetzes mit Biomethan-BHKW in Kombination mit dem Passivhausstandard für Einfamilienhäuser bzw. dem Effizienzhaus55-Standard oder Passivhausstandard für die Mehrfamilienhäuser empfohlen.

Aus Sicht potentieller Betreiber wird von der SWE Energie GmbH aufgrund der geringen baulichen Dichte für den Bereich C eine Wirtschaftlichkeit nicht gesehen. (Schreiben vom 02.10.2014). Soweit sich im weiteren Planungsprozess im Bereich C eine höhere bauliche Dichte ergeben sollte, ist die Vorzugsvariante Nahwärmeversorgung aus einem Biomethan-BHKW für den Bereich C erneut zu prüfen.

Unter Zugrundelegung der derzeitigen baulich Dichte im Bereich C wird für diesen Bereich empfohlen: dezentrale Variante KfW Effizienzhausstandard 55 oder Passivhausbauweise mit Erdwärmesonden-WP oder alternative dezentrale Wärmeversorgungskonzepte, die nachweislich gleiche oder geringere CO<sub>2</sub> Emissionen gewährleisten (nach Prüfung eines Gutachters im Auftrag der Stadt auf Kosten des Antragstellers).

Das Energiekonzept für das Quartier beinhaltet zwei weitere Effizienzbausteine, um den ökologischen Fußabdruck der CO<sub>2</sub>-Emissionen so niedrig wie möglich zu halten: Zum einen die Umsetzung eines Stromsparkonzepts mit dem Einsatz von marktbesten Effizienztechnologien für den Technikstrom, Haushalts- und Gewerbegeräte, Lichtstrom und Straßenbeleuchtung. Zum anderen kann ein Teil der CO<sub>2</sub>-Emissionen durch den Einsatz von PV-Module auf allen geeigneten Dachflächen kompensiert werden.

Für das Gebiet wurde eine Gesamt-CO<sub>2</sub>-Bilanz erstellt: Basis ist ein fiktiver Referenzzustand, in dem das Gebiet mit dezentralen Gas-Brennwert-Anlagen und solar unterstützter Warmwassererwärmung versorgt wird und die Gebäude im Referenz-Standard der EnEV2009 erstellt werden. Im Folgenden sind die vier Schritte auf dem Weg zur klimagerechte Pilotsiedlung Marienhöhe quantifiziert:

1. Hinsichtlich der CO<sub>2</sub>-Emissionen führt im ersten Schritt bereits die Verbesserung des Baustandards auf **Passivhausstandard und KfW-Effizienzstandard 55** zu einer CO<sub>2</sub>-Reduktion von gut 50%.
2. In Verbindung mit der flächendeckenden Nahwärmeversorgung **Biomethan-BHKW** im Bereich A/B und im Bereich C bezüglich der CO<sub>2</sub>-Bilanz gleichwertige dezentrale Versorgungsvariante kann eine Gesamt-CO<sub>2</sub>-Reduktion von ca. 67% erzielt werden.
3. Durch eine Ausstattung aller geeigneten Dachflächen mit **PV-Modulen** wird eine CO<sub>2</sub>-Emissionsreduktion von gut 70% erreicht.
4. Mit dem Einsatz **stromsparender Haushaltsgeräte** kann eine Gesamt-CO<sub>2</sub>-Reduktion von über 80% erzielt werden.

Das Nahwärmenetz sollte für das Baugebiet "Marienhöhe" zumindest im Bereich A/B flächendeckend aufgebaut werden, da dessen wirtschaftliche Realisierbarkeit wesentlich von der Wärmedichte abhängt. Eine Verknüpfung mit dezentralen Versorgungsoptionen würde die Wärmedichte in diesen Bereichen reduzieren ebenso wie der Einsatz von Kaminöfen, die aber ohnehin durch das Feststoffverbrennungsverbot ausgeschlossen sind, und solarthermischen Anlagen. Letztere sollten zugunsten von Photovoltaik ausgeschlossen werden (siehe auch Schreiben des potentiellen Betreibers SWE Energie GmbH vom 02.10.2014).

Die **Umsetzung** der energetischen Gebäudestandards sollte flächendeckend gewährleistet sein, ebenso der Anschluss an die Nahwärme und der Einsatz von PV-Modulen. Eine verbindliche Verpflichtung der Bauherren und Bauträger über städtebauliche oder privatrechtliche Verträge wird empfohlen. Ein Anschluss- und Benutzungsgebot für die Nahwärme lässt sich ggf. auch über öffentliches Recht z.B. als Satzung nach der Thüringischen Gemeinde- und Landkreisordnung aufstellen und absichern.

Beim Thema Stromsparen ist ein direkter Zugriff auf die Entscheidungsträger und damit eine 100%ige Umsetzung ausgesprochen schwer zu erreichen. Das Thema muss konsequent an die Investoren und Nutzer herangetragen werden. Es sollte darauf hingewirkt werden, dass Kaufentscheidungen z.B. bei Haushaltsgroßgeräten auch nach Effizienzkriterien getätigt werden.

Daher empfehlen wir einen Maßnahmenmix über die verbindlichen Vorgaben hinaus bestehend aus Motivation, Marketing, Anreizpaketen und Informationsangeboten, damit die „klimagerechte Pilotsiedlung Marienhöhe“ keine leere Formel bleibt.

## 3 Methodik

Im Rahmen des Energiekonzepts wurde folgende Berechnungsmethodik verwendet:

- Energiekennwerte Heizwärme nach dem Verfahren der EnEV sowie Passivhaus-Vorprojektierung [PHVP] (erweiterte Fassung zur Berücksichtigung von Verschattungen und Heizlast).
- Wirtschaftlichkeitsberechnungen in Anlehnung an [VDI 2067-1] bzw. den Leitfaden energiebewusste Gebäudeplanung [LEG 95]

### 3.1 Energiekennwert-Berechnung

Energiekennwerte werden mit dem Verfahren nach Energieeinsparverordnung [EnEV 2009] in Verbindung mit dem Tabellenverfahren der Anlagenbewertung nach [DIN V 4701-10:2003] nachgewiesen. Im Bereich des energetischen Standards von Passivhäusern werden Energiekennwerte basierend auf dem Verfahren nach [PHVP] berechnet. Hierbei wird auch die Verschattungssituation im städtebaulichen Kontext unter Zugrundelegung einer konkreten Kubatur berücksichtigt. Die Bewertung wird anhand von Mustergebäuden vorgenommen.

Der bauliche Aufwand wird durch die „äquivalente Dämmstoffdicke“ veranschaulicht. Der Wert gibt an, mit welchen Dämmstoffdicken (ohne Berücksichtigung des Wärmewiderstands einer Massivwand oder Wärmeleitung eines Holzständerwerks) zu rechnen ist, wenn ein bestimmter energetischer Standard unter den gegebenen städtebaulichen Aspekten eingehalten werden soll. Neben der Dämmstoffstärke der Außenwand werden der Wärmeschutz in Dach, Boden und Fenstern in der Berechnung angepasst, außerdem spielt die Güte der Haustechnik eine Rolle.

### 3.2 Wirtschaftlichkeit

Die gängigste Methode zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit haustechnischer Anlagen ist die Annuitätenmethode nach [VDI 2067-1] bzw. nach dem Leitfaden energieeffiziente Gebäudeenergieplanung [LEG 95]. Deren Grundlage ist die Kapitalwertmethode. Der Kapitalwert ist die Summe aller Kosten aus den Bereichen

- kapitalgebundene Kosten (Investitionen),
- verbrauchs- oder bedarfsgebundene Kosten (Energiebedarf),
- betriebsgebundene Kosten (Wartung und Unterhalt),

welche über den Betrachtungszeitraum von 20 Jahren anfallen. Der Bezugszeitpunkt ist der Anfangszeitpunkt  $t_0$ . Spätere Zahlungen werden auf den Anfangszeitpunkt abgezinst, d.h. mit dem Betrag bewertet, der zum Zeitpunkt  $t_0$  hätte angelegt werden müssen, um die späteren Kosten zu bezahlen. Der Kapitalwert entspricht dem Anlagebetrag zum Anlagezinssatz, der die gesamten späteren Kosten deckt. Wegen der besseren Anschaulichkeit kann nun der Kapitalwert über den Betrachtungszeitraum auf gleich hohe jährliche Zahlungen (Annuitäten), unter Berücksichtigung von Kalkulationszins und Preissteigerungen verteilt werden.

### **Investitionen**

Bei den Investitionen werden alle Aufwendungen berücksichtigt, die zum gebäudeseitigen Wärmeschutz und zur Erzeugung der Raumwärme sowie des Warmwassers notwendig sind, insbesondere alle Anlagen zur Wärmeerzeugung und -speicherung, Wärmeübergabe, Wärmeverteilung sowie Lagerung von Energieträgern.

### **Mehrkostenansatz bei der Kostenermittlung Gebäudehülle**

Zur Planung der Finanzierung eines Neubaus ist die Kenntnis des Investitionsvolumens notwendig. Diese ergibt sich aus der Summe der gesamten Kosten für die Einzelmaßnahmen (sog. Vollkostenansatz).

Darüber hinaus ist die Pauschalierung von Vollkosten im Rahmen eines Konzepts denkbar schwierig, da Vollkosten in hohem Maße von lokalen Möglichkeiten und Gegebenheiten sowie von der gebäudeindividuellen Planung abhängen.

Die Vollkostenanalyse (Kostenschätzung nach [VDI 2067-1]) ist die Aufgabe des Architekten im Rahmen einer gebäudespezifischen Planung.

Für den Mehrkostenansatz wird bei Neubauten als Referenz der geforderte EnEV-Standard betrachtet, so dass sich Mehrkosten auf alles bezieht, was über die Anforderungen der EnEV hinausgeht. Für die Mindestdämmstoffstärke, mit der die Anforderungen der EnEV erfüllt sind, wird ein spezifischer Mehrpreis (pro  $m^2$  Bauteilfläche) angegeben, der dann pro cm Dämmstoffdicke ansteigt, je nach Dämmstoffanforderungen (z.B. Brandschutzklasse, Druckfestigkeit).

### **Verbrauchskosten**

Die Verbrauchskosten sind diejenigen Kosten, die zur Erzeugung der Raumwärme anfallen, in der Regel die Kosten für Energie oder Wärme an der Grundstücksgrenze.

Die Wirtschaftlichkeitsvergleiche verschiedener Anlagensysteme beziehen sich immer auf die an der Grundstücksgrenze anfallenden Energie- oder Brennstoff-

kosten sowie die zur Erzeugung von Raumwärme und Warmwasser notwendigen Investitionskosten in Verbindung mit den zum Betrieb notwendigen Betriebs- und Wartungskosten (z.B. Hilfsstrom, etc.).

Aus Sicht des Nutzers/Betreibers kann der so ermittelte Jahrespreis

- entweder für sich alleine stehen. Damit werden die Gesamtkosten der Beheizung und Warmwasserbereitung für eine Wohneinheit/Baugebiet ausgedrückt.  
oder
- auf die gelieferte Kilowattstunde Wärme bezogen werden (Wärmepreis).  
oder
- auf die Energiebezugsfläche der Wohneinheit bezogen werden. Damit wird ein spezifisches Maß für die Jahreskosten der Beheizung und Warmwasserbereitung angegeben.

Alle drei Betrachtungen sind vom wärmetechnischen Standard der Gebäudehülle insofern abhängig, als dass dieser maßgeblich die Abnahmemenge und damit das Verhältnis von Investitionen zu Verbrauchskosten bestimmt. So ist z.B. beim Passivhaus in der Regel der Wärmepreis hoch, die absoluten Kosten sind jedoch aufgrund des niedrigen Verbrauchs niedrig.

### 3.3 Rechnerische Grundlagen

#### Energiebedarf

Die spezifischen Energiebedarfskennwerte eines Gebäudes beziehen sich nach

- EnEV auf die Gebäudenutzfläche ( $A_n$ ),
- PHPP auf die Energiebezugsfläche (EBF).

Der Endenergiebedarf Warmwasser ergibt sich bei Wohngebäuden aus dem Standardwert der Nutzenergie von  $12,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{(A_n)} \cdot \text{a})$  entsprechend der EnEV, entsprechend PHPP ca.  $17,2 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{(\text{EBF})} \cdot \text{a})$  jeweils zuzüglich der anlagenspezifischen Verluste der Erzeugung, Speicherung und Verteilung. Der Endenergiebedarf Heizung ergibt sich aus der Nutzenergie (abhängig vom energetischen Gebäudestandard), zuzüglich der jeweiligen Anlageverluste im Gebäude sowie den Verteilverlusten eines Nahwärmenetzes.

#### Primärenergiebedarf, CO<sub>2</sub>-Emissionen, lokale Emissionen

Der Aufgabenstellung entsprechend wurde eine Bilanzierung des klimarelevanten Schadstoffes Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) durchgeführt. In den genannten Emissionsfaktoren für das klimarelevante Kohlendioxid sind die vorgelagerten Emissionen für die

Förderung und den Transport in den Quellen berücksichtigt. Das **CO<sub>2</sub>-Äquivalent** ist Summe der wirksamen Emissionen, welche die gleiche Wirkung wie die angegebenen Menge CO<sub>2</sub> besitzt. Das CO<sub>2</sub>-Äquivalent wird spezifisch für jeden Brennstoff angegeben. Damit lassen sich die Äquivalentmengen und damit die Umweltwirksamkeit eines (End-) Energieverbrauchs angeben und bewerten.

Ein Sonderfall ist Strom, dessen Bilanz neben dem aktuellen Emissionsfaktor aus dem Bundesmix auch mit dem territorialen Mix (Händlermix bzw. Regionalmix) berechnet werden kann. Anhand dessen kann ein Vergleich gezogen werden, ob und wie sich zusätzliche Stromerzeugungsanlagen in der Kommune im Vergleich zum Bundesmix positiv oder negativ auf den Klimaschutz auswirken können. Der Emissionsfaktor für den regionalen Strom wurde von den Stadtwerken Erfurt (SWE) mitgeteilt, wobei wir davon ausgehen, dass die vorgelagerte Prozesskette im Wert enthalten ist.

Bei **Ökostrom** sollte es sich möglichst um Ökostrom aus Zubau von regenerativen Erzeugungsanlagen handeln. In Fachkreisen wird diskutiert, dass der Ökostrom, der zur CO<sub>2</sub>-Kompensation gegenbilanziert werden darf, aus Neuanlagen stammen sollte, die nicht in das Fördersystem des EEG fallen (Zusätzlichkeit). Hierdurch würde zumindest eine Doppelbuchung der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Gebäude/Baugebiet und im Strommix der Bundesrepublik vermieden werden. Elektroheizsysteme (z.B. Wärmepumpen) werden in diesem Konzept mit dem Regionalmix bilanziert, in dem der Ökostrom aus dem EEG mitbilanziert ist.

Für die aus Kraft-Wärme-Kopplungsprozessen (KWK) erzeugten Energiemengen wurden bei der CO<sub>2</sub>-Bilanzierung die Emissionen entsprechend dem Exergiegehalt (=hochwertiger Energieanteil) den Koppelprodukten Strom und Wärme zugerechnet.

Die Faktoren, mit denen der Primärenergiebedarf sowie die CO<sub>2</sub>-Emissionen ermittelt wurden, sind in Tab. 1 zusammengestellt.

Tab. 1 Verwendete Primärenergiefaktoren und CO<sub>2</sub>-Äquivalente

	Primärenergiefaktor [kWh/kWh]		CO <sub>2</sub> -Äquivalent [kg/kWh]	
<b>Erdgas</b>	1,1	[EnEV 2009]	0,25	[Gemis 4.3]
<b>Biomethan</b>	0,44	lfeu	0,097	ifeu
<b>Strom Erfurt</b>	n.n.	SWE	0,34	SWE
<b>Strom Bundesmix</b>	2,4	[DIN V 18599-1A:2011]	0,68	[EnEV 2009]

**Lokale Emissionen** fallen immer dann an, wenn dezentral oder gebietszentral feuerungstechnische Anlagen in Betrieb sind. Neben den erwähnten Emissionen an



CO<sub>2</sub>, die global klimaschädlich wirksam sind, sind lokal vor allem folgende Schadstoffe relevant:

- Stickoxide NO<sub>x</sub> und
- Staub (in der Regel Staub PM10)

Hierbei ist die Emission vom Energieträger sowie der feuerungstechnischen Anlage und der Rauchgasbehandlung abhängig.

Die Betrachtung der lokalen Gegebenheiten dient weniger dem Klimaschutzgedanken, vielmehr sind sie der Gesundheitsvorsorge geschuldet. Zur Ermittlung eines Vorsorgewerts reichen allerdings die Emissionen aus der Gebäudewärmeversorgung alleine noch nicht aus. Vielmehr müssen durch Ausbreitungsrechnungen Immissionen bestimmt und alle Sektoren einschließlich Verkehr bestimmt werden. Da vermiedene Emissionen selbstverständlich keine Immissionen zur Folge haben, sind niedrige Vor-Ort Emissionen sicherlich vorteilhaft.

Lokal, also vor Ort im Baugebiet, sind vor allem die Energieträger Strom und Fernwärme im Vorteil. Hier fallen lokal keine Emissionen an.

Während Erdgas oder Biomethan weitgehend staubfrei – aber je nach Umwandlungssystem und Rückhaltetechnik mit entsprechenden NO<sub>x</sub>-Emissionen - verbrannt werden können, sind Festbrennstoffe wie Holz diesbezüglich ungünstig. Im Rahmen der Projektentwicklung wurde aufgrund der derzeit bereits hohen Feinstaubbelastungen am Baugebiet - verursacht vor allem durch Verkehr - der Brennstoff Holz als mögliche Versorgungsvariante für die Marienhöhe ausgeschlossen. Die Akzeptanz und Zulässigkeit zusätzlicher Belastungen aus NO<sub>x</sub>-Emissionen ist noch zu prüfen.

Das vorliegende Gutachten hat der Bewertung des klimarelevanten CO<sub>2</sub> Rechnung zu tragen, die Bewertung der Emissionen und vor allem der resultierenden Immissionen aus NO<sub>x</sub> und Staub und damit zusätzlichen Belastungen am Baugebiet waren nicht Gegenstand der Untersuchung. Diese Luftschadstoffemissionen wurden im Rahmen dieses Konzeptes daher nicht bilanziert.

## **Investitionen**

Die angenommenen Investitionskosten der einzelnen Versorgungsvarianten wurden auf Erfahrungswerten ausgeführter Projekte basierend bzw. mit Richtpreisangeboten berechnet. Die Angaben verstehen sich netto zzgl. der gültigen Mehrwertsteuer.

## Verbrauchskosten

Die regionale Energie-Grundversorgung erfolgt über die Stadtwerke Erfurt. Die Gas- und Stromtarife wurden anhand der Tarifstruktur des Versorgers Stand 2014 (siehe Tab. 2) berechnet.

Es wurden die Strom- und Gastarife der Stadtwerke Erfurt für die Berechnungen herangezogen.

Tab. 2: Energietarife. Alle Preise ohne MwSt. (netto).

Tarif	Energie-träger	Arbeitspreis [ct/kWh]	Grundpreis [EUR/a]	Quelle
Erdgas Industriekunden	Erdgas H	4,77*		SWE Anfrage
Erdgas Haushalt klein	Erdgas H	5,21	82,18	SWE Preisblatt
Erdgas Haushalt gross	Erdgas H	5,17	150,05	SWE Preisblatt
Biomethan Industriekunden	Biomethan	9,07**		SWE Anfrage
Strom allgemein	Strom	20,48		SWE Preisblatt
Strom zu Heizzwecken (Wärmepumpen)	Strom	15,35	112,85	SWE Preisblatt

\*enthält 0,55 cent/kWh Erdgassteuer

\*\*enthält keine Erdgassteuer, da diese für hocheffiziente BHKW zurückerstattet wird

## Vergütungen

Die Einspeisevergütung für den in Erdgas-BHKWs erzeugten Strom wurde nach den im KWK-Gesetz festgelegten Vergütungssätzen berechnet. Sie betragen für die BHKWs in den unterschiedlichen Varianten 3,63 bis 4,47 ct/kWh. Für die vermiedenen Netzkosten wurden 0,5 ct/kWh zum Ansatz gebracht. Als EEX-Basispreis wurden 3,75 ct/kWh angesetzt. Die Vergütungsdauer beträgt 10 Jahre.

Die Einspeisevergütung für den in Biomethan-BHKWs erzeugten Strom wurde nach den im EEG festgelegten Vergütungssätzen berechnet. Da das von SWE angebotene Biomethan einer hohen Vergütungsklasse entspricht (Einsatzstoffklasse I und Aufbereitungsanlage < 700 Nm<sup>3</sup>) betragen sie für die BHKWs in den unterschiedlichen Varianten 21,61 – 22,28 ct/kWh. Die Vergütungsdauer beträgt 20 Jahre.

## Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeit verschiedener Versorgungsvarianten wurde anhand von Musteranlagen untersucht. Hierzu wurden alle für die Versorgungsvarianten rele-

vanten Investitionen (Anlagen der Wärmeerzeugung, Speicherung und Verteilung) sowie die Verbrauchskosten der Versorgung ermittelt und annuitätisch nach dem Verfahren der [VDI 2067-1] bzw. Leitfaden energieeffiziente Gebäudeenergieplanung ([LEG 95]) bewertet.

Für die Wirtschaftlichkeitsberechnung liegen folgende Randbedingungen zugrunde:

Netto-Investitionskosten: nach Abschätzung durch ebök

Wartung und Instandhaltung: analog zur [VDI 2067-1]

Gewinnerwartung: 10% (nur für den Nahwärmenetzbetreiber)

Kalkulationszins: 4,0% p.a. (zentral)/ 4,2% p.a. für (dezentral).

Teuerungsraten: Preissteigerung 2000 – 2010, Quelle: Stat. Bundesamt  
Wärme 6,92% p.a.  
Strom 4,00% p.a.  
allgemeine Teuerung 1,5% p.a.

Fördermittel: sind außer KWK-Zulage/ EEG-Vergütung nicht berücksichtigt

Betrachtungszeitraum: 20 Jahre (mit Reinvestition)

## 4 Städtebauliche Analyse

Das Baugebiet Marienhöhe wurde in drei Abschnitte gegliedert, die jeweils durch ihre Bebauungsstruktur und typische Gebäude charakterisiert sind. Für eine quantitative Analyse in Bezug auf Orientierung und Verschattung sowie realisierbare Gebäudestandards werden entsprechende Vertreter aus jedem Abschnitt ausgewählt.

### 4.1 Baugebiet

Das Baugebiet Marienhöhe befindet sich im Erfurter Stadtteil Brühlervorstadt. Er hat mit rund 12.700 Bewohnern die fünfthöchste Einwohnerzahl der 53 Stadtteile. Die Struktur der Brühlervorstadt ist sehr heterogen. Es finden sich Mietwohnungsbauten zum Teil in Blockrandstruktur, Villenviertel und aufgelockerte Einfamilien-, Doppel- und Reihenhausstrukturen. Eine wichtige Verkehrsachse ist die Bindersleber Landstraße, die vom Stadtzentrum zum Flughafen führt. Südlich dieser Hauptstraße, zwischen dem Hauptfriedhof und der Kleingartenanlage „Marienhöhe“ befindet sich das Baugebiet Marienhöhe.

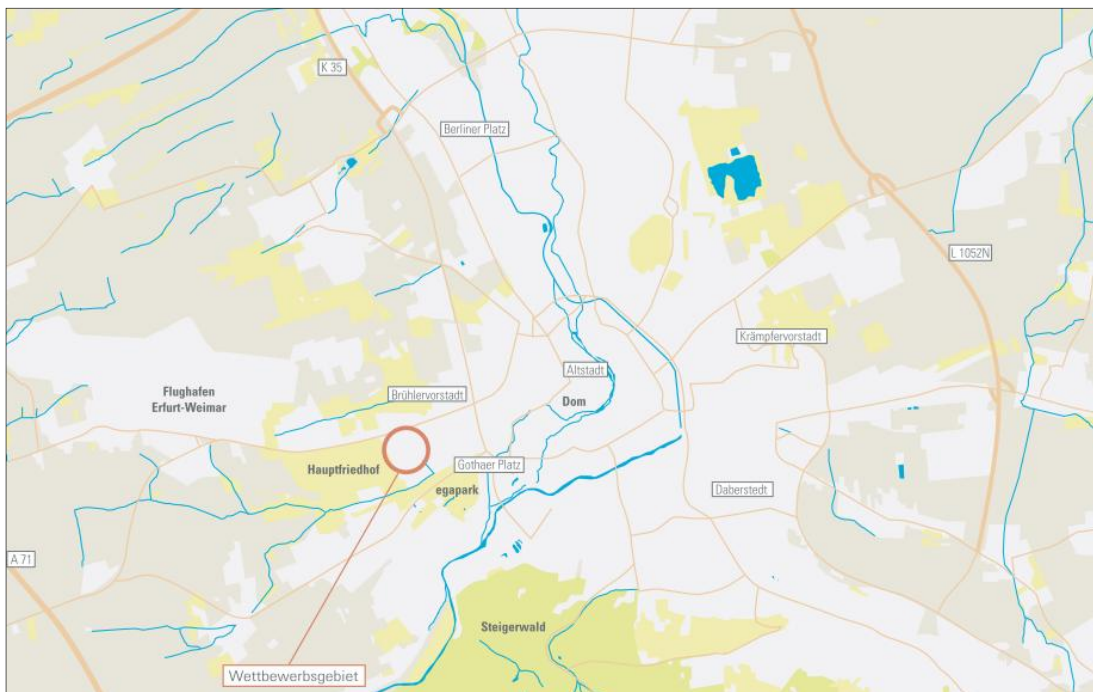


Abb. 1 Lage des Baugebiets in der Stadt Erfurt

Das Stadtzentrum in 2,5 km Entfernung ist auch für Fußgänger und Radfahren auf ausgebauten Wegen leicht zu erreichen. Außerdem besteht eine gute Anbindung an den ÖPNV. Schulen und Kindergärten befinden sich in unmittelbarer Umgebung. Die Topografie fällt gegen Südosten um ca. 19 – 20m ab. Derzeit wird das Gelände landwirtschaftlich genutzt und ist entsprechend mit Wirtschaftswegen umgeben. Am nordwestlichen Rand befindet sich ein zu erhaltender Steinmetzbetrieb. Es sollen Miet- und Eigentumswohnungen im Geschosswohnungsbau sowie Ein- und Zweifamilienhäuser in robuster städtebaulicher Weise entstehen. Ziel ist es, eine klimagerechte Pilotsiedlung zu entwickeln. Ein besonderes Merkmal des Gebiets ist die beeindruckende Sichtbeziehung zur Altstadt und zum Dom.

## 4.2 Mustergebäude

In Abb. 2 sind die Abgrenzungen der Gebietsabschnitte und die ausgewählten Mustergebäude dargestellt.

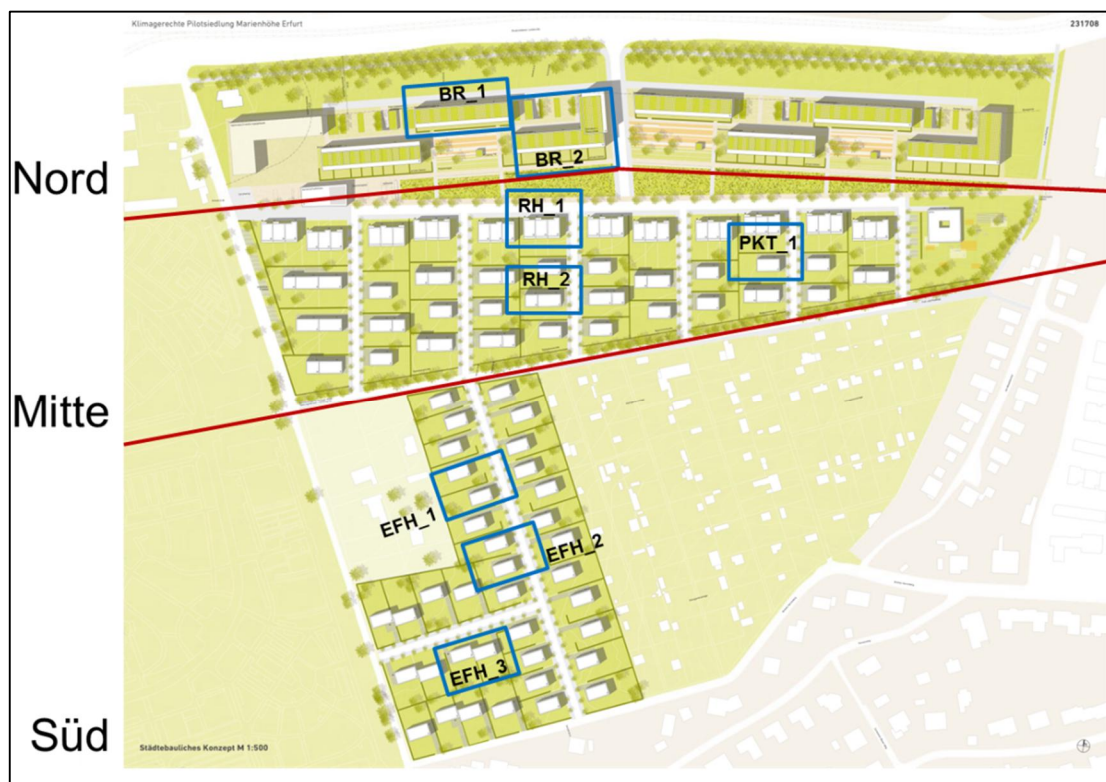


Abb. 2 Städtebauliches Konzept für das Baugebiet Marienhöhe vom Büro raumwerk, Gebietsabschnitte und ausgewählte Mustergebäude

Tab. 3 zeigt die zugrunde gelegten Daten der Mustergebäude.

Tab. 3 Daten der Mustergebäude

Typ		BR_1	BR_2	RH_1	RH_2	PKT	EFH_1	EFH_2	EFH_3
<b>Wohneinheiten</b>		ca.22	ca.35	3	2	1	1	1	2
<b>Dachform</b>		Flach	Flach	Flach	Flach	Flach	Flach	Flach	Flach
<b>Vollgeschosse</b>		4	4,5	3	2,3	2	2	2	2
<b>Kellergeschosse (beheizt)</b>		0	0	1	1	1	1	1	1
<b>Geschosse incl. Dach und Keller</b>		4	4,5 <sup>1</sup>	4	3,3 <sup>2</sup>	3	3	3	3
<b>Brutto-Volumen</b>	[m <sup>3</sup> ]	9556	14721	2016	1580	838	840	840	1680
<b>BGF</b>	[m <sup>2</sup> ]	2730	4206	576	451	239	240	240	480
<b>EBF</b>	[m <sup>2</sup> ]	2375	3659	501	393	208	209	209	418
<b>EBF Wohneinheit</b>	/ [m <sup>2</sup> ]	106	106	167	196,5	208	209	209	209
<b>A/V</b>	[1/m]	0,46	0,37	0,63	0,69	0,8	0,79	0,79	0,67

### 4.3 Kompaktheit, Orientierung und Verschattung

Kompaktheit, Orientierung und Verschattung der Gebäude haben einen großen Einfluss auf den Heizwärmebedarf eines Gebäudes (genauere Ausführung s. Anhang Kapitel 9.2). Die Effizienz der Optimierung wird anhand des Nutzenergiekennwertes (ohne Warmwasser) mit Hilfe einer vereinfachten PHPP-Berechnung abgeschätzt. Als Maßstab für die Betrachtungen wurde der Passivhaus-Standard (15 kWh/(m<sup>2</sup><sub>(EBF)a</sub>)) angesetzt sowie die Öffnung der Gebäude nach Süden durch einen hohen Fensterflächenanteil, um möglichst hohe solare Gewinne zu erhalten. Die Kennzahlen Nutzenergie aus PHPP und die solaren Gewinne sind zu jedem Gebäude tabellarisch aufgeführt.

Die Ergebnisse und Empfehlungen werden im Folgenden gebäudeweise vorgestellt.

<sup>1</sup> Über ca. die Hälfte der Grundfläche erstreckt sich ein fünftes Geschoss

<sup>2</sup> RH\_2 setzt sich aus einem 3-Geschosser und auf ca. 1/3 der Grundfläche und einem 2-Geschosser auf ca. 2/3 der Grundfläche zusammen.

### 4.3.1 Abschnitt Nord

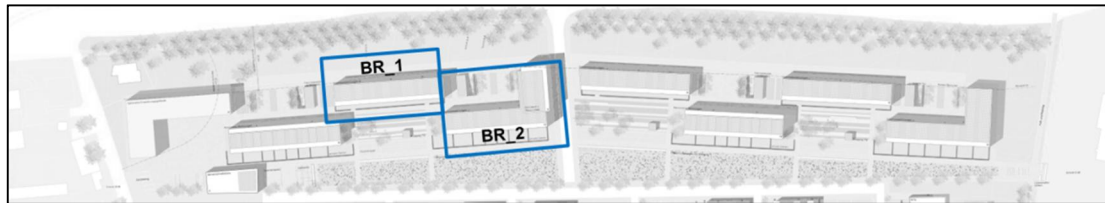


Abb. 3 Mustergebäude im Abschnitt Nord

Die Gebäude in diesem Abschnitt sind kompakt, wenig verschattet und optimal ausgerichtet. Es ist keine weitere städtebauliche Optimierung notwendig.

Tab. 4 Solare Gewinne und Energiekennwert nach PHPP für BR\_1 und BR\_2

	BR_1	BR_2
Solare Gewinne (kWh/m <sup>2</sup> a)	19,0	16,9
Nutzenergie aus PHPP (kWh/m <sup>2</sup> a)	12,8	10,9
	✔	✔

### 4.3.2 Abschnitt Mitte

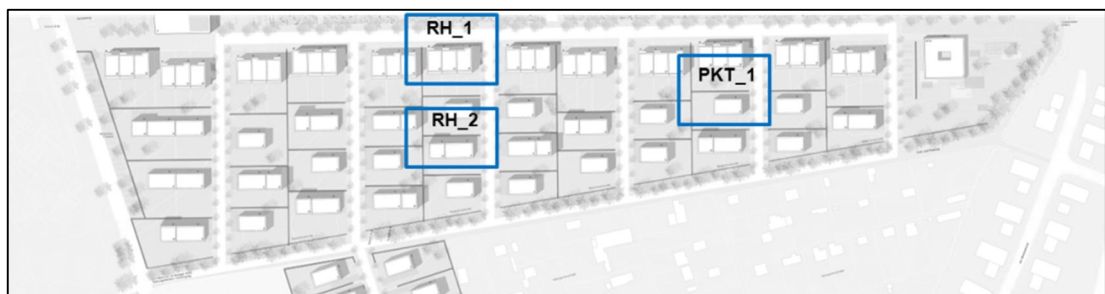


Abb. 4 Mustergebäude im Abschnitt Mitte

Die Orientierung aller drei Mustergebäude ist optimal. Die Kompaktheit der Gebäude liegt im üblichen Rahmen und bedarf keiner zwingenden Optimierung. Die Verschattungssituation wird im Folgenden für jedes Mustergebäude gesondert betrachtet und Optimierungen empfohlen.

## RH\_1

Bei einem Mindestabstand gegenüber der Südfassade von 11m zum PKT\_1 und 16m zum RH\_2 (vgl. Abb. 5) werden optimale solare Gewinne erzielt. Im vorliegenden Entwurf werden diese Mindestabstände eingehalten.

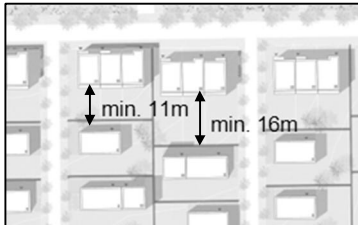


Abb. 5 Mindestabstände zur Südfassade von RH\_1

Tab. 5 Solare Gewinne und Energiekennwerte nach PHPP für RH\_1

	RH_1/PKT	RH_1/RH_2
Solare Gewinne (kWh/m <sup>2</sup> a)	18,3	18,4
Nutzenergie aus PHPP (kWh/m <sup>2</sup> a)	15,0	14,9
	✔	✔

## RH\_2

Die Südseite des RH\_2 ist durch den geringen Abstand des Nachbargebäudes stark verschattet. Um genügend solare Erträge zu erhalten, sollte der Abstand des Gebäudes um ca. 2,50m auf mindestens 14m gegenüber der Hauptfassade vergrößert werden.

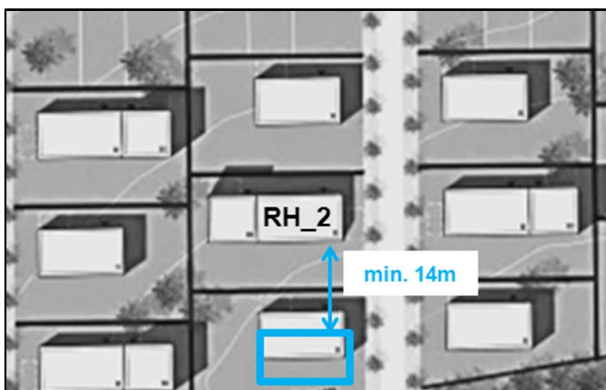



Abb. 6 Städtebauliche Optimierung für das RH\_2



Tab. 6 Solare Gewinne und Energiekennwerte nach PHPP für RH\_2 im Entwurf und nach städtebaulicher Optimierung

	RH_2 Entwurf	RH_2 Optimierung
Solare Gewinne (kWh/m <sup>2</sup> a)	19,6	20,0
Nutzenergie aus PHPP (kWh/m <sup>2</sup> a)	15,4	15,0
	-	

### PKT\_1

Durch das große Gebäude gegenüber der Südfassade ist das PKT\_1 stark verschattet. Um ausreichend solare Erträge zu erhalten, sollte hier ein Abstand von mindestens 12m eingehalten werden.

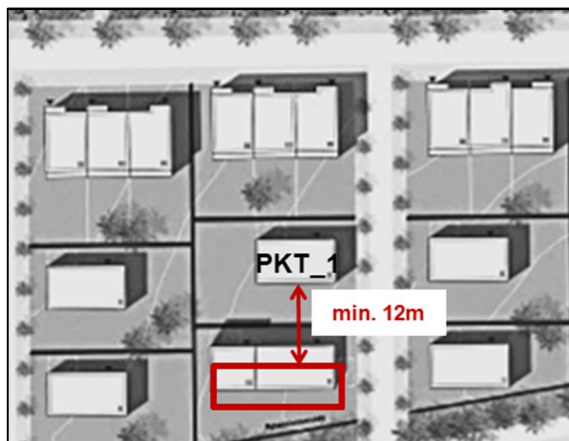



Abb. 7 Städtebaulichen Optimierung für das PKT

Tab. 7 Solare Gewinne und Energiekennwerte nach PHPP für das PKT im Entwurf und nach städtebaulicher Optimierung

	PKT Entwurf	PKT Optimierung
Solare Gewinne (kWh/m <sup>2</sup> a)	17,7	18,4
Nutzenergie aus PHPP (kWh/m <sup>2</sup> a)	15,1	14,7
	-	

### 4.3.3 Abschnitt Süd

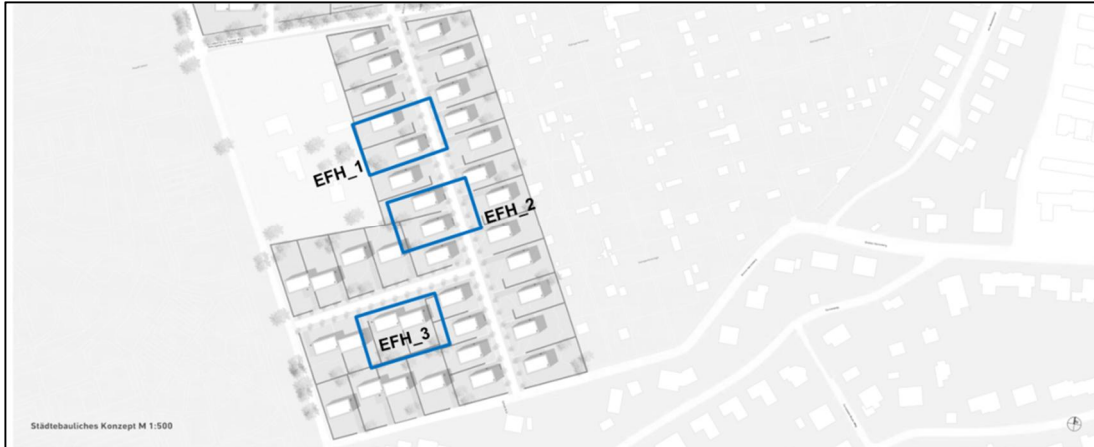


Abb. 8 Mustergebäude im Abschnitt Süd


Die Gebäude sind optimal nach Süden orientiert. Die Kompaktheit liegt im üblichen Rahmen für Einfamilienhäuser.

Die Verschattungssituationen der einzelnen Mustergebäude werden in den nächsten Abschnitten genauer betrachtet.

#### EFH\_1 und EFH\_2

Das EFH\_1 und das EFH\_2 sind geometrisch betrachtet gleich, unterscheiden sich aber bei der Verschattung: Während beim EFH\_1 die Südfassade nur zur Hälfte verschattet ist, steht dem EFH\_2 ein Gebäude über die komplette Länge gegenüber, die solaren Erträge sind dadurch zu klein. Das Problem der Verschattung kann durch eine durchgehend versetzte Bauweise – wie beim EFH\_1 – gelöst werden.

Tab. 8 Solare Gewinne und Energiekennwerte nach PHPP für das PKT im Entwurf und nach städtebaulicher Optimierung

	<b>EFH_2</b> Entwurf	<b>EFH_2</b> Optimierung (=EFH_1)
Solare Gewinne (kWh/m <sup>2</sup> a)	17,2	19,4
Nutzenergie aus PHPP (kWh/m <sup>2</sup> a)	15,6	14,6
	-	

## EFH\_3

Das Doppelhaus EFH\_3 ist wenig durch benachbarte Gebäude verschattet. Allerdings kommen durch den Versatz eine erhebliche Eigenverschattung und ein schlechtes A/V-Verhältnis (Kompaktheit) zum Tragen. Eine sinnvolle Optimierung wäre ein bündiger Übergang zwischen den beiden Gebäudeteilen.

### 4.3.4 Ergebnis

Anhand der oben diskutierten energetisch-städtebaulichen Optimierungsvorschläge überarbeitete das Büro raumwerk ihr Städtebauliches Konzept:



Abb. 9 Geändertes städtebauliches Konzept des Büros raumwerk mit den empfohlenen Optimierungsvorschlägen

Dieses Konzept bildet die Grundlage aller weiteren Untersuchungen.

## 5 Energieversorgungskonzept

Das Energiekonzept ist in folgenden Schritten aufgebaut:

1. **Erstellung der Datengrundlage**
2. Bestandsaufnahme und qualitative **Bewertung der Energiequellen**. Alle potentiellen Energiequellen – lokale, regional, erneuerbar und fossil – werden betrachtet und gegebenenfalls aus der weiteren Betrachtung ausgeschlossen.
3. Die **Untersuchungen zur Nahwärmeversorgung** gliedern sich in zwei Teile:
  - a. Netzausbauvarianten  
Hier wird die Frage geklärt, ob die Wirtschaftlichkeit eines Nahwärmenetzes für alle Ausbaustufen / Bauabschnitte gegeben ist.
  - b. Energieversorgungsvarianten  
Die wirtschaftlichste Netzausbauvariante wird weiter untersucht und es werden unterschiedliche Energieversorgungen miteinander verglichen.  
  
Die Betrachtung erfolgt aus der Sicht eines Betreibers.
4. **Vergleich der Energieversorgung** in Mustergebäuden  
Für zwei Mustergebäude werden unterschiedliche dezentrale Energieversorgungsvarianten auf Wirtschaftlichkeit und ökologischen Einfluss untersucht und der wirtschaftlich und ökologisch sinnvollsten Nahwärmeversorgungsvariante gegenübergestellt.  
  
Die Betrachtung erfolgt aus Sicht eines Investors und/oder Nutzer.

## 5.1 Datengrundlage

### 5.1.1 Energiebezugsflächen für das Baugebiet Marienhöhe

Auf Grundlage des städtebaulichen Konzeptes wurden die Energiebezugsflächen (EBF) für jeden Gebäudetyp ermittelt und für die Bauabschnitte aufsummiert. Die Ergebnisse sind Tab. 9 zu entnehmen.

Tab. 9: Energiebezugsflächen für das Baugebiet Marienhöhe

	EBF [m <sup>2</sup> ]
Gebiet Nord	22.850
Gebiet Mitte	14.680
Gebiet Süd	7.730
<b>SUMME</b>	<b>45.260</b>

### 5.1.2 Endenergiebedarf und Heizlast für das Baugebiet

In der städtebaulichen Analyse wurden Energiebedarfskennwerte für die unterschiedlichen Gebäudestandards ermittelt. Diese werden über die Energiebezugsfläche zum Energiebedarf aufsummiert. Netzverluste eines Nahwärmenetzes sind (noch) nicht enthalten. Tab. 10 nennt die Energiemengen für den Passivhausstandard, der Endenergiebedarf für ein KfW Effizienzhaus 55 ist abhängig von der Energieversorgung und wird im Rahmen der Untersuchung der Mustergebäude in Bezug auf die Energieversorgung genauer betrachtet.

Die Heizlast ist eine Auslegungsgröße für Wärmeversorgungssysteme, für die ein eigenes Normengerüst besteht. Die Heizlast der Gebäude wird bei Gebäuden mit sehr niedrigem Heizwärmebedarf von der Heizlast zur Warmwasserbereitung bestimmt. Für die Baustandards Passivhaus und KfW Effizienzhaus 55 liegen die Heizlasten gleich.













Tab. 10: Endenergiebedarf und Heizlast Marienhöhe bei flächendeckendem Passivhaus-Standard

	Endenergiebedarf (Heizung und Warmwasser) [MWh/a]	Heizlast [kW]
Abschnitt Nord	1.155	950
Abschnitt Mitte	862	330
Abschnitt Süd	483	300
<b>SUMME</b>	<b>2.500</b>	<b>1.580</b>

## 5.2 Vorkommen Energiequellen

Folgende Tabelle zeigt eine qualitative Bewertung zum Vorkommen und der Nutzbarkeit lokaler, regionaler, erneuerbarer (REN) und fossiler Energiequellen am Standort Marienhöhe.

Tab. 11: Vorkommen und qualitative Bewertung der Energiequellen am Standort Marienhöhe

Quelle		Begründung / Prüfen
<b>REN - Energiequellen lokal</b>		
Wärmepumpe mit Abwasser		<ul style="list-style-type: none"> <li>Kein nutzbarer Kanal in der Nähe verfügbar,</li> <li>neu für die Siedlung zu errichtende Kanäle sind voraussichtlich zu klein</li> </ul>
Wärmepumpe mit Geothermie (Erdsonden)		<ul style="list-style-type: none"> <li>Voraussichtlich nur geringe Bohrtiefe von 60 – 80 m möglich,</li> <li>Primär für dezentrale Einzelgebäudeversorgung, evtl. in Kombination mit Solarthermie sinnvoll nutzbar</li> </ul>
Wärmepumpe mit Geothermie (Grundwasser auf 450m)		<ul style="list-style-type: none"> <li>Nutzung mit Auflagen möglich</li> <li>Gutes Temperaturniveau für Wärmepumpe (15-20°C)</li> <li>Hohe Investitionskosten (2 Bohrlöcher inkl. Einrichtung Bohrplatz: ca. 550.000 – 750.000 EUR) + Risiken</li> <li>Vorhersage über Wasservorkommen und mögliche Förderrate aufgrund der Datenlage nicht möglich. Probebohrung zur Abklärung notwendig. Kosten der Probebohrung geschätzt &gt;150.000 EUR</li> </ul>
Wärmepumpe mit Geothermie (Grundwasser 1400-1700m)		<ul style="list-style-type: none"> <li>Nutzung mit Auflagen möglich</li> <li>Gutes Temperaturniveau für Wärmepumpe (40-50°C) =&gt; gute JAZ</li> <li>Sehr hohe Investitionskosten (2 Bohrungen inkl. Einrichtung Bohrplatz: 3.660.000 EUR) + Risiken</li> <li>Aufgrund der großen Risiken ausgeschlossen</li> </ul>
Kompaktaggregate mit solarthermischer Unterstützung	 	<ul style="list-style-type: none"> <li>Geeignet für Heizlasten bis 1,6 kW (=kleine PH-EFH bis 160m² EBF), dann aber schlechter Gesamtwirkungsgrad („Heizen mit Strom“)</li> <li>Für Marienhöhe nur als Einzellösung denkbar</li> </ul>
Solarenergie (therm.)		<ul style="list-style-type: none"> <li>Auf Dächern und u.U. auch an Fassaden möglich</li> <li>Dezentrale Nutzung fast immer möglich</li> <li>Einschränkung bei gleichzeitiger Nah-/Fernwärmenutzung (Wirtschaftlichkeit?)</li> <li>Konkurrenz zu PV</li> </ul>
<b>Quelle</b>		
<b>Begründung / Prüfen</b>		
<b>REN – Energiequellen regional</b>		
Feste Biomasse - Holz		<ul style="list-style-type: none"> <li>Feststoffverbrennungsverbot</li> </ul>
Biomasse - Biomethan		<ul style="list-style-type: none"> <li>Z.B. für Nutzung in BHKWs zur Nahwärmeversorgung und Gasbrennwertanlagen</li> <li>Keine Quellen Vor-Ort oder in der Stadt vorhanden</li> <li>100% Biomethan aus Erdgasnetz über SWE zu beziehen</li> </ul>
Fernwärme Erfurt		<ul style="list-style-type: none"> <li>Sehr gute Umweltbilanz</li> <li>Nächster Netzzweig in 1500m Entfernung, daher für die Stadtwerke Erfurt nicht wirtschaftlich umzusetzen</li> </ul>
<b>Quelle</b>		
<b>Begründung / Prüfen</b>		
<b>Fossile Energiequellen mit Effizienztechnologien</b>		
BHKW(s) zentral		<ul style="list-style-type: none"> <li>Zentral und dezentral möglich, hohe Flexibilität</li> </ul>
Gas-Brennwertanlage		<ul style="list-style-type: none"> <li>Dezentral möglich, hohe Flexibilität</li> </ul>

### Erläuterungen Hydrothermale Geothermie

Am Standort Marienhöhe kommen im tieferen Untergrund Gesteine vor, die als Grundwasserleiter zur hydrothermalen Wärmegegewinnung geeignet sein könnten. Unter hydrothermalen Wärmegegewinnung versteht man die Förderung von Grundwasser über eine Brunnenbohrung aus dem Gestein, Nutzung seines Wärmeinhalts

mittels Wärmepumpe und anschließende Rückführung des abgekühlten Grundwassers durch eine zweite Bohrung. Ein Grundwasserleiter wird im Gebiet Marienhöhe in ca. 450 m Tiefe erreicht. Die zu erwartenden Temperaturen erreichen etwa 15 – 20°C. Ein weiterer Grundwasserleiter befindet sich in 1400 – 1700 m Tiefe bei Temperaturen von 40 – 50°C.

Im Raum Erfurt sind bisher nur wenige Bohraufschlüsse im tiefen Untergrund vorhanden, so dass die Datenlage nicht ausreichend ist. Die Nutzbarkeit beider Gesteinshorizonte müsste in jedem Fall erst durch Testbohrungen an den geplanten Standorten überprüft werden.

Die Grundwassernutzung auf 1400 – 1700m scheidet vorab aufgrund zu hoher wirtschaftlicher Risiken aus.

### **Erläuterungen Geothermie mit Erdwärmesonden**

Eine Erdwärmesonde ist ein geschlossenes, mit einer Wärmeträgerflüssigkeit befülltes U-förmiges Rohrsystem. Sie wird in der Regel in ein Bohrloch mit bis zu 400 m Tiefe in den Untergrund eingebaut (oberflächennahe Geothermie). Über die zirkulierende Wärmeträgerflüssigkeit in der Erdwärmesonde wird aus dem Erdreich Wärme entzogen, die in einer Wärmepumpe auf Heiztemperatur angehoben werden kann.

Grundsätzlich ist am Standort Marienhöhe die Nutzung oberflächennaher Geothermie möglich. Zur Vermeidung des Kurzschließens von Grundwasserstockwerken sowie von Schwierigkeiten bezüglich der erforderlichen Bohrlochabdichtung im Bereich von Karsthohlräumen ist eine Erschließung des Mittleren Muschelkalks nicht empfehlenswert, wodurch die Bohrlochtiefe auf 60 m (im südlichen Teil) – 80 m (im nördlichen Teil) begrenzt wird.

Aufgrund der begrenzten Bohrlochtiefe werden für jedes Einfamilienhaus 2-3 Bohrungen benötigt. Für die Mehrfamilienhäuser wird das gesamte verfügbare Grundstück mit Bohrlöchern versehen sein. Bei einer flächendeckenden Versorgung des gesamten Neubaugebiets Marienhöhe mit Erdwärmesonden, wären nach einer ersten Abschätzung über das gesamte Gebiet Bohrungen mit Abständen von 7-10m notwendig.

Bei großräumiger Nutzung von Erdwärmesonden zur Versorgung eines ganzen Bauabschnitts oder des gesamten Baugebiets sollte durch ein erfahrenes Ingenieurbüro eine detaillierte Studie ausgearbeitet werden, in der untersucht wird, ob der Untergrund geeignet ist, eine so hohe Anzahl an Erdwärmesonden mit Wärme zu versorgen. Da Anzahl, Tiefe und Entfernung der Sonden zueinander entscheidend vom angetroffenen Untergrund abhängen, ist eine Probebohrung zur Ermittlung des genauen Schichtprofils und die Durchführung eines Thermal-

Response-Tests zur Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit und der Wärmekapazität des Untergrundes dringend empfohlen.

An dieser Stelle sei auch auf mögliche Risiken bei Erdwärmesondenbohrungen hingewiesen, wie z.B. die Möglichkeit von Hebungen/Setzungen des Untergrundes (Schäden an Gebäuden, z.B. Stufen, Böblingen), Überbeanspruchung der Erdwärme (dem Boden wird zu viel Wärme entzogen, so dass die Heizleistung der Einzelanlagen nicht mehr erreicht wird und es ggf. zu Schäden im Erdreich kommen kann).

### **Erläuterungen Biomethan**

Wird in Biogasanlagen erzeugtes Biogas in einer Gasaufbereitungsanlage auf Erdgasqualität gebracht und in das Erdgasnetz eingespeist, so nennt man dieses Biogas Biomethan. Wird Biomethan an anderer Stelle aus dem Erdgasnetz entnommen und in Verbrennungsanlagen eingesetzt, so handelt es sich nur noch bilanziell/rechnerisch um Biomethan. Es wird die Menge Biomethan aus dem Erdgasnetz bezogen, die an anderer Stelle eingespeist wurde. Real entnommen wird natürlich das lokal vorhandene Erdgas oder eine beliebige Mischung aus Erdgas und Biomethan. Dieser Vorgang ist äquivalent zum Ökostrombezug.

### **Erläuterungen Fernwärme Erfurt**

Die Fernwärme Erfurt hat eine sehr gute Umweltbilanz und wäre für das Gebiet Marienhöhe möglicherweise die Energieversorgung der Wahl. Da der nächste Netzarm mit ausreichender Kapazität etwa 1,5 km vom Baugebiet entfernt liegt, ist es nach Aussagen der Stadtwerke Erfurt wirtschaftlich nicht möglich, das Gebiet Marienhöhe mit Fernwärme zu erschließen.

## **5.3 Nahwärmeversorgung**

In diesem Kapitel wird die wirtschaftliche Machbarkeit eines Nahwärmenetzes für das Baugebiet Marienhöhe geprüft. Da die Bauabschnitte des Gebiets durch sehr unterschiedliche Wärmedichten gekennzeichnet sind, wird zunächst untersucht, ob sich alle Bauabschnitte – also auch die mit der geringsten Wärmedichte – über Nahwärme wirtschaftlich versorgen lassen. Mit dem Ergebnis werden dann verschiedene Varianten der Energieerzeugung betrachtet.



### 5.3.1 Netzausbaustufen

Für die Untersuchung der Netzausbaustufen wird das Gebiet in folgende Abschnitte aufgeteilt:

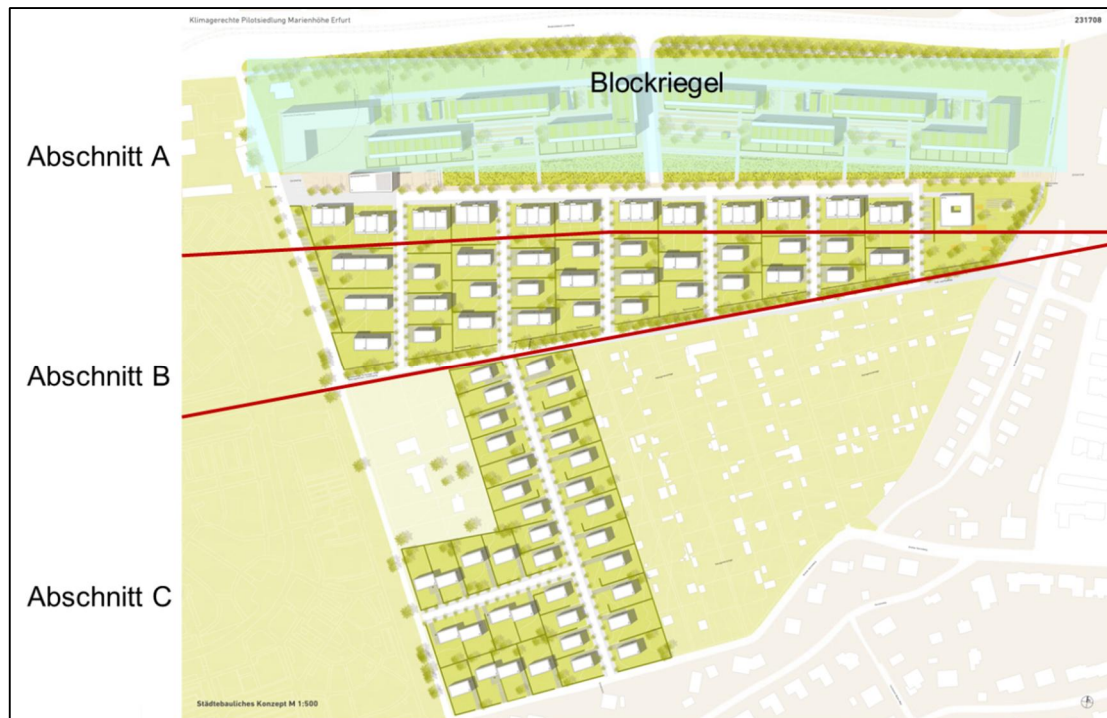


Abb. 10 Gliederung des Baugebietes Marienhöhe zur Untersuchung der Nahwärmevarianten

Der **Blockriegel** besteht aus den großen Geschosswohnungsbauten im Norden. Dieser Abschnitt ist durch eine relativ hohe Wärmedichte gekennzeichnet.

**Abschnitt A** fasst die Geschosswohnungsbauten und die Reihenhäuserzeile zusammen. Die Reihenhäuser haben aufgrund der dichten Bebauung noch eine mittlere Wärmedichte.

In **Abschnitt B** befinden sich Doppelhäuser, Punkthäuser und wenige Einfamilienhäuser, hier wird von einer mittleren bis geringen Wärmedichte ausgegangen.

**Abschnitt C** besteht aus Einfamilienhäusern und wenigen Doppelhäusern, es ist von einer geringen Wärmedichte für diesen Abschnitt auszugehen.

Folgende Netzausbaustufen werden untersucht:

- Blockriegel: große Geschosswohnungsbauten im Norden
- Abschnitt A: Geschosswohnungsbau und Reihenhäuserzeile
- Abschnitt AB: Geschosswohnungsbau, Reihenhäuserzeile und Doppel-/Punkthäuser
- Gesamtgebiet ABC: Geschosswohnungsbau, Reihenhäuserzeile, Doppel-/Punkthäuser und Einfamilienhäuser

### Randbedingungen / Annahmen

Die Wirtschaftlichkeit der Netzausbaustufen wurde beispielhaft für eine Passivhaussiedlung (alle Gebäude im Passivhausstandard (PH)) gerechnet für die Ausbaustufen: Blockriegel / A / AB / ABC. Als Energieversorgungsart wurde eine Wärmezentrale mit Erdgas-BHKW und Spitzenkessel angenommen. Die Ergebnisse sind übertragbar auf andere Baustandards sowie Energieversorgungsarten.

Folgende Tabelle zeigt die zugrunde gelegten Eingangs-, bzw. Auslegungsdaten:

Tab. 12 Kenndaten zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit der Netzausbauvarianten

	<b>PH ABC</b>	<b>PH AB</b>	<b>PH A</b>	<b>PH Block</b>
Anschlüsse [Stk]	123	86	44	8
Energiebedarf ab Zentrale [MWh/a]	3.000	2.400	1.750	1.300
Heizlast [kW]	1.580	1.280	950	720
BHKW [kW <sub>th</sub> ]	520	420	310	230
SpKs [kW]	2*740	2*600	2*450	2*340

## Netzauslegung



Abb. 11: erste Netzauslegung zur Ermittlung der Rohrdurchmesser und Leitungslängen

Es wurde eine grobe Netzdimensionierung auf Basis der ermittelten Heizlasten der Gebäude vorgenommen. Für diesen Entwurf wurden die örtlichen Gegebenheiten nicht explizit geprüft. Die Netzdimensionierung erfolgt auf der Grundlage von Typengebäuden und Erfahrungswerten und ersetzt keine Planungsleistungen, wie sie in der Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI) beschrieben sind.

Es ergibt sich eine Verteilleitungslänge von ca. 1.500 Trassenmeter und eine Länge von ca. 2.800 Trassenmetern für die Hausanschlüsse. Die Querschnitte der Verteilleitungen liegen zwischen DN15 und DN100. Als Material wurde PE-Rohr angesetzt.

## Standort Heizzentrale

Der Standort der Heizzentrale ist abhängig von der möglichen Gasanschlussleitung. Nach Rücksprache mit SWE Netz wird die Zentrale mit einer Gas-Niederdruckleitung angeschlossen, die durch das Gebiet verlegt wird und die Gasversorgungsgebiete „Binderslebender Landstraße“ und „Bahnhof West“ miteinander verbindet. Entlang dieser Verbindungsleitung wäre jeder Standort für die Heizzentrale denkbar.



Abb. 12: Der Standort für die Heizzentrale ist überall entlang der Verbindungsleitung (rot) denkbar.

## Nutz- und Endenergie

Die folgende Abbildung zeigt den Nutzenergiebedarf für Heizung und Warmwasser (orange), die an die Wärmeproduktion gekoppelte Strommenge (Nutzenergie Strom) und die aus dem Netz bezogenen Endenergie (z.B. Erdgas) für die vier verschiedenen Netzausbaustufen.

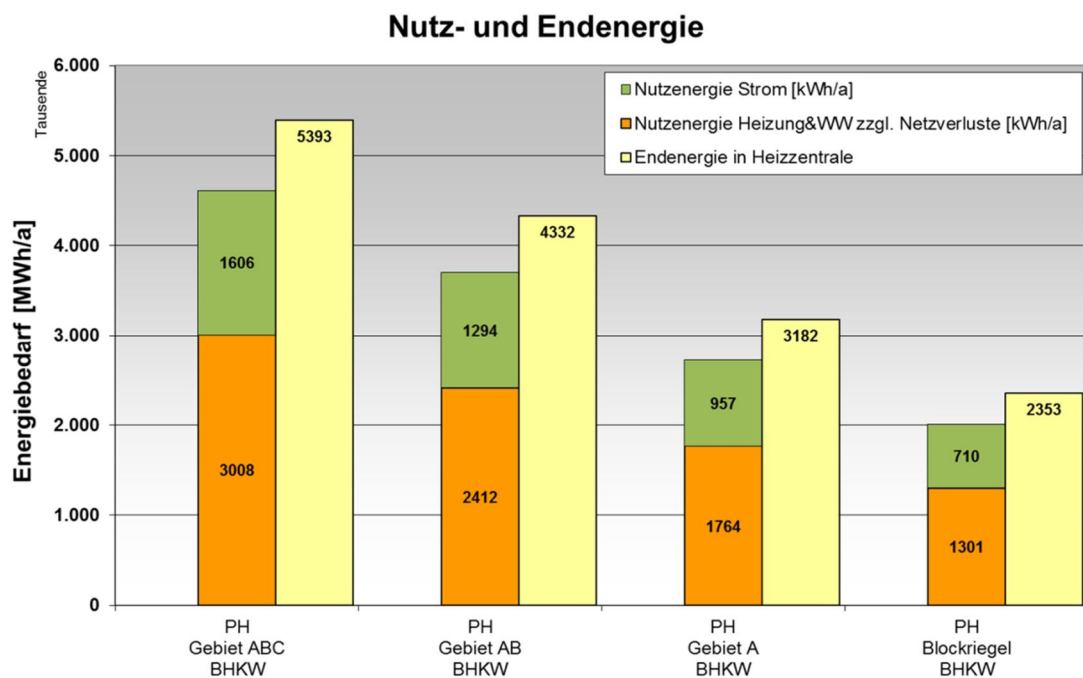


Abb. 13 Nutz- und Endenergie der Netzausbaustufen

## Investitionen

Die Investitionskosten der Netzausbaustufen wurden grob abgeschätzt (keine Planungsgrundlage). Sie beinhalten den Gasanschluss an die Zentrale, Investitionskosten Wärmeerzeuger und –speicher inkl. Regelung, Lieferung und Montage, Abgasleitungen, Schornsteine, hydraulische und elektrische Anschlüsse, Gebäude, Wärmenetzleitungen und Netzpumpen. Grundstückskosten/Kaufpreis für die Energiezentrale sind nicht enthalten. Planungskosten wurden pauschal mit 20% der Investitionssumme abgeschätzt. Die folgende Abbildung zeigt die einzelnen Kostengruppen der Varianten.

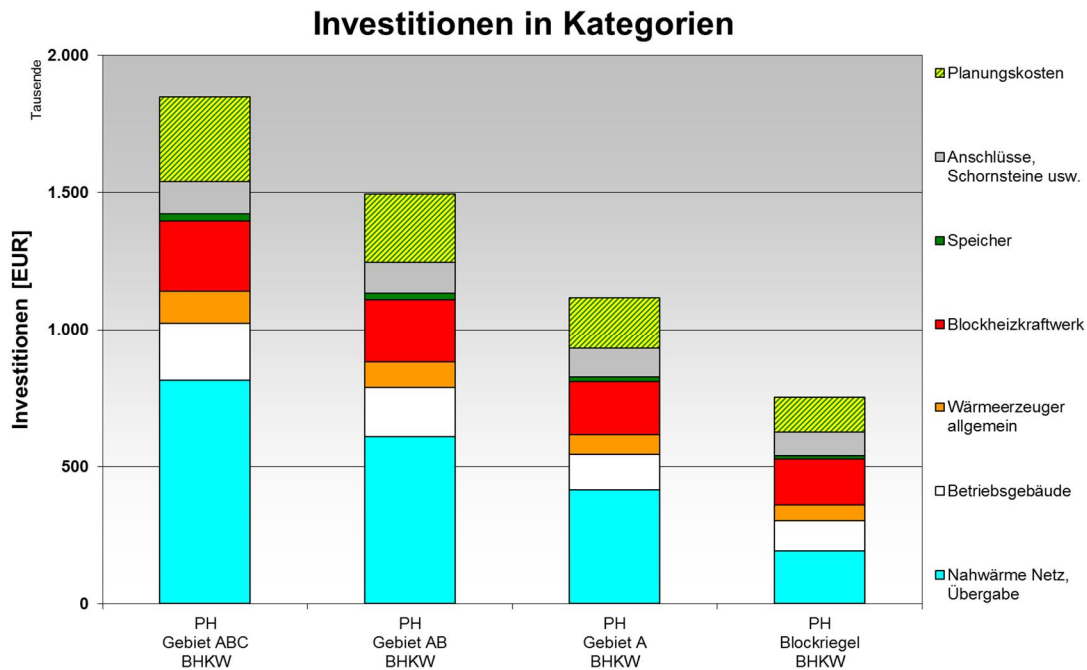


Abb. 14 Investitionskosten der Netzausbaustufen

## Resultierende Wärmepreise

Basis für die Ermittlung der Wärmepreise ist die Annuität der Netzausbaustufen aus Investitionen, Energiebezugskosten und Wartung ohne Berücksichtigung der Energiepreissteigerung. Aus den berechneten Wärmepreisen wird für den musterhaften Vergleich ein Tarifmodell gebildet. Der Grundpreis entspricht der auf einen Zeitraum von 20 Jahren umgelegten Investitionen und Finanzierungskosten. Der Arbeitspreis ist aus den Energiebezugs- und Wartungskosten gebildet.

Die Rahmendaten für die Wirtschaftlichkeitsberechnung sind in Kapitel 3.2 und 3.3 zusammengefasst.

Es wurde jeweils eine Variante ohne und mit Baukostenzuschuss für den Nahwärmeanschluss berechnet.

## Wärmepreis (ohne Baukostenzuschuss)

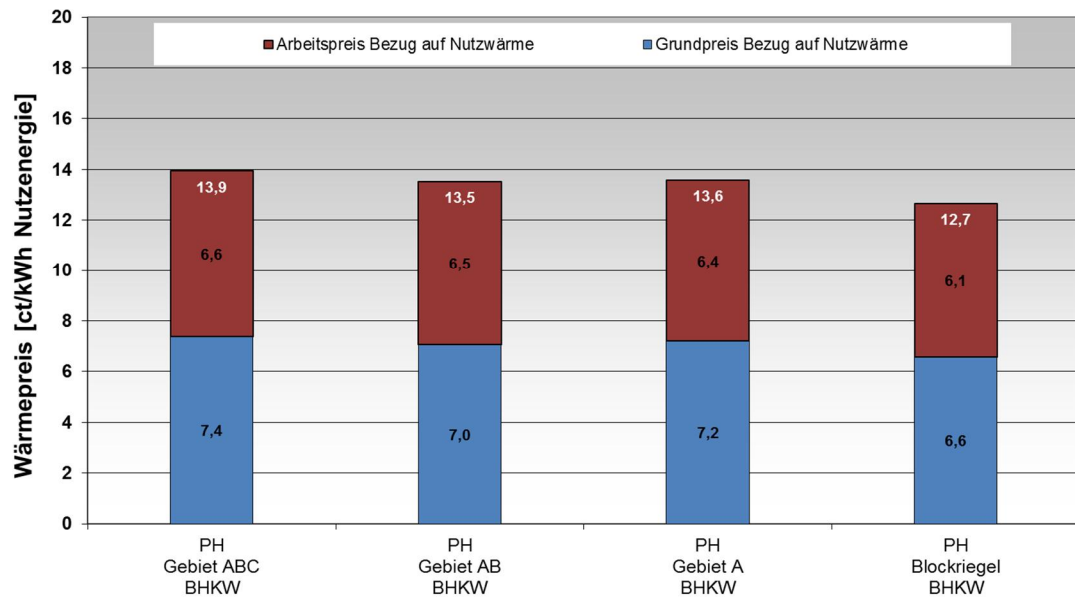


Abb. 15 resultierende Wärmepreise (ohne Baukostenzuschuss) der Netzausbaustufen

Bei Betrachtung der Wärmepreise hat die Variante „Blockriegel“ mit 12,7 ct/kWh den niedrigsten Wärmepreis. Die anderen drei Varianten liegen mit 13,5 ct/kWh und 13,9 ct/kWh zwar höher, aber insgesamt sehr eng beieinander. Mit dem Ziel, den Wärmepreis auf ein vergleichbares Niveau wie den „Blockrand“ zu halten wurde in einer Annahme ein Baukostenzuschuss von 3.500 EUR pro Hausanschluss nur für die Einfamilien-/ Doppel-/ Reihenhäuser angesetzt.

## Wärmepreis (mit Baukostenzuschuss)

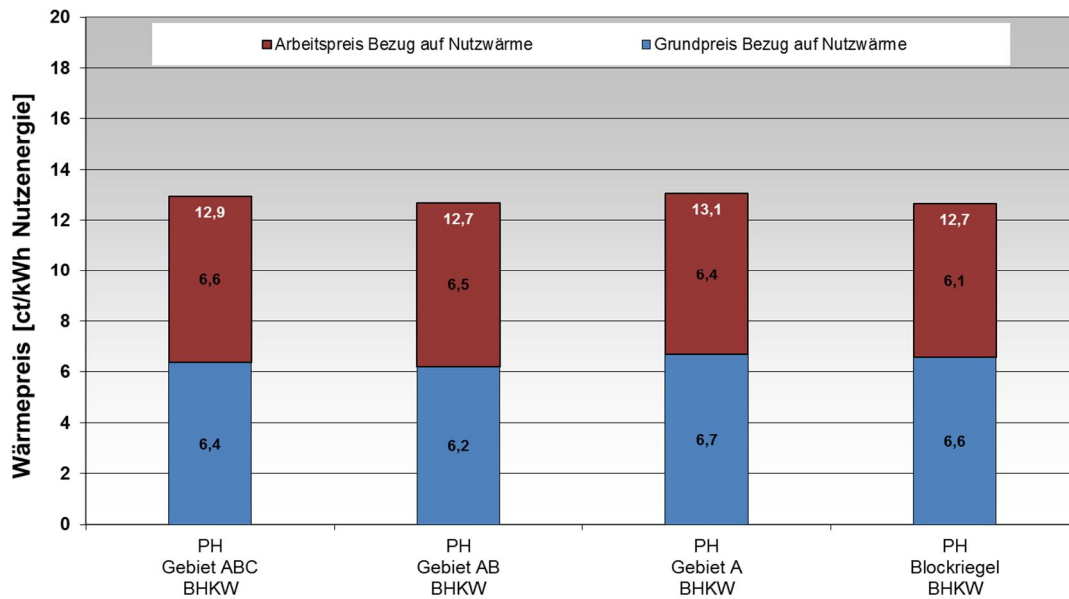


Abb. 16 resultierender Wärmepreis (mit Baukostenzuschuss) der Netzausbaustufen

Ohne Baukostenzuschuss unterscheiden sich die Wärmepreise der Ausbaustufen bei gleichbleibender Energieversorgungstechnik um 6%. Mit dem Baukostenzuschuss nivellieren die Wärmepreise aller Ausbaustufen (+/- 1,5%).

**Unter diesen Annahmen ist die Nahwärmeversorgung des gesamten Gebietes wirtschaftlicher darstellbar.** Es wird daher in den folgenden Untersuchungen zu den verschiedenen Wärmeversorgungsvarianten mit einem Nahwärmenetz für das Gesamtgebiet weitergerechnet.



### 5.3.2 Vergleich der zentralen Wärmeerzeugungsvarianten

Für die Nahwärmeversorgung des Gesamtgebiets wird nun eine Variation der Energieerzeugung vorgenommen. Es wird herausgearbeitet, welche der Varianten für einen Betreiber die wirtschaftlichste ist und welche die ökologisch sinnvollste. Folgende Versorgungsvarianten wurden untersucht:

- BHKW: Erdgas-BHKW mit Erdgas-Spitzenkessel (SpK)
- Biomethan BHKW: Biomethan-BHKW mit Erdgas-Spitzenkessel
- Grundwasser: Grundwassernutzung mit Kompressions-Wärmepumpe (GW-WP<sub>elt</sub>) auf 450m + Erdgas-Spitzenkessel
- Grundwasser + BHKW Biomethan: Grundwassernutzung mit Kompressions-Wärmepumpe (GW-WP<sub>elt</sub>) auf 450m + Biomethan-BHKW + Erdgas-Spitzenkessel

In den Varianten mit Biomethan-BHKW werden die Spitzenkessel aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten mit Erdgas betrieben und nicht, wie die BHKWs mit Biomethan. Wird Biomethan in den BHKWs eingesetzt, so erhält der Betreiber für den im BHKW erzeugten Strom eine Stromvergütung nach EEG, damit wird der Einsatz von Biomethan für das BHKW wirtschaftlich. Wird Biomethan auch in den Spitzenkesseln eingesetzt, so erhöhen sich die Betriebskosten und damit auch die Wärmegestehungskosten, dafür fallen die Emissionen geringer aus. Es ist dabei zu beachten, dass in den Spitzenkesseln nur etwa 15-20% der Jahresenergie erzeugt wird.

Die nachstehende Tabelle zeigt die Kenndaten der Versorgungsvarianten:

Tab. 13 Übersicht der Parameter der untersuchten Versorgungsvarianten

	<b>BHKW-Erdgas</b>	<b>BHKW-Biomethan</b>	<b>GW WP<sub>elt</sub></b>	<b>GW WP<sub>elt</sub>+BHKW</b>
BHKW [ $\text{kW}_{\text{th}} / \text{kW}_{\text{el}}$ ]	520 / 340	520 / 340		100 / 60
WP [ $\text{kW}_{\text{th}}$ ]			330	240
JAZ			4	4
SpKs [kW]	2*750	2*750	2*950	2*950

#### Investitionen

Die Investitionskosten beinhalten den Gasanschluss an die Zentrale, Geothermiebohrungen, Investitionskosten Wärmeerzeuger und –speicher inkl. Regelung,

Lieferung und Montage, Abgasleitungen, Schornsteine, hydraulische und elektrische Anschlüsse, Gebäude, Wärmenetzleitungen und Netzpumpen. Grundstückskosten/Kaufpreis für die Energiezentrale sind nicht enthalten. Planungskosten wurden pauschal mit 20% der Investitionssumme abgeschätzt. Die folgende Abbildung zeigt die einzelnen Kostengruppen der Varianten.

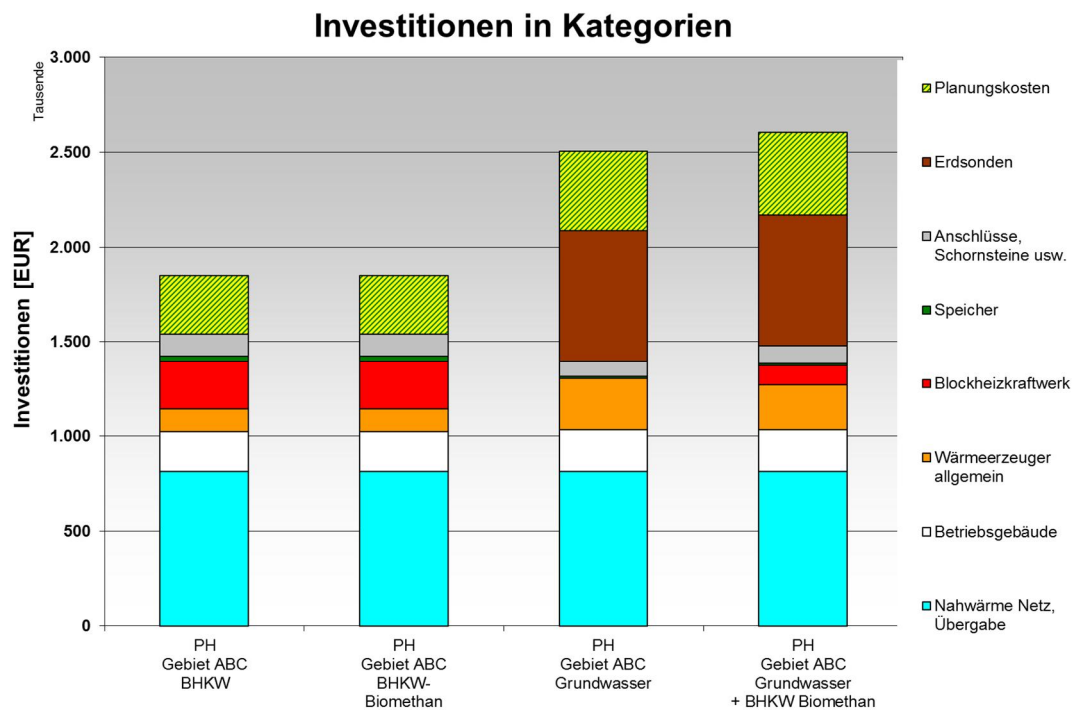


Abb. 17: Übersicht Abschätzung Investitionskosten der unterschiedlichen Nahwärmeversorgungsvarianten.

## Wärmepreise

Basis für die Ermittlung der Wärmepreise ist die Annuität der einzelnen Varianten aus Investitionen, Energiebezugskosten und Wartung ohne Berücksichtigung der Energiepreissteigerung.

Die Rahmendaten für die Wirtschaftlichkeitsberechnung sind in Kapitel 3.2 und 3.3 zusammengefasst.

Im der folgenden Abbildung sind die Wärmepreise der einzelnen Varianten dargestellt. Ein Baukostenzuschuss wie in Kapitel 5.3.1 wurde bereits berücksichtigt.

## Wärmepreis (mit) Baukostenzuschuss)

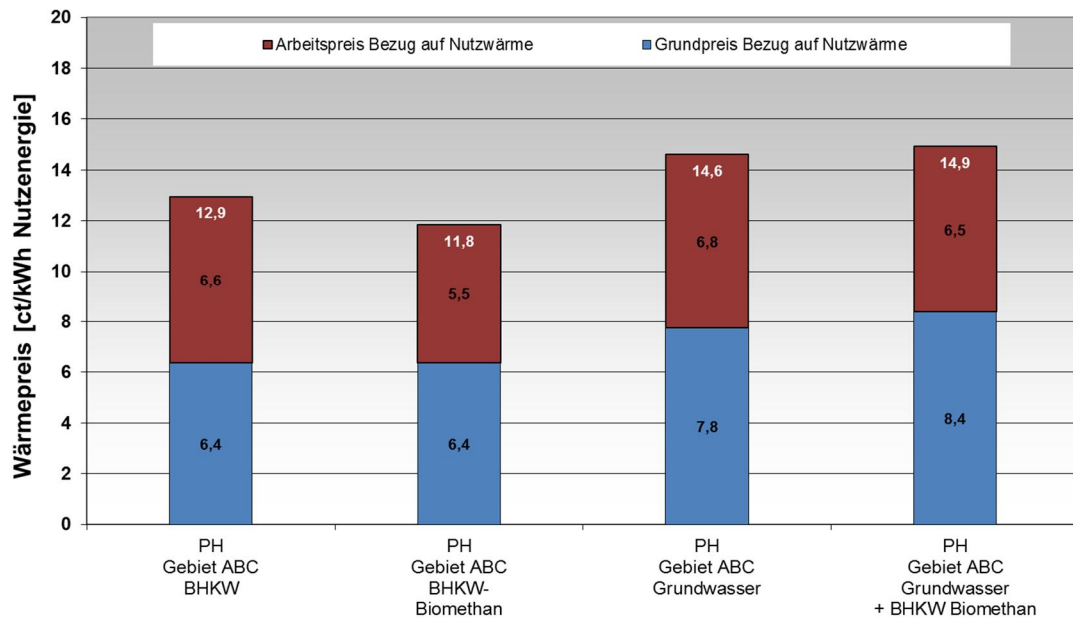


Abb. 18 Resultierender Wärmepreis (mit Baukostenzuschuss)

Bei Betrachtung der Wärmepreise ergibt sich ein mittlerer heutiger Wärmepreis in der Bandbreite von rd. 11,8 bis 14,9 ct. je gelieferter Kilowattstunde Wärme. Die Wärmeversorgung mit einem Biomethan-BHKW ist mit 11,8 ct die günstigste. Beide Varianten mit einer Grundwasser-Wärmepumpe sind um fast 25% teurer als die günstigste Variante.

## CO<sub>2</sub>-Emissionen

Die Umweltwirkung der unterschiedlichen Versorgungsarten kann anhand der CO<sub>2</sub>-Emissionen verglichen werden.

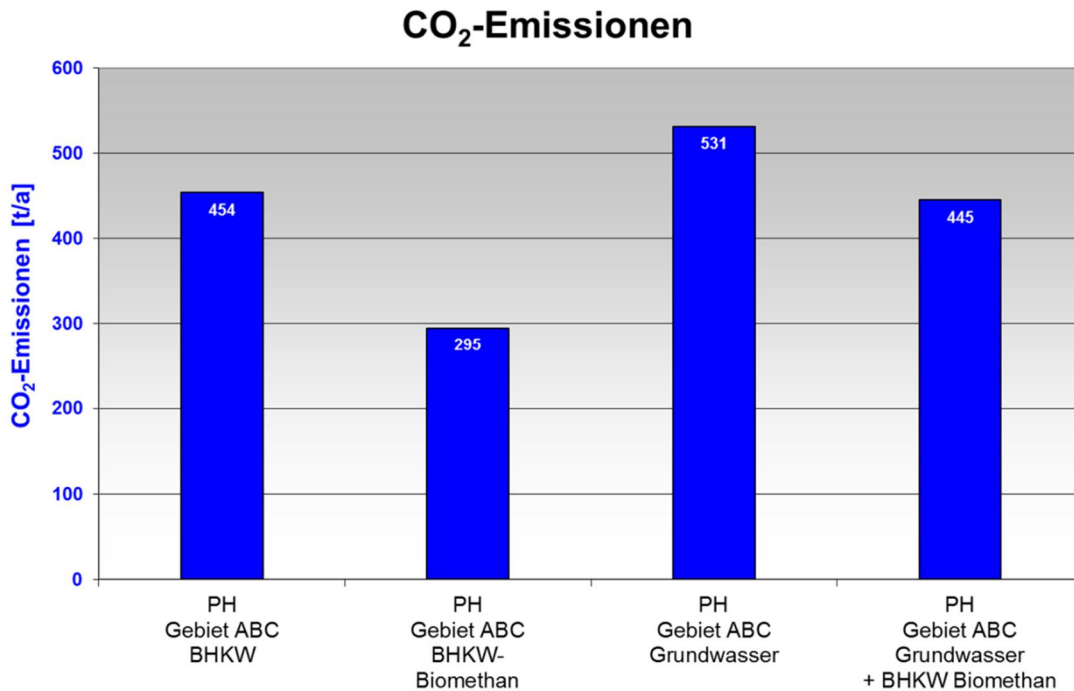


Abb. 19: Ergebnisse der CO<sub>2</sub>-Bilanz für das Gesamtgebiet Marienhöhe in unterschiedlichen Versorgungsvarianten

Die Variante Nahwärmenetz mit Biomethan-BHKW hat die vergleichsweise niedrigsten Emissionen, gefolgt von den Varianten Erdgas-BHKW und Grundwasser-Wärmepumpe mit Biogas-BHKW. Beide haben jedoch einen um über 50% höheren CO<sub>2</sub>-Ausstoß. Die Nahwärme mit Biomethan-BHKW schneidet am besten ab.

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Varianten mit Grundwasser liegen trotz des CO<sub>2</sub>-freien Energieträgers „Grundwasser“ so hoch, da für die Erhöhung der Temperatur von dem Temperaturniveau des Grundwassers (ca. 15 - 20°C) auf das Temperaturniveau des Nahwärmenetzes (80 - 90°C) in der Wärmepumpe viel Strom benötigt wird, der einen um den Faktor 3 höheren Emissionsfaktor aufweist als Biomethan.

Nachstehende Tabelle zeigt die berechneten CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren bezogen auf die kWh gelieferte Endenergie für die einzelnen Varianten der Wärmeversorgung:

Tab. 14 Übersicht der CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren der Nahwärmeversorgungsvarianten

Emissionsfaktoren	Erdgas-BHKW	Biomethan-BHKW	Grundwasser	Grundwasser +BHKW
CO <sub>2</sub> -Faktor [kg/kWh]	0,181	0,118	0,212	0,177

### 5.3.3 Fazit und Empfehlungen

- Wirtschaftlich:** Den niedrigsten Wärmepreis liefert die Variante mit Biomethan-BHKW aufgrund des geringen Biomethanpreises bei hohen EEG-Stromvergütungen.
- Umweltseitig:** weist die Variante mit Biomethan-BHKW die niedrigsten CO<sub>2</sub>-Emissionen auf. Für das Konzept eines Baugebietes mit geringstmöglichen CO<sub>2</sub>-Emissionen ist diese Variante zielführend.
- Empfehlung:** Insgesamt ist eine zentrale Nahwärmeversorgung für das gesamte Gebiet zu empfehlen. Eine Wärmeversorgung mit einem Biomethan-BHKW ist empfehlenswert.

## 5.4 Mustergebäude Wärmeversorgung

Die Umweltbilanz und Wirtschaftlichkeit unterschiedlicher Kombinationen von wärmetechnischer Gebäudehülle und Haustechnik wurde musterhaft für ein Einfamilienhaus (Gebäudetyp EFH\_1) und ein Mehrfamilienhaus (Gebäudetyp BR\_1) untersucht. Jeweils wurden die Baustandards Passivhaus-Standard und KfW Effizienzhaus 55 betrachtet. Zusätzlich wurde als Referenzvariante der Baustandard EnEV2009 ohne Lüftungsanlage mit Standardenergieversorgung (Gas-Brennwerttechnik mit solar unterstützter Trinkwassererwärmung) aufgezeigt.

Das Passivhaus verfügt definitionsgemäß über eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung. Für das KfW Effizienzhaus 55 wurde aus hygienischen und Gründen des Wohnkomforts sowie zur Vorbeugung von Schimmelbildung ebenfalls eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung angesetzt.

Das EnEV-Referenzgebäude ist vom Wohnkomfort und den hygienischen Bedingungen nicht mit den beiden Effizienzhaustypen vergleichbar. Hierfür müsste

zumindest eine einfache Abluftanlage ohne Wärmerückgewinnung eingesetzt werden. Da eine Lüftungsanlage für das EnEV-Referenzgebäude nicht vorgeschrieben ist wird für die Referenzvariante dieses Konzepts davon ausgegangen, dass keine Lüftungsanlage eingesetzt wird.

### 5.4.1 Untersuchte Versorgungsvarianten

Folgende Versorgungsvarianten werden untersucht:

- Gas-BW+Sol: Gasbrennwertkessel mit solar unterstützter Warmwasserbereitung
- Erdreich-WP: Geothermie über Erdwärmesonden monovalent
- Erdgas-BHKW: Erdgas-BHKW (nur für das Mehrfamilienhaus)
- Luft-Wasser-WP: Luft-Wasser-Wärmepumpe (nur für das Einfamilienhaus)
- Nahwärme mit Biomethan-BHKW: Nahwärmeversorgung mit Biomethan-BHKW

Für die Nahwärmeversorgung mit Biomethan-BHKW gilt der resultierende Wärmepreis aus der Betrachtung der Versorgungsvarianten (GP 6,4 ct./kWh, AP 5,5 ct./kWh).

Der Einsatz eines BHKW für ein Einfamilienhaus in den betrachteten Baustandards ist nicht sinnvoll, da es aufgrund des geringen Wärmebedarfs zu sehr geringen Laufzeiten kommt. Ein wirtschaftlicher Betrieb ist nicht möglich.

Der Einsatz einer Luft-Wasser-Wärmepumpe für den Geschosswohnungsbau wird nicht betrachtet, da aufgrund der Legionellenproblematik für Mehrfamilienhäuser noch höhere Vorlauftemperaturen benötigt werden als für Einfamilienhäuser und damit der Wirkungsgrad der Wärmepumpe noch niedriger wird.

### 5.4.2 Mustergebäude Einfamilienhaus

#### Investitionen

Bezüglich der Gebäudehülle wurde der Mehrkostenansatz gewählt (siehe Kapitel 3.2).

Die Investitionen für die Haustechnik umfassen je nach Variante einen Anteil für die Gasversorgung im Gebiet, Hausanschluss Erdgas, Lüftungsanlage, Wärmeerzeugungsanlagen und Pufferspeicher inkl. Lieferung und Montage,

Regelung, hydraulische und elektrische Anschlüsse, Abgasleitungen/Schornsteine und den Ansatz für einen Baukostenzuschuss. Planungskosten sind mit pauschal 20% in den Investitionskosten enthalten.

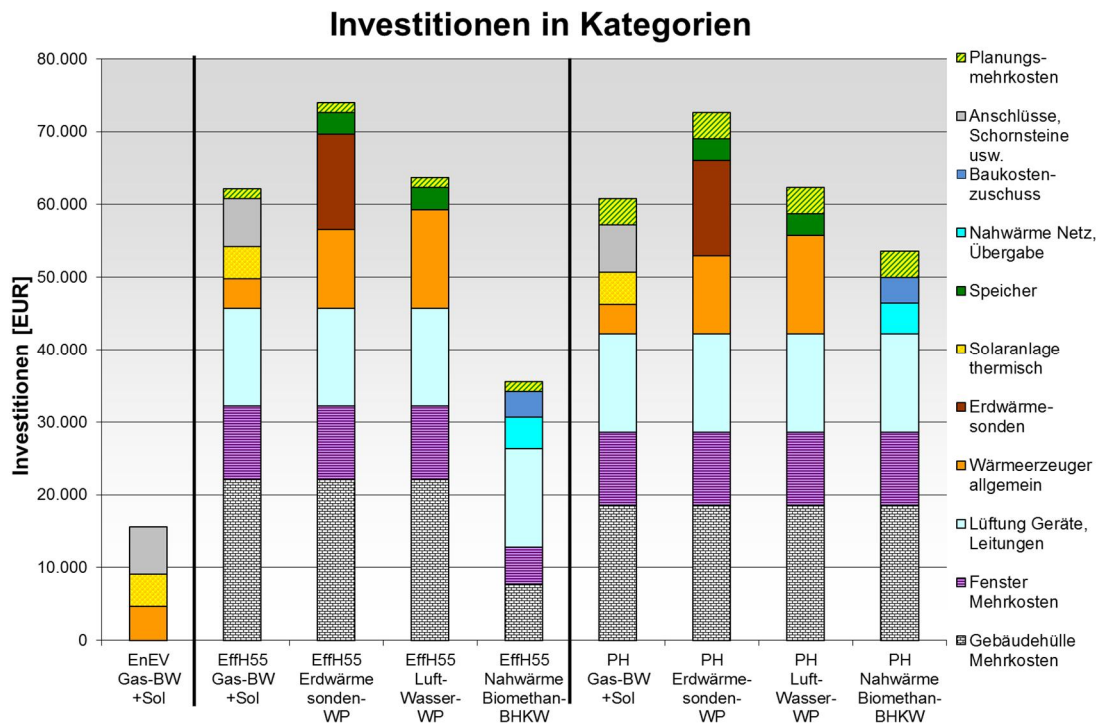


Abb. 20: Übersicht Investitionskosten in Gebäudehülle und Haustechnik (Gebäudehülle Mehrkosten) für Gebäudetyp EFH\_1 bei den verschiedenen Versorgungsvarianten und Baustandards.

In der Referenzvariante EnEV Gas-BW+Sol liegen die Investitionskosten der Energieversorgungstechnik aufgrund des etwas größeren Kessels leicht höher als bei den Effizienzhäusern mit Gas-BW+Sol. Die Mehrinvestitionskosten in die Gebäudehülle machen jedoch den deutlich größeren Anteil aus. Die Mehrinvestitionen zum Erreichen eines Effizienzstandards liegen bei knapp 20.000 EUR (EffH55 mit Nahwärme) bis zu 60.000 EUR (Varianten mit Erdwärmesonden).

Bei einem KfW-Effizienzhaus ist der Umfang der notwendigen Dämmmaßnahmen von der erforderlichen Unterschreitung der folgenden zwei in der EnEV definierten Kriterien abhängig:

- A. dem maximalen auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogenen Transmissionswärmeverlust ( $H_T$ ) sowie
- B. dem maximalen Jahres-Primärenergiebedarf ( $Q_P$ )

Die Anforderung an die energetische Qualität der Gebäudehülle (Dämmmaßnahmen) nach Kriterium „A“ ist unabhängig von der Energieversorgung

und daher für alle Varianten gleich. Für die Einhaltung des Kriteriums „B“ können sich die erforderlichen Dämmmaßnahmen jedoch unterscheiden, da zum Einen die Energieträger der untersuchten Energieversorgungsarten einen unterschiedlichen Primärenergiefaktor ( $f_p$ ) und zum Anderen die Wärmeerzeuger unterschiedliche Aufwandszahlen ( $e_g$ ) haben. Bei Energieversorgungsarten mit niedrigem Primärenergiefaktor und kleiner Aufwandszahl kann deshalb durch geringere Dämmmaßnahmen derselbe Effizienzhaus-Standard erreicht werden wie bei Versorgungsarten mit hohem Primärenergiefaktor und großer Aufwandszahl. Die Anforderung an den Transmissionswärmeverlust eines Effizienzhauses (Kriterium „A“) bleibt jedoch bestehen.

In Abb. 20 ist anhand der Investitionskosten für die Dämmmaßnahmen zu erkennen, dass zur Einhaltung des Kriteriums „B“ für das EffH55 mit Nahwärme, wegen des niedrigen Primärenergiefaktors der Nahwärme mit Biomethan BHKW, weniger Dämmmaßnahmen notwendig sind, als für die Varianten Gas-BW+Sol, Erdreich-WP und Luft-Wasser-WP.

Für die Varianten mit Passivhausstandard sind immer dieselben Dämmmaßnahmen notwendig, da der Passivhausstandard nur über den maximalen Nutzenergiebedarf von  $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  definiert ist und damit unabhängig von der Energieversorgungsart.

## **Nutz- und Endenergie**

Die folgende Abbildung zeigt den Nutzenergiebedarf für Heizung und Warmwasser und die Endenergie für die verschiedenen Versorgungsvarianten und Baustandards.



## Nutz- und Endenergie

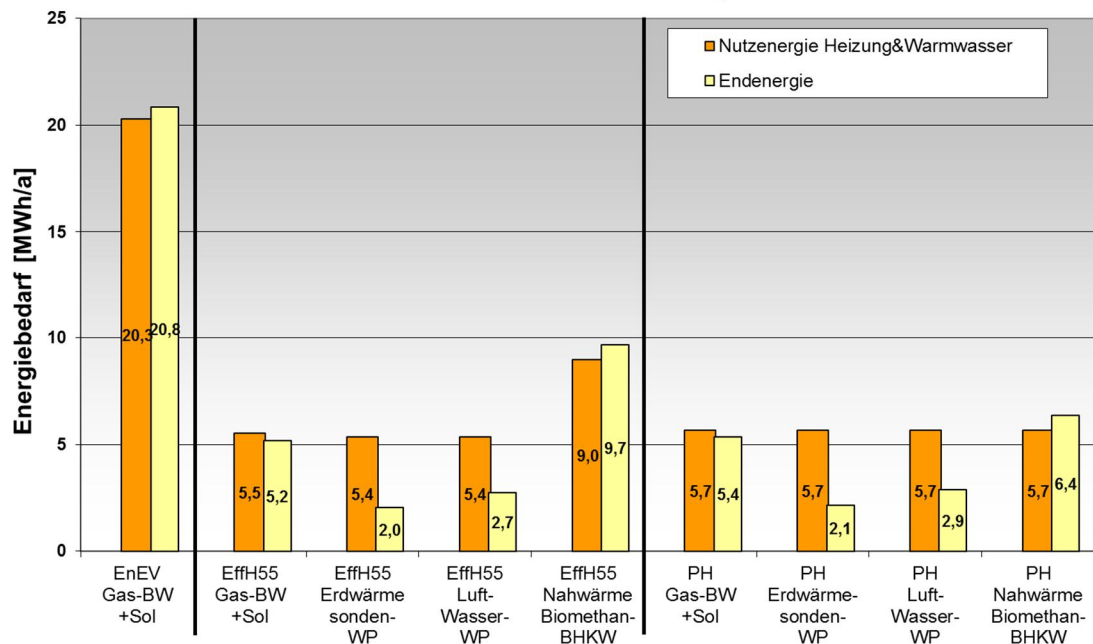


Abb. 21 Nutz- und Endenergie des EFH\_1 bei unterschiedlichen Versorgungsvarianten und Baustandards

Die Referenzvariante EnEV mit Gas-BW+Sol zeigt einen deutlich höheren Endenergiebedarf auf als die Effizienzhäuser. Innerhalb der Effizienzhäuser liegt beim EffH55 mit Nahwärmeversorgung der höchste Energiebedarf vor aufgrund der geringen benötigten Dämmung. Alle anderen Varianten – auch im Vergleich der Passivhäuser mit dem EffH55 Standard – liegen bezogen auf die Nutzenergie ganz dicht beieinander.

### Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeit der Beispielgebäude ergibt sich aus den Investitionen (unter Einbeziehung der Kosten für die Kapitalbeschaffung) und den Verbrauchskosten (unter Einbeziehung von Energiepreiserhöhungen). Hilfsenergiebedarf, Wartung und Instandhaltung werden ebenfalls berücksichtigt.

Die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen sind in Kapitel 3.2 und 3.3 aufgeführt.

## Wirtschaftlichkeit aus Nutzersicht

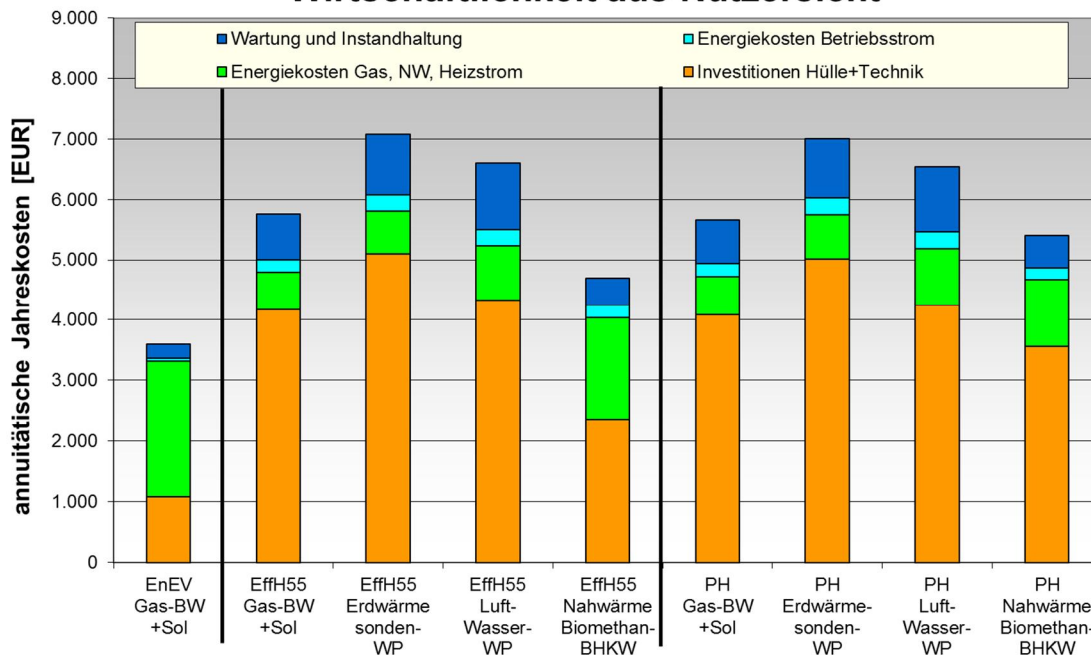


Abb. 22: Wirtschaftlichkeitsberechnung des Gebäudetyps EFH. Die Berechnung beinhaltet Mehrkosten zur Erlangung des energetischen Standards, Kosten der Haustechnik sowie Verbrauchskosten. Energiepreissteigerung 6,92 % p.a.

Unter Annahme der genannten Energiepreissteigerungsraten weist die Referenzvariante EnEV mit Gas-BW+Sol die niedrigsten Jahreskosten auf. Sie hat gegenüber der günstigsten Variante - EffH55 mit Nahwärme - ca. 1.000 EUR/a geringere Jahreskosten, gegenüber der ungünstigsten Variante – EffH55 mit Erdwärmesonden) ca. 3.500 EUR/a.

Innerhalb der Effizienzhäuser ist der Anschluss an eine zentrale Nahwärmeversorgung bei beiden Baustandards – Passivhaus und KfW-Effizienzhaus 55 – gegenüber der Einzelversorgung wirtschaftlich, damit konkurrenzfähig und als Strategie zu empfehlen.

Beide Wärmepumpenlösungen (Luft-Wasser und Erdwärmesonden) sind mit ca. 2.000 – 2.500 EUR/a höheren Jahreskosten wirtschaftlich deutlich ungünstiger. Die Standardlösung Gas-BW+SOL ist mit ca. 1.000 EUR/a höheren Jahreskosten wirtschaftlich etwas ungünstiger als die Nahwärmelösung.

## CO<sub>2</sub>-Bilanz

Die Umweltwirkung der unterschiedlichen Versorgungsarten kann anhand der CO<sub>2</sub>-Emissionen verglichen werden.

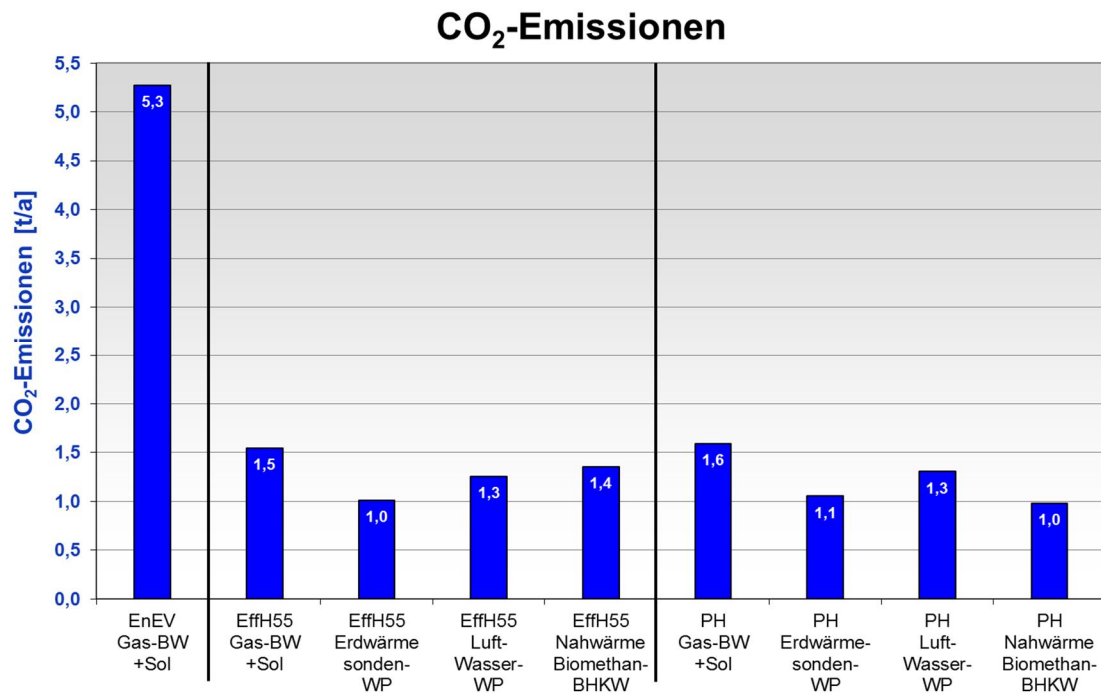


Abb. 23: Ergebnisse CO<sub>2</sub>-Bilanz für das EFH. Vergleich verschiedener Versorgungs- und Einsparvarianten.

Wird das Gebäude in Passivhausstandard mit Nahwärme aus Biomethan-BHKW versorgt, so sind die CO<sub>2</sub>-Emissionen am niedrigsten. Nahezu gleichwertig sind nur die beiden Baustandards mit einer Erdwärmesonden-Wärmepumpe. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen aller anderen Varianten liegen um mindestens 25% höher.

Die Referenzvariante EnEV mit Gas-BW+Sol weist etwa 5-fach höhere CO<sub>2</sub>-Emissionen auf.

Die obige Betrachtung berücksichtigt den weltweit klimawirksamen Ausstoß von Schadgasen (in CO<sub>2</sub>-Emissionen); lokale Emissionen, insbesondere Stickoxidemissionen (NO<sub>x</sub>), sind hier nicht berücksichtigt.

## Zusammenfassung und Fazit Einfamilienhaus

- Die Referenzvariante EnEV-Referenzgebäude mit Gas-Brennwert und Solar ist wirtschaftlich die günstigste Variante (20%-50% günstiger), schneidet aber emissionsseitig schlecht ab (um den Faktor 2,3 - 4,3 erhöhte CO<sub>2</sub>-Emissionen)
- Innerhalb eines Baustandards liegen die Jahreskosten für die Variante Nahwärme mit Biomethan-BHKW günstiger als für die Variante

Brennwertkessel+Solar (EffH55: ca. -20%, PH: ca. -5%) und der Variante Erdwärmesonden-WP (EffH55: ca. -30%, PH: ca. -20%).

- Die Jahreskosten für die Variante Nahwärme mit Biomethan-BHKW liegen für das EffH55 gut 10% günstiger als für das PH.
- Von den beiden wirtschaftlichsten Varianten ist PH+Nahwärme mit Biomethan-BHKW die Variante mit den niedrigsten CO<sub>2</sub>-Emissionen, das Gebäude mit dem Standard EffH55 liegt knapp 40% (!) darüber.
- Anmerkung: Die beiden emissionsseitig ebenfalls sehr günstigen Varianten mit Erdreich-WP sind die wirtschaftlich ungünstigsten.

Für die Einfamilienhäuser, stellvertretend auch für die Doppelhäuser und die Reihenhäuser, ist die **Passivhausbauweise mit einer Nahwärmeversorgung** aus einem Biomethan-BHKW zu empfehlen. Die Mehrkosten für die Passivhausbauweise gegenüber dem EffH55 sind so gering, dass die emissionsseitige Bewertung größer gewichtet wird.

### 5.4.3 Mustergebäude Mehrfamilienhaus

Es liegen die gleichen Annahmen und Rahmenbedingungen wie für das Einfamilienhaus vor.

#### Investitionen

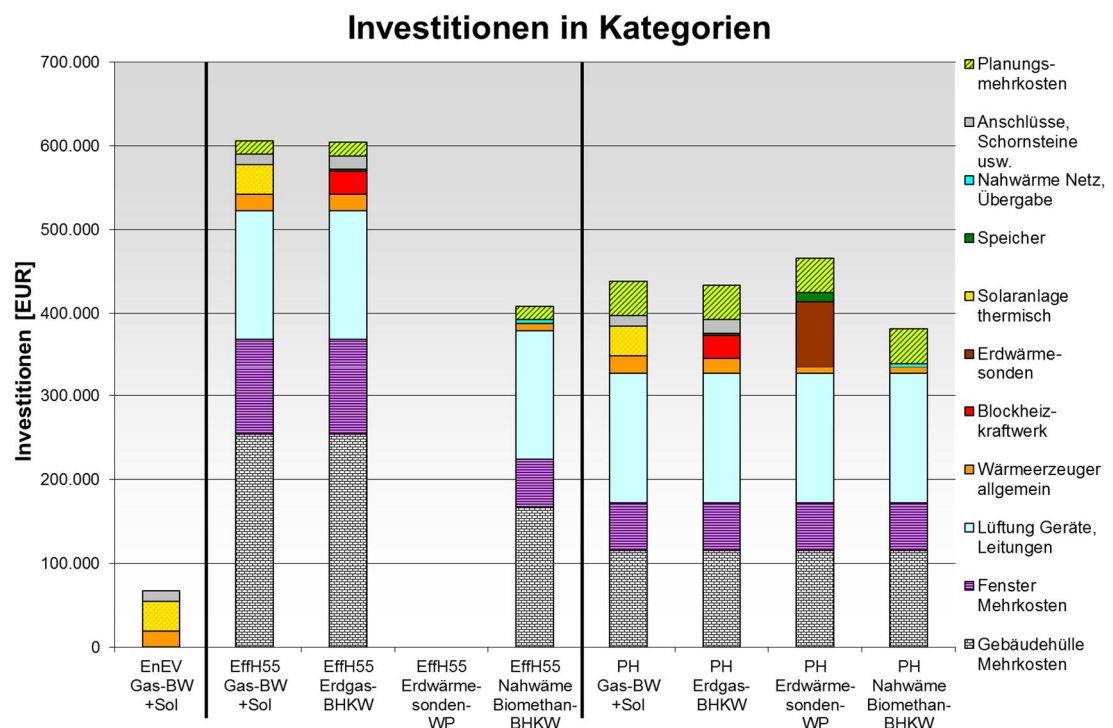


Abb. 24: Übersicht Investitionskosten in Gebäudehülle und Haustechnik (Gebäudehülle Mehrkosten) für Gebäudetyp BR\_1 bei den verschiedenen Versorgungsvarianten und Baustandards.

In der Referenzvariante EnEV Gas-BW+Sol liegen die Investitionskosten der Energieversorgungstechnik aufgrund des etwas größeren Kessels leicht höher als bei den Effizienzhäusern mit Gas-BW+Sol. Die Mehrinvestitionskosten in die Gebäudehülle machen jedoch den deutlich größeren Anteil aus. Die Mehrinvestitionen zum Erreichen eines Effizienzstandards liegen bei 300.000 - 500.000 EUR.

Auch hier ergeben sich, wie in Kapitel 5.4.2 beschrieben, für das EffH55 unterschiedliche Dämmmaßnahmen bei unterschiedlichen Versorgungsarten.

Mit einer monovalenten Wärmepumpe mit Erdwärmesonden (also ohne zusätzliche Wärmequelle zur Geothermie) ist der KfW Effizienzhausstandard 55 voraussichtlich nicht zu erreichen.

Die Kosten für die Passivhausvarianten liegen mit Ausnahme der Geothermie auf einem vergleichbaren Niveau.

## Nutz- und Endenergie

Die folgende Abbildung zeigt den Nutzenergiebedarf für Heizung und Warmwasser und den Endenergiebedarf für die verschiedenen Versorgungsvarianten und Baustandards.

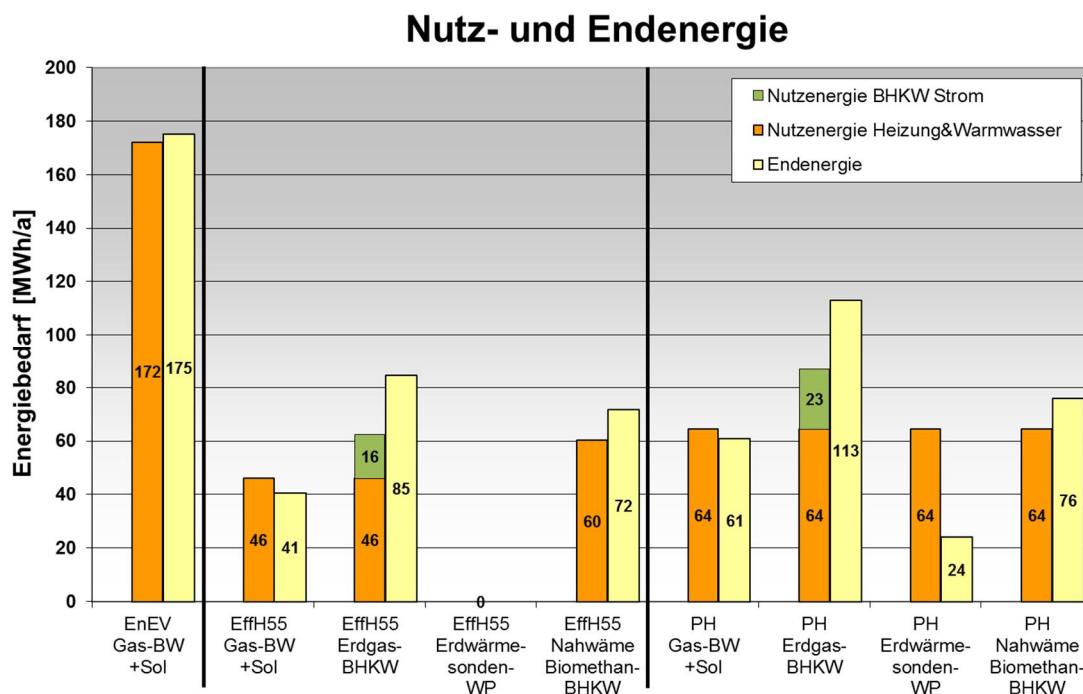


Abb. 25 Nutz- und Endenergie des BR\_1 bei unterschiedlichen Versorgungsvarianten und Baustandards

Aufgrund der extrem guten Dämmung der EffH55 Gebäude mit BW-Kessel + Solar und dem Erdgas-BHKW liegt sogar ein niedrigerer Nutzwärmebedarf als bei den Passivhäusern vor. Alle anderen Varianten liegen bezogen auf die Nutzenergie dicht beieinander. Bei den BHKW-Varianten kommt zur Wärmeproduktion die Stromerzeugung hinzu, die zu einem höheren Endenergiebedarf führt.

Die Referenzvariante weist einen deutlich höheren Nutz- und Endenergiebedarf auf, als die Varianten mit Effizienzhäusern.

## Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeit der Beispielgebäude ergibt sich aus den Investitionen (unter Einbeziehung der Kosten für die Kapitalbeschaffung) und den Verbrauchskosten (unter Einbeziehung von Energiepreissteigerungen). Hilfsenergiebedarf, Wartung und Instandhaltung werden ebenfalls berücksichtigt. Der in der Abb. 26 gezeigte weiße Balken zeigt die Gesamtkosten verrechnet mit der Strom-Vergütung für das BHKW.

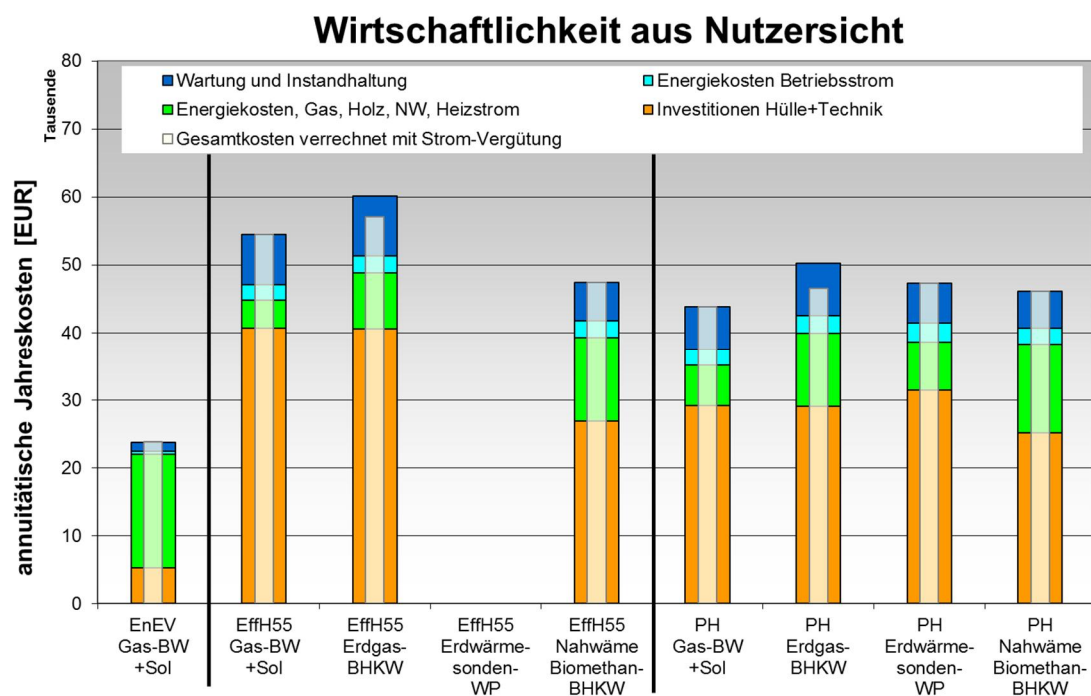


Abb. 26: Wirtschaftlichkeitsberechnung des Gebäudetyps BR\_1. Die Berechnung beinhaltet Mehrkosten zur Erlangung des energetischen Standards, Kosten der Haustechnik sowie Verbrauchskosten. Energiepreissteigerung 6,92 % p.a.

Unter Annahme der genannten Energiepreissteigerungsraten weist die Referenzvariante EnEV mit Gas-BW+Sol die niedrigsten Jahreskosten auf. Sie hat gegenüber der günstigsten Variante – PH mit Gas-BW+Solar - ca. 20.000 EUR/a geringere Jahreskosten, gegenüber der ungünstigsten Variante – EffH55 mit BHKW) ca. 36.000 EUR/a.

Die Versorgungsvarianten beim Standard Passivhaus liegen wirtschaftlich alle auf einem vergleichbaren Niveau, wobei die Standardlösung Gas-BW+Solar wirtschaftlich etwas günstiger (ca. 5%) liegt als die drei anderen Versorgungslösungen. Dies liegt innerhalb des Unschärfereichs der Untersuchung und ist als gleichwertig zu betrachten.

Die KfW Effizienzhaus 55-Varianten liegen mit Ausnahme des Nahwärmeanschlusses etwa 20% teurer als die Passivhaus-Varianten.

## CO<sub>2</sub>-Bilanz

Die Umweltwirkung der unterschiedlichen Versorgungsarten kann anhand der CO<sub>2</sub>-Emissionen verglichen werden.

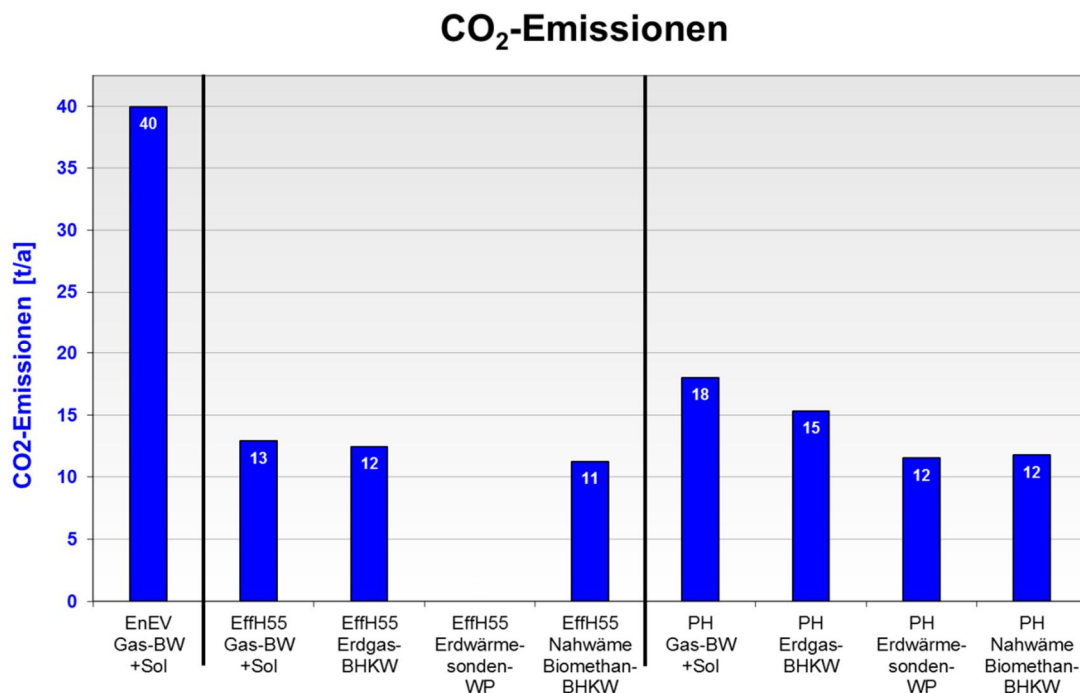


Abb. 27: Ergebnisse CO<sub>2</sub>-Bilanz für das BR\_1. Vergleich verschiedener Versorgungs- und Einsparvarianten.

Wird das Gebäude – Passivhausstandard oder EffH55 Standard – mit der Nahwärme versorgt, so liegen die CO<sub>2</sub>-Emissionen am niedrigsten. Gleichwertig sind das Passivhaus mit einer Erdwärmesonden-Wärmepumpe und das EffH55 mit BHKW.

Die Referenzvariante EnEV mit Gas-BW+Sol weist etwa 2-4-fach höhere CO<sub>2</sub>-Emissionen auf.

Die obige Betrachtung berücksichtigt den weltweit klimawirksamen Ausstoß von Schadgasen (in CO<sub>2</sub>-Emissionen); lokale Emissionen, insbesondere Stickoxidemissionen (NO<sub>x</sub>), sind hier nicht berücksichtigt.



## Zusammenfassung und Fazit

- Die Referenzvariante EnEV-Referenzgebäude mit Gas-Brennwert und Solar ist wirtschaftlich die günstigste Variante (45%-60% günstiger), schneidet aber emissionsseitig schlecht ab (2,2-2,6-fache CO<sub>2</sub>-Emissionen)
- Der KfW-Effizienzhausstandard 55 kann im Mehrfamilienhaus mit Erdwärmesonden voraussichtlich nicht erreicht werden.
- Innerhalb des EffH55-Standards ist die Variante „Nahwärme mit Biomethan-BHKW“ die wirtschaftlichste (ca. 15% geringere Jahreskosten).
- Innerhalb des Passivhaus-Standards liegen alle Varianten wirtschaftlich in derselben Größenordnung, wobei die Variante Brennwertkessel-Solar ca. 5% günstigere Jahreskosten aufweist.
- Die Jahreskosten für die Variante „Nahwärme aus Biomethan-BHKW“ liegen für das Passivhaus geringfügig günstiger als für das EffH55.
- Die niedrigsten CO<sub>2</sub>-Emissionen erzielen die beiden Baustands in der Varianten „Nahwärme aus Biomethan-BHKW“ und das Passivhaus mit Erdwärmesonden.

Für das Mehrfamilienhaus ist der Passivhaus- oder EffH55-Standard mit Nahwärmeversorgung aus Biomethan-BHKW zu empfehlen.

## 5.5 NO<sub>x</sub>-Emissionen

Das Energiekonzept stützt sich auf den Rahmen, der durch den Stadtratsbeschluss vom 09.05.2012 in der DS 0414/12 gesetzt wurde. Als vorrangiges Ziel wird hier die Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen formuliert. Zur Vermeidung erheblicher Erhöhungen der Feinstaub und NO<sub>x</sub>-Belastung wurden feste und flüssige Brennstoffe ausgeschlossen.

Aufgrund des Ausschlusses von Holz als Brennstoff musste das Ziel einer CO<sub>2</sub>-freien Siedlung aufgegeben werden.

Die Option Biogas wurde hingegen als zu untersuchende Option ausdrücklich eröffnet und hat sich unter Klimaschutzgesichtspunkten als Vorzugslösung herausgestellt.

Aufgrund der besonderen lufthygienischen Situation in der Landeshauptstadt Erfurt wurde ungeachtet dessen der Aspekt der NO<sub>x</sub>-Emission des BHKW vor dem Hintergrund der Einhaltung der Immissionsgrenzwerte der 39. BImSchV einer Bewertung unterzogen. Dabei wurden folgende Annahmen zugrunde gelegt:

### Energiedaten aus dem Energiekonzept (siehe auch Abb. 13, Tab 12 und 13)

Nutzenergie Wärme Gebiet ABC	2.500 MWh/a
Netzverluste	<u>500 MWh/a</u>
Energiebedarf ab Zentrale	3.000 MWh/a
Nutzenergie Strom	<u>1.600 MWh/a</u>
Nutzenergie Strom und Wärme	<b>4.600 MWh/a</b>
BHKW Leistung thermisch	520 kW
BHKW Leistung elektrisch	340 kW
Laufzeit	4.750 h/a
Aufwandszahl BHKW	$e_E = 1,18$
Spitzenkessel	2*750 kW
Aufwandszahl Spzks	$e_E = 1,11$
Brennstoffbedarf BHKW Strom	1.900 MWh/a
Brennstoffbedarf BHKW Wärme	<u>2.900 MWh/a</u>
Brennstoffbedarf BHKW	4.800 MWh/a
Brennstoffbedarf SpKs	<u>600 MWh/a</u>
Brennstoffbedarf insgesamt	<b>5.400 MWh/a</b>

### Emissionsfaktoren für NOx:

Es handelt sich um die örtlichen Emissionen ohne Vorketten. Auch Gutschriften aus der vermiedenen lokalen Stromerzeugung sind nicht berücksichtigt. Für aufbereitetes Biogas (=Biomethan) können die Werte von Erdgas angesetzt werden. Im folgenden Literaturwerte aus GEMIS 4.5.

Erdgasheizung	0,201 g/kWh <sub>input</sub> GEMIS 4.5
BHKW 500kW mit 3-Wege-Katalysator	0,226 g/kWh <sub>input</sub> GEMIS 4.5
<small>(großes Gasmotor-Blockheizkraftwerk (BHKW) mit 3-Wege-Kat, hier ohne Gutschrift für genutzte Koppelwärme, d.h. Brutto-Definition – Szenarien-Datei: Gas-BHKW-KAT-500-DE-2000/Brutto(End)</small>	

Es lagen uns Messwerte und Betriebsangaben eines BHKWs aus den Jahren bis 2010 mit ca. 1.300kW<sub>th</sub> und 700 kW<sub>el</sub> vor:

Abgasvolumenstrom unter Vollast gemessen rd.	1.500 m <sup>3</sup> /h
NOx pro Kubikmeter Rauchgas	160 mg/m <sup>3</sup>
Daraus errechnen sich für die konkrete Anlage ein	
Emissionswert von (1500m <sup>3</sup> /h*160mg/m <sup>3</sup> /1300kWh)	0,188 g/kWh <sub>input</sub>

Grundlage für die Emissionsfaktoren aus der Quelle GEMIS 4.5 sind bei einem Sauerstoffgehalt von 5% NOx-Emissionswerte von über 280mg/m<sup>3</sup>. Der Unterschied

zu den gemessenen 160 mg/m<sup>3</sup> ist erheblich, so dass davon ausgegangen werden kann, dass die Grundannahmen im GEMIS sehr konservativ angesetzt worden sind.

Die Hersteller bieten für BHKWs sehr hochwertige Rückhaltetechniken an. Mit folgenden Maßnahmen z.B. kann im Feuerungsprozess die Entstehung von NOx reduziert werden:

- **Abgasrückführung (ARG):** Durch Zuführen eines inerten Gases (z.B. Abgas) wird die Entstehung von Stickoxiden gesenkt. Die schnelle Oxidation von Kraftstoffmolekülen wird durch Abgasmoleküle behindert, so dass Temperaturspitzen und NOx-Emissionen abgesenkt werden.
- **3-Wege-Kat:** Die chemische Umwandlung der Verbrennungsschadstoffe (z.B. auch Stickoxide) in die ungiftigen Stoffe Kohlenstoffdioxid, Wasser und Stickstoff durch Oxidation beziehungsweise Reduktion.
- **SCR-Kat (Selektive katalytische Reduktions-Kat):** Ein Reduktionsmittel wird dem Abgas zugeführt (vorzugsweise AdBlue - flüssige Harnstofflösung).

Von Herstellern werden verschiedenen Konzepte auch miteinander kombiniert angeboten. Es werden heute BHKWs angeboten, die (nach Herstellerangaben) z.B. mit 3-Wege-Kat in Kombination mit ARG Emissionswerte NOx-Emissionswerte von unter 70mg/Nm<sup>3</sup> erreichen können (siehe Tab. 15). Daraus errechnet sich ein NOx-Emissionsfaktor von ca. 0,080 g/kWh<sub>input</sub> (1500m<sup>3</sup>/h\*70mg/m<sup>3</sup>/1300kWh).

Viele Hersteller geben NOx-Emissionswerte von <125mg/Nm<sup>3</sup> an (siehe Tab. 15). Es kann also davon ausgegangen werden, dass dieser Wert auch erreicht werden kann. Daraus errechnet sich ein NOx-Emissionsfaktor von ca. 0,145 g/kWh<sub>input</sub> (1500m<sup>3</sup>/h\*125mg/m<sup>3</sup>/1300kWh). Wir setzen diesen Wert als erreichbaren Zielwert an.

Für die Berechnung werden folgende Daten zugrunde gelegt:

Erdgas Spitzenkessel Brennwert	0,201 g/kWh <sub>input</sub>	GEMIS 4.5
Oberer Wert: BHKW 500kW mit 3-Wege-Kat.	0,226 g/kWh <sub>input</sub>	GEMIS 4.5
Mittlerer Wert: BHKW (gemessener Realbetrieb)	0,188 g/kWh <sub>input</sub>	
Unterer Wert: BHKW (optimale Technik)	0,145 g/kWh <sub>input</sub>	

Folgende Seite:

Tab. 15: Kenndaten Erdgas-BHKW – sortiert nach NOx

Quelle: ASUE Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V. und Stadt Frankfurt am Main -Der Magistrat- Energiereferat - Energiekonzepte Versorgungstechniken; BHKW-Kenndaten 2011 Berlin, Frankfurt Juli 2011: In der Excel-Tabelle wurden entsprechende Anlagen- und NOx-Filter gesetzt. NOx nur Anlagen < 125 mg/Nm<sup>3</sup>

## Kenndaten Erdgas-BHKW – sortiert nach NOx

Firma	Typ	Motor	Pei [kW]	Pth [kW]	Pth Brennw	η <sub>el</sub> [%]	η <sub>th</sub> [%]	η <sub>ges</sub> [%]	Schadstoffminderung	NOx [mg/N m <sup>3</sup> ]	CO [mg/N m <sup>3</sup> ]
Kraftwerk Kraft-Wärme-Kopplung GmbH	MEPHISTO G34	Otto-Motor	14 - 34	49-78	108 Hu	31,5	72,3	103,8	3-Wege-Kat	< 125	< 150
Bosch Thermotechnik GmbH	Buderus Logano va EN20	Otto-Motor	19	34	56	33,9	60,7	94,6	3-Wege-Kat	< 125	< 150
Bosch KWK Systeme GmbH	EN 20	K.A.	30	80	148	33,8	54,1	87,8	K.A.	< 125	< 150
Bosch KWK Systeme GmbH	EN 50	K.A.	50	80	148	33,8	54,1	87,8	K.A.	< 125	< 150
Bosch Thermotechnik GmbH	Buderus Logano va EN50	Otto-Motor	50	80	148	33,8	54,1	87,8	3-Wege-Kat	< 125	< 150
COM UNA-Metall	2726-02	Otto-Motor	50	92	56	32,1	59,0	91,0	3-Wege-Kat	< 125	< 150
MWB Motorwerke Bremerhaven AG	EGA 060	Otto-Motor	50	84	144	34,7	58,3	93,1	3-Wege-Kat	< 125	< 150
COM UNA-Metall	2726	Otto-Motor	32	90	56	33,3	57,7	91,0	3-Wege-Kat	< 125	< 150
SOKRATHERM GmbH	GG 70 S	Otto-Motor	71	114	204	34,8	55,9	90,7	3-Wege-Kat	< 125	< 150
COM UNA-Metall	5450	Otto-Motor	12	66	332	33,7	59,0	92,8	3-Wege-Kat	< 125	< 150
SOKRATHERM GmbH	GG 113 S	Otto-Motor	114	179	327	34,9	54,7	89,6	3-Wege-Kat	< 125	< 150
SOKRATHERM GmbH	GG 140 S	Otto-Motor	142	216	392	36,2	55,1	91,3	3-Wege-Kat	< 125	< 150
SOKRATHERM GmbH	GG 201 S	Otto-Motor	205	331	592	34,6	55,9	90,5	3-Wege-Kat	< 125	< 150
SOKRATHERM GmbH	GG 237 S	Otto-Motor	239	372	669	35,7	55,6	91,3	3-Wege-Kat	< 125	< 150
Senergie GmbH	GG 12 AGR	Otto-Motor	100	50	277	36,1	53,9	90,0	3-Wege-Kat	< 70	< 300
Senergie GmbH	GG 12 AGR	Otto-Motor	100	50	277	36,1	53,9	90,0	3-Wege-Kat	< 70	< 300
Senergie GmbH	GG 26 AGR	Otto-Motor	180	250	475	37,9	52,6	90,5	3-Wege-Kat	< 70	< 300
Senergie GmbH	GG 408 AGR	Otto-Motor	300	430	803	37,4	53,5	90,9	3-Wege-Kat	< 70	< 300
KW Energie GmbH & Co. KG	KWE 48G-4 SPN	Otto-Motor	48	77	140	34,3	55,0	89,3	3-Wege-Kat	110	79
KW Energie GmbH & Co. KG	KWE 50G-4 AP	Otto-Motor	50	95	146	34,2	65,1	99,3	3-Wege-Kat	110	79
EA W Energieanlagenbau Westentfeld GmbH	EW 30 S	K.A.	30	65	102	29,4	63,7	93,1	3-Wege-Kat	119	124
KW Energie GmbH & Co. KG	KWE 30G-6 AP	Otto-Motor	30	68	106	28,3	64,2	92,5	3-Wege-Kat	120	123
KW Energie GmbH & Co. KG	KWE 30G-6 SPN	Otto-Motor	30	65	106	28,3	61,3	89,6	3-Wege-Kat	120	123
Würz Energy GmbH	GP S 30	Otto-Motor	30	65	106	28,3	61,3	89,6	3-Wege-Kat	125	50
Würz Energy GmbH	GP S 48	Otto-Motor	48	77	140	34,3	55,0	89,3	3-Wege-Kat	125	50

## Ergebnisse

Folgende örtliche NO<sub>x</sub>-Emissionen ohne Vorketten und Gutschrift aus vermiedenen NO<sub>x</sub>-Emissionen der Stromerzeugung errechnen sich für die geplante Nahwärme mit BHKW im Quartier (Berechnung:  $600 \text{ MWh/a} \cdot \text{NO}_{x\text{Erdgas-Brennwert}} + 4.800 \text{ MWh/a} \cdot \text{NO}_{x\text{Erdgas-BHKW}}$ ):

Oberer Wert:	rund 1.200 kg/a
Mittlerer Wert:	rund 1.020 kg/a
Unterer Wert = Zielwert	rund 820 kg/a

Vergleichswerte (Referenz nach EnEV: Alle Heizungen):

dezentral mit Brennwertechnik und Solaranlagen	500 – 600 kg/a
Nahwärme mit Grundwasserwärmepumpe und Spitzenkessel	250 – 300 kg/a
Nahwärme mit Grundwasserwärmepumpe und BHKW (oberer Wert) und Spitzenkessel	500 – 550 kg/a

## Fazit

Auf der Grundlage von Literaturwerten aus GEMIS sind durch den Betrieb eines Nahwärmenetzes (ABC) mit einem Biomethan- oder Erdgas-BHKW und Spitzenkessel mit NO<sub>x</sub>-Emissionen von etwa 1.000 bis 1.200 kg/a im Quartier zu rechnen. Unter Bezugnahme auf ein gemessenes Referenzobjekt (2010) und Herstellerangaben (2011) wird mit dem Einsatz modernster Reduktionstechniken ein Zielwert von 800 und 900 kg/a angestrebt.

Durch Sicherung eines hochgelegenen Emissionspunkt des BHKW im Bereich des Geschosswohnungsbaus wird eine weitere Reduzierung der Immissionen erreicht werden.

Nach qualitativer Einschätzung der Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie sind unter Zugrundelegung dieser Einordnung und technischer Maßnahmen zur Minderung der NO<sub>x</sub>-Emissionen keine signifikanten Auswirkungen auf den Messpunkt Heinrichstraße zu erwarten.

Nach Konkretisierung der technischen Anlage im weiteren Planungsprozess kann diese Einschätzung bei Bedarf durch eine konkrete Ausbreitungsberechnung unteretzt werden.

## 6 Gesamtbilanzen

Mit Hilfe einer Gesamtbilanz zu Endenergie und CO<sub>2</sub>-Emissionen soll das Einsparpotential der Empfehlungen verdeutlicht werden. Die Empfehlungen werden schrittweise in die Bilanz eingeführt, sodass sich das Einsparpotential jeder einzelnen Maßnahme ableiten lässt.

Die Bilanz ist in folgende Stufen aufgebaut:

1. **Referenzvariante:** Ein „fiktiver“ Zustand unter der Annahme, dass alle Gebäude nach *EnEV* 2009 und *EEWärmeG* erstellt wurden, diese mit Gas-Brennwerttechnik und solar unterstützter Wassererwärmung (*BW+Sol*) versorgt werden, marktübliche stromverbrauchende Geräte verwendet werden (*Strom Trend*) und keine Lüftungsanlage installiert ist. Es ist dabei darauf hinzuweisen, dass diese Gebäude dann nicht nur aus energetischer Sicht, sondern auch von der Lufthygiene und Wohnqualität von Passivhäusern oder *EffH55* abweichen.
2. **Passivhäuser / EffH55-Häuser:** Statt nach *EnEV* werden alle Gebäude als Passivhäuser (*PH*) oder *KfW*-Effizienzhäuser 55 (*EffH55*) errichtet. Der erhöhte Stromverbrauch für Lüftungsanlagen mit *WRG* ist berücksichtigt.
3. **Biomethan-BHKW:** Die Empfehlung des Aufbaus einer flächendeckenden Nahwärmeversorgung im Baugebiet mit einem *Biomethan-BHKW* wird umgesetzt.
4. **Erdwärmesonden:** Zum direkten Vergleich wird der Zustand 3 mit Wärmeversorgung aus *Erdwärmesonden* mit Wärmepumpen dargestellt. (nur bei *PH*, da *EffH55* im Mehrfamilienhaus nicht mit Erdwärmesonden erreicht werden kann)
5. **Photovoltaik:** Flächendeckende Installation von Photovoltaikanlagen (*PV*) auf den Dächern im Baugebiet. Es wird von einer Eigenstromnutzung von 40% ausgegangen (auf Grund von Schwankungen zwischen Stromangebot und -nachfrage), der Rest wird ins öffentliche Netz eingespeist.
6. **Stromeinsparmaßnahmen:** In den Haushalten und für Technik- und Allgemeinstrom werden immer marktbeste Geräte eingesetzt (*Strom Spar*).

Werden die Gebäude nicht im *EnEV*-Standard sondern in Passivhausbauweise realisiert, können 71% Wärmeenergie eingespart werden. Der Strombedarf erhöht sich auf Grund der Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung um 10%, die Gesamteinsparung liegt dennoch bei 60%. Der Wechsel der Energieversorgung von *BW+Sol* auf Nahwärme *Biomethan-BHKW* zeigt eine Erhöhung der benötigten

Endenergie für Wärme aufgrund der nicht eingesetzten Solarthermischen Anlagen. Es wird hier eine Gesamtenergieeinsparung von 54% erreicht.

Werden alle nutzbaren Dachflächen für den Einsatz von Photovoltaikanlagen genutzt und können vom produzierten Strom 40% eigengenutzt werden, so verringert sich der Bedarf an externem Strom um 23%. Mit den durch die Stadt steuerbaren Maßnahmen lassen sich somit 57% Endenergie im Vergleich zum Mindeststandard einsparen. Bei flächendeckendem Einsatz von stromsparenden Haushaltsgeräten könnten sogar weitere 6% Endenergie eingespart werden. Diese letzte Maßnahme ist jedoch nutzerabhängig, schwer steuerbar und nicht rechtssicher durchsetzbar, stellt also einen Idealfall dar. Die Wirklichkeit wird sich zwischen StromTrend und StromSpar bewegen.

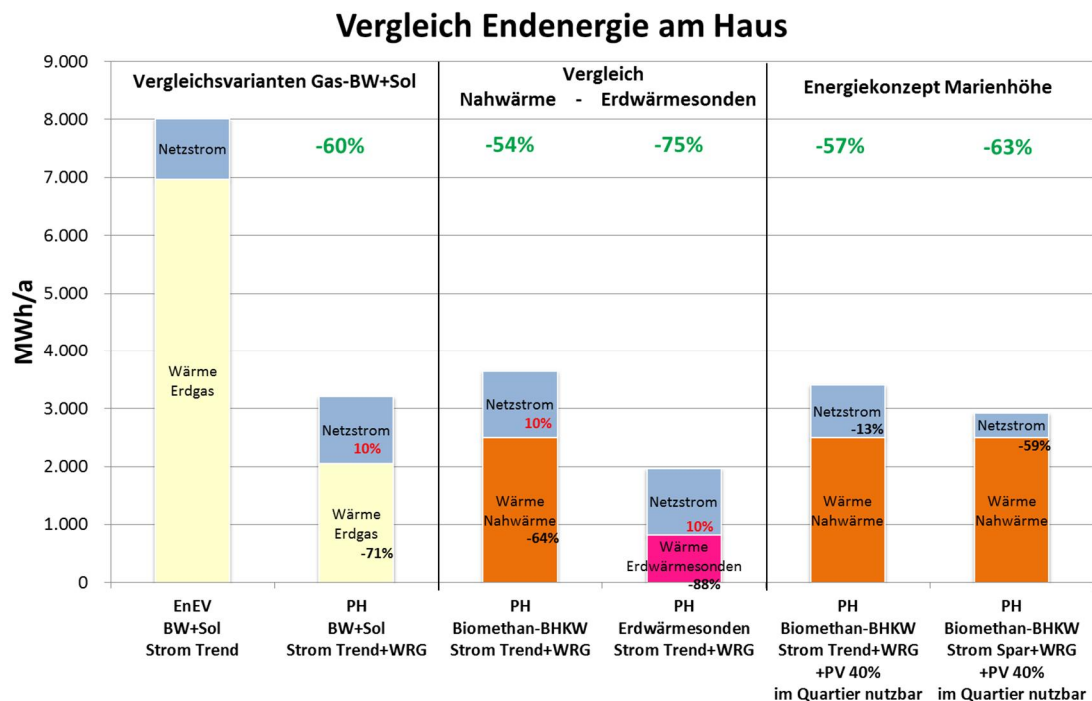


Abb. 28 Gesamtbilanz zur Endenergie mit Passivhaus-Standard

Allein durch die Passivhaus- und KfW-Effizienzstandard-55-Bauweise können 52% der CO<sub>2</sub>-Emissionen eingespart werden. Wird statt Gas-Brennwerttechnik + Solar die quartierseigene Nahwärmeversorgung eingesetzt, so sinken die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Bereich Wärme um 83%. Bezogen auf den Gesamtausstoß bedeutet dies eine Reduktion um 67% im Vergleich zum EnEV-Mindeststandard. Die Variante mit den Erdwärmesonden weist dieselben CO<sub>2</sub>-Emissionen auf.

Die flächendeckende Nutzung der Dachflächen für Photovoltaik mit einer Eigenstromnutzung von 40% können die CO<sub>2</sub>-Emissionen um weitere 4% reduziert werden. Ein wesentliches Einsparpotential birgt der flächendeckende Einsatz von stromsparenden Geräten, hierdurch könnten die Emissionen um weitere 11% auf 82% gesenkt werden.

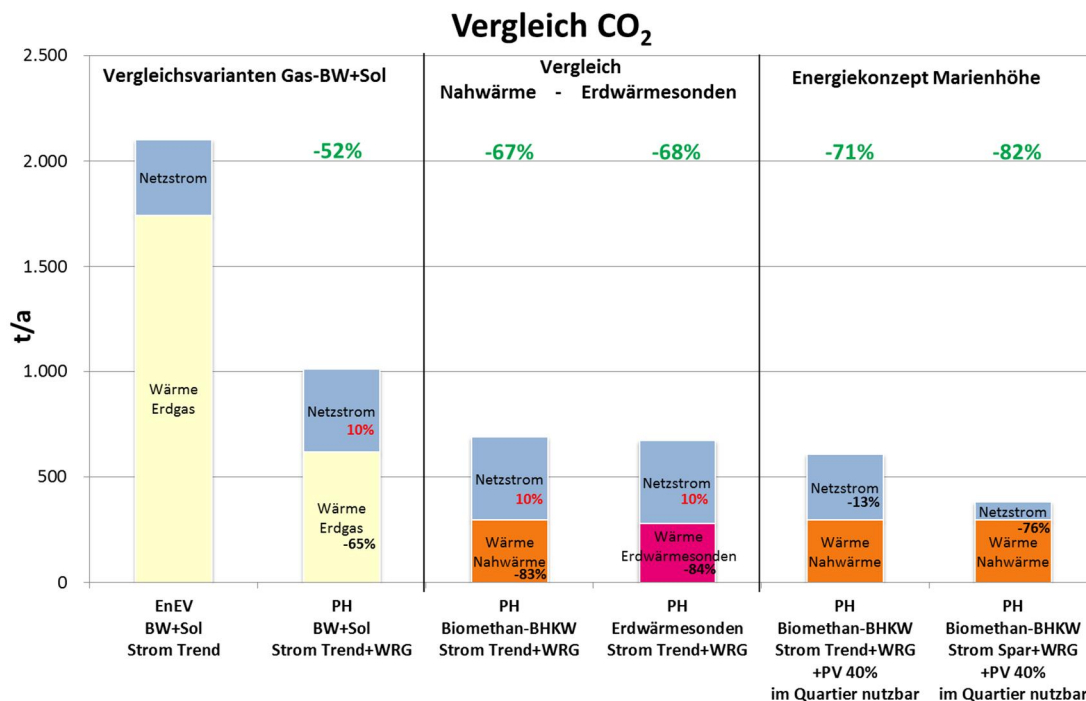


Abb. 29 Gesamtbilanz zu den CO<sub>2</sub>-Emissionen mit Passivhaus-Standard



Die CO<sub>2</sub>-Bilanz auf Grundlage des EffH55 gestaltet sich ähnlich. Insgesamt kann trotzdem noch eine CO<sub>2</sub>-Einsparung von 68% erreicht werden.

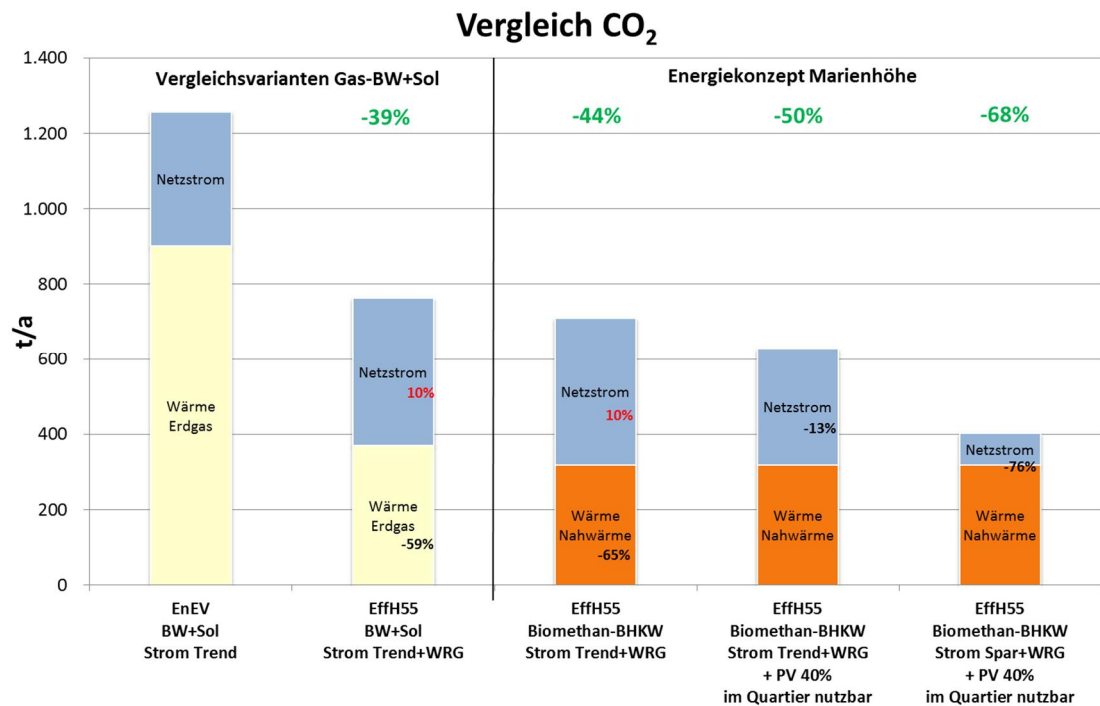


Abb. 30: Gesamtbilanz zu den CO<sub>2</sub>-Emissionen mit EffH55-Standard

Im Vergleich mit anderen Neubaugebieten, die sich niedrige CO<sub>2</sub>-Emissionen zum Ziel gesetzt haben, liegt das Baugebiet Marienhöhe sowohl mit EffH55-Standard als auch mit Passivhausstandard sehr gut. Im Anhang 9.6.5 werden die Gesamtbilanzen von Marienhöhe in Bezug gesetzt zu anderen ambitionierten Neubauvorhaben in Deutschland.

## 7 Zusammenfassung und Empfehlungen

- Aus Gutachtersicht ist nach allgemeinen Parametern eine Nahwärmeversorgung für das gesamte Baugebiet in Passivhausbauweise wirtschaftlich darstellbar. Aus Sicht potentieller Betreiber wird von der SWE Energie GmbH aufgrund der geringen baulichen Dichte für den Bereich C eine Wirtschaftlichkeit nicht gesehen. (Schreiben vom 02.10.2014)
- Die Nahwärmeversorgung mit Biomethan-BHKW und Spitzenkessel erzielt den günstigsten Wärmepreis (11,8 ct./kWh) und deutlich die niedrigsten Emissionen.
- Die Variante „Nahwärme aus Biomethan-BHKW“ zeigt für das Einfamilienhaus selbst mit einem Baukostenzuschuss von 3.500 EUR die niedrigsten jährlichen Kosten.
- Für das Einfamilienhaus mit Nahwärmeversorgung ist der Passivhaus-Standard 13% teurer als der EffH55-Standard, weist aber 35% geringere Emissionen auf.
- Für das Einfamilienhaus liegt die Variante Passivhaus mit Nahwärme aus Biomethan-BHKW CO<sub>2</sub>-emissionsseitig in der gleichen Größenordnung wie die Variante EffH55 oder Passivhaus mit Erdwärmesonden-WP. Die Versorgungsvariante Erdwärmesonden-WP ist wirtschaftlich erheblich ungünstiger.
- Der Einsatz von Erdwärmesonden bedarf einer gesonderten gutachterlichen geologischen Untersuchung. Eine flächige dezentrale Versorgung mit Erdwärmesonden WP ist aufgrund der erforderlichen Sondendichte technisch mit hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen. Im Bereich C ist aufgrund der geringen baulichen Dichte die Machbarkeit einer dezentrale Versorgung mit Erdwärmesonden WP mit hoher Wahrscheinlichkeit zu erwarten.
- Für das Mehrfamilienhaus liegt die Variante EffH55 oder Passivhaus mit Nahwärme aus Biomethan-BHKW wirtschaftlich und CO<sub>2</sub>-emissionsseitig in der gleichen Größenordnung wie die Variante Passivhaus mit Erdwärmesonden-WP

### **Daraus sind folgende konkrete Empfehlungen abzuleiten:**

- Nahwärmeversorgung aus einem Biomethan-BHKW für alle Bereiche, für die aus potentieller Betreibersicht die Wirtschaftlichkeit bestätigt wird (das ist für die Bereiche A und B gegeben). Soweit sich im weiteren Planungsprozess im Bereich C eine höhere bauliche Dichte ergeben sollte, ist die Vorzugs-

variante Nahwärmeversorgung aus einem Biomethan-BHKW für den Bereich C erneut zu prüfen.

- Unter Zugrundelegung der derzeitigen baulich Dichte im Bereich C wird für diesen Bereich empfohlen: dezentrale Variante KfW Effizienzhausstandard 55 oder Passivhausbauweise mit Erdwärmesonden-WP oder alternative dezentrale Wärmeversorgungskonzepte, die nachweislich gleiche oder geringere CO<sub>2</sub> Emissionen gewährleisten (nach Prüfung eines Gutachters im Auftrag der Stadt auf Kosten des Antragstellers).
- Passivhausbauweise oder KfW Effizienzhausstandard 55 für die Mehrfamilienhäuser im Bereich A.
- Passivhausbauweise für Einzel-, Doppel- und Reihenhäuser im Bereich B.

## 8 Umsetzung

### 8.1 Energetische Ziele

Drei grundsätzliche energetische Ziele für das Quartier Marienhöhe in Erfurt sind:

1. Reduzierung der Energienachfrage im Wärmebereich durch flächendeckende Umsetzung des Passivhausstandards, mindestens jedoch des KfW-Effizienzstandards 55.
2. Deckung des Wärmebedarfs für Heizung und Warmwasser durch ein Nahwärmenetz auf Basis eines Blockheizkraftwerks (BHKW), das mit Methan betrieben wird.
3. Flächendeckender Einsatz von Photovoltaikanlagen auf den im Baugebiet dafür geeigneten Dachflächen zur weitgehenden Kompensation der CO<sub>2</sub>-Emissionen aus den Wärme- und Stromanwendungen im Quartier.

Die Maßnahmen sind ambitioniert, das Energiekonzept zeigt auf, dass zum Erreichen der Ziele eine konsequente Umsetzung notwendig ist. Die Umsetzung des energetischen Gebäudestandards muss flächendeckend gewährleistet sein, ebenso der Anschluss an die Nahwärme und die Einrichtung von Photovoltaikanlagen.

Beim **Stromsparen** ist ein direkter Zugriff auf die Entscheidungsträger und damit eine 100%ige Umsetzung ausgesprochen schwer zu erreichen. Das Stromsparen und die Erzeugung von Regenerativstrom muss konsequent an die Nutzer und Investoren herangetragen werden. Die aktive Beteiligung jedes Einzelnen beim Erreichen der Klimaschutzziele im neuen Quartier ist gefragt: energieeffizient Bauen, Kaufentscheidungen nach Effizienzkriterien z.B. bei Haushalts- und Bürogeräten, bewusst mit Energie umgehen und vieles mehr.

Der **Maßnahmenmix** aus verbindlichen Vorgaben, Anreizpaketen und Informationsangeboten muss stimmen, damit das „Pilotvorhaben Marienhöhe“ keine leere Formel bleibt.

### 8.2 Empfehlungen zur Umsetzung

Die Empfehlungen zum Wärmeschutz, zur Wärmeversorgung und zum Einsatz der Photovoltaikanlagen sollten durch einen Grundsatzbeschluss der Stadt Erfurt festgeschrieben werden, die Umsetzung sollte auf allen Baufeldern und Grundstücken **verbindlich** erfolgen. Darüber hinaus sollen mögliche Festsetzungen im Bebauungsplanverfahren geprüft werden.

Wir empfehlen der Stadt Erfurt, folgende Steuerungsinstrumente und Motivationsbausteine zur Umsetzung der Zielsetzungen einzuführen:

1. **Bindende Vorgaben** zur Umsetzung des Passivhausstandards, mindestens jedoch KfW-Effizienzstandard 55, ein Anschluss- und Nutzungsgebot an die Nahwärme und ein verbindlicher Nachweis zur Einrichtung von Flächen für Photovoltaik auf den Dachflächen im städtebaulichen Vertrag und in den privatrechtlichen Folgeverträgen (mit grundbuchlicher Absicherung).
2. Aufbau eines **Qualitätssicherungsverfahrens**, das an die Baugenehmigung und die Baufertigstellung gekoppelt ist. Es sollte geprüft werden, ob die Einhaltung der Standards an die Erteilung der Baugenehmigung gekoppelt werden kann.
3. **Fachliche Begleitung** der Investorengespräche durch Energiefachleute. Unterstützung und Anregung weitergehender Konzepte.
4. Aufbau eines **Marketingkonzeptes**. Etablierung einer Marke „Marienhöhe“ lokal und überregional.
5. Unterstützung von Bauwilligen durch Energieberatung, Unterstützung von Fachleuten (Architekten, Planer, Handwerker, etc.) durch **Fachberatung**.

Wir schlagen vor, die Punkte 3 und 5 gemeinsam mit dem möglichen Betreiber der Nahwärme SWE umzusetzen und den Punkt 4 auch in Abstimmung mit der Stadtwerke Erfurt Gruppe (SWE) zu realisieren.

### 8.3 Umsetzungsstrategien

Aufgrund der Zielsetzungen, die weit über die gesetzlichen Vorgaben hinausgehen, besteht die Notwendigkeit, Steuerungsinstrumente zu entwickeln und einzuführen. Folgende Ansätze bieten sich – in Abhängigkeit der Besitz- und Rechtsstruktur – an:

1. Regelungen auf Basis des Baurechts können von Kommunen als Satzung erlassen werden
2. Regelungen im Rahmen privatwirtschaftlicher Verträge kommen dann in Frage, wenn ein Grunderwerbsvertrag oder ein städtebaulicher Vertrag zwischen der Kommune und einem Investor geschlossen wird. Dazu muss das Grundstück in Besitz der Kommune sein. Im Baugebiet Marienhöhe sind drei Grundstückseigner beteiligt (Stadt, LEG und Schoppe GbR), so dass zunächst entsprechende Verträge zwischen den Projektpartnern zur Absicherung der Standards beim Grundstücksverkauf geschlossen werden müssen.
3. Förderungen
4. Informations- und Öffentlichkeitsarbeit

### 8.3.1 Bindende Vorgaben im Bebauungsplan

Die Ziele des Klimaschutzes wurden in der Novellierung des Baugesetzbuchs (zuletzt im Juli 2011 durch das „Gesetz zu Förderung des Klimaschutzes bei der Entwicklung in den Städten und Gemeinden“) aufgenommen. Bei der Aufstellung von Bebauungsplänen sind u.a. folgende Belange zu berücksichtigen:

- Verantwortung für den Klimaschutz: §1 (5) und §1a (5) BauGB
- Nutzung von erneuerbaren Energien. Sparsame und effiziente Nutzung von Energie: §1 (6). Nr. 7f BauGB
- Vermeidung von Emissionen: §1 (6). Nr. 7e BauGB

Bei der Aufstellung der Bauleitpläne sind die öffentlichen und privaten Belange gegeneinander und untereinander gerecht abzuwägen (§1 (7) BauGB).

Ob diese (globalen) Klimaschutzziele mit Hilfe des (lokal wirksamen) Bebauungsplans umgesetzt werden können, ist durch die Rechtsprechung noch nicht abschließend geklärt. Für frei vermarktete Grundstücke gibt es z.Zt. nach unseren Erkenntnissen keine rechtssicheren Instrumente, Wärmeschutzmaßnahmen über die gesetzlichen Anforderungen hinaus festzuschreiben ([EnEff Bauleit] S.70).

Als Maßnahmen zur Luftreinhaltung können Verbrennungsverbote (im Sinne der Luftreinhaltung) erlassen werden (§9 (1) 23a BauGB). Grundsätzlich käme auch ein Ausschluss auf Basis von CO<sub>2</sub>-Grenzwerten in Frage, wenn es sich um einen luftverunreinigenden Stoff handelt, in der Praxis ist diese Vorgehensweise jedoch noch nicht erprobt.

Grundsätzlich können bauliche Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien (z.B. Vorbereitung zur Solarenergie) oder Kraft-Wärmekopplung (KWK) vorgeschrieben werden (§9 (1) 23b BauGB). Ob beispielsweise auch technische Maßnahmen, z.B. die Installation von Solaranlagen, baurechtlich vorgeschrieben werden kann, ist rechtlich noch nicht abschließend geklärt.

Nach allgemeiner Auffassung kann eine Betriebspflicht der Anlagen im Bebauungsplan nicht festgesetzt werden.

Tab. 16: Bindende Vorgabe im Bebauungsplan

<b>Maßnahme</b>	Bindende Vorgabe im Bebauungsplan
<b>Voraussetzung:</b>	Satzungsbeschluss
<b>Ziel:</b>	Sichere Umsetzung erweiterter Klimaschutz- oder Energieeinsatz-Ziele.
<b>Einfluss:</b>	Gesetzesvorgabe. Wenig differenziert. Ausschluss im Bereich Versorgung.
<b>Nachteile</b>	Nicht in allen Punkten rechtssicher bzw. noch nicht erprobt.

### 8.3.2 Anschluss- und Benutzungszwang

Ein Fernwärme-Anschluss- und Benutzungszwang (besser -gebot) kann gemäß der landesrechtlichen Vorschriften der Thüringischen Gemeinde- und Landkreisordnung [ThürKO] als Satzung beschlossen werden (Art. 20). Die [ThürKO] begründet dies mit dem öffentlichen Wohl: §20 (2) 2. "aus Gründen des öffentlichen Wohls die Verpflichtung zum Anschluss von Grundstücken an Anlagen zur Versorgung mit Fernwärme, zur Wasserversorgung, Abwasserbeseitigung, Straßenreinigung und ähnliche dem Gemeinwohl dienende Einrichtungen (Anschlusszwang) sowie die Verpflichtung zur Benutzung dieser Einrichtungen (Benutzungszwang)."

Die Satzung kann Ausnahmen vom Anschluss- und Benutzungszwang zulassen und diese auf Teilgebiete und bestimmte Gruppen von Gebäuden und Personen beschränken.

*Anmerkung: An dieser Stelle wird allerdings keine Aussage über lokale oder globale Emissionen getroffen oder ein Bezug zum Klima- oder Immissionsschutz hergestellt. Es muss geprüft werden, ob dieser sich aus dem öffentlichen Wohl ableiten ließe. Z.B. erlaubt §11 der Baden-Württembergischen Gemeindeordnung den Anschluss- und Benutzungszwang für Fernwärme, wenn er dem Schutz der natürlichen Grundlagen des Lebens einschließlich des Klima- und Ressourcenschutzes dient.*

Eine Festsetzung im Bebauungsplan kann zwar grundsätzlich nicht getroffen werden, das Anschluss- und Nutzungsgebot der Nahwärme könnte aber mit Hinweis auf die Beschlusslage aus der [ThürKO] abgeleitet werden.

Tab. 17: Anschluss- und Benutzungszwang

<b>Maßnahme</b>	Anschluss- und Benutzungszwang
<b>Voraussetzung:</b>	Satzungsbeschluss
<b>Ziel:</b>	Durchsetzung des Fernwärmeanschlusses als Versorgung.
<b>Einfluss:</b>	Hoch, direkte Umsetzung
<b>Nachteile</b>	Ausnahmen möglich, diese werden aber nach ThüKO selbst definiert.



### 8.3.3 Bindende Vereinbarung in Verträgen

#### Privatrechtliche Verträge

Deutlichere Einflussmöglichkeiten hat die Stadt Erfurt bei eigenen Grundstücken und indirekt bei Grundstücken der LEG Thüringen und der Schoppe GbR, wenn diese sich an den Beschluss der Stadt gebunden fühlen. Letztere Bindung muss im Innenverhältnis zwingend hergestellt werden.

Beim Verkauf aller Grundstücke kann dann der energetische Standard über eine vertragsrechtliche Bindung gesichert werden.

#### Städtebaulicher Vertrag nach §11 BauGB

Für den Fall, dass die Stadt Erfurt einen Erschließungs- bzw. Vorhabenträger einschaltet, kann ein städtebaulicher Vertrag nach § 11 I Nr. 4 BauGB abgeschlossen werden. Die Stadt ist bei der Bestimmung der Zulässigkeit des Vorhabens nicht an die Festsetzung nach §9 BauGB gebunden. Die Inhalte des städtebaulichen Vertrags sind Gegenstand freier Gestaltung, also auch die Aufnahme energetischer Bindungen wie z.B. nach Passivhausstandard und KfW-Effizienzstandard 55. Allerdings müssen die vom Vertragspartner geforderten Leistungen angemessen sein (§ 11 II 1 BauGB).

Der Vorhabenträger gibt diese Bindungen in den privatrechtlichen Verträgen mit den Grundstückskäufern weiter.

Dieses Vorgehen wird z.B. von der Stadt Heidelberg für das Baugebiet Bahnstadt erfolgreich praktiziert. Gebunden sind hier Passivhausbauweise und Fernwärmeanschluss. Die Stadt hat sich im Gegenzug verpflichtet, eine Energieberatung und die Förderung der Passivhausbauweise anzubieten.

Tab. 18: Bindende Vereinbarung in Verträgen

<b>Maßnahme</b>	Bindende Vereinbarung in Verträgen
<b>Voraussetzung:</b>	Eigentum am Grundstück
<b>Ziel:</b>	Sichere Umsetzung erweiterter Klimaschutz- oder Energieeinsatz-Ziele.
<b>Einfluss:</b>	Hoher und differenzierter Einfluss auf Standards und Versorgung
<b>Nachteile</b>	Aufwand der Stadt für Kontrolle

## 8.3.4 Motivation, Marketing und Information

### Öffentliche Förderung

Öffentliche Förderung ist in Form von zinsverbilligten Darlehen von der KfW (Förderbank der Kreditanstalt für Wiederaufbau) für die Förderstandards Effizienzhaus für private Bauherren verfügbar.

Die Förderprogramme erzeugen ein hohes Maß an Aufmerksamkeit und werden von privaten Bauherren häufig gewünscht. Die Finanzierung wird vereinfacht, oft deckt die Zinsförderung einen erheblichen Teil der Mehrkosten.

Im Rahmen einer kommunalen Energieberatung sollte auf die Förderprogramme hingewiesen und ausführlich darüber informiert werden.

### Zusätzliche Förderung durch die Kommune

Direkte Förderungen oder indirekte Förderungen über Preisnachlässe können bei der Bauherrschaft zusätzliches Interesse wecken (Abb. 31), da sie einen Teil der investiven Mehrkosten aufgefangen.



6. Was wird gefördert?	Anforderungen/ maximale U-Werte	Förderhöhe
6.1 Außenwand	0,20 W/m <sup>2</sup> K	15 €/m <sup>2</sup>
6.2 Dach, Dachboden und oberste Geschossdecke	0,15 W/m <sup>2</sup> K	10 €/m <sup>2</sup>
6.3 Kellerdecke, Fußboden, Wand gegen unbeheizten Raum (z.B. Keller)	0,25 W/m <sup>2</sup> K	5 €/m <sup>2</sup>
6.4 Boden gegen Außenluft	0,20 W/m <sup>2</sup> K	10 €/m <sup>2</sup>
6.5 Drei-Scheiben-Wärmeschutzverglasung mit Standard-Fensterrahmen	U <sub>g</sub> 0,70 W/m <sup>2</sup> K	10 €/m <sup>2</sup> (PVC Rahmen) 20 €/m <sup>2</sup> (Holz/Holz-Alu Rahmen)
6.6 Drei-Scheiben-Wärmeschutzverglasung mit Passivhaus-Fensterrahmen (hochwärmegedämmte Rahmen)	U <sub>g</sub> 0,70 W/m <sup>2</sup> K U <sub>w</sub> 0,80 W/m <sup>2</sup> K	15 €/m <sup>2</sup> (PVC Rahmen) 30 €/m <sup>2</sup> (Holz/Holz-Alu Rahmen)
6.7 Passivhaus	Zertifizierungskriterien „Qualitätsgeprüftes Passivhaus“ des Passivhaus Instituts	EFH oder MFH: 50 €/m <sup>2</sup> Wohnfläche; maximal 5.000 €/WE
6.8 Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung	Wärmerückgewinnungsgrad mindestens 80 Prozent	1.000 € pro Wohnung im Alt- und Neubau
6.9 Luftdichtigkeitstest (Blower-Door-Test)	nur in Kombination mit geförderten Maßnahmen	75 €

Abb. 31: Beispiel direkte Förderung der Stadt Heidelberg (Stand 2014) – Auszug aus der Broschüre <http://www.heidelberg.de/hd,Lde/HD/Leben/Foerderprogramm+Rationelle+Energieverwendung.html>

Förderung ist indirekt durch Informations- und Motivationsprogramme und in Form von Sachleistungen, z.B. objektbezogene Beratungsdienstleistungen durch einen qualifizierten Energieberater oder ein Ingenieurbüro möglich.

## Motivation der Bauherrschaft durch Information über höheren Wohnkomfort, Kosteneinsparungen im Betrieb, etc.

Die Information der Bauherrschaft über Hintergründe und Motivation des kommunalen Vorhabens ist genauso wichtig wie detaillierte Information über die Vorteile energiesparenden Bauens.

Die Ziele der Kommune können im Rahmen von allgemeinen Informationen über das Baugebiet vermittelt werden. Besser ist jedoch, die Ziele unabhängig von einem konkreten Gebiet zu formulieren und in gesonderter Weise zu vermitteln. Dazu bieten sich Veranstaltungen, aber auch Motivationsbroschüren und Infomaterialien an (Abb. 32). Die Vorteile energiesparenden Bauens sollen anhand des höheren Wohnkomforts (Stichworte: Schimmelfreiheit, thermisches Raumklima, gute Luft etc.) dargestellt werden.

Da für den Bauherren primär die Investitionskosten des Gebäudes wichtig sind und sekundär sein späterer Unterhalt, gilt es, die Investitionen in Energiesparmaßnahmen als wirtschaftlich interessant zu vermitteln. Hier sollte den Bauherren der Ansatz der Gesamtkosten vermittelt werden. Wirtschaftlichkeitsberechnungen vermitteln durch die Annahme von Preissteigerung im Bereich der Energie einen (gewissen unbekanntem) Zukunftsblick. Die Investitionskosten bleiben in der Regel über einen längeren Zeitraum kalkulierbar, durch Investition in energiesparende Maßnahmen erreicht man eine Abkopplung von Preissteigerungsraten der Energiekosten.



**TUTTlingen ENTWICKELT SICH**

Information aus erster Hand  
Die Vortragsreihe im Rahmen der Sommerakademie

- Einführungsveranstaltung - Mittwoch, 11. Juni, 18 bis 20 Uhr, Scala-Kino**  
 Neben der Nordstadtplanung wird das Konzept der Sommerakademie erläutert.  
 Referenten: Bürgermeister Willi Kamm, Stadtplaner Achim Ketterer, Architekt und Stadtplaner Carl-Martin Schwenger. Moderation: Peter Winkler
- Siedlungswesen und Freiraumplanung - Mittwoch, 18. Juni, 18.30 bis 20 Uhr, Rathausfoyer**  
 Die gestalterische Qualität von Wohnquartieren wird anhand von Beispielen erläutert. Der Vortrag soll Anregungen für planerische Details in der Nordstadt geben.  
 Referent: Dipl.-Ing. Dieter Hennicken, FB Stadtplanung und Siedlungswesen der Uni Kassel
- Neue Energiekonzepte und verdichteter Wohnungsbau**  
**Donnerstag, 19. Juni, 18.30 bis 20 Uhr, Rathausfoyer**  
 Hausgruppen und Energiehäuser sind Bauformen mit hoher Energieeffizienz. Mit ihnen lassen sich die Anforderungen der Energieeinsparverordnung (EnEV) leichter erfüllen.  
 Referent: Dipl.-Ing. Olaf Hildebrandt, EBÖK Tübingen
- Shared Space - Partnerschaftliches Verhalten im Verkehr**  
**Mittwoch, 25. Juni, 18 bis 20 Uhr, Scala-Kino**  
 Neue Konzepte zum Miteinander von Auto-, Fußgänger- und Fahrradverkehr.  
 Referenten Dipl.-Ing. Werner Köppel, Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft, H. Böhringer, ADAC

Nordstadterweiterung  
Sommerakademie  
Mit Nordstadt-Plan zum Ausfüllen

TUTTlingen

22

Abb. 32: Beispiel Informationsveranstaltung: Sommerakademie Tuttlingen (2008)

Diese Zusammenhänge können gut in Beratungen, bei Veranstaltungen und in Broschüren vermittelt werden. Sinnvoll ist, eine Beratung durch ein qualifiziertes

Ingenieurbüro oder einen Energieberater zu vermitteln. Hier können z.B. für Grundstückskäufer Gutscheine für kostenlose Initial-Beratungen ausgegeben werden (Abb. 33).



Abb. 33: Beispiel Gutschein für direkte Beratung (hier Bauherren in Tübingen-Hirschau)

## Motivation über Architektur und Wohnkomfort

Es ist sehr sinnvoll, KfW-Effizienzhäuser und Passivhäuser architektonisch attraktiv zu gestalten. Dies kann auf städtischen Grundstücken z.B. über Wettbewerbe, Mehrfachbeauftragungen etc. forciert werden. Denkbar ist z.B. ein kombinierter Investoren/Architekten-Wettbewerb für einzelne Baufelder mit den Schwerpunkten Kosten und Gestaltung von KfW-Effizienz- und Passivhäusern. Die Betreuung der Umsetzung und der Einhaltung des Passivhausstandards kann bis zur Baugenehmigung z.B. durch einen Gestaltungsbeirat erfolgen.

Eine sehr gute Möglichkeit der Motivation ist, lokale Multiplikatoren z.B. Bewohner bereits gebauter Passivhäuser, zu nutzen. Beispielsweise findet alljährlich im November der „Tag des Passivhauses“ statt.



Abb. 34: Tag des Passivhauses. Infos unter <http://www.ig-passivhaus.de>

In der Passivhausdatenbank sind in Erfurt aktuell 5 Projekte gelistet (es gibt sicher viel mehr!) <http://www.passivhausprojekte.de/index.php>

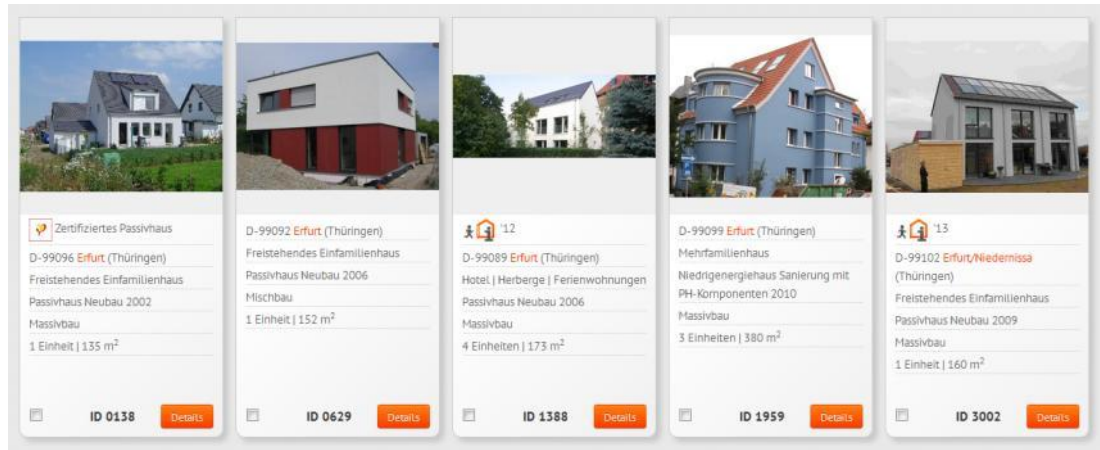


Abb. 35: Passivhausprojekte in Erfurt aus der Datenbank Passivhausprojekte.de (Stand 3/2014)

## Information und Schulung über lokale Multiplikatoren

Da Bauhandwerker und Planer (Architekten, Ingenieure) vor Ort als Multiplikatoren wirken, sollten sie verstärkt in die Programmziele eingebunden werden. Hierzu sind Vorträge, Gesprächsrunden und Besichtigung von Musterprojekten mit qualifizierter Führung sinnvoll.

Eine hohe Akzeptanz bei den lokalen Multiplikatoren führt erfahrungsgemäß zu einer hohen Umsetzungsquote. Über die Multiplikatoren lässt sich auch vermitteln, dass qualitätsvolles und energiesparendes Bauen Hand in Hand geht.

Passivhäuser und KfW-Effizienzhäuser-Häuser sollten unter architektonischen Gesichtspunkten gut gestaltet werden. Hier können sowohl dem Fachplaner wie auch dem Bauherren Beispiele aus allen Bereichen aufgezeigt werden.

Lokale Energieagenturen (z.B. ThEGA) können einen wirksamen Multiplikator darstellen. Sie sollten direkt in die Aktivitäten eingebunden werden.

An der Fachhochschule Erfurt gibt es den Masterstudiengang „Passivhaus +, Energie und Form“. Auszug aus der Information auf der Homepage der FH: „Dazu gehört auch die vollständige Integration der Prinzipien der Nachhaltigkeit und der Energieeffizienz in die Arbeit der Architekturwerkstatt MASTERHAUS. Der Untertitel Passivhaus +, Energie und Form drückt das aus. Ziel bleibt dabei jedoch immer die architektonische Bewältigung der energetischen und bauphysikalischen Herausforderungen.“

Eine Kooperation mit der Fachhochschule, der Architektenkammer, etc. in der Stadt Erfurt sollte angestrebt werden.

## Vergabe über motivierte Bauträger und Entwicklungsgesellschaften.

Motivierte Bauträger können nicht nur in Zusammenarbeit mit der Stadt Erfurt die energetischen Standards des Gebäudes bestimmen. Gegebenenfalls kann die Vergabe in einem Bewerbungsverfahren durchgeführt werden, wobei die Umsetzung energiesparender Bauweise eine gehobene Rolle spielen sollte.

Gute Erfahrungen konnten bisher dort gemacht werden, wo Investoren frühzeitig in die Diskussion um die energetischen Ziele mit einbezogen wurden.

In diesem Punkt könnte z.B. die LEG Initiator und Steuerer eines solchen Bewerbungs- oder Wettbewerbsverfahrens für Investoren sein. Insbesondere die Gestaltungsaufgaben der Geschosswohnungsbauten an der Binderslebener Landstrasse und der Reihenhäuser an der Landschaftsfuge kombiniert mit energetischen Anforderungen sind eine besondere Herausforderung.

## Imagebildung

In der öffentlichen **Präsentation des Baugebietes** in Broschüren, bei Veranstaltungen und im Internet sollten die Energieaspekte und die angebotenen Produkte (Förderung, Beratung, etc.) an exponierter Stelle dargestellt werden. Abb. 36 zeigt eine Auswahl von Infobroschüren der Stadt Heidelberg zum Stadtteil Bahnstadt.



Abb. 36: Infobroschüren der Stadt Heidelberg zum neuen Stadtteil Bahnstadt .



Abb. 37: Auszug: Flyer zur Öffentlichkeitsbeteiligung „Energie“ in Würzburg

Tab. 19: Förderung, Information, Motivation

<b>Maßnahme</b>	(kommunale) Förderung, Information, Motivation
<b>Voraussetzung:</b>	Mittel müssen zur Verfügung stehen
<b>Ziel:</b>	Umsetzung durch hohen Kenntnisstand bei der Bauherrschaft und den Baubeteiligten erhöhen. Mit wirtschaftlichen Argumenten werben, die Wirtschaftlichkeit verbessern (Förderung).
<b>Einfluss:</b>	Kein direkter Einfluss. Freiwillige Leistung.
<b>Nachteile</b>	Vorhabensziele sind Empfehlungen und können nicht sicher umgesetzt werden.

## 8.4 Vorschläge für vertragliche Bindungen

Grundlage für vertragliche Bindungen zur Energieeffizienz sind Stadtratsbeschlüsse. Maßgeblich ist die konkrete Ausformulierung der Beschlüsse mit konkreten Regelungen und Festlegungen. Die Gliederung erfolgte nach den wichtigen Schritten aus dem Planungs- und Bauablauf:

1. Bauantrag
2. Bauabnahme
3. Ausnahmen/Nicht-Einhaltung

Ein Regelungsbeispiel für den **Bauantrag**

- *Jedes neu zu erstellende Gebäude erfüllt die Anforderungen des Passivhausstandards oder/und des KfW-Effizienzhausstandard 55 nach dem Programm „Energieeffizient Bauen 153“ auf Basis der EnEV 2009.*
- *Vorlage der vollständigen und nachvollziehbaren Nachweise mit dem Bauantrag für das/die zu erstellende/n Gebäude/n:*

- o *Bei von der KfW geförderten Gebäuden sind die Antragsunterlagen für die KfW Förderung aus dem Programm Energieeffizient Bauen 153 in der aktuellen Fassung vorzulegen.*

*oder*

- o *Für ein Passivhaus muss der Nachweis geführt werden, dass dieses mit dem Zertifikat „Qualitätsgeprüftes Passivhaus“ zertifiziert wird oder die Kriterien des Zertifikates erfüllt.*

*oder*

- o *Vorlage der Nachweise nach der Energiesparverordnung EnEV in der Fassung von 2009 mit dem dort vorgesehenen Rechenverfahren jeweils in der aktuellsten Fassung. Das Gebäude darf einen Jahres-Primärenergiebedarf  $Q_p$  von 55 % sowie einen auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche des Gebäudes bezogenen Transmissionswärmeverlust  $ht'$  von 70 % des entsprechenden Referenzgebäudes nach Anlage 2 EnEV 2009 nicht überschreiten.*

*und*

- o *Planerischer und gestalterischer Nachweis der vollflächigen Ausstattung der Dachflächen mit Photovoltaikanlagen zur Erzeugung von Strom wird erbracht. Ein Nachweis über die Art, Menge, Leistung und die Lage der Photovoltaikanlage(n) ist prüffähig vorzulegen.*

*und*



- *Der Nahwärmeanschluss muss durch einen mit dem Betreiber abgeschlossenen Energiedienstleistungsvertrag nachgewiesen werden.*
- *die Stadt Erfurt führt eine formale Prüfung der Unterlagen und Nachweise durch.*

Ein Regelungsbeispiel für die **Bauabnahme**:

- *Bei von der KfW geförderten Gebäuden ist der Verwendungsnachweis für die KfW Förderung vorzulegen.*
- *Das Zertifikat „Qualitätsgeprüftes Passivhaus“ nach den Kriterien des Passivhaus Instituts Dr. Wolfgang Feist für Passivhäuser ist vorzulegen.*
- *Bei Bauabnahme muss ein Energieausweis nach §16 ff. i.V. mit Anlage 6 EnEV 2009 (oder der Nachfolgeregelung) mit Angaben und Berechnungen auf Basis der tatsächlich bei Baufertigstellung eingebauten Bauteile und technischen Einrichtungen prüffähig vorgelegt werden. Der Nachweis erfolgt nach den Regeln der EnEV 2009 und der entsprechenden Durchführungsverordnung des Landes.*

Diese Festlegungen sollen durch flankierende und ergänzende Regelungen erweitert werden. Zum Beispiel:

- *Die Stadt behält sich vor, ggf. eine fachliche Prüfung der Unterlagen durch einen von ihr bestellten Bausachverständigen vornehmen zu lassen.*
- *Baubegleitend behält sich die Stadt Erfurt vor, Ortstermine durchzuführen bzw. durch den von ihr bestellten Bausachverständigen durchführen zu lassen.*

Ausnahmen und Nicht-Einhaltung könnten wie folgt geregelt werden (Beispiel):

- *Bei Nicht-Einhaltung ist eine Vertragsstrafe von xy EUR pro m<sup>2</sup> Nutzfläche bzw. Wohnfläche fällig. Die Flächenermittlung muss entsprechend der DIN 277 nachvollziehbar vorgesehen werden.*
- *Ausnahmen von beschlossenen Standards sind bei technisch nicht machbarer Umsetzung oder völliger Unwirtschaftlichkeit zulässig. Gefordert wird dazu eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung mit Berücksichtigung aller Kosten nach DIN 276.*
- *Ein Antrag auf einen Ausnahmetatbestand ist mit dem Bauantrag für das zu erstellende Gebäude nachvollziehbar und durch einen Bausachverständigen schriftlich begründet vorzulegen.*

Auch die technische Machbarkeit der geforderten Energiestandards speziell bei Gewerbegebäuden kann einen Ausnahmetatbestand darstellen. Z.B. aufgrund dessen, dass der Raumwärmebedarfs eines Gebäudes gegenüber dem Energie-

bedarf für Prozesse, Lüftung, Kühlung und Beleuchtung untergeordnet ist oder ein Gebäude geringe Raumtemperaturen (z.B. Lager, Werkstatt) oder hohe innere Lasten aufweist (z.B. EDV-Zentralen) oder sehr hohen Anforderungen an die Luftwechselraten hat (z.B. Labore).

Die Ausnahmetatbestände sind immer durch den Investor nachzuweisen (Nachweispflicht Investor/Bauherr).

In Anbetracht der Schwierigkeit, alle möglichen Alternativen im Voraus regeln zu können, schlagen wir vor, die Ausnahmen individuell durch ein Expertengremium beraten und entscheiden zu lassen.

## 8.5 Einhaltung von Bindungen

Um die verbindlichen Regeln durchzusetzen und zu überwachen, gibt es – abhängig von den Vorgaben – verschiedene Möglichkeiten.

Der zentrale Punkt ist die Etablierung von Qualitätssicherungsschritten, die sich auf alle Realisierungsschritte bis zur Inbetriebnahme der Gebäude und auf ein Monitoring beziehen. Wichtig ist der frühe Auftakt mit einer Energieberatung bereits bei der ersten Kontaktaufnahme bis hin zur klaren Nachweisführung bei Bauantragstellung und Baufertigstellung. Um keine Doppelstrukturen aufzubauen, gilt es, vorhandene Prozessabläufe aus den gesetzlichen Nachweisverfahren und bundesweiten Förderprogrammen (KfW) zu integrieren. Dies führt zu einer schlanken Verfahrensstruktur und Nachweise brauchen von der Stadt nicht mehr fachlich geprüft zu werden.

Das Vermeiden von Doppelstrukturen in der Nachweisführung ist u.E. ein Kernpunkt für die Akzeptanz der Konzeption und Umsetzung auf der Vermarktungsebene. Der Aufwand ist für die Verwaltung überschaubar. Wichtig ist, Mittel für die Erstberatung und die Verfahrensorganisation und ggf. externe Sachverständige bereit zu stellen. Letzteres, um insbesondere bei kritischen oder unklaren Fällen (die Phantasie zur Umgehung von Verträgen ist grenzenlos) fachlich reagieren zu können. Darüber hinaus sind Kooperationen mit ggf. vorhandenen Beratungseinrichtungen zu empfehlen.

### **Energieeinsparverordnung**

Der Gesetzgeber hat mit der Einführung der Energieeinsparverordnung (EnEV) ein Gesetzeswerk geschaffen, dessen Einhaltung zwar zwingend, jedoch gegenüber staatlichen Stellen nicht zwingend prüfbar nachzuweisen ist.

Die Durchführungsverordnung der Länder [EnEV DVO2009] bestimmt die untere Bauaufsichtsbehörde als für die Durchführung zur EnEV grundsätzlich zuständige Behörde. Der Wärmeschutznachweis (Rechenwerk) muss durch den Planverfasser (Architekt) oder einen planenden Ingenieur aufgestellt werden. Die Überwachung erfolgt dabei im Rahmen der Eigenkontrolle des Bauherren (oder des von ihm Beauftragten). Die Vorlage des Wärmeschutznachweis im Rahmen des Bauantrags<sup>3</sup> ist in der Regel nicht erforderlich, kann aber durch die Bauaufsicht gefordert werden. Nach Fertigstellung muss der Energiebedarfsausweis als Nachweis sowie eine Ausführungsbestätigung durch den Planer vorgelegt werden.

Darüber hinaus obliegt die Kontrolle der Einhaltung (und daraus folgende Konsequenzen) im Wesentlichen den privatwirtschaftlichen Verträgen, z.B. dem Vertrags-Verhältnisse zwischen Bauträger und Bauherr.

### **Effizienzhäuser**

Werden Förderungen durch die KfW gewährt, welche an eine Unterschreitung der EnEV gekoppelt sind, so ist gegenüber dem Fördergeber die Einhaltung nachzuweisen. Hierzu hat der planende Ingenieur oder Architekt die entsprechenden Nachweise (Rechenwerk) frühzeitig zu erstellen. Der Bauherr reicht diese mit seinem Förderantrag ein. Eine Bestätigung der Einhaltung durch den Planer nach Bauausführung ist erforderlich (Verwendungsnachweis der KfW). Bei Falschangaben droht Klage wegen Erschleichung von Förderleistungen.

### **Kommunale Förderungen**

Zusätzliche Förderungen durch die Kommune in Form vergünstigter Grundstücke sollten an die KfW Förderung, z.B. an den Maximalförderstandard, gekoppelt werden. Dazu würde dem Bauherren zunächst der volle Kaufpreis in Rechnung gestellt und die Förderung ausgezahlt, wenn die Bestätigung der KfW vorliegt. Vorteil dieses Vorgehens ist, dass nicht zusätzlich geprüft werden muss.

### **Sanktionsmöglichkeiten**

Festsetzungen des Bebauungsplanes werden im Rahmen des bauaufsichtlichen Verfahrens geprüft. Gegen Verstöße kann mit bauaufsichtlichen Mitteln vorgegangen werden.

---

<sup>3</sup> Geregelt durch die Landesbauordnung LBO des betreffenden Bundeslandes.

Die Prüfung der Einhaltung energetischer Festsetzungen oder die Prüfung vorgelegter Nachweise kann i.R. durch Bauaufsichtsbehörden nicht geleistet werden.

Insoweit ist die Finanzierung erforderlicher inhaltlicher Prüfungen unter Beteiligung der Entwicklungspartner zu sichern.

Regelungen, die in öffentlich-rechtlichen städtebaulichen Verträgen zwischen der Stadt und den Entwicklungspartnern oder in den zivilrechtlichen Kaufverträgen zwischen z.B. der Stadt und dem Erwerber vereinbart werden, sind soweit erforderlich durch wirkungsvolle Vertragsstrafen o.ä. zu sichern.

## 8.6 Bereits erfolgte Umsetzungen

Erfahrungen mit verschiedenen Steuerungsinstrumenten im Rahmen von Neubausiedlungen mit KfW-Effizienzstandards oder Passivhäusern wie z.B. Qualitätssicherung oder Gestaltungsbeiräte haben z.B. die Städte:

- Heidelberg** Fernwärme- und Passivhausbindung und Qualitätssicherungsverfahren in der Bahnstadt  
*Instrument: Privatrechtliche Verträge; Kopplung des Nachweises des Passivhausstandards (PHPP) an die **Baugenehmigung***
- Esslingen am Neckar** Gestaltungsbeirat für die Sonnensiedlung Egert  
*Instrument: Privatrechtliche Verträge; Freigabe vor Einreichung der **Baugenehmigung** durch den Beirat, formale Prüfung durch die Stadt mit Vertragsstrafe, Qualitätsprüfung durch Sachverständige als Stichproben*
- Ulm** Qualitätssicherung für die Passivhäuser im Sonnenfeld  
*Instrument: Privatrechtliche Verträge; Qualitätsprüfung in 3 Schritten (Bauantrag, Ausführungsplanung, Fertigstellung) durch Fachingenieure mit **Nachbesserungspflicht bzw. Vertragsstrafen** (Meilensteinplanung)*
- Freiburg** Qualitätssicherung im Rieselfeld und Vauban-Areal  
*Instrument: Privatrechtliche Verträge; Qualitätsprüfung durch Sachverständige mit **Nachbesserungspflicht bzw. Vertragsstrafen***
- Würzburg** Bindungen über vertragliche Regelungen im Hubland Areal  
*Instrument: Privatrechtliche Verträge; formale Prüfung durch*

*die Stadt, Qualitätsprüfung durch Sachverständige als Stichproben mit **Vertragsstrafen***

**Tübingen**

Bindungen über vertragliche Regelungen im Mühlenviertel und der Alten Weberei

*Instrument: Privatrechtliche Verträge; **formale Prüfung** durch die Stadt, keine Qualitätsprüfung*

**Fellbach**

kombinierter Investoren/Architekten-Wettbewerb für die Passivhäuser Schmiedener Strasse

*Instrument: Privatrechtliche Verträge; **formale Prüfung***

**Biberach**

Vielfältige Informationswege wie Infobroschüre, Architektenbörse im Baugebiet Talfeld

*Instrument: **Motivation** durch Information*

## 9 Anhang

### 9.1 Begriffe und Energetische Größen

Folgende Begriffe sind in DIN 277 „Grundflächen und Rauminhalte von Bauwerken im Hochbau“ sowie der Wohnflächenverordnung (WoFIV) definiert:

Brutto-Grundfläche (BGF): Summe der Grundflächen aller Grundrissebenen eines Bauwerks und deren konstruktive Umschließungen

Netto-Grundfläche (NGF): BGF abzüglich der Konstruktionsfläche KF.

Wohnfläche (WF) Die Wohnfläche einer Wohnung umfasst die Grundflächen der Räume, die ausschließlich zu dieser Wohnung gehören incl. Wintergärten, Schwimmbädern und ähnlichen nach allen Seiten geschlossenen Räumen sowie Balkonen, Loggien, Dachgärten und Terrassen, aber nicht Kellerräume, Abstellräume, Waschküchen etc.

Energiebezugsfläche (EBF): Flächen innerhalb der thermischen Hülle, entspricht bei Wohngebäuden in etwa der Wohnfläche.

Das **Außenflächen / Volumenverhältnis AV** (Einheit 1/m) ist ein Maß für die Kompaktheit der Gebäudehülle (Abb. 38). Bei gleicher Qualität der Außenhülle haben kompaktere Gebäude geringe Transmissionswärmeverluste und damit auch einen niedrigeren Energieverbrauch als weniger kompakte.

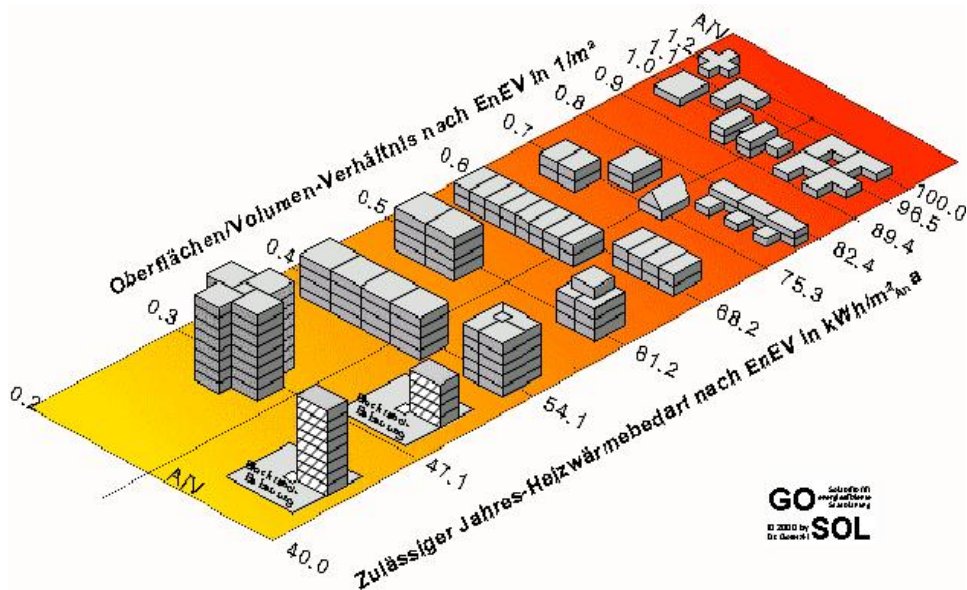


Abb. 38: Überblick: AV-Verhältnis ausgewählter Kubaturen (Quelle GoSol Dr. Goretzki, [PlanSonne])

Bei der Benennung **energetischer Größen** meint **Verbrauch** gemessene Größen. So ist z.B. der Endenergieverbrauch Gas eine am Zähler ablesbare Größe. Berechnete energetische Größen werden dagegen mit **Bedarf** bezeichnet. Der Heizenergiebedarf (oder Heizwärmebedarf) z.B. ist die berechnete Menge an Wärme (Nutzenergie s.u.), die an die Räume eines Gebäudes zur Beheizung abgegeben wird.

Im städtebaulichen Kontext wird der Energiebedarf in absoluten Größen der Jahresarbeit (z.B. Megawattstunden MWh/a) angegeben. Spezifische Größen eines Gebäudes beziehen sich in der Regel auf die Nutzfläche eines Gebäudes in Kilowattstunden pro Quadratmeter und Jahr (kWh/(m<sup>2</sup>a)). Für die Versorgung, insbesondere bei zentralen Varianten, ist neben der Jahresarbeit die nachgefragte Leistung wichtig. Sie wird in MW angegeben.

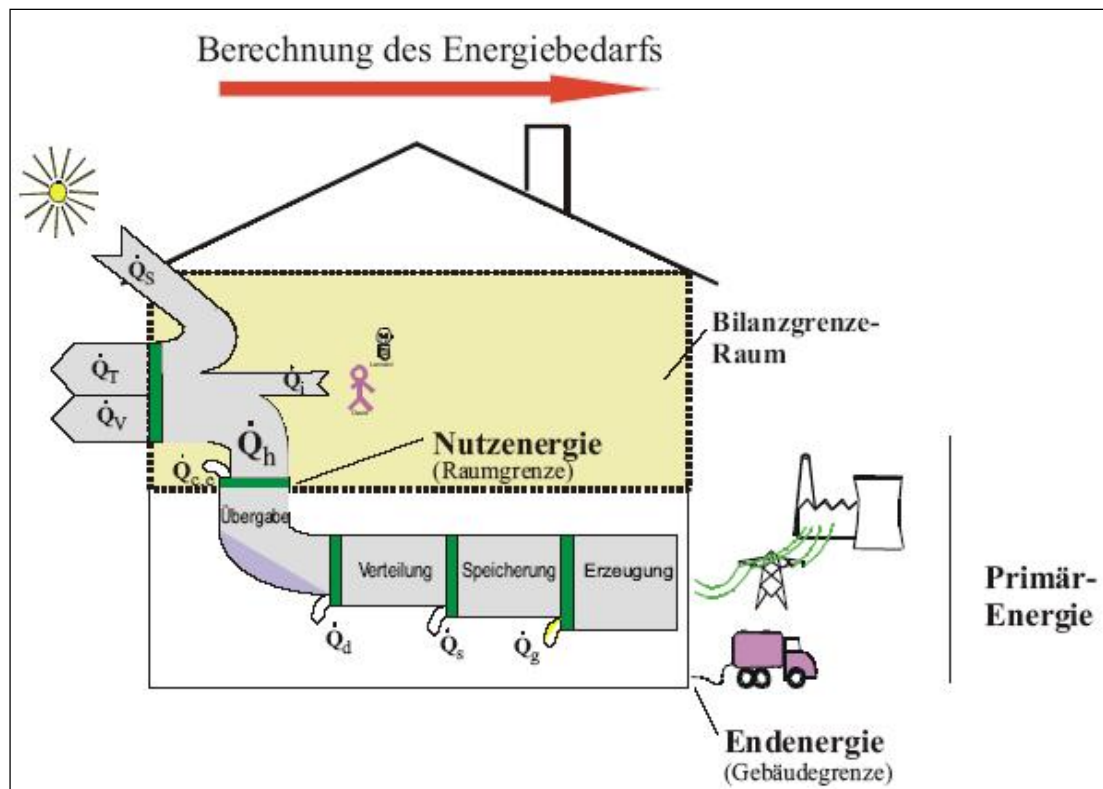


Abb. 39: Berechnung des Energiebedarfs in Richtung der Bedarfsentwicklung sowie Bilanzgrenzen (Quelle [DIN V 4701-10:2003])

**Nutzenergiebedarf:** Errechnete Menge an Energie (oder Wärme), die von der Heizungs- oder Warmwasseranlage geliefert wird.

**Endenergiebedarf:** Die der Heizung, Warmwasseranlage oder auch elektrischem Gerät jeweils zugeführte Menge an Öl, Gas, Strom usw. Der Endenergiebedarf enthält alle anlagenspezifischen Verluste. Er entspricht der (errechneten) Energiemenge, die vom Energieversorger bezogen wird.

**Primärenergiebedarf:** Hierzu werden alle Energieträger (Wärme, Strom etc.) auf die bei der Erzeugung benötigten Mengen an Primärenergieträgern (Öl, Gas, usw.) bezogen. Der Primärenergiebedarf enthält neben den anlagenspezifischen Verlusten auch die bei der Erzeugung und Verteilung auftretenden Verluste wie z. B. bei der Stromerzeugung im Kraftwerk und der Verteilung im Stromnetz. Der Primärenergiekennwert ist der eigentlich umweltrelevante Wert, daher bezieht sich auch die Energieeinsparverordnung darauf.

Primärenergiebezogene **Anlagenaufwandszahl:** Das Verhältnis von Nutzenergiebedarf zu Primärenergiebedarf, abhängig vom Energieträger, den Anlagendaten der Wärmeerzeugung sowie dem Betrieb der Anlage (der wesentlich vom Wärmebedarf bestimmt wird).

**Heizwert, Brennwert:** Der Heizwert (oder untere Heizwert  $H_i$ , früher  $H_u$ ) ist die bei einer Verbrennung maximal nutzbare Wärmemenge, ohne dass es zur Kondensation des im Abgas enthaltenen Wasserdampfes kommt, bezogen auf die Menge (in Litern,  $m^2$  usw.) eingesetzten Brennstoffs. Kommt es zum Auskondensieren des Wasserdampfes, so wird die im Dampf latent gebundene Wärme zusätzlich frei und man spricht vom Brennwert (oder oberen Heizwert  $H_s$ , früher  $H_o$ ). Brennwertgeräte nutzen genau diesen Effekt der Kondensation. Abhängig von der bei der Verbrennung enthaltenen Wassermenge arbeiten sie daher höherem Wirkungsgrad.

## 9.2 Städtebauliche Einflussfaktoren

Der städtische Entwicklungsraum bietet durch Gestaltungsspielraum im Rahmen der Stadtplanung und Stadterneuerung eine große Zahl von Steuerungsinstrumenten. Abb. 40 zeigt die Möglichkeiten, im Prozess der Stadt- und Bauleitplanung auf den Energieverbrauch und damit auf die Emissionen eines Baugebiets Einfluss zu nehmen.



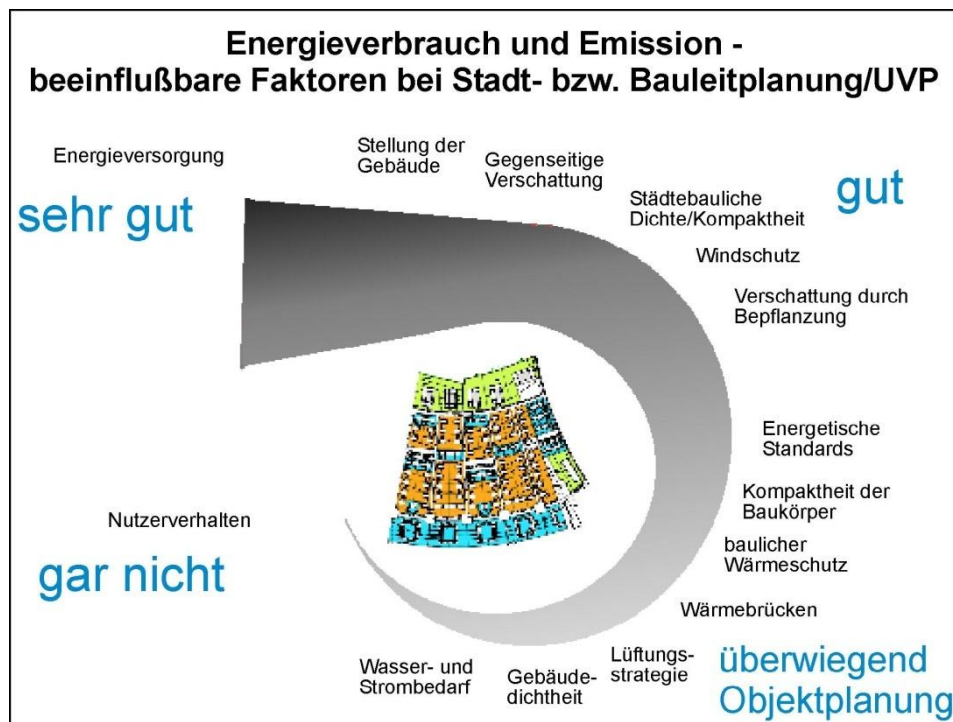


Abb. 40: Einflussfaktoren auf den Energieverbrauch und die Emissionen einer Stadt bzw. Siedlung

Die folgenden Faktoren haben in der Reihenfolge ihrer Nennung Einfluss auf den Energieverbrauch:

Städtebauliche **Kompaktheit**, Dichte der Bebauung und Kompaktheit der einzelnen Baukörper. Der maßgebliche Kennwert ist das Verhältnis von wärmeübertragender Hüllfläche zum dadurch umfassten Volumen ( $A/V$ ).

Stellung der Baukörper bzw. **Orientierung** der Hauptfassaden- und Fensterflächen zur Sonne. Günstig sind hier südorientierte Ausrichtungen.

Anordnung der Baukörper im städtebaulichen Kontext und damit die gegenseitige **Verschattung** der Gebäude.

Eine hohe städtebauliche Dichte führt zu günstigen Voraussetzungen für niedrigen Energieverbrauch - aber auch zu starker Verschattung, was wiederum ungünstig für den Verbrauch ist. Die besten städtebaulichen Voraussetzungen für niedrigen Energieverbrauch können daher nur in einem konkreten Optimierungsprozess unter maßgeblicher Einbeziehung aller sonstigen städtebaulichen Anforderungen gefunden werden.

Direkt mit den Punkten 1 bis 3 korrelierte Einflussfaktoren sind:

Vermeidung oder Minimierung der **Verschattung von Bepflanzung**. Insbesondere Südfassaden sollten weitgehend unverschattet bleiben. Laubwerfende Gehölze sind hierbei günstiger, als ganzjährig dicht belaubte.

Auch Versorgungseinrichtungen haben Einfluss auf den Städtebau. Hierunter fallen:

Die Bereitstellung geeigneter Dachflächen (Ausrichtung, Neigung, Höhenentwicklung) für die Aufstellung von **solarthermischen Anlagen** und **Photovoltaik**.

**Integration der Versorgungseinrichtungen**, beispielsweise durch Ausweisen von Flächen für zentrale Versorgungseinrichtungen (Holzhackschnitzelanlage) und Logistik.

**Versorgungsverbote oder -gebote**. Beispielsweise Nah- oder Fernwärmeversorgung oder Verbrennungsverbote für bestimmte Brennstoffe, z.B. Holz oder Holzprodukte.

Energetisch dahingehend optimierte städtebauliche Strukturen reduzieren zwar nicht per se den Energiebedarf bzw. die Schadstoffemissionen, schaffen aber gute Voraussetzungen, bauliche und versorgungstechnische Strategien zur Schadstoffminderung in der Folge effektiv und kostengünstig einzusetzen.

Das größte Einsparpotential und damit eine zentrale Aufgabe im Bereich der Schadstoffminderung besitzen die baulichen Entscheidungen und die Absicherung des oben beschriebenen KfW-Effizienzhaus- bzw. Passivhausstandards.

Sinnvoll ist es, das gesamte Spektrum an Einsparmöglichkeiten im Rahmen des städtebaulichen Entwicklungsprozesses optimal auszuschöpfen, um nachhaltigen Klimaschutz betreiben zu können.

## 9.3 Energetische Standards und Anforderungen

Der Durchschnittswert des Heizwärmebedarfs im Bestand der Gebäude der Bundesrepublik Deutschland liegt heute bei ca. 250 bis 300 kWh/(m<sup>2</sup>a). Sowohl im Neubaubereich, als auch im Bereich der (energetisch hochwertigen) Sanierung können weit geringere Verbräuche realisiert werden. In der Bundesrepublik haben sich über den gesetzlichen der Energieeinsparverordnung verbesserte Standards etabliert (Abb. 41).

### 9.3.1 Gesetzlicher Standard Energieeinsparverordnung

Gesetzlicher Standard für Wärmeschutz und Wärmeversorgungstechnik in Deutschland wurde in 2009 novelliert. Die Primärenergieanforderung wird anhand der gleichen Geometrie des nachzuweisenden Gebäudes mit Referenzwerten für den Wärmeschutz der Gebäudehülle und für die Haustechnik nachgewiesen („Referenzgebäude“). Wohngebäude werden mit dem Verfahren nach DIN 4108-6

(wie EnEV 2007) nachgewiesen. Bei Nicht-Wohngebäude kann ein vereinfachtes Verfahren nach DIN EN 18599 zum Einsatz kommen.

### 9.3.2 Überblick und weitergehende Standards

Da vielfach noch verwendet, wird eine Auswahl überholter oder nicht mehr gebräuchliche Begriffe ebenfalls erläutert.

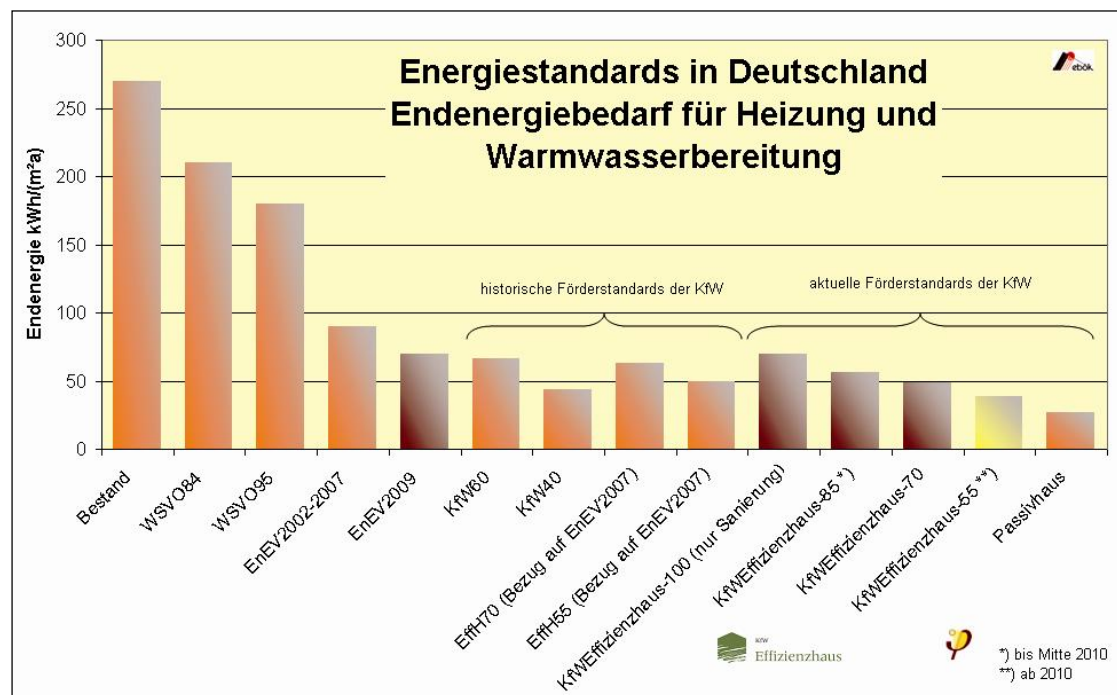


Abb. 41: Überblick wärmetechnische Standards in Deutschland (Quelle: BINE, ebök)

**Energieeinsparverordnung (EnEV 2009):** der gesetzliche Standard bei Neubau und Sanierung. Die Anforderungen beziehen sich auf den Primärenergiebedarf (des Referenzgebäudes) und als Nebenanforderung auf den mittleren Transmissionskoeffizienten eines Gebäudes. Bei Sanierungen gelten Anforderungen an die sanierten Bauteile. Gebäude nach EnEV (2009) haben einen Heizwärmebedarf von ca. 60 bis 70 kWh/(m²a).

**Niedrigenergiehäuser (NEH):** Der Begriff wird nicht mehr aktuell verwendet, da zwischenzeitlich der gesetzlichen Anforderungen „strenger“ sind. Niedrigenergiehäuser haben einen Heizwärmebedarf von ca. 70 kWh/(m²a). Der bauliche Standard konnte nicht allgemeingültig definiert werden, verschiedene Bemühungen zielten auf eine Vereinheitlichung ab (z.B. RAL Gütesiegel Niedrigenergiehaus [www.guetezeichen-neh.de](http://www.guetezeichen-neh.de)).

**KfW-Effizienzhäuser:** Diese Standards werden von der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) festgelegt. Dabei müssen die Primärenergie und das HT' einen definierten Prozentsatz unter dem entsprechenden Referenzgebäude nach EnEV2009 liegen. (Beschreibung s.u.)

Folgende Grafik zeigt die energetischen Anforderungen in der Übersicht:

## KfW – Effizienzhäuser seit 07/2010

Energieeffizientes Sanieren
Energieeffizientes Bauen

Förderstufen KfW-Effizienzhaus (Bezug EnEV 2009)	KfW- Effizienz- haus 115	KfW- Effizienz- haus 100	KfW- Effizienz- haus 85	KfW- Effizienz- haus 70	KfW- Effizienz- haus 55	KfW- Effizienz- haus 40
Anforderung an $Q_p$	115%	100%	85%	70%	55%	40%
der errechneten Werte für das entsprechende Referenzgebäudes nach Tabelle 1 Anlage 1 der EnEV 2009**						
Anforderung an $H_T'$	130%	115%	100%	85%	70%	55%
der errechneten Werte für das entsprechende Referenzgebäudes nach Tabelle 1 Anlage 1 der EnEV 2009**						
Anforderung an Passivhaus	$Q_p \leq 40 \text{ kWh/m}^2, Q_n \leq 15 \text{ kWh/m}^2$ nach dem Passivhaus Projektierungspaket					

\*\* Gleichzeitig gilt für  $H_T'$  der Höchstwert nach Tabelle 2 Anlage 1 der EnEV 2009 unter Berücksichtigung des 40%igen Zuschlags für bestehende Gebäude

Abb. 42: Übersicht der energetischen Anforderungen für die KfW-Effizienzhäuser

*KfW-Effizienzhäuser und Passivhäuser werden im selben Förderprogramm („Energieeffizient Bauen“ Programm 153, „Energieeffizient Sanieren“ Programme 151, 430) der KfW geführt. Während beim KfW-Haus eine Primärenergieanforderung besteht, ist das Passivhaus (aus technischen Gründen) über den Heizwärmebedarf definiert.*

**KfW Effizienzhaus-70:** Förderstandard der KfW. Der Primärenergiebedarf darf nur 70%, der Transmissionskoeffizient der Hülle nur 85% des Werts nach EnEV betragen. Mit nur teilregenerativer Versorgung ist der Primärenergiebedarf der begrenzende Faktor - entsprechend sind die baulichen Anforderungen ähnlich denen des Passivhauses. Bei voll regenerativer Versorgung sind die Anforderungen auch bei geringerem Dämmstandard zu erfüllen.

**KfW Effizienzhaus-55:** Förderstandard ab 2010. Primärenergiebedarf 55% und Transmissionskoeffizient der Hülle nur 70% des Werts nach EnEV.

**KfW Effizienzhaus-40:** Förderstandard ab 2010. Primärenergiebedarf 40% und Transmissionskoeffizient der Hülle nur 55% des Werts nach EnEV.

**Passivhäuser (PH):** Die Anforderung an ein Passivhaus wird durch die Begrenzung des Heizwärmebedarfs auf maximal 15 kWh/(m<sup>2</sup>a) (berechnet nach dem Berechnungsverfahren PHPP, Passivhaus-Institut Dr. W. Feist) definiert. Diese Definition ist nicht willkürlich, sondern resultiert aus der Forderung auf eine konventionelle Heizwärmeverteilung zu verzichten.

Bei beiden Ansätzen EffH55 und PH werden Wärmeverluste durch optimierten Wärmeschutz konsequent minimiert werden. Die Fenster werden in der Regel mit hoch-wärmedämmten Rahmen und Dreischeiben – Wärmeschutzverglasung ausgeführt. Lüftungswärmeverluste werden durch eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung minimiert. Zur Erwärmung der Räume werden die solaren Wärmegevinne durch die Fenster sowie die inneren Wärmequellen genutzt.

Passivhäuser weisen einen sehr hohen raumklimatischen Wohnkomfort auf. Das Konzept ist erprobt und kann als Stand der Technik angesehen werden.

### 9.3.3 Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG)

Nach dem Bundesgesetz [EEWärmeG-2009] muss die Wärmeversorgung bei Neubauten, für die ab 1. Januar 2009 die Bauunterlagen erstmalig eingereicht werden, abhängig von Energieträger anteilig entweder über

- Sonnenenergie (zu min. 15%) oder
- Erdwärme und Wärmepumpen (zu min. 50%) oder
- Biomasse (zu min. 30% bzw. 50%)

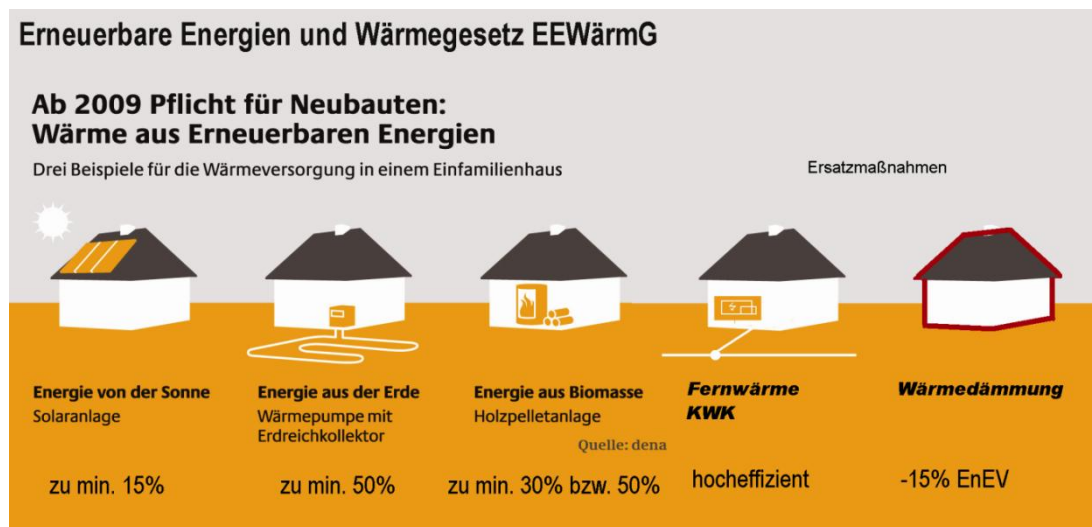
gedeckt werden.

Neben diesen Mindestanteilen müssen, je nach eingesetzter Technologie, bestimmte Kriterien nach Maßgabe der Anlage zum EEWärmeG erfüllt werden. Elektrisch betriebene Sole/Wasser-Wärmepumpen müssen beispielsweise mindestens eine Jahresarbeitszahl (JAZ) von 3,8 bei Nutzung für Heizung und Warmwasser vorweisen können.

Ersatzweise zu den Verpflichtungen des direkten Einsatzes von erneuerbaren Energien kann

- eine Anlage zur Nutzung von Abwärme betrieben werden, oder
- an Fernwärme (mit KWK<sup>4</sup>) angeschlossen werden, oder
- ein Blockheizkraftwerk betrieben werden, oder

der bauliche Standard der Gebäudehülle um 15% besser als der Grenzwert der EnEV (Höchstwert des Jahres-Primärenergiebedarfs und Anforderungen an die Wärmedämmung) gebaut werden.



## 9.4 Bauweisen

Der energetische Standard ist heute von der Bauweise eines Gebäudes nahezu unabhängig, für fast alles bietet der Baumarkt heute Lösungen an. Einzig die monolithische in Hochlochziegel oder Porenbeton hat ihre Grenzen: Aufgrund der Stärkenbegrenzung des Mauerwerks wird diese Bauweise für sehr gut wärme-gedämmte Gebäude unwirtschaftlich. Die Lösung liegt in der Kombination von Mauerwerk mit Wärmedämmstoffen (Wärmedämmverbundsystem). Hier einige weitere Begriffe:

### Monolithische Bauweise

Die Außenwände bestehen nur aus Mauerwerk, das in der Regel verputzt wird.

<sup>4</sup> KWK: Kraft –Wärmekopplung (Blockheizkraftwerk).s.a. Anhang.

### **Wärmedämmverbundsystem**

Kombination von Mauerwerk mit Dämmstoffen, im Neubau in der Regel an der Außenseite der Wand. Meist werden die Dämmstoffe (Schäumdämmstoffe oder Mineralfaser) mit mineralischem Kleber verklebt und mit einem armierten Putzsystem verkleidet. Durch die Kombination können schwere (und damit preisgünstige) Mauerwerkssteine verwendet werden. Die Dämmwirkung liegt beim Wärmedämmverbundsystem im Dämmstoff.

### **Dämmstoffe**

Die gängigsten Dämmstoffe sind EPS (expandiertes Polystyrol) und MFD (Mineralfaser). Sie sind in gut dämmenden Qualitäten bis ca.  $0,032 \text{ W/(mK)}$  Wärmeleitfähigkeit erhältlich. In Schüttdämmungen z.B. im Dachbereich werden Zellulosefasern verwendet. Für Spezialanwendungen sind Polyurethan-Schaumdämmstoffe (hoch wärmedämmend), Vakuum-Isolations-Paneele (extrem wärmedämmend) oder druckfeste Glas-Schaum Dämmstoffe erhältlich. Daneben existieren alternative Dämmstoffe, wie z.B. Schafwolle.

### **Leichtbauweise, Holzbauweise**

Moderne Holzbauweise mit reduziertem Holzanteil in den Tragteilen. Die Wand wird nicht mehr mit einem Fachwerk massiver Ständer aufgebaut, sondern mit Doppel-T-Trägern aus Holz (TJI – Träger). Diese sind für hohe Wand- oder Dachstärken erhältlich. Sie werden innen- und außenseitig beplankt und mit Schüttdämmstoffen ausgedämmt.

### **Standardfenster, Standardverglasung. Passivhausfenster, Passivhausverglasung**

In Deutschland haben sich in den letzten Jahren das Holzfenster nach dem Norm-Profil IV68 (mit 68mm Stärke) sowie das Vierkammer-Kunststofffenster, jeweils mit Zweischeiben – Wärmeschutzverglasung ( $U_g = 1,1 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ ) durchgesetzt. So können Fenster-U-Werte von 1,3 bis  $1,7 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  erreicht werden.

Im Passivhaus sind diese Qualitäten nicht ausreichend. Hier werden größere Rahmenstärken sowie Kombinationen mit Schaumdämmstoffen verwendet. Die Standardverglasung im Passivhausbericht ist eine Dreischeiben Wärmeschutzverglasung mit  $U_g = 0,6 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ . Es sind aber auch Qualitäten mit noch niedrigerer Leitfähigkeit erhältlich.

## 9.5 Energieversorgung

Bei der Versorgung eines Gebäudes können neben dem immer vorhandenen Energieträger Strom leitungsgebundene Energieträger (wie Erdgas oder Fernwärme) und Energieträger, welche auf Anforderung geliefert und lokal gelagert werden müssen (wie Erdöl oder Holz), zum Einsatz kommen.

Der Energiebedarf eines Versorgungsgebiets wird bestimmt durch die Anzahl der Gebäude, deren Heizwärmebedarf und Warmwasserbedarf sowie den Strombedarf der haustechnischen Geräte (Heizung, Pumpen etc.) und der Haushaltsanwendungen wie Licht, Waschen, Kühlen etc.

Der **Heizwärmebedarf** wird im Wesentlichen bestimmt durch den energetischen Standard der Gebäudehülle.

Der **Warmwasserbedarf** unterliegt starken nutzungsabhängigen Schwankungen. In der Literatur werden zwischen 40 und 60 Liter Warmwasserbedarf pro Person und Tag bei 45° Zapftemperatur angegeben. In den Berechnungen wird in den Basisvarianten einheitlich der von der EnEV vorgegebene Standardwert von 12,5 kWh/(m<sup>2</sup>a) Nutzenergie angenommen.

**Haushaltsstrom** wird im Wesentlichen für haustechnische Anwendungen (Licht, Waschen, Kühlen etc.) benötigt. Ziel wäre der konsequente Einsatz von marktbesten Elektrogeräten, wie sie z.B. in der Geräteliste „Besonders sparsame Haushaltgeräte“ ([www.energieagentur.nrw.de](http://www.energieagentur.nrw.de)). Ein effizientes Lichtkonzept, ein stromeffizientes Lüftungskonzept und die Substitution von elektrischer Wassererwärmung bei den Spül- und Waschanwendungen sollen Berücksichtigung finden.

Der durchschnittliche Haushalt benötigt etwa 2.500 kWh Strom pro Jahr bei 2,2 Personen pro Haushalt ohne Heizung und Warmwasser. Ein mit Bestgeräten ausgestatteter Haushalt mit energiebewussten Nutzern liegt zwischen 1.500 und 1.700 kWh Strom pro Jahr (Spar-Variante).

Ziel ist es, die elektrische Ausstattung der Gebäude möglichst stromeffizient umzusetzen, in Passivhäusern ist dies obligatorisch.

### Verschiedene Wärmeversorgungen

Neben den gebräuchlichen und hier nicht näher erläuterten Versorgungsmöglichkeiten wie Gasbrennwerttechnik sind die folgenden Technologien in Bezug auf Energieeinsparung sinnvoll und werden daher an dieser Stelle vorgestellt.



## 9.5.1 Nahwärmeversorgung

Bei einer Nahwärmeversorgung werden einzelne, nah beieinanderliegende Gebäude über erdverlegte und gedämmte Rohrleitungen von einer Heizzentrale aus angefahren. Das Heizungswasser des Nahwärmekreises gibt seine Wärme in einer Übergabestation für die Raumheizung oder Warmwasserbereitung des Gebäudes ab. Bei der direkten Versorgung wird auf die Übergabestation verzichtet. Diese Lösung ist zwar kostengünstiger, beinhaltet jedoch diverse technische Nachteile.

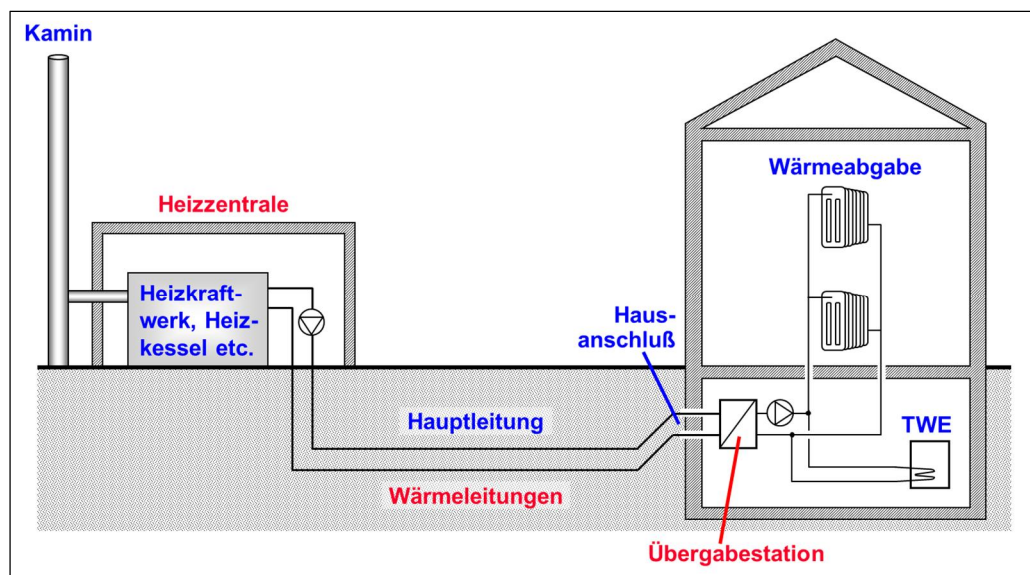


Abb. 43: Wesentliche Teile eines Nahwärmeversorgungssystems

Die zentrale Versorgung bietet gegenüber der dezentralen Lösung Vorteile:

- Hohe Effektivität, da größere Erzeuger und im Mittel gleichmäßigere Nachfrage.
- In den Gebäuden entfallen Brennstofflagerung oder Gasanschluss (geringe Brandgefahr) sowie Schornsteinanlagen.
- große Betriebssicherheit, da meist mehrere Erzeuger in der Heizzentrale eingesetzt werden.
- Geringer Bedienungsaufwand.
- Höherer Schornstein als bei Einzelversorgung und damit geringere Immissionen in Bodennähe.
- Leichte Umrüstbarkeit und damit hohe Flexibilität.
- Einsatzmöglichkeit von Techniken, die in kleinem Maßstab nicht oder nur eingeschränkt zur Verfügung stehen, z.B. Kraft-Wärme-Kopplung oder Holzhackschnitzelanlagen.

- Gesicherter Einsatz z.B. regenerativer Energieträger

Dem steht gegenüber, dass sich die Investitionen in ein Nahwärmenetz und dessen Wärmeverluste sich gegenüber der dezentralen Lösung auszahlen müssen.

## 9.5.2 Blockheizkraftwerke

Ein Blockheizkraftwerk ist ein Stromaggregat, dessen Abwärme für Heizzwecke eingesetzt wird. Durch diese sogenannte Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) wird hohe Effizienz erzielt.

Wie in Abb. 44 dargestellt, wird der Energieeinsatz bei einem BHKW zu 30 - 40% in elektrischen Strom und zu 50 - 60% in nutzbare Wärme umgesetzt. Die Verluste sind gering, so dass der eingesetzte Brennstoff zu 90% (Gesamtwirkungsgrad) genutzt werden kann. Gegenüber konventionellen Kondensationskraftwerken zur Stromerzeugung (bei denen die erzeugte Abwärme über Kühltürme oder Flüsse an die Umgebung abgegeben wird), lassen sich rund 30 - 40 % Primärenergie einsparen.

Für die Wärmeerzeugung gilt allerdings auch im Falle des BHKW der Energieerhaltungssatz. Während ein Heizkessel zu nahezu 100% Wärme aus Brennstoff erzeugt, muss beim BHKW für die Stromerzeugung zunächst Energie aufgewendet werden. Gegenüber der Wärmeerzeugung in einem konventionellen Kessel müssen also durch die Stromverkäufe investive Mehraufwendungen sowie Brennstoffmehrkosten kompensiert werden können. Auch umweltseitig muss die Substitution konventionellen Kraftwerksstroms höher ausfallen als die Aufwendungen, damit ein BHKW Umweltvorteile bringt.

Blockheizkraftwerke werden in der Regel wärmegeführt eingesetzt. Die Größe der Anlage wird am ganzjährigen Wärmebedarf (im Sommer zur Warmwasserbereitung) orientiert. Erfahrungsgemäß ist die Voraussetzung für einen wirtschaftlichen Einsatz eine Vollast-Betriebsstundendauer von mehr als 4500 – 5000 Stunden pro Jahr. Daraus folgt, dass ein gleichmäßiger, ganzjähriger Wärmebedarf für einen erfolgreichen Einsatz notwendig ist. In KWK – Zentralen wird als Redundanz und zur Deckung von Spitzenlasten oft ein konventioneller Wärmeerzeuger (Kessel) vorgehalten.

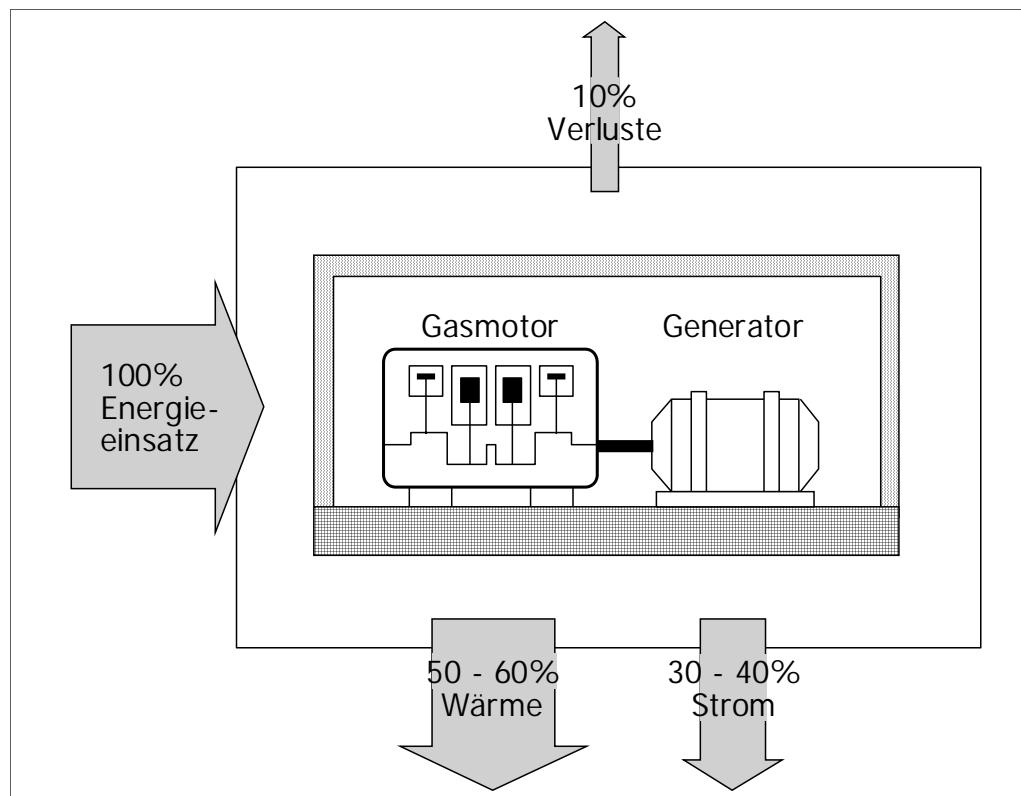


Abb. 44: Energiebilanz eines Blockheizkraftwerkes

Inzwischen kommen zunehmend Klein-BHKWs auf den Markt, die auch schon gut in Mehrfamilienhäusern oder Reihenhauszeilen eingesetzt werden können.

Bei Gebäude-Energiebilanzen wird der Stromanteil über eine Primärenergie-gutschrift bzw. CO<sub>2</sub>-Gutschrift berücksichtigt.

### 9.5.3 Wärmepumpen

Eine Wärmepumpe entzieht der Umgebung Wärme auf niedrigem Niveau, pumpt sie unter Einsatz von Energie auf ein höheres Temperaturniveau und gibt sie auf diesem höheren und damit nutzbaren Temperaturniveau wieder ab. Als Wärmequelle kann beispielsweise das Erdreich oder die Fortluft des Gebäudes dienen. Als Antrieb dient dabei üblicherweise ein Elektromotor (Anlagen mit Verbrennungsmotoren konnten sich nicht durchsetzen).

Die Arbeitsweise einer Wärmepumpe entspricht der eines (umgekehrten) Kälteschranks oder Kälteaggregats. In einem geschlossenen Kreislauf zirkuliert das Kältemittel. Am Verdampfer wird der Umgebung Wärme entzogen, indem das flüssige Kältemittel verdampft. Durch die Verdichtung im Kompressor erwärmt es

sich. Im Kondensator kann es nun Nutzwärme z.B. an einen Heizkreis oder einen Warmwasserspeicher abgeben. Dadurch kondensiert das Kühlmittel. Wird das nun flüssige Kühlmittel entspannt, so kühlt es sich weiter ab und der Kreisprozess kann erneut beginnen.

Die früher eingesetzten Kältemittel (Refrigerant = R) führen mit zur Zerstörung der Ozonschicht in der Atmosphäre. Daher wurden neue, umweltverträgliche Kältemittel eingeführt.

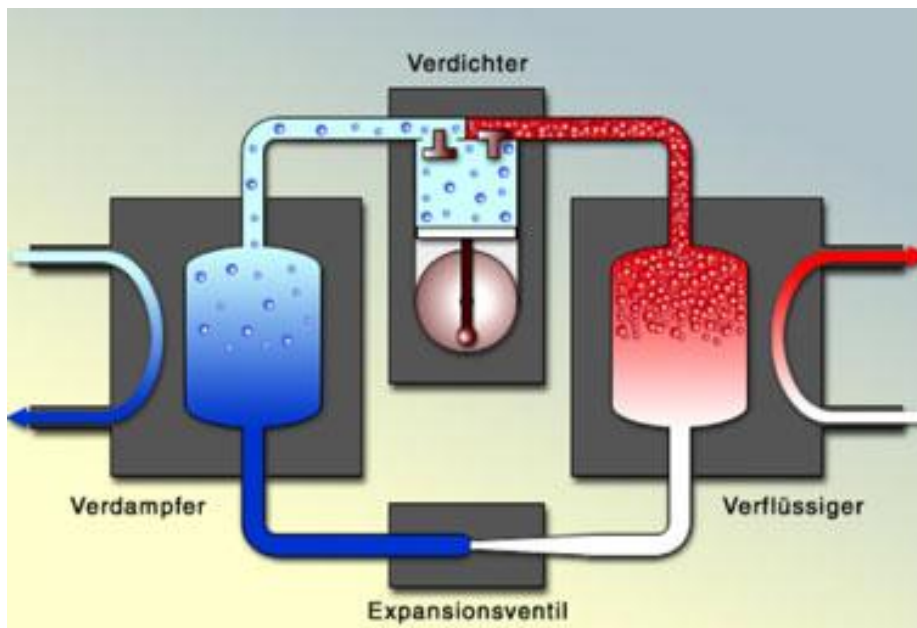


Abb. 45: Prinzip einer Wärmepumpe (Quelle VDEW)

Die Wärmbilanz von Wärmepumpen ist entscheidend davon abhängig, von welchem Temperaturniveau und auf welches Temperaturniveau gepumpt werden soll und wie die Wärmequellen (im Verhältnis zur Wärmenachfrage) im Jahresverlauf zur Verfügung stehen.

Je höher das Temperaturniveau von dem und je niedriger dasjenige auf das gepumpt werden soll ist, desto höher ist der Wirkungsgrad (oder bezogen auf die Jahresarbeit die Jahresarbeitszahl) der Wärmepumpe. Daher kommt das Erdreich oder die Fortluft einer Lüftungsanlage, jedoch kaum die Außenluft als Wärmequelle zur Verfügung.

Bei einer elektrisch betriebenen Wärmepumpe muss - grob gesprochen - die Jahresarbeitszahl größer als der Primärenergiefaktor von Strom sein, damit sie gegenüber einem direkten Einsatz von Heizöl oder Erdgas umweltverträglich zu betreiben ist. Das bedeutet, es ist eine Jahresarbeitszahl größer drei notwendig. In

diesem Fall wird bei 1/3 Stromeinsatz 2/3 der Energie an der Warmseite der Wärmepumpe der Umwelt entnommen.

## 9.5.4 Erdwärmenutzung

Unter Erdwärmenutzung (oberflächennahe Geothermie) versteht man die Nutzung der im Erdreich und im Grundwasser enthaltenen Wärme bis zu einer Tiefe von ca. 400m. Das Temperaturniveau schwankt in Deutschland jahreszeitlich zwischen ca. 7 und 12 °C und liegt typischerweise in 10m Tiefe bei fast konstant 10 °C (entsprechend der jahresmittleren Außentemperatur). Bis 15m sind noch solare Einflüsse zu erkennen. Darunter nimmt die Temperatur um ca. 3 K je 100 m zu. Ein solches Temperaturniveau reicht für eine direkte Nutzung nicht aus. Es muss mit Hilfe einer Wärmepumpe auf ein höheres Niveau gepumpt werden.

Im Gegensatz zur Erdwärmenutzung unterscheidet man die Geothermie aus Tiefenbohrungen zur direkten Nutzung. Das Vorkommen von direkt nutzbaren Wärmequellen ist in Deutschland selten und nur in einigen thermalen Gegenden möglich. Länder mit hoher vulkanischer Aktivität wie Neuseeland oder Island sind dagegen in der Lage nennenswerte Anteile Ihres Energieverbrauchs direkt geothermisch zu decken. Die Temperaturen sind hierbei auch so hoch, dass Wasserdampf erzeugt und zur Stromproduktion eingesetzt werden kann.

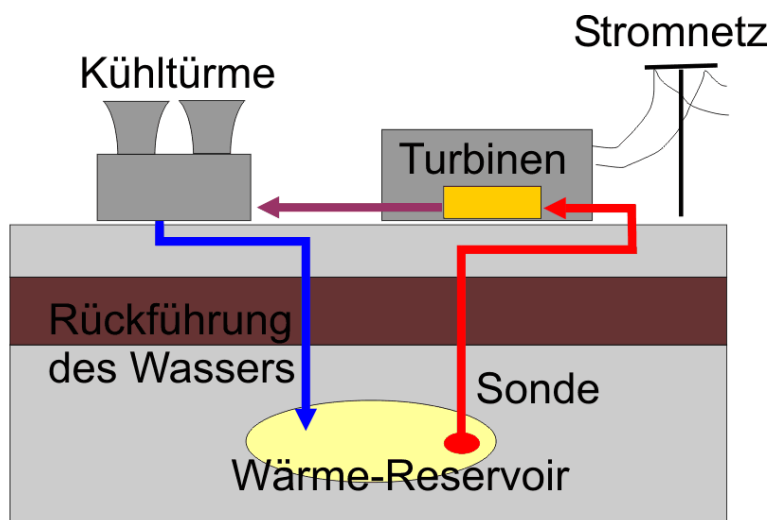


Abb. 46: Schema eines geothermischen Kraftwerks zur Stromerzeugung

Im Zusammenhang mit Gebäudebeheizung spricht man hierzulande folglich fast immer von oberflächennaher Geothermie. Zur Nutzung werden im Boden von Sole durchflossene Erdschlangen (Wärmetauscher) verlegt, welche dem Boden Wärme

entziehen. Die Sole-Wärmetauscher können in der Baugrube z.B. im Arbeitsraum um das Gebäude, unter der Bodenplatte des Gebäudes oder in Gräben verlegt werden. Man erreicht so einige Meter Verlegungstiefe. Eine Methode, mit der größere Tiefen erreicht werden, ist die Verlegung von Erdwärmesonden in senkrechten Bohrungen. Dies ist jedoch nur möglich, wenn die geologischen Gegebenheiten am Standort geeignet sind. Die Ausbeute an Wärme ist bei einer Bohrung gegenüber einer offenen Verlegung deutlich höher.

Da das Erdreich im Sommer in der Regel kühler ist als die Außenluft, kann ein Erdwärmetauscher auch zur Kühlung des Gebäudes eingesetzt werden. Dabei wird Wärme in das Erdreich eingebracht, was auch zur Regeneration der Erdtemperatur hilfreich ist.

Damit Erdwärmenutzung ökologisch sinnvoll ist, muss das Gesamtsystem aus Erdwärmetauscher und Wärmepumpe eine Jahresarbeitszahl (der unter realen Bedingungen übers Jahr erreichte Wirkungsgrad) aufweisen, die besser ist als der Primärenergiefaktor des eingesetzten Energieträgers. Dies ist entscheidend, da in der Regel Strom mit einem hohen Primärenergiefaktor von ca. 3 zum Antrieb der Wärmepumpe eingesetzt wird. Es ist also nur dann günstiger, Strom zum Pumpen von Wärme einzusetzen wenn dadurch mehr als drei Mal so viel Wärme erzeugt wird. Sonst wäre es günstiger, Erdgas direkt zur Beheizung zu benutzen. Analoges gilt auch für die Verbrauchskosten. Der für die Wärmepumpe eingesetzte Strom muss im Verhältnis von Strompreis zu Gaspreis, d.h. ca. drei bis vier Mal mehr Wärme bringen, damit der Verbrauch wirtschaftlich ist. Wegen der Erdreichwärmetauscher, insbesondere bei Bohrungen, erfordert die Nutzung von Erdwärme in der Regel eine verhältnismäßig hohe Investition. Hier sollte auf jeden Fall ein Zusatznutzen, z.B. die Sommerkühlung, angestrebt werden.

Der Einsatz von Erdreichwärmepumpen zur Warmwasserbereitung ist eher ungünstig. Für das warme Wasser muss mit ca. 60°C ein hohes Temperaturniveau erreicht werden. An diesem Betriebspunkt arbeitet die Wärmepumpe mit einer Jahresarbeitszahl deutlich unter 3 aber ungünstig. Steht keine andere Wärmequelle zur Verfügung (was häufig der Fall ist), muss zur Deckung der Restwärme (Warmwasserbereitung aber auch Heizwärme) darüber hinaus direkt elektrisch zugeheizt werden. Aus diesem Grund sollten Wärmepumpen auch gut gewartet und überwacht werden. Schlecht laufende Anlagen führen sonst schnell zu hohen Kosten und hohem Primärenergieverbrauch.

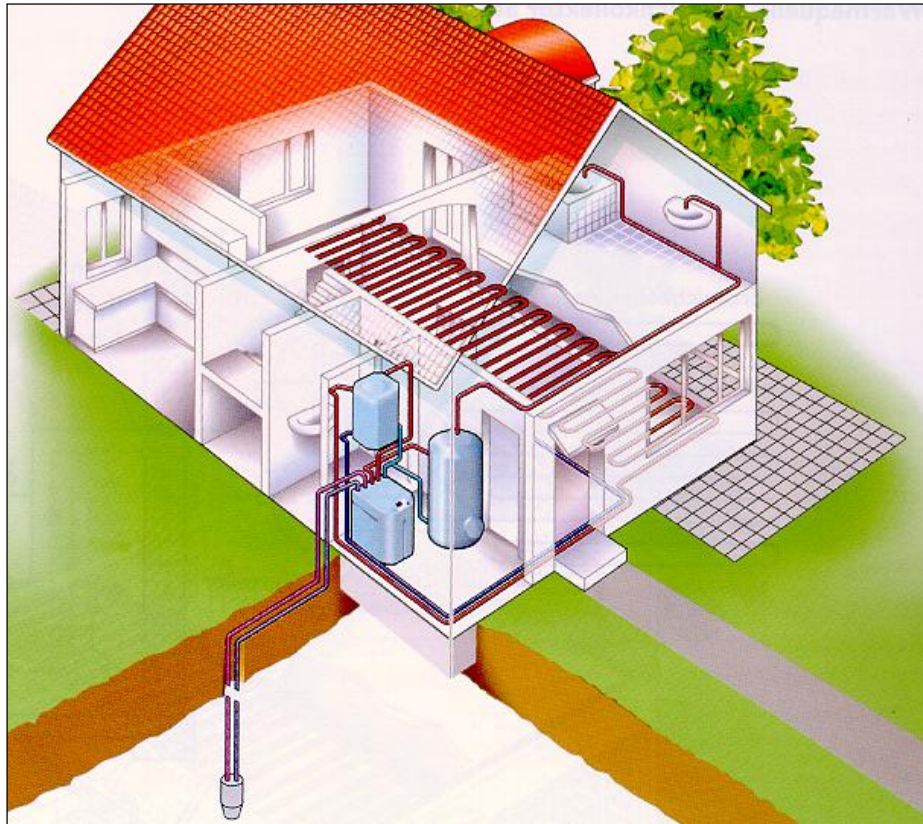


Abb. 47: Wärmepumpe mit Erdwärmesonde

### 9.5.5 Kompaktaggregat

Das Kompaktaggregat ist ebenfalls eine Wärmepumpenlösung, bei der aber 1. die notwendigen Komponenten in einem einzigen Gerät integriert sind und 2. die Fortluft als Wärmequelle genutzt wird. Es kann für kleinere sehr gut gedämmte Einfamilienhäuser (Passivhäuser) verwendet werden. Das Gerät beinhaltet eine Zu-Abbluftanlage mit Wärmerückgewinnung, sowie eine Fortluftwärmepumpe, zur Nachheizung und Warmwasserbereitung.

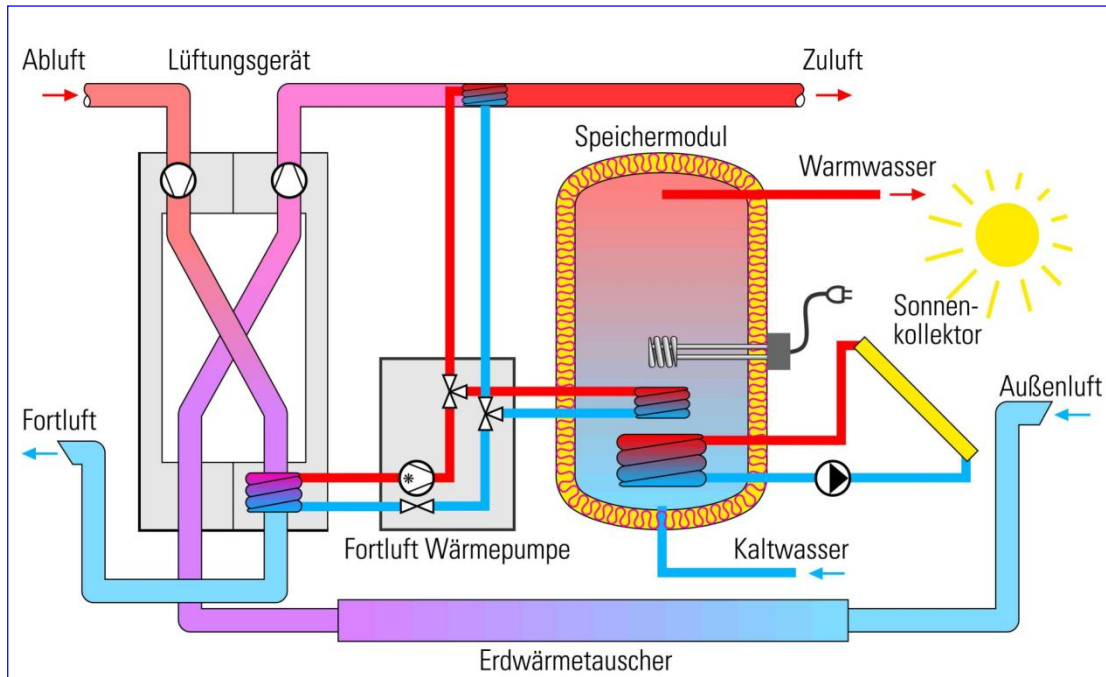


Abb. 48: Das Prinzip eines Kompaktaggregats – hier in Kombination mit Erdreichwärmetauscher und Solarkollektor

## 9.6 Beispiele aus anderen Städten / Gemeinden

Die ambitionierte Zielsetzung der Stadt Erfurt zum Thema Klimaschutz im Baugebiet Marienhöhe soll im Folgenden unter Projekten anderer Kommunen eingeordnet werden. Es sind uns derzeit keine Baugebiete in Deutschland bekannt, die das Ziel einer „CO<sub>2</sub>-freien“ Siedlung erreichen oder erreichen wollen. Alle Projekte bestehen aus hochwertigen Bausteinen wie Energieeinsparung, Effizienz sowie Nutzung Erneuerbarer Energien, die zu einem „Weg zum CO<sub>2</sub>-freien Quartier“ führen.



## 9.6.1 Beispiel Bahnstadt Heidelberg:



Abb. 49 Luftbild mit Modell der Bahnstadt Heidelberg; Quelle: Amt für Umweltschutz, Gewerbeaufsicht und Energie (Vortragsmanuskript)

Als eines der weltweit größten Passivhaus-Quartiere gilt die neu entstehende Bahnstadt in Heidelberg mit einer Größe von ca. 116 ha. Nach Fertigstellung können hier bis zu 12.000 Menschen leben und arbeiten. Im Jahr 2009 begannen die Erschließungsarbeiten auf dem Gelände des ehemaligen Güterbahnhofs. Im Sommer 2013 zogen die ersten Bewohner ein. Die Passivhaus-Bauweise ist der zentrale energetische Standard für den gesamten Stadtteil. Das Energiekonzept setzt sich aus folgenden Bausteinen zusammen:

- Effizienter Baustandard: flächendeckend Passivhäuser
- Optimierte Energieversorgung: Anschluss an die Fernwärme der Stadtwerke Heidelberg. Je Baufeld gibt es eine Kopfstation, an der die Fernwärme eingespeist wird. Diese wird über ein Mininetz im Baufeld verteilt. So werden die Netztemperatur niedrig gehalten und die Leitungsverluste minimiert.
- Energieerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen: Die Stadt Heidelberg errichtet gemeinsam mit den Stadtwerken Heidelberg ein Holz-Heizkraftwerk, das künftig so viel Energie produzieren wird, wie die Bahnstadt benötigt.

- Stromsparkonzept für verschiedene Nutzergruppen in der Bahnstadt. Die Konzepte sind inzwischen im Internet für jeden zugänglich: <http://heidelberg-bahnstadt.de/downloads-stromsparkonzepte>
- Kommunikationsstrategie und Qualitätssicherung: Energieberatungskonzept mit Information, Motivation und einer Qualitätskontrolle z.B. des Passivhausstandards. Frühzeitige Gespräche mit den Interessenten finden beispielsweise vor dem Verkauf der Baugrundstücke statt.

Das Energiekonzept weist für die Wärmeversorgung eine CO<sub>2</sub>-Minderung gegenüber der Grundvariante in Heidelberg (Heidelsberger Baustandard und Fernwärme) von fast 60% aus. Mit dem beschlossenen Holzheizwerk der Stadtwerke würde sich bilanziell eine CO<sub>2</sub>-Minderung von fast 90% ergeben. Der Strombereich wurde nicht bilanziert. Das Energiekonzept ist zu finden unter: <http://heidelberg-bahnstadt.de/downloads-zum-energiekonzept>

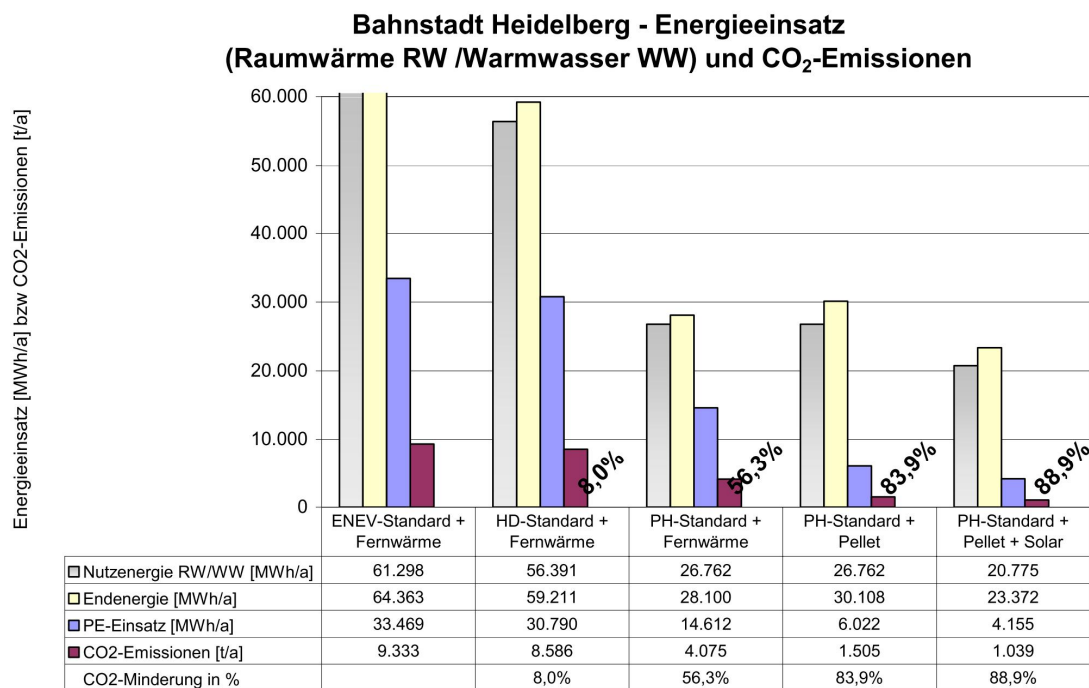


Abb. 50 Ergebnisse der Nutzenergie-, Endenergie-, Primärenergie- und CO<sub>2</sub>-Bilanz für die Bahnstadt. Vergleich verschiedener Versorgungsvarianten (Quelle: Energiekonzept für die Bahnstadt 2007)

Die Stadt Heidelberg setzt das Energiekonzept mit dem Entwicklungsträger, der Entwicklungsgesellschaft Heidelberg (EGH), um. Basis dazu ist der städtebauliche Vertrag, in dem die genannten Ziele festgeschrieben sind und an die Investoren über privatrechtliche Verträge verpflichtend weitergegeben werden. Immerhin ist das Thema Energieeffizienz inzwischen Kaufgrund Nummer 1 bei den Erwerbern von Immobilien in der Bahnstadt.

**Konzept:** ebök Planung und Entwicklung GmbH, Tübingen

**Kontakt:** Stadt Heidelberg, Amt für Umweltschutz, Gewerbeaufsicht und Energie, Prinz-Carl, Kornmarkt 1, 69117 Heidelberg; Ansprechpartner: Herr Bermich/Herr Krohn

## 9.6.2 Beispiel Würzburg – neuer Stadtteil „Hubland“:

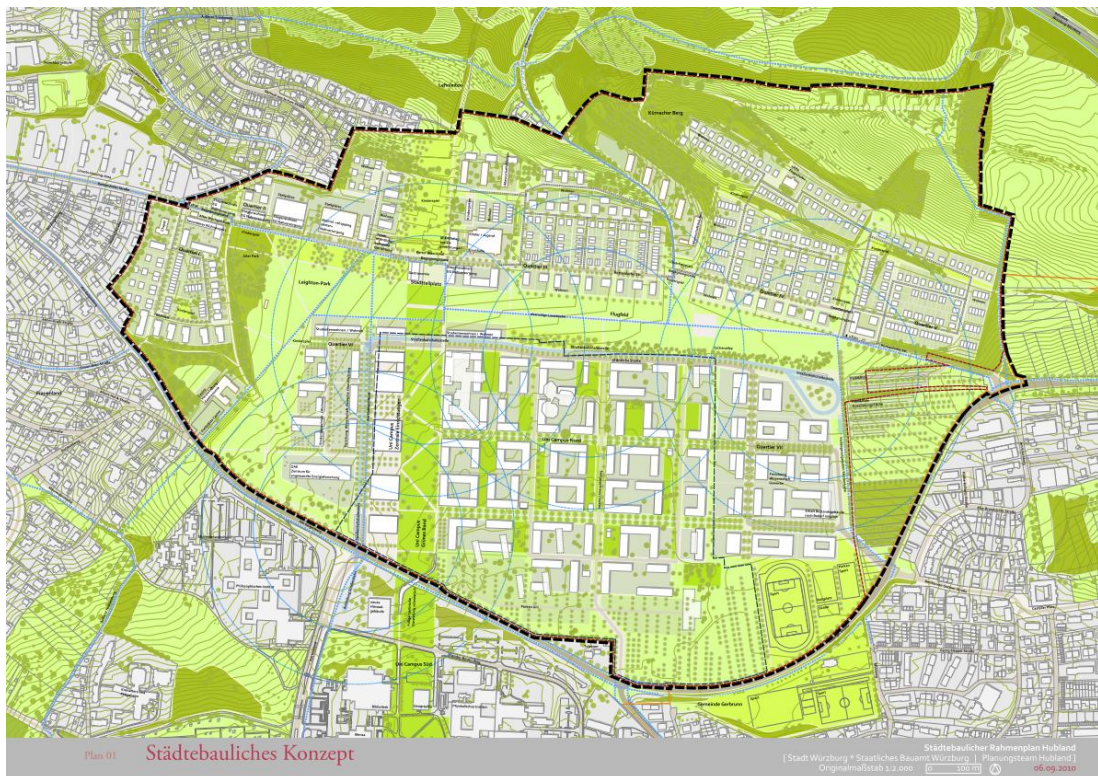


Abb. 51 Städtebauliches Konzept Würzburg-Hubland (Quelle: Stadt Würzburg)

Das Hubland-Areal liegt am östlichen Rand der Stadt Würzburg im Stadtbezirk Würzburg. Das Plangebiet hat eine Gesamtgröße von 141 ha. Der mit 135 ha größte Teil ist der ehemalige Standort „Leighton-Barracks“ der amerikanischen Streitkräfte. Nach Fertigstellung werden hier über 4.500 Menschen leben, arbeiten und lernen. Ein etwa 39 ha großes Teilgebiet im Süden wurde vom Freistaat Bayern als Erweiterungsfläche für die Universität erworben. Die daran angrenzenden Baufelder stellen als gewerbliche Nutzung auch einen Bezug zur Universität her.

Die Rahmenplanung Hubland wurde am 2010 vom Stadtrat der Stadt Würzburg beschlossen. Mit Beschluss der verbindlichen Bausteine des Energiekonzeptes Ende 2012 wird die Umsetzung bautechnischer Standards zur Energieeffizienz im neuen Stadtteil gewährleistet. Dadurch erfolgt ein wichtiger Schritt zur Imagebildung

des neuen Areals mit zukunftsfähigen Standards. Das Energiekonzept setzt sich aus folgenden Bausteinen zusammen:

- Gebäudestandard für Wohngebäude flächendeckend im Standard des KfW-Effizienzhaus 55 (EffH55). Gewerbliche Gebäude sollen analog zu diesen Anforderungen erstellt werden.
- Für Bestandsgebäude wird der Standard EffH100 festgelegt, der heute gesetzlich vorgeschriebener Neubauqualität entspricht.
- Alle Gebäude sollen mit Fernwärme versorgt werden. Die Erzeugerstruktur der Würzburger Fernwärme ist sowohl primärenergie- und emissionsseitig als auch kostenseitig die günstigste Lösung.
- Über diese Basisbausteine hinaus können und sollen innovative Konzepte wie zum Beispiel CO<sub>2</sub>-freie Häuser, Passiv- und Plusenergiehäuser initiiert und umgesetzt werden (Pilotprojekte).
- Festzustellen ist, dass selbst unter diesen Einsparbemühungen die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus den Stromanwendungen die Gesamtbilanz des Stadtteils stark dominieren. Daher wird angeregt auf eine effiziente Stromnutzung hinzuwirken.

Das Energiekonzept weist für die Wärmeversorgung und den Strombedarf eine CO<sub>2</sub>-Minderung gegenüber der Grundvariante (Einhaltung der EnEV2009 und des EEWärmeG) von rund 55% aus. Mit Kompensationsmaßnahmen durch Stromerzeugung aus dem Zubau von PV-Anlagen würde sich bilanziell eine CO<sub>2</sub>-Minderung von fast 100% ergeben. Diese ist allerdings aufgrund zu geringer Aufstellflächen im Quartier und einem geringer möglichen Eigennutzungsanteil ohne Strom"import" aus der Region (z.B. zertifizierter Ökostrom, Bürgerwindkraftwerk) kaum realisierbar. Realistisch sind - aber nur bei großen Anstrengungen - knapp 70% CO<sub>2</sub>-Minderung. Das Energiekonzept ist unter [http://www.wuerzburg-hubland.de/konversion-hubland/infrastruktur/403280.Energiegutachten\\_Hubland\\_-\\_Gesamtstaedtische\\_Klimaziele\\_Wuerzburg.html](http://www.wuerzburg-hubland.de/konversion-hubland/infrastruktur/403280.Energiegutachten_Hubland_-_Gesamtstaedtische_Klimaziele_Wuerzburg.html) veröffentlicht.

## CO<sub>2</sub>-Bilanz Wärme und Strom mit CO<sub>2</sub>-Kompensation

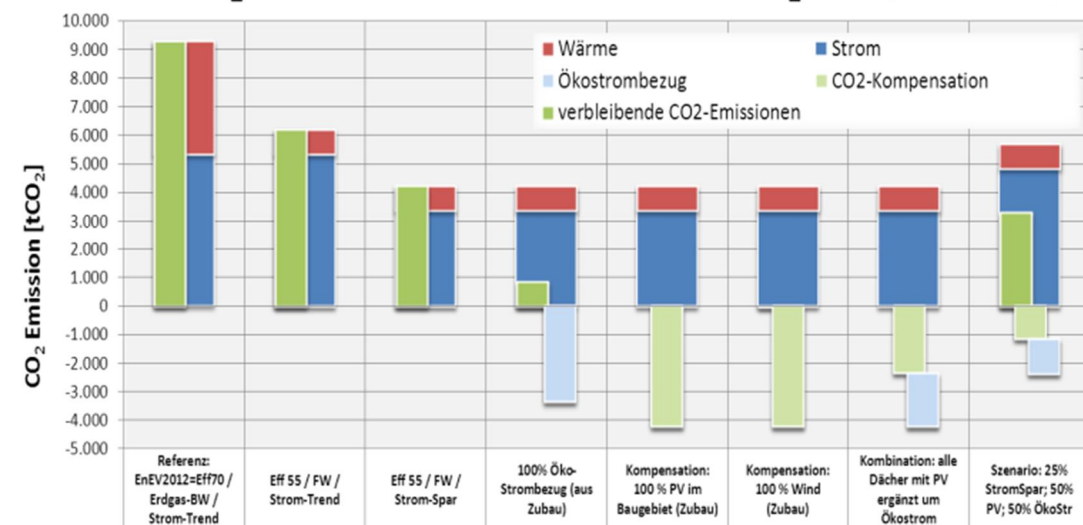


Abb. 52 CO<sub>2</sub>-Bilanzen für Wärme und Strom für verschiedene Einspar- und Versorgungsvarianten und Kompensationsmöglichkeiten der verbleibenden CO<sub>2</sub>-Emissionen durch eine regenerative Stromerzeugung in und in der Nähe des Quartiers

Das Energiekonzept Hubland zeigt auf, dass zum Erreichen des Ziels eine konsequente Umsetzung notwendig ist. Die Umsetzung des energetischen Gebäudestandards muss daher flächendeckend gewährleistet sein, ebenso der Anschluss an die Fernwärme. Eine privatrechtliche Bindung dieser Punkte in den Kaufverträgen ist beschlossen.

Beim Stromsparen ist kein direkter Zugriff auf die Entscheidungsträger möglich und damit eine 100%ige Umsetzung kaum zu erreichen. Das Thema Stromsparen und die Erzeugung von Regenerativstrom soll konsequent durch Beratung und Informationen an die Investoren und Nutzer herangetragen werden.

**Konzept:** ebök Planung und Entwicklung GmbH, Tübingen

**Kontakt:** Stadt Würzburg, Baureferat, Beim Grafeneckart 1, 97070 Würzburg  
Anspruchspartnerin: Claudia Kaspar; Eva Joa

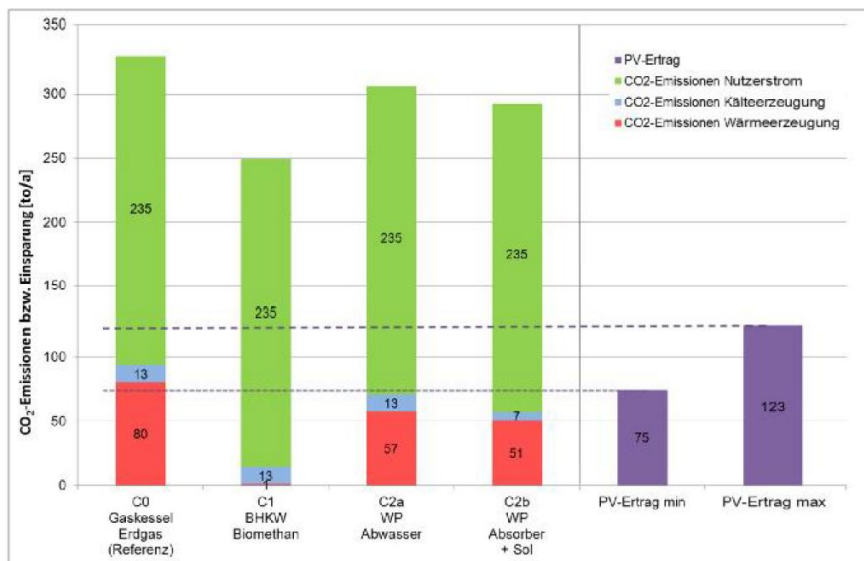
### 9.6.3 Beispiel Esslingen am Neckar - Baugebiet Weststadt

Die bauliche Entwicklung der Neuen Weststadt ist mit ihrer Größe von über 12 ha das bedeutendste Stadtentwicklungsprojekt der Stadt Esslingen am Neckar. Auf dem Gelände des ehemaligen Güterbahnhof- und Hengstenbergareals soll in den kommenden Jahren ein urbanes Quartier mit über 600 Wohnungen in Kombination mit Arbeitsplätzen, Nahversorgung, Grünflächen am Rossneckar und einem Quartiersplatz entstehen.

Für die bisherigen Planungen erhielt die Stadt 2011 den höchsten Grad (Gold) der Vorzertifizierung der Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB). Die Stadt Esslingen am Neckar strebt die CO<sub>2</sub>-Neutralität des Quartieres an. Im Energiekonzept für die Neue Weststadt wurden Wege zu einer CO<sub>2</sub>-neutralen Energieversorgung skizziert und bewertet:

- Reduzierung des Wärmebedarfs um etwa 50% unter dem der heutigen EnEV, (d.h. voraussichtlich 30% unter der EnEV 2014)
- Optimierung von Solarflächen
- Aufbau von dezentralen Wärmeversorgungen mit effizienter Technologie. Als wesentliche Technologien werden Kraft-Wärme-Kopplung mit Biomethan, Wärmepumpen (mit Abwasserwärme oder Erdreich) sowie die Solartechnik (Solarthermie oder Photovoltaik) vorgeschlagen. Durch intelligente Steuerung und Speicherung (Smart-Grid) soll der Eigenstromnutzungsanteil erhöht werden. Bilanziell kann eine CO<sub>2</sub>-Freiheit vermutlich aufgrund des hohen Nutzerstrombedarfs nicht vollständig erreicht werden.

## CO<sub>2</sub>-Emissionen



**PV-Ertrag reicht bilanziell: - für Wärme- und Kälteerzeugung (außer Referenzvariante)  
- im optimalen Fall zusätzl. für 50% des Nutzerstroms**

Abb. 53 CO<sub>2</sub>-Bilanzen für Wärme, Kälte und Strom für verschiedene Einspar- und Versorgungsvarianten und Kompensationsmöglichkeiten der verbleibenden CO<sub>2</sub>-Emissionen durch den Einsatz PV im Quartier (Quelle: Vortrag von Herrn Broll, EGS-plan, Stuttgart)

Bausteine des Energiekonzepts sind im Rahmenplan Neue Weststadt beschrieben:  
<http://www.esslingen.de/site/Esslingen-Internet/get/1495407/Rahmenplanbrosch%C3%BCre%20Neue%20Weststadt.pdf>

**Konzept:** EGS-plan Ingenieurgesellschaft für Energie-, Gebäude- und Solartechnik mbH, Stuttgart

**Kontakt:** Stadtplanung, Ritterstraße 17, 73728 Esslingen am Neckar

### 9.6.4 Modellvorhaben Stuttgart - „Wohnen am Veielbrunnen – LowEnergy als Standortfaktor“

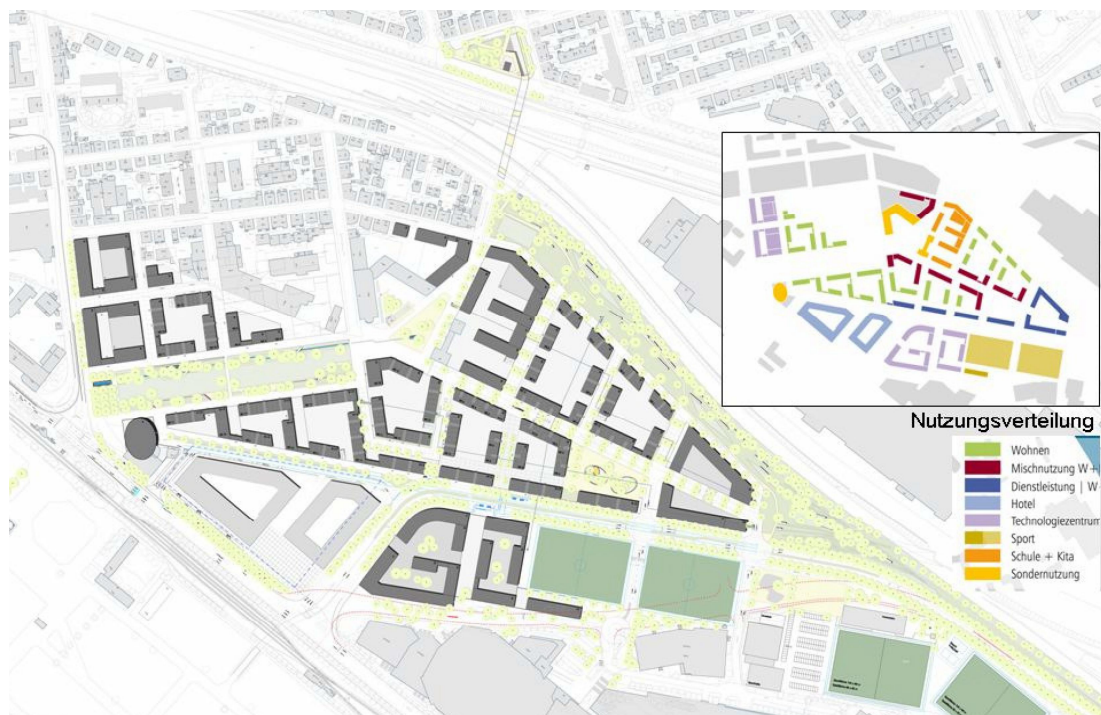


Abb. 54 Masterplan Büro Pesch und Partner, Stand 2009

Das Projektgebiet für das Modellvorhaben „Wohnen am Veielbrunnen - LowEnergy als Standortfaktor“, ein 22 ha großes ehemaliges Güterbahnhofsareal, liegt im Stuttgarter Stadtbezirk Bad Cannstatt. Nachdem die Fläche ihre ursprüngliche Funktion verloren hat und von der Landeshauptstadt Stuttgart erworben wurde, soll dort unter der Bezeichnung „NeckarPark“ eine umfassende städtebauliche Neuordnung erfolgen. Der NeckarPark an sich umfasst zudem die benachbarte Mercedes-Benz-Arena, zahlreiche weitere Sportstätten und das Mercedes-Benz Museum. Die Entwicklung der Konversionsfläche wurde 2009 als Standort für Wohnen, Hotels, Technologieparks etc. vorgesehen.

Mit dem Grundsatzpapier „Triple Zero – Leitmotiv für das gemeinsame Klima-, Energie- und Ressourcenspar-Programm der Metropolregion Stuttgart 2008-2013“ wurden programmatisch Eckpunkte wesentlicher klimapolitischer Ziele von der Stadt Stuttgart formuliert.

Zentrale Strategie im Konzept war daher zunächst die konsequente Reduzierung des Energiebedarfs: Verbesserung der Gebäudehülle um 70% unter dem Standard der zum Konzeptzeitpunkt gültigen Energiesparverordnung (EnEV 2007). Nutzung von Stromsparpotenzialen im Wohn- und Gewerbebereich.

Als zweite Komponente des Konzepts wurden die lokal verfügbaren Potentiale an regenerativen Energiequellen quantifiziert und dem Bedarf gegenübergestellt. Aufbau von dezentralen Wärmeversorgungen für jeden Block mit nutzungsangepasster und effizienter Technologie. Als wesentliche Technologien werden Kraft-Wärme-Kopplung, Wärmepumpen (mit Abwasserwärme-Nutzung des großen Abwassersammlers im Projektgebiet) sowie die Solartechnik (Solarthermie oder Photovoltaik) vorgeschlagen. Bilanziell kann eine CO<sub>2</sub>-Freiheit aufgrund des hohen Strombedarfs vermutlich nicht erreicht werden.

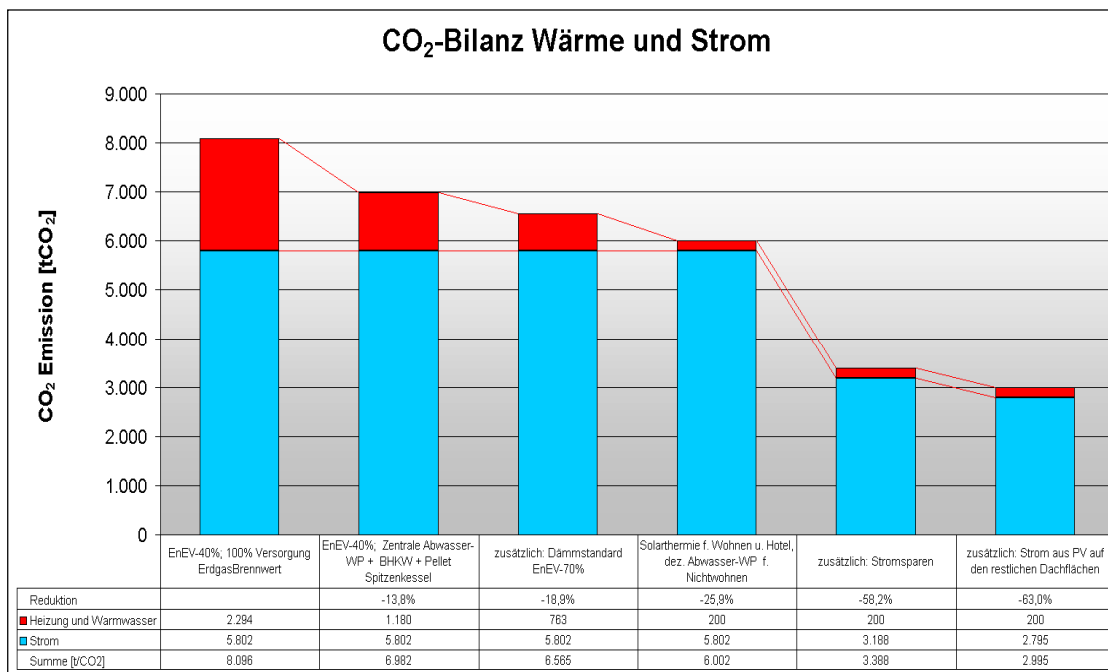


Abb. 55 CO<sub>2</sub>-Bilanz des Baugebietes NeckarPark Stuttgart für Wärme und Strom für verschiedene Einspar- und Versorgungsvarianten

**Konzept:** ebök Planung und Entwicklung GmbH, Tübingen in Zusammenarbeit mit EGS-plan Ingenieurgesellschaft für Energie-, Gebäude- und Solartechnik mbH, Stuttgart



**Kontakt:** Landeshauptstadt Stuttgart, Amt für Stadtplanung und Stadterneuerung,  
Eberhardstr. 10, 70173 Stuttgart

## 9.6.5 Resumée

Alle Beispiele zeigen systematisch auf:

- Ein CO<sub>2</sub>-neutrales Stadtquartier, also eine echte „0“, ist auch unter Einsatz der technisch und wirtschaftlich optimalen Strategien im Wärme- und Strombereich kaum zu erreichen.
- Im Wärmebereich sind hohe bis sehr hohe CO<sub>2</sub>-Minderungspotenziale durch hochwertige Gebäudestandards (Passivhaus, EffH55) in Verbindung mit dem Einsatz von Effizienztechnologien und Erneuerbaren Energien (BHKWs mit Biomethan, Holzheizwerke, hochwertige Fernwärme, etc.) gut und auch wirtschaftlich zu erreichen.
- Schlüssel für die CO<sub>2</sub>-Neutralität ist der Nutzerstrombedarf: Dieser ist mit hohen CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem spezifischen Stromerzeugermix in Deutschland oder der Region belastet. Eine regenerative Stromerzeugung in den genannten Stadtquartieren selber ist flächenmäßig begrenzt (hohe bauliche Dichte) und führt kaum zur kompletten Kompensation.
- Bewertet man das Ergebnis für das Baugebiet Marienhöhe der Stadt Erfurt, so kann mit den vorgeschlagenen Strategien eine CO<sub>2</sub>-Minderung von 71% / 82% gegenüber einer Standardlösung nach gesetzlichen Vorgaben erreicht werden. Und das obwohl keine festen regenerativen Brennstoffe (Pellets, Hackschnitzel) verwendet werden dürfen. Das ist im Vergleich zu den vier dargestellten bundesweit sehr ambitionierten und weitgehenden Projekten ein sehr gutes Ergebnis.

	<b>Bahnstadt</b>	<b>Hubland</b>	<b>Neue Weststadt</b>	<b>Neckar-Park</b>	<b>Marienhöhe</b>
<b>Stadt</b>	Heidelberg	Würzburg	Esslingen	Stuttgart	Erfurt
<b>Größe</b>	116ha	141ha	12ha	22ha	12ha
<b>E-Konzept</b>	2007	2012	2011	2009	2014
<b>Einspar-Strategie</b>	Passiv-häuser Stromspar	KfW-Eff55 Stromspar	EnEV 2009 -50%	EnEV 2007 -70% Stromspar	Mix Passivhäuser/ KfW-Eff55 Stromspar

	Bahnstadt	Hubland	Neue Weststadt	Neckar-Park	Marienhöhe
<b>Versorgungs-Strategie</b>	Fernwärme	Fernwärme /PV	Dezentrale BHKW (Biomethan)/ Abwasserwärme und PV/Sol <sub>th</sub>	Blockweise BHKW/WP (Abwasser)/ Pellet und PV/Sol <sub>th</sub>	Nahwärme / Zentrales BHKW (Biomethan) / PV
<b>CO<sub>2</sub>-Reduktion zu Mindestanforderungen</b>	89% (*)	55%	k.A.	58%	67%
<b>CO<sub>2</sub> Reduktion mit Kompensation</b>	k.A.	ca. 70% Mix aus Ökostrom und PV	Wärme, Kälte und 50% Nutzerstrom	63% (nur PV – BHKW macht den WP-Strom)	71% ohne Stromsparen 82% <u>mit</u> Stromsparen

(\*) nur Wärme

## 10 Literatur

- [22BImSchV] Zweiundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes vom 11. September 2002. Bundesministerium der Justiz.
- [EEG2004] Gesetz zur Neuregelung des Rechts der Erneuerbaren Energien im Strombereich (Erneuerbare Energien Gesetz vom 21. Juli 2004). Bundesgesetzblatt 2004 Teil1 Nr. 40.
- [EnEV 2004] Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung, Neufassung vom 2. Dezember 2004). Bundesgesetzblatt Jahrgang 2004, Teil I, Nr. 64, Bonn 7. Dezember 2004
- [EnEff Bauleit] Energieeffizienz und Solarenergienutzung in der Bauleitplanung. Rechts- und Fachgutachten unter besonderer Berücksichtigung der Baugesetzbuch-Novelle 2004. Projektleitung: Dr. Dagmar Everding, ecofys. Nürnberg, Feb 2006.
- [EnEV 2007] Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung, Neufassung vom 24. Juli 2007). Bundesgesetzblatt Jahrgang 2007, Teil I, Nr. 34, Bonn 26. Juli 2007
- [EnEV 2007] Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung, Neufassung vom 24. Juli 2007). Bundesgesetzblatt Jahrgang 2007, Teil I, Nr. 34, Bonn 26. Juli 2007
- [EnEV 2009] Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung, Neufassung von 2009). Noch nicht erschienen
- [EnEV DVO2009] Verordnung der Landesregierung zur Durchführung der Energieeinsparverordnung vom 27. Oktober 2009.
- [EnEV RegelnNiWo07] Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchskennwerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäude-

- bestand. Vom 26. Juli 2007. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
- [EPass HWW 2005] Loga T., U. Imkeller-Benjes. Energie-Pass Heizung / Warmwasser, Energetische Qualität von Baukörper und Heizungssystem. Aktualisierung in EnEV-XL (Rechenblatt) Version 2.2. Mai 2005
- [EWärmeG-BW2007] Gesetz zur Nutzung erneuerbarer Wärmeenergie in Baden-Württemberg (Erneuerbare-Wärme-Gesetz – EWärmeG). Gesetzesbeschluss des Landtags von Baden-Württemberg vom 7. Nov. 2007. Drucksache 14 / 1969.
- [EEWärmeG-2009] Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz EEWärmeG). 1. Jan 2009
- [DIN V 4701-10:2003] Energetische Bewertung heiz- und raumlufttechnischer Anlagen - Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung. Hrsg. Normenausschuss Bauwesen im Deutschen Institut für Normung e.V.. Berlin: Beuth, 2003-08
- [DIN V 4108-6:2003] Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden. Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs. Hrsg. Normenausschuss Bauwesen im Deutschen Institut für Normung e.V.. Berlin: Beuth, Juni 2003.
- [DIN V 18599 1-10] Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung. Teil 1 bis 10. Hrsg. Normenausschuss Bauwesen im Deutschen Institut für Normung e.V. Berlin: Beuth, 2007-2.
- [DIN V 18599-1A:2011] Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung - Teil 1: Allgemeine Bilanzierungsverfahren, Begriffe, Zonierung und Bewertung der Energieträger. Anhang A. Normenausschuss Bauwesen im Deutschen Institut für Normung e.V. Berlin: Beuth, 2011-12.
- [Gemis 4.3] Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS) Version 4.3. Institut für angewandte Ökologie e.V., Darmstadt. [www.gemis.de](http://www.gemis.de).

- [LEE 2000] Elektrische Energie im Hochbau: Leitfaden Elektrische Energie. Hrsg. Hessisches Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Forsten; 2. überarbeitete Fassung. Wiesbaden: 2000.
- [LEG 95] Heizenergie im Hochbau: Leitfaden für energiebewusste Gebäudeplanung. Hrsg. Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Jugend, Familie und Gesundheit; 5. überarbeitete Auflage. Wiesbaden: 1995.
- [MEG] Methodik zur Erfassung, Beurteilung und Optimierung des Elektrizitätsbedarfs von Gebäuden“ (MEG). IWU/DS-Plan 2005
- [Mini-BHKW] MiniBHKW-Plan. Auslegung und Planung von kleinen Blockheizkraftwerken. Version 2.00. Handbuch. Hrsg.: Dipl.-Ing. (FH) Friedhelm Steinborn, Mai 2006
- [PHPP2004] Feist, Wolfgang; E. Baffia, J. Schnieders, R. Pfluger. Fachinformation PHI-2004/1. Passivhaus Projektierungs Paket 2004. Anforderung an qualitätsgeprüfte Passivhäuser. Darmstadt 2004. Dokumentation und Excel-Arbeitsmappe.
- [PHVP] Passivhaus Vorprojektierung. Vereinfachte Berechnung der Passivhaus-Projektierung. Darmstadt 2002. [www.passiv.de](http://www.passiv.de)
- [PlanSonne] Planen mit der Sonne. Arbeitshilfen für den Städtebau. Ministerium für Arbeit, Soziales und Stadtentwicklung. Kultur und Sport des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.), Düsseldorf 1998.
- [ThürKO] Thüringer Gemeinde- und Landkreisordnung (Thüringer Kommunalordnung - ThürKO -) in der Fassung der Bekanntmachung vom 28. Januar 2003
- [VDI 2067-1] Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen. Grundlagen und Kostenberechnung. Hrsg. VDI. Blatt 1. Düsseldorf: Sept. 2000.