



Ingenieurbüro für
Energieberatung, Haustechnik
und ökologische Konzepte

Schellingstraße 4/2
D-72072 Tübingen
Tel. 0 70 71 93 94 0
Fax 0 70 71 93 94 99
www.eboek.de
mail@eboek.de

Baugebiet Bahnstadt in Heidelberg

Städtebauliches Energie- und Wärmeversorgungskonzept

Datum des Berichts: 5.11.2007
im Auftrag von: Stadt Heidelberg,
Stadtplanungsamt und Amt für Umweltschutz,
Gewerbeaufsicht und Energie
Projektleitung: Dipl.-Ing. Olaf Hildebrandt
Inhaltliche Bearbeitung: Dipl.-Ing. Olaf Hildebrandt
Dipl.-Phys. Andreas Praeffcke
Dipl.-Phys. Gerhard Lude
Dipl.-Phys. Rosemarie Hellmann

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung.....	1
2 Städtebauliche Analyse.....	3
2.1 Ergebnisse der einzelnen Quartiere	3
2.1.1 Wohnterrassen – Baufeld W5	3
2.1.2 Zollhof Süd - Baufelder Z5 bis Z7	9
2.1.3 Heizen und Kühlen in Nicht-Wohngebäuden	12
2.2 Empfehlungen zum baulich energetischen Standard	16
3 Wärmeversorgungskonzept.....	17
3.1 Grundlagen und Varianten.....	18
3.1.1 Rahmenbedingungen	18
3.1.2 Primärenergiebedarfs- und CO ₂ -Faktoren	19
3.1.3 Investitionen	19
3.1.4 Energiekosten	19
3.1.5 Wirtschaftlichkeit	20
3.1.6 Versorgungsvarianten	21
3.1.7 Technische Realisierung	22
3.2 Ergebnisse für Baufeld Wohnterrassen W5.....	27
3.2.1 Heizwärme- und Warmwasserbedarf	27
3.2.2 Primärenergie- und CO ₂ – Bilanz	28
3.2.3 Kosten - Nutzenanalyse	30
3.2.4 Ergebnisse und Empfehlungen	33
3.3 Ergebnisse für das Baufeld Zollhof Süd Z6	34
3.3.1 Heizwärme- und Warmwasserbedarf	34
3.3.2 Primärenergie- und CO ₂ – Bilanz	35
3.3.3 Kosten - Nutzenanalyse	37
3.3.4 Ergebnisse und Empfehlungen	40
3.4 Übertragung der Ergebnisse auf die Bahnhof.....	41
4 Empfehlungen	44

5 Umsetzungsstrategien	46
5.1 Was sollte die Stadt regeln?.....	46
5.2 Regelungen	47
5.2.1 Bebauungsplan BBP	47
5.2.2 Vorhaben- und Erschließungsplan VEP.....	48
5.2.3 Privatrechtliche Verträge nach BGB	49
5.3 Motivation, Marketing und Information	49
5.3.1 Hilfestellungen bei der Umsetzung von ambitionierten energetischen Standards	49
5.3.2 Architekten und Fachplaner	50
5.3.3 Umsetzung zentraler Wärmeversorgungskonzepte	50
5.4 Erfahrungen anderer Gemeinden.....	51
5.5 Empfehlungen für die Umsetzung	51
Anhang	53
1 Energetische Optimierung und Stadtplanung	55
1.1 Wärmetechnische Standards in Deutschland.....	56
1.2 Begriffe und Energetische Größen	58
1.3 Städtebauliche Einflussfaktoren	61
1.4 Methodik der Berechnungen	63
2 Energieversorgung.....	64
2.1 Verschiedene Wärmeversorgungen	65
2.1.1 Nahwärmeversorgung.....	65
2.1.2 Blockheizkraftwerke	66
2.1.3 Holzfeuerungsanlagen	67
2.1.4 Wärmepumpen.....	70
2.1.5 Erdwärmennutzung	71
2.1.6 Kompaktaggregat.....	75
3 Emissionen	75
3.1 Feinstaub.....	75

4 Wirtschaftlichkeit	78
5 Literaturhinweise	81

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Bebauungsprinzip Wohnterrassen (Quelle Stadtplanungsamt Heidelberg, ohne Maßstab) gelbe Markierung: Passivhausstandard mit etwas erhöhtem Aufwand möglich rote Markierung: Passivhausstandard gut möglich	4
Abb. 2	Gesamtkostenbetrachtung für verschiedene Energiestandards des Reihenhauses BF05 in den Wohnterrassen	7
Abb. 3	Lupe der Gesamtkostenbetrachtung für verschiedene Energiestandards des Reihenhauses BF05 in den Wohnterrassen	7
Abb. 4	Bebauungsprinzip Zollhof Süd – Baufeld Z6 (Quelle Stadtplanungsamt Heidelberg, ohne Maßstab) rote Markierung: Passivhausstandard gut möglich	9
Abb. 5	Das könnte ein Beispiel für die energiegerechte Bebauung in der Bahnstadt sein: Das größte Passivhaus der Welt – Bürogebäude ENERGON in Ulm.....	13
Abb. 6:	Lage der beiden Baufelder Wohnterrassen W5 und Zollhof Süd Z5-Z7 in der Bahnstadt.	17
Abb. 7:	Vorhandenes (blau) und von der SWH geplantes Fernwärmenetz (rot) in der Bahnstadt. Stand April 2005	18
Abb. 8	Darstellung der Systemgrenzen bei der Kostenermittlung und Wirtschaftlichkeitsbetrachtung im Baufeld Zollhof Süd – Z6.....	22
Abb. 9	Darstellung der Betrachtungsgrenzen bei der Kostenermittlung und Wirtschaftlichkeitsbetrachtung im Baufeld Wohnterrassen W5	23
Abb. 10:	Ergebnisse der Endenergie, Primärenergie- und CO ₂ -Bilanz für das Gesamtgebiet. Vergleich verschiedener Versorgungsvarianten.....	28
Abb. 11:	Ergebnisse der Endenergie-, Primärenergie- und CO ₂ -Bilanz für das Gesamtgebiet. Vergleich verschiedener Versorgungsvarianten mit Solaranlagen.....	29
Abb. 12:	Vergleich Gesamtinvestitionen verschiedener Versorgungsvarianten ohne Solaranlagen	30
Abb. 13:	Jahreskosten Investitionen, Verbrauch und Wartung verschiedener Wärmeversorgungen ohne Solaranlagen	31
Abb. 14:	Jahreskosten der Investition, Verbrauch und Wartung verschiedener Wärmeversorgungen mit Solaranlagen.....	32
Abb. 15:	Ergebnisse der Endenergie, Primärenergie- und CO ₂ -Bilanz für Zollhof Süd Baufeld Z6. Vergleich verschiedener Versorgungsvarianten.....	35
Abb. 16:	Ergebnisse der Endenergie, Primärenergie- und CO ₂ -Bilanz für Zollhof Süd Baufeld Z6. Vergleich verschiedener Versorgungsvarianten mit Solaranlagen.....	36
Abb. 17:	Vergleich Gesamtinvestitionen verschiedener Versorgungsvarianten ohne Solaranlagen	37

Abb. 18:	Jahreskosten der Investition, Verbrauch und Wartung verschiedener Wärmeversorgungen ohne Solaranlagen.....	38
Abb. 19:	Jahreskosten der Investition, Verbrauch und Wartung verschiedener Wärmeversorgungen mit Solaranlagen.....	39
Abb. 20:	Ergebnisse der Nutzenergie-, Endenergie-, Primärenergie- und CO ₂ -Bilanz für die Bahnstadt. Vergleich verschiedener Versorgungsoptionen.....	42
Abb. 21:	Überblick wärmetechnische Standards in Deutschland. Quelle: BINE	56
Abb. 22:	Überblick: A/V – Verhältnis ausgewählter Kubaturen (Quelle GoSol Dr. Goretzki, z.B. in [PlanSonne])	58
Abb. 23:	Berechnung des Energiebedarfs in Richtung der Bedarfsentwicklung sowie Bilanzgrenzen. Quelle [DIN V 4701-10:2003].....	60
Abb. 24:	Einflussfaktoren auf den Energieverbrauch und die Emissionen einer Stadt bzw. Siedlung.....	61
Abb. 25:	Aufwand für baulichen Wärmeschutz: Orientierungswerte der zum Erreichen des jeweiligen Standards notwendigen Dämmstärken.....	63
Abb. 26:	Wesentliche Teile eines Nahwärmeversorgungssystems	65
Abb. 27:	Energiebilanz eines Blockheizkraftwerkes.	67
Abb. 28:	Stoffkreislauf für das "Energiesystem Holz"	68
Abb. 29:	Holz hackschnitzel (links) und Holzpellets (rechts).	69
Abb. 30:	Wesentliche Bestandteile einer Holz hackschnitzel-Feuerung.	69
Abb. 31	Prinzip einer Wärmepumpe. Quelle VDEW.	71
Abb. 32	Schema eines geothermischen Kraftwerks zur Stromerzeugung.	72
Abb. 33	Bohrung für eine Erdsonde (Bild ebök).....	73
Abb. 34:	Wärmepumpe mit Erdsonde.....	74
Abb. 35:	Das Prinzip eines Kompaktaggregat – hier in Kombination mit Erdreichwärmetauscher und Solarkollektor.	75
Abb. 36	Feinstaubquellen für Bayern (Quelle: Emissionskataster Bayern 2000 LfU 2004)	76
Abb. 37	Entwicklung der Feinstaubemissionen (PM10) aus Kleinfeuerungsanlagen Quelle: Zentrales System Emissionen im Umweltbundesamt.	77
Abb. 38	Systemgrenzen der Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen.....	80

Tabellenverzeichnis

Tab. 1	Ergebnistabelle Wohnterrassen Baufeld W5 – notwendige Maßnahmen und Aufwand zur Einhaltung der Basisstandards nach Energiesparverordnung EnEV	5
Tab. 2	Ergebnistabelle Wohnterrassen Baufeld W5, Typen BF05 Reihenhaus und BF06 Punkthaus, Wärmeschutzvarianten EnEV, HD-Standard/KfW60 und PH/KfW40	6
Tab. 3	Ergebnistabelle Zollhof Süd – Baufeld Z6 – notwendige Maßnahmen und Aufwand zur Einhaltung der Basisstandards nach Energiesparverordnung EnEV	10
Tab. 4	Ergebnistabelle Zollhof Süd – Baufeld Z6 , Typ 6.3 und Typ 6.4, Wärmeschutzvarianten EnEV, HD-Standard/KfW60 und PH/KfW40	11
Tab. 5:	Verwendete Primärenergiefaktoren ([DIN V 4701-10:2003]) und CO ₂ – Äquivalente ([PHPP2004], Gemis 4.3) Quelle: Stadtwerke Heidelberg	19
Tab. 6:	Energietarife. Der Grund- und Messpreis wurde mit dem Arbeitspreis zu einem reinen verbrauchsbezogenen Tarif zusammengefasst (Information der Stadtwerke Heidelberg) – Wenn nicht anders benannt ist der Stand November 2007	20
Tab. 7:	Randbedingungen der Wirtschaftlichkeitsberechnung	21
Tab. 8	Übersicht über den Heizwärme- und Warmwasserbedarf und die Heizlast für das Baufeld Wohnterrassen – W5 in Abhängigkeit vom Energiestandard der Gebäude	27
Tab. 9	Übersicht über den Heizwärme- und Warmwasserbedarf und die Heizlast für das Baufeld Zollhof Süd Z6 in Abhängigkeit vom Energiestandard der Gebäude	34
Tab. 10	Aufteilung der Bruttogeschosfläche in der Bahnstadt nach Nutzungen, Quelle Stadtplanungsamt 30.6.2003	41
Tab. 11	Abschätzung des Strombedarfs in der Bahnstadt und der CO ₂ -Emissionen bei Strombezug aus dem öffentlichen Netz und Kompensationsmöglichkeit durch Fotovoltaik im Stadtteil	43
Tab. 12	Feinstaubmengen verschiedener Holzfeuerungsanlagen.	77
Tab. 13	Emissionswerte (Staub) verschiedener Brennstoffe. Quelle: IE Informationszentrum Energie. Biogene Brennstoffe Nr. 1 Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg	78

1 Einleitung

Die Verringerung der Emissionen klimarelevanter Spurengase, allen voran das Kohlendioxid (CO₂), ist ein vorrangiges Ziel des nationalen und internationalen Klimaschutzes. Heute ist unbestritten, dass vor allem durch das konsequente Ausschöpfen von Energieeinsparmöglichkeiten und von Potenzialen zu rationeller Energienutzung im Energie- und Verkehrsbereich sowie durch den zunehmenden Einsatz von erneuerbaren Energiequellen die CO₂-Emissionen nachhaltig gesenkt werden können. In diesem Zusammenhang spielen die großen Einsparpotenziale im Gebäudebereich eine herausragende Rolle.

Vor diesem Hintergrund ist Klimaschutz eine der zentralen umweltpolitischen Aufgaben der Kommunen geworden. Vor allem bei der Planung von Neubaugebieten haben Kommunen weitreichende Möglichkeiten zum Klimaschutz beizutragen. Dies ist um so wichtiger, als durch den Zuwachs von Wohn- und Gewerbeflächen der Energieverbrauch und die CO₂-Emissionen in der Kommune ansteigen. Die lokal vorhandenen Potentiale sollen für globale Klimaschutzziele konsequent genutzt werden, das bedeutet als Ziel eine hohe Reduktion der CO₂-Emissionen oder vielleicht wie manche fordern sogar einen Null-CO₂-Emissions-Stadtteil.

Die Umsetzung der Maßnahmen muss aber auf der anderen Seite zu vertretbaren (Mehr)Kosten für die Investoren und Betreiber möglich sein und sich im Rahmen des Lebenszyklus von Bauwerken auch wirtschaftlich rechnen. Energiesparendes Bauen wird in Zukunft eine große Bedeutung haben: niedriger Heizkosten und höherer Behaglichkeit sind interessant für den Nutzer, die Entwicklung effizienter Baukonzepte und Know-how-Gewinn ist eine Marktchance für Investoren und Bauausführende und für die Kommune ist es ein glaubwürdiger und aktiver Beitrag zum globalen Klimaschutz.

Im vorliegenden Energiekonzept werden Wege und Potenziale einer zukunftsweisenden, ökologisch verantwortbaren und wirtschaftlich vertretbaren Energienutzung für das Neubaugebiet Bahnhof in Heidelberg aufgezeigt. Der vorliegende Endbericht enthält insgesamt drei Teile:

- Prüfung der Entwürfe von Beispielquartieren hinsichtlich einer kompakten und damit energiesparenden städtebaulichen Anordnung der Baukörper bei geringer Verschattung und damit guter Nutzung der (passiv-)solaren Einstrahlung.
Vorschläge für energetische Standards von Gebäuden zur Reduzierung des Energieverbrauchs für Raumheizung und Warmwasser, im Nicht-Wohnbereich auch ggf. Kühlung.
- Der zweite Abschnitt befasst sich mit einer möglichen Wärmeversorgung mit hoher Effizienz und geringer Umweltwirkung

Vergleichsbasis aller Versorgungsvarianten ist der Anschluss an das Fernwärmenetz der Stadtwerke Heidelberg. Anhand von Beispielquartieren werden auf das Gesamtgebiet übertragbare Alternativen und Ergänzungen zur Fernwärme erarbeitet. Hieraus folgen Vorschläge, wie eine Wärmeversorgung mit möglichst niedrigen Umweltbelastungen erreicht werden kann.

- Im dritten Kapitel wird ein Konzept zur Umsetzung entwickelt. Dies betrifft zum einen die Einbindung der Energieaspekte in die städtebaulichen Entwicklungsprozesse. Aber auch insbesondere durch die Novellierung des Baugesetzbuches 2004 verfügen Kommunen inzwischen über erweiterte eigenständige Regelungskompetenzen, die sie dazu nutzen könnten, einen Beitrag zum Klimaschutz zu leisten.

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

Das vorgelegte Energiekonzept soll sowohl mit verschiedenen lokalen Akteuren wie z.B. den Stadtwerken Heidelberg als auch mit der Steuerungsgruppe und dem Fachbeirat abgestimmt werden. Energiegerechtes Planen wird prozessorientiert gesehen.

2 Städtebauliche Analyse

Im Folgenden sind die Ergebnisse und Empfehlungen auf dem Planstand Rahmenplanung Bahnhststt in der Fassung vom 21.9.2007 dokumentiert. Die quantitative Analyse der Baukörper wurde für die Baufelder

- Wohnterrassen Baufeld W5 und
- Zollhof Süd Z5 bis Z7

beispielhaft durchgeführt. Die Entwürfe für die beiden Baufelder sind vom September 2005, die sich grundsätzlich in der Planfassung vom 21.9.2007 wiederfinden. Eine geringfügige Erhöhung der baulichen Dichte würde die Ergebnisse nicht grundsätzlich ändern, da erfahrungsgemäß eine mögliche Verminderung der solaren Gewinne (gegenseitige Verschattung) in der Regel durch eine verbesserte Kompaktheit kompensiert werden kann.

Für jedes dieser Baufelder wurden folgende Varianten des energetischen Standards untersucht:

- Energieeinsparverordnung (EnEV). Gesetzlicher Standard und Vergleichsbasis
- Heidelberger Standard bzw. Förderstandard KfW 60 (HD-Standard/KfW60)
- Passivhaus bzw. Förderstandard KfW 40 (PH/KfW40)

Für jeden dieser Standards und Gebäudetypen wurde unter Annahme typischer Gebäudegeometrien (Geschosshöhen, Fensterflachenanteile und deren Ausrichtung etc.) eine Energiebilanz erstellt.

Der Aufwand, der gebäude- und standortspezifisch getrieben werden muss, um einen bestimmten energetischen Gebäudestandard zu erreichen, bestimmt im Vergleich zum Basisstandard über die Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen. Anhand der untersuchten Mustergebäude werden flächendeckend für das Baugebiet Empfehlungen gewonnen, die im Hinblick auf die Energieeffizienz und Umweltwirkung optimal und realisierbar sind.

2.1 Ergebnisse der einzelnen Quartiere

2.1.1 Wohnterrassen – Baufeld W5

Das Baufeld Wohnterrassen W5 ist in insgesamt 6 Baufelder (BF 01 bis BF 06) unterteilt, die verschiedene Gebäudetypen (Reihenhäuser, Punkthäuser etc.) bein-

halten. Je zwei Baufelder lassen sich durch Drehung oder Spiegelung der Gebäude aufeinander abbilden. Damit ergeben sich insgesamt zehn in Orientierung und Typ unterschiedliche Mustergebäude.

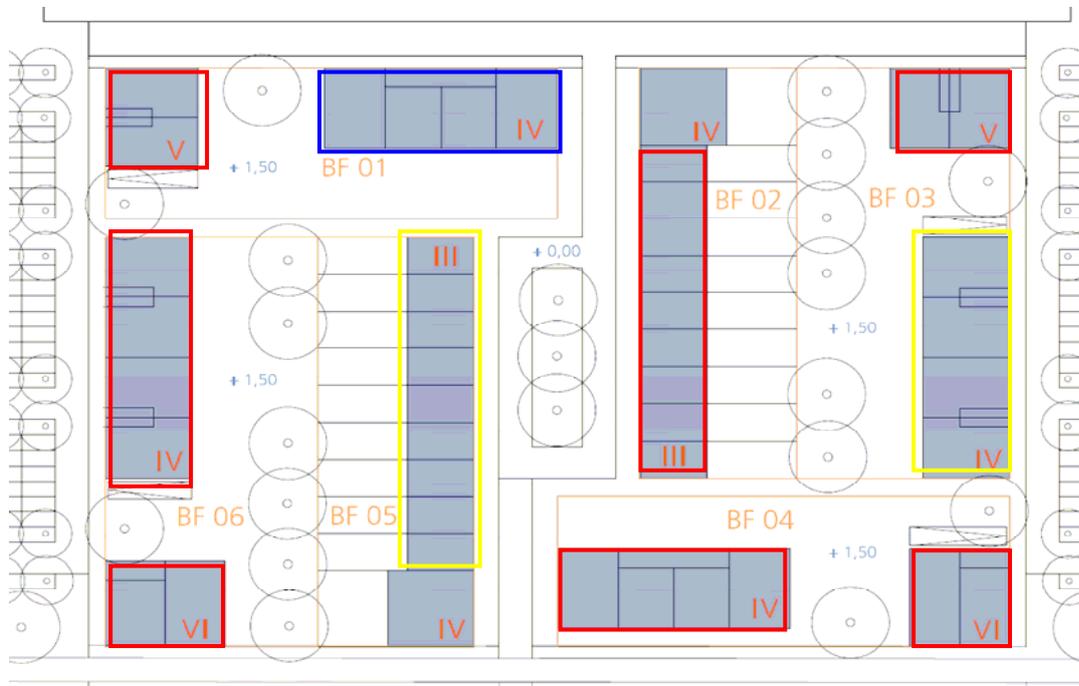


Abb. 1 Bebauungsprinzip Wohnterrassen (Quelle Stadtplanungsamt Heidelberg, ohne Maßstab)
 gelbe Markierung: Passivhausstandard mit etwas erhöhtem Aufwand möglich
 rote Markierung: Passivhausstandard gut möglich

Die Gebäudetypen unterscheiden sich in ihrer Kompaktheit (s. folgende Tabelle). Bei einer Geschossigkeit von drei bis sechs variiert das A/V zwischen $0,38 \text{ 1/m}$ und $0,49 \text{ 1/m}$. Dabei liegen die eher langgestreckten Gebäude mit geringer Geschossigkeit und die hohen Gebäude (Wohntürme) ungünstiger. Die Kompaktheit der Gebäude ist unserer Einschätzung nach bereits ausreichend gut, so dass sich keine weitere Optimierung lohnt.

Kompaktheit und Orientierung sowie gegenseitige Verschattung der Gebäude bestimmen den Aufwand der Wärmedämmung, um einen bestimmten Standard zu erreichen. Der mittlere U-Wert als Indikator schwankt zum Erreichen des Basis-Standards (EnEV) z.B. im Baufeld W5 zwischen $0,48$ und $0,56 \text{ [W/(m}^2\text{K)]}$. Das bedeutet überwiegend 10 cm Wärmedämmung an der Außenwand und im günstigsten Fall 16 cm im Dach, im ungünstigsten Fall ca. 22 cm Dämmstoffstärke im Dach.

Tab. 1 Ergebnistabelle Wohnterrassen Baufeld W5 – notwendige Maßnahmen und Aufwand zur Einhaltung der Basisstandards nach Energiesparverordnung EnEV

Baugebiet Heidelberg Bahnstadt / Wohnterrassen W5 Einhaltung der EnEV (alle Gebäude)											
Baukörper		BF01 RH	BF 01 Punkt	BF 02 RH	BF 03 Punkt	BF 03 RH	BF 04 Punkt	BF 04 RH	BF 05 RH	BF 06 Punkt	BF 04 RH
Ausrichtung Hauptfassade		SW	SO	SO	SW	NW	SW	SW	NW	SW	SO
A/V	[1/m]	0,39	0,41	0,47	0,41	0,38	0,38	0,39	0,47	0,37	0,38
U-Mittel	[W/(m²K)]	0,56	0,54	0,52	0,54	0,53	0,56	0,56	0,48	0,56	0,56
Wanddämmung Außenwand	[m]	0,10	0,10	0,10	0,10	0,12	0,10	0,10	0,12	0,10	0,10
Dachdämmung	[m]	0,19	0,19	0,19	0,19	0,22	0,19	0,19	0,22	0,19	0,19
U-Wert Fenster	[W/(m²K)]	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
g-Wert Fenster	[]	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62
Lüftungsanlage	[Ab/WRG]	AB	AB	AB	AB	AB	AB	AB	AB	AB	AB
Heizwärme- bedarf EnEV	[kWh/(m²a)]	46,0	48,2	47,4	48,7	47,8	44,2	43,2	52,3	42,6	45,4

Der Heizwärmebedarf der einzelnen Gebäudetypen nach EnEV variiert zwischen 44,2 kWh/(m²a) und 48,7 kWh/(m²a). Ausnahmen sind der unverschattete S/W-orientierte Baukörper BF06 Punkthaus bei gleichfalls günstigem A/V (42,6 kWh/(m²a)) und der NW-orientierte Baukörper BF05 Reihenhäuser bei ungünstigem A/V (52,3 kWh/(m²a)).

Für einen verbesserten Wärmeschutzstandard günstig wurde daher das Gebäude BF06 (Punkthaus) identifiziert, als dafür ungünstig die Gebäude BF05 und BF02 (Reihenhäuser). Diese beiden Gebäudetypen wurden als Repräsentanten für den wärmetechnischen Minimal- bzw. Maximal-Aufwand zum Erreichen verbesserter Standards herangezogen.

Die folgende Tab. 2 zeigt am Indikator mittlerer U-Wert, dass der Mehraufwand für verbesserten Wärmeschutz nach dem Heidelbergstandard bzw. KfW60-Standard moderat ist.

Erst der Schritt zum Passivhaus oder KfW40-Standard erfordert deutlich erhöhten Aufwand bei Fenstern und Einsatz einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung. Die Dämmstoffstärken sind an der Außenwand noch moderat, im Dach in ungünstigen Fällen erheblich. In Abb. 1 sind die Gebäude rot gekennzeichnet, in denen Passivhausstandard gut erreichbar ist, gelb sind jene gekennzeichnet, die mit etwas erhöhtem Aufwand passivhaustauglich sind. Für die übrigen Gebäude kann keine uneingeschränkte Passivhausempfehlung gegeben werden.

Tab. 2 Ergebnistabelle Wohnterrassen Baufeld W5, Typen BF05 Reihenhaus und BF06 Punkthaus, Wärmeschutzvarianten EnEV, HD-Standard/KfW60 und PH/KfW40

Baugebiet Heidelberg Bahnstadt / Wohnterrassen W5 (Gebäude BF05 Reihenhaus / BF06 Punkthaus), Wärmeschutzvarianten EnEV, HD-Standard/KfW60 und PH/KfW40									
Baukörper		BF 05 RH	BF 05 RH	BF 05 RH	BF 05 RH	BF 06 Punkt	BF 06 Punkt	BF 06 Punkt	BF 06 Punkt
Standard		EnEV	HD-Standard	KfW 40	PH	EnEV	HD-Standard	KfW 40	PH
U-Mittel	[W/(m²K)]	0,48	0,41	0,33	0,27	0,56	0,50	0,38	0,39
Wanddämmung Außenwand	[m]	0,12	0,18	0,15	0,22	0,10	0,14	0,12	0,12
Dachdämmung	[m]	0,22	0,32	0,26	0,39	0,19	0,25	0,22	0,22
U-Wert Fenster	[W/(m²K)]	1,5	1,5	0,8	0,8	1,5	1,5	0,8	0,8
g-Wert Fenster	[]	0,62	0,62	0,54	0,54	0,62	0,62	0,54	0,54
Lüftungsanlage	[AB/WRG]	AB	AB	WRG	WRG	AB	AB	WRG	WRG
Heizwärmebedarf PHPP	[kWh/(m²a)]	61,2	54,1	20,9	15,2	50,2	45,2	14,3	15,0
Heizwärmebedarf nach EnEV	[kWh/(m²a)]	52,3	46,5	39,2	34,4	42,6	38,7	32,4	33,0

Die **Betrachtung der Wirtschaftlichkeit** verschiedener dämmtechnischer Standards führt zu zentralen Empfehlungen. Aus diesem Grund wurde für das Gebäude BF05 im Baufeld W5 beispielhaft eine langfristige Wirtschaftlichkeitsabschätzung durchgeführt. Die Grundlagen sind in Kapitel 3.1.3 bis 3.1.5 dargestellt. Abweichend von dem dort beschriebenen kalkulatorischen Zinssatz wurden die aktuellen Zinskonditionen der KfW-Förderbank (Stand September 2007) angesetzt. Die Nutzungsdauer wurde entsprechend der Langlebigkeit baulicher Maßnahmen auf 40 Jahre festgesetzt. In der folgenden Abbildung sind die aufsummierten mittleren Kosten für Kapital und Betrieb des Gebäudes dargestellt.

Die Unterschiede zwischen den einzelnen Varianten sind nicht sehr groß. In der Lupe sind geringere Gesamtkosten von 1,3 bis 1,8% gegenüber der EnEV Variante zu erkennen. Das Passivhaus ist gegenüber dem KfW40-Haus geringfügig ungünstiger in der Wirtschaftlichkeit, obwohl es einen deutlich niedrigeren Heizwärmebedarf hat. Das ist in dem guten Primärenergiefaktor der hier rechnerisch angesetzten Fernwärmeversorgung der SWH begründet, die geringere Investitionen im Bereich Wärmedämmung und Haustechnik zum Erreichen des Standards erfordert als beim zertifizierbaren Passivhaus.

Bei einer mittleren Energiepreissteigerungsrate von über 6% p.a. ist das Passivhaus günstiger. Das bestätigt die Aussage, dass das Passivhaus unempfindlicher auf

Energiepreissteigerungen reagiert, als die übrigen betrachteten Energiestandards. Daher ist das **Passivhaus** als **Zukunftsstandard** für die Bahnstadt aus wirtschaftlichen Gründen zu empfehlen.

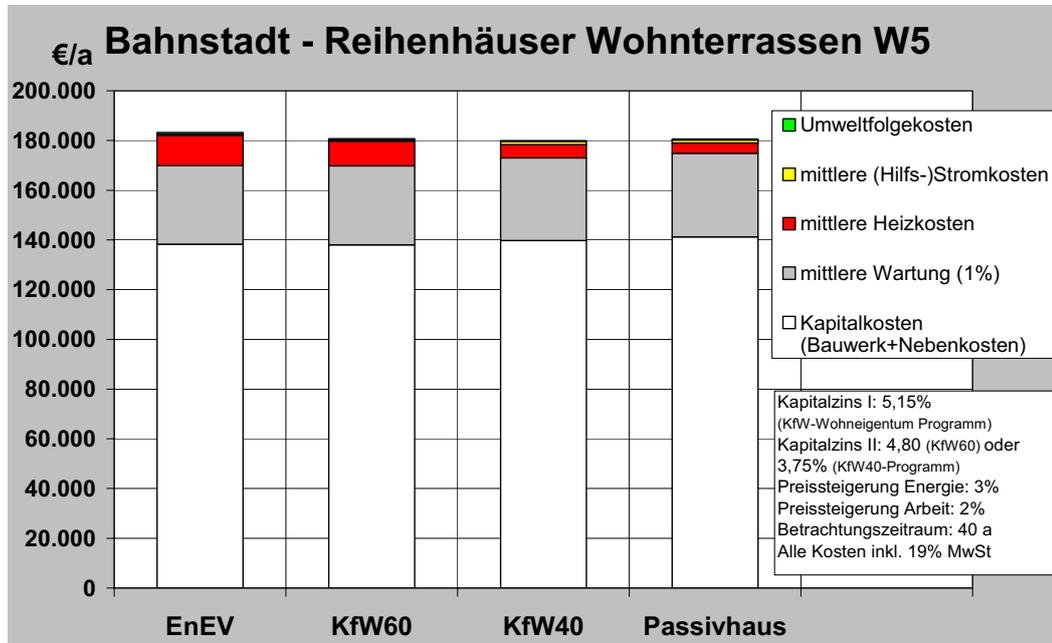


Abb. 2 Gesamtkostenbetrachtung für verschiedene Energiestandards des Reihenhauses BF05 in den Wohnterrassen

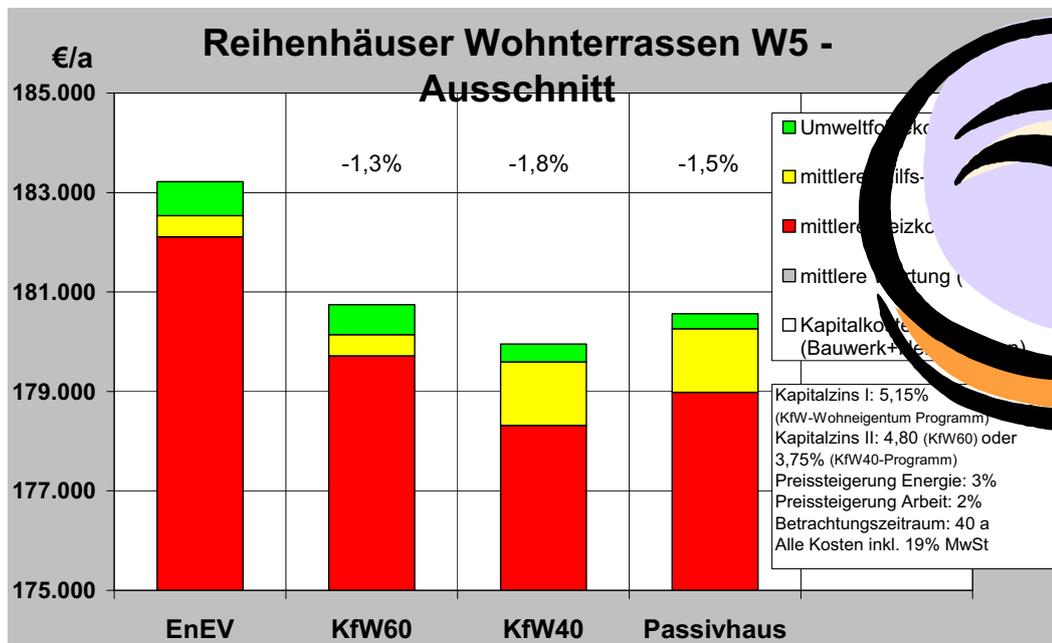


Abb. 3 Lupe der Gesamtkostenbetrachtung für verschiedene Energiestandards des Reihenhauses BF05 in den Wohnterrassen

Empfehlung:

- Maßnahmen zur Verbesserung der Kompaktheit der einzelnen Gebäudetypen bringen nur eine geringere Verbesserung der bereits guten A/V-Verhältniszahlen und werden von uns deshalb nicht empfohlen.
- **Passivhausstandard** ist für die meisten Gebäudetypen mit relativ geringem zusätzlichem Aufwand durchführbar und wirtschaftlich. Nur für wenige Gebäude kann keine Passivhausempfehlung gegeben werden.
- Ausgehend von den energetischen Berechnungen ausgewählter Mustergebäude ist bei den in der Abbildung Abb. 1 rot markierten Gebäude der Passivhausstandard sehr gut zu erreichen. Einschränkungen: Mit etwas erhöhtem Aufwand ist aufgrund der ungünstigeren solaren Exposition an den nordwestorientierten Riegeln, bei den Eckgebäuden und bei den Südost- und Nordwestriegeln zu rechnen. Dieser Aufwand ist beim Passivhausstandard durch verstärkte Dämmmaßnahmen und konsequente Wärmebrückenoptimierung gut zu erbringen.
- Anmerkung: Unter Annahme einer Fernwärmeversorgung aus Wärme-Kraft-Kopplung oder durch einen hohen Anteil an regenerativen Energieträgern kann an allen Standorten die Anforderung des KfW40-Standards wirtschaftlich erreicht werden.

2.1.2 Zollhof Süd - Baufelder Z5 bis Z7

In den Baufeldern Z5 bis Z7 befinden sich je sechs Gebäudetypen (G.1 bis G.6). Die Anordnung der Einzelgebäude ist von Baufeld zu Baufeld gespiegelt. Damit ergeben sich sechs durch Typ und Orientierung zu unterscheidende Mustergebäude.

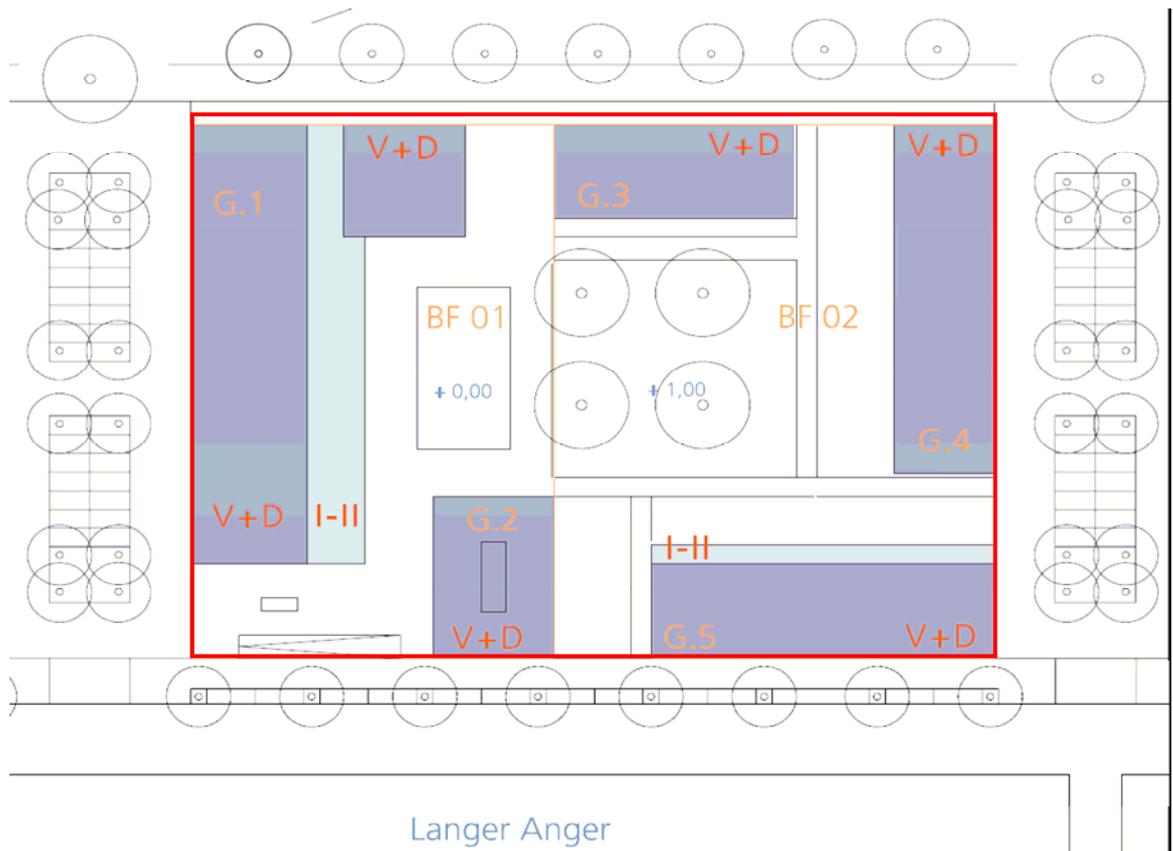


Abb. 4 Bebauungsprinzip Zollhof Süd – Baufeld Z6 (Quelle Stadtplanungsamt Heidelberg, ohne Maßstab)
rote Markierung: Passivhausstandard gut möglich

Die Gebäudetypen unterscheiden sich in ihrer Kompaktheit nur wenig (s. folgende Tabelle). Die Kompaktheit der Gebäude ist unserer Einschätzung nach bereits ausreichend gut, so dass sich keine weitere Optimierung lohnt.

Kompaktheit und Orientierung sowie gegenseitige Verschattung der Gebäude bestimmen den Aufwand der Wärmedämmung, um einen bestimmten Standard zu erreichen. Der mittlere U-Wert als Indikator zum Erreichen des Basis-Standards (EnEV) schwankt z.B. im Baufeld Z6 zwischen 0,56 und 0,63 [W/(m²K)]. Das bedeutet im günstigsten Fall nur 9 cm Wärmedämmung an der Außenwand und 16 cm im Dach, im ungünstigsten Fall ca. 13 cm an der Außenwand bzw. 23cm Dämmstoffstärke im Dach.

Tab. 3 Ergebnistabelle Zollhof Süd – Baufeld Z6 – notwendige Maßnahmen und Aufwand zur Einhaltung der Basisstandards nach Energiesparverordnung EnEV.

Baugebiet Heidelberg Bahnstadt / Zollhof Süd – Baufeld Z6							
Einhaltung der EnEV (alle Gebäude)							
Baukörper		Typ Z6/ 6.1	Typ Z6/ 6.2	Typ Z6/ 6.3	Typ Z6/ 6.4	Typ Z6/ 6.5	Typ Z6/ 6.6
Ausrichtung Hauptfassade		SO	NO	NW	SW	SW	SO
A/V	[1/m]	0,35	0,33	0,33	0,35	0,39	0,29
U-Mittel	[W/(m²K)]	0,62	0,63	0,56	0,62	0,56	0,61
Wanddämmung Außenwand	[m]	0,09	0,09	0,13	0,09	0,10	0,12
Dachdämmung	[m]	0,16	0,16	0,23	0,16	0,18	0,22
U-Wert Fenster	[W/(m²K)]	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
g-Wert Fenster	[]	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62
Lüftungsanlage	[AB/WRG]	AB	AB	AB	AB	AB	AB
Heizwärmebedarf EnEV	[kWh/(m²a)]	48,2	47,5	42,3	44,0	46,7	38,8

Für einen verbesserten Wärmeschutzstandard günstig wurde das Gebäude G.3 identifiziert, als dafür ungünstig das Gebäude G.4. In den Feldern Z5 und Z7 ändert sich zwar jeweils Lage und Orientierung der beiden Gebäudekörper, doch auch dort repräsentieren diese den günstigsten bzw. ungünstigsten Fall. Trotz unterschiedlicher Orientierung und Verschattung variiert der Heizwärmebedarf bei den untersuchten Gebäuden kaum. Diese beiden Gebäudetypen wurden als Repräsentanten für den wärmetechnischen Minimal- bzw. Maximal-Aufwand zum Erreichen verbesserter Standards herangezogen.

Die folgende Tabelle zeigt am Indikator mittlerer U-Wert, dass zum Erreichen des Heidelberger Standards gegenüber dem Basis-Standard (EnEV) keine oder nur minimal höhere Dämmstoffdicken erforderlich sind.

Erst der Schritt zum Passivhaus oder KfW40 Standard erfordert deutlich erhöhten Aufwand bei den Fenstern sowie den Einsatz einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung. Die Dämmstoffstärken sind, wie am Beispiel Außenwand und Dach gezeigt, immer noch moderat.

Tab. 4 Ergebnistabelle Zollhof Süd – Baufeld Z6 , Typ 6.3 und Typ 6.4, Wärmeschutzvarianten EnEV, HD-Standard/KfW60 und PH/KfW40

**Baugebiet Heidelberg Bahnstadt / Zollhof Süd - Z6 (Gebäude G.3 / G.4)
Wärmeschutzvarianten EnEV, HD-Standard/KfW60 und PH/KfW40**

Baukörper		Typ Z6/ 6.3	Typ Z6/ 6.3	Typ Z6/ 6.3	Typ Z6/ 6.3	Typ Z6/ 6.4	Typ Z6/ 6.4	Typ Z6/ 6.4	Typ Z6/ 6.4
Standard		EnEV	HD- Stan- dard	KfW 40	PH	EnEV	HD- Stan- dard	KfW 40	PH
U-Mittel	[W/(m ² K)]	0,64	0,56	0,41	0,36	0,62	0,54	0,42	0,40
Wanddämmung Außenwand	[m]	0,09	0,13	0,12	0,15	0,09	0,12	0,10	0,12
Dachdämmung	[m]	0,16	0,23	0,21	0,28	0,16	0,22	0,19	0,21
U-Wert Fenster	[W/(m ² K)]	1,5	1,5	0,8	0,8	1,5	1,5	0,8	0,8
g-Wert Fenster	[]	0,62	0,62	0,54	0,54	0,62	0,62	0,54	0,54
Lüftungsanlage	[Ab/WRG]	AB	AB	WRG	WRG	AB	AB	WRG	WRG
Heizwärmebedarf PHPP	[kWh/(m ² a)]	57,6	52,2	18,3	14,8	52,6	46,6	16,2	15,0
Heizwärmebedarf EnEV	[kWh/(m ² a)]	47,0	42,7	34,9	32,0	44,0	39,3	33,7	32,6

Die Wirtschaftlichkeit der Passivhausbauweise ist im Baufeld Z6 aufgrund der hohen baulichen Dichte eher noch günstiger zu bewerten als in der Beispielrechnung für das Gebäude BF05 im Baufeld W5 dargestellt. Daher ist die **Empfehlung** gleichlautend:

- Maßnahmen zur Verbesserung der Kompaktheit der einzelnen Gebäudetypen bringen nur eine geringere Verbesserung der bereits guten A/V-Verhältniszahlen und werden von uns deshalb nicht empfohlen.
- **Passivhausstandard** ist für die meisten Gebäudetypen mit relativ geringem zusätzlichem Aufwand durchführbar und wirtschaftlich.
- Ausgehend von den energetischen Berechnungen ausgewählter Mustergebäude ist bei den in der Abbildung Abb. 4 rot markierten Gebäude der Passivhausstandard sehr gut zu erreichen. Das betrifft sämtliche Bautypen.
- Unter Annahme einer Fernwärmeversorgung aus Wärme-Kraft-Kopplung oder durch einen hohen Anteil an regenerativen Energieträgern kann an allen Standorten die Anforderung des KfW40-Standards wirtschaftlich erreicht werden.

2.1.3 Heizen und Kühlen in Nicht-Wohngebäuden

Energie- und kostensparendes Bauen war über lange Zeit eine Domäne des Wohnungsbaus. Besonders im Verwaltungsbau dominiert nach wie vor eine architektonische Formensprache mit großflächigen Verglasungen, welche hohe Kosten für den Betrieb insbesondere durch einen hohen Energieverbrauch für Heizung und Kühlung nach sich zieht. Im Nicht-Wohnbereich ist jedoch ein Prozess des Umdenkens in Gang, der sich aus sehr unterschiedlichen Quellen speist:

Auf einer Ebene ist es die gesellschaftliche weitgehend akzeptierte Zielsetzung eines verminderten CO₂-Ausstoßes und damit eines geringeren Energieverbrauchs. Dieser manifestiert sich in Gesetzen wie z.B. die Umsetzung der EU-Gebäuderichtlinie (EnEV, DIN V18599), nach der für jedes (neue) Gebäude ein Effizienztest offengelegt werden muss.

Wichtige andere Anstöße für ein Umdenken sind die Sensibilisierung für das Sick-Building-Syndrom und die Probleme mit der häufiger auftretenden sommerlichen Überhitzung der Gebäude und dem folgenden Arbeits(leistungs)ausfall. Unter ökonomischem Druck müssen zudem die spezifischen Investitionen pro Arbeitsplatz Kosten für Bewirtschaftung und Betrieb drastisch gesenkt werden. Dabei müssen möglichst gute bauliche Kompromisse im Spannungsfeld von beschränkten Investitionen und Unterhaltskosten einerseits und architektonischem Ausdruck, Hygiene, Akzeptanz, Funktionssicherheit und verursachten Emissionen andererseits gefunden werden.

Inzwischen gibt es eine größere Zahl von Objekte in Deutschland, in der die Planungsphilosophie des Passivhauses konsequent auf Nicht-Wohngebäude übertragen wurde. Der praktizierte integrale Planungsansatz arbeitet das Zusammenspiel von Architektur, Ergonomie, Komfort und Energieeinsatz heraus, minimiert dann konsequent alle Lasten an der Quelle, ohne die geforderten Qualitäten zu gefährden, und stellt letztendlich die notwendigen Energiedienstleistungen mit hoher Effizienz bereit.

Für die Realisierung der Bahnstadt ist es daher wichtig, eine zukunftsweisende Strategie für die Vielzahl von geplanten Nicht-Wohngebäuden zu finden. Im folgenden werden für den Bereich Wärme und Kälte Vorschläge für Effizienzzielwerte dargelegt.



Abb. 5 Das könnte ein Beispiel für die energiegerechte Bebauung in der Bahnstadt sein: Das größte Passivhaus der Welt – Bürogebäude ENERCON in Ulm

Aus unserer Sicht ist eine **wirtschaftliche Realisierung des Passivhausstandards** für Verwaltungsgebäude, Schulen und vergleichbare Nutzungen heute bereits möglich. Ziel in der Bahnstadt muss es daher sein, auch Nicht-Wohngebäude konsequent mit Passivhausbauteilen zu bauen und den übliche Grenzwert für den Heizwärmebedarf von $15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ als Nachweisgröße einzuhalten.

Bei Gebäuden mit großen Raumvolumina, Sondernutzungen bzw. sehr unterschiedliche Nutzung (in Kinos, Kaufhäusern, Fachmärkten z.B. dominieren hohe Lüftungswärmeverluste oder der Kältebedarf) ist der übliche Grenzwert für den Heizwärmebedarf von $15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ als Nachweisgröße ungeeignet und voraussichtlich auch nicht immer einhaltbar. Hier ist das Ziel, so gut mit Passivhauskomponenten zu bauen wie möglich.

Im Ausnahmefall kann bei Nutzungen, deren Raumwärmebedarf nachweislich gegenüber dem Energiebedarf für Lüftung, Kühlung und Beleuchtung untergeordnet ist, nach Prüfung und Anerkennung auf die Einhaltung der verschärften Anforderungen verzichtet werden. Es gilt dann als Mindestanforderungen der Heidelberger Standard. Voraussetzung ist, dass durch andere Maßnahmen, die über die Mindestanforderungen hinausgehen (z. B. bei der Stromeffizienz) ein vergleichbarer Betrag an Primärenergie eingespart wird.

Effiziente Wärmeversorgung

Für die Wärmeversorgung sollte ein Primärenergiefaktor $f_{PE,WV}$ von $\leq 0,5$ eingehalten werden, unabhängig davon, ob die Wärme zentral oder dezentral auf der Parzelle erzeugt wird. Der Faktor ist anhand einer Berechnung nach DIN 4701-10 Abs. 5.4.2 nachzuweisen.

Begründung: Für das Versorgungsgebiet ist ein Fern- bzw. Nahwärmenetz vorgesehen. Im Rahmen eines CO₂-Minderungskonzepts sollte der Primärenergiefaktor der auf dem Grundstück unabhängig vom Nah- oder Fernwärmenetz bereitgestellten Wärme unter dem derzeitigen Wert für Fernwärme aus dem Netz der SWH von 0,52 liegen. Ein Grenzwert von 0,5 für den Primärenergiefaktor $f_{PE,WV}$ kann mit verfügbarer Technik eingehalten werden, wenn z.B.

- ein hoher Anteil an Wärme aus Kraft-Wärme-Kopplung mit fossilen Brennstoffen oder
- Wärme aus Kraft-Wärme-Kopplung mit erneuerbaren Brennstoffen oder
- ein Wärmeanteil von etwa 60% aus einer reinen Wärmeerzeugung mit erneuerbaren Brennstoffen

bereitgestellt wird. Das Nachweisverfahren beruht auf der DIN 4701-10 und kann als bekannt und handhabbar angesehen werden.

Energieeffizienz raumluftechnischer Anlagen

Der elektrische Energiebedarf für die Luftförderung hängt stark von der jeweiligen Nutzung, d. h. von den jeweiligen Nutzungsanforderungen und der Nutzungszeit ab. Pauschale über ganze Gebäude geltende Grenzwerte der Energiekennzahlen hierfür sind deshalb nicht zielführend, da sie (u. U. wünschenswerte) intensive Nutzungen benachteiligen und wenig intensive Nutzungen begünstigen. Mindestanforderungen für die Energieeffizienz sind deshalb über Grenzwerte für die volumenstromspezifische elektrische Leistungsaufnahme, Mindestwerte für die Wärmerückgewinnung und weitere Einzelanforderungen zu definieren, beispielsweise durch den Einsatz von Elektromotoren für Lüftungsventilatoren der Klasse EFF1 (High Efficiency), durch Ziel- und Grenzwerte für den Gesamtwirkungsgrad für die Luftförderung (Wh/m^3) oder Wärmerückgewinnung mit einer Mindestrückwärmezahl von $\geq 70\%$.

Die Werte sind rechnerisch in der Planung nachzuweisen, in Zukunft werden die Nachweise nach DIN 18599 geführt werden müssen.

Energieeffiziente Raumkühlung

Für dezentrale Kälteerzeugungsanlagen zur Kühlung und Klimatisierung ist eine auf die Nutzenergie bezogene Primärenergie-Aufwandszahl von $\leq 0,5$ einzuhalten. Der Faktor ist in Anlehnung an DIN 4701-10 Abs. 5.4.2 nachzuweisen.

Begründung: Wird die erforderliche Kälte im Gebäude erzeugt, sollte der damit verbundene Primärenergieeinsatz und CO₂-Ausstoß je Energieeinheit deutlich geringer sein, als wenn sie konventionell mit elektrischer Kompressionskälte erzeugt wird. Diesen Wert können Anlagenkonzepte unterschreiten, die effiziente Kühltechniken wie BKT mit freier Kühlung oder mit Erdsonden, adiabate Kühlung in Lüftungsanlagen, freie oder mechanische Nachtlüftung o.ä. Systeme mit elektrischer Kompressionskälte für Sondernutzungen (z.B. Serverräume oder Küchen) kombinieren.

Grundsätzlich ist konventionelle Kälteerzeugung zu minimieren. Es gelten folgende Mindestanforderungen und Empfehlungen:

- Die Möglichkeit der freien Kühlung über Rückkühlwerke oder Außenluftbetrieb ist grundsätzlich vorzusehen, es sei denn, es kann nachgewiesen werden, dass die damit erreichbare Energieeinsparung unerheblich ist bzw. der Aufwand unzumutbar wäre.
- Untersuchung alternativer Kälteerzeugungsverfahren wie z. B. direkte geothermische Kältegewinnung oder adiabate Befeuchtung, solare, sorptionsgestützte Kühlung, Dessicant Cooling, etc.

Alternativ zur konventionellen mechanischen Raumkühlung sind Einsatzmöglichkeiten der passiven Kühlung, z. B.

- natürliche oder mechanisch unterstützte Nachtlüftung (falls keine Sicherheitsbedenken bestehen),
- bauteilintegrierte Kühlung mit freier Rückkühlung.

Falls ihr Einsatz nicht ausreicht, ist dies nachzuweisen (z. B. mittels Gebäudesimulation).

Wir empfehlen, eine qualifizierte Beratung hinsichtlich einer möglichen Vermeidung des Kühlbedarfs und einer energieeffizienten Kühlung und Klimatisierung für die Planer vorzuschreiben.

2.2 Empfehlungen zum baulich energetischen Standard

1. Ausgehend von den Untersuchungen wird vorgeschlagen, dass im gesamten Gebiet für Wohngebäude als energetischer Standard die **Passivhausbauweise** festgesetzt wird. Der übliche Grenzwert für den Heizwärmebedarf von $15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ als Nachweisgröße ist einzuhalten.

Nicht-Wohngebäude sollte als energetischer Standard die Passivhausbauweise festgesetzt werden. Auch hier ist der übliche Grenzwert für den Heizwärmebedarf von $15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ als Nachweisgröße einzuhalten.

Begründung: Der vorgeschlagene Passivhausstandard ist an allen geprüften Standorten bedingt durch die bauliche Dichte mit gemäßigt zusätzlichem Aufwand erreichbar. Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zeigt, dass dieser Mehraufwand langfristig wirtschaftlich ist, insbesondere bei zukünftig zu erwartenden Energiepreisteigerungen.

Einschränkungen: Mit etwas erhöhtem Aufwand ist an einigen Wohngebäuden z.B. bei den Wohnterrassen zu rechnen. Bei Nicht-Wohngebäuden mit großen Raumvolumina, Sondernutzungen bzw. sehr unterschiedlicher Nutzung ist der übliche Grenzwert für den Heizwärmebedarf von $15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ nicht immer einhaltbar bzw. als Nachweisgröße sinnvoll. Hier ist so gut mit Passivhauskomponenten zu bauen wie möglich.

2. Es wird vorgeschlagen, **begründete Ausnahmen** bei nachgewiesener Unwirtschaftlichkeit zu ermöglichen. Ist der Passivhausstandard nachgewiesenermaßen nicht wirtschaftlich, so muss **mindestens der Heidelberger Standard** bzw. Standard nach KfW 60 Förderung erreicht werden. Voraussetzung ist, dass durch andere Maßnahmen, die über die Mindestanforderungen hinausgehen (z. B. bei der Stromeffizienz) ein vergleichbarer Betrag an Primärenergie ggü. Passivhausstandard eingespart wird.

Begründung: Der Heidelberger Standard ist an allen geprüften Standorten problemlos erreichbar. Dabei ist unter der Annahme einer Versorgung mit Fernwärme aus Wärme-Kraft-Kopplung oder Alternativen mit vergleichbar niedrigem Primärenergiefaktor $f_{PE,WV}$ nur die erhöhte bauliche Anforderung nach EnEV (HT' -30%) zu erfüllen. Die Anforderung an den Primärenergiekennwert wird damit ebenfalls erreicht.

3 Wärmeversorgungskonzept

Ausgehend von den Berechnungen der städtebaulichen Analyse (Kap. 2) wird der Gesamtbedarf an Energie bestimmt. Die Analyse berücksichtigt dabei

- verschiedene energetische Gebäudestandards sowie
- verschiedene Anlagenkonzepte (zentral, teilzentral, dezentral).

Basis des Vergleichs ist der Bedarf an Primärenergie. Dadurch lassen sich unterschiedliche Energieträger vergleichen. Die Umweltwirkung wiederum wird anhand des CO₂-Ausstoßes (CO₂-Äquivalents) verglichen. Die Versorgungsvarianten unterscheiden sich weiterhin in den Investitionen, die (unabhängig vom Investor) getätigt werden müssen.

Aus Sicht des Nutzers sind schließlich die Energieversorgungskosten, die pro Jahr und Quadratmeter Nutzfläche anfallen, entscheidend. Diese werden für verschiedene Gebäudestandards bei unterschiedlichen Versorgungsvarianten annuitätisch (incl. Verbrauchs-, Investitions- und Wartungskosten) berechnet.

Energiekonzeptionen werden für die Quartiere

- Wohnterrassen Baufeld W5 und
- Zollhof Süd Baufeld Z6

beispielhaft durchgeführt. Beide Baufelder sind in ihrer Typologie als Wohngebiet geringerer Dichte mit hohem Eigenheimanteil (Wohnterrassen) und verdichteter Mischnutzung in Blockrandbebauung (Zollhof Süd) typisch für die Wohnbebauung das Baugebiet. Daher sind die Ergebnisse auf das Gesamtgebiet in weiten Teilen übertragbar. Die folgende Abbildung zeigt die Lage der Beispielgebiete.



Abb. 6: Lage der beiden Baufelder Wohnterrassen W5 und Zollhof Süd Z5-Z7 in der Bahnstadt.

Im Schlusskapitel werden die Ergebnisse der beispielhaften Energiekonzepte für die Baufelder W5 und Z6 – soweit in dieser Planungsphase bereits möglich – auf das Gesamtgebiet übertragen.

3.1 Grundlagen und Varianten

3.1.1 Rahmenbedingungen

Die Stadtwerke Heidelberg planen, die äußere Fernwärmeerschließung der Bahnstadt durch die Bahnstadt hindurch zu verbinden. Ausgehend von den neuen **Haupterschließungsleitungen** (Querschnitt ca. DN 200 bis 250) kann eine Unterverteilung aufgebaut werden (DN 80 bis DN 150). Nach Auskunft der Stadtwerke muss die Unterverteilung nicht zwingend straßenbegleitend verlegt werden. In Kapitel 3.1.7.1 sind für die beiden Beispielblöcke andere Erschließungsmöglichkeiten gezeigt, wie sie sich die Stadtwerke vorstellen könnten.

Die folgende Abbildung zeigt den Stand der Überlegungen der SWH auf dem Stand von April 2005.

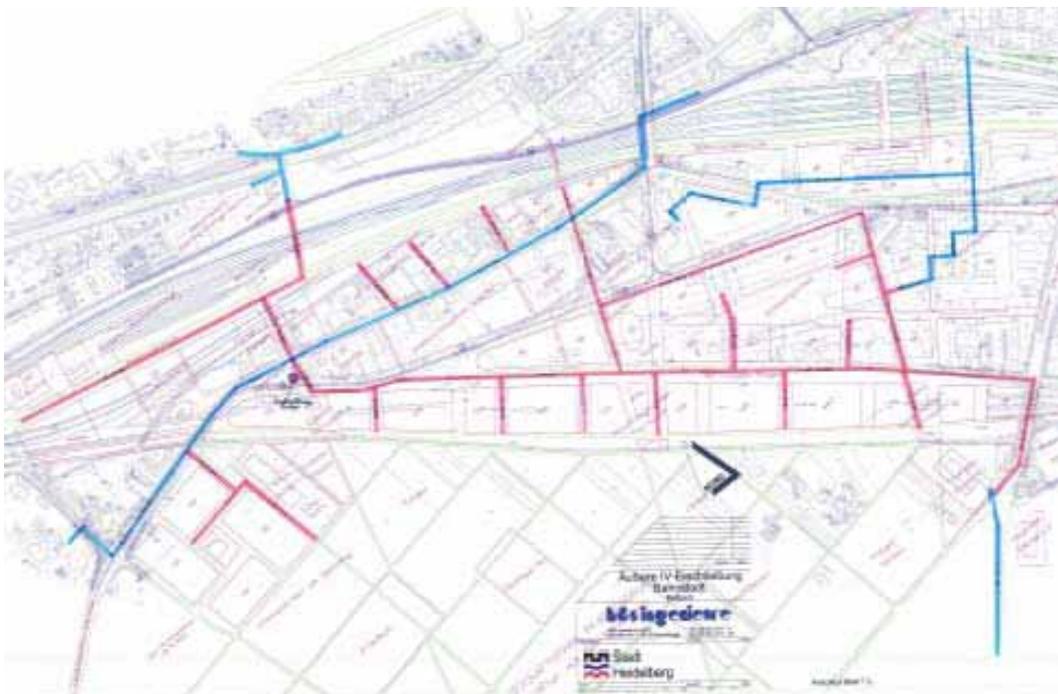


Abb. 7: Vorhandenes (blau) und von der SWH geplantes Fernwärmenetz (rot) in der Bahnstadt. Stand April 2005

3.1.2 Primärenergiebedarfs- und CO₂-Faktoren

Der Primärenergiebedarf sowie die CO₂-Äquivalente wurden mit den in Tab. 5 genannten Werten ermittelt.

Tab. 5: Verwendete Primärenergiefaktoren ([DIN V 4701-10:2003]) und CO₂ – Äquivalente ([PHPP2004], Gemis 4.3)
Quelle: Stadtwerke Heidelberg¹

	Primärenergiefaktor	CO ₂ - Äquivalent
	[kWh/kWh]	[t/MWh]
Holz	0,2	0,050
Fernwärme Heidelberg	0,52	0,145
Erdgas	1,1	0,250
Strom	2,7	0,680

3.1.3 Investitionen

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

Die Investitionskosten für die Anlagentechnik des Gesamtgebietes geben einen Überblick über Aufwendungen für den Aufbau einer Wärmeversorgung mit Wärmeerzeugung, Kamin, Wärmeübergabe, Wärmenetz, Regelung, Speicher Warmwasserbereitung etc. Die Verteilung der Wärme in den Gebäuden (inkl. Heizkörper und Ventile) wurde nicht berücksichtigt. Es wurde nicht nach Investoren (Energieversorger, Bauträger oder Privat) unterschieden.

3.1.4 Energiekosten

Energieversorger sind die Stadtwerke Heidelberg (SWH). Die Fernwärme- und Stromtarife wurden anhand der Tarifstruktur des Versorgers berechnet. Dabei wurden die Grund- und Messpreise mit dem Arbeitspreis anhand typischer Verbräuche zu einem reinen Arbeitspreis verrechnet.

¹ Das am 2.7.2007 übergebene Zertifikat für das Fernwärmesystem Heidelberg der Stadt Heidelberg AG weist einen Primärenergiefaktor nach DIN V 4701 – 10 von $f_{PE,FW} = 0,52$ aus.

Der Preis für Holzpellets wurde durch Anfragen bei Großhändlern, Betreibern und C.A.R.M.E.N. (Centraler Agrar-Rohstoff-Marketing- und Entwicklungsnetzwerk e.V.: <http://www.carmen-ev.de>) erstellt.

Tab. 6: Energietarife. Der Grund- und Messpreis wurde mit dem Arbeitspreis zu einem reinen verbrauchsbezogenen Tarif zusammengefasst (Information der Stadtwerke Heidelberg) – Wenn nicht anders benannt ist der Stand November 2007

Fernwärme SWH – Arbeitspreis	Fernwärme	3,406	ct/kWh
Fernwärme SWH – Messpreis (Angabe für Bahnstadt November 2006)		30,68	EUR/a
Fernwärme SWH – Leistungspreis (Angabe für Bahnstadt November 2006)		26,32	EUR/KW*a
Holzpellets (Preis November 2007)	Holz	3,27	ct/kWh
SWH – Haushaltsstrom (Fox Familie)	Strom	16,01	ct/kWh
SWH – Monatspauschale (Fox Familie)		8,62	EUR
SWH – Strom für Wärmepumpe (Fox Nacht) NT	Strom	12,14	ct/kWh
SWH – Strom für Wärmepumpe (Fox Nacht) HT	Strom	16,01	ct/kWh
SWH – Monatspauschale (Fox Nacht)		11,21	EUR

3.1.5 Wirtschaftlichkeit

Zur Ermittlung der Wirtschaftlichkeit verschiedener Versorgungsvarianten wurden alle für die jeweilige Versorgungsvariante relevanten Investitionen (Anlagen der Wärmeerzeugung, Speicherung und Verteilung) sowie die Verbrauchskosten der Versorgung ermittelt und annuitätisch nach dem Verfahren der VDI 2067 ([VDI 2067-1]) bzw. dem Leitfaden energieeffiziente Gebäudeenergieplanung ([LEG 95]) bewertet. Die Randbedingungen der Wirtschaftlichkeit sind in Tab. 7 aufgeführt.

Tab. 7: Randbedingungen der Wirtschaftlichkeitsberechnung

Kalkulationszinssatz	7,00%
jährliche Teuerungsrate der Wärme	3,00%
jährliche Teuerungsrate des Stroms	3,00%
jährliche allgemeine Teuerungsrate	2,00%
Betrachtungszeitraum	15 a

3.1.6 Versorgungsvarianten

Für die Wärmeversorgung der Gebäude im Neubaugebiet Bahnhof wurden folgende Energieversorgungsvarianten untersucht:

1. Anschluss jedes Gebäudes an das **Fernwärmenetz** der Stadt Heidelberg.
2. Zentraler **Fernwärmeanschluss** für ein Baufeld und Verteilung der Wärme innerhalb dieser kleinen Einheiten über Miniwärmenetze.
3. Zentraler **Pelletkessel** für Baublöcke und Verteilung der Wärme innerhalb dieser kleinen Einheiten über Miniwärmenetze.
4. Zentrale **Wärmepumpe** mit Erdsonde(n) und Fernwärme für die Wärmespitzen für kleinere Bebauungsabschnitte. Verteilung der Wärme innerhalb dieser kleinen Einheiten über Miniwärmenetze.
5. Dezentrale Kleinstwärmepumpen (**Kompaktaggregate**) mit Erdreich-Wärmetauscher (EWT) für jede Wohneinheit. Raumwärme und Warmwasser wird zum größten Teil über die Kompaktaggregate gedeckt. Verteilnetze entfallen bei dieser Variante (nur für PH).
6. Zusätzlicher Einsatz von **Solaranlagen** zur Warmwasserbereitstellung als Ergänzung zu allen genannten Varianten.

Die Referenzvariante wurde mit dem baulichen Standard nach Energiesparverordnung EnEV und dem Anschluss jedes Gebäudes an das Fernwärmenetz der Stadtwerke Heidelberg berechnet.

Basis weiterer Variantenberechnungen ist der **Heidelberg Standard** bzw. KfW 60 Standard. Zusätzlich sind alle Varianten mit dem **Passivhausstandard** berechnet, hier wurde eine Versorgungsvariante mit dem nur für Passivhäuser geeigneten Kompaktaggregat berechnet.

3.1.7 Technische Realisierung

3.1.7.1 Anschluss Fernwärme – jedes Gebäude (Referenzvariante)

Bei der Referenzvariante wird davon ausgegangen, dass jedes Gebäude an das Fernwärmenetz der Stadtwerke Heidelberg angeschlossen wird. Je nach Art der Gebäude - Reihen-, Doppel- oder Mehrfamilienhaus - wird eine separate Übergabestation für eine oder mehrere Wohneinheiten installiert. Zusätzlich kann mit Pufferspeichern die benötigte Anschlussleistung und deren Bezugskosten reduziert werden. Die Wärmeleitungen (Vor- und Rücklauf) werden als gedämmte Leitungen durch die in der thermischen Hülle liegenden Keller ausgeführt. Die Vorlauftemperaturen betragen konstant 130°C bei 6 bar Druck. In allen Gebäuden erfolgt die Aufstellung der Übergabestationen im Keller. Die Ermittlung der Kosten wurde generell für folgende Systemgrenze durchgeführt:

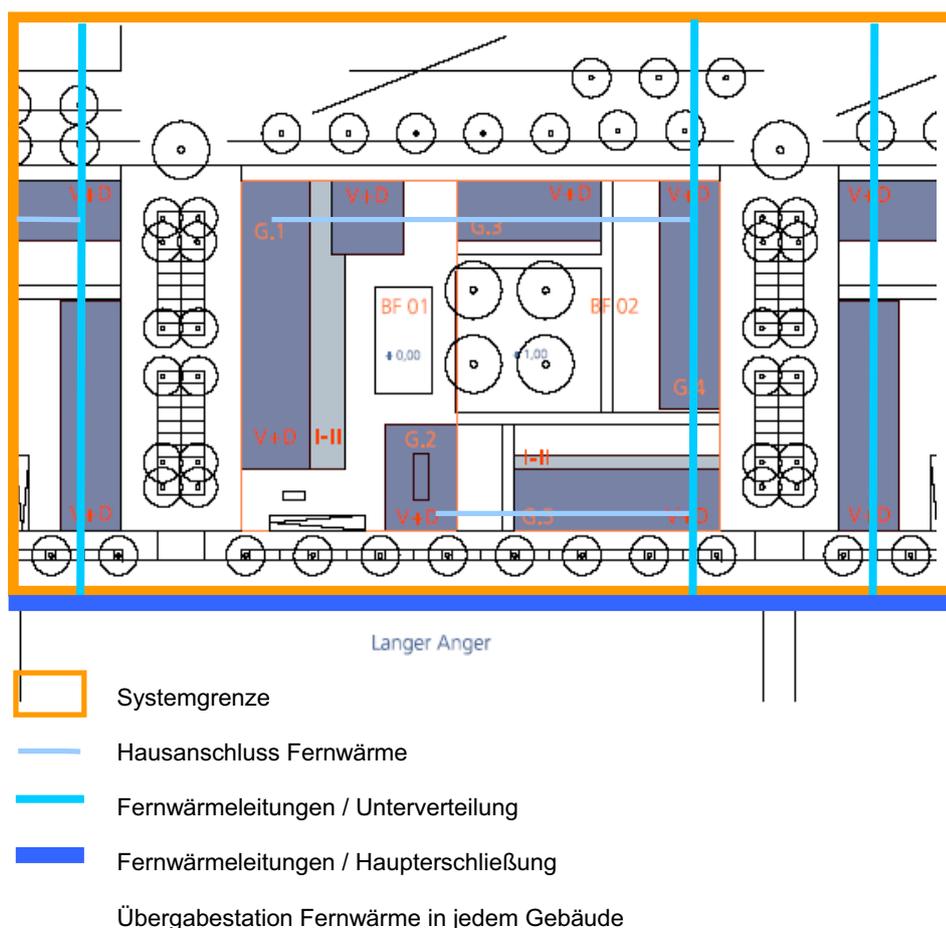
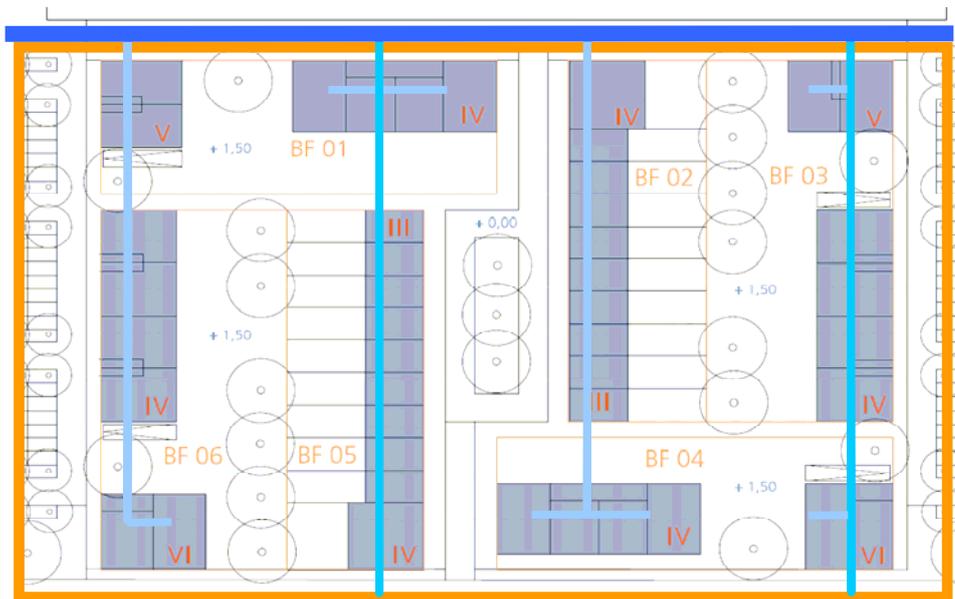


Abb. 8 Darstellung der Systemgrenzen bei der Kostenermittlung und Wirtschaftlichkeitsbetrachtung im Baufeld Zollhof Süd – Z6



-  Systemgrenze
 -  Hausanschluss Fernwärme
 -  Fernwärmeleitungen / Unterverteilung
 -  Fernwärmeleitungen / Haupterschließung
- Übergabestation Fernwärme in jedem Gebäude = Wohneinheit

Abb. 9 Darstellung der Betrachtungsgrenzen bei der Kostenermittlung und Wirtschaftlichkeitsbeurteilung im Baufeld Wohnterrassen W5

Bei der Betrachtung der Fernwärme wird davon ausgegangen, dass die Haupterschließung unabhängig von der Blockversorgung erstellt wird. Das Fernwärmeverteilungsnetz von der übergeordneten Fernwärmeleitung (Haupterschließung) zu den Gebäuden muss im Rahmen der Blockerschließung aufgebaut und finanziert werden. Es werden alle Kosten erfasst, die ab der Haupterschließungsleitung entstehen.

Die Kosten der Fernwärmeübergabe, Verteilung, Warmwasserbereitung, Regelung etc., die auf dem Grundstück bzw. im Gebäude entstehen, sind in den Investitionen enthalten.

3.1.7.2 Anschluss Fernwärme – zentral je Baufeld

Bei dieser Variante wird davon ausgegangen, dass je Baufeld ein Fernwärmeanchluss verlegt wird und die Wärme intern über ein Miniwärmenetz im Baufeld verteilt wird.

Nahwärme

An einem oder mehreren zentralen Punkten werden Übergabestationen mit Plattenwärmetauschern eingesetzt. Durch die Wärmetauscher wird das Heizwasser des Nahwärmenetzes vom Heizwasser der weiteren Unterverteilung getrennt. Die Vorlauftemperaturen der Unterverteilung betragen dann nur noch 65° – 75°C. Die Verteilungen werden anschließend überwiegend durch die Keller geführt. Neben der günstigeren Verlegung gegenüber separaten Hausanschlüssen kommen bei dieser Ausführung die Wärmeverluste der Rohrleitungen den Gebäuden zugute.

Die Wärmeleitungen (Vor- und Rücklauf) werden als isolierte Kunststoffleitungen aus vernetztem Polyethylen (PE-X) ausgeführt. Im Rahmen der Erschließung werden die Wärmeleitungen durch die in der thermischen Hülle liegenden Keller verlegt.

Je Gebäude wird dann die Wärme direkt übergeben (keine Wärmetauscher). In jedem Haus befinden sich die benötigten Pumpen, Regeleinrichtungen, hydraulischen Weichen und Wärmemengenzähler.

In den Häusern sind Warmwasserschichtenspeicher installiert, die einmal am Tag über das Nahwärmenetz geladen werden. Die Speicher sind so dimensioniert, dass eine Speicher-Ladung den Tagesbedarf eines Einfamilienhauses bzw. eines Mehrfamilienhauses deckt. Die Speicher werden ein- oder zweimal pro Tag geladen. Außerhalb der Ladezeiten kann das Netz außer Betrieb genommen werden. Dadurch ergeben sich außerhalb der Heizperiode niedrigere Leitungsverluste, ebenso kann die Anschlussleistung an der Übergabe reduzieren würde.

Die Kosten der Fernwärmeübergabe, Verteilung, Warmwasserbereitung, Regelung etc., die auf dem Grundstück bzw. im Gebäude entstehen, sind in den Investitionen enthalten.

3.1.7.3 Holzpelletanlage

Holzfeuerungsanlage

In einer neu errichteten Heizzentrale wird ein monovalenter Holzpelletheizkessel mit automatischer Brennstoffbeschickung und Entaschung in jedem Baufeld als zentrale Wärmeversorgung eingesetzt.

Das Lager zur Bevorratung der Pellets wird als unterirdisches Silo neben der Heizzentrale errichtet. Zur Befüllung werden die Pellets vom LKW aus in das Silo einge-

blasen. Die Beschickung des Kessels erfolgt mit Schnecken (siehe allgemeine Beschreibung einer Holzheizung). Das Holzlager wird so dimensioniert, dass der Vorrat nicht mehr als vier mal im Jahr aufgefüllt werden muss. Die erzeugte Wärme wird in einen innerhalb der Zentrale aufgestellten Pufferspeicher geladen. Die Verteilung der Wärme erfolgt über ein Nahwärmenetz mit Übergabestationen in den einzelnen Häusern.

Nahwärme

Die Wärmeverteilung und Warmwasserbereitung wird wie in 3.1.7.2 ausgeführt.

3.1.7.4 Zentrale Wärmepumpe

In einer neu errichteten Heizzentrale wird eine zentrale Wärmepumpe für ein Bau-
feld eingesetzt. Diese Variante wird einem gebäudeweisen Einsatz von Wärme-
pumpen vorgezogen, da die zu erwartende Effizienz der Wärmepumpe besser ist
als bei den dezentralen Systemen. Zudem können Bohrungen in größerer Tiefe, in
denen höhere konstante Temperaturen zu erwarten sind, kostengünstiger durch-
geführt werden.

Als Wärmequelle für die Wärmepumpen werden Erdsonden eingesetzt (Sondenab-
stände bei großen Feldern 5-8m). Bei dieser Technik werden Rohrleitungs-Wär-
metauscher eingebracht und verpresst. Die durch die Rohrleitungen strömende Sole
(Wasser mit Frostschutzmittel) nimmt im Erdreich Wärme auf und gibt sie an die
Wärmepumpe ab.

Auch im problematischen Untergrund („quartiäre Sedimente“) wie er hier in der
Rheinebene vorgefunden wird, können Erdsonden nach Aussagen der Bohrfirmen
und Sondenhersteller dauerhaft installiert werden. Allerdings werden sie derzeit nur
bis zu einer Tiefe von ca. 60m genehmigt.²

Die Wärmepumpen werden mit elektrischer Energie betrieben. Zur Überbrückung
der Abschaltzeiten für Niedertarifstrom der Stadtwerke Heidelberg wird ein Heiz-
wasser-Pufferspeicher eingesetzt. Zusätzlich wird zur Spitzenabdeckung ein Fern-
wärmeanschluss installiert.

Nahwärme

Die Wärmeverteilung und Warmwasserbereitung wird wie in 3.1.7.2 ausgeführt.

² Aussage des Amt für Umweltschutz, Gewerbeaufsicht und Energie im Schreiben vom 5.10.2007

3.1.7.5 Ergänzung der Fernwärme durch Tiefengeothermie

Die Stadtwerke Heidelberg planen ihrerseits Tiefenbohrungen (>3000m) zur Einspeisung von geothermisch erzeugter Wärme in ihr Fernwärmenetz. Tendenziell ist hierdurch eine Verbesserung des Primärenergiefaktors $f_{PE,FW}$ zu erwarten (siehe Tabelle Tab. 5). Dieses Konzept ist allerdings räumlich nicht auf die Bahnstadt begrenzt. Daher wird es in diesem Bericht nicht weiter behandelt.

3.1.7.6 Dezentrale Kompaktaggregate

Sollen Kompaktaggregate mit monoenergetischer Versorgung zum Einsatz kommen, so ist der PH-Standard Voraussetzung. Bei Einsatz ausreichend dimensionierter Erdwärmetauscher (EWT) sind weitere Versorgungskomponenten (Frostschutz für Plattenwärmetauscher) nicht notwendig.

Jede Wohnung erhält ein eigenes Haustechnikkompaktaggregate (Funktionsweise siehe Anhang) mit Erdreichwärmetauscher. Geringe Zusatzheizungen, z.B. in Bädern, werden als elektrische Direktheizflächen ausgeführt. Die Warmwasserversorgung erfolgt wohnungsweise aus dem Speicher des Kompaktaggregate.

3.1.7.7 Solaranlagen

Es werden zusätzlich zu den genannten Varianten dezentrale Solaranlagen installiert (ca. 1 bis 1,3m² Kollektorfläche pro Person), welche zur Warmwasserbereitung dienen. Die Warmwasserspeicher sind in den zuvor beschriebenen Varianten bereits ausreichend ausgelegt worden.

Die Solaranlagen sind ausschließlich auf eine Deckung des Warmwasserbedarfs ausgelegt. Der Einsatz zur Heizungsunterstützung wurde geprüft. Es können ca. 5% des Heizwärmebedarfs bei Passivhausstandard abgedeckt werden, die Anlagen und Speicher müssten aber dann deutlich größer dimensioniert werden. Die daraus resultierenden spezifischen Wärmemehrkosten sind entsprechend höher und stellen in einer ersten Abschätzung keine wirtschaftlich darstellbare Alternative zum Wärmebezug aus dem Netz dar.

3.2 Ergebnisse für Baufeld Wohnterrassen W5

3.2.1 Heizwärme- und Warmwasserbedarf

Der Heizwärmebedarf wurde abhängig vom energetischen Gebäudestandard nach PhPP berechnet. Der Energiebedarf für Warmwasser ergibt sich aus dem Standardwert der EnEV von 12,5 kWh/(m²a) Nutzenergie. Es wird von einer 100%igen Wohnnutzung ausgegangen. Die folgende Tabelle zeigt den Heizwärme- und Warmwasserbedarf und die Heizlast in Abhängigkeit vom Energiestandard der Gebäude.

Tab. 8 Übersicht über den Heizwärme- und Warmwasserbedarf und die Heizlast für das Baufeld Wohnterrassen – W5 in Abhängigkeit vom Energiestandard der Gebäude

Baufeld	Gebäudestandard	Jahresheizwärmebedarf	JahresWarmwasserbedarf	Heizlast für Heizwärme	Heizleistung für Warmwasser	Gesamtanschlussleistung
	14.658m ²	MWh/a	MWh/a	kW	kW	kW
W5	EnEV:	754,2	263,8	354,3	265,7	620,0
	HD-Standard:	676,5	263,8	325,1	265,7	590,8
	Passivhaus:	217,1	263,8	140,7	265,7	406,4

Der Endenergiebedarf Heizung und Warmwasser ergibt sich aus der Nutzenergie (abhängig vom energetischen Gebäudestandard) zuzüglich der anlagenspezifischen Verluste der Erzeugung, Speicherung und Verteilung.

Anmerkung: Im Falle einer Realisierung des Passivhausstandards für alle Gebäude lässt sich die Gesamtanschlussleistung bei Einsatz von Warmwasser-Schichtenladespeichern (siehe Kapitel 3.1.7.2) deutlich verringern, da aufgrund des guten Dämmstandards die Heizung in den Gebäuden während der Speicherladezeiten abgeschaltet werden kann (Warmwasservorrangschaltung).

3.2.2 Primärenergie- und CO₂ – Bilanz

3.2.2.1 Endenergie-, Primärenergie- und CO₂ – Bilanz ohne Solaranlagen

Die folgende Abbildung zeigt den Endenergie- und Primärenergiebedarf und die CO₂-Emissionen für die verschiedenen Energieversorgungsvarianten.

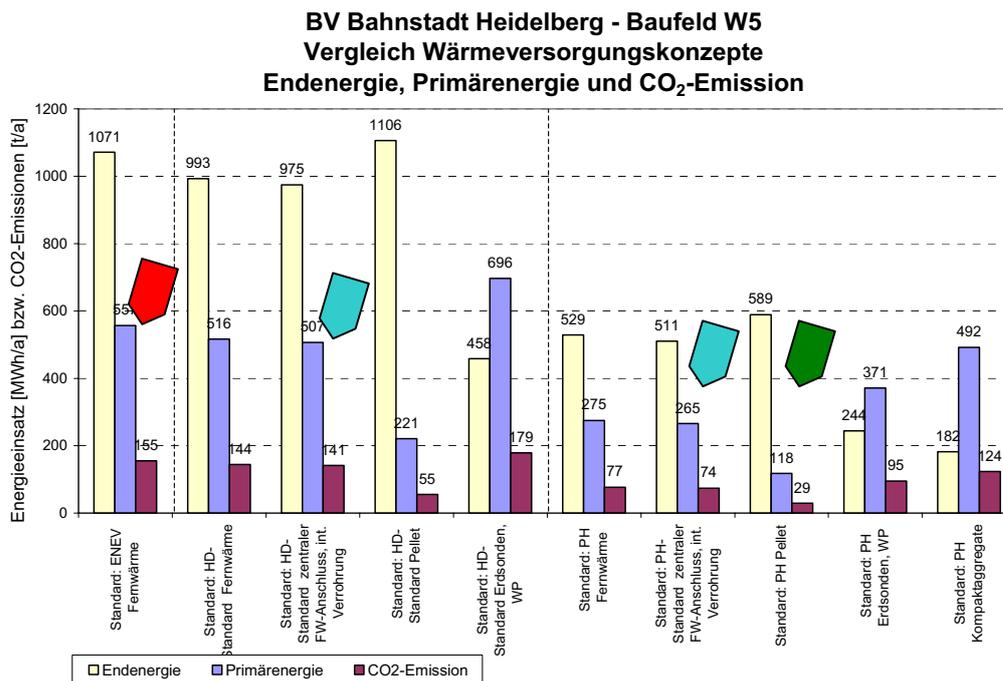


Abb. 10: Ergebnisse der Endenergie, Primärenergie- und CO₂-Bilanz für das Gesamtgebiet. Vergleich verschiedener Versorgungsvarianten.

Bewertung

Primärenergiebedarf und CO₂ - Ausstoß (CO₂ – Äquivalente) sind umso günstiger, je geringer der Wärmebedarf und je höher der Anteil an regenerativer Versorgung der Gebäude ist.

Gegenüber der Basisvariante (EnEV mit Fernwärmeversorgung) kann mit folgenden Maßnahmen der CO₂ – Ausstoß auf ca. 20% gesenkt werden (grüner Pfeil).

- Rein regenerative Versorgung mit Holzpellets
- Passivhausstandard

Anmerkung: Die Verlegung von Fernwärme mit Übergabepunkte an ein internes Fernwärmenetz reduziert den CO₂ - Ausstoß je nach Baustandard zwischen 2% und 4% (blaue Pfeile).

3.2.2.2 Primärenergie- und CO₂ – Bilanz mit Solaranlagen

Die folgende Abbildung zeigt den Primärenergiebedarf und die CO₂-Emissionen für die verschiedenen Energieversorgungsvarianten mit Integration von Solaranlagen für die Warmwasserbereitung.

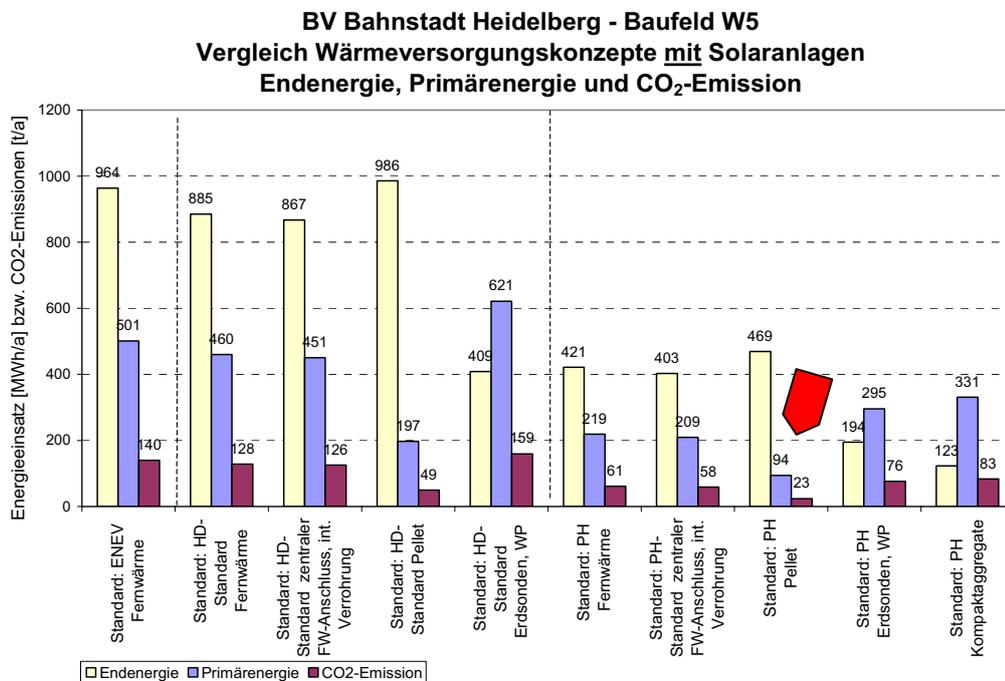


Abb. 11: Ergebnisse der Endenergie-, Primärenergie- und CO₂-Bilanz für das Gesamtgebiet. Vergleich verschiedener Versorgungsvarianten mit Solaranlagen

Bewertung

Gegenüber der Basisvariante in Kapitel 3.2.2.1 (EnEV mit Fernwärmeversorgung ohne Solaranlagen) kann der CO₂ – Ausstoß bei der Realisierung von Passivhäusern durch die Integration von Solaranlagen für die Warmwasserbereitung von 20% auf ca. 15% gesenkt werden (roter Pfeil).

3.2.3 Kosten - Nutzenanalyse

Exemplarisch wurden hierzu die annuitätischen Gesamtkosten (Investition plus Verbrauchs- und Wartungskosten) für die ausgewählten Wärmeversorgungsanlagen und energetische Standards berechnet. Für einen Vergleich wurden daher neben den Investitionskosten auch die Gesamtkosten berechnet.

3.2.3.1 Gesamtinvestitionen

Die folgende Abbildung zeigt die abgeschätzten Investitionen für alle betrachteten Energieversorgungsvarianten ohne Solaranlagen.

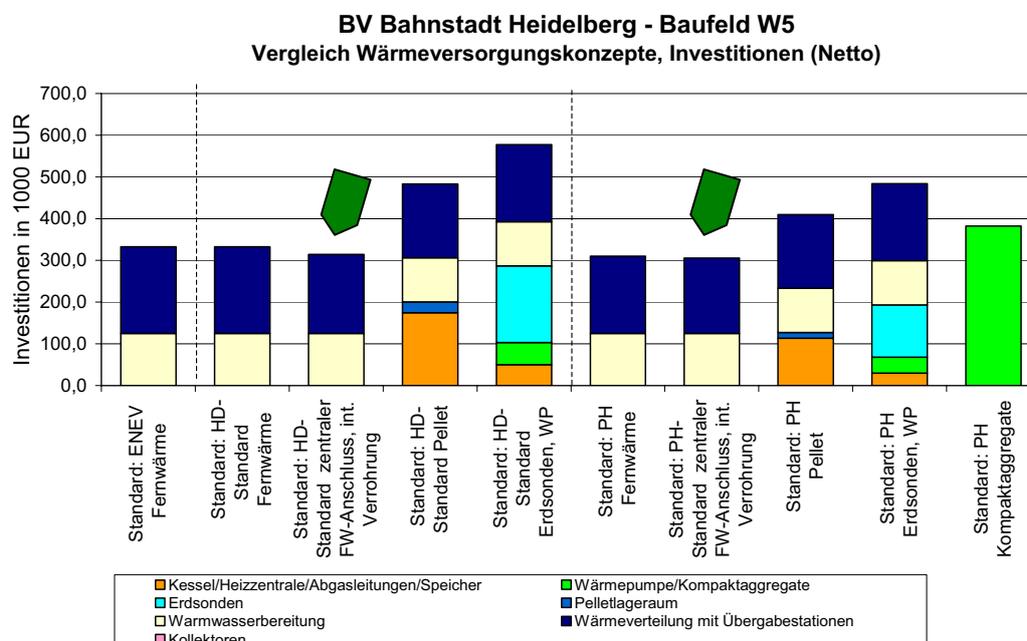


Abb. 12: Vergleich Gesamtinvestitionen verschiedener Versorgungsvarianten ohne Solaranlagen

Bewertung

Betrachtet man die reinen Investitionskosten (ohne Berücksichtigung von Förderungen) so stehen vor allem die Investitionen für Wärmepumpen – Erdsonden ins Auge.

Die Varianten mit einem zentralen Fernwärmeschluss und einem internen Verteilnetz liegen in ähnlicher Größenordnung, wie die direkten Fernwärmeanschlüsse der Gebäude an das Netz der Stadtwerke Heidelberg (grüne Pfeile).

Die reinen Investitionskosten für Holzpelletsanlagen liegen zwischen den Kosten für die Fernwärmeanschlüssen und den Wärmepumpen – Erdsonden.

Bei der Versorgung von Passivhäusern weisen Kompaktaggregate höhere Kosten als die Fernwärmeanschlüsse auf.

3.2.3.2 Jährliche Kosten

Die folgenden Abbildungen zeigt die jährlichen Kosten für alle betrachteten Versorgungsvarianten ohne Solaranlagen.

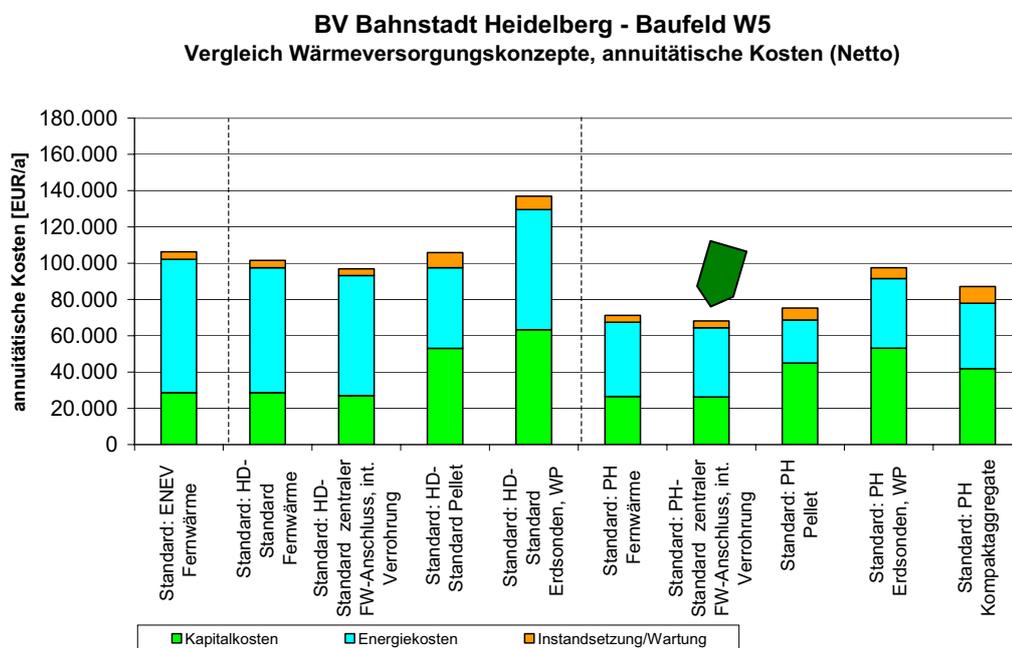


Abb. 13: Jahreskosten Investitionen, Verbrauch und Wartung verschiedener Wärmeversorgungen ohne Solaranlagen

Bewertung

Die Jahreskosten sind umso günstiger, je geringer der Wärmebedarf der Gebäude ist. Einsparung – zunächst vor allem im Verbrauchsbereich kann man durch eine verbesserte Gebäudehülle (KfW 60 und vor allem Passivhaus) erreichen³.

³ Die Mehrkosten der verbesserten Gebäudehülle sind in dieser Aufstellung nicht enthalten!

Insgesamt führt die Variante Passivhäuser mit zentralem Fernwärmeschluss und einem internen Wärmenetz im Baufeld (grüner Pfeil) zu den geringsten Jahreskosten. Die Varianten mit einer Pelletanlage liegen immer noch im akzeptablen Kostenbereich. Am teuersten kommt die Wärmepumpenvarianten, da hier die Kapitalkosten bedingt durch die hohen Investitionen sich negativ bemerkbar machen. Passivhäuser mit Kompaktaggregaten liegen nur etwas über den Jahreskosten für die Holzpelletanlagen.

3.2.3.3 Integration von Solaranlagen

In der Kombination mit allen Varianten ist zwar durch die Integration von Solaranlagen eine weitere Reduzierung der CO₂-Emissionen möglich (siehe Kapitel 3.2.2), jedoch werden z.B. bei den Passivhausvarianten die Jahreskosten durch die Kapitalkosten für die Mehrinvestitionen deutlich (um ca. 20%) erhöht. Die Bewertung der Rangfolge der Varianten ist identisch mit der Bewertung ohne Solaranlagen in Kapitel 3.2.3.2.

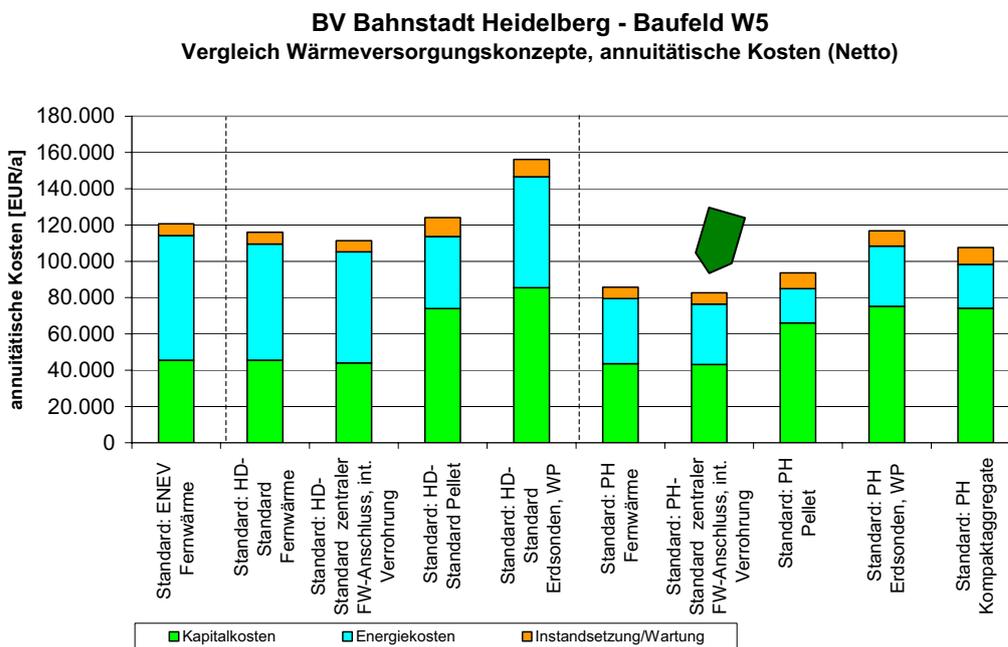


Abb. 14: Jahreskosten der Investition, Verbrauch und Wartung verschiedener Wärmeversorgungen mit Solaranlagen

3.2.4 Ergebnisse und Empfehlungen

- Das Ziel einer möglichst hohen CO₂-Minderung wird durch die Umsetzung von **Passivhäusern** am besten erreicht.
- Weiterhin wird eine hohe CO₂-Minderung durch den Einsatz einer zentralen **Holzpelletanlage** mit einer internen Wärmeverteilung (Miniwärmenetz) erreicht.
- Unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten ist **ein Fernwärmeanschluss pro Baufeld** mit einer internen Wärmeverteilung (Miniwärmenetz) am günstigsten.
- Der Aufbau von internen Wärmeverteilnetzen (Mininetz) ist offen für unterschiedliche Wärmeerzeugungstechnologien (Fernwärme, Pellets) und damit auch **offen für zukünftige Technologien**.
- Der zusätzliche Einsatz von thermischen Solaranlagen reduziert die CO₂-Emissionen weiter, erhöht jedoch die Jahreskosten deutlich.
- Wir empfehlen der Stadt daher
 - in den Blöcken mit der Charakteristik des Baufeldes W5 konsequent nur Passivhäuser umzusetzen,
 - eine regenerative Wärmeversorgung bzw. einen zentralen Fernwärmeanschluss mit einem internen Verteilnetz in jedem Block (Mininetz) aufzubauen und
 - den Einsatz von thermischen Solaranlagen zu unterstützen, aber nicht zu fordern.

3.3 Ergebnisse für das Baufeld Zollhof Süd Z6

3.3.1 Heizwärme- und Warmwasserbedarf

Der Heizwärmebedarf wurde abhängig vom energetischen Gebäudestandard nach PhPP berechnet. Der Energiebedarf für Warmwasser ergibt sich aus dem Standardwert der EnEV von 12,5 kWh/(m²a) Nutzenergie. Es wird von einer 80%igen Wohn- und 20%igen Gewerbenutzung ausgegangen. Die folgende Tabelle zeigt den Heizwärme- und Warmwasserbedarf und die Heizlast in Abhängigkeit vom Energiestandard der Gebäude.

Tab. 9 Übersicht über den Heizwärme- und Warmwasserbedarf und die Heizlast für das Baufeld Zollhof Süd Z6 in Abhängigkeit vom Energiestandard der Gebäude

Baufeld	Gebäudestandard	Jahresheizwärmebedarf	JahresWarmwasserbedarf	Heizlast für Heizwärme	Heizleistung für Warmwasser	Gesamtanschlussleistung
	14.752m ²	MWh/a	MWh/a	kW	kW	kW
Z6	EnEV:	646,1	212,4	324,5	213,9	538,4
	HD-Standard:	613,7	212,4	295,0	213,9	508,9
	Passivhaus:	233,1	212,4	141,6	213,9	355,5

Der Endenergiebedarf Heizung und Warmwasser ergibt sich aus der Nutzenergie (abhängig vom energetischen Gebäudestandard) zuzüglich der anlagenspezifischen Verluste der Erzeugung, Speicherung und Verteilung.

Anmerkung: Im Falle einer Realisierung des Passivhausstandards für alle Gebäude lässt sich die Gesamtanschlussleistung bei Einsatz von Warmwasser-Schichtenladespeichern (siehe Kapitel 3.1.7.2) deutlich verringern, da aufgrund des guten Dämmstandards die Heizung in den Gebäuden während der Speicherladezeiten abgeschaltet werden kann (Warmwasservorrangschaltung).

3.3.2 Primärenergie- und CO₂ – Bilanz

3.3.2.1 Primärenergie- und CO₂ – Bilanz ohne Solaranlagen

Die folgende Abbildung zeigt den Primärenergiebedarf und die CO₂-Emissionen für die verschiedenen Energieversorgungsvarianten.

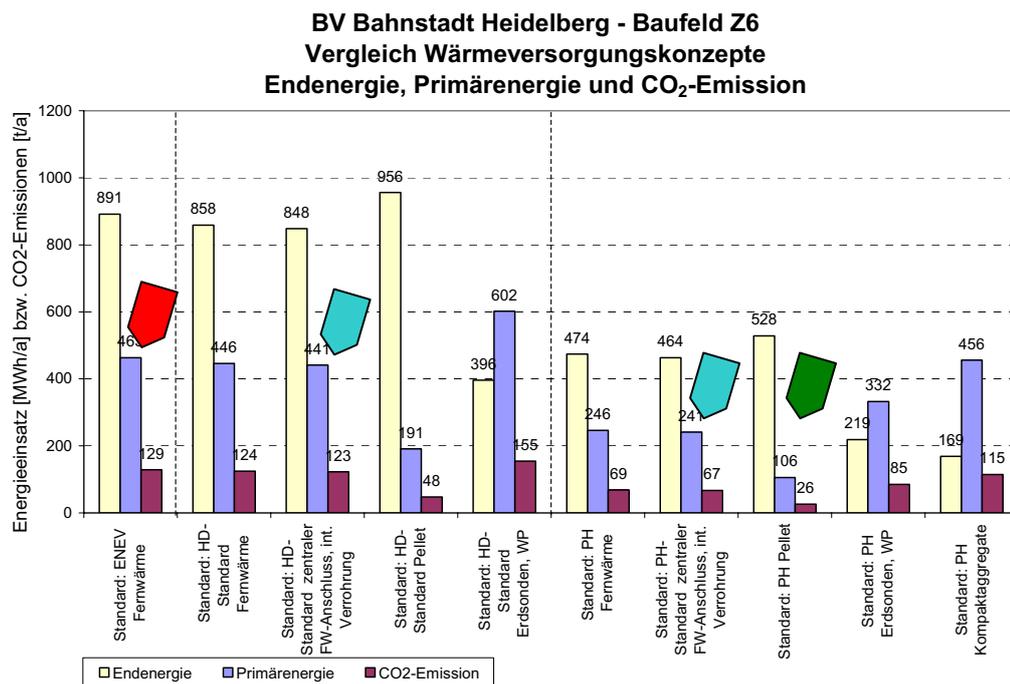


Abb. 15: Ergebnisse der Endenergie, Primärenergie- und CO₂-Bilanz für Zollhof Süd Baufeld Z6. Vergleich verschiedener Versorgungsvarianten.

Bewertung

Primärenergiebedarf und CO₂ - Ausstoß (CO₂ – Äquivalente) sind wie sich bereits in Baufeld W5 zeigte umso günstiger, je geringer der Wärmebedarf und je höher der Anteil an regenerativer Versorgung der Gebäude ist.

Gegenüber der Basisvariante (EnEV mit Fernwärmeversorgung) kann mit folgenden Maßnahmen der CO₂ – Ausstoß auf ca. 20% gesenkt werden (grüner Pfeil).

- Rein regenerative Versorgung mit Holzpellets
- Passivhausstandard

Anmerkung: Die Verlegung von Fernwärme mit Übergabepunkte an ein internes Fernwärmenetz reduziert den CO₂ - Ausstoß je nach Baustandard zwischen 1% und 4% (blaue Pfeile).

3.3.2.2 Primärenergie- und CO₂ – Bilanz mit Solaranlagen

Die folgende Abbildung zeigt den Primärenergiebedarf und die CO₂-Emissionen für die verschiedenen Energieversorgungsvarianten mit Integration von Solaranlagen für die Warmwasserbereitung.

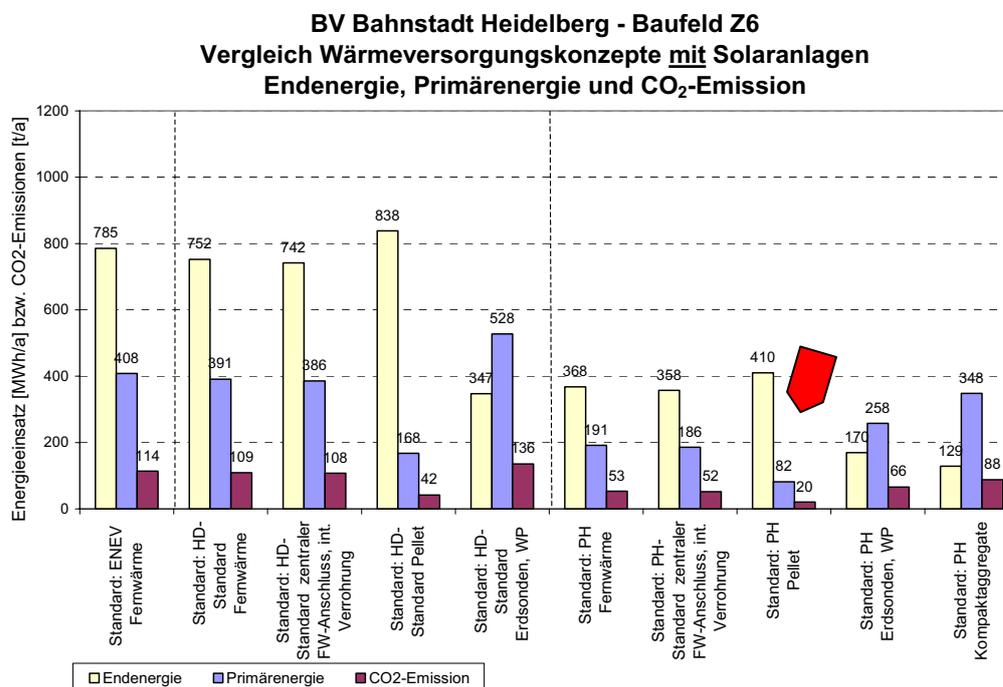


Abb. 16: Ergebnisse der Endenergie, Primärenergie- und CO₂-Bilanz für Zollhof Süd Baufeld Z6. Vergleich verschiedener Versorgungsvarianten mit Solaranlagen

Bewertung

Gegenüber der Basisvariante in Kapitel 3.2.2.1 (EnEV mit Fernwärmeversorgung ohne Solaranlagen) kann der CO₂ – Ausstoß bei der Realisierung von Passivhäusern durch die Integration von Solaranlagen für die Warmwasserbereitung von 20% auf ca. 15% gesenkt werden (roter Pfeil).

3.3.3 Kosten - Nutzenanalyse

Exemplarisch wurden hierzu die annuitätischen Gesamtkosten (Investition plus Verbrauchs- und Wartungskosten) für die ausgewählten Wärmeversorgungsanlagen und energetischen Standards berechnet. Für einen Vergleich wurden daher neben den Investitionskosten auch die Gesamtkosten berechnet.

3.3.3.1 Gesamtinvestitionen

Die folgende Abbildung zeigt die abgeschätzten Investitionen für alle betrachteten Energieversorgungsvarianten ohne Solaranlagen

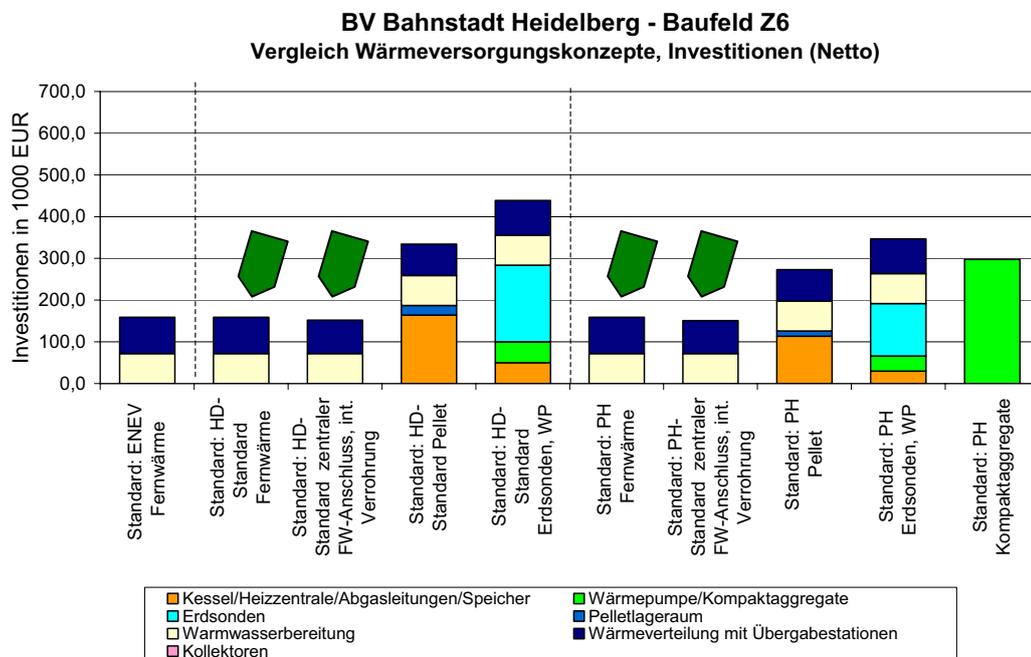


Abb. 17: Vergleich Gesamtinvestitionen verschiedener Versorgungsvarianten ohne Solaranlagen

Bewertung

Betrachtet man die reinen Investitionskosten (ohne Berücksichtigung von Förderungen) so stehen vor allem die Investitionen für Wärmepumpen – Erdsonden ins Auge.

Wie in Baufeld W5 sind beide Varianten Anschluss an die Fernwärme der Stadtwerke Heidelberg von der Kostenseite her fast identisch (grüne Pfeile).

Die reinen Investitionskosten für Holzpelletsanlagen liegen fast doppelt so hoch wie die Kosten für die Fernwärmeanschlüssen. Bei der Versorgung von Passivhäusern weisen Kompaktaggregate ebenfalls höhere Kosten als die Fernwärmeanschlüsse auf.

3.3.3.2 Jährliche Kosten

Die folgende Abbildung zeigt die jährlichen Kosten für alle betrachteten Versorgungsvarianten ohne Solaranlagen.

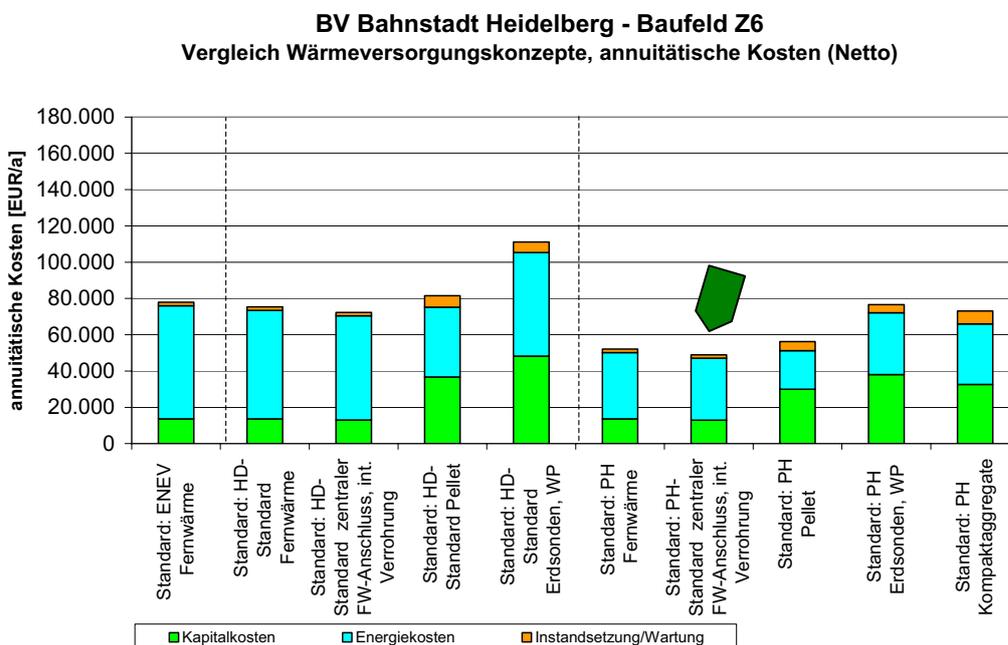


Abb. 18: Jahreskosten der Investition, Verbrauch und Wartung verschiedener Wärmeversorgungen ohne Solaranlagen

Bewertung

Die Jahreskosten sind umso günstiger, je geringer der Wärmebedarf der Gebäude ist. Einsparung – zunächst vor allem im Verbrauchsbereich kann man durch eine verbesserte Gebäudehülle (KfW 60 und vor allem Passivhaus) erreichen⁴.

Insgesamt führt die Variante Passivhäuser mit zentralem Fernwärmeschluss und einem internen Wärmenetz im Baufeld (grüner Pfeil) zu den geringsten Jahreskosten. Im Baufeld Z6 liegen diese beiden Varianten dichter zusammen als im Baufeld

⁴ Die Mehrkosten der verbesserten Gebäudehülle sind in dieser Aufstellung nicht enthalten!

W5, was auf die geringere Zahl der Hausanschlüsse und die höhere Leistungsdichte zurückzuführen ist.

Die Varianten mit einer Pelletanlage liegen immer noch im akzeptablen Kostenbereich. Am teuersten kommt die Wärmepumpenvarianten, da hier die Kapitalkosten bedingt durch die hohen Investitionen sich negativ bemerkbar machen. Passivhäuser mit Kompaktaggregate liegen über den Jahreskosten für die Holzpelletanlagen.

3.3.3.3 Integration von Solaranlagen

In der Kombination mit allen Varianten ist zwar durch die Integration von Solaranlagen eine weitere Reduzierung der CO₂-Emissionen möglich (siehe Kapitel 3.2.2), jedoch werden z.B. bei den Passivhausvarianten die Jahreskosten durch die Kapitalkosten für die Mehrinvestitionen deutlich (um ca. 20%) erhöht. Die Bewertung der Rangfolge der Varianten ist identisch mit der Bewertung ohne Solaranlagen in Kapitel 0.

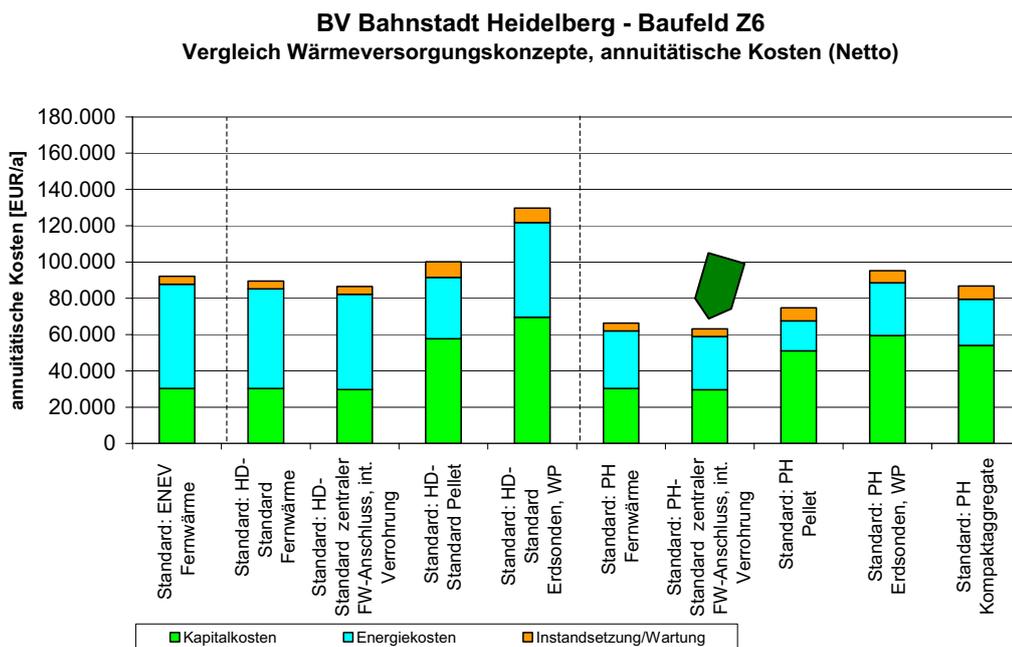


Abb. 19: Jahreskosten der Investition, Verbrauch und Wartung verschiedener Wärmeversorgungen mit Solaranlagen

3.3.4 Ergebnisse und Empfehlungen

- Das Ziel einer möglichst hohen CO₂-Minderung wird durch die Umsetzung von **Passivhäusern** am besten erreicht.
- Weiterhin wird eine hohen CO₂-Minderung wird durch den Einsatz einer zentralen **Holzpelletanlage** mit einer internen Wärmeverteilung (Miniwärmenetz) erreicht.
- Unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten ist **ein Fernwärmeanschluss pro Baufeld** (mit oder ohne einer internen Wärmeverteilung) am günstigsten.
- Der Aufbau von internen Wärmeverteilnetzen (Mininetz) ist offen für unterschiedliche Wärmeerzeugungstechnologien (Fernwärme, Pellets) und damit auch **offen für zukünftige Technologien**.
- Der zusätzliche Einsatz von thermischen Solaranlagen reduziert die CO₂-Emissionen weiter, erhöht jedoch die Jahrekosten deutlich.
- Wir empfehlen der Stadt daher
 - in den Blöcken mit der Charakteristik des Baufeldes Z6 konsequent nur Passivhäuser umzusetzen,
 - eine regenerative Wärmeversorgung bzw. einen zentralen Fernwärmeanschluss mit einem internen Verteilnetz in jedem Block (Mininetz) aufzubauen und
 - den Einsatz von thermischen Solaranlagen zu unterstützen, aber nicht zu fordern.

3.4 Übertragung der Ergebnisse auf die Bahnhsttadt

Im folgenden werden die Ergebnisse für den Wohnbereich aus den Beispielberechnungen für die Baufelder Z6 und W5 und die energetischen Empfehlungen an Nicht-Wohngebäude aus Kapitel 2.1.3 für die gesamte Bahnhsttadt hochgerechnet. Diese Hochrechnung kann im Moment (Planfassung vom 21.9.2007) nur recht unscharf geschehen, da die Struktur der Baublöcke und damit die Nutzungs- und Dichtewerte noch nicht endgültig feststehen. Die derzeit anvisierte weitere Erhöhung der baulichen Dichte würde die Ergebnisse nicht grundsätzlich ändern, da erfahrungsgemäß durch den daraus resultierenden Anstieg der energetische Dichte Wärmeversorgungs-systeme und Leitungsnetze tendenziell wirtschaftlicher werden.

Es wurde nur eine Energie- und Schadstoffbilanz (Raumwärme und Warmwasser) erstellt. Kostendaten lassen sich nicht aus den Beispielberechnungen übertragen, Tendenzen sind jedoch aus den Ergebnissen für die Baufelder W5 und Z6 ableitbar.

Basis ist die detaillierte Aufstellung der Flächen- und Nutzungsdaten aus der Tabelle des Stadtplanungsamtes Heidelberg vom 30.6.2003, die uns als Tabelle vorliegt.

Tab. 10 Aufteilung der Bruttogeschossfläche in der Bahnhsttadt nach Nutzungen, Quelle Stadtplanungsamt 30.6.2003

Bahnhsttadt Bruttogeschossfläche nach Nutzungen			
Quelle: Stadtplanungsamt 30.6.2003			
		m ²	Anteil
Wohnen		301.650	30,8%
Büro		551.598	56,2%
Gewerbe		108.316	11,0%
Kultur/Soziales		19.857	2,0%
Summe		981.421	100,0%

Die folgende Abbildung zeigt die Ergebnisse der Berechnungen der Nutzenergie-, Endenergie-, Primärenergie- und CO₂-Bilanz für die Bahnhsttadt und den Vergleich verschiedener Versorgungsoptionen.

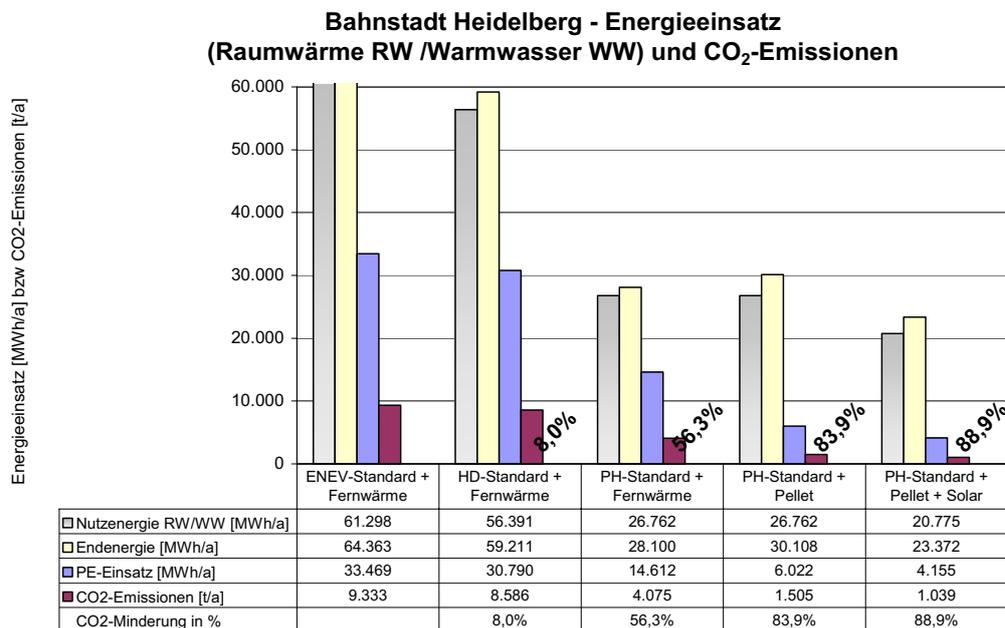


Abb. 20: Ergebnisse der Nutzenergie-, Endenergie-, Primärenergie- und CO₂-Bilanz für die Bahnstadt. Vergleich verschiedener Versorgungsoptionen.

„Business as usual“ ist die flächendeckende Umsetzung des baulichen Standards nach EnEV und Anschluss an die Fernwärme der Stadtwerke Heidelberg. Der Zuwachs der CO₂-Emissionen für die Wärmeversorgung (Strom wird hier nicht berücksichtigt) der Stadt Heidelberg aus der Umsetzung der Bahnstadt wird auf rund 9.300 Tonnen pro Jahr geschätzt.

Die flächendeckende Umsetzung des Passivhausstandards würde dagegen zu einer Reduktion der CO₂-Emissionen um rund 56% auf rund 4.100 Tonnen pro Jahr gegenüber „Business as usual“ führen. Die Zusatzkosten für die Investoren dafür wären, so zeigen die Untersuchungen, wirtschaftlich.

Eine flächendeckende Umsetzung des Heidelberger Standards würde lediglich zu einer Minderung der CO₂-Emissionen aus der Bahnstadt gegenüber „Business as usual“ von rd. 8% (rund 8.600 Tonnen CO₂-Emissionen pro Jahr) führen.

„Best case“: Würde man die gesamte Bahnstadt zusätzlich regenerativ mit Wärme versorgen, so könnten die CO₂-Emissionen aus der Bahnstadt durch Holzpelletheizungen um rund 84% auf unter 1.500 Tonnen pro Jahr und durch zusätzliche Solaranlagen für Warmwasser um rund 89% auf ca. 1.040 Tonnen pro Jahr reduziert werden. Das CO₂-Vermeidungspotenzial aus einer flächendeckenden Realisierung von thermischen Solaranlagen für die Warmwasserbereitung liegt bei ca. 460

t/a. Wir sehen in diesem Potenzial das derzeitige Maximum an CO₂-Minderung, das wirtschaftlich erschlossen werden könnte.

Nach unserer Einschätzung und Erfahrungen sollte in einen so großen und zukunftsweisenden Entwicklungsmaßnahmen der Stadt Heidelberg dieses Ziel angestrebt werden.

Der hin und wieder politisch diskutierte Null-CO₂-Emissions-Stadtteil erfordert über den „best case“ hinaus Kompensationsmaßnahmen, z.B. über den großflächigen Einsatz von Fotovoltaikanlagen mit einer Einspeisung in das öffentliche Netz. Werden hypothetisch ca. 50% der Dachflächen in der Bahnstadt mit PV-Anlagen belegt, so entspräche dies einer Leistung von 5.000 kW_{peak} bzw. einer Jahresarbeit von ca. 4.500 MWh/a. Die CO₂-Kompensation läge bei ca. 2.000 t/a. Die Kompensation der Emissionen aus dem abgeschätzten Strombedarf (17.000 t/a) und aus dem Wärmebedarf (1.000 t/a) beträgt lediglich ca. 10-12%. Weiterer (aufwendiger) Kompensationsaufwand (welcher?) wäre demzufolge notwendig, so dass wir der Stadt Heidelberg empfehlen, das Ziel eines Null-CO₂-Stadtteils nicht weiter zu verfolgen.

Tab. 11 Abschätzung des Strombedarfs in der Bahnstadt und der CO₂-Emissionen bei Strombezug aus dem öffentlichen Netz und Kompensationsmöglichkeit durch Fotovoltaik im Stadtteil

Bahnstadt Heidelberg				Konzept	
Blatt 2 Strombilanz		Bearbeiter		Präffcke	
Energiebedarf (Strom)					
Haustyp	NGF m ²	Spezifischer Strombedarf kWh/m ² a	Jahresstrom-bedarf MWh/a		
Wohnen (BGF)	301.650,0	15,0	4.524,8		
Büro (BGF)	551.598,5	30,0	16.548,0		
Gewerbe	108.315,7	30,0	3.249,5		
Kultur/Soziales	19.856,6	30,0	595,7		
Summe	981.420,9		24.917,9		
Deckung Energie (Strom)					
Haustyp/ Erzeuger	Anteil %	Energieerzeugung MWh/a	Emissionen kgCO ₂ /MWh	Emissionen kgCO ₂ a	
Stromnetz	100,0	24.917,9	680,0	16.944.155,5	
Kompensation (z.B. Einspeisung öffentliches Netz)					
Anlagentyp/ Erzeuger	Leistung kW	Ertrag kWh/(a*kWp)	Energieerzeugung MWh/a	Emissionen kgCO ₂ /MWh	Emissionen kgCO ₂ a
PV Anlagen	5.000,0	920,0	4.600,0	-445,0	-2.047.000,0
				PV Anlage als Gutschrift ggü. Strommix (235kgCO ₂ /MWh - 680kgCO ₂ /MWh)	
Summe Deckung / Kompensation			5.280,0	14.897.155,5	

4 Empfehlungen

1. Ausgehend von den Untersuchungen wird vorgeschlagen, dass im gesamten Gebiet für Wohngebäude als energetischer Standard die Passivhausbauweise festgesetzt wird. Der übliche Grenzwert für den Heizwärmebedarf von $15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ als Nachweisgröße ist einzuhalten.

Nicht-Wohngebäude sollte als energetischer Standard die Passivhausbauweise festgesetzt werden. Auch hier ist der übliche Grenzwert für den Heizwärmebedarf von $15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ als Nachweisgröße einzuhalten.

Begründung: Der vorgeschlagene Passivhausstandard ist an allen geprüften Standorten bedingt durch die bauliche Dichte mit gemäßigt zusätzlichem Aufwand erreichbar. Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zeigt, dass dieser Mehraufwand langfristig wirtschaftlich ist, insbesondere bei zukünftig zu erwartenden Energiepreissteigerungen.

Einschränkungen: Mit etwas erhöhtem Aufwand ist an einigen Wohngebäuden z.B. bei den Wohnterrassen zu rechnen. Bei Nicht-Wohngebäuden mit großen Raumvolumina, Sondernutzungen bzw. sehr unterschiedliche Nutzung ist der übliche Grenzwert für den Heizwärmebedarf von $15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ nicht immer einhaltbar bzw. als Nachweisgröße sinnvoll. Hier ist so gut mit Passivhauskomponenten zu bauen wie möglich.

2. Für die Wärmeversorgung sollte ein Primärenergiefaktor $f_{\text{PE,WV}}$ von $\leq 0,5$ eingehalten werden, unabhängig davon, ob die Wärme zentral oder dezentral auf der Parzelle erzeugt wird.

Begründung: Im Rahmen eines CO_2 -Minderungskonzepts sollte der Primärenergiefaktor der auf dem Grundstück unabhängig vom Nah- oder Fernwärmenetz bereitgestellten Wärme unter dem derzeitigen Wert für Fernwärme aus dem Netz der SWH von 0,52 liegen. Ein Grenzwert von 0,5 für den Primärenergiefaktor $f_{\text{PE,WV}}$ kann mit verfügbarer Technik eingehalten werden.

3. Für dezentrale Kälteerzeugungsanlagen zur Kühlung und Klimatisierung ist eine auf die Nutzenergie bezogene Primärenergie-Aufwandszahl von $f_{\text{PE,KV}} \leq 0,5$ einzuhalten.

Begründung: Wird die erforderliche Kälte im Gebäude erzeugt, sollte der damit verbundene Primärenergieeinsatz und CO_2 -Ausstoß je Energieeinheit deutlich geringer sein, als wenn sie konventionell mit elektrischer Kompressionskälte erzeugt wird.

Wir empfehlen, eine qualifizierte Beratung hinsichtlich einer möglichen Vermeidung des Kühlbedarfs und einer energieeffizienten Kühlung und Klimatisierung für die Planer vorzuschreiben.

4. Es wird vorgeschlagen, begründete Ausnahmen bei nachgewiesener Unwirtschaftlichkeit zu ermöglichen. Ist der Passivhausstandard nachgewiesenermaßen nicht wirtschaftlich, so muss mindestens der Heidelberger Standard bzw. Standard nach KfW 60 Förderung erreicht werden. Voraussetzung ist, dass durch andere Maßnahmen, die über die Mindestanforderungen hinausgehen (z. B. bei der Stromeffizienz) ein vergleichbarer Betrag ggü. Passivhausstandard an Primärenergie eingespart wird.

Begründung: Der Heidelberger Standard ist an allen geprüften Standorten problemlos erreichbar. Dabei ist unter der Annahme einer Versorgung mit Fernwärme aus Wärme-Kraft-Kopplung bzw. Einhaltung des Punkt 2. ($f_{PE,WV}$ von $\leq 0,5$) nur die erhöhte bauliche Anforderung nach EnEV (HT' -30%) zu erfüllen. Die Anforderung an den Primärenergiekennwert wird damit ebenfalls erreicht.

5 Umsetzungsstrategien

In diesem Kapitel werden Umsetzungsstrategien im Hinblick auf die Nutzung von Energie zur Beheizung von Gebäuden und zur Warmwasserbereitung behandelt.

5.1 Was sollte die Stadt regeln?

Umsetzungsziel ist die in Kapitel 3.4 dargestellte Variante „best case“:

- Flächendeckend verbindlich den Passivhausstandard einzuführen.
- Ausnahmeregelungen davon nur mit Nachweise zuzulassen.
- In allen Baufeldern eine zentrale Wärmeversorgung mit einem internen Verteilnetz (Mininetz) aufzubauen.
- Für die Wärmeversorgung generell den Primärenergiefaktor $f_{PE,WV}$ von $\leq 0,5$ zu fordern.
- Ausnahme davon ist ein Anschluss an die Fernwärme der Stadtwerke Heidelberg (derzeitiger $f_{PE,FW}$ von $\leq 0,52$).
- Für dezentrale Kälteerzeugungsanlagen ist eine Primärenergie-Aufwandszahl von $f_{PE,KV} \leq 0,5$ einzuhalten.
- Der Punkt geht einher mit einer verpflichtenden Beratung hinsichtlich Reduzierung bzw. Vermeidung des Kühlbedarfs und einer energieeffizienten Kühlung und Klimatisierung.
- Den Einsatz von thermischen Solaranlagen zu unterstützen, aber nicht zu fordern.

Für energetische Aspekte, die durch diese Empfehlungen nicht geregelt werden, gilt verbindlich die „Energiekonzeption 2004 der Stadt Heidelberg“. Einzelkomponenten brauchen daher nicht weiter gefordert zu werden. Die konkrete Umsetzung der energetischen Zielwerte bleibt dem Investor überlassen bleiben kann. Dies erhöht unseres Erachtens die Akzeptanz der Ziele.

Darüber hinaus schlagen wir vor, die Wärmeversorgungsstrategien gemeinsam mit den Stadtwerken Heidelberg umzusetzen.

Die Umsetzung der Empfehlungen soll mindestens auf städtischen Baufeldern und Grundstücken verbindlich erfolgen. Im Rahmen der Umsetzungsinstrumente wird darauf näher eingegangen. Eine Regelung über Festlegungen im Bebauungsplanverfahren ist zu prüfen.

5.2 Regelungen

Die Umsetzung des Energiekonzeptes kann von der Stadt Heidelberg mit drei unterschiedlichen Instrumenten erfolgen, wobei diese unterschiedliche Ziele und Einflussmöglichkeiten haben.

5.2.1 Bebauungsplan BBP

Der **Bebauungsplan BBP** ist der verbindliche Bauleitplan nach §30 (1) BauGB. Er enthält rechtsverbindliche Festsetzungen für die städtebauliche Ordnung und wird von der Gemeinde aufgestellt.

Ziele:

Ziel des BBP ist es, ein rechtsverbindliches Regelwerk für die lokale bauliche Nutzung eines begrenzten Teilgebiets zu schaffen, sofern dies für die städtebauliche Entwicklung und Ordnung notwendig ist. Die Bauleitpläne (auch VEP s.u.) sind der Raumordnung und Landesplanung anzupassen.

Im Rahmen der Bauleitplanung ist eine Umweltprüfung durchzuführen. Geprüft werden muss unter anderem die sparsame und effiziente Nutzung von Energie und die Nutzung erneuerbarer Energien, sowie der Erhalt bestmöglicher Luftqualität. Umfang und Detaillierung der Ermittlungen werden von der Gemeinde im Einvernehmen mit den Fachbehörden in einem sogenannten „Scoping“ festgelegt.

Einflussmöglichkeiten:

Der BBP regelt die bauliche Nutzung. Damit besteht sehr gute Einflussmöglichkeit auf die aus energetischer Sicht sehr wichtigen städtebaulichen Faktoren der Gebäudedichte, Gebäudekubatur, Gebäudestellung und gegenseitiger Verschattung.

Als Maßnahmen zur Luftreinhaltung können Verbrennungsverbote oder Anschlussgebote (ggf. mit Ausnahmeregelungen) erlassen werden (§9 (1) 23a BauGB). Die Nutzung bestimmter erneuerbarer Energien z.B. Solarenergie kann vorgeschrieben werden (§9 (1) 23b BauGB).

Über die Art und Nutzung der Versorgungsflächen sowie ober- oder unterirdischer Versorgungsanlagen (Versorgungsleitungen) kann Einfluss auf die Errichtung von Heizzentralen, Versorgungsart und Versorgungsstrassen genommen werden. Es können Ausnahmeregelungen z.B. für Baugrenzen zur Ermöglichung von Wärmedämmung oder Solaranlagen getroffen werden.

Einflussgrenzen:

Ob mittels Bebauungsplänen (lokaler Bezug) mit Bindungen direkter Einfluss auf energetische Standards oder Wärmeversorgung (globales Ziel des Klimaschutzes)

über die gesetzlichen Standards hinaus genommen werden kann ist derzeit noch umstritten. Das Rechtsgutachten von Everding⁵ sieht hier keine Hinderungsgründe, eine ausdrückliche Bestätigung der bauleitplanerischen Rechtsbefugnisse durch die Rechtsprechung steht allerdings noch aus. Somit gibt es für frei vermarktete Grundstücke nach unseren Erkenntnissen (noch) keine eindeutigen und verbindlichen Instrumente zur Sicherung eines wärmetechnischen Standards über die gesetzlichen Anforderungen hinaus.

Die Stadt Heidelberg sollte solche Festlegungen vornehmen (lassen) und prüfen. Die Motivationsebene (s.u.), z.B. die Untersuchungsergebnisse aus der Umweltprüfung in den Erläuterungen zum Bebauungsplan als Hinweise aufzunehmen, ist zwar sinnvoll, aber alleinig nicht zielführend.

5.2.2 Vorhaben- und Erschließungsplan VEP

Der **Vorhaben- und Erschließungsplan VEP** ist ein vorhabenbezogener Bebauungsplan nach §30 (2) BauGB in Verbindung mit einem Vorhaben und Erschließungsplan nach §12 BauGB. Der VEP wird (in der Regel von einem) Vorhabenträger erstellt und mit der Gemeinde abgestimmt. Im vorhabenbezogenen Bebauungsplan regelt die Gemeinde rechtsverbindlich die städtebauliche Ordnung für einen Teilbereich im Sinne des VEP. Zur Durchführung des VEP wird ein Durchführungsvertrag nach §12 (1) BauGB mit dem Vorhabenträger geschlossen.

Ziele:

Wie BBP. Im Gegensatz zum BBP wird der VEP mit einem konkreten Vorhabenträger für ein begrenztes Teilgebiet ausgehandelt.

Einflussmöglichkeiten:

Im Bereich der VEP ist die Gemeinde bei der Bestimmung der Zulässigkeit der Vorhaben nicht an die Festsetzung nach §9 BauGB gebunden. Grundlage der Durchführung ist der Durchführungsvertrag. Er ist ein personenbezogener öffentlich-rechtlicher oder zivilrechtlicher, städtebaulicher Vertrag. Dessen Inhalte sind Gegenstand der freien Gestaltung. Mit §11 (1) Zif. 4. BauGB werden insbesondere mit städtebaulichen Planungen verfolgte Ziele betreffend der Nutzung von Versorgungsanlagen (Kraft-Wärme-Kopplung, Solaranlagen) genannt. Da der VEP mit dem Vorhabenträger entwickelt wird und zur Durchführung ein Durchführungsvertrag einvernehmlich abgeschlossen wird, ist es möglich, weitergehenden Einfluss als im BBP zu nehmen, also z.B. auch energetische Bindungen aufzunehmen.

⁵ Everding, Dr Dagmar, Prof. Alexander Schmidt. Zusammenfassung und Thesen zum Rechtsgutachten: Energieeffizienz und Solarenergienutzung in der Bauleitplanung. ECOFYS PJ PEPLDE62052, Köln 2.10.2006

5.2.3 Privatrechtliche Verträge nach BGB

Privatrechtliche Verträge nach BGB unterliegen der Vertragsfreiheit. Sie können Vereinbarungen enthalten, die sich über den Bebauungsplan (per Satzung) nicht regeln lassen. Sie sind daher für die Durchsetzung einer Bindung an energetische Standards oder bestimmte Wärmeversorgungsvarianten sinnvoll. Voraussetzung ist, dass überhaupt Einfluss auf die Vertragsgestaltung (den Kaufvertrag) genommen werden kann, was in der Regel bedingt, dass das Grundstück oder die Liegenschaft im Eigentum der Stadt oder einer städtischen Gesellschaft ist.

Der Grundstücksverkauf kann meist leichter über eine städtische Entwicklungsgesellschaft abgewickelt werden.

5.3 Motivation, Marketing und Information

5.3.1 Hilfestellungen bei der Umsetzung von ambitionierten energetischen Standards

Es ist sehr sinnvoll, **Passivhäuser architektonisch attraktiv** zu gestalten. Dies kann für städtische Liegenschaften z.B. über Wettbewerbe, Mehrfachbeauftragungen etc. forciert werden. Es ist sinnvoll, einen kombinierten Investoren/Architekten-Wettbewerb für einzelne Baufelder mit den Schwerpunkten Kosten und Gestaltung von Passivhäusern auszuloben. Diese Vorgehensweise wurde z.B. im Wettbewerb „Fellbacher Straße“ in Fellbach gewählt. Die Betreuung der Umsetzung und die Einhaltung des Passivhausstandards kann bis zur Baugenehmigung z.B. durch einen Fachbeirat erfolgen.

Parallel zur Entwicklung eines Baugebiets sollte frühzeitige **Information, Motivation und Beteiligung** von Investoren, Planern und Bauherren als wichtige Voraussetzungen für Akzeptanz und damit erhöhte Umsetzung erfolgen. Gute Erfahrungen konnten bisher dort gemacht werden, wo Investoren frühzeitig in die Diskussion um die energetischen Ziele mit einbezogen wurden. Wir schlagen daher vor, ein „Round-Table-Gespräch“ zu initiieren und kostenlose Energieinformationen für private Bauherren und deren Architekten anzubieten.

Beratungen sollten auch im Hinblick auf die Fördermöglichkeiten der Förderbank / Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) erfolgen.

Der jährlich bundesweit begangene „Tag des Passivhauses“ (Im Internet unter www.ig-passivhaus.de) bietet für private Bauherren und Investoren eine gute

Möglichkeit der Vor-Ort-Information. Die Objekte sind in einer jährlich aufgelegten Broschüre dokumentiert.

In einer **Präsentation des Baugebietes** in Broschüren, bei Veranstaltungen oder im Internet sollten die Energieaspekte an exponierter Stelle dargestellt werden.

5.3.2 Architekten und Fachplaner

Über 6.000 europaweit realisierte Wohneinheiten im Passivhausstandard zeigen, dass der Standard auf breiter Basis akzeptiert und dass ein verbreitet nutzbares Potential an Architekten und Fachplanern vorhanden ist.

Der Markt der passivhaustauglichen Komponenten wie Lüftungsanlagen, Fenster, Dämmsysteme etc. bietet heute eine ausreichende Auswahl an ausgereiften Produkten und Komponenten, welche auch zu adäquaten Preisen erhältlich sind. Das Passivhaus als Baustandard hat damit längst den Bereich des „Labormusters“ verlassen. Die Bauweise ist erprobt und kann als Stand der Technik angesehen werden.

Allerdings setzt das Passivhaus eine konsequente und hochwertige Planung und Ausführung aller baulichen und haustechnischen Komponenten voraus. Das entsprechende Know-how hierfür kann derzeit bei Architektenschaft und Handwerk noch nicht als Allgemeingut vorausgesetzt werden. Daher sind **Informations- und Weiterbildungsprojekte** notwendig. Hier ergeben sich gute Anknüpfungspunkte über bestehende Angebote des Amtes für Umweltschutz, Gewerbeaufsicht und Energie, der lokalen Architekten-Kammergruppe und der Kreishandwerkerschaft.

Eine kontinuierliche und sachkundige Begleitung und Kontrolle der Bauprojekte von der Entwurfsphase bis zur Bauabnahme ist für eine hohe Qualität wichtig. Wir empfehlen, bereits in frühen Planungsphasen sachkundige Ingenieurbüros für Beratung, Konzepte etc. zu beteiligen.

5.3.3 Umsetzung zentraler Wärmeversorgungskonzepte

Die **Umsetzung von Mininetzen in Baufeldern oder begrenzten Teilgebieten** ist als optimierte Fernwärmeversorgung direkt von den Stadtwerken Heidelberg realisierbar und dann ggf. auch durch eine Fernwärmesatzung mit einem ein Anschluss- und Benutzungszwang abzusichern. Neben dieser öffentlich-rechtlichen Regelung könne Konzeptionen auch durch vertragsrechtlichen Regelung umgesetzt werden. Wir schlagen zusätzlich vor, für diesen Bereich ebenfalls gezielt motivierte Baugesellschaften oder Investoren anzuwerben. Diese können eine solche Anlage entwe-

der in Eigenregie, mit einem Contracting-Unternehmen oder mit den Stadtwerken Heidelberg betreiben. Die Stadt könnte z.B. gemeinsam mit den Stadtwerken Heidelberg ein Produkt entwickeln, das den Investoren in der Bahnhofstadt mit der Erschließung angeboten wird.

5.4 Erfahrungen anderer Gemeinden

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

- Ulm (Qualitätssicherung für die Passivhäuser im Sonnenfeld),
<http://www.expo.ulm.de/index.html?1>,
- Esslingen am Neckar (Gestaltungsbeirat für die Sonnensiedlung Egert)
http://www.esslingen.de/servlet/PB/menu/1175088_11/index.html,
- Fellbach (kombinierter Investoren/Architekten-Wettbewerb für die Passivhäuser Schmiedener Strasse),
- Freiburg (Qualitätssicherung im Rieselfeld und Vauban-Areal),
- Wohnbaugrundstück für die ökologisch-ökonomische Siedlung Fasanerie in der Stadt München (Vergabe nach ökonomischen und ökologische Kriterien)
<http://www.muenchen.de/Rathaus/kom/immobilien/kaufverkauf/kvwohnen/schnepfenweg/146819/index.html>
- Tübingen (Vergabe an ambitionierte Baugruppen im Mühlenviertel)
http://www.tuebingen.de/index_14450.html

5.5 Empfehlungen für die Umsetzung

Im Folgenden sind Maßnahmen schlagwortartig zusammengefasst, die aus Sicht der Autoren von der Stadt durchgeführt oder initiiert werden sollten. Der Katalog bedarf einer gemeinsamen Diskussion und ist als derzeitige Momentaufnahme zu verstehen.

Nr.	Kurztitel
Regelungen	
1	Energetische Stellungnahmen zu jedem Bebauungsplan für die Umweltprüfung nach BauGB. Prüfung der Möglichkeit der Festlegungen im Bebauungsplan.
2	Sicherung der Versorgungsflächen für die Heizzentrale und Versorgungsstrassen

	(Konzept Mininetz) in jeden Bebauungsplan.
3	Prüfung der Notwendigkeit von Ausnahmeregelungen in den einzelnen Bebauungsplänen bei der Überschreitung der Grundstücksgrenzen durch erhöhte Wärmedämmung bei der Umsetzung von Passivhäusern / KfW40.
4	Verkauf der stadteigene Grundstücke generell mit Bindung an den Passivhausstandard und das Konzept eines Mininetzes mit einem Primärenergiefaktor von $f_{PE,WV} \leq 0,5$ bzw. Anschluß an die Fernwärme der Stadtwerke Heidelberg ($f_{PE,WV} \leq 0,52$).
4a	Sicherung der Grundstücksoptionen für die Stadt durch Erwerb oder Umlegung der Grundstücke. Priorität haben die Baufelder der Wohnterrassen W5 und im Zollhof Süd Z5 bis Z7.
5	Sofern ein Vorhaben- und Erschließungsplan (VEP) zwischen Stadt und einem Vorhaben-träger geschlossen werden soll, sind die Ziele des Energiekonzeptes als energetische Bindungen mit aufzunehmen bzw. zu verhandeln.
6	Aufbau eines Qualitätssicherungsverfahrens zur Einhaltung der von den Investoren vertraglich zugesicherten energetischen Standards.
Motivation, Marketing und Information	
1	Marketingkampagne für die gesamte Bahnstadt mit Akzent auf Energie. Ziel ist es, dass Bahnstadt eine „Marke“ für energiesparendes und umweltgerechtes Bauen werden soll.
2	Marketing- und Informationskampagne mit Zielgruppe private Bauherren, Investoren und Architekten mit Schwerpunkt Passivhäuser und Qualitätssicherung.
3	Informationskampagne für Investoren z.B. durch einen „Investoren-Stammtisch“ auf Stadtebene zur Einbindung (auch) in die energetische Zielsetzung.
4	Aufbau einer zentralen Energieberatung für Bauherren, Investoren und Architekten z.B. auch im Rahmen einer möglichen Bauberatung für die Bahnstadt. Diese (stadtinterne oder auch externe) Stelle sollte eng mit dem Qualitätssicherungsverfahren verknüpft werden.
5	Zusammenarbeit mit der Kreishandwerkerschaft, Architektenkammergruppe, Ingenieurkammer und Stadtwerken Heidelberg zur Motivation und Sensibilisierung zu den Themen Passivhäusern und Qualitätssicherung.
6	Abstimmung der Versorgungsstrategie aus der Energiekonzeption mit den Stadtwerken Heidelberg und Entwickeln einer gemeinsamen Strategie (z.B. Wärmelieferung aus Mininetzen mit Holzfeuerungsanlagen bzw. Fernwärme).
7	Implementierung eines Fachbeirates für die Bahnstadt mit einem stimmberechtigten Vertreter für Energie.
8	Evaluation des Konzeptes nach ca. 2 Jahren.
9	Flankierend eine Intensivierung der Pressearbeit.

Anhang

1 Energetische Optimierung und Stadtplanung

Die lokalen Potentiale sollen für globale Klimaschutzziele genutzt werden, das bedeutet als Ziel eine hohe Reduktion der CO₂-Emissionen. Die Umsetzung der Maßnahmen muss auf der anderen Seite zu vertretbaren (Mehr)Kosten für die Betreiber möglich sein. Maßnahmen sind auf drei Ebenen sinnvoll:

- **Energetische Optimierung der Stadtstruktur:** Kompakte und damit energiesparende städtebauliche Anordnung der Baukörper bei geringer Verschattung und damit guter Nutzung der solaren Einstrahlung.
- **Hoher energetischer Standard in jedem Gebäude:** Reduzierung des Energieverbrauchs für Raumheizung, Warmwasser, ggf. Kühlung und elektrische Anwendungen.
- **Energieversorgung mit hoher Effizienz und geringer Umweltwirkung:** Effiziente Einzelversorgung und verlustarme zentralisierte Lösungen mit hohem Anteil von erneuerbaren Energiequellen.

1.1 Wärmetechnische Standards in Deutschland

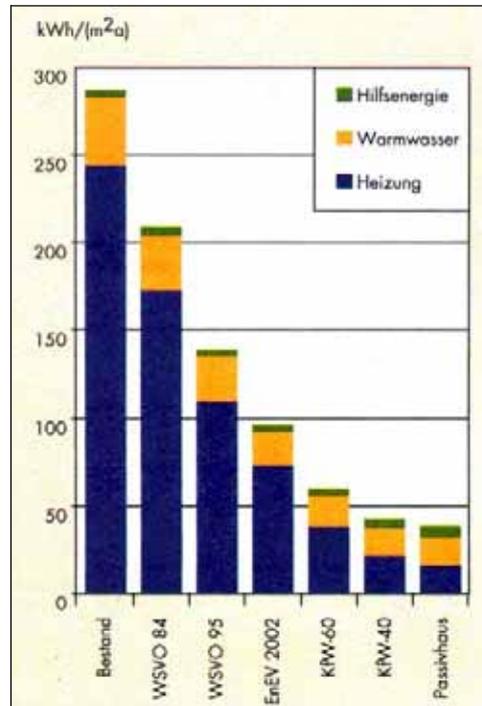


Abb. 21: Überblick wärmetechnische Standards in Deutschland. Quelle: BINE

Der Durchschnittswert des Heizwärmebedarfs im Bestand der Gebäude der Bundesrepublik Deutschland liegt heute bei ca. 250 bis 300 kWh/(m²a). Sowohl im Neubaubereich, als auch im Bereich der (energetisch hochwertigen) Sanierung können weit geringer Verbräuche realisiert werden. In der Bundesrepublik haben sich daher zwischenzeitlich die folgenden Standards etabliert (Abb. 1):

- **Energieeinsparverordnung (EnEV):** der gesetzliche Standard bei Neubau und Sanierung, die Anforderungen beziehen sich auf den Primärenergiebedarf und als Nebenanforderung auf den mittleren Transmissionskoeffizienten eines Gebäudes. Bei Sanierungen gelten Anforderungen an die sanierten Bauteile. Die Anforderungen sind abhängig von Hüllflächen/Volumen-Verhältnis (A/V). Gebäude nach EnEV haben (Abhängig von der Gebäudegröße und Haustechnik) einen Heizwärmebedarf von ca. 70 bis 90 kWh/(m²a).
- **Niedrigenergiehäuser (NEH)** sind heute Stand der Technik. Die Anforderungen an den baulichen Wärmeschutz sind gegenüber den Anforderungen der EnEV noch etwas strenger. Niedrigenergiehäuser haben einen Heizwärmebedarf von ca. 70 kWh/(m²a).
- **KfW60 oder NEH+:** Dieser Standard wird durch die Förderrichtlinien der Kreditanstalt für Wiederaufbau definiert. Der Primärenergiebedarf eines

Gebäudes wird dabei auf 60 kWh/(m²a) nach EnEV begrenzt. Zugleich darf der Transmissionskoeffizient der wärmeübertragenden Hüllfläche (H_T') nur 70% des Werts nach EnEV erreichen. Teilweise regenerative Versorgung ist zum Erreichung der Anforderungen hilfreich, manchmal sogar notwendig. Die baulichen Anforderungen werden auch durch das RAL Gütesiegel „Qualitätsgeprüfte Niedrigenergiehäuser“ definiert. Optimierte Niedrigenergiehäuser nach KfW60 erreichen in der Regel einen Heizwärmebedarf von 30 bis 50 kWh/(m²a).

- **KfW40 und Passivhäuser (PH):** Diese beiden leicht unterschiedlichen Definitionen des etwa gleichen energetischen Niveaus werden hiermit gemeinsam behandelt, da die KfW-Förderbank beide in einem gemeinsamen Förderprogramm KfW40/Passivhäuser aufführt. Bei KfW40 darf der Primärenergiebedarf nach EnEV (für Heizung und Warmwasserbereitung) 40 kWh/(m²a) nicht überschreiten. Darüber hinaus darf der mittlere Transmissionskoeffizient H_T' nur 55 % des Werts nach EnEV erreichen – das entspricht etwa den baulichen Anforderungen des Passivhauses. Die Anforderung an ein Passivhauses wird dagegen durch die Begrenzung des Heizwärmebedarfs auf maximal 15 kWh/(m²a) (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. Das Förderprogramm der KfW-Förderbank begrenzt zusätzlich den Primärenergiebedarf für Heizung und Warmwasserbereitung auf 40 kWh/(m²a). Bei beiden Ansätzen werden Wärmeverluste durch optimierten Wärmeschutz konsequent minimiert werden. Die Fenster werden in der Regel mit hoch-wärmegeämmte Rahmen und Dreischeiben – Wärmeschutzverglasung ausgeführt. Lüftungswärmeverluste werden durch eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung minimiert. Zur Erwärmung der Räume werden die solaren Wärmegewinne durch die Fenster sowie die innere Wärmequellen genutzt. Passivhäuser / KfW40 – Häuser weisen einen sehr hohen raumklimatischen Wohnkomfort auf. Das Konzept ist erprobt und kann als Stand der Technik angesehen werden. Teilweise regenerative Versorgung ist zum Erreichen des KfW60-Standards hilfreich, da hierdurch die Primärenergieanforderungen leichter erreicht werden können.

Heidelberger Standard

Die Stadt Heidelberg schreibt in Ihrer Energiekonzeption von 2004 die erste Heidelberger Energiekonzeption von 1992 fort. Im „**Heidelberger Standard**“ wird festgelegt, dass der spezifische Primärenergiebedarf Q_p bei Neubauten nur 75 % des Wertes nach EnEV betragen darf. Der mittlere, auf die wärmeübertragende Hüllfläche bezogene Transmissionswärmekoeffizient H_T' darf nur 70% des Wertes nach EnEV betragen. Damit entspricht der Heidelberger Standard in etwa dem

KfW60 / NEH+ -Standard. Die Einhaltung des Heidelberger Standards ist in Heidelberg Pflicht.

1.2 Begriffe und Energetische Größen

Das Außenflächen / Volumenverhältnis **A/V** (Einheit 1/m) ist ein Maß für die Kompaktheit der Gebäudehülle (Abb. 22). Bei gleicher Außenhülle haben kompaktere Gebäude einen niedrigeren Energieverbrauch als weniger kompakte.

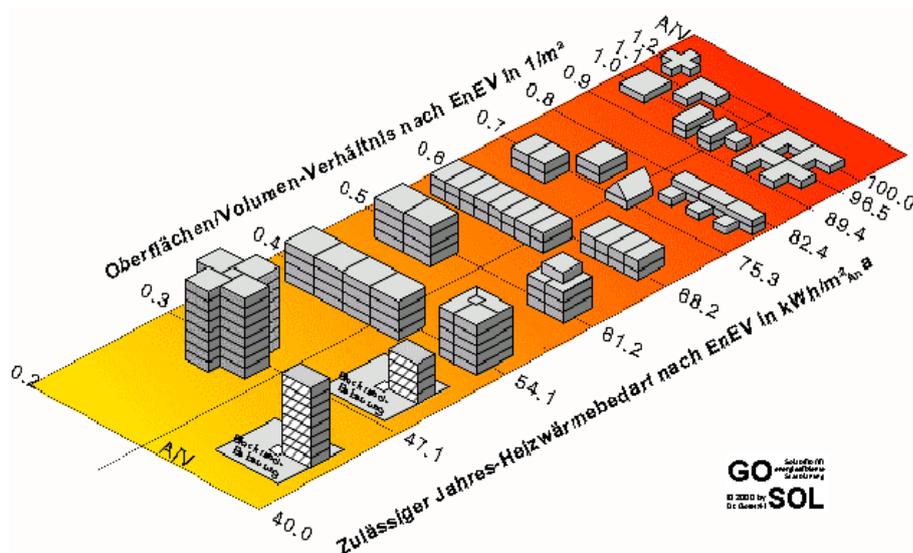


Abb. 22: Überblick: A/V – Verhältnis ausgewählter Kubaturen (Quelle GoSol Dr. Goretzki, z.B. in [PlanSonne])

Bei der Benennung **energetischer Größen** meint *Verbrauch* gemessene Größen. So ist z.B. der Endenergieverbrauch Gas eine am Zähler ablesbare Größe. Berechnete energetische Größen mit werden dagegen mit *Bedarf* bezeichnet. Der oben genannte Heizenergiebedarf (oder Heizwärmebedarf) ist z.B: 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 (Megajoule MJ/a oder 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/(m²a)). Für die Versorgung, insbesondere bei zentralen Varianten, ist neben der Jahresarbeit die nachgefragte Leistung wichtig. Sie wird in MW angegeben. Folgende Begriffe sind im Zusammenhang mit der Beurteilung des Energiebedarfs gebräuchlich:

- **Nutzenergiebedarf:** Errechnete Menge an Energie (oder Wärme), die von der Heizungs- oder Warmwasseranlage geliefert wird.
- **Endenergiebedarf:** Das der Heizung, Warmwasseranlage oder auch elektrischem Gerät jeweils zugeführte Menge an Öl, Gas, Strom usw. Der Endenergiebedarf enthält also 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 also neben den anlagenspezifischen Verlusten auch die bei der Erzeugung und Verteilung auftretenden Verluste wie z. B. die Verluste bei der Stromerzeugung im Kraftwerk und Verteilung im Stromnetz. Der Primärenergiekennwert ist der eigentlich umweltrelevanter Wert, daher bezieht sich auch die Energieeinsparverordnung darauf.
- **Anlagenaufwandszahl:** (Primärenergiebezogene). Das Verhältnis von Nutzenergiebedarf zu Primärenergiebedarf, abhängig vom Energieträger, den Anlagendaten der Wärmeerzeugung, sowie dem Betrieb der Anlage (der wesentlich vom Wärmebedarf) bestimmt wird.

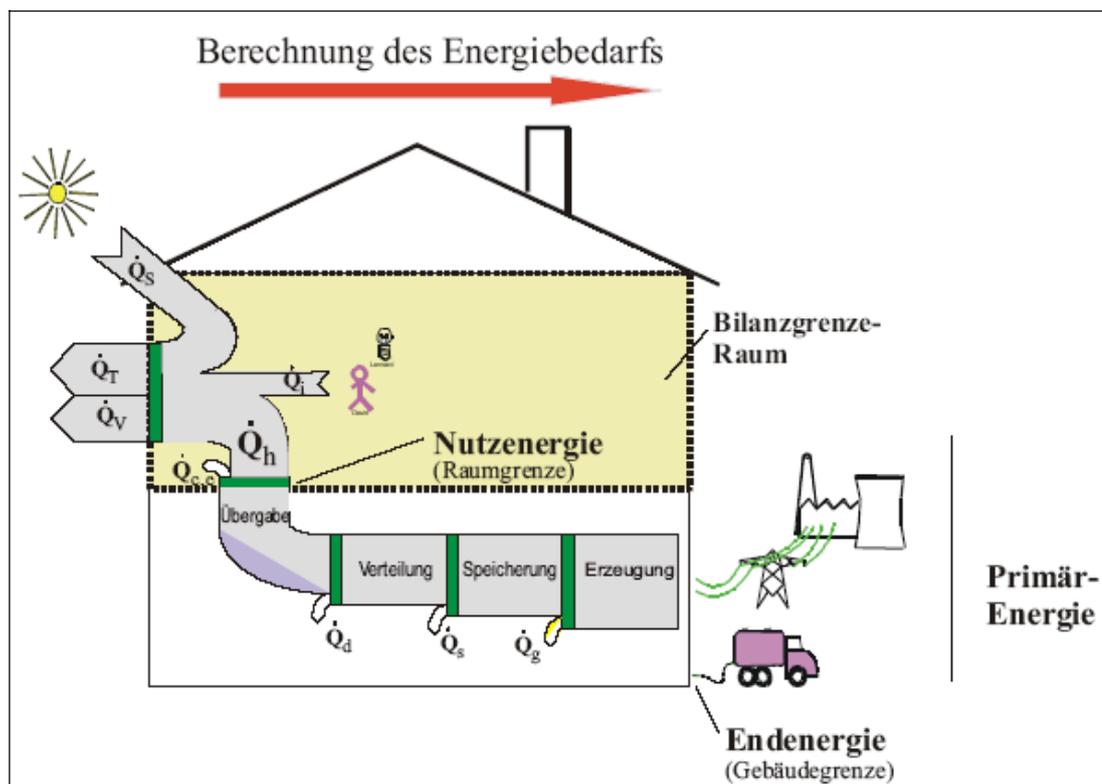


Abb. 23: Berechnung des Energiebedarfs in Richtung der Bedarfsentwicklung sowie Bilanzgrenzen.
Quelle [DIN V 4701-10:2003].

Das **CO₂ – Äquivalent** ist Summe der Treibhauseffekte – wirksamen Emissionen, welche die gleiche Wirkung wie die angegebenen Menge CO₂ besitzt. Das CO₂ – Äquivalent wird spezifisch für jeden Brennstoff angegeben. Damit lassen sich die Äquivalentmengen und damit die Umweltwirksamkeit eines (End-) Energieverbrauchs angeben und bewerten **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden..**

1.3 Städtebauliche Einflussfaktoren

Der städtische Entwicklungsraum bietet durch Gestaltungsspielraum im Rahmen der Stadtplanung und Stadterneuerung eine große Zahl von Steuerungsinstrumenten. Abb. 24 zeigt die Möglichkeiten, im Prozess der Stadt- und Bauleitplanung auf den Energieverbrauch und damit die Emissionen eines Baugebiets Einfluss zu nehmen.

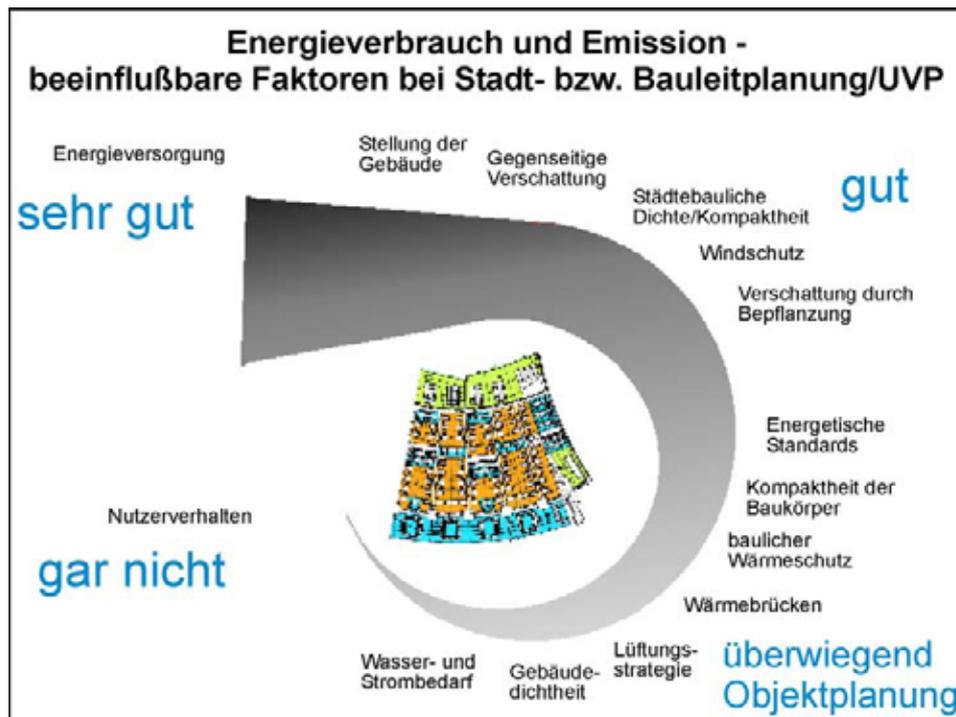


Abb. 24: Einflussfaktoren auf den Energieverbrauch und die Emissionen einer Stadt bzw. Siedlung.

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

1. Städtebauliche **Kompaktheit**, Dichte der Bebauung und Kompaktheit der einzelnen Baukörper. Der maßgebliche Kennwert ist das Verhältnis von wärmeübertragender Hüllefläche zum dadurch umfassten Volumen (A/V).
2. Stellung der Baukörper bzw. **Orientierung** der Hauptfassaden- und Fensterflächen zu Sonne. Günstig sind hier südorientierte Ausrichtungen.
3. 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:

4. 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:

5. Die Bereitstellung geeigneter Dachflächen (Ausrichtung, Neigung, Höhenentwicklung) für die Aufstellung von **solarthermischen Anlagen** und **Photovoltaik**.
6. **Integration der Versorgungseinrichtungen**, beispielsweise durch Ausweisen von Flächen für zentrale Versorgungseinrichtungen (Holzhackschnitzelanlage) und Logistik.
7. **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 Niedrigenergie- bzw. Passivhausstandards.

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

1.4 Methodik der Berechnungen

Energiekennwerte werden mit dem Verfahren nach Energieeinsparverordnung (EnEV) in Verbindung mit dem Diagrammverfahren der Anlagenbewertung nach [DIN V 4701-10:2003] nachgewiesen. Im Bereich des energetischen Standards von KfW60 und Passivhäusern werden Energiekennwerte basierend auf dem Verfahren nach PHVP (Passivhaus-Vorprojektierung) berechnet. Hierbei wird auch die Verschattungssituation im städtebaulichen Kontext unter Zugrundelegung einer konkreten Kubatur berücksichtigt.

Die Bewertung wird anhand von Mustergebäuden in – aus energetischer Sicht - exponierter städtebaulicher Stellung vorgenommen.

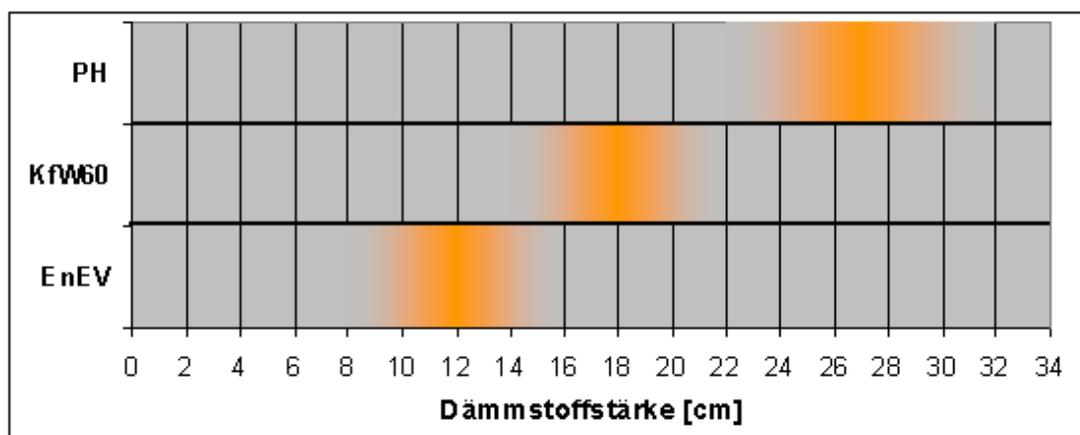


Abb. 25: Aufwand für baulichen Wärmeschutz: Orientierungswerte der zum Erreichen des jeweiligen Standards notwendigen Dämmstärken

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 Standards unter den gegebenen städtebaulichen Aspekten eingehalten werden soll. Es ist klar, dass die Dämmstoffstärke der Außenwand nicht als einziger Parameter variiert wird. Der Wärmeschutz in Dach, Boden, Fenster etc. wird bei der Berechnung gleichermaßen angepasst. Neben dem baulichen Standard spielt auch die Güte der Haustechnik eine Rolle.

2 Energieversorgung

Bei der Versorgung eines Baugebiets 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/(m²a) Nutzenergie angenommen.

Von einer Vielzahl von Anbietern von Sanitärarmaturen werden heute technische Lösungen angeboten, die den Wasserdurchfluss der Armaturen begrenzen, ohne dass dabei Komforteinbußen hinzunehmen sind. In der Literatur werden für einen solchen wassersparenden Haushalt ca. **40 Liter pro Person und Tag** bei 45° Warmwasserzapftemperatur angegeben (Spar-Variante); dieser Wert kann jedoch nutzerbedingt im Einzelfall stark schwanken.

Haushaltsstrom wird im wesentlichen für haushaltstechnische Anwendungen (Licht, Waschen, Kühlen etc.) benötigt. Im Neubaubereich ist eine höhere Ausstattung mit elektrischen Geräten als im Bundesmittel üblich. Zudem werden Haushaltsgroßgeräte beim Umzug teilweise durch neue ersetzt. Es wird unterschieden nach durchschnittlichen Geräten und sparsamen, marktgängigen Geräten. Ziel wäre der konsequente Einsatz von marktbesten Elektrogeräten, wie sie z.B. in Gerätelisten des Niedrigenergie-Instituts Detmold veröffentlicht sind. 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 Nutzer 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.

2.1 Verschiedene Wärmeversorgungen

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

2.1.1 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 Gebäude ab. Bei der direkten Versorgung wird auf die Übergabestation verzichtet. Diese Lösung ist zwar kostengünstiger, beinhaltet jedoch diverse technische Nachteile.

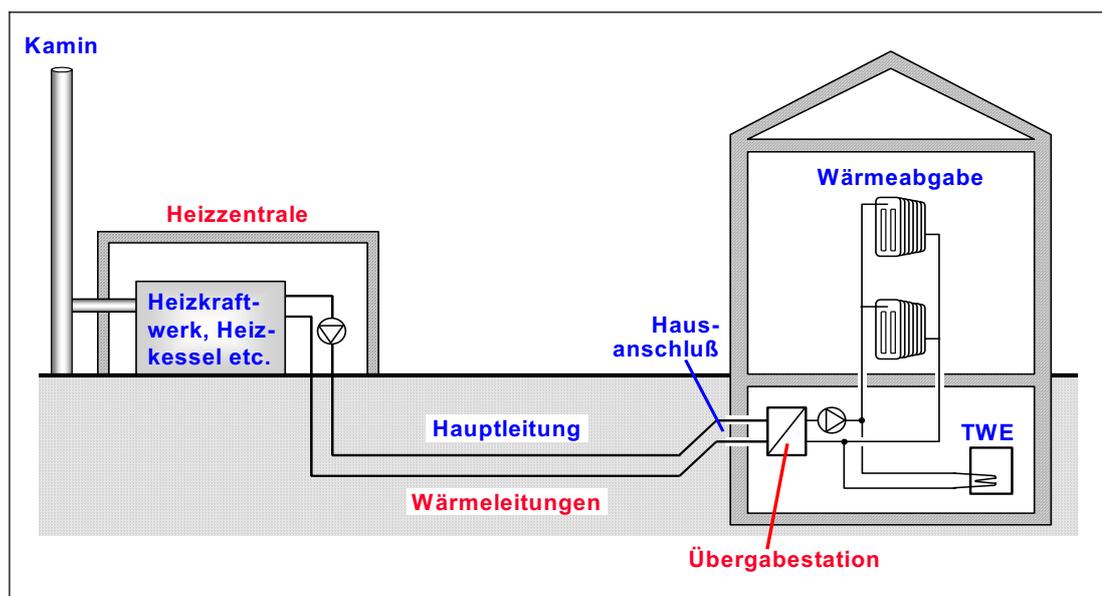


Abb. 26: Wesentliche Teile eines Nahwärmeversorgungssystems

Die zentrale Versorgung bietet gegenüber der dezentralen Lösung Vorteile:

- Hohe Effektivität, da größere Erzeuger und im Mittel gleichmäßiger Nachfrage.
- In den Gebäuden entfallen Brennstofflagerung oder Gasanschluss (geringe Brandgefahr) sowie Schornsteinanlagen.
- Es bietet 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 rationeller Energietechniken wie Kraft-Wärme-Kopplung und regenerativer Energien wie in Holzhackschnitzelanlagen.

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

2.1.2 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. 27 dargestellt, fällt die Gesamtenergie bei einem BHKW zu 30 - 40% als elektrischer Strom und zu 50 - 60% als nutzbare Wärme an. Die (nicht nutzbaren) Verluste sind sehr gering, so dass der eingesetzte Brennstoff zu 90% (Gesamtwirkungsgrad) genutzt werden kann. Gegenüber konventionellen Kondensationskraftwerken (bei denen die erzeugte Abwärme über Kühltürme oder Flüsse an die Umgebung abgegeben wird), lassen sich rund 30 - 40 % Primärenergie einsparen.

Blockheizkraftwerke werden in der Regel dezentral eingesetzt. Dadurch ist gewährleistet, dass die Anlagen eine Größe erreichen, die einen effektiven Betrieb erlaubt und eine gleichmäßige auch im Sommer (durch die Warmwasserbereitung) gegebene Wärmenachfrage besteht. In KWK – Zentralen wird als Redundanz und zur Deckung von Spitzenlasten oft ein konventioneller Wärmeerzeuger (Kessel) vorgehalten.

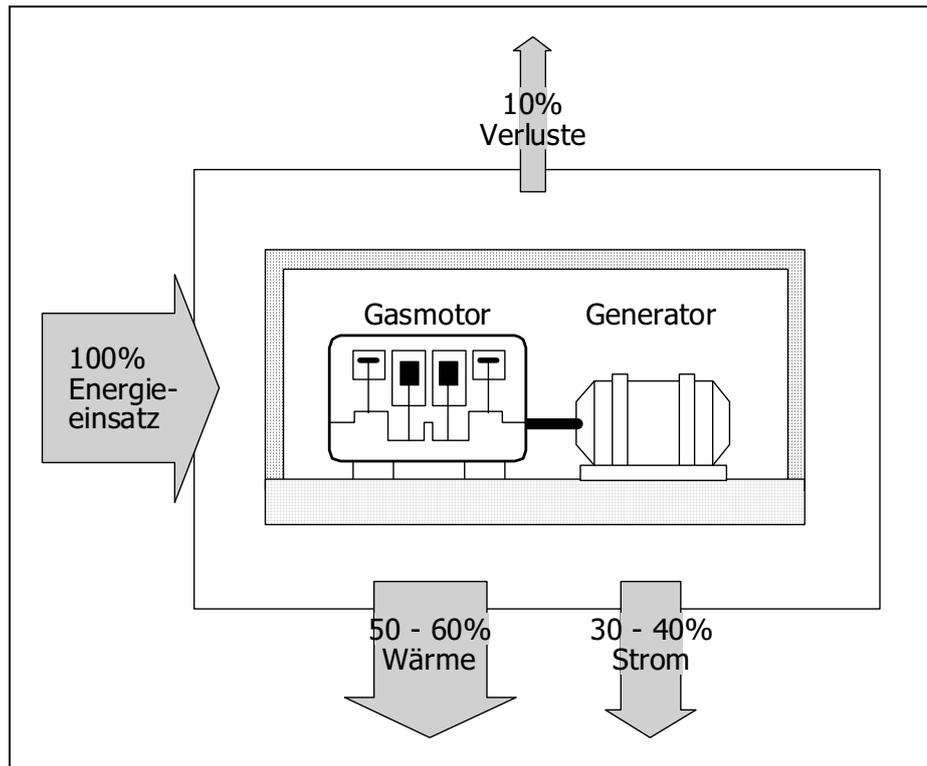


Abb. 27: Energiebilanz eines Blockheizkraftwerkes.

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 Primärenergiegutschrift bzw. CO₂ – Gutschrift berücksichtigt.

2.1.3 Holzfeuerungsanlagen

Bei der Verbrennung von Holz wird die gleiche Menge an Kohlendioxid (CO₂) freigesetzt, welche die Pflanze beim Wachstum aus der Atmosphäre aufgenommen hat. Auch beim Verrotten von Holz (am Boden) wird diese Menge an CO₂ wieder freigesetzt. Die Verbrennung von Holz ist somit CO₂-neutral.

Holz gehört als nachwachsender Rohstoff zu den erneuerbaren Energien.

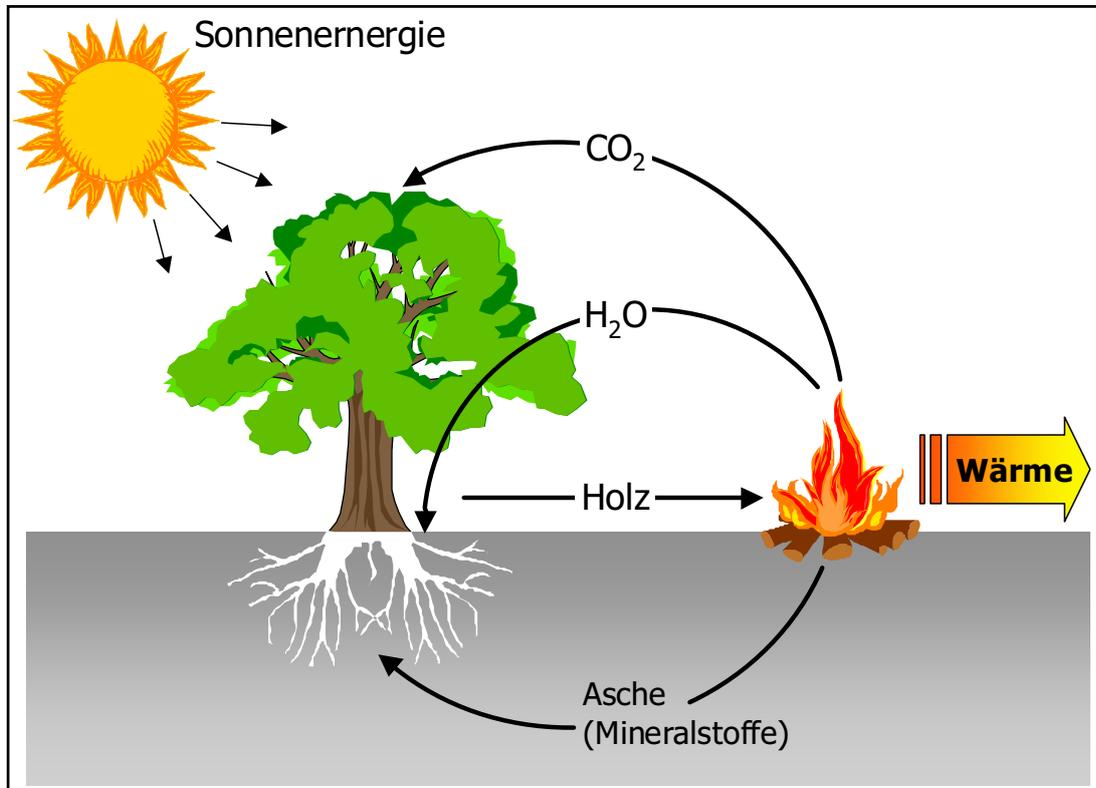


Abb. 28: Stoffkreislauf für das "Energiesystem Holz"

Holz als Energieträger in automatischen Heizanlagen kommt entweder als **Holz hackschnitzel** in größeren Anlagen oder gepresst als **Holz pellets** auch für kleine Anlagen zum Einsatz. Es wird ausschließlich naturbelassenes, unbehandeltes Holz eingesetzt. Mögliche Lieferquellen sind dabei Holz direkt aus dem Wald, Restholzprodukte aus Sägewerken oder Baum- und Heckenschnitt aus Pflegemaßnahmen.



Abb. 29: Holz hackschnitzel (links) und Holzpellets (rechts).

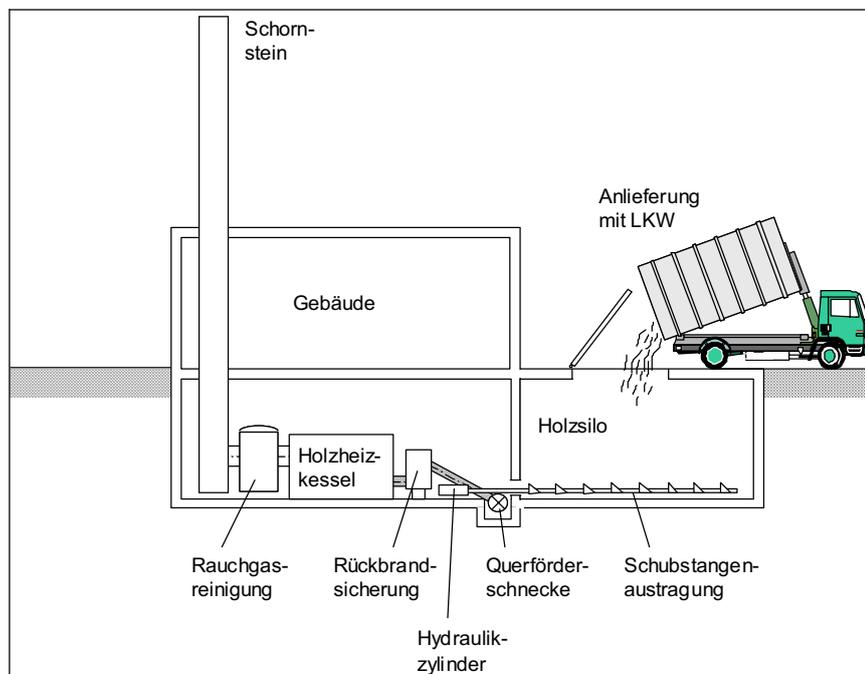


Abb. 30: Wesentliche Bestandteile einer Holz hackschnitzel-Feuerung.

Holz hackschnitzel-Anlagen sind meist zentrale Anlagen. Die Holz schnitzel werden mit per LKW angeliefert und im Holzlager (Silo) gelagert Von dort aus werden die Holz schnitzel mit Förderschnecken automatisch in den Heizkessel gefördert.

Moderne Holzfeuerungsanlagen sind mit geregelten Verbrennungsluftgebläsen und Abgassonden ausgerüstet. Durch die kontrollierte Verbrennung werden Schadstoffemissionen erreicht, die unter den Grenzwerten der TA-Luft liegen. Mit der geregelten Brennstoff- und Zuluftdosierung können die Heizkessel bis auf 20-30 % der Nennleistung gedrosselt werden .

Kleinere dezentrale Anlagen arbeiten in der Regel mit Holzpellets. Sie können mit Silo-LKW geliefert und ins Pelletslager gepumpt werden. Pellets können in Erdsilos aber auch im Keller gelagert werden, im einfachsten Fall wird ein Sacksilo neben dem Heizkessel aufgestellt. Eine Holzpelletsanlage arbeitet ebenfalls automatisch, der Brennstoff kann dann mit Förderschnecken oder Unterdruckanlagen automatisch dem Heizkessel zugeführt werden.

Vorteile des Energieträgers Holz

Im Gegensatz zur Gas- oder Ölheizung sind folgende Vorteile zu nennen:

- CO₂-Neutralität, Verringerung des Treibhauseffektes
- Einsparung fossiler Ressourcen
- Heimischer Energieträger
(Wertschöpfung in der Region, Unabhängigkeit von Energieimporten)

2.1.4 Wärmepumpen

Eine Wärmepumpe entzieht der Umgebung Wärme auf niederem 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 dem eines Kühlschranks (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 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.

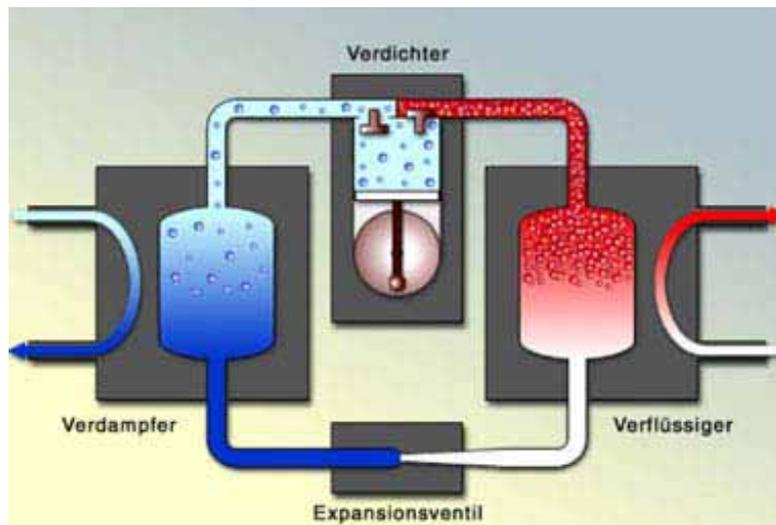


Abb. 31 Prinzip einer Wärmepumpe. Quelle VDEW.

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

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

2.1.5 Erdwärmenutzung

Unter Erdwärmenutzung (oberflächennahe Geothermie) versteht man die Nutzung des im Erdreich und im Grundwasser enthaltenen Wärme bis zu einer Tiefe von ca. 400m. Das Temperaturniveau schwankt in Deutschland jahrzeitlich 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.

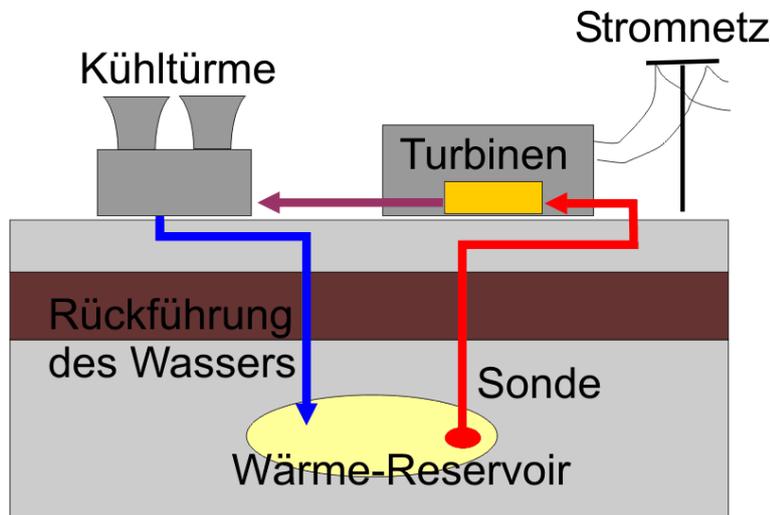


Abb. 32 Schema eines geothermischen Kraftwerks zur Stromerzeugung.

Im Zusammenhang mit Gebäudebeheizung spricht man hierzulande folglich immer von oberflächennaher Geothermie. Nur Nutzung werden im Boden von Sole durchflossene Erdschlangen (Wärmetauscher) verlegt, welche dem Boden Wärme entziehen. Eine Wärmepumpe bringt diese Wärme unter Einsatz von Energie auf ein Temperaturniveau, das zur Beheizung und Warmwasserbereitung genutzt werden kann. 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 Erdsonden in senkrechten Bohrungen. Dies ist jedoch nur möglich, wenn die geologischen Gegebenheiten am Standort geeignet sind. So erreicht man Verlegetiefen von einigen zig - Metern. Die Ausbeute an Wärme ist bei einer Bohrung gegenüber einer offenen Verlegung deutlich höher.



Abb. 33 Bohrung für eine Erdsonde (Bild ebök).

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

Damit Erdwärmennutzung ökologisch sinnvoll ist, muss das Gesamtsystem aus Erdwärmetauscher und Wärmepumpe eine Jahresarbeitszahl (der unter realen Bedingungen übers Jahr erreichte Wirkungsgrad) aufweisen, der 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. Analog gilt auch für die Verbrauchskosten. Der für die Wärmepumpe eingesetzte Strom muss im Verhältnis von Strompreis zu Gaspreis, d.h. ca. 3-4 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 Wärmepumpen 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.

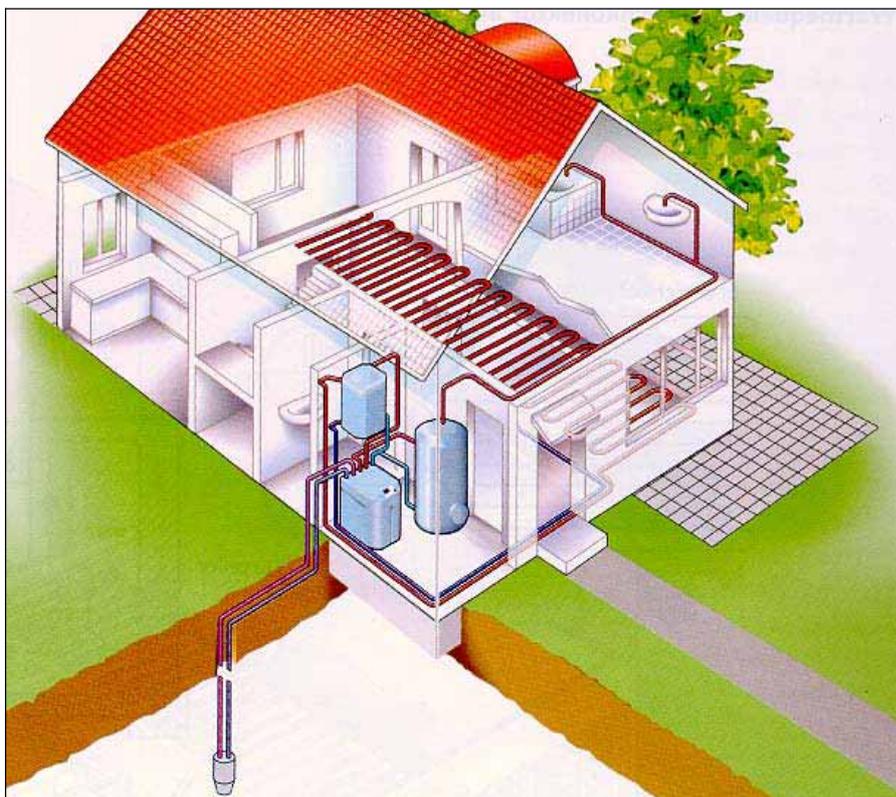


Abb. 34: Wärmepumpe mit Erdsonde.

2.1.6 Kompaktaggregat

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

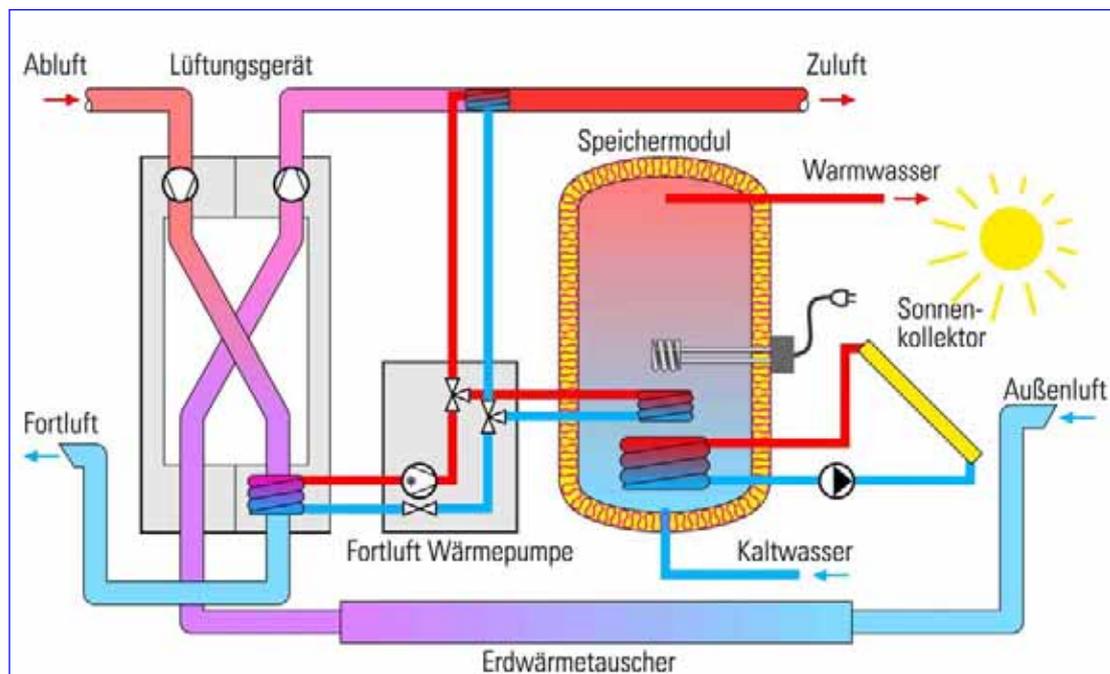


Abb. 35: Das Prinzip eines Kompaktaggregat – hier in Kombination mit Erdreichwärmetauscher und Solarkollektor.

3 Emissionen

3.1 Feinstaub

Als Feinstaub oder Schwebstaub werden alle flüssigen oder festen Partikel bezeichnet, die in der Luft nicht sofort zu Boden sinken, sondern weil sie sehr klein sind eine gewisse Zeit in der Atmosphäre schweben (engl. Particulate Matter PM). Die Größe der Partikel reicht von einigen Nano- bis zu 100 Mikrometern. PM_{10}

bezeichnet Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser bis 10 µm nach der amtlichen EU-Messmethode. Feinstaub ist aufgrund der eigentlichen Partikel aber auch wegen der anhaftenden Substanzen wirksam. Insbesondere ultrafeine Stäube mit weniger als 100 nm haben zwar bezogen auf das Gewicht einen geringen, bezogen auf die Oberfläche aber einen sehr hohen Anteil und verursachen so eine hohe Belastung. Die Quellen für die Emission sind natürlich, wie z.B. der Wüstenstaub aus der Sahara, der über hunderte von Kilometern auch nach Deutschland gelangen kann. In das Blickfeld geraten zunehmend Emissionen, welche auf menschliche Aktivitäten zurückzuführen sind. Größte Verursacher für Feinstäube sind der Sektor Verkehr und die Beheizung von Gebäuden (Abb. 36). Stäube entstehen aber nicht nur bei Verbrennungsprozessen, sondern auch z.B. durch Reifenabrieb und Umschlag von Schüttgütern.

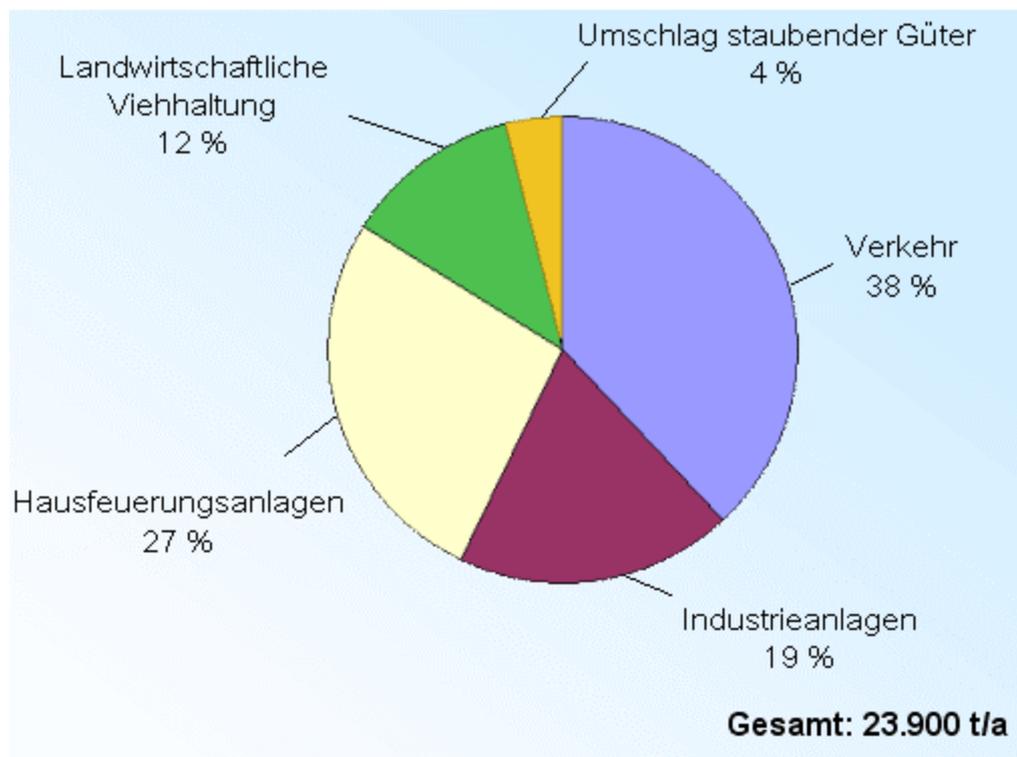


Abb. 36 Feinstaubquellen für Bayern (Quelle: Emissionskataster Bayern 2000 LfU 2004)

Ein großer Teil der gesamten Luftverschmutzung ist der Wirkung von Feinstäuben zuzuschreiben. Beim Menschen sind Partikel der genannten Größen lungengängig und rufen z.B. Atemwegserkrankungen, vermutlich auch Krebs, hervor. Die Stäube sind aufgrund der Partikel und ihrer chemischen Beschaffenheit, aber auch aufgrund der ihnen anhaftenden chemischen Substanzen gefährlich.

Seit 2005 liegt der Grenzwert für PM₁₀ bei einem Jahresmittelwert von 40 µg / m³, der Tagesmittelwert von 50 µg / m³ darf nicht mehr als 35 mal überschritten werden (22. Bundes – Immissions-Schutzverordnung [22BImSchV]).

Hausfeuerungsanlagen weisen, im in Abhängigkeit vom verbrannten Brennstoff, sowie der Anlage unterschiedliche Ausstoßmengen an Feinstaub auf. Den größten Anteil haben hierbei zunehmend holzbefeuerte Anlagen, während die Kohle aufgrund abnehmender Anlagenzahlen an Bedeutung verliert (Abb. 37).

Verbrennt Holz unter kontrollierten Bedingungen (moderne Heizkessel sind geregelten Verbrennungsluftgebläsen und Abgassonden ausgerüstet), so entsteht nur rund 1/5 bis 1/7 der Feinstaubmengen gegenüber der offenen Verbrennung in einem Kamin oder Kaminofen. Solche „Ziehrfeuer“ verursachen insbesondere in städtischen Gebieten hohe Belastungen an Feinstaub (Tab. 12).

Um der Problematik Rechnung zu tragen, soll zukünftig die Leistungsgrenze für die Anforderungen sowie die Überwachung der Anlagen (1. BImSchV Kleinf Feuerungsanlagen) auf 4 kW gesenkt werden.

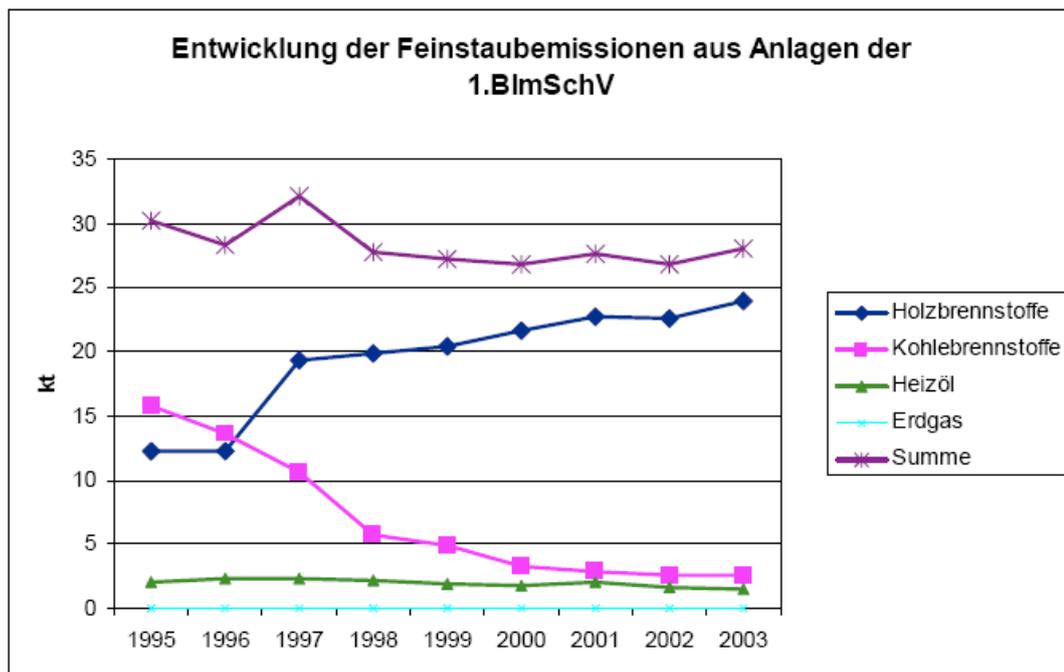


Abb. 37 Entwicklung der Feinstaubemissionen (PM10) aus Kleinf Feuerungsanlagen Quelle: Zentrales System Emissionen im Umweltbundesamt.

Tab. 12 Feinstaubmengen verschiedener Holzfeuerungsanlagen.

Feuerung	Nennwärmeleistung [Kilowatt kW]	PM ₁₀ [kg/Terajoule (TJ) Brennstoffenergie]
Dauerbrandöfen	< 15	71
Kachelöfen	< 15	111
Kamine	< 15	158
Kaminöfen	< 15	113
Heizkessel	4 – 25	22

Quelle: Struschka, M. et al: Ermittlung und Evaluierung der Feinstaubemissionen aus Kleinf Feuerungsanlagen im Bereich der Haushalte und Kleinverbraucher sowie Ableitung von geeigneten Maßnahmen zur Emissionsminderung; UBA-Texte 41/03, Februar 2003

Tab. 13 Emissionswerte (Staub) verschiedener Brennstoffe. Quelle: IE Informationszentrum Energie. Biogene Brennstoffe Nr. 1 Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg

Brennstoff	Staub	
	[kg / TJ]	[mg / kWh]
Heizöl EL	5	18,0
Erdgas	0	0,0
Koks	60	215,8
Scheitholz	16	57,6
Hackschnitzel	8	28,8
Holzpellets	5	18,0

4 Wirtschaftlichkeit

Die gängigste Methode zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit haustechnischer Anlagen ist die Annuitätenmethode nach VDI 2067 bzw. Leitfaden energieeffiziente Gebäudeenergieplanung [VDI 2067-1], [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 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 hätten 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 auf (über den Betrachtungszeitraum) gleich hohe jährliche Zahlungen (Annuitäten) unter Berücksichtigung von Kalkulationszins und Preissteigerungen verteilt werden.

Für eine überschlägig Betrachtung ist es ausreichend, den Betrachtungszeitraum gleich der Nutzungszeit der Anlagenkomponenten anzunehmen, wobei für alle Anlagen fest mit 15a gerechnet wird,. Damit entfällt die Betrachtung der Restwerte.

Investitionen

An Investitionen werden alle Aufwendungen berücksichtigt, die zur Erzeugung der Raumwärme sowie Warmwasser notwendig sind, insbesondere allen Anlagen zur Wärmeerzeugung, Wärmeübergabe, Wärmeverteilung auf dem Grundstück sowie Lagerung von Energieträgern. Anlagen zur Verteilung von Wärme oder Warmwasser im Gebäude (Heizwärmeverteilung, Warmwasserverteilung) finden nur ausnahmsweise Berücksichtigung.

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 somit immer auf die an der Grundstücksgrenze anfallenden Energie- oder Brennstoffkosten, sowie den zur Erzeugung von Raumwärme und Warmwasser notwendigen Investitionskosten in Verbindung mit den zum Betrieb notwendigen Betriebs- und Wartungskosten (z.B. Hilfsstrom, Schornsteinfeger etc.). Hierbei ist zu beachten, dass die Zuordnung zu einem Kostenbereich funktional erfolgt und nicht über den Energieträger. Bei einer Wärmepumpenlösung ist z.B. Strom „Brennstoff“ und wird bei den Energiekosten verbucht. Der zum Betrieb der Regelung einer Heizungsanlage notwendige Strom wird aber unter Wartungskosten subsummiert.

Aus Sicht des Nutzers kann der so ermittelte Jahrespreis entweder:

- Für sich alleine stehen. Damit werden die Gesamtkosten der Beheizung und Warmwasserbereitung für eine Wohneinheit ausgedrückt.
- Auf die gelieferte Kilowattstunde Wärme bezogen werden (Wärmepreis).

- 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 verhältnismäßig niedrig.

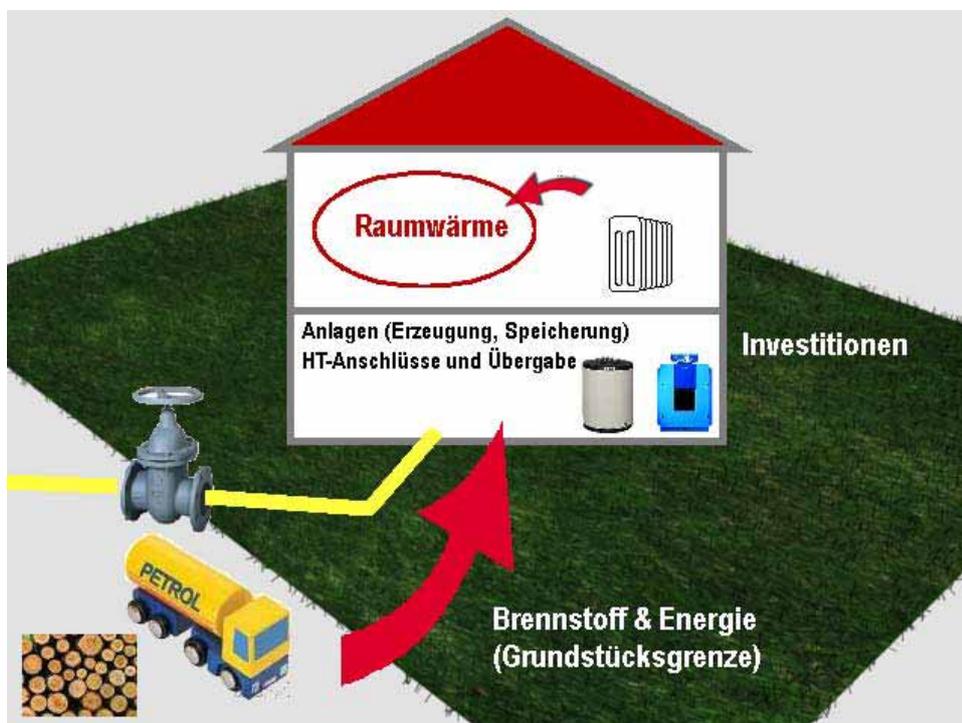


Abb. 38 Systemgrenzen der Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen. Die Energiekosten in Form von Brennstoff- oder Wärmekosten fallen an der Grundstücksgrenze an. Leitungsgebundene Energieträger erfordern üblicherweise Zahlungen in Form von Grund- und Verbrauchskosten. Die Anlagen (für die Investitionen getätigt werden müssen) dienen zur Erzeugung der Wärme und des Warmwassers (im Raum). Hierbei werden auch die Anlagenkosten der Brennstofflager berücksichtigt. Werden mehrere Gebäude bedient, so sind auch die Kosten eines eigenen Verteilnetzes (Mininetz) zu berücksichtigen. Die Gebäudeeigene Wärmeverteilung wird in der Regel vernachlässigt.

5 Literaturhinweise

- [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
- [DIN V 4701-10:2003] Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer 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.
- [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
- [LEG 95] **Heizenergie im Hochbau: Leitfaden für energiebewußte Gebäudeplanung**. Hrsg. Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Jugend, Familie und Gesundheit; 5. überarbeitete Auflage. Wiesbaden: 1995.
- [VDI 2067-1] **Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen. Grundlagen und Kostenberechnung**. Hrsg. VDI. Blatt 1. Düsseldorf: Sept. 2000.
- [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.

- [Gemis 4.3] Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS) Version 4.3. Institut für angewandte Ökologie e.V., Darmstadt. www.gemis.de.
- [22BImSchV] Zweiundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes vom 11. September 2002. Bundesministerium der Justiz.
- [VDI 2067-1] **Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen. Grundlagen und Kostenberechnung.** Hrsg. VDI. Blatt 1. Düsseldorf: Sept. 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.