



CO₂- neutrale Wärmeversorgung für Wohnsiedlungen

Forschungsbericht für den Projektträger Jülich

Gesamtleitung	TU Braunschweig Institut für Gebäude- und Solartechnik - IGS Univ.-Prof. Dr.-Ing. M. Norbert Fisch (Institutsleiter) Dr.-Ing. Lars Kühl (stellv. Institutsleiter) Dipl.-Ing. Mathias Schlosser (Projektleiter) Dipl.-Ing.(FH) Mike Heuer
Kooperationspartner	Steinbeis-Transferzentrum Energie-, Gebäude- und Solartechnik (STZ-EGS), Stuttgart Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP) Projektgruppe Kassel
Förderung	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktor- sicherheit (BMU)
Förderkennzeichen	0329607K
Laufzeit	Juli 2005 bis Juni 2008
Stand	Februar 2009

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) unter dem Förderkennzeichen 0329607K gefördert. Die Autoren danken für die Unterstützung. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

durchgeführt von

TU Braunschweig

Institut für Gebäude- und Solartechnik

Mühlenpfordtstr. 23

D - 38106 Braunschweig

Tel: 0531 / 391 3555 · Fax: 0531 / 391 8125

Internet: www.igs.bau.tu-bs.de e-mail: igs@tu-bs.de

Bearbeitung: Univ.-Prof. Dr.-Ing. M. Norbert Fisch

Dr.-Ing. Lars Kühl

Dipl.-Ing. Mathias Schlosser

Dipl.-Ing. (FH) Mike Heuer

Kooperationspartner

Steinbeis-Transferzentrum Energie-, Gebäude- und Solartechnik (STZ-EGS)

Gropiusplatz 10

D-70563 Stuttgart

Tel.: 0711 / 99007-5 · Fax: 0711 / 99007-99

Internet: www.stz-egs.de e-mail: info@stz-egs.de

Bearbeitung: Dipl.-Ing. Jörg Baumgärtner

Dipl.-Ing. Josef Broll

Fraunhofer Institut für Bauphysik - Projektgruppe Kassel (IBP)

Gottschalkstraße 28a

D - 34127 Kassel

Tel. 0561 / 804 - 1871 · Fax 0561 / 804 - 3187

Internet: www.ibp.fraunhofer.de e-mail: info-ks@ibp.fraunhofer.de

Bearbeitung: Tekn. Dr. Dietrich Schmidt

Dipl.-Ing. Jan Kaiser

M.Sc. Herena Torio

Dipl.-Ing. Timm Rössel

Vorwort

Der für die Beheizung, Kühlung und Lüftung von Gebäuden notwendige Energiebedarf konnte in den letzten Jahren erheblich gesenkt werden. Zukünftig wird sich diese Entwicklung fortsetzen, vor allem auf der Grundlage von Neuentwicklungen und Optimierungen im Bereich des baulichen Wärmeschutzes und der Anlagentechnik. Dennoch steigt weltweit der Energiebedarf stark an und führt zur Verknappung fossiler Energieträger und steigenden Energiekosten. Klimaschutzanforderungen haben zum Ziel treibhauschädliche Emissionen wie CO₂ deutlich zu reduzieren. Die aktuelle Diskussion führt auch zu einer Bewußtseinsveränderung der Bevölkerung hinsichtlich des Umgangs mit Energie. Politisch werden die Zielsetzungen durch Setzung von Rahmenbedingungen wie die Verschärfung der Energieeinsparverordnung (EnEV), die Einführung des Erneuerbare-Energien-Wärmegesetzes (EEWärmeG) und die Umsetzung der EU-Richtlinie zur Gebäudeenergieeffizienz (EPBD) verfolgt.

Hierdurch ergeben sich veränderte Aufgabenstellungen für die Entwicklung von Wärmeversorgungskonzepten und -techniken für Neubau-Siedlungen oder zur Sanierung anstehenden Bestandsbauten. Die Forderung des Deutschen Bundestages, den CO₂- Ausstoß der Industrieländer bis zum Jahr 2050 um 80% zu senken, erfordert neben der beschriebenen Veränderung der Bedarfsprofile die Entwicklung CO₂ -neutraler Wärmeversorgungskonzepte für Gebäude und Siedlungen. Das Ziel der Bundesregierung klimaschädliche Emissionen zu reduzieren, macht eine CO₂- neutrale Wärme- bzw. Energieversorgung in Verbindung mit der Senkung des Bedarfsniveaus für Neubauten und Bestandsgebäude unerlässlich. In dem vorliegenden Bericht werden mögliche Wege zur Erreichung der gesteckten Ziele aufgezeigt.

Braunschweig, den 20.02.2009

.....
Univ.- Prof. Dr.- Ing. M. Norbert Fisch
Institutsleiter

.....
Dipl.-Ing. Mathias Schlosser
Projektleiter

0 INHALTSVERZEICHNIS

1	Zusammenfassung / Kurzdarstellung	7
2	Projektvorstellung	11
2.1	Motivation und Ziel	11
2.2	Ablauf und Methodik.....	12
2.3	Projektdate und Fördergeber	16
2.4	Wissenschaftliche Projektpartner	16
3	Machbarkeitsstudien – Grobanalysen	18
3.1	Projekt 1 – Hannover, Magdeburger Straße 2 und 4.....	22
3.2	Projekt 2 – Berlin, Wohnpark Bernau-Friedenstal	31
3.3	Projekt 3 – Regenerativstadt Dardesheim.....	41
3.4	Projekt 4 – Hannoversch Münden, Wiershäuser Weg 25 – 41	51
3.5	Projekt 5 – Weinstadt - Endersbach, Wohngebiet Eichenstraße.....	59
3.6	Projekt 6 – Reutlingen, Wohngebiet Lindachareal	69
3.7	Projekt 7 – Jocketa, Wohngebiet Ferdinand-Sommer-Straße	79
3.8	Projekt 8 – Sarstedt, Wohngebiet Am Bürgerpark / Am Bruchgraben	89
3.9	Projekt 9 – Wolfenbüttel, Wohngebiet Ahlumer Siedlung.....	97
3.10	Projekt 10 – Kassel, Brentanostraße 50 – 56.....	105
3.11	Projekt 11 – Herten, Grüne Mitte Westerholt.....	113
3.12	Projekt 12 – Heidelberg, Neubaugebiet Schollengewann	123
3.13	Projekt 13 – Goslar, Technologie- und Gründerzentrum	133
3.14	Projekt 14 – Bremen, Stiftungsdorf Borgfeld	142
3.15	Projekt 15 – Hohenhameln, Wärmeversorgung Ortsteil Bründeln.....	152
3.16	Projekt 16 – Kassel Wehlheiden, Wohngebiet Sternbergstraße.....	162
3.17	Projekt 17 – Neubrandenburg, Ahornstraße 1 bis 23	171
3.18	Projekt 18 – Hamburg Wilhelmsburg, Quartier Weimarer Straße.....	180
3.19	Projekt 19 – Heilbronn, Neubaugebiet Kirschengartenstraße	192
3.20	Projekt 20 – Hannover, Therapie- und Seniorenzentrum Geibelstraße....	202

3.21	Projekt 21 – Pforzheim, Neubaugebiet Buckenberg Kaserne	211
3.22	Projekt 22 – Tübingen, Mühlenviertel – Quartier Sonnenmühle	222
3.23	Projekt 23 – Nürnberg, Neubaugebiet Kornburg-Nord	231
4	Machbarkeitsstudien - Feinanalysen	246
4.1	Hannover, Magdeburger Straße 2 und 4 (Grobanalyse 1)	247
4.2	Hannoversch Münden, Wiershäuser Weg 25 – 41 (Grobanalyse 4)	257
4.3	Kassel, Brentanostraße 50 – 56 (Grobanalyse 10)	269
5	Kennzahlen	274
5.1	Investitionskosten.....	275
5.2	Jahresgesamtkosten	286
5.3	Ökologische Kennzahlen.....	293
6	Reduzierung des Primärenergiebedarfs unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit (IBP)	298
6.1	Einleitung	298
6.2	Ziele	299
6.3	Methodik.....	299
6.4	Beschreibung der Projekte	301
6.4.1	Neubauvorhaben Kassel.....	301
6.4.2	Bestandsgebäude Hannoversch' Münden.....	303
6.5	Varianten.....	308
6.5.1	Neubauvorhaben Brentanostraße, Kassel	308
6.5.2	Saniertes Gebäude Wiershäuser Weg, Hannoversch' Münden	310
6.6	Energetische Bewertung	312
6.6.1	Energetische Bewertung, Brentanostraße Kassel.....	313
6.6.2	Energetische Bewertung, Wiershäuser Weg, Hannoversch' Münden	323
6.7	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung.....	330
6.7.1	Randbedingungen.....	330
6.7.2	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung Neubauvorhaben	331

6.7.3	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung Sanierungsvorhaben.....	340
6.8	Zusammenfassung der Ergebnisse.....	350
6.9	Fazit	351
7	Low-Level-Monitoring (STZ-EGS)	353
7.1	Pliezhausen, Baumsatz 3.....	354
7.2	Esslingen, Kastenäcker.....	357
7.3	Köngen, Burgweg-West II	362
7.4	Weil im Schönbuch, Seetal	365
7.5	Gegenüberstellung der Ergebnisse	367
7.6	Zusammenfassung / Fazit	372
8	Erfahrung und Umsetzung.....	374
8.1	Resümee und Erkenntnisse aus den Studien	374
8.1.1	Neubau Wohnsiedlungen.....	374
8.1.2	Sanierung Bestandswohnsiedlungen	378
8.1.3	Nahwärme mit Erdsonden und Wärmepumpe	380
8.2	Realisierte Anlagen aus dem F+E Projekt.....	383
8.2.1	Hannover, Magdeburger Straße 2 und 4.....	384
8.2.2	Hannoversch Münden, Wiershäuser Weg 25 – 41.....	388
8.2.3	Kassel, Brentanostraße 50 – 56.....	392
9	Anlagen	396
9.1	Veröffentlichungen	396
9.2	Begriffe und Abkürzungen.....	400
9.3	Quellen und Literatur zum Projekt.....	402

1 ZUSAMMENFASSUNG / KURZDARSTELLUNG

Im Rahmen des von 2005 bis 2008 am IGS bearbeiteten Forschungsprojektes „CO₂-neutrale Wärmeversorgung für Wohnsiedlungen“ werden für insgesamt 23 Projekte Machbarkeitsstudien für zukunftsfähige Versorgungssysteme entwickelt und für ausgewählte Vorhaben umgesetzt. Das Projekt wird über das Energieforschungsprogramm der Bundesregierung innerhalb der Fördermaßnahme „Solarthermie2000plus“ bearbeitet. Neben der Entwicklung technisch angepasster Lösungen werden auch gewerkeübergreifende Fragestellungen wie die Optimierung des Wärmeschutzstandards der zu versorgenden Gebäude im Hinblick auf ein gesamtwirtschaftliches Wärmeversorgungskonzept behandelt. Im Folgenden werden die Zielsetzungen und das Vorgehen im Projekt sowie die Ergebnisse der Bearbeitung zusammengefasst.

Die Bearbeitung des Projekts erfolgt durch das IGS (Institut für Gebäude- und Solartechnik) der TU Braunschweig in Zusammenarbeit mit den beiden wissenschaftlichen Kooperationspartnern STZ-EGS (Steinbeis-Transferzentrum Energie-, Gebäude- und Solartechnik, Stuttgart) und IBP (Fraunhofer-Institut für Bauphysik - Projektgruppe Kassel).

Zielsetzung und Vorgehen

Ziel des Forschungs- und Entwicklungsprojektes ist die Erarbeitung standortbezogener Machbarkeitsstudien zur Realisierung einer CO₂-neutralen Wärmeversorgung für Wohngebiete bzw. Siedlungseinheiten. Besonderer Schwerpunkt der Konzepte soll dabei auf kleinere Siedlungen mit 50 - 250 Wohneinheiten gelegt werden. In Phase 1 (Grobanalyse) sollen Machbarkeitsstudien für ca. 20 bis 25 Projekte im Bereich Neubau sowie für den zu sanierenden Bestand erstellt werden. Phase 2 beinhaltet die Feinanalyse von ca. 5 Anlagen, welche die Basis für eine spätere Realisierung der betrachteten Vorhaben darstellen und damit die Aufgabenstellung einer Vor- und Entwurfsplanung abdecken. Wesentliche Inhalte der Machbarkeitsstudien sollen neben dem auf den jeweiligen Lastfall angepassten Entwurf der Anlagentechnik Aussagen zum CO₂-Reduktionspotential sowie zum Kosten/Nutzen-Verhältnis bezogen auf Primärenergieeinsparung und Emissionen sein.

Grobanalyse – Phase 1

In Phase 1 werden bis Sommer 2008 Machbarkeitsstudien für insgesamt 23 Projekte im Bereich Neubau sowie der Bestandssanierung erstellt. Die für ausgesuchte Standorte im städtischen und ländlichen Raum erarbeiteten Konzeptvarianten werden in einem integralen Planungsteam aus Bauherren, Anlagenbetreiber, Architekten und Fachingenieuren entwickelt.

Zu Beginn der Konzeptentwicklung erfolgt jeweils die Objekterfassung, welche die Bestandsaufnahme der Siedlungsstruktur bzw. der Gebäude beinhaltet. Neben einem vor Ort Termin des Planungsteams werden die Planungs- bzw. Bestandsunterlagen, Bedarfsberechnungen bzw. Verbrauchsdaten, Flächenangaben, etc. gesichtet. Die Daten bzw. Unterlagen stellen die Grundlage für die weitere Konzeptentwicklung dar und werden durch eigene Abschätzungen und Berechnungen ergänzt. Im Fall eines Neubau-Projektes erfolgt im ersten Schritt eine Optimierung des Bebauungsplans. Durch die Abstimmung verschiedener Einzelmaßnahmen wie der Südausrichtung der Gebäude (passivsolare Gewinne), der größtmöglichen Verschattungsfreiheit, der Dachflächennutzbarkeit zur Kollektoranordnung etc. erfolgt eine Solarisierung der Siedlung. Die Maßnahmen stellen die Grundlage für die Realisierung einer CO₂- neutralen Wärmeversorgung dar.

Nach Abstimmung der Zielparameter erfolgt die Erstellung der Machbarkeitsstudie. Dabei werden verschiedene Konzeptvarianten hinsichtlich des baulichen Wärmeschutzes und der Anlagentechnik in Abstimmung mit der Nutzung und den Randbedingungen des Gebäudes entwickelt. Es werden Kennwerte zu Energiepreisen, -verbrauch und -kosten gebildet sowie die Energiekennzahlen der Gebäude / der Wohnsiedlung festgelegt. Danach erfolgt das Ableiten des Grundkonzeptes mit Auslegung der wesentlichen Komponenten der Anlagentechnik sowie den Wärmeschutzmaßnahmen an der Gebäudehülle. Die Anteile der jeweiligen Systemkomponenten und die zu verwendende Art der Biomasse werden standortspezifisch und unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten zusammengestellt. Die jeweiligen Investitionskosten für die Maßnahmen werden auf Basis einer Kostenschätzung sowie die

resultierenden Jahresgesamtkosten nach VDI 2078 für jede Versorgungsvariante ermittelt.

Die Erarbeitung der Machbarkeitsstudien erfolgt für 6 hinsichtlich des Standorts oder der Nutzung unterschiedlichen Anwendungsfällen. Dies sind Projekte zur Sanierung von Wohnsiedlungen (7 Studien), zum Neubau von Wohnsiedlungen (10 Studien), Siedlungen im ländlichen Raum (2 Studien), die Sanierung eines Seniorenzentrums (1 Studie), Neubau von Seniorenzentren (2 Studien) sowie der Neubau / die Sanierung eines Wohn- und Verwaltungszentrums (1 Studie). Die ermittelten Kennwerte sind in diesem Bericht in Kapitel 3 Machbarkeitsstudien – Grobanalysen für jedes Projekt zusammengestellt.

Feinanalyse – Phase 2

In Phase 2 werden bis Sommer 2008 Feinanalysen für drei Vorhaben erstellt. Die Studien stellen die Basis für die spätere Realisierung der betrachteten Varianten dar und entsprechen den Anforderungen einer Vor- und Entwurfsplanung. Im Rahmen der Konzeptentwicklung erfolgt auch die Erstellung eines TRNSYS-Simulationsmodells, mit dem über die Durchführung von Parameterstudien eine Optimierung der Auslegung und eine Ertragsprognose der Solaranlage erfolgen. Dabei wird das dynamische Verhalten und Zusammenwirken der einzelnen Wärmeerzeuger (-speicher) in Verbindung mit dem tages- und jahreszeitlich veränderlichen Wärmebedarf, sowie der zeitlich wechselnden solaren Einstrahlung unter Berücksichtigung des Teillastbetriebes betrachtet.

Die Feinanalysen werden für Projekt 1 (Hannover, Magdeburger Straße 2 und 4), Projekt 4 (Hannoversch Münden, Wiershäuser Weg 25–41) sowie Projekt 10 (Kassel, Brentanostraße 50-56) erstellt. Für die Objekte wird jeweils ein Förderantrag zur Umsetzung (Vorauswahl von Objekten) im Rahmen des Förderprogramms Solarthermie2000plus erstellt.

Low-Level-Monitoring

Der Kooperationspartner STZ-EGS führt im Rahmen dieses Projektes für selbst geplante und im Betrieb befindliche Anlagen ein Low-Level-Monitoring durch. Über die Aufnahme der wesentlichen Verbrauchsdaten und des Anlagenbetriebes werden damit innerhalb der Laufzeit dieses Projektes belastbare Aussagen zur Funktionalität der Konzepte in der Praxis ermittelt. Die Ergebnisse werden im Rahmen der Feinanalysen in die Planung der umzusetzenden Anlagen einbezogen und stehen zur Abstimmung mit dem späteren Praxisbetrieb zur Verfügung.

Planungshandbuch / Entscheidungshilfe

Über die Zusammenfassung der Einzelergebnisse hinaus erfolgt die Erstellung einer Entscheidungshilfe zur Umsetzung CO₂- neutraler Wärmeversorgungssysteme. Hier werden aus den Erfahrungen in den Einzelprojekten generelle Strategien für die Projektorganisation und die Planung dieser Anlagen an einem Beispiel zusammengefasst. Mit der Entscheidungshilfe wird ein Beitrag zur weiteren Verbreitung dieser zukunftsweisenden Technologie in die bauliche Praxis geleistet.

2 PROJEKTVORSTELLUNG

Wesentliche Ziele der Energiepolitik in Deutschland sind die Schonung von Umwelt und Ressourcen. Die Minderung der CO₂ Emissionen steht im Fokus der Maßnahmen zum Klimaschutz. Nachhaltige Wärmeversorgungssysteme tragen wesentlich zum Erreichen dieser Ziele und der Reduzierung von Emissionen bei.

Die im Jahr 2002 von der Bundesregierung beschlossene nationale Nachhaltigkeitsstrategie unterstützt den Ausbau der erneuerbaren Energien sowie die Verbesserung der Energie- und Ressourcenproduktivität. Bis zum Jahr 2010 wird hierbei eine Erhöhung der Anteile der erneuerbaren Energien an der Bedarfsdeckung auf 12,5% und bis 2020 auf 20% angestrebt. Bis zum Jahr 2050 sollen erneuerbare Energien die Hälfte der gesamten Energieversorgung abdecken. Hierzu werden neue Strategien zur Energieversorgungsstruktur benötigt, welche die Einhaltung der Klimaschutzziele, den Ausstieg aus der Kernenergie, den Ersatz von fossilen Brennstoffen sowie den Einsatz hocheffizienter Kraftwerke umfassen. Neben diesen Strategien können auch bauliche Energieeinsparmaßnahmen, der Einsatz energieeffizienter technischer Gebäudeausrüstung sowie der Einsatz erneuerbarer Energien (thermische Solartechnik, Biomasse, usw.) dazu beitragen, den Primärenergieeinsatz zu senken.

Das Forschungsprojekt „**CO₂- neutrale Wärmeversorgung**“ soll zur Umsetzung von Demonstrationsanlagen und damit zur Etablierung dieser Technik beitragen und damit einen Beitrag zur Erreichung der politischen Ziele leisten.

2.1 Motivation und Ziel

Seit Februar 2004 führt das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit im Rahmen des Energieforschungsprogramms der Bundesregierung mit der Fördermaßnahme „Solarthermie2000plus“ die langfristigen Forschungsaktivitäten zur thermischen Solarenergienutzung weiter. Dabei wird u.a. die Planung, Errichtung und Erprobung von integralen Konzepten als Pilot- und Demonstrationsanlagen zur Kombination von Solarthermie und energetischer Biomassennutzung gefördert. Innerhalb des Förderprogramms bearbeitet das Institut für Gebäude- und Solartechnik

(IGS) der TU Braunschweig das Forschungs- und Entwicklungsprojekt „CO₂- neutralen Wärmeversorgung für Wohnsiedlungen“.

Ziel des F+E Projektes ist die Erarbeitung standortbezogener Machbarkeitsstudien zur Realisierung einer CO₂- neutralen Wärmeversorgung für Wohngebiete bzw. Siedlungseinheiten. Besonderer Schwerpunkt der Konzepte soll dabei auf kleinere Siedlungen mit 50 - 250 Wohneinheiten gelegt werden. In Phase 1 (Grobanalyse) sollen Machbarkeitsstudien für ca. 20 bis 25 Projekte im Bereich Neubau sowie für den zu sanierenden Bestand erstellt werden. Phase 2 beinhaltet die Bearbeitung von Feinanalysen für ca. 5 Anlagen, welche die Basis für eine spätere Realisierung der betrachteten Vorhaben darstellen und damit die Aufgabenstellung einer Vor- und Entwurfsplanung abdecken. Wesentliche Inhalte der Machbarkeitsstudien sollen neben dem auf den jeweiligen Lastfall angepassten Entwurf der Anlagentechnik Aussagen zum erreichbaren CO₂- Reduktionspotential sowie zum Kosten/Nutzen-Verhältnis bezogen auf Primärenergieeinsparung und Emissionen sein.

2.2 Ablauf und Methodik

Die für ausgesuchte Standorte im städtischen und ländlichen Raum zu erarbeitenden Konzeptvarianten sollen in einem integralen Planungsteam aus Bauherren, Anlagenbetreiber, Architekten und Fachingenieuren erstellt werden. Hierdurch sollen neben Entwicklung technisch angepasster Lösungen auch gewerkeübergreifende Fragestellungen wie Optimierung des Wärmeschutzstandards der zu versorgenden Gebäude im Hinblick auf ein gesamtwirtschaftliches Wärmeversorgungskonzept behandelt werden. Weitere Arbeitspunkte sind jeweils die Organisation des Wärmeversorgungsnetzes mit Lage der Heizzentrale, der Übergabestationen und der Warmwasserbereitung sowie die Untersuchung der Wirtschaftlichkeit von Verbundlösungen in unterschiedlichem Maßstab.

Für ausgewählte Standorte sind hierzu in einem integralen Ansatz Maßnahmen eines optimierten baulichen Wärmeschutzes mit dem Einsatz von Solarenergie in Verbindung mit einer angepassten Wärmespeicherung sowie Biomasse zur Wärmeversorgung kostenoptimal zu kombinieren. Für den baulichen Wärmeschutz wird jeweils

ein Niedrig- bzw. Niedrigstenergie-Standard mit einem Jahres-Heizwärmebedarf von rd. 30 kWh/(m²_{ANA}) angestrebt.

Basis des zu entwickelnden Wärmeversorgungssystems ist jeweils eine solare Nahwärmeversorgung mit auf die Anlagentechnik und den Lastfall angepasster Wärmespeicherung (Puffersystem), die durch Einbindung eines regenerativen Energieträgers zur Nachheizung zu einem CO₂- neutralen Wärmeversorgungssystem ergänzt wird. Das zu entwickelnde Konzept soll den Gesamt-Wärmebedarf der Siedlung bzw. der Versorgungseinheit abdecken, wobei durch die Verbrennung von Biomasse eine effektive Nullbilanz für die CO₂- Emissionen erreicht werden soll. Eine konventionelle Zusatzheizquelle auf Basis fossiler Brennstoffe ist nur bei großen Siedlungen zu Abdeckung der Spitzenlast vorgesehen. Der Wärmespeicher sowie die Komponenten des Gesamtsystems sind kostenoptimal hinsichtlich Brennstoffeinsparung durch effiziente Solarenergienutzung, sowie der Minimierung von Wärmeverlusten und Investitionskosten auszulegen. Der Einfluss des Wärmeschutzstandards der Gebäude sowie die Konfiguration des Verbundnetzes in Abhängigkeit der Anzahl der zu versorgenden Wohneinheiten stellen weitere wesentliche Einflussfaktoren für ganzheitlich energieeffiziente und wirtschaftliche Konzeptlösungen dar.

Die Anteile der jeweiligen Systemkomponenten und die zu verwendende Art der Biomasse sind standortspezifisch und unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten zusammenzustellen. Das dynamische Verhalten und Zusammenwirken der einzelnen Wärmeerzeuger (-speicher) in Verbindung mit dem tages- und jahreszeitlich veränderlichen Wärmebedarf, sowie dem zeitlich wechselnden Energieangebot der regenerativen Quelle Sonne ist in Phase 2 (Feinanalyse für ca. 5 Anlagen) mit Hilfe eines Simulationsprogramms zu optimieren. Dabei wird insbesondere der Teillastbetrieb berücksichtigt.

Der Erstellung von Energiekonzepten liegt im Projekt folgende Vorgehensweise aus Grob- und Feinanalyse zu Grunde:

1. Grobanalyse

1.1 Objekterfassung

- Solarisierung des Bebauungsplans bei Neubauvorhaben (Südausrichtung, Verschattungsfreiheit, Dachflächennutzbarkeit zur Kollektoranordnung)
- Sichtung der Planungs- bzw. Bestandsunterlagen
- Flächen- und Volumenermittlung
- Analyse der Bedarfsberechnungen bzw. Verbrauchsdaten

1.2 Erstellung der Machbarkeitsstudie

- Festlegung der Anforderungen an Gebäudehülle unter Berücksichtigung der jeweiligen Anlagentechnik
- Kennwertermittlung zu Energiepreisen, -verbrauch und -kosten sowie Bildung der Energiekennzahlen der Gebäude / der Wohnsiedlung
- Ableitung Grundkonzept mit Auslegung der Komponenten für die Wärmeversorgungsvarianten sowie der Bautechnik
- Wirtschaftlichkeitsbetrachtung (Ermittlung der Investitions- und Jahresgesamtkosten unter Berücksichtigung der standortspezifischen Energiekosten nach VDI 2078 für die jeweilige Wärmeversorgungsvariante)
- Ökologische Betrachtung (CO₂- Reduktionspotential, Primärenergiebedarf)
- Berichterstellung, Ergebnispräsentation

2. Feinanalyse

- Konkretisierung des Energiekonzeptes
- Erstellung eines Simulationsmodells zur Systemoptimierung
(Untersuchung des dynamischen Verhaltens und Zusammenwirkens der einzelnen Wärmeerzeuger (-speicher) in Verbindung mit dem tages- und jahreszeitlich veränderlichen Wärmebedarf, sowie dem zeitlich wechselnden Energieangebot der regenerativen Quelle Sonne, unter besonderer Berücksichtigung des Teillastbetriebs)

- Erstellung Antrag (Vorauswahl von Objekten) im Rahmen des Förderprogramms Solarthermie2000plus

Neben den Machbarkeitsstudien führt der Projektpartner STZ-EGS im Rahmen dieses Projektes bereits für fünf selbst geplante und im Betrieb befindliche Anlagen ein Low-Level-Monitoring durch. Über die Aufnahme der wesentlichen Verbrauchsdaten sollen damit bereits innerhalb dieses Projektes belastbare Daten zur Abstimmung der Konzeptstudien mit dem späteren Praxisbetrieb zur Verfügung stehen.

In diesem Forschungsbericht werden die Einzelergebnisse der verschiedenen Konzeptvarianten durch das IGS dokumentiert. Über die Zusammenfassung der Einzelergebnisse hinaus wird eine Entscheidungshilfe / Planungsleitfaden zu CO₂- neutralen Wärmeversorgungssystemen mit der Kombination von Bioenergie erstellt. Hier sollen aus den Erfahrungen in den Einzelprojekten generelle Strategien für die Projektorganisation und die Planung der CO₂-neutralen Wärmeversorgung zusammengefasst werden. Mit dieser Entscheidungshilfe soll ein Beitrag zur weiteren Verbreitung dieser zukunftsweisenden Technologie in die bauliche Praxis geleistet werden.

Die Bearbeitung des Projekts erfolgt durch das IGS – Institut für Gebäude- und Solartechnik in der Fakultät Architektur, Bauingenieurwesen und Umweltwissenschaften der TU Braunschweig in Zusammenarbeit mit den beiden wissenschaftlichen Kooperationspartnern STZ-EGS (Steinbeis-Transferzentrum Energie-, Gebäude- und Solartechnik, Stuttgart) und IBP (Fraunhofer-Institut für Bauphysik - Projektgruppe Kassel).

2.3 Projektdaten und Fördergeber

Projekttitlel	CO ₂ - neutrale Wärmeversorgung für Wohnsiedlungen
Kurztitel	CO ₂ -Solar
Projektnummer	0329607K
Projektförderung	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)
Projektträger	PTJ - Projektträger Jülich - Forschungszentrum Jülich GmbH Herr Dr. Peter Donat
Projektlaufzeit	01.07.2005 – 31.12.2007 (Verlängerung: 30.06.2008)
Ausführende Stelle	Technische Universität Braunschweig Institut für Gebäude- und Solartechnik Univ.- Prof. Dr.-Ing. M. Norbert Fisch
Bearbeitung	Dipl.-Ing. Mathias Schlosser (Projektleiter) Dr.-Ing. Lars Kühl Dipl.-Ing. (FH) Mike Heuer
Wiss. Hilfskräfte	Anja Schilling, Jens Spahmann, Maria Baudler, Stephan Wisotzki

2.4 Wissenschaftliche Projektpartner

Steinbeis-Transferzentrum Energie-, Gebäude- und Solartechnik, Stuttgart	Dipl.-Ing. Jörg Baumgärtner Dipl.-Ing. Josef Broll
Fraunhofer-Institut für Bauphysik Projektgruppe Kassel	Tekn.-Dr. Dietrich Schmidt Dipl.-Ing. Jan Kaiser M.Sc. Herena Torio Dipl.-Ing. Timm Rössel

Das Steinbeis-Transferzentrum Energie-, Gebäude- und Solartechnik (STZ-EGS), Stuttgart bearbeitet schwerpunktmäßig die Themen Technikintegration, Kostenermittlung und Wirtschaftlichkeitsuntersuchung. Weiterhin werden fünf selbst geplante und im Betrieb befindliche CO₂-neutrale Wärmeversorgungsanlagen im Rahmen eines Low-Level-Monitorings messtechnisch begleitet und ausgewertet.

Das Fraunhofer Institut für Bauphysik, Projektgruppe Kassel (IBP), untersucht die Anforderungen an die Gebäudehülle zur Erzielung wirtschaftlicher Gesamtlösungen mit dem Titel „Kostenoptimale Maßnahmenkombinationen zur Primärenergiebedarfsreduktion von Gebäuden“. Diese Aufgabenstellung beinhaltet eine Lebenszyklusanalyse verschiedener Maßnahmenkombinationen (baulicher Wärmeschutz / Wärmeversorgung) über einen definierten Betrachtungszeitraum.

Zielrichtung der Untersuchung durch das IBP:

- Primärenergiebedarfsoptimierung
- Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen CO₂-neutrale Wärmeversorgung / baulicher Wärmeschutz (Vollkostenrechnung nach VDI 2067)
- Betrachtung am Beispiel projektintegrierter Objekte (Neubau, Sanierung)
- Bewertung verschiedener Maßnahmenkombinationen (Gebäudehülle, Deckungsanteil Solaranlage, Gebäudetechnik)

3 MACHBARKEITSSTUDIEN – GROBANALYSEN

Die Entwicklung ganzheitlich optimierter Konzepte beinhaltet die Integration von effizienten und abgestimmten Einzelmaßnahmen im Bereich Wärmeversorgungstechnik, dem Wärmeschutz der Gebäude sowie der Organisation der Wärmeversorgungsaufgabe in einem Gesamtsystem. Erst durch das Zusammenwirken der einzelnen Systembausteine, d.h. durch eine Solarisierung des Bebauungsplans für Neubauten (Südausrichtung, Verschattungsfreiheit, Dachflächennutzbarkeit zur Kollektoranordnung), die angepasste Integration der Solarenergienutzung im Bestand, die Erhöhung des Dämmstandards (Niedrig- und Niedrigstenergiebauweise) und den Einsatz von Biomasse zur Wärmeerzeugung (Holzhackschnitzel, Holzpellets, Strohballen, Biogas, Pflanzenöl) besteht die Möglichkeit der Umsetzung einer effektiven CO₂- neutralen Wärmeversorgung.

In Zusammenarbeit mit den Kooperationspartnern werden in den Jahren 2005 bis 2008 für insgesamt 23 Projekte Machbarkeitsstudien zukunftsfähiger Versorgungssysteme entwickelt. Der Schwerpunkt liegt hierbei auf kleinen Siedlungen mit 50 – 250 Wohneinheiten. Die Machbarkeitsstudien werden nachfolgend mit den wesentlichen Inhalten der Bearbeitung dargestellt:

- Projektvorstellung
- Variantenbetrachtung
- Ergebnisse

Projektvorstellung

Hierbei werden die Rahmenbedingungen der Gebäude bzw. der Siedlung mit den Eckdaten der Studie zusammengefasst. Eine Tabelle gibt eine Übersicht zu den wesentlichen Projektdaten wie den erforderlichen Flächen, dem Jahresheizwärme- und Warmwasserbedarf, den Netzverlusten sowie den Angaben zur Heizleistung.

Variantenbetrachtung

Die in der Machbarkeitsstudie für entsprechende Energiestandards untersuchte Versorgungsvarianten werden im Rahmen einer kurzen Beschreibung dokumentiert. In die Betrachtung einbezogen werden u.a. die Lage der Heizzentrale, die Ausdehnung des Nahwärmenetzes, die Auslegung von Kessel und Brennstofflager sowie die Dimensionierung der Solartechnik.

Ergebnisse

Die im Rahmen einer Wirtschaftlichkeitsberechnung nach VDI 2067 ermittelten Investitions- und Jahresgesamtkosten sind für die einzelnen Varianten dargestellt. Basis der Berechnung ist jeweils eine Kostenschätzung. Die Kosten in der Übersicht sind hierbei jeweils ohne Mehrwertsteuer angegeben. Innerhalb der Kostenermittlung werden neben den Kosten für die technischen Komponenten auch die baulichen Kosten für den Raumbedarf der Heizzentralen, Brennstofflager sowie Planungskosten berücksichtigt (siehe Bild 1). Weiterhin ist in jeder Position ein Kostenanteil in Höhe von 10% für Unvorhergesehenes einkalkuliert.

Projekt: Brentanostr. Projekt-Nr. 05010 Tabelle A7	Investitionskosten Holzpelletkessel (Variante 2)	TU Braunschweig Institut für Gebäude und Solartechnik
1. Leistungsdaten		
Heizleistungsbedarf		92 kW
Heizleistung Pelletkessel		100 kW
Mittlerer Jahresnutzungsgrad	85%	
Gesamtheizleistung		100 kW
2. Investitionskosten		
	Menge	Einzelpreis Investition €
Heizzentrale		
Holzpelletkessel (100 kW) mit automatischer Beschickung und Entaschung		28 000
Hydraulische Einbindung Wärmeerzeuger		7 000
Heizungsverteilung		7 000
MSR-Technik, Elektroarbeiten, Inbetriebnahme		5 000
Abgasanlage		6 000
Pufferspeicher mit Einbindung	2 m ³	1 250 €/m ³ 2 500
Frischwasserstation für Brauchwasserbereitung	4 Stück	2 200 8 800
Raumbedarf HZ	0 m ³	200 €/m ³ 0
Raumbedarf Pelletsilo	0 m ³	200 €/m ³ 0
Unvorhergesehenes		6 430
Summe		70 730
Planung		7 073
Gesamtsumme Investition netto		77 803
Gesamtsumme mit MWST.	16%	90 251
Förderung		
BAFA- Förderung	60 €/kW	6 000
Investitionskosten mit Förderung netto		71 803
Gesamtsumme mit MWST.	16%	83 291

Projekt: Brentanostr. Projekt-Nr. 05010 Tabelle A8	Jahresgesamtkosten Holzpelletkessel (Variante 2)	TU Braunschweig Institut für Gebäude und Solartechnik
Energiebilanz der Wärmeversorgung		
Wärmebedarf Gebäudeheizung (inkl. hausinterner Verluste)		102 MWh/a
Wärmebedarf WW-Bereit. (inkl. hausinterner Verluste)		59 MWh/a
Gesamtwärmebedarf der Gebäude		161 MWh/a
Netzverluste Nahwärmenetz		0,0 MWh/a
Wärme ab Heizzentrale		161 MWh/a
Wärmelieferung Holzpelletkessel	85%	189 MWh/a
Brennstoffbedarf	5,0 MWh/t _u	38 t/a
Betriebsstrombedarf		4,5 MWh/a
1. Kapitalkosten		
Zinssatz:	6%	
Position	Nutzungsdauer a	Annuität Investition € / a
Pelletkessel	20	8,72% 30 800 2 685
Pumpen, Armaturen, etc.	20	8,72% 23 650 2 062
Abgasanlage	20	8,72% 6 600 575
Brauchwasserspeicher	20	8,72% 9 680 844
Raumbedarf HZ+Pelletlager	50	6,34% 0 0
Planung	20	8,72% 7 073 617
Summe Kapitalkosten		6 783
2. Laufende Kosten		
Position	Bezugsgröße	Faktor Jahreskosten €/ a
2.1. Instandsetzung		
Gas-Brennwert-Kessel	30 800	2,0% 616
Pumpen, Armaturen, etc.	23 650	1,5% 355
Abgasanlage	6 600	1,0% 66
Brauchwasserspeicher	9 680	1,5% 145
Raumbedarf HZ+Pelletlager	0	1,0% 0
2.2. Wartung und Betrieb		
Wartung	64 130	1,5% 962
Immissionsmessung	6 600	1,5% 99
2.3. Energiekosten		
Arbeitspreis Pellets	189 MWh/a	31,8 €/MWh/a 6 015
Grundpreis Pellets		€/a 0
Betriebsstrom	4,5 MWh/a	148 €/MWh 664
Summe laufende Kosten		8 921
Jahresgesamtkosten		€/ a 15 705
Wärmekosten		€/ MWh 98
Jahresgesamtkosten mit MWST. (Pellets 7% MWST.)	16%	€/ a 17 676
Wärmekosten mit MWST.		€/ MWh 110
Einsparung durch Förderung		
	6 000 €	8,72% 523
Jahresgesamtkosten mit Förderung		€/ a 15 182
Wärmekosten		€/ MWh 94
Jahresgesamtkosten mit Förderung mit MWST. (Pellets 7% MWST.)	16%	€/ a 17 069
Wärmekosten mit Förderung mit MWST.		€/ MWh 106

Bild 1 Projektbeispiel Ermittlung der Investitions- und Jahresgesamtkosten

Die Brennstoffkosten werden mit den aktuellen, standortspezifischen Energiepreisen berechnet, siehe Bild 2. Im Zuge der Preisentwicklung für erneuerbare und fossile Energie, dem Standort und der zeitlichen Abfolge der Bearbeitung ergeben sich für die Studien jeweils unterschiedliche Eingangsgrößen und damit auch abweichende Ergebnisse. Die ökologische Bewertung der unterschiedlichen Versorgungssysteme erfolgt jeweils über die Berechnung des Primärenergiebedarfs und der CO₂- Emissionen.

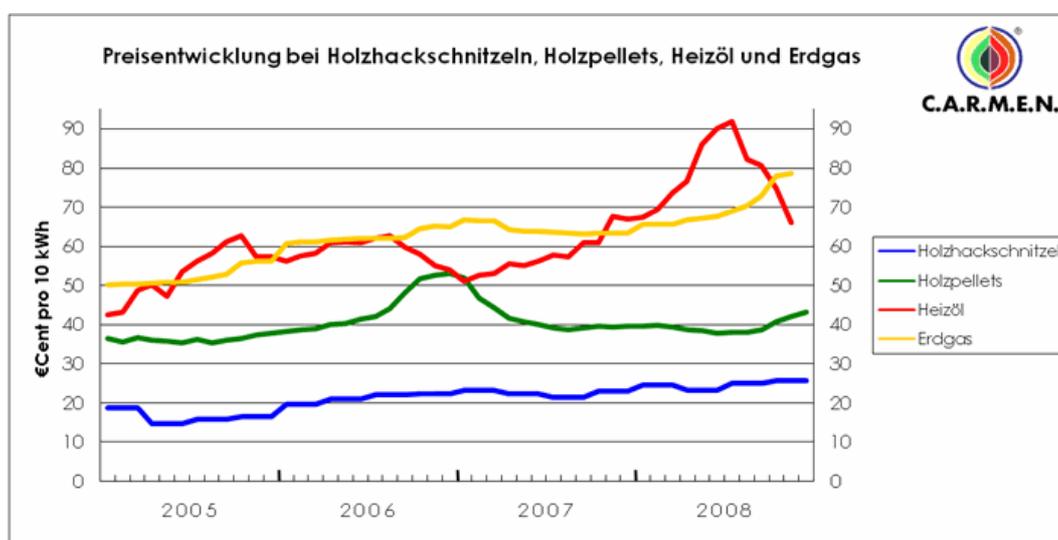


Bild 2 Preisentwicklung im Vergleich von Holzpellets, Holzhackschnitzel, Heizöl und Erdgas [C.A.R.M.E.N., 2008]

Projektnavigator

Die für ausgesuchte Standorte im städtischen und ländlichen Raum erarbeiteten Konzeptvarianten beziehen sich sowohl auf den Neubau sowie auf den zu sanierenden Bestand. Die Projekte werden nachfolgend in einer Übersicht zusammengefasst und hinsichtlich der Gebäudeart, des Status Neubau oder Sanierung, der Anzahl der Wohneinheiten sowie Wohnfläche kategorisiert (siehe Bild 3). Die bearbeiteten Machbarkeitsstudien sind mit den objektseitigen Daten in einem Blick erfassbar. So können Bauherren, Anlagenbetreiber, Architekten und Fachingenieure das für ihr Bauvorhaben relevante Beispiel identifizieren und die Kennwerte entsprechend übertragen und anwenden.

Projektnavigator F+E- Projekt

CO₂- neutrale Wärmeversorgung für Wohnsiedlungen

Projektförderung: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz
 und Reaktorsicherheit (BMU)
 Projektträger: PTJ - Projektträger Jülich - Forschungszentrum
 Jülich GmbH
 Förderkennzeichen: 0329607K



Projekt Nr.	Bezeichnung	Gebäudeart [-]	Wohn- einheiten [-]	Wohnfläche [m ²]
Sanierung Wohnsiedlung				
1	Hannover, Magdeburger Straße 2 und 4	MFH	36	2 930
4	Hannoversch Münden, Wiershäuser Weg 25-41	MFH	49	2 795
7	Jocketa, Wohngebiet Ferdinand-Sommer-Straße	MFH, Schule	230	14 115
8	Sarstedt, Wohngebiet Am Bürgerpark / Am Bruchgraben	MFH	55	3 345
9	Wolfenbüttel, Wohngebiet Ahlumer Siedlung	MFH	146	9 209
17	Neubrandenburg, Ahornstraße 1 bis 23	MFH	112	6 178
18	Hamburg Wilhelmsburg, Quartier Weimarer Straße	MFH	889	61 713
Neubau Wohnsiedlung				
2	Berlin, Wohnpark Bernau-Friedenstal	MFH	240	19 000
5	Weinstadt - Endersbach, Wohngebiet Eichenstraße	MFH, RH, DH	56	6 760
6	Reutlingen, Wohngebiet Lindachareal	MFH, RH	105	11 700
10	Kassel, Brentanostraße 50 – 56	MFH	32	2 561
12	Heidelberg, Neubaugebiet Schollengewann	MFH, RH	200	21 300
16	Kassel Wehlheiden, Wohngebiet Sternbergstraße	RH	51	6 902
19	Heilbronn, Neubaugebiet Kirschengartenstraße	MFH, RH, DH	40	5 285
21	Pforzheim, Neubaugebiet Buckenberg Kaserne	RH, DH	230	36 700
22	Tübingen, Mühlenviertel – Quartier Sonnenmühle	MFH	44	4 145
23	Nürnberg, Neubaugebiet Kornburg-Nord	EFH, RH, DH	200	33 077
Siedlung im ländlichen Raum				
3	Regenerativstadt Dardesheim	MFH, RH, Schule	298	34 300
15	Hohenhameln, Wärmeversorgung Ortsteil Bründeln	EFH, RH	31	7 590
Sanierung Seniorenzentrum				
20	Hannover, Therapie- und Seniorenzentrum Geibelstraße	MFH	110	Nutzfläche 8 115
Neubau Seniorenzentrum				
11	Herten, Grüne Mitte Westerholt	MFH	116	Nutzfläche 8 390
14	Bremen, Stiftungsdorf Borgfeld	MFH	120	Nutzfläche 6 392
Neubau / Sanierung eines Wohn- und Verwaltungszentrums				
13	Goslar, Technologie- und Gründerzentrum	EFH, Bürogeb.	20	Nutzfläche 19 620



TU Braunschweig
 Institut für Gebäude- und Solartechnik
 Prof.-Dr.-Ing. M.N. Fisch
 Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig

Tel: 0531 / 391 3555
 Fax: 0531 / 391 8125
 Internet: www.igs.bau.tu-bs.de
 e-mail: igs@tu-bs.de

Bild 3 Projektstruktur – CO₂- neutrale Wärmeversorgung für Wohnsiedlungen

3.1 Projekt 1 – Hannover, Magdeburger Straße 2 und 4

In Kooperation von IGS und STZ-EGS wird im Sommer 2005 ein Energiekonzept für zwei identische Mehrfamilien-Wohngebäude in Hannover mit insgesamt 2.930 m² Wohnfläche entwickelt. Die in den 60er Jahren erbauten Mehrfamilienhäuser sind im Besitz der Gesellschaft für Bauen und Wohnen Hannover mbH (GBH) und bestehen jeweils aus einem Kellergeschoss, vier Wohngeschossen und einem Trockenboden in Holzleichtbaukonstruktion.

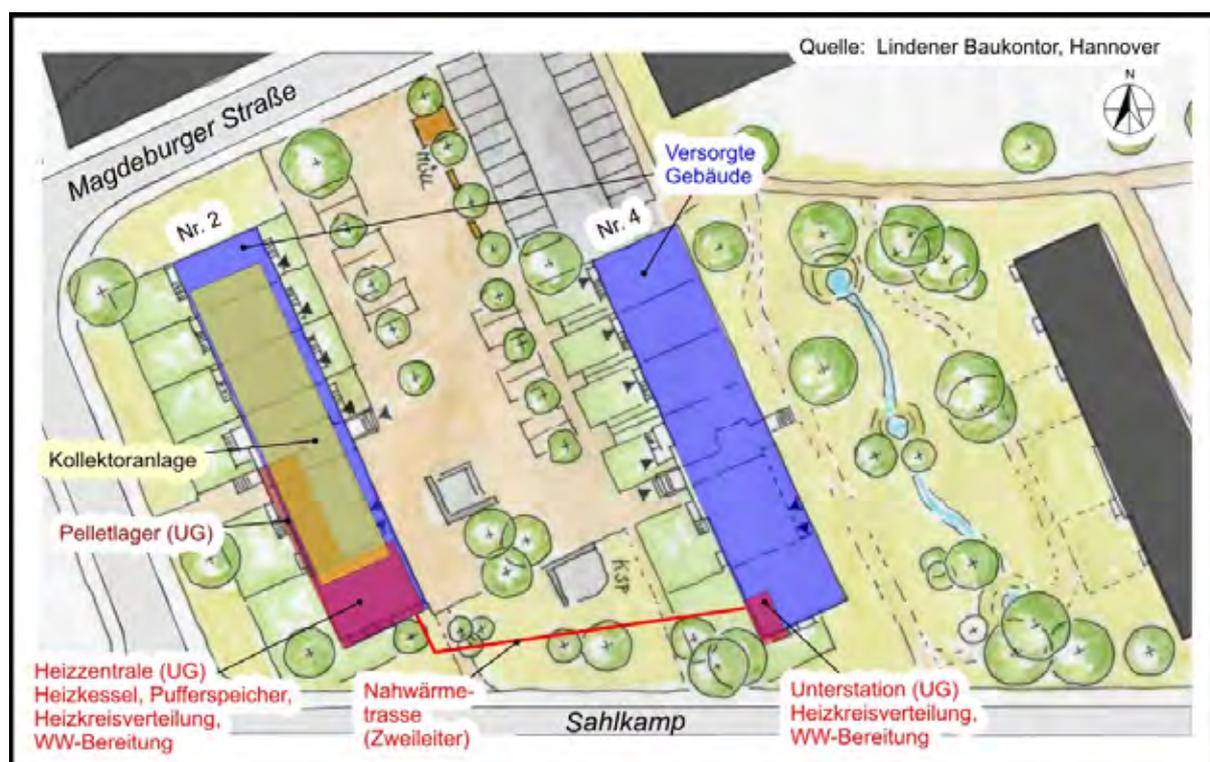


Bild 4 Lageplan Hannover, Magdeburger Straße 2 und 4

Das Gebäude Magdeburger Straße 2 wird zum Zeitpunkt der Machbarkeitsstudie über eine 1996 errichtete Wärmeerzeugungsanlage bestehend aus drei wandhängenden Gas-Brennwert-Heizkesseln zentral mit Wärme versorgt. Der Energieverbrauch (Gasmenge) zur Gebäudeheizung liegt bei 325 MWh, d.h. 220 kWh/m²_{ANA}. Im Gebäude Magdeburger Straße 4 befindet sich keine zentrale Wärmeversorgungsanlage. Für dieses Gebäude ist im Rahmen der Sanierungsmaßnahmen in jedem Fall ein Heizsystem mit Wärmeversorgungsanlage vorgesehen.

Die zur Verfügung stehende Raumhöhe im Untergeschoss ist mit 2,10 m, zur Einbringung und Aufstellung von Pufferspeichern bzw. bodenstehenden Wärmeerzeugern größerer Leistung, begrenzt. Der Trockenboden ist als Holzleichtbaukonstruktion ausgeführt, dessen statische Belastbarkeit hinsichtlich der Anordnung von Kollektoren mit entsprechender Unterkonstruktion ebenfalls begrenzt ist. Nach der durchgeführten Sanierung sollen die beiden Gebäude folgende Zielkennwerte erreichen:

	Planungsstand zum Zeitpunkt der Machbarkeitsstudie	
Gebäudetyp	Mehrfamilienhaus	
Anzahl der Gebäude	2	
Nutzung	Wohnen	
Klassifizierung	Sanierung	
Anzahl Wohneinheiten	36 (18 je Haus)	
Wohnfläche	2.930 m ² (1.465 m ² je Haus)	
Nutzfläche nach EnEV (A _N)	3.506 m ² (1.753 m ² je Haus)	
Jahresheizwärmebedarf	65 kWh/m ² _{ANA}	227 MWh/a
Warmwasserbedarf	24 kWh/m ² _{ANA}	84 MWh/a
Netzverluste	150 kWh/m ² _{Tr} a	6 MWh/a
Gesamtwärmebedarf	91 kWh/m ² _{ANA}	317 MWh/a
Heizleistungsbedarf	45 W/m ² _{AN}	157 kW

Tabelle 1 Eckdaten Machbarkeitsstudie Hannover – Magdeburger Straße 2 und 4

Die bestehenden Laubenganghäuser mit 28 kleinen und mittleren Wohnungen je Zeile sollen mit dem Ziel familiengerechter Grundrisse zu 18 Wohnungen je Zeile umgebaut werden. Die Eingänge der Maisonettewohnungen in den unteren beiden Geschossen und die beiden Hauseingänge orientieren sich zu einem gemeinsamen Erschließungshof. Ergänzt werden diese Umbaumaßnahmen durch eine umfangreiche haustechnische und energetische Sanierung der Gebäude. Dabei wird der Dämmstandard der Gebäudehülle deutlich verbessert (Kellerdeckendämmung 10 cm (WLG 040), Außenwanddämmung 12 cm (WLG 035), Flachdachdämmung 20 cm

(WLG 040), Fenstererneuerung U-Wert 1,5 W/(m²·K)). Insgesamt entstehen 36 hochmoderne Wohnungen mit einer Wohnfläche zwischen 70 und 120 m².

Der resultierende Heizwärmebedarf der beiden Gebäude wurde über ein Berechnungsprogramm zum Nachweis der Anforderungen nach Energieeinsparverordnung – Wohngebäude im Monatsbilanzverfahren ermittelt. Es ergibt sich ein spezifischer Heizwärmebedarf von 65 kWh/m²_{ANA}. Die Berechnung der Heizleistung erfolgt in Anlehnung an das vereinfachte Verfahren nach DIN EN 12831. Daraus ergibt sich eine Basisgröße von 45 W/m²_{AN}. Für die Ermittlung des Brauchwasserwärmebedarfs werden nach VDI 2067 (Blatt 4) 30 l/d bei 45°C pro Person angesetzt, bei insgesamt 144 Personen. Für Speicher- und Zirkulationsverluste werden 6 kWh/m²_{ANA} berücksichtigt. Für die Brauchwassererwärmung sind demnach ca. 84 MWh/a oder 24 kWh/m²_{ANA} erforderlich. Der Heizwärmebedarf für beide Gebäude errechnet sich zu jährlich 317 MWh inklusive Netzverluste in Höhe von 6 MWh. Die erforderliche Heizleistung beträgt nach Sanierung 157 kW.

Der Jahresheizwärmebedarf setzt sich also aus den Netzverlusten, dem Warmwasserbedarf und dem Heizungswärmebedarf zusammen. Die Raumwärme macht etwa 2/3 des gesamten Jahresheizwärmebedarfs aus, siehe Bild 5.

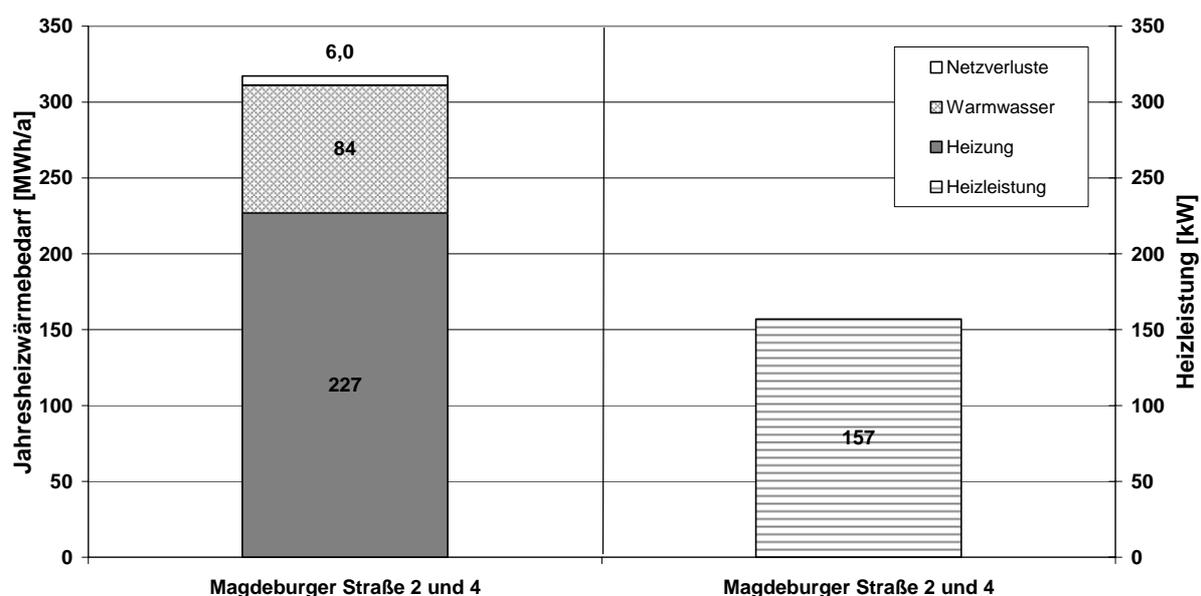


Bild 5 Darstellung Jahresheizwärmebedarf und Heizlast

Variantenbetrachtung

Zur Wärmeversorgung der beiden Gebäude wurden 5 unterschiedliche Varianten im Rahmen der Machbarkeitsstudie untersucht. Auf Wunsch des zukünftigen Betreiber und Bauherren der Wärmeversorgungsanlage (MSV - Mieterservice Vahrenheide GmbH) werden 3 CO₂- neutrale Wärmeversorgungen, bei denen die Kollektorfeldgröße zwischen 100 und 150 m² variiert, untersucht und mit einer Versorgungsvariante mit ausschließlich fossilem Brennstoff zur Bedarfsdeckung gegenübergestellt. Bei allen Konzepten wird eine zentrale Versorgung betrachtet. Dabei wird das Gebäude Magdeburger Straße 4 über eine Nahwärmeleitung DN40 an die Heizzentrale im Gebäude Magdeburger Straße 2 angeschlossen. Zur Wärmeversorgung werden fünf Varianten betrachtet, welche nachfolgend beschrieben sind:

Var.	zentral/ dezentral	Kesselart	Kesselleistung (je Kessel)	Kollektor- fläche	Speicher- art	Speicher- volumen
1	zentral	Gas-BWK	160 kW	-	-	-
2	zentral	Holzpelletkessel	150 kW	-	Heißwasser	2m ³
3	zentral	Holzpelletkessel	150 kW	100 m ²	Heißwasser	6,5 m ³
4	zentral	Holzpelletkessel	150 kW	135 m ²	Heißwasser	9 m ³
5	zentral	Holzpelletkessel	150 kW	150 m ²	Heißwasser	10 m ³

(BWK = Brennwertkessel)

Tabelle 2 Varianten der Wärmeversorgung Hannover – Magdeburger Straße 2 und 4

Variante 1 berücksichtigt die zentrale Wärmeversorgung mit einem handelsüblichen Gasbrennwert Kessel mit 160 kW. Der vorhandene Gasanschluss ist ausreichend für die Versorgung beider Gebäude.

In Variante 2 erfolgt die Beheizung über einen Holzpelletkessel mit 150 kW. Das der Feuerungsanlage zugeordnete Pelletlager soll in 3 ehemalige Mieterkeller untergebracht werden. Es ergibt sich ein mittleres Lagervolumen von 36 m³ bzw. 23,5 to. Aufgrund der lang- gestreckten Dimension des Raums ist eine Förderschnecke von ca. 10 m Länge erforderlich. Für die Zufuhr des Brennstoffs zur Schnecke ist eine Abschrägung des Bodens um ca. 40° erforderlich. Die notwendigen Baumaßnahmen zur Aufstellung des Holzpelletkessels und zum Einbau des Pelletlagers sind:

- Vergrößerung der Einbringöffnung in das Untergeschoss
- Versetzen von Wänden und Türen im Untergeschoss
- Einbau eines Bodenkanals für die Längsschnecke, da sonst die Schrägböden zu hoch werden (Reduzierung des Speichervolumens)
- Wanddurchbrüche zwischen den Mieterkellern
- Einfüllöffnungen an den Außenwänden zur Befüllung der Räume mit Pellets (einzeln)

Bei den Varianten 3 bis 5 wird der Holzpelletkessel durch eine Solaranlage ergänzt bei der jeweils die Kollektorfläche variiert. Die Solaranlage ersetzt vor allem in den Sommermonaten den Kesselbetrieb, d.h. der Kessel kann abgeschaltet werden. Der wenig effiziente Teillastbetrieb mit erhöhten Verlusten und reduziertem Nutzungsgrad wird dadurch eingeschränkt. Aufgrund der gegebenen Rahmenbedingungen liegt die solare Deckung zwischen 40% und 60% am Bedarf für Warmwasser und Netzverluste bzw. zwischen 10% und 17% am Gesamtwärmebedarf. Die Kollektoren sollen auf einer dachüberspannenden Tragkonstruktion mit Orientierung nach SSO und einem Anstellwinkel zwischen 30° und 40° montiert werden. Es wird mit einem erwarteten spezifischen Ertrag von 360 kWh/(m²·a) gerechnet.

Für der Aufstellung der Pufferspeicher im Raum neben der Heizzentrale ergeben sich Einschränkungen hinsichtlich der verfügbaren Fläche und insbesondere der Raumhöhe (2,1 m). Ohne den Boden abzusenken wird daher eine Lösung mit 2 bzw. 3 kellergeschweißten Pufferspeichern vorgeschlagen, welche in Reihe verschaltet werden. Dabei variiert das Volumen zwischen 6,5 m³ und 10 m³. Bild 6 zeigt das vereinfachte Anlagenschema der Variante 4 bei der 3 in Reihe geschaltete Pufferspeicher integriert sind.

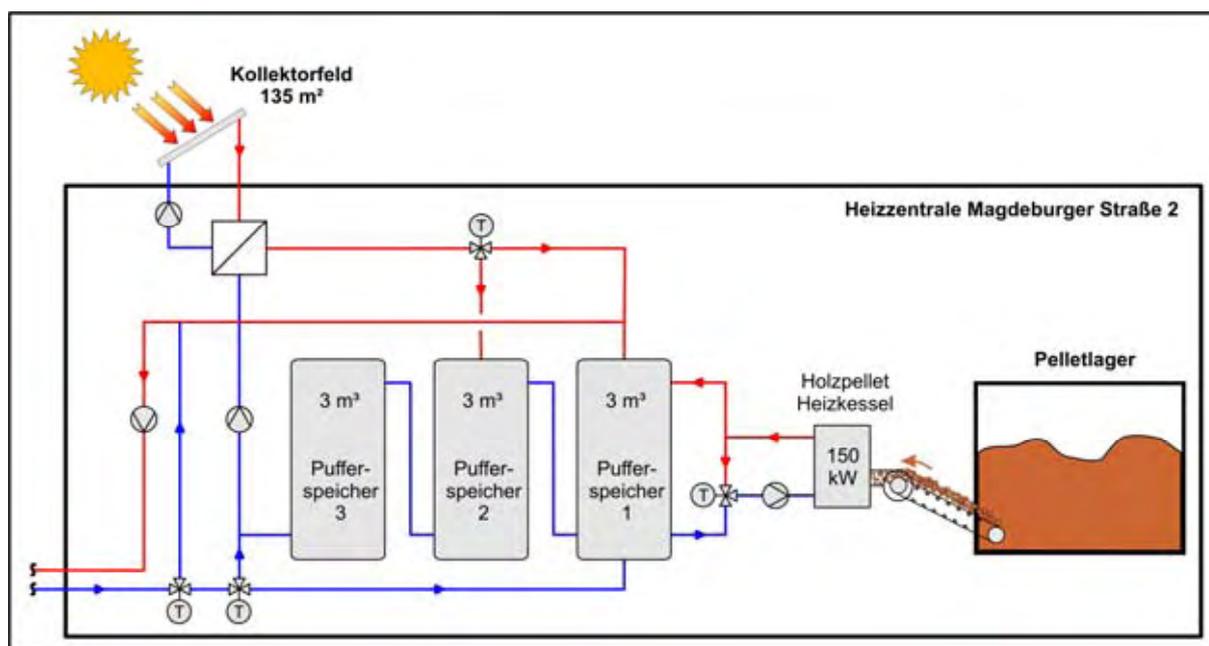


Bild 6 Anlagenschema Variante 4 – Holzpelletkessel mit Solaranlage 135 m²

Ergebnisse

In Bild 7 sind die Gesamt-Investitionskosten für die unterschiedlichen Varianten dargestellt. Bei Variante 2 wurde eine Förderung durch die BAFA für den Holzpelletkessel in Höhe von 60 €/kW berücksichtigt, für die Varianten 3-5 wurden die Kosten für die solaren Komponenten zu 30% durch Solarthermie2000plus als förderfähig angesetzt sowie eine Sonderförderung durch die Wohnungsbaugesellschaft GBH in Höhe von 50% für die Tragkonstruktion der Solaranlage benötigten Kosten. Die Nahwärmeleitung zwischen den Gebäuden wird mit 8.800 € kalkuliert und ist in der Position Heizzentrale enthalten.

Die geringsten Gesamtinvestitionen entfallen auf die konventionelle Variante mit zentralem Gaskessel, die höchsten Gesamtinvestitionen erreicht die Variante 5 mit dem größten Kollektorfeld. Bei Variante 2 werden die Investitionskosten für den Pelletkessel um 30.000 € für bauliche Maßnahmen erhöht. Bei Installation einer Solaranlage bei den Varianten 3 bis 5 werden zusätzlich 40.000 € für bauliche Maßnahmen (dachüberspannende Tragkonstruktion) benötigt. Durch die Einrechnung von Fördergeldern können die Investitionskosten gesenkt werden.

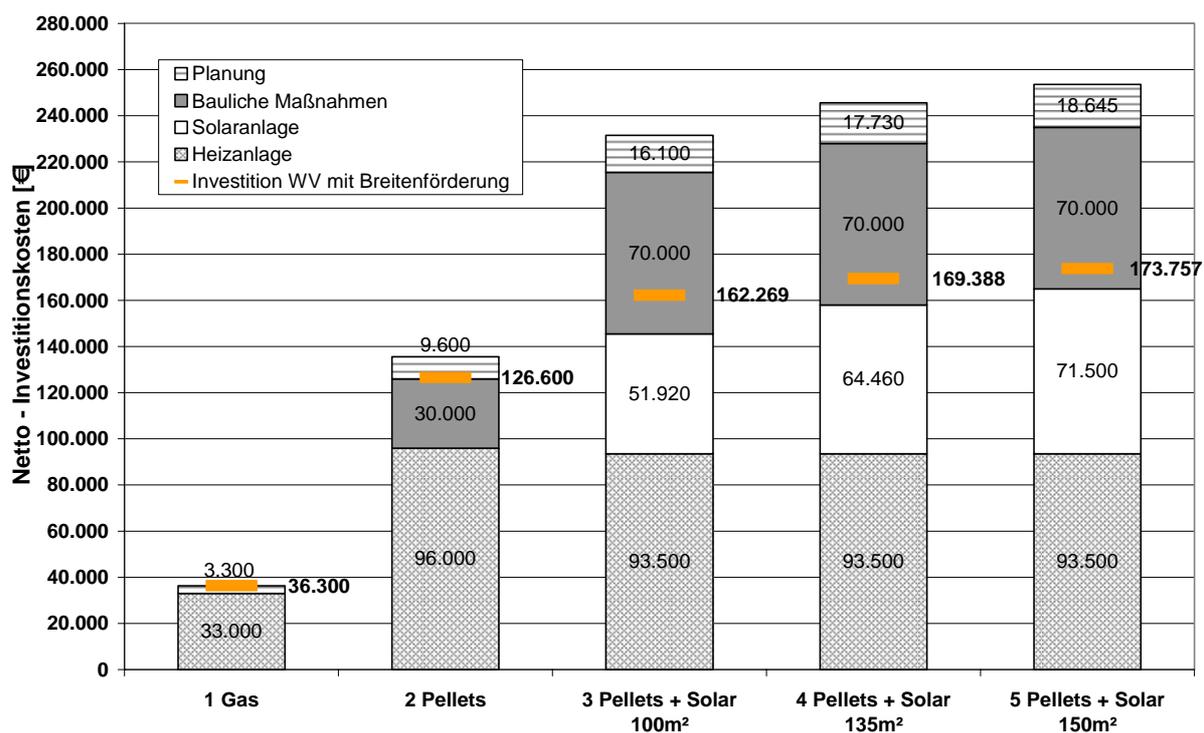


Bild 7 Gesamt-Investitionskosten (inkl. Planung, ohne MWSt.) der verschiedenen Varianten

In Bild 8 sind die Jahresgesamtkosten für die unterschiedlichen Varianten dargestellt. Sie fallen bei Variante 1 am Geringsten aus. Trotzdem sollte beachtet werden, dass die Energiekosten in dieser Variante über 2/3 der gesamten Jahresgesamtkosten ausmachen, was bei steigenden Energiekosten in der Zukunft einen beachtlichen Kostenfaktor darstellt. Betrachtet man die übrigen Varianten erkennt man, dass sich die hohen Jahresgesamtkosten aus den Kapitalkosten in Kombination mit Instandhaltung der Komponenten und den Energiekosten ergeben. Die Energiekosten sind hier jedoch geringer als in der ersten Variante.

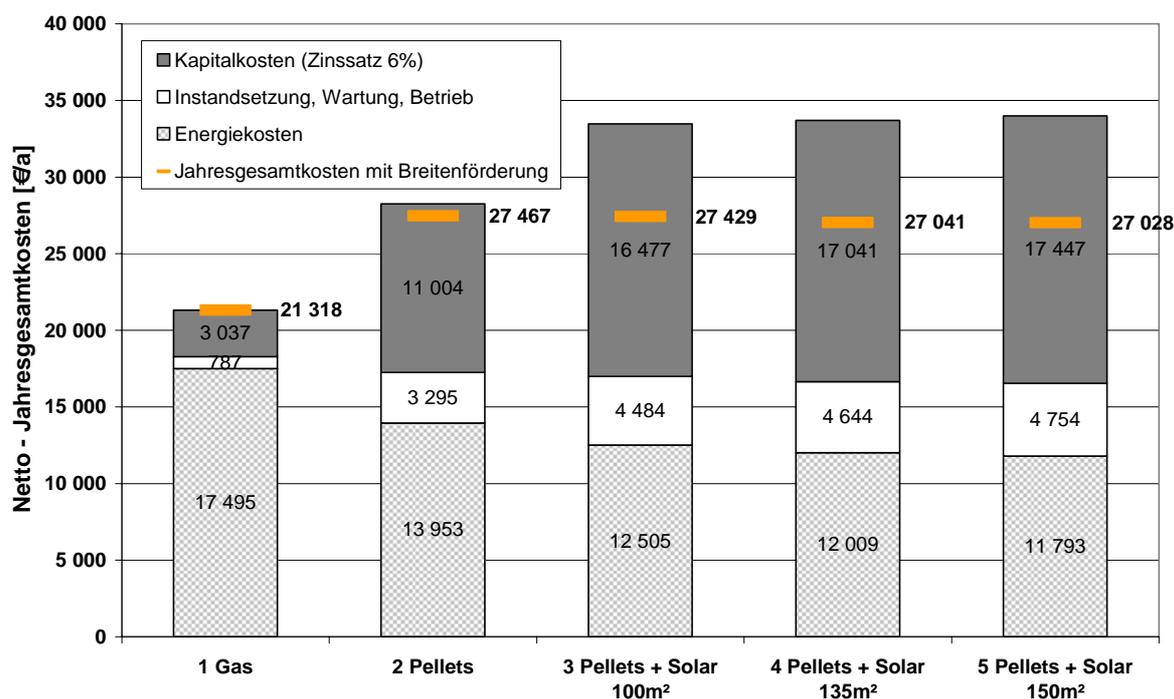


Bild 8 Jahresgesamtkosten (ohne MWSt.) der verschiedenen Varianten

Bild 9 zeigt den Primärenergiebedarf sowie die CO₂- Emissionen bezogen auf die Wärmerzeugung der verschiedenen Varianten. Über die Kombination Solar und Holz ergibt sich im Vergleich zu der konventionellen Lösung mit einem Gas-Brennwert-Heizkessel eine drastische Reduzierung der CO₂-Emissionen und des Primärenergiebedarfs auf etwa 20% des Ausgangswertes. Als Kompromiss aus Wirtschaftlichkeitsaspekten und Emissionsminderung wurde dem Auftraggeber die Variante der CO₂-optimierten Wärmeversorgung mit Holzpelletkessel und Solaranlage empfohlen, bei der sich die Kollektorfeldgröße nach der zur Verfügung stehenden Fläche richtet.

Entscheidungsgründe des Wohnbauunternehmens GBH:

Die Preissteigerungen der konventionellen Energieträger (Erdgas und Heizöl) machen Erneuerbare Energien wirtschaftlich. Die Vermietbarkeit von Wohnraum wird immer mehr abhängig von den Nebenkosten, der so genannten zweiten Miete. Neben den Kriterien Ausstattung und Lage von Wohnraum geraten die Energiekosten immer mehr in den Focus der Entscheidung für die Anmietung einer Wohnung. Die

Entscheidung bei der Erneuerung von Heizzentralen sollte immer einer langfristigen Betrachtung standhalten:

- Holzenergie ist unendlich verfügbar
- Holzenergie ist CO₂- neutral und trägt damit nicht zur Erderwärmung bei
- die Preisentwicklung ist derzeit nahezu konstant
- es handelt sich um eine einheimische Energiequelle

Energieholz kann einen großen Anteil des Wärmeenergiebedarfes in unserem Land abdecken. Niedersachsen steht bundesweit hinsichtlich des Waldbestandes an vierter Stelle. Die Wertschöpfung erfolgt vor Ort. Die Kaufkraft und die Arbeitsplätze bleiben in der Region. Für die GBH steht im Vordergrund, dass die Wohnqualität durch den Betrieb der Holzpelletfeuerungen nicht nachteilig beeinflusst wird. Eine Geruchsbelästigung ist bei heutigen modernen und vollautomatischen Holzpelletfeuerungen auszuschließen. Die Geräuschentwicklung geht nicht über die herkömmlicher Gas- oder Heizölanlagen hinaus.

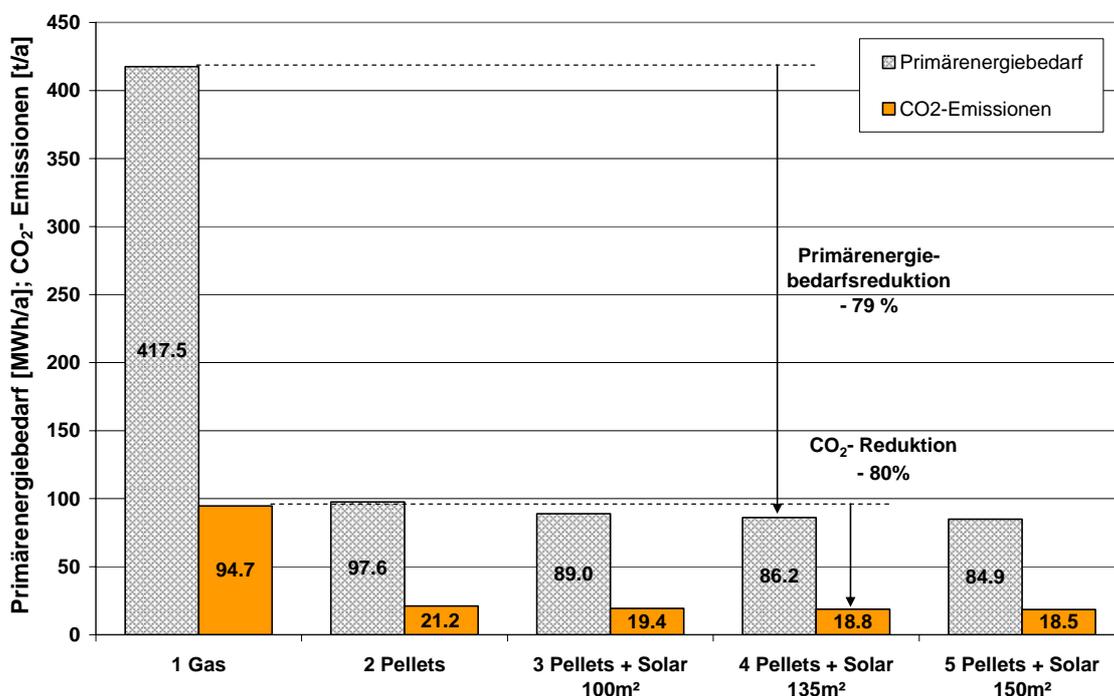


Bild 9 Primärenergiebedarf und CO₂-Emissionen der verschiedenen Varianten

3.2 Projekt 2 – Berlin, Wohnpark Bernau-Friedenstal

Im Neubaugebiet Bernau-Friedenstal in Berlin entstehen im 1. Bauabschnitt 30 Wohngebäude mit zwei verschiedenen Gebäudetypen. Typ A wird mit 24 Gebäuden mit jeweils acht Wohneinheiten realisiert. 12 dieser 24 Häuser besitzen ein Kellergeschoss. Typ B umfasst 6 Gebäude mit ebenfalls acht Wohneinheiten, wovon drei unterkellert sind. Die 4-geschossigen Gebäude besitzen eine Netto-Fläche (inkl. Treppenhaus) von je 577 m² (Typ A) bzw. 864 m² (Typ B). Die Netto-Grundfläche des Gesamtgebietes beträgt somit 19.032 m².

Die Entwurfsbearbeitung der Gebäude erfolgte durch ein Berliner Architekturbüro. Im Auftrag der BEGO Immobilien Management GmbH Berlin wird zunächst in der Machbarkeitsstudie für die Haustypen A und B untersucht, mit welchen Maßnahmen bei Versorgung mit Fernwärme bzw. Nahwärme der EnEV- Standard bzw. KfW40-Standard erreicht wird. Im Weiteren werden 4 verschiedene Varianten einer energetisch optimierten Wärmeversorgung erarbeitet und verglichen.

Die Rahmendaten des Neubaugebietes sind in der Tabelle 3 aufgeführt.



Bild 10 Lageplan Berlin, Wohnpark Bernau-Friedenstal

	Planungstand zum Zeitpunkt der Machbarkeitsstudie	
Gebäudetyp	Mehrfamilienhaus	
Anzahl der Gebäude	30	
Nutzung	Wohnen	
Klassifizierung	Neubau	
Anzahl Wohneinheiten	240 (8 je Haus)	
Wohnfläche	19.000 m ²	
Nutzfläche nach EnEV (A _N)	22.700 m ²	
	EnEV- Dämmstandard	KfW40-Dämmstandard
Jahresheizwärmebedarf	59 kWh/m ² _{ANa}	28 kWh/m ² _{ANa}
Warmwasserbedarf	18 kWh/m ² _{ANa}	18 kWh/m ² _{ANa}
Netzverluste	192 kWh/m ² _{Tr,a}	169 kWh/m ² _{Tr,a}
Gesamtwärmebedarf	82 kWh/m ² _{ANa}	51 kWh/m ² _{ANa}
Heizleistungsbedarf	40 W/m ² _{AN}	29 W/m ² _{AN}

Tabelle 3 Eckdaten Machbarkeitsstudie Berlin – Wohnpark Bernau-Friedenstal

In der Machbarkeitsstudie wird in vier Varianten untersucht, welcher technische Aufwand erforderlich ist, um den Mindeststandard nach EnEV bzw. den KfW 40-Standard einzuhalten. Über die unterschiedlichen Energiestandards wird jeweils die gesamtenergetische Qualität eines Gebäudes definiert – Basis der Betrachtungen sind jeweils die Vorgaben des Gesetzgebers aus der EnEV.

An ein Energiesparhaus 40 ("KfW 40-Haus") werden zwei Anforderungen gestellt, die zusätzlich an die Vergabe zinsverbilligter Kredite durch die KfW gebunden sind. Zum einen darf der Primärenergiebedarf nicht größer als 40 kWh/m²_{ANa} sein und zum anderen muss der Transmissionswärmeverlust H_T' um 45% unter den Anforderungen der EnEV liegen. Die nachfolgend aufgeführten Optionen wurden in einer Parameterstudie näher untersucht.

1. Fernwärmeanschluss, EnEV- Dämmstandard
2. Fernwärmeanschluss, Solaranlage (dezentral), Abluftanlage, KfW40-Standard
3. Nahwärme (Heizzentrale mit Pellets + Solaranlage), EnEV- Dämmstandard
4. Nahwärme (Heizzentrale mit Pellets + Solaranlage), KfW40-Dämmstandard

	Variante 1 ENEV Typ A / B	Variante 2 KfW40 Typ A / B	Variante 3 ENEV Typ A / B	Variante 4 kFW40 Typ A / B
	cm	cm	cm	Cm
Außenwand	10	22	10	16
Fenster	2-Scheiben WSV (U=1,4)	3-Scheiben WSV (U=0,8)	2-Scheiben WSV (U=1,4)	3-Scheiben WSV (U=0,8)
Flachdach	12	28	12	24
Boden gg. Keller	6	10	6	10
Boden gg. Erdreich	6	10	6	10
Wand gg. Keller	6	10	6	10
Wand gg. Erdreich	6	10	6	10
Heizung	Fernwärme	Fernwärme	Pellets zentral	Pellets zentral
Lüftungsanlage	Nein	Abluftanlage	Nein	Nein
Blower-Door-Test	Nein	Ja	Nein	Nein
Solaranlage	Nein	50% WW- Bereitung dezentral	40% WW- Bereitung zentral	40% WW- Bereitung zentral

Tabelle 4 Dämmstoffstärken (EnEV: WLG040, KfW40: WLG035) und zusätzliche Maßnahmen zur Erreichung des EnEV- bzw. KfW40- Standards

Tabelle 4 gibt eine Übersicht über die Maßnahmen zur Erreichung des EnEV- bzw. KfW40-Standards. Auf Basis der Flächen der Außenbauteile berechnen sich die Dämmstoffstärken und U-Werte für die Standards EnEV bzw. Energiesparhaus 40.

Der Heizleistungsbedarf wird für Typ A und B nach DIN EN 12831 berechnet, der jährliche Wärmebedarf nach dem Rechenverfahren der EnEV. Es ergeben sich typische Bedarfswerte (Wärme und Heizleistung) jeweils für den EnEV- bzw. KfW40-Standard in Höhe von 59 und 28 kWh/m²_{ANA} sowie 40 und 29 W/m²_{AN}. Für die Ermittlung des Wärmebedarfs zur Warmwasserbereitung wird der nach EnEV angegebene Wert von 12,5 kWh/m²_{ANA} angesetzt. Für die Warmwasserbereitung sind demnach ca. 405 MWh/a (inklusive 30% Speicher- und Zirkulationsverluste – 5,5 kWh/m²_{ANA}) erforderlich. Für das Gesamtgebiet entsteht ein jährlicher Heizwärmebedarf von 1.331 MWh/a (EnEV) bzw. 629 MWh/a (KfW40).

Bei zentraler Versorgung entstehen Netzverluste in Höhe von 123 MWh/a (EnEV) bzw. 108 MWh/a (KfW40). Dies ergibt einen Gesamtwärmebedarf ab Heizzentrale von 1.858 MWh/a (EnEV) bzw. 1.385 MWh/a (KfW40). Die erforderliche Heizleistung beträgt 896 kW (EnEV) bzw. 656 kW (KfW40), siehe Bild 11.

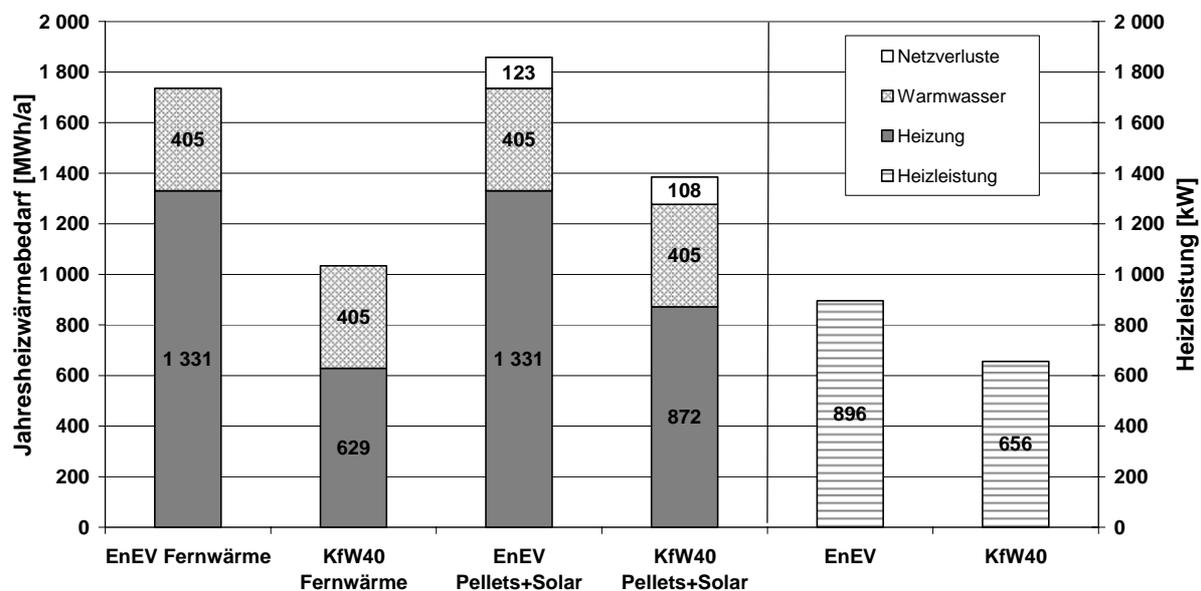


Bild 11 Darstellung Jahresheizwärmebedarf und Heizlast

Variantenbetrachtung

Zur Wärmeversorgung des Neubaugebietes werden vier unterschiedliche Varianten im Rahmen der Machbarkeitsstudie untersucht. Grundsätzlich besteht im Wohnpark Bernau eine Fernwärmeanschlusspflicht. Jedoch ist eine Ausnahmeregelung in Einzelfällen möglich. In der Satzung der Stadt Bernau über die öffentliche Fernwärmeversorgung steht: "Eine Befreiung vom Anschlusszwang ist im Einzelfall auf Antrag möglich, wenn die Versorgung des Grundstücks mit Wärme über regenerative Energiequellen erfolgen soll". Für die Fernwärmeversorgung ist nach Vorschlag der Stadtwerke Bernau eine neue Haupttrasse mit Fernwärme- und Hausanschlussleitungen abgehend von der Fernwärmehauptleitung zu errichten. Bei den Hausanschlussstationen handelt es sich bei den Stadtwerken Bernau um Komplettleistungen einschließlich Montage, WW- Speicher mit Speicher-Lade-System, Zirkulation, Heizungspumpe und Regelung.

Bei Versorgung über regenerative Energien wird ein Wärmenetz errichtet mit einer Trassenlänge von ca. 640 m. Dabei erfolgt die Verlegung soweit möglich in den Kellern der Gebäude, Abzweige im Erdreich werden vermieden. Es ergeben sich Netzverluste am Gesamtwärmebedarf für die EnEV- Variante in Höhe von ca. 7% bei der KfW40- Variante ca. 9%. Bei den Übergabestationen in den Gebäuden handelt es sich um indirekte Kompaktübergabestationen (mit Wärmetauscher). Die WW- Berei- tung erfolgt über Speicher-Lade-Systeme. Zur Wärmeversorgung werden vier Vari- anten betrachtet, welche nachfolgend aufgelistet sind:

Var.	zentral/ dezentral	Kesselart	Kesselleistung (je Kessel)	Kollektor- fläche	Speicher- art	Speicher- volumen
1	zentral	Fernwärme	900 kW	-	-	-
2	zentral	Fernwärme	660 kW	582 m ² (dezentral)	Heißwasser	je nach Haustyp 2 bis 4 m ³
3	zentral (eigenes Netz)	1 Holzpelletkessel 1 Holzpelletkessel 1 Holzpelletkessel	300 kW 300 kW 300 kW	495 m ²	Heißwasser	30 m ³
4	zentral (eigenes Netz)	1 Holzpelletkessel 1 Holzpelletkessel	300 kW 400 kW	495 m ²	Heißwasser	30 m ³

Tabelle 5 Varianten der Wärmeversorgung Berlin – Wohnpark Bernau-Friedenstal

Variante 1 beinhaltet eine Fernwärmeversorgung der dem EnEV-Standard entspre- chenden Gebäude. Jede Gebäudegruppe erhält einen Fernwärmeanschluss sowie eine Übergabestation wie zuvor beschrieben.

Die Versorgung der KfW40- Gebäude in Variante 2 erfolgt ebenfalls über Fernwär- me. Um den Primärenergiegrenzwert beim „Energiesparhaus 40“ zu erreichen, sind hier im Unterschied zur vorigen Variante neben dem verbesserten Dämmstandard, eine Solaranlage und eine Abluftanlage vorgesehen. In Küche, Bad und WC wird dabei die Abluft abgezogen und über Dach abgeführt. Außenluft strömt über Außen- wandluftdurchlässe im Wohnzimmer und den Schlafzimmern nach. Die Solaranlagen werden hierbei jeweils dezentral pro Gebäude vorgesehen und hinsichtlich der De- ckung von ca. 50% des Warmwasserbedarfs ausgelegt. Bei einem angesetzten Er- trag von ca. 360 kWh/m²a ergeben sich für die einzelnen Häusergruppen unter-

schiedliche Kollektorflächen (Häusergruppe A-A: 36 m²; Häusergruppe A-B: 43 m²; Häusergruppe A-B-A: 61 m²). Die dezentralen Solaranlagen werden auf dem Flachdach des Hauses aufgeständert, in dem sich die Technikzentrale der jeweiligen Häusergruppe befindet. Insgesamt ergibt sich eine Kollektorfläche von 582 m².

Bei Variante 3 und 4 erfolgt die Wärmeversorgung über ein eigenes Nahwärmenetz. Die Auslegungen werden jeweils für den EnEV- Standard (Var.3) und für den KfW 40-Standard (Var.4) ausgeführt. Dabei wird die Heizzentrale im Untergeschoss eines zentral gelegenen Mehrfamilienhauses untergebracht. Die Wärmeerzeugung erfolgt durch Holzpellets (Var.3: 3 x 300 kW bzw. Var.4: 300 kW + 400 kW) und eine zentrale Solaranlage mit 495 m² Kollektorfläche in Kombination mit einem 30 m³ Pufferspeicher. Als Übergabestationen werden indirekte Kompaktübergabestationen (mit Wärmetauscher) vorgesehen. Die Warmwasserbereitung erfolgt je Gebäude über ein Speicher-Lade-System. Die Kollektoren sollen auf den Flachdächern mit 40° Anstellwinkel südorientiert aufgeständert werden. Die Auslegung der Kollektorfläche erfolgt so, dass ca. 40% des Warmwasserbedarfs gedeckt werden. Es wird mit einem erwarteten spezifischen Ertrag von 360 kWh/(m²·a) gerechnet. Der Anteil der Solarenergie am Gesamtwärmebedarf beträgt bei Variante 3 16% und bei Variante 4 10%. Bild 12 zeigt das vereinfachte Anlagenschema der Variante 4.

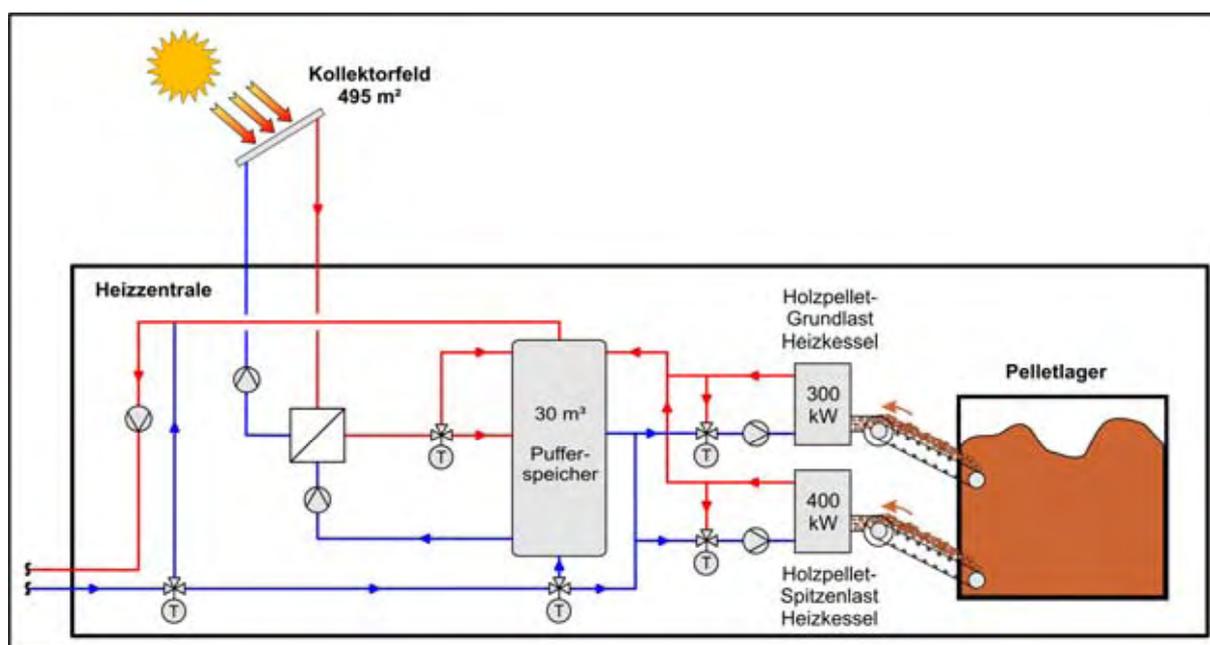


Bild 12 Anlagenschema Variante 4 – Holzpelletkesselanlage mit Solaranlage 495 m²

Ergebnisse

Bild 13 zeigt die Investitionskosten für die Wärmeversorgung aller Varianten, aufgeteilt nach den verschiedenen Anlagenteilen. Für die Varianten 3 und 4 werden die Kosten für die solaren Komponenten zu 30% durch Solarthermie2000plus als förderfähig angesetzt. Bei zentraler Fernwärmeversorgung über das städtische Netz werden lediglich die Kosten berücksichtigt, die der Bauherr an den Versorger zu bezahlen hat (für Baukostenzuschuss, Hausanschlussleitungen, Hausanschlussstationen).

Die niedrigsten Investitionen sind bei Versorgung mit Fernwärme für den EnEV-Standard zu erwarten. Die Ausführung der Gebäude im KfW 40 Standard führt zu einer deutlichen Erhöhung der Investitionskosten. Die Mehrkosten entstehen durch die Kombination aus erhöhtem Dämmstandards in Verbindung mit Solar- und Abluftanlage.

Die Investitionskosten für die zentrale Versorgung mit Holzpellets und Solaranlage (Varianten 3 und 4) bewegen sich dazwischen. Dabei liegen die Investitionskosten für den KfW40-Standard um ca. 500 T€ über dem EnEV- Standard. Zwar sind die Kosten für die Heizzentrale, Hausübergabestationen und Nahwärmenetz beim KfW40-Standard geringfügig niedriger, jedoch wirken sich die Mehrkosten für den höheren Dämmstandard deutlich aus.

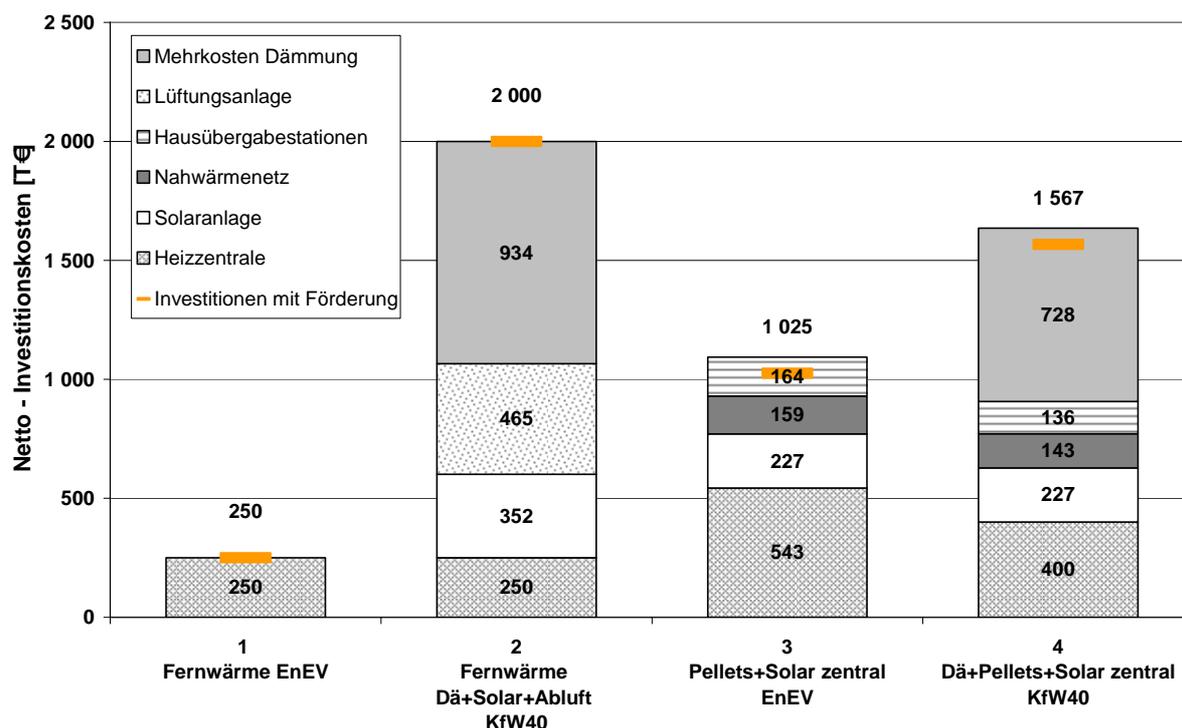


Bild 13 Gesamt-Investitionskosten (inkl. Planung, ohne MWSt.) der verschiedenen Varianten

In Bild 14 sind die Jahresgesamtkosten für die unterschiedlichen Varianten dargestellt. Die günstigste Lösung (ohne Berücksichtigung der Förderung) ist durch Versorgung mit Fernwärme beim EnEV- Standard zu erreichen. Die Jahresgesamtkosten der Variante 3 und 4 liegen um ca. 20% höher, die der Variante 2 um ca. 50%. Die Kapitalkosten, als Folge der höheren Investitionen bei der Nahwärmeversorgung der Varianten 3 und 4, machen etwa die Hälfte der jährlichen Gesamtkosten aus. Der Anteil der Energiekosten ist deutlich geringer als bei der Versorgung mit Fernwärme beim EnEV- Standard (Basisvariante).

Bei Berücksichtigung der Förderung für den KfW40-Standard (KfW Förderbank - Förderprogramm „Ökologisch Bauen Energiesparhaus 40“ - Zinsvorteil von ca. 0,7%) reduzieren sich die Jahresgesamtkosten um ca. 80.000 €/a, bei den Mitteln aus dem Programm Solarthermie2000plus, ergibt sich eine weitere Kostensenkung um ca. 6.000 €/a. Die Kosten der Variante 2 reduzieren sich durch den Zinsvorteil der KfW-Förderbank um 35% auf ca. 150.000 Euro. Die Jahresgesamtkosten der Variante 4

halbieren sich, womit diese Variante im Betrieb mit ca. 92.000 Euro/Jahr die weitaus Günstigste ist.

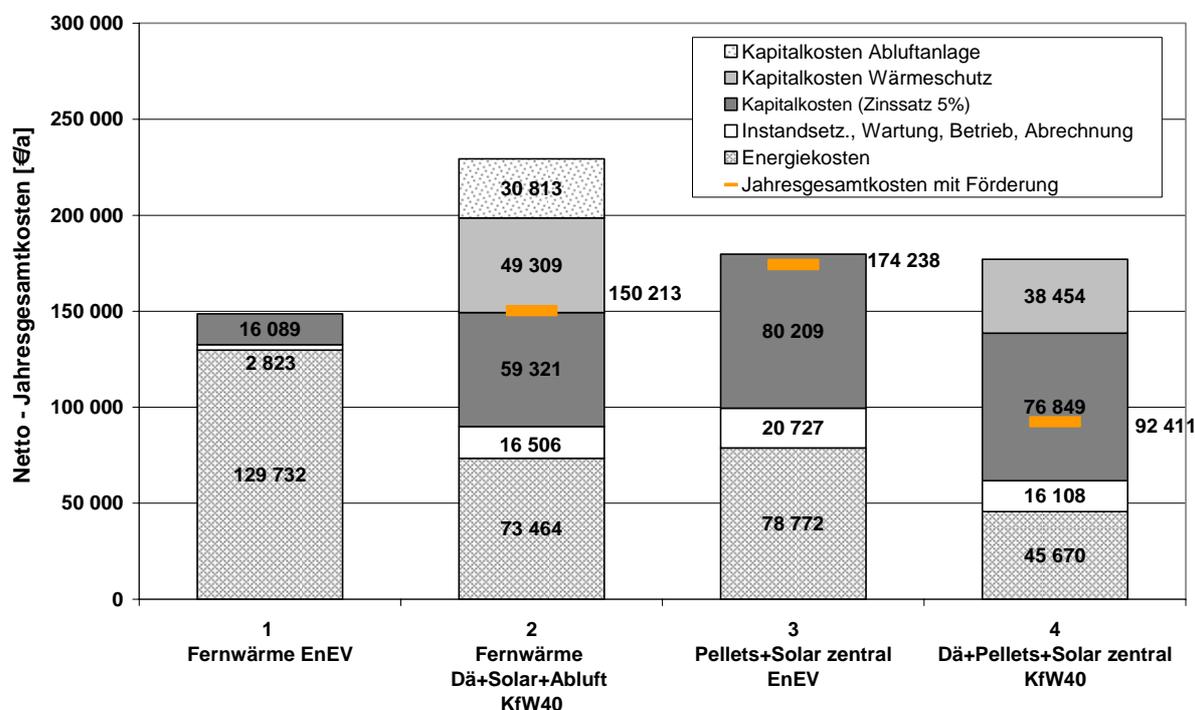


Bild 14 Jahresgesamtkosten (ohne MWSt.) der verschiedenen Varianten

Bild 15 zeigt die ökologische Bewertung der Wärmeversorgung hinsichtlich des Primärenergiebedarfs und der CO₂- Emissionen. Der PE- Bedarf der Variante 2 KfW40-Standard, Solaranlage und Fernwärmeversorgung liegt um ca. 50% unter der Basisvariante. Holzpellets und Solaranlage erzielen gegenüber Variante 1 für den EnEV-Standard eine Reduktion von ca. 70%, für den KfW40-Standard um 80%.

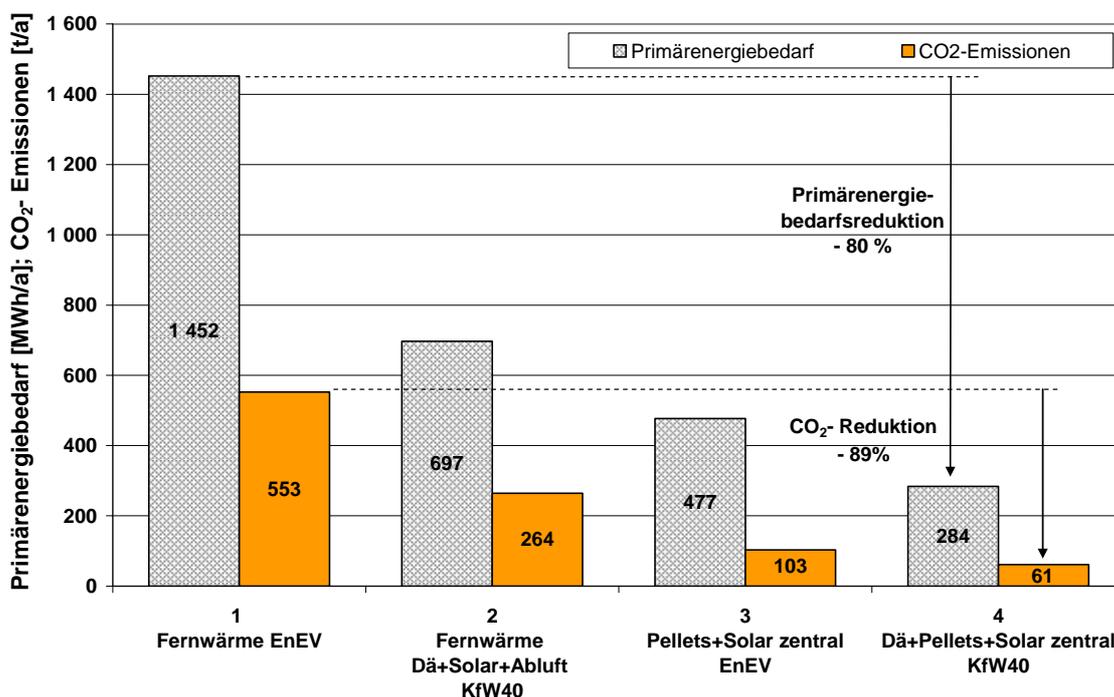


Bild 15 Primärenergiebedarf und CO₂- Emissionen der verschiedenen Varianten

Bei Variante 2 (Versorgung mit Fernwärme) werden die erhöhten Anforderungen des KfW40-Standards an den Primärenergiebedarf durch einen stark verbesserten Wärmeschutz, eine Solaranlage und eine Abluftanlage erreicht. Dies erfordert einen erhöhten Aufwand für die Dämmung, der teilweise Passivhausniveau erreicht (Variante 2: 22-28 cm Dämmung für Außenwand und Dach, 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung). Eine andere Möglichkeit, die Anforderung der KfW40 einzuhalten, ist der Einsatz erneuerbarer Energien. Bei Variante 4 wird dies durch die Verwendung von Pellets als Brennstoff in Kombination mit einer Solaranlage erreicht. Die Grundanforderung an den baulichen Wärmeschutz gem. KfW 40 Standard ist jedoch einzuhalten.

Dem Investor wird folgendes empfohlen:

- Aufbau einer Nahwärmeversorgung mit Holzpellets und einer Solaranlage mit einem Warmwasser-Deckungsgrad von 40% (Variante 4)
- Umsetzung des KfW 40-Standards für alle Gebäude

3.3 Projekt 3 – Regenerativstadt Dardesheim

Die Regenerativstadt Dardesheim in Sachsen-Anhalt mit 966 Einwohnern liegt im nördlichen Harzvorland. Die Stadt stellt mit der vorhandenen Bebauung aus Reihen und Ein- bzw. kleineren Mehrfamilienhäusern mit insgesamt etwa 300 Wohngebäuden eine für Deutschland typische Ortschaft überwiegend dörflichen Charakters dar. Die Gebäude sind zum Teil als Fachwerk errichtet, andere Gebäude, bestehend aus Massivbau, entstanden zwischen 1900 und 1990. Ziel der 900-Einwohner-Stadt ist, dass die zu benötigende Energie für Elektrizität, Wärme und Fahrzeugtreibstoffe aus regionalen erneuerbaren Energien hergestellt werden soll, d.h. die Unabhängigkeit von endlichen, fossilen Brennstoffen. Neben Wind und Solarenergie soll die Bedarfsdeckung hierbei durch Biomasse eigener Produktion erfolgen.

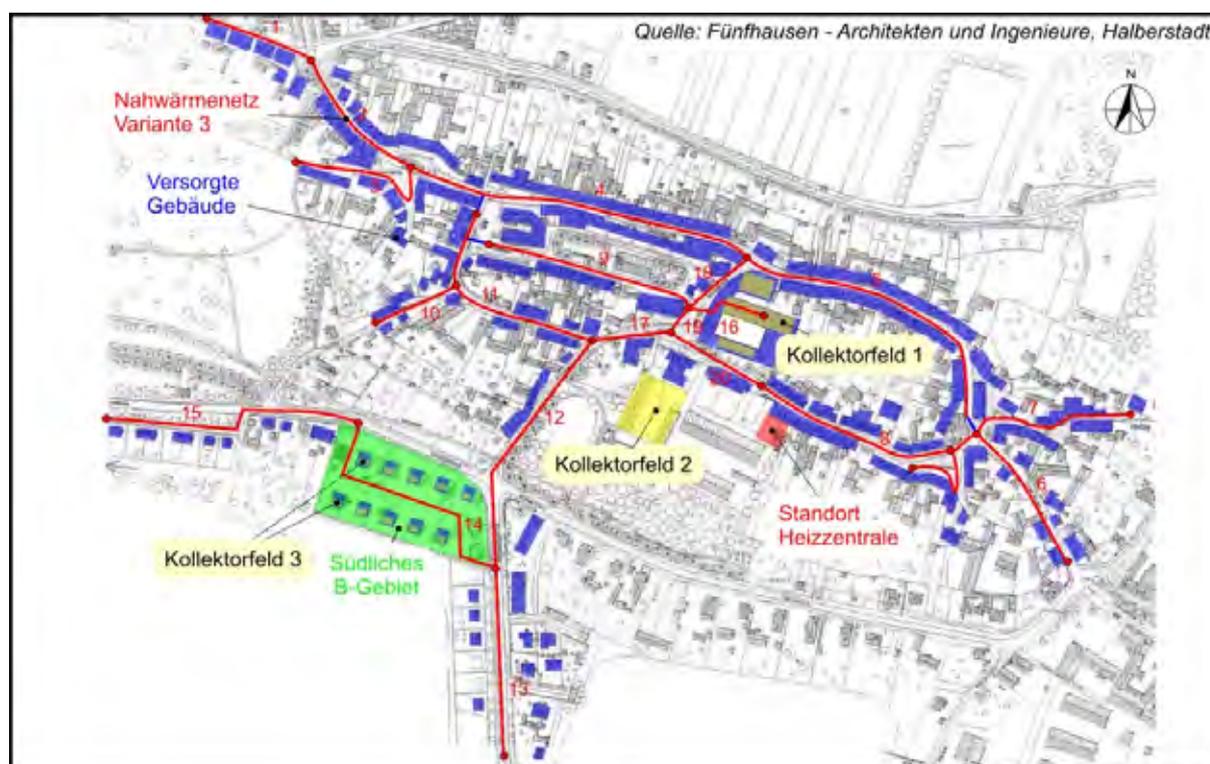


Bild 16 Lageplan Regenerativstadt Dardesheim – Landkreis Halberstadt

Der in unmittelbarer Nähe entstandene Windpark Druiberg mit einer installierten Gesamtleistung von 80 MW ist ein erster Schritt in diese Richtung. Im Zuge der Erschließungsmaßnahmen und der damit verbundenen Dorferneuerung soll in Dardesheim ein Nahwärmekonzept auf Basis regenerativer Energiequellen umgesetzt

werden. In der von der Windpark Druiberg GmbH & Co KG beauftragten Machbarkeitsstudie werden verschiedene Energieversorgungskonzepte für drei verschieden große Nahwärmelösungen untersucht. Ziel ist eine Nahwärmeversorgung für den Ort mit möglichst hohem Deckungsanteil über regenerative Energieträger bei wirtschaftlich vertretbaren Wärmekosten. In den ersten beiden Ausbaustufen des Nahwärmenetzes werden mobile, temporäre und stationäre Heizzentralen gegenübergestellt, während in Variante 3 die Wärmeversorgung des gesamten Ortes betrachtet wird, auf welche nachfolgend eingegangen wird.

Die Ermittlung des Wärmebedarfs der Gebäude erfolgt in Anlehnung an das IWU-Verfahren [IWU, 2005]. Über einen durch die Stadt verteilten Erfassungsbogen werden 15% der Haushalte aufgenommen. Auf Basis der Ergebnisse werden die Wärmebedarfswerte der restlichen Gebäude im Abgleich mit einem Raster für 18 verschiedene Gebäudetypen ermittelt. Das südliche Baugebiet „Unter dem Vogelberge“ wurde dabei berücksichtigt. Das Gebiet „ Kleiner Knick“ wird vom Nahwärmenetz auf Grund zu großer Gebäudeabstände ausgeschlossen. Nach der durchgeführten Bestandsaufnahme weißt das Versorgungsgebiet im Endausbau folgende Kennwerte auf:

Planungstand zum Zeitpunkt der Machbarkeitsstudie		
Gebäudetyp	Ein- und Mehrfamilienhäuser	
Anzahl der Gebäude	281 (inkl. 6 Nichtwohngeb.)	
Nutzung	Wohnen, Gewerbe	
Klassifizierung	Sanierung	
Anzahl Wohneinheiten	298	
Wohnfläche	34.300 m ²	
Nutzfläche nach EnEV (A _N)	47.550 m ²	
Jahresheizwärmebedarf	173 kWh/m ² _{ANA}	
Warmwasserbedarf	16 kWh/m ² _{ANA}	755 MWh/a
Netzverluste	283 kWh/m ² _{Tr,a}	1.281 MWh/a
Gesamtwärmebedarf	216 kWh/m ² _{ANA}	10.265 MWh/a
Heizleistungsbedarf	101 W/m ² _{AN}	4.790 kW (ohne Gleichzeitigkeit)

Tabelle 6 Eckdaten Machbarkeitsstudie Regenerativstadt Dardesheim – Ausbaustufe III

Der Jahresheizwärmebedarf setzt sich aus den Netzverlusten, dem Warmwasserbedarf und dem Heizungswärmebedarf zusammen. Letzteres nimmt etwa 90% des gesamten Jahresheizwärmebedarfs in Anspruch, siehe Bild 17.

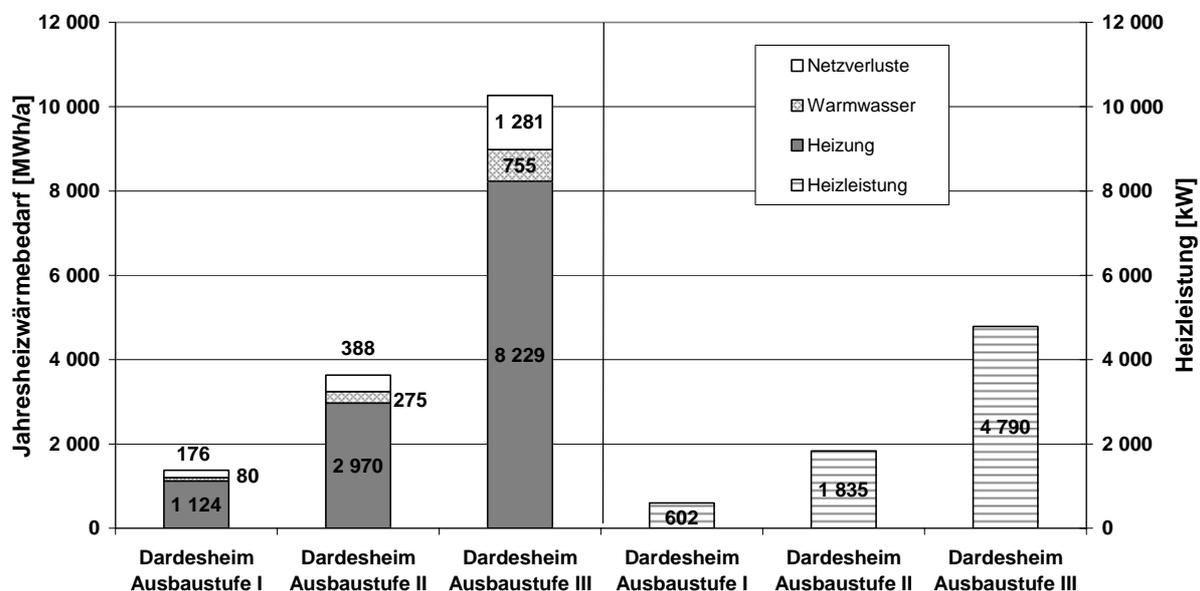


Bild 17 Darstellung Jahresheizwärmebedarf und Heizlast

Variantenbetrachtung

Zur zentralen Wärmeversorgung der Gebäude in der dritten und letzten Ausbaustufe wurden sieben unterschiedliche Varianten im Rahmen der Machbarkeitsstudie untersucht. Das Ergebnis wird mit dem Weiterbetrieb und der Neuanschaffung bestehender Einzelhaus-Heizsysteme auf Basis der Energieträger Gas, Heizöl oder Strom verglichen.

Voraussetzung für den wirtschaftlichen Einsatz der heute bekannten Technologien zur Nutzung regenerativer Energieträger ist eine Nahwärmeversorgung. Bei zentraler Versorgung kann in der Heizzentrale auch in Zukunft viel leichter auf andere Brennstoffe bzw. Energietechniken umgestellt werden als in jedem Einzelhaus. Damit bietet sie auch unter geänderten ökologischen und ökonomischen Randbedingungen größere Versorgungssicherheit. Bei Anschluss aller vorgesehenen Häuser hat das Netz eine Länge von etwa 4.500 m. Die Netzverluste betragen mit 1.281 MWh/a etwa 13 % der von der Heizzentrale abgegebenen Wärmemenge. Für alle Gebäude

wird bei den Hausübergabestationen die indirekte Anschlussweise gewählt. Der wesentliche Vorteil dieser Variante ist die Betriebssicherheit für das Nahwärmenetz. In Absprache mit dem Auftraggeber wird ein Gelände an der Sürenstraße im Zentrum der Stadt zur Unterbringung der Wärmeversorgungszentrale ausgewählt.

Zur zentralen Wärmeversorgung werden sieben Varianten betrachtet, welche nachfolgend aufgelistet sind:

Var.	Zentral/ dezentral	Kesselart	Kesselleistung (je Kessel)	Kollektor- fläche	Speicher- art	Speicher- volumen
1	zentral	HHS-Kessel HHS-Kessel Rapsöl-NTK	500 kW 1.500 kW 1.800 kW	-	-	30 m ³
2	zentral	BMP-Kessel BMP-Kessel Rapsöl-NTK	500 kW 1.500 kW 1.800 kW	-	-	30 m ³
3	zentral	HHS-Kessel HHS-Kessel Rapsöl-NTK	500 kW 1.500 kW 1.800 kW	3.500 m ²	Heißwasser	225 m ³
4	zentral	Rapsöl-BHKW HHS-Kessel Rapsöl-NTK	500 kW _{th} / 420 kW _{el} 1.500 kW 1.800 kW	-	-	30 m ³
5	zentral	Biogas-BHKW HHS-Kessel Rapsöl-NTK	500 kW _{th} / 350 kW _{el} 1.500 kW 1.800 kW	-	-	30 m ³
6	zentral	Biogas-BHKW HHS-Kessel Erdgas-NTK	500 kW _{th} / 350 kW _{el} 1.500 kW 1.800 kW	-	-	30 m ³
7	zentral	HHS-Stirling HHS-Kessel Rapsöl-NTK	500 kW _{th} / 70 kW _{el} 1.500 kW 1.800 kW	-	-	30 m ³

(NTK = Niedertemperaturkessel, HHS = Holzhackschnitzel, BMP = Biomassepellets nach Prof. Schaffer, BHKW = Blockheizkraftwerk)

Tabelle 7 Varianten der Wärmeversorgung Regenerativstadt Dardesheim

In Variante 1 erfolgt die Versorgung über einen Holzhackschnitzel-Kessel mit Unterschubfeuerung (Grundlast 500 kW) und einen Holzhackschnitzel-Kessel mit Trepfenrostfeuerung (Mittellast 1.500 kW). Beide decken etwa 90% der anstehenden Wärmemenge ab Heizzentrale mit 55.000 t Hackschnitzeln (Güte G30 / W30) pro

Jahr. Sie besitzen mit ihren Leistungen einen Anteil von ca. 50% an der Gesamtheizleistung von 3.800 kW (Gleichzeitigkeitsfaktor 0,8). Ein Rapsöl-NT-Kessel mit 1.800 kW sichert die Spitzenlast. Dafür werden ca. 125.000 Liter Rapsöl pro Jahr benötigt. Beim Ansatz von 1.300 l/ha (je nach Bodengüte) ergibt sich eine Anbaufläche von 95 ha.

Variante 2 ersetzt die Holzhackschnitzel aus Variante 1 durch Biomassepellets welche nach dem Prinzip von Prof. Scheffer [GET, 2005] hergestellt werden. Diese entsprechen in Form und Qualität den Holzpellets. Durch die höhere Schüttdichte gegenüber Holzhackschnitzeln reduziert sich das zu lagernde Brennstoffvolumen erheblich sowie durch den höheren Heizwert die Menge des Brennstoffs (6.900 t/a).

Variante 3 ist identisch zur ersten. Zusätzlich wird ein Kollektorfeld mit einer Fläche von 3.500 m² installiert, welche die Sonnenenergie in einen Kurzzeitwärmespeicher einspeichert (Volumen 225 m³) und somit die Netzverluste und 50% des Warmwasserbedarfs abdeckt. Der solare Deckungsanteil für eine derartige Auslegung der Solaranlage beträgt etwa 10 %. Der Kollektorertrag wird aufgrund der Annahme höherer resultierender Netz-Rücklauftemperaturen zu 300 kWh/(m²·a) angenommen. Bild 18 zeigt das vereinfachte Anlagenschema der Variante 2.

In Variante 4 wird der bisherige Grundlastkessel durch ein Rapsöl-BHKW (500 kW_{th} / 420 kW_{el}) ersetzt. Dafür werden ca. 1.000.000 Liter Rapsöl pro Jahr benötigt. Beim Ansatz von 1.300 l/ha (je nach Bodengüte) ergibt sich eine erforderliche Anbaufläche von 783 ha.

In Variante 5 deckt ein Biogas-BHKW mit einer thermischen Leistung von 500 kW (ca. 350 kW elektrische Leistung) die Grundlast. Das Biogas (ca. 1.200.000 m³) wird von einer benachbarten Biogasanlage bezogen.

In Variante 6 wird der Rapsöl-Spitzenlastkessel aus Variante 5 durch einen Erdgas-NT-Kessel ersetzt.

Bei Variante 7 erfolgt lediglich der Austausch des Rapsöl-BHKW's aus Variante 4 durch einen Holzhackschnitzel-Stirling (500 kW_{therm.} / 70 kW_{el.}).

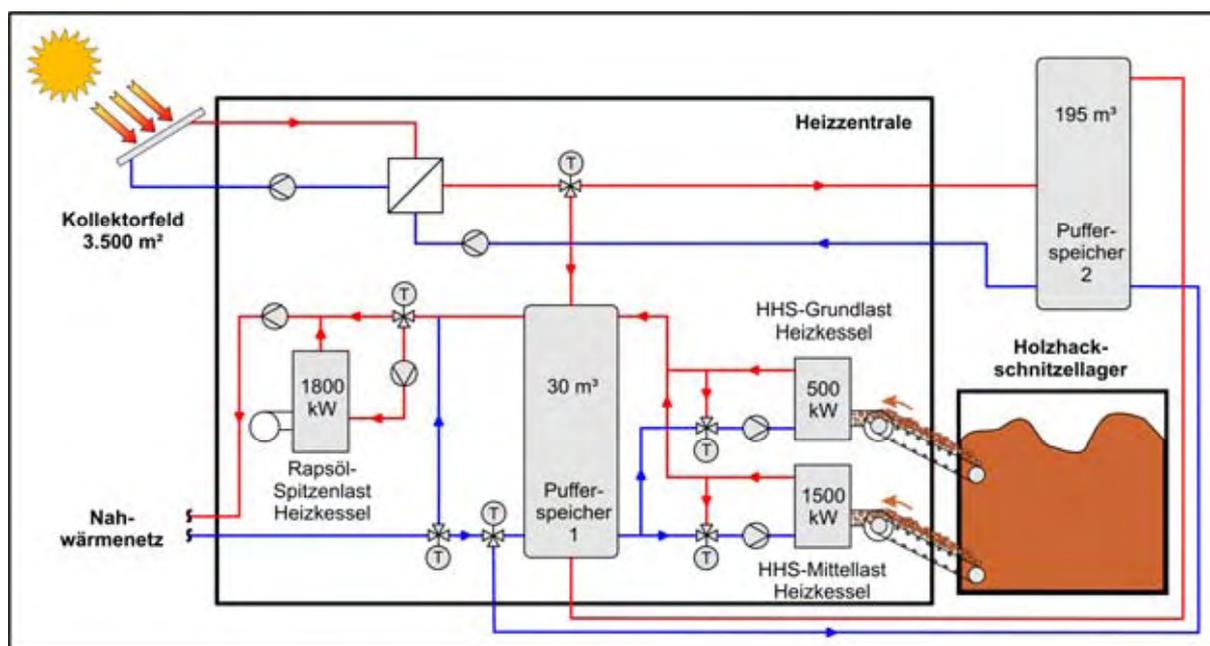


Bild 18 Anlagenschema Variante 3 – HHS- Kesselanlage mit Solaranlage 3.500 m²

Ergebnisse

Bild 19 zeigt die Investitionskosten für die Wärmeversorgung bei allen Varianten, aufgeteilt nach den verschiedenen Anlagenteilen. Bei allen Varianten wurde eine Förderung (Teilschuldenerlass) durch die KfW Förderbank für den Holzessel in Höhe von 24 €/kW und für das Nahwärmenetz in Höhe von 50 €/m_{Trasse} berücksichtigt. Für Variante 3 wurden die Kosten für die solaren Komponenten zu 30% durch Solarthermie2000plus als förderfähig angesetzt.

Die niedrigsten Investitionskosten ergeben sich bei Variante 2, aufgrund des wesentlich kleineren Brennstofflagers. Mehr als 20% höhere Investitionskosten entstehen bei Variante 3, da hier die Solaranlage mit ihren Komponenten einen wesentlichen Kostenfaktor darstellt. Für das Nahwärmenetz allein entstehen Kosten in Höhe von 2 Mio. €, das entspricht ca. der Hälfte der Gesamtinvestition. Der Rest teilt sich in Heizzentrale und Hausübergabestationen mit jeweils 1 Mio. € auf.

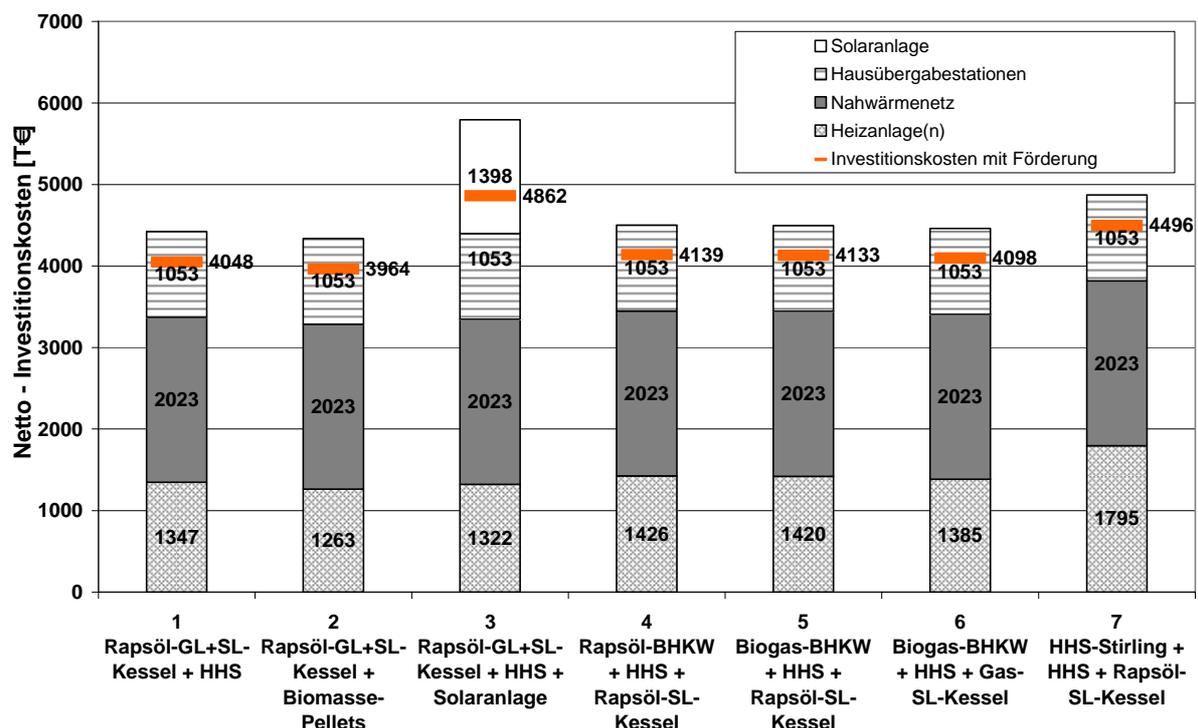


Bild 19 Gesamt-Investitionskosten (inkl. Planung, ohne MWSt.) der verschiedenen Varianten

In Bild 20 sind die Jahresgesamtkosten für die unterschiedlichen Varianten dargestellt. Dabei wird die Einspeisevergütung nach dem EEG (Energieeinspeisegesetz) in den Varianten mit Stromerzeugung berücksichtigt. Bei Berücksichtigung der Förderung für den Holzkessel und das Nahwärmenetz (KfW Förderbank) und Solarthermie2000plus reduzieren sich die Jahresgesamtkosten je nach Variante zwischen 25 T€ und 75 T€ pro Jahr. Die niedrigsten Jahresgesamtkosten ergeben sich bei den Varianten 6 und 7, die Höchsten bei Variante 2. Zu beachten ist neben dem Gesamtbetrag auch die Kostenaufteilung. Etwa 50% der Kosten sind Kapitalkosten. Diese basieren auf den Investitionskosten und sind relativ genau kalkulierbar. Der Anteil der Energiekosten ist bei den Varianten 6 und 7 deutlich geringer als bei den anderen Varianten.

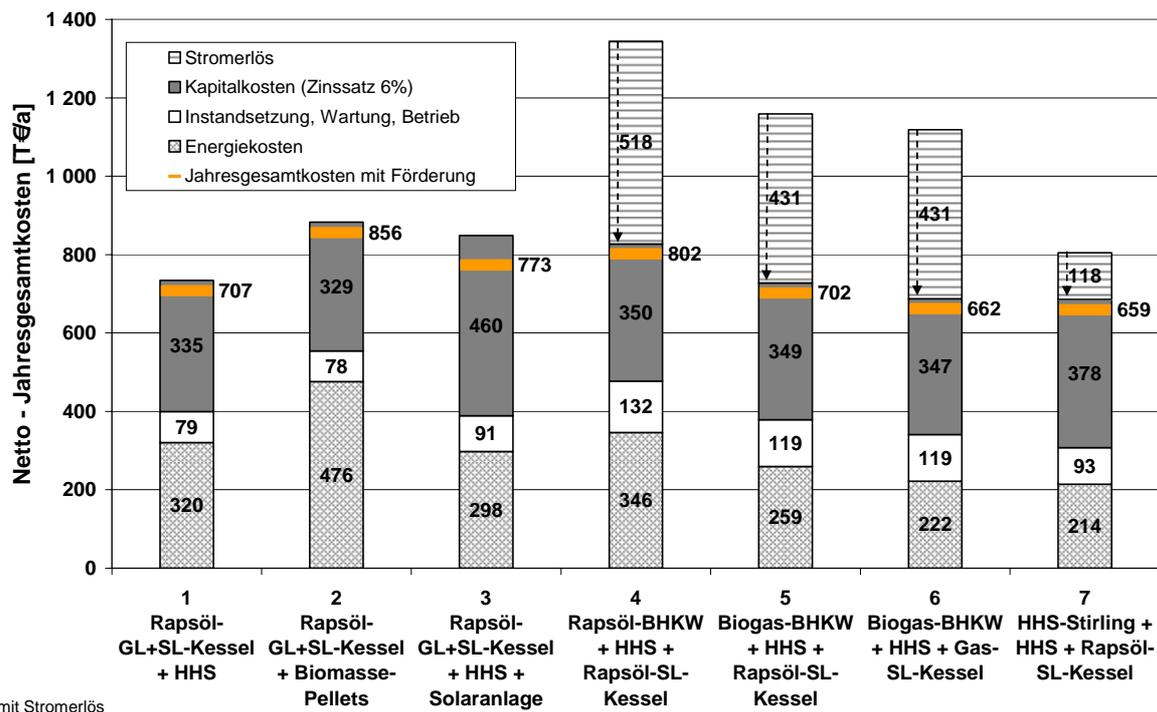


Bild 20 Jahresgesamtkosten (ohne MWSt.) der verschiedenen Varianten

Die Wärmekosten, siehe Bild 21, sind die auf die Nutzwärmemenge bezogenen Jahresgesamtkosten. Bei dezentraler Versorgung erfolgt der Bezug auf den Gesamtwärmebedarf des Gebäudes. Im Fall der zentralen Wärmeversorgung ist hier die Bezugsgröße ebenfalls der Gesamtwärmebedarf der Gebäude. Einige Nahwärmevarianten sind bereits auch ohne zusätzliche Förderung gegenüber dem Fall des Weiterbetriebes bestehender Einzelhaus-Heizsysteme auf Basis der Energieträger Gas, Heizöl oder Strom wirtschaftlich darstellbar. Eine Neuanlage als dezentrales Wärmeversorgungssystem erreicht unabhängig vom vorgesehenen Energieträger nicht die über ein zentrales Wärmeversorgungssystem erzielbaren Wärmepreise und ist daher in jedem Fall unwirtschaftlich.

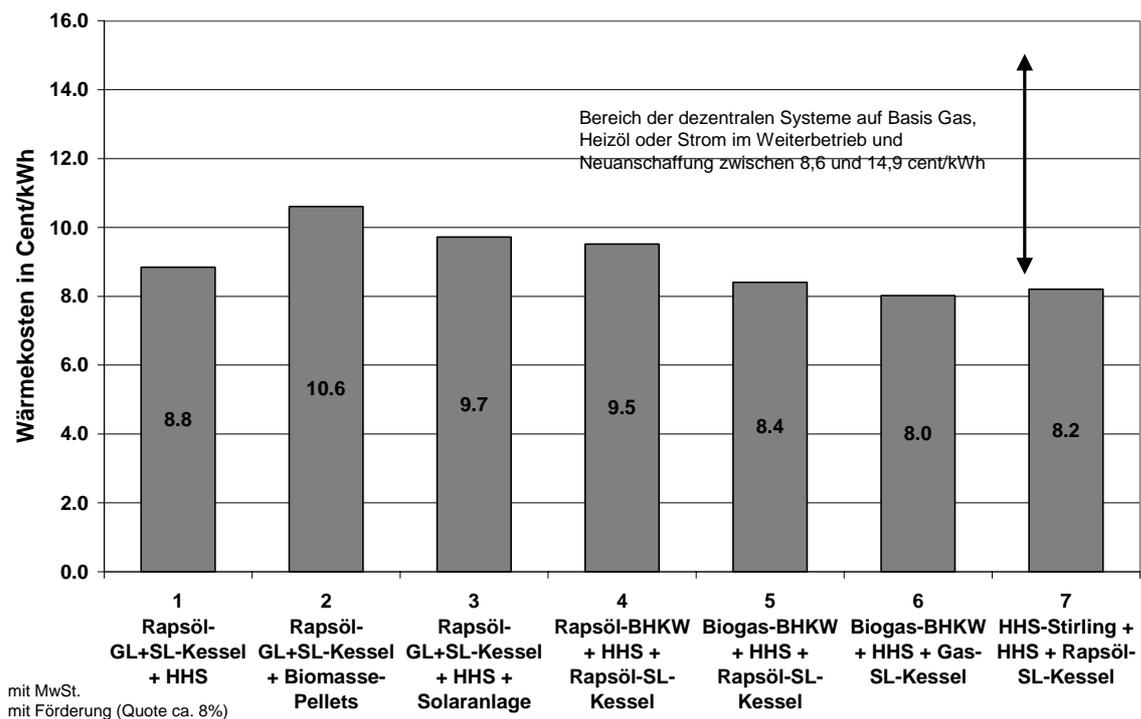


Bild 21 Wärmegestehungskosten mit MwSt. für die verschiedenen Varianten

Mit der Betrachtung des Primärenergiebedarfes und der CO₂- Emissionen erfolgt eine ökologische Bewertung der Wärmeversorgung, siehe Bild 22. Bei den Varianten mit Stromerzeugung lässt sich der PE Bedarf erheblich reduzieren. Dabei wird sogar der „Plus-Energie-Standard“ erreicht, da der Primärenergiebedarf durch die Stromproduktion einen negativen Wert annimmt. Für die Zahlenwerte der äquivalenten CO₂- Emissionen wurde die ProBas Datenbank vom Umweltbundesamt herangezogen [ProBas, 2000]. Bei der Betrachtung der CO₂- Emissionen erreichen die Varianten mit Rapsöl- und Biogas- BHKW die niedrigsten Werte aufgrund der Stromgutschrift.

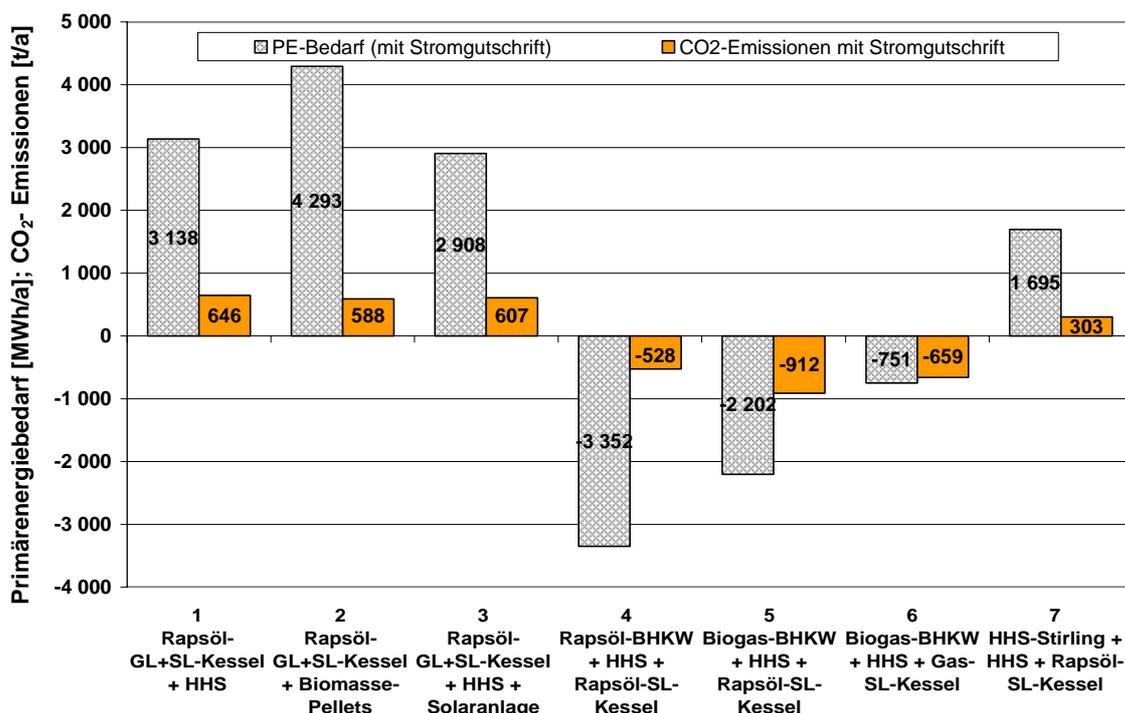


Bild 22 Primärenergiebedarf und CO₂- Emissionen der verschiedenen Varianten

Aufgrund der vielen Randbedingungen lassen sich die Ergebnisse nur schwer kommentieren. Bevor entsprechende Empfehlungen gegeben werden können, müssen verschiedene Fragestellungen diskutiert und bewertet werden, wie z.B. die Anbaufläche für die benötigten nachwachsenden Rohstoffe oder das Potential für Holzhackschnitzel. Aus der Fülle der Informationen und Ergebnisse wurde dem Auftraggeber keine Empfehlung ausgesprochen sondern eine Reihe von Kernaussagen vermittelt.

- Zur Grundlastabdeckung werden die Lösungen mit regenerativen Energien und Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) eingesetzt. Bei Installation einer großen Solaranlage sollte auf KWK verzichtet werden, da sich dadurch die Laufzeit des BHKW's erheblich reduzieren würde.
- Im Mittellastbereich kann nur ein großer Biomassekessel, wahlweise mit Holzhackschnitzeln oder Biomassepellets, zum Einsatz kommen.
- Die Spitzenlast- und Reservevorhaltung übernimmt ein konventioneller Gas- oder Ölkessel bzw. ein Rapsöl betriebener Niedertemperatur-Kessel.

3.4 Projekt 4 – Hannoversch Münden, Wiershäuser Weg 25 – 41

In Zusammenarbeit von IGS und dem Ingenieurbüro innovaTec Energiesysteme GmbH aus Friedland [innovaTec, 2005] wurde im Herbst 2005 ein Energiekonzept für drei Mehrfamilien-Wohngebäude in Hannoversch Münden mit insgesamt 2.795 m² Wohnfläche erarbeitet. Die Gebäude Wiershäuser Weg 25, 29-33 und 35-41 im niedersächsischen Hannoversch Münden sind Eigentum des dort ansässigen Gemeinnützigen Bauvereins. Alle drei Gebäude wurden in den Jahren 1928 bis 1929 erbaut. Das Verwaltungsgebäude des Bauvereins (Wiershäuser Weg 27) befindet sich ebenfalls in dieser Wohnanlage. Die Wohngebäude bestehen jeweils aus drei Wohngeschossen (EG, OG, DG) sowie dem Kellergeschoß. Insgesamt verfügt das kleine Wohngebiet über 49 Wohneinheiten.

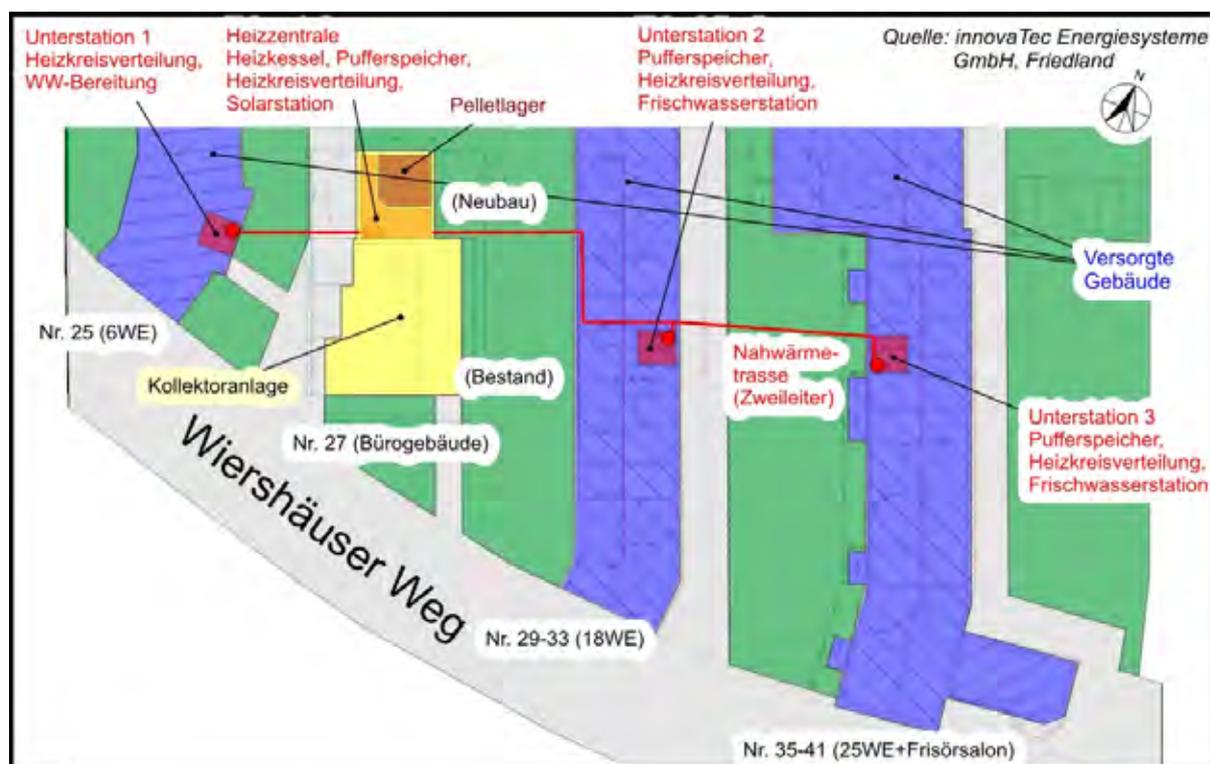


Bild 23 Lageplan Hannoversch Münden, Wiershäuser Weg 25-41

Zum Zeitpunkt der Machbarkeitsstudie werden die Gebäude nicht zentral über eine Wärmeerzeugungsanlage mit Wärme versorgt, sondern wohnungsweise mit Einzel-Gas-Thermen. Diese wurden schrittweise in den Jahren 1975/76, 1984/85 und 1992/93 installiert. Bei neun Wohneinheiten erfolgt die Beheizung derzeit über Einzelöfen (Kohle).

Die zur Verfügung stehende Raumhöhe im Untergeschoß ist mit 2,0 m (teilweise 1,8 m), zur Einbringung und Aufstellung von Pufferspeichern bzw. bodenstehenden Wärmeerzeugern größerer Leistung, in allen drei Wohngebäuden begrenzt.

Das Verwaltungsgebäude des Bauvereins, welches im Zentrum der Wohnanlage steht, wurde in den 80er Jahren errichtet und besteht aus einem Kellergeschoß, in dem eine Werkstatt, eine Garage sowie ein Heizraum untergebracht sind, sowie einem Obergeschoss mit dem Sitz der Verwaltung. Die Beheizung erfolgt über einen wandhängenden Gas-Brennwert-Heizkessel. Das Flachdach eignet sich gut für die Aufstellung von Kollektoren.

Die drei Wohngebäude werden im Rahmen einer Vollsanierung sowohl hinsichtlich des baulichen Wärmeschutzes als auch der Gebäudetechnik an den derzeitigen Stand der Technik angepasst. Die Anforderungen der Energieeinsparverordnung werden dabei eingehalten, sodass der Dämmstandard der Gebäudehülle deutlich verbessert wird (Kellerdeckendämmung 5 cm, WLG 035, Außenwanddämmung 10 cm, WLG 035, Dämmung der obersten Geschossdecke 20 cm, WLG 035, Fenstererneuerung U-Wert 1,5 W/(m²·K)). Nach der durchgeführten Sanierung sollen die drei Gebäude folgende Kennwerte aufweisen:

		Planungstand zum Zeitpunkt der Machbarkeitsstudie
Gebäudetyp	Mehrfamilienhaus	
Anzahl der Gebäude	3	
Nutzung	Wohnen	
Klassifizierung	Sanierung	
Anzahl Wohneinheiten	49 (6, 18, 25 je Haus)	
Wohnfläche	2.795 m ²	
Nutzfläche nach EnEV (A _N)	3.213 m ²	
Jahresheizwärmebedarf	77 kWh/m ² _{ANA}	
Warmwasserbedarf	22 kWh/m ² _{ANA}	71 MWh/a
Netzverluste	159 kWh/m _{Tr} a	13 MWh/a
Gesamtwärmebedarf	103 kWh/m ² _{ANA}	331 MWh/a
Heizleistungsbedarf	46 W/m ² _{AN}	148 kW

Tabelle 8 Eckdaten Machbarkeitsstudie Hannoversch Münden – Wiershäuser Weg 25-41

Der resultierende Heizwärmebedarf der Gebäude wurde über ein Berechnungsprogramm zum Nachweis der Anforderungen nach Energieeinsparverordnung – Wohngebäude (Monatsbilanz) ermittelt. Es ergibt sich ein Bedarfswert im Mittel von 77 kWh/m²_{ANA}. Die Berechnung der Heizleistung erfolgt in Anlehnung an das vereinfachte Verfahren nach DIN EN 12831. Daraus ergibt sich ein Erfahrungswert von 46 W/m²_{ANA}. Für die Ermittlung des Brauchwasserwärmebedarfs werden nach VDI 2067 (Blatt 4) 35 l/d bei 45°C pro Person angesetzt, bei insgesamt 98 Personen. Für Speicher- und Zirkulationsverluste werden 6 kWh/m²_{ANA} berücksichtigt. Für die Brauchwassererwärmung sind demnach ca. 71 MWh/a erforderlich. Für die Nahwärmeversorgung entsteht ein jährlicher Heizwärmebedarf von 331 MWh/a inklusive Netzverluste in Höhe von 13 MWh/a, siehe Bild 24. Die erforderliche Heizleistung beträgt nach Sanierung 148 kW.

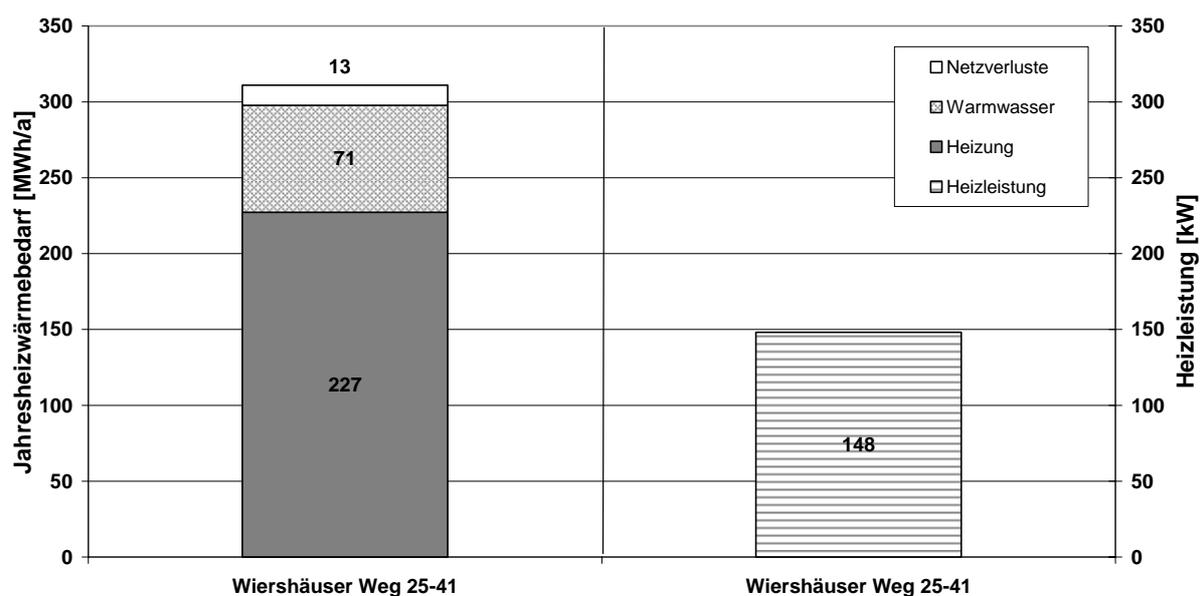


Bild 24 Darstellung Jahresheizwärmebedarf und Heizlast

Variantenbetrachtung

Zur Wärmeversorgung der drei Gebäude wurden 4 unterschiedliche Varianten im Rahmen der Machbarkeitsstudie untersucht. Als Standort der Heizzentrale für eine zentrale Lösung eignen sich die Kellerräume der Wohngebäude nicht (Raumhöhe < 2,0 m). Durch eine Erweiterung der Geschäftsräume Wiershäuser Weg 27 des Bauvereins entsteht ein Neubau als Anbau an der Rückseite des Bürogebäudes. In das

Untergeschoss werden daher die neue Heizzentrale und das Brennstofflager integriert. Der Bürokomplex Bestand und Neubau wird von einem separaten Bestand-Gas-Brennwertkessel versorgt. Die Gebäude sollen über eine Nahwärmeleitung an die Heizzentrale im Gebäude Wiershäuser Weg 27 angeschlossen werden. Zusätzlich werden in den Unterstationen Pufferspeicher vorgesehen, die nur bei Bedarf über das Nahwärmenetz geladen werden. An diese werden jeweils eine Frischwasserstation (WWB im Durchlaufprinzip) zur Warmwasserbereitung und eine Heizkreisverteilung angeschlossen.

Zur Wärmeversorgung werden vier Varianten betrachtet, welche nachfolgend aufgelistet sind:

Var.	zentral/ dezentral	Kesselart	Kesselleistung (je Kessel)	Kollektor- fläche	Speicher- art	Speicher- volumen
1	dezentral	Gas-BWK	25 / 50 / 80 kW	-	-	-
2	zentral	Gas-BWK	150 kW	-	-	-
3	zentral	Holzpelletkessel Gas-BWK (B)	100 kW 40 kW	-	-	-
4	zentral	Holzpelletkessel Gas-BWK (B)	100 kW 40 kW	105 m ³ (VRK, DDS)	Heißwasser	6 m ³

(BWK = Brennwertkessel, VRK = Vakuumröhrenkollektoren, DDS = Direkt- Durchströmtes- System, B = Bestand)

Tabelle 9 Varianten der Wärmeversorgung Hannover – Magdeburger Straße 2 und 4

In Variante 1 erfolgt die Versorgung der drei Wohngebäude über dezentrale Gas-Brennwertkessel.

Variante 2 berücksichtigt die zentrale Wärmeversorgung mit einem handelsüblichen Gasbrennwert Kessel mit 150 kW.

In Variante 3 erfolgt die Beheizung über einen Holzpellet-Kessel mit 100 kW sowie über eine Gas-Brennwerttherme mit 40 kW (Bestand). Das der Feuerungsanlage zugeordnete Pelletlager, später Miniholzhackgutlager, befindet sich vollständig im Untergeschoss des Neubaus vom Bürogebäude. Für die Zufuhr des Brennstoffs zur Schnecke ist eine Abschrägung des Bodens notwendig. Die Austragung erfolgt durch ein Bodenrührwerk. Es ergibt sich ein mittleres Lagervolumen von 48 m³ bzw. 31 t.

Bei Variante 4 wird der Holzpelletkessel durch eine Solaranlage ergänzt. Die Solaranlage soll dabei als AquaSystem [Paradigma, 2005] ausgeführt werden. Anstatt eines separaten Solarkreislaufes mit Frostschutzmittel wird das Heizungswasser in der Solaranlage als Wärmeträger eingesetzt. Die Frostschutzfunktion in der Regelung sorgt dafür, dass in Frostnächten immer nur gerade soviel Wärme in den Leitungen verteilt wird, dass das Einfrieren verhindert wird. Bedingung für ein solches System sind Vakuum-Röhrenkollektoren. Aufgrund der gegebenen Rahmenbedingungen wird von einer solaren Deckung von ca. 50% des Bedarfs für Warmwasser und Netzverluste ausgegangen. Bei einem erwarteten Ertrag von etwa 410 kWh/(m²·a) ergibt sich daraus eine Kollektorfläche von 105 m². Die Kollektoren werden auf dem Flachdach vom Bürogebäude mit Orientierung nach SSO und einem Anstellwinkel zwischen 30° und 40° montiert. Bild 25 zeigt das vereinfachte Anlagenschema.

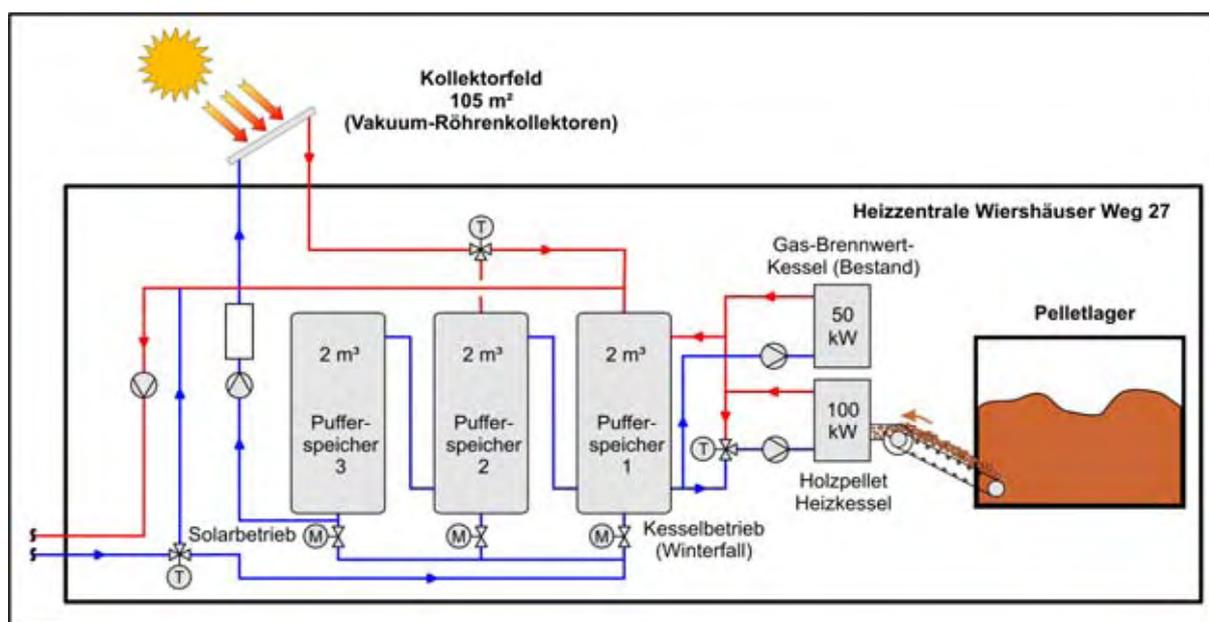


Bild 25 Anlagenschema Variante 4 – Holzpelletkessel mit Solaranlage 105 m²

Ergebnisse

In Bild 26 sind die Gesamt-Investitionskosten für die unterschiedlichen Varianten dargestellt. Bei Variante 3 und 4 wurde eine Förderung durch die BAFA für den Holzpelletkessel in Höhe von 60 €/kW berücksichtigt, für die Variante 4 wurden die Kosten

für die solaren Komponenten zu 30% durch Solarthermie2000plus als förderfähig angesetzt. Erforderliche bauliche Maßnahmen und daraus resultierende Mehrkosten zur Realisierung der Holzpellet-Heizzentrale und der thermischen Solaranlage (Dachsanierung Bürogebäude Bestand) werden vom Bauverein getragen.

Die geringsten Gesamtinvestitionen entfallen auf die konventionelle Variante mit dezentralen Gaskesseln, die höchsten Gesamtinvestitionen sind bei Variante 4 mit thermischer Solaranlage zu verzeichnen. Bei Variante 3 und 4 werden die Investitionskosten für das Holzpelletlager mit 10.000 € für Raumbedarf angesetzt. Für das AquaSystem notwendigen Vakuum-Röhrenkollektoren fallen Investitionskosten in Höhe von 55.000 € an, für das ganze Solarsystem ca. 100.000 €. Durch die Einrechnung von Fördergeldern können die Investitionskosten gesenkt werden.

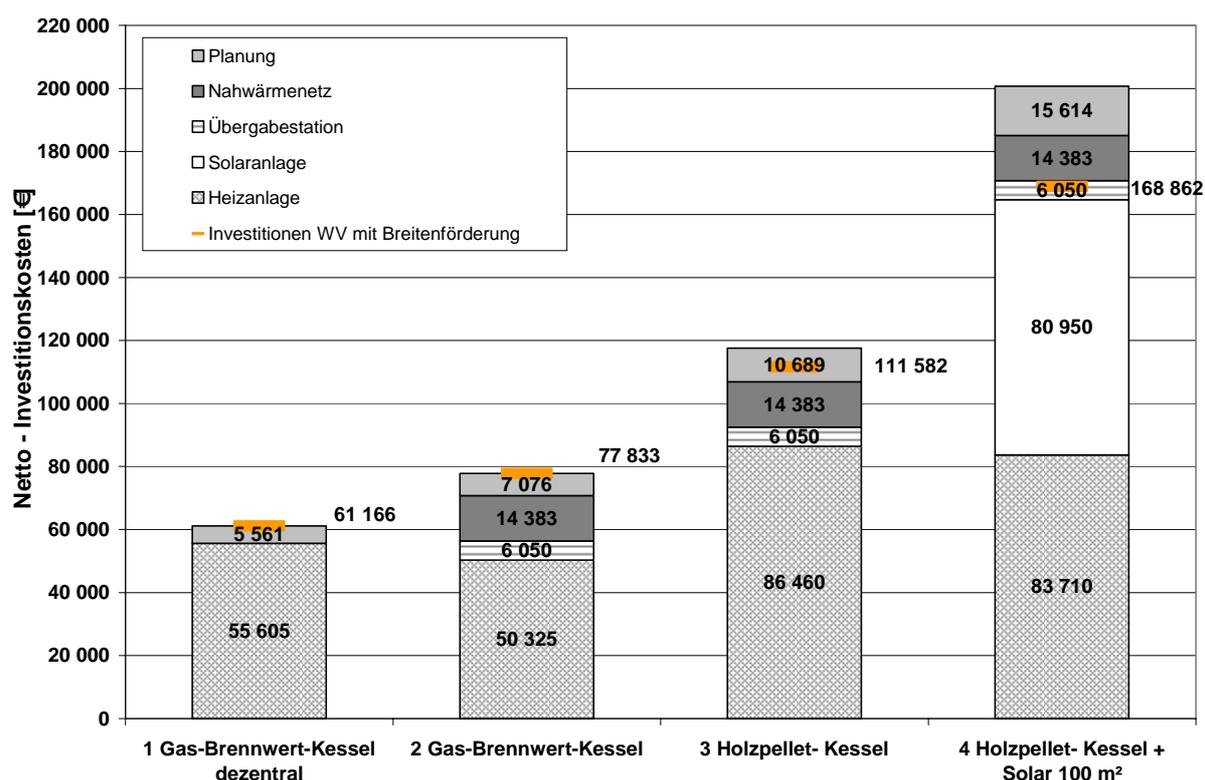


Bild 26 Gesamt-Investitionskosten (inkl. Planung, ohne MWSt.) der verschiedenen Varianten

In Bild 27 sind die Jahresgesamtkosten für die unterschiedlichen Varianten dargestellt. Sie fallen bei Variante 1 am Geringsten aus. Trotzdem sollte beachtet werden, dass die Energiekosten der Varianten 1 und 2 über 2/3 der gesamten Jahresgesamtkosten ausmachen, was bei immer höher steigenden Energiekosten in der Zukunft einen beachtlichen Kostenfaktor darstellt. Betrachtet man die Varianten 3 und 4, erkennt man, dass sich die hohen Jahresgesamtkosten aus den hohen Kapitalkosten in Kombination mit Instandhaltung der Komponenten und den Energiekosten ergeben. Die Energiekosten sind hier jedoch deutlich geringer als in den beiden ersten Varianten.

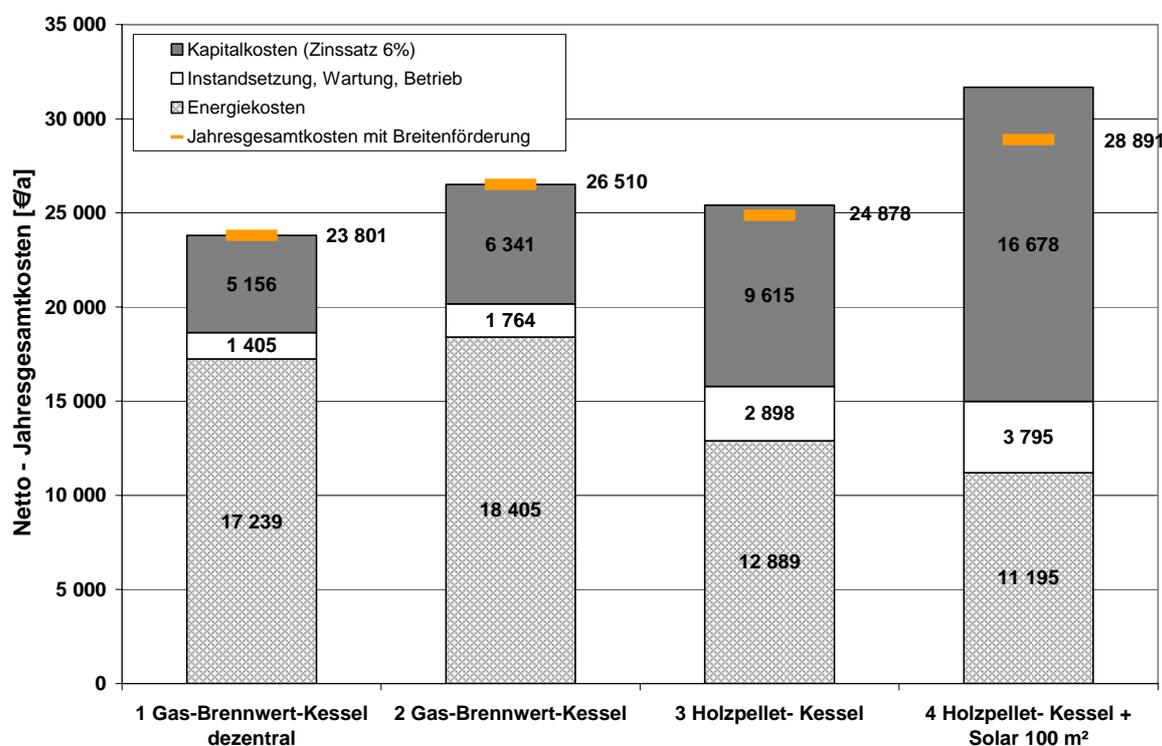


Bild 27 Jahresgesamtkosten (ohne MWSt.) der verschiedenen Varianten

Bild 28 zeigt den Primärenergiebedarf sowie die CO₂- Emissionen bezogen auf die Wärmerzeugung der verschiedenen Varianten. Über die Kombination Solar und Holz ergibt sich im Vergleich zu der konventionellen Lösung mit einem Gas-Brennwert-Heizkessel eine drastische Reduzierung der CO₂-Emissionen und des Primärenergiebedarfs auf etwa 25% des Ausgangswertes.

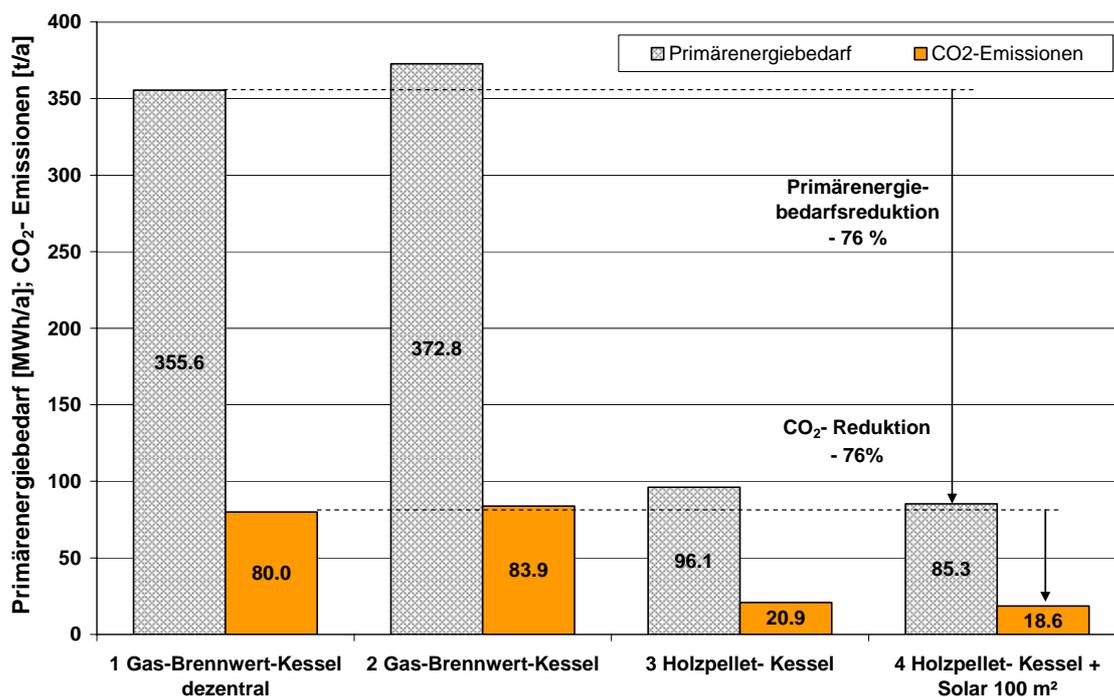


Bild 28 Primärenergiebedarf und CO₂- Emissionen der verschiedenen Varianten

Entscheidungsgründe des Bauvereins:

Die Preissteigerungen der konventionellen Energieträger (Erdgas und Heizöl) machen Erneuerbare Energien derzeit wirtschaftlich. Mit dem Paket aus baulichem Wärmeschutz (energetische Sanierung) und der Einsatz moderner Holzfeuerungstechnik in Kombination mit Solarthermie spart der Mieter über 40% an Energiekosten für seine Wohnung. Neben den Kriterien Ausstattung und Lage von Wohnraum gerät die so genannte „zweite Miete“ (Energiekosten) immer mehr in den Focus der Entscheidung für die Anmietung einer Wohnung. Die Entscheidung bei der Erneuerung des Heizsystems unterlag dabei mehreren Faktoren:

- Senkung der Energiekosten
- Hoher Instandhaltungsaufwand angesichts der Gasthermen in den Wohnungen
- KfW-Förderung mit 15% Teilschuldenerlass
- Holzenergie als umweltfreundlicher, nachwachsender Brennstoff
- Regionale Versorgung aus dem Weserbergland (Holzpellets, Kleinhackgut)

3.5 Projekt 5 – Weinstadt - Endersbach, Wohngebiet Eichenstraße

Im Neubaugebiet Eichenstraße in Weinstadt-Endersbach entstehen durch das Siedlungswerk Stuttgart im 1. und 2. Bauabschnitt 56 Wohneinheiten mit drei verschiedenen Gebäudetypen. Dabei werden zwei Mehrfamilienhäuser (2 x 8 Wohneinheiten), 28 Reihenhäuser und 12 Doppelhaushälften errichtet. Die Gebäude sind alle unterkellert. Die Wohnfläche des Gesamtgebietes beträgt 6.760 m².

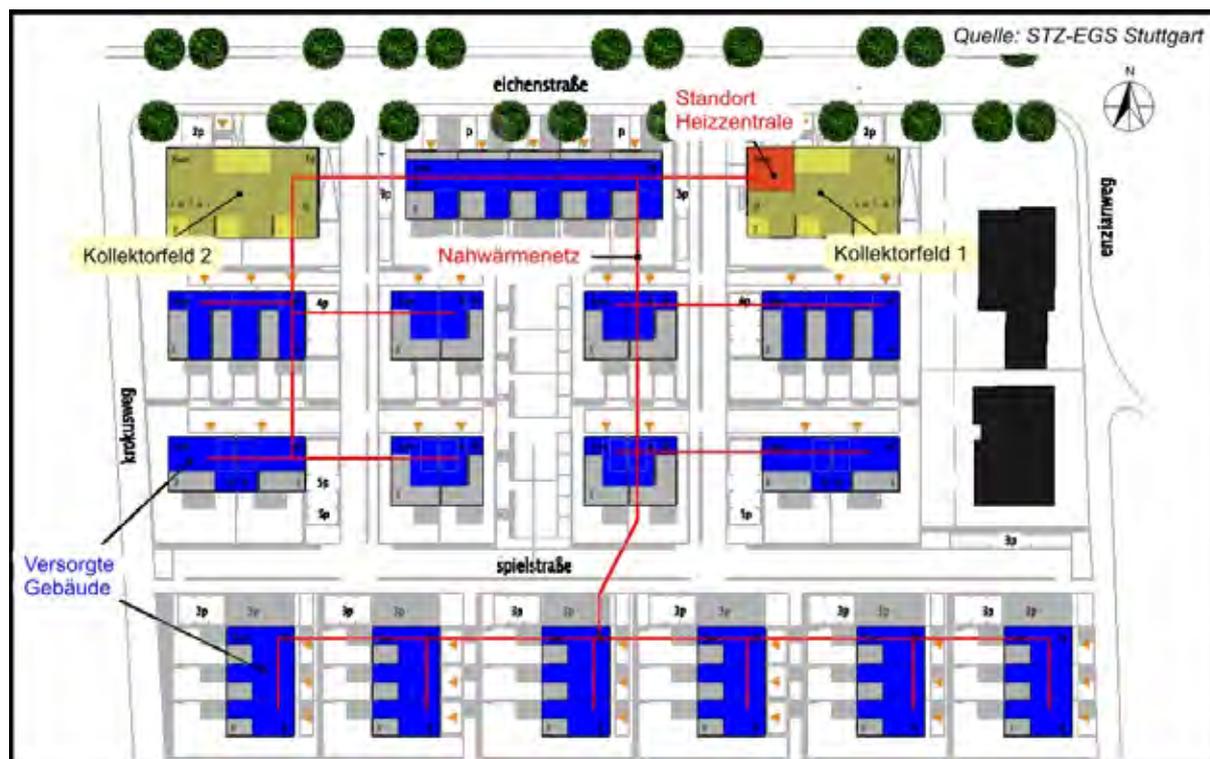


Bild 29 Lageplan Weinstadt-Endersbach, Wohngebiet Eichenstraße

Für das Neubaugebiet Weinstadt Eichenstraße wurde im Sommer 2005 ein zukunftsorientiertes Energiekonzept entworfen. Dabei werden verschiedene Varianten der Wärmeversorgung grob dimensioniert und hinsichtlich des Energiebedarfs, der Kosten und der ökologischen Auswirkungen verglichen. Ziel ist eine möglichst weitgehende Reduzierung der CO₂-Emissionen bei vertretbaren Kosten. Die Rahmendaten des Neubaugebietes sind in Tabelle 10 aufgeführt.

		Planungstand zum Zeitpunkt der Machbarkeitsstudie
Gebäudetyp	Einfamilien- und Mehrfamilienhäuser	
Anzahl der Gebäude	42	
Nutzung	Wohnen	
Klassifizierung	Neubau	
Anzahl Wohneinheiten	56	
Wohnfläche	6.760 m ²	
Nutzfläche nach EnEV (A _N)	7.950 m ²	
Jahresheizwärmebedarf	67 kWh/m ² _{ANA}	536 MWh/a
Warmwasserbedarf	18 kWh/m ² _{ANA}	142 MWh/a
Netzverluste	118 kWh/m ² _{TA}	78 MWh/a
Gesamtwärmebedarf	95 kWh/m ² _{ANA}	756 MWh/a
Heizleistungsbedarf	42 W/m ² _{AN}	337 kW

Tabelle 10 Eckdaten Machbarkeitsstudie Weinstadt-Endersbach – Wohngebiet Eichenstraße

Für die Gebäude ist ein Wärmeschutzstandard angestrebt, mit dem die Anforderungen an den mittleren U-Wert (H_T') der Gebäudehülle um mindestens 15% unterschritten werden. In Kombination mit einer Gas-Brennwerttherme werden damit ungefähr die Anforderungen der EnEV an den Primärenergiekennwert (PE) erfüllt. Mit einer innovativen Wärmeversorgung lassen sich bei gleichbleibendem Wärmeschutz die PE-Anforderungen der EnEV z.T. deutlich unterschreiten.

Zur Ermittlung des Wärme- und Heizleistungsbedarfs des Gesamtgebiets werden für die einzelnen Gebäudetypen, je nach A/V-Verhältnis und Gebäudegröße, pauschal typische Bedarfswerte von 65 bis 70 kWh/m²_{ANA} und 40 bis 45 W/m²_{AN} angesetzt. Diese beruhen auf Erfahrungswerten aus durchgeführten Wärmebedarfsberechnungen für konkrete Gebäude. Für die Ermittlung des Brauchwasserwärmebedarfs wird der nach EnEV angegebene Wert von 12,5 kWh/m²_{ANA} angesetzt. Für die Brauchwassererwärmung sind demnach ca. 142 MWh/a (inklusive 30% Speicher- und Zirkulationsverluste) erforderlich. Für das Gesamtgebiet entsteht ein jährlicher Heizwärmebedarf von 536 MWh/a.

Bei zentraler Versorgung entstehen zudem Netzverluste in Höhe von 78 MWh/a. Dies ergibt einen Gesamtwärmebedarf ab Heizzentrale von 756 MWh/a, siehe Bild 30. Die erforderliche Heizleistung beträgt 337 kW.

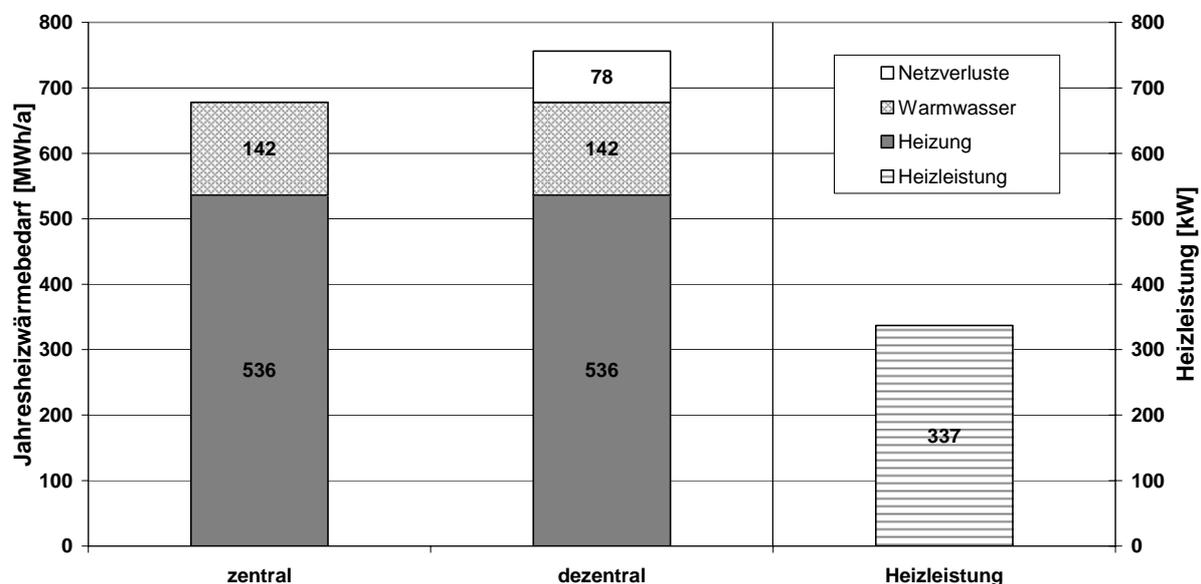


Bild 30 Darstellung Jahresheizwärmebedarf und Heizlast

Variantenbetrachtung

Zur Wärmeversorgung des Neubaugebietes wurden zwei dezentrale und vier unterschiedliche zentrale Varianten im Rahmen der Machbarkeitsstudie untersucht. Dabei wird das gesamte Wohngebiet betrachtet.

Bei zentraler Wärmeversorgung wird im Mehrfamilienhaus an der Ecke Enzianweg / Eichenstraße eine Heizzentrale errichtet, die Wärmeverteilung erfolgt über ein Nahwärmenetz. Von einer Haupttrasse in Ost-West-Richtung unter der nördlichsten Reihenhauserzeile entlang der Eichenstraße zweigen 2 Nebentrassen in Nord-Süd-Richtung ab, von denen wiederum die Hausanschlussleitungen abzweigen. Aus Kostengründen wurde darauf geachtet, dass Abzweigungen in den Kellern der Gebäude erfolgen. Die im Erdreich verlegten Abschnitte werden als PEX- Rohre ausgeführt, die Rohre im Keller in Stahl. Das Netz hat eine Länge von ca. 660 m, davon sind 260 m im Erdreich, der Rest in den Kellern der Gebäude zu verlegen. Die Netzverluste betragen mit 78 MWh/a etwa 10% der von der Heizzentrale abgegebenen Wärme-

menge. Für alle Einfamilienhäuser werden direkte Übergabestationen mit WW- Bereitung im Durchfluss eingesetzt. Die Wärmetauscher für die WW- Bereitung können eine Leistung von 66 kW bereitstellen. In den Mehrfamilienhäusern kommen indirekte Übergabestationen zur Anwendung. Dabei erfolgt die WW- Bereitung über Speicher- Lade-Systeme.

Beim Einsatz einer Solaranlage oder von Wärmepumpen ist für einen zufrieden stellenden Betrieb dieser Anlagen eine niedrige Rücklauftemperatur von größter Bedeutung. Die genannten Übergabestationen bieten die Grundlage für niedrige Rücklauf-temperaturen, erforderlich ist zudem eine genaue Auslegung sowie ein hydraulischer Abgleich der Wärmeverteilung in den Gebäuden.

Zur Wärmeversorgung werden sechs Varianten betrachtet, welche nachfolgend aufgelistet sind:

Var.	zentral/ dezentral	Kesselart	Kesselleistung (je Kessel)	Kollektor- fläche	Speicher- art	Speicher- volumen
1	dezentral	Gas-BWK	11 / 30 kW	-	-	-
2	dezentral	WP mit Sonden	11 / 30 kW	-	-	-
3	zentral	Holzpelletkessel	300 kW	-	-	6 m ³
4	zentral	Holzpelletkessel	300 kW	165 m ²	Heißwasser	10 m ³
5	zentral	WP mit Sonden Gas-NTK	100 kW 200 kW	-	-	4 m ³
6	zentral	Gasmotor-WP mit Sonden	325 kW	-	-	14 m ³

(BWK = Brennwertkessel, WP = Wärmepumpe, NTK - Niedertemperaturkessel)

Tabelle 11 Varianten der Wärmeversorgung Weinstadt-Endersbach – Wohngebiet Eichenstraße

In Variante 1 (dezentrale Wärmeversorgung) erhält jedes Gebäude einen eigenen Gasanschluss. Die Einfamilienhäuser besitzen jeweils eine Gas-Brennwert-Therme mit etwa 10 kW als Dachheizzentrale, die Mehrfamilienhäuser eine Gas-Brennwert-Therme mit 30 kW.

Bei Variante 2 erfolgt die Wärmeerzeugung durch eine Wärmepumpe (WP). Als Wärmequelle dienen Erdsonden. Sie haben beim EFH eine Tiefe von ca. 80 m, bei den Mehrfamilienhäusern werden jeweils ca. 450 m benötigt. Die Bereitstellung der Wärme erfolgt dezentral, d.h. jedes Haus erhält eine Wärmepumpe und Erdsonden. Die

Arbeitszahl der Wärmepumpe hängt stark von der Temperaturdifferenz zwischen Wärmequelle und Heizsystem ab. Eine Fußbodenheizung, die mit einer Vorlauftemperatur von 30 bis 40°C betrieben wird und damit den WP-Betrieb begünstigt, ist bei allen Gebäuden, unabhängig vom Heizsystem, ohnehin vorgesehen. Zusätzlichen Aufwand erfordert die Brauchwasserbereitung, die ein höheres Temperaturniveau erfordert. Mit der WP kann das WW auf 50 - 55°C aufgewärmt werden. Dies ist für den Betrieb im Einfamilienhaus ausreichend, aus Gründen des Legionellenschutzes muss aber bei den Mehrfamilienhäusern der gesamte Brauchwasserspeicher auf 60°C aufgeheizt werden. Dazu ist ein elektrischer Heizstab erforderlich. Für die Berechnungen wird eine mittlere Arbeitszahl von 3,5 angesetzt, d.h. zur Gewinnung von 3,5 kWh Wärme ist der Einsatz von 1 kWh elektrischer Energie erforderlich.

Variante 3 sieht die Wärmeerzeugung durch einen Holzpelletkessel mit ca. 300 kW im Nahwärmeverbund vor. Zusätzlich zum Heizraum ist ein Pelletssilo mit einer Größe von etwa 60 m³ erforderlich, welches mindestens eine LKW-Ladung Pellets (36 m³) fassen kann. Ein Pufferspeicher mit 6 m³ verlängert die Betriebszeiten des Holzkessels bei reduzierter Wärmeabnahme in der Übergangszeit.

Im Unterschied zur vorigen Variante ist in Variante 4 zusätzlich eine Solaranlage vorgesehen, siehe Bild 31. Auf den Flachdächern der 2 Mehrfamilienhäuser stehen 300 m² Dachfläche zur Aufständigung von Kollektoren zur Verfügung. Zur Optimierung des Solarertrags sollten die Kollektoren ca. 40° geneigt sein. Bei einer möglichen Ausnutzung der Dachfläche von 55% (Abstand vom Dachrand, Vermeidung von gegenseitiger Verschattung) beträgt die resultierende Kollektorfläche 165 m² (Pufferspeichervolumen 10 m³). Bei einem erwarteten Ertrag von etwa 400 kWh/(m²·a) ergibt sich ein Ertrag von 66 MWh/a. Damit werden etwa 30% des Bedarfs für die WW-Bereitung und der Netzverluste bzw. 9 % des gesamten Wärmebedarfs ab Heizzentrale gedeckt.

Bei Variante 5 wird die Grundlast durch eine elektrische Wärmepumpe (WP) mit einer Wärmeleistung von 100 kW bereitgestellt. Als Wärmequelle dienen Erdsonden mit einer Gesamtlänge von 1.400 m. Allerdings kann die WP auch in den Sommermonaten das für das Wärmenetz erforderliche Temperaturniveau von 65°C nicht erreichen, so dass stets die Erwärmung von 55 auf 65°C durch einen Gaskessel ge-

leistet werden muss. Der Gaskessel mit einer Leistung von 200 kW deckt auch die winterliche Spitzenlast ab. Die Arbeitszahl der Wärmepumpe hängt stark von der Temperaturdifferenz zwischen Wärmequelle und Heizsystem ab. Bei der vorgesehenen Betriebsweise ist mit einer Arbeitszahl von 3,5 zu rechnen. Die Wärmepumpe kann etwa 50% der benötigten Wärmemenge bereitstellen (378 MWh/a), der Rest wird durch den Gas-NT-Heizkessel (200 kW) geliefert.

Im Unterschied zur vorigen Variante wird in Variante 6 der gesamte Wärmebedarf von der Wärmepumpe bereitgestellt. Die Wärmepumpe wird im Gegensatz zu Variante 5 mit einem Gasmotor betrieben. Als Wärmequelle dienen Erdsonden mit einer Gesamtlänge von 2.100 m. Eine Gasmotor-Wärmepumpe kann die erforderlichen Temperaturen liefern, da der obere Temperaturbereich aus der Abwärme des Gasmotors abgedeckt wird. Für diese Variante wird eine Gasmotor-Wärmepumpe mit einer thermischen Leistung von 325 kW angenommen. Bei den vorgesehenen Betriebsbedingungen ist mit einer Arbeitszahl von etwa 1,4 zu rechnen d.h. beim Einsatz von 1 kWh Erdgas wird 1,4 kWh Wärme bereitgestellt.

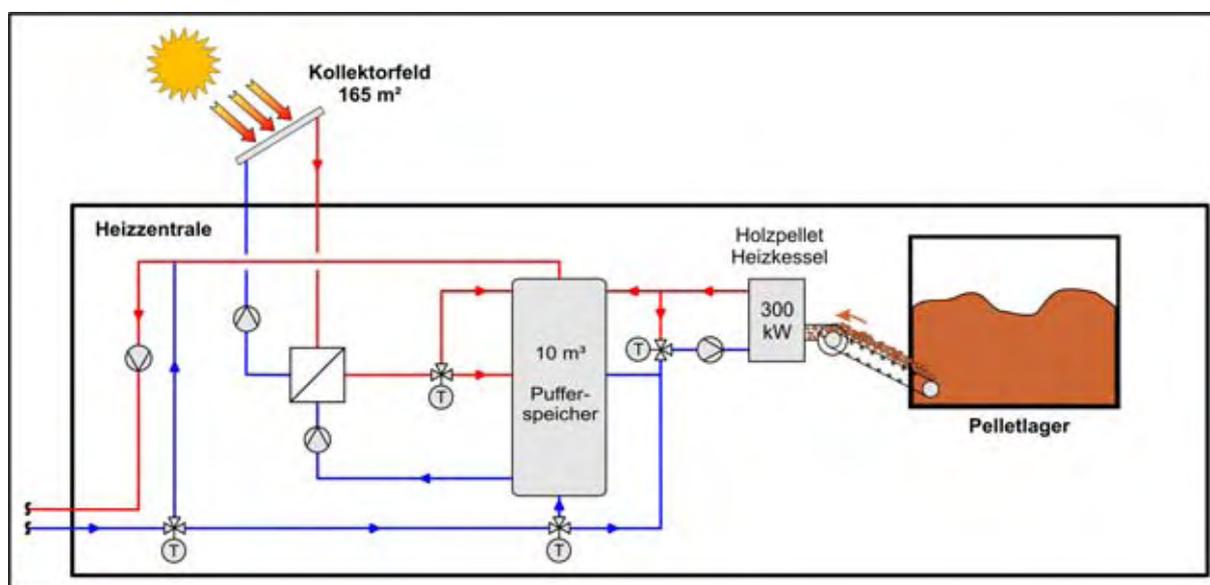


Bild 31 Anlagenschema Variante 4 – Holzpelletkessel mit Solaranlage 165 m²

Ergebnisse

Bild 32 zeigt die Investitionskosten für die Wärmeversorgung bei allen Varianten, aufgeteilt nach den verschiedenen Anlagenteilen. Bei den Varianten mit Wärmepumpe ist eine Förderung aus dem Förderprogramm "Klimaschutz-Plus / Oberflächennahe Geothermie" in Höhe von 14 €/m Sondenlänge eingerechnet. Für Variante 4 werden die Kosten für die solaren Komponenten zu 30% durch Solarthermie2000plus als förderfähig angesetzt.

Die niedrigsten Investitionen entstehen bei dezentraler Versorgung mit Gas (Variante 1). Mehr als doppelt so hoch sind die Investitionen für eine dezentrale Versorgung mit Erdsonden-Wärmepumpe. Noch höher sind die Kosten lediglich bei einer zentralen Versorgung mit einer Gasmotor-Wärmepumpe.

Für eine zentrale Versorgung mit Holzpellets entstehen um 90.000 € höhere Kosten als bei Variante 1. Eine zusätzliche Solaranlage führt zu weiteren Investitionen von ca. 100.000 €, die durch die Energieeinsparung nicht vollständig ausgeglichen werden können. Aufgrund der geringen Dachflächen kann die Solaranlage nur sehr klein ausgelegt werden (< 10% Deckung des Gesamtbedarfs). Zwischen diesen beiden Varianten liegt die Versorgung mit einer bivalenten elektrischen Wärmepumpe (Variante 4).

In Bild 33 sind die Jahresgesamtkosten für die unterschiedlichen Varianten dargestellt. Die günstigste Lösung (ohne Berücksichtigung der Förderung) ist durch dezentrale Versorgung mit Gas (Variante 1) und zentrale Versorgung mit Holzpellets (Variante 3) zu erreichen.

Die Jahresgesamtkosten der Variante 4 und 5 liegen um ca. 10% höher, die Mehrkosten bei Variante 2 ca. 30%. Die höchsten Jahresgesamtkosten entstehen bei Variante 6, welche ca. 50% über Variante 1 und 3 liegen. Zu beachten ist neben dem Gesamtbetrag auch die Kostenaufteilung. Der Anteil der Energiekosten bei Variante 3 mit Holzpellets ist um 25% deutlich geringer als bei dezentraler Versorgung mit Erdgas (Basisvariante). Bei Berücksichtigung der Förderung ändern sich diese Aussagen nur unwesentlich.

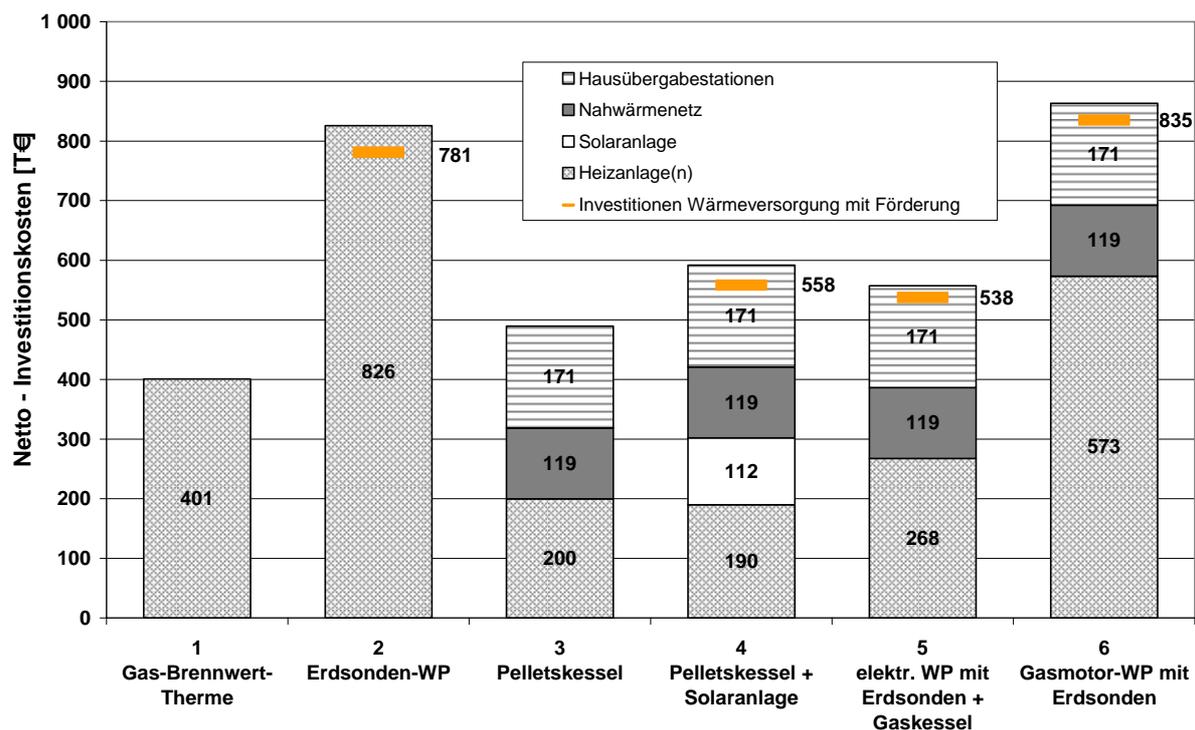


Bild 32 Gesamt-Investitionskosten (inkl. Planung, ohne MWSt.) der verschiedenen Varianten

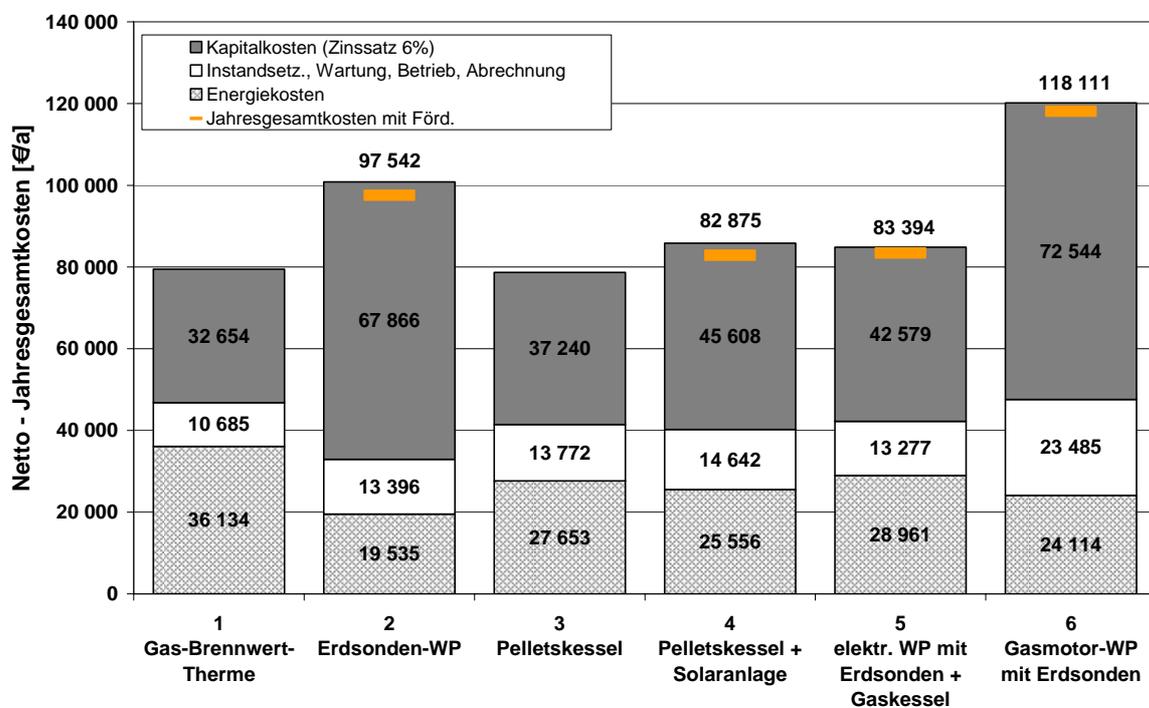


Bild 33 Jahresgesamtkosten (ohne MWSt.) der verschiedenen Varianten

Mit der Betrachtung des Primärenergiebedarfes und der CO₂- Emissionen erfolgt eine ökologische Bewertung der Wärmeversorgung, siehe Bild 34.

Trotz zusätzlichen Wärmebedarfs für die Verluste des Nahwärmenetzes lassen sich durch den Einsatz der Energieträger Holz und Solarenergie bzw. durch Nutzung der Wärme des Erdreichs durch eine Wärmepumpe die CO₂-Emissionen und der Primärenergiebedarf für Heizung und Warmwasser bei den meisten Varianten deutlich unter die Werte bei dezentraler Gasversorgung senken. Lediglich bei Variante 5 kommt es wegen der zusätzlichen Netzverluste und des schlechteren Jahresnutzungsgrades des Heizkessels (Gas-NT-Kessel) zu geringfügig höheren CO₂-Emissionen und einem größeren PE-Bedarfskennwert. Die niedrigsten Emissionen entstehen bei den Varianten mit Holzpellets, die eine CO₂-Reduzierung um ca. 75% ermöglichen.

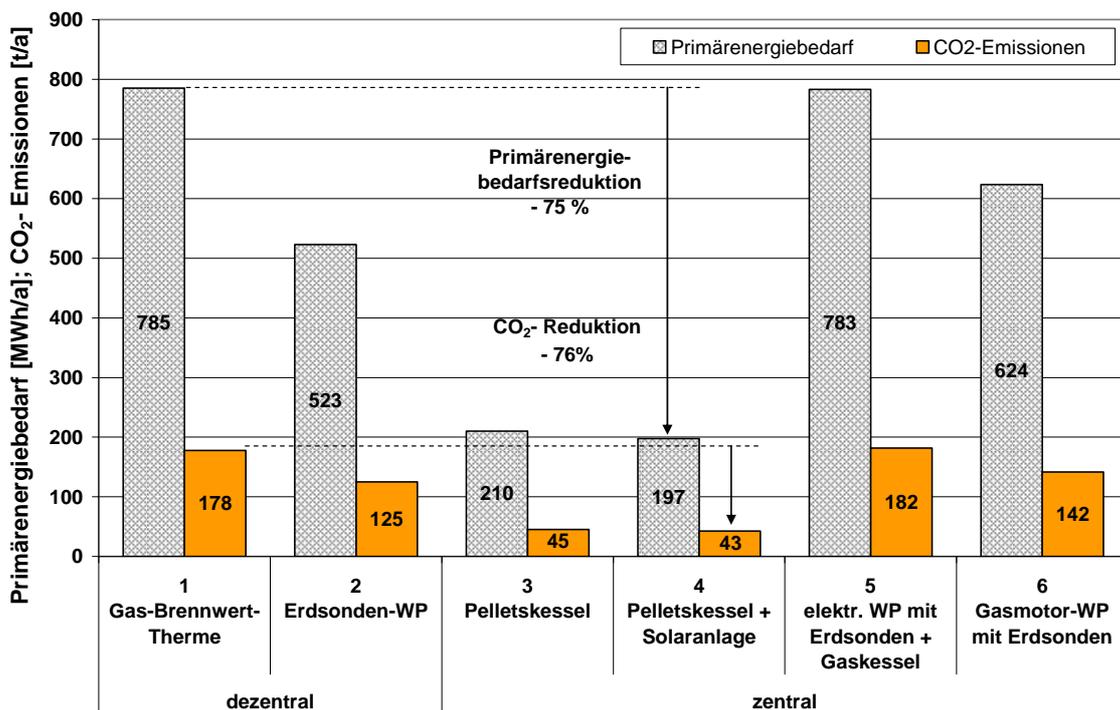


Bild 34 Primärenergiebedarf und CO₂- Emissionen der verschiedenen Varianten

Eine zentrale bietet gegenüber einer dezentralen Wärmeversorgung vereinfachte Möglichkeiten zum Einsatz von CO₂-neutralen Energieträgern, bei vertretbaren Mehrinvestitionen. Mit der Verlegung des Nahwärmenetzes überwiegend durch die Keller ist eine kostengünstige Ausführung möglich, die großenteils erst in der Bauphase und nicht bereits während der Erschließung erfolgt. Wärmepumpen, insbesondere elektrisch betriebene Kompressionswärmepumpen, sind grundsätzlich nicht geeignet für den Einsatz in Nahwärmenetzen, da sie das ganzjährig erforderliche hohe Temperaturniveau nicht oder nur mit hohen Einbußen bei der Effizienz gewährleisten können.

Dem Siedlungswerk wird folgendes empfohlen:

- Aufbau einer Nahwärmeversorgung mit einer Heizzentrale im Mehrfamilienhaus
- Wärmeerzeugung mit Holzpellets, eventuell in Kombination mit einer Solaranlage.

3.6 Projekt 6 – Reutlingen, Wohngebiet Lindachareal

Im Neubaugebiet wird die Lindach-Quartier GbR in den nächsten Jahren ein Mehr- generationenhaus bestehend aus einer Tageseinrichtung für Kinder, einem Pflege- heim und Seniorenwohnen, 5 Mehrfamilienhäuser (1 MFH mit 6 Maisonetten + 1 Wohnung + Apotheke sowie 4 MFH mit jeweils 6 Wohneinheiten als Stadtvillen) und 24 Einfamilienhäuser (10 Reihenhäuser, 14 Modulhäuser) erstellen. Das Wohngebiet soll in 2-3 Bauabschnitten erstellt werden. Alle 33 Gebäude sind unterkellert. Die Wohnfläche des Gesamtgebietes beträgt für 55 Wohneinheiten sowie 50 Kindergar- tenplätze und 50 Seniorenwohnplätze 11.760 m².

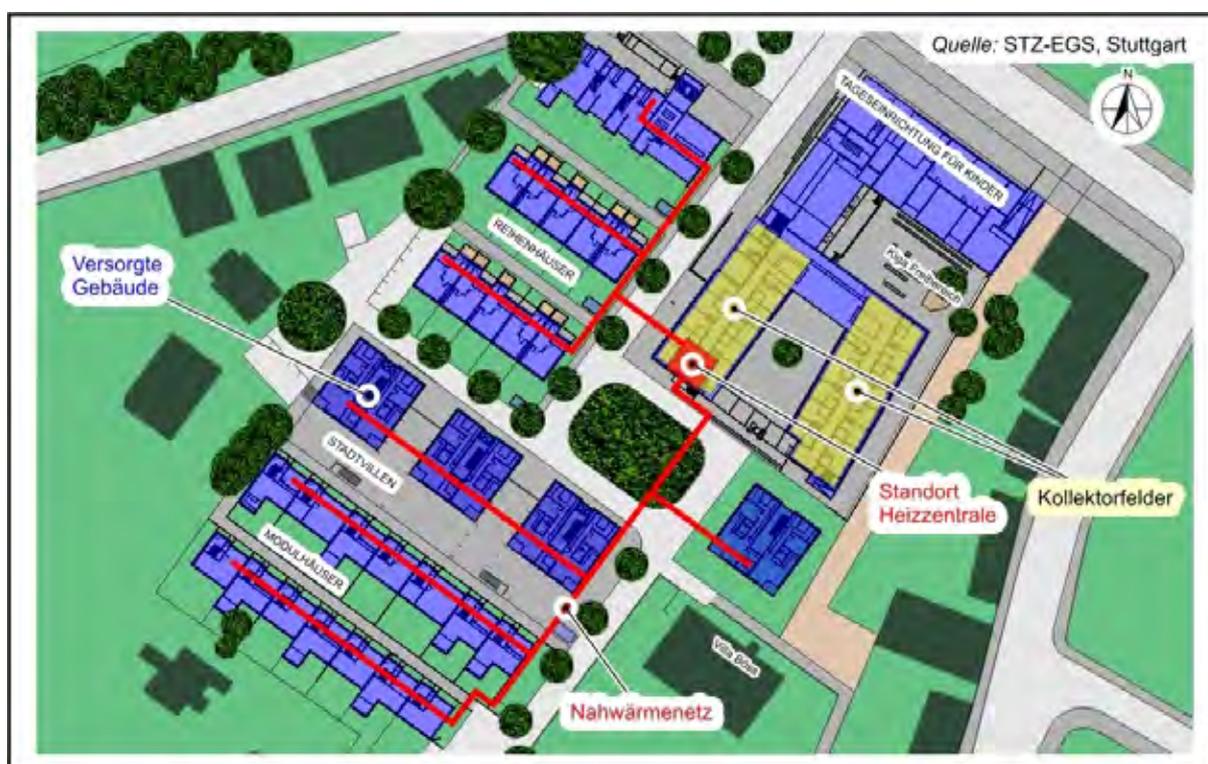


Bild 35 Lageplan Reutlingen, Wohngebiet Lindachareal

Für das Neubaugebiet Lindachareal Reutlingen wurde im Herbst 2005 ein zukunfts- orientiertes Energiekonzept entworfen. Dabei werden verschiedene Varianten der Wärmeversorgung grob dimensioniert und hinsichtlich des Energiebedarfs, der Kos- ten und der ökologischen Auswirkungen verglichen. Ziel ist eine möglichst weitge- hende Reduzierung der CO₂-Emissionen bei vertretbaren Kosten. Die Rahmendaten des Neubaugebietes sind in Tabelle 12 aufgeführt.

Planungstand zum Zeitpunkt der Machbarkeitsstudie		
Gebäudetyp	Einfamilien- und Mehrfamilienhäuser	
Anzahl der Gebäude	30	
Nutzung	Wohnen, Betreuung	
Klassifizierung	Neubau	
Anzahl Wohneinheiten	55 WE und 50 Seniorenwohnplätze sowie 50 KiTa- Plätze	
Wohnfläche	11.700 m ²	
Nutzfläche nach EnEV (A _N)	13.765 m ²	
Jahresheizwärmebedarf	54 kWh/m ² _{ANA}	739 MWh/a
Warmwasserbedarf	24 kWh/m ² _{ANA}	323 MWh/a
Netzverluste	165 kWh/m ² _{Ta}	105 MWh/a
Gesamtwärmebedarf	85 kWh/m ² _{ANA}	1.167 MWh/a
Heizleistungsbedarf	35 W/m ² _{AN}	473 kW

Tabelle 12 Eckdaten Machbarkeitsstudie Reutlingen, Wohngebiet Lindachareal

Für die Gebäude ist ein Wärmeschutzstandard angestrebt, mit dem die Anforderungen an den mittleren U-Wert (H_T') der Gebäudehülle um mindestens 15% unterschritten werden. In Kombination mit einer Gas-Brennwerttherme werden damit ungefähr die Anforderungen der EnEV an den Primärenergiekennwert (PE) erfüllt. Mit einer innovativen Wärmeversorgung lassen sich bei gleichbleibendem Wärmeschutz die PE-Anforderungen der EnEV z.T. deutlich unterschreiten.

Zur Ermittlung des Wärme- und Heizleistungsbedarfs des Gesamtgebiets werden für die einzelnen Gebäudetypen, je nach A/V-Verhältnis und Gebäudegröße, pauschal typische Bedarfswerte von 46 bis 65 kWh/m²_{ANA} und 30 bis 40 W/m²_{AN} angesetzt. Diese beruhen auf Erfahrungswerten aus durchgeführten Wärmebedarfsberechnungen für konkrete Gebäude. Für die Ermittlung des Brauchwasserwärmebedarfs wird für die Wohngebäude der nach EnEV angegebene Wert von 12,5 kWh/m²_{ANA} angesetzt. Für das Pflegeheim mit Seniorenwohnen wird pro Person ein täglicher Verbrauch von 60 l (mit 60°C) angenommen, dies entspricht einer Wärmemenge von 20,4 kWh/m²_{ANA}. Für die Kindertagesstätte wird ein täglicher Verbrauch pro Person von 20 l angesetzt, was einer Wärmemenge von ca. 30 kWh/m²_{ANA} entspricht. Der

Warmwasserbedarf der Apotheke ist so gering, dass er vernachlässigt werden kann. Für die Brauchwassererwärmung sind demnach ca. 323 MWh/a (inklusive 30% Speicher- und Zirkulationsverluste) erforderlich. Für das Gesamtgebiet entsteht ein jährlicher Heizwärmebedarf von 739 MWh/a.

Bei zentraler Versorgung entstehen zudem Netzverluste in Höhe von 105 MWh/a. Dies ergibt einen Gesamtwärmebedarf ab Heizzentrale von 1.167 MWh/a, siehe Bild 36. Die erforderliche Heizleistung beträgt 473 kW.

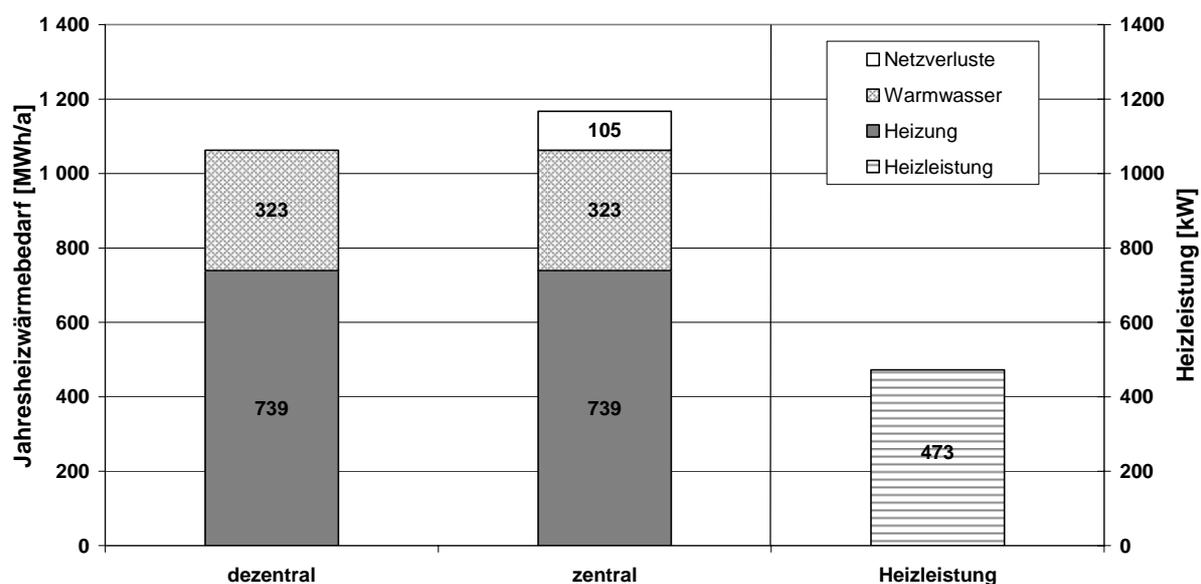


Bild 36 Darstellung Jahresheizwärmebedarf und Heizlast

Variantenbetrachtung

Zur Wärmeversorgung des Neubaugebietes wurden vier unterschiedliche Varianten (mit zwei Untervarianten) im Rahmen der Machbarkeitsstudie untersucht. Dabei wird die Einzelhausversorgung mit Gas-Brennwert Geräten als Basisvariante definiert. In der Studie erfolgt die Betrachtung des gesamten Wohngebietes.

Bei zentraler Wärmeversorgung wird im Mehrgenerationenhaus im UG an der Südwestecke an zentraler Stelle eine Heizzentrale errichtet. Die Wärmeverteilung erfolgt über ein Nahwärmenetz. Von der Heizzentrale gehen 2 Hauptrassen in Nord-Süd-Richtung ab. Die Leitungen werden so verlegt, dass ein möglichst geringer Anteil der Leitungen unter öffentlichen Straßen verläuft. Aus Kostengründen wurde darauf ge-

achtet, dass Leitungen wenn möglich in den Kellern verlegt werden und somit Abzweigungen im Erdreich vermieden werden. Die im Erdreich verlegten Abschnitte werden als PEX- Rohre ausgeführt, die Rohre im Keller in Stahl. Das Netz hat eine Länge von etwa 640 m, davon sind 220 m im Erdreich, der Rest in den Kellern zu verlegen. Die Netzverluste betragen mit 105 MWh/a etwa 9% der von der Heizzentrale abgegebenen Wärmemenge.

Für alle Einfamilienhäuser werden direkte Übergabestationen mit WW- Bereitung im Durchfluss eingesetzt. In den Stadtvillen, Maisonetten und im Mehrgenerationenhaus kommen indirekte Übergabestationen mit Speicher-Lade-Systemen zur Anwendung.

Beim Einsatz einer Solaranlage ist für einen zufrieden stellenden Betrieb dieser Anlage eine niedrige Rücklauftemperatur von größter Bedeutung. Die genannten Übergabestationen bieten die Grundlage für niedrige Rücklauftemperaturen, erforderlich ist zudem eine genaue Auslegung sowie ein hydraulischer Abgleich der Wärmeverteilung in den Gebäuden.

Zur Wärmeversorgung werden sechs Varianten betrachtet, welche nachfolgend aufgelistet sind:

Var.	zentral/ dezentral	Kesselart	Kesselleistung (je Kessel)	Kollektor- fläche	Speicher- art	Speicher- volumen
1	dezentral	Gas-BWK	11 / 30 / 50 / 160 kW	-	-	-
2a	zentral	1 Erdgas-BHKW 2 Gas-BWK	100 kW _{th} / 50 kW _{el} 200 kW	-	-	5 m ³
2b	zentral	3 Erdgas-BHKW 2 Gas-BWK	12,5 kW _{th} / 5,5 kW _{el} 220 kW	-	-	2 m ³
3a	zentral	1 Holzpelletkessel 1 Gas-NTK	300 kW 200 kW	-	-	6 m ³
3b	zentral	1 Holzpelletkessel 1 Gas-NTK	300 kW 200 kW	400 m ²	Heißwasser	25 m ³
4	zentral	1 Holzpelletstirling 1 Gas-BWK	26 kW _{th} / 9,9 kW _{el} 220 kW	-	-	2 m ³

(BWK = Brennwertkessel, BHKW = Blockheizkraftwerk, NTK - Niedertemperaturkessel)

Tabelle 13 Varianten der Wärmeversorgung Reutlingen, Wohngebiet Lindachareal

In Variante 1 (dezentrale Wärmeversorgung) erhält jedes Gebäude einen eigenen Gasanschluss. Die Einfamilienhäuser besitzen jeweils eine Gas-Brennwert-Therme (GBT) mit etwa 10 kW als Dachheizzentrale, die Stadtvillen eine GBT mit 30 kW, die Maisonnetten eine GBT mit 50 kW und das Mehrgenerationenhaus einen Gas-Brennwertkessel mit 160 kW.

Bei Variante 2a erfolgt die Wärmeerzeugung zentral durch ein Blockheizkraftwerk (BHKW). Ein BHKW deckt in der Regel nur einen Teil der maximalen Heizlast ab, für den Spitzenlastbedarf werden Gaskessel eingesetzt. Beim Einsatz in Wohngebäuden empfiehlt sich ein wärmegeführter Betrieb. Das vorgesehene Gasmotor- BHKW (50 kW_{el} / 100 kW_{th}) wird mit einer Laufzeit von 6.500 h/a angesetzt. Es werden 650 MWh/a Wärme und 325 MWh_{el}/a Strom erzeugt. Dies entspricht einem Wärmeanteil von 56%. Ein Pufferspeicher mit 5 m³ verhindert zu häufiges Takten des BHKW's, gleicht kurzzeitige Lastspitzen aus und erhöht damit die Gesamtlaufzeit des BHKW's.

Im Unterschied zur vorigen Variante 2a werden in Variante 2b drei Module eines Kleinst- BHKW's (jeweils 12,5 kW_{th} / 5,5 kW_{el}) mit einer thermischen Gesamtleistung von 37,5 kW_{th} eingesetzt. Die vorgesehene Laufzeit beträgt 8.000 h pro Jahr. Damit werden lediglich 26% des Wärmebedarfs gedeckt. Die BHKW- Module erzeugen 300 MWh/a Wärme und 132 MWh_{el}/a Strom. Der Strom wird in das öffentliche Netz eingespeist.

Variante 3a sieht die Wärmeerzeugung durch einen Holzpelletkessel mit ca. 300 kW und einem Gas-Spitzenlastkessel mit 200 kW im Nahwärmeverbund vor. Zusätzlich zum Heizraum ist ein Pelletssilo mit einer Größe von etwa 65 m³ erforderlich, welches mindestens eine LKW-Ladung Pellets (36 m³) fassen kann. Ein Pufferspeicher mit 6 m³ verlängert die Betriebszeiten des Holzkessels bei reduzierter Wärmeabnahme in der Übergangszeit.

Im Unterschied zur vorigen Variante ist in Variante 3b zusätzlich eine Solaranlage vorgesehen, siehe Bild 37. Auf den Flachdächern der 2 Gebäudeflügel des Pflegeheims stehen 730 m² Dachfläche zur Aufständigung von Kollektoren zur Verfügung. Zur Optimierung des Solarertrags sollten die Kollektoren ca. 40° geneigt sein. Bei einer möglichen Ausnutzung der Dachfläche von 55% (Abstand vom Dachrand,

Vermeidung von gegenseitiger Verschattung) beträgt die resultierende Kollektorfläche 400 m² (Pufferspeichervolumen 25 m³). Bei einem erwarteten Ertrag von etwa 400 kWh/(m²·a) ergibt sich ein Ertrag von 160 MWh/a. Damit werden etwa 37% des Bedarfs für die WW- Bereitung und der Netzverluste bzw. 16 % des gesamten Wärmebedarfs ab Heizzentrale gedeckt.

In Variante 4 erfolgt die Wärmeerzeugung zentral durch einen Holzpelletstirling. Stirling-Motoren sind Block-Heizkraftwerke, die gleichzeitig Strom und Wärme erzeugen. Der Stirlingmotor verbrennt im Gegensatz zu herkömmlichen Motoren den Energieträger in einer externen Brennkammer. Damit können theoretisch sämtliche Brennstoffe eingesetzt werden. Der Pelletsstirling in der hier untersuchten Variante deckt mit 26 kW thermischer Leistung nur einen sehr geringen Anteil des Heizleistungsbedarfs ab. Der überwiegende Teil wird von 2 Gaskesseln mit jeweils 220 kW abgedeckt. Beim Pelletsstirling (10 kW_{el}, 26 kW_{th}) ist ein fast durchgehender Betrieb zu erwarten. Es wird in der Studie mit einer Laufzeit von 8.000 h/a gerechnet, wobei damit 18% des jährlichen Wärmebedarfs gedeckt werden.

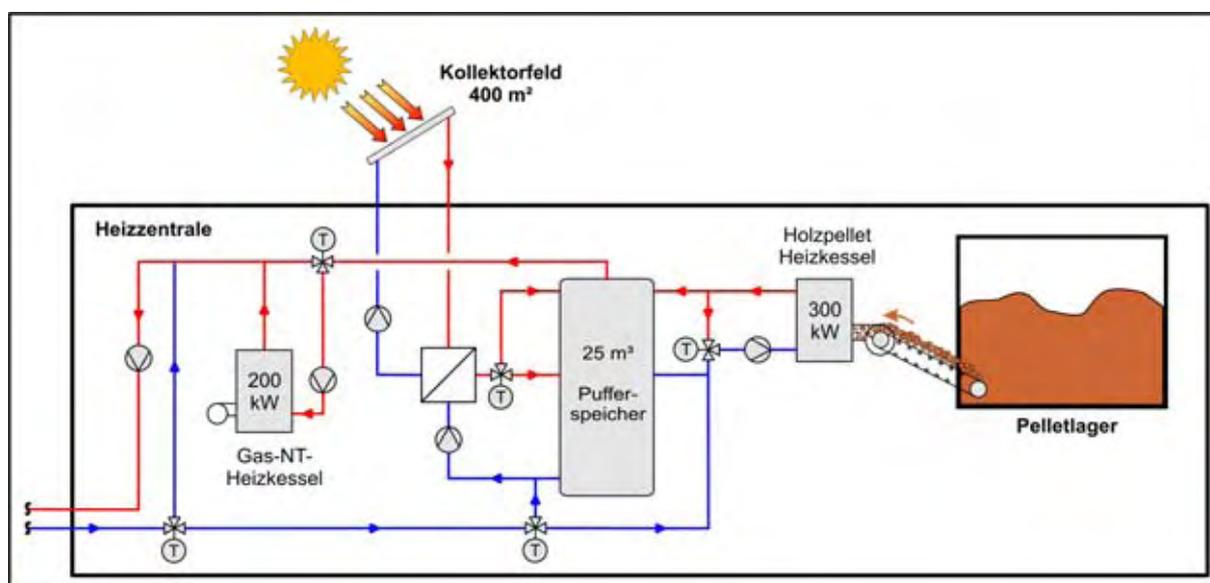


Bild 37 Anlagenschema Variante 3b – Holzpelletkessel mit Solaranlage 400 m²

Ergebnisse

Bild 38 zeigt die Investitionskosten für die Wärmeversorgung bei allen Varianten, aufgeteilt nach den verschiedenen Anlagenteilen. Für Variante 3b werden die Kosten für die solaren Komponenten zu 30% durch Solarthermie2000plus als förderfähig angesetzt.

Die niedrigsten Investitionen sind bei dezentraler Versorgung mit Gas-Brennwertkessel zu erwarten. Die Investitionen für die Heizanlagen der Varianten mit zentraler Versorgung sind zwar niedriger als bei dezentraler Versorgung, allerdings kommen Investitionen für das Nahwärmenetz und die Übergabestationen hinzu, so dass die Kosten letztendlich um 150.000 bis 200.000 €, mit Solaranlage sogar um 350.000 € höher liegen.

In Bild 39 sind die Jahresgesamtkosten für die unterschiedlichen Varianten dargestellt, welche sich aus den Kapitalkosten, Instandsetzungs-, Wartungs-, und Betriebskosten sowie den Energiekosten zusammensetzen. Bei den Varianten mit BHKW's und Pelletsstirling werden zudem Einnahmen durch Stromerzeugung erzielt. Berücksichtigt sind auch die Einsparungen durch die Förderung für die Solaranlage.

Die Jahresgesamtkosten für eine zentrale Versorgung mit einer der KWK- Varianten liegen in gleicher Höhe oder bis zu 10% niedriger als bei dezentraler Versorgung. Eine zentrale Versorgung mit Holzpellets und optional mit Solaranlage führt zu Mehrkosten von 5 bis 10%.

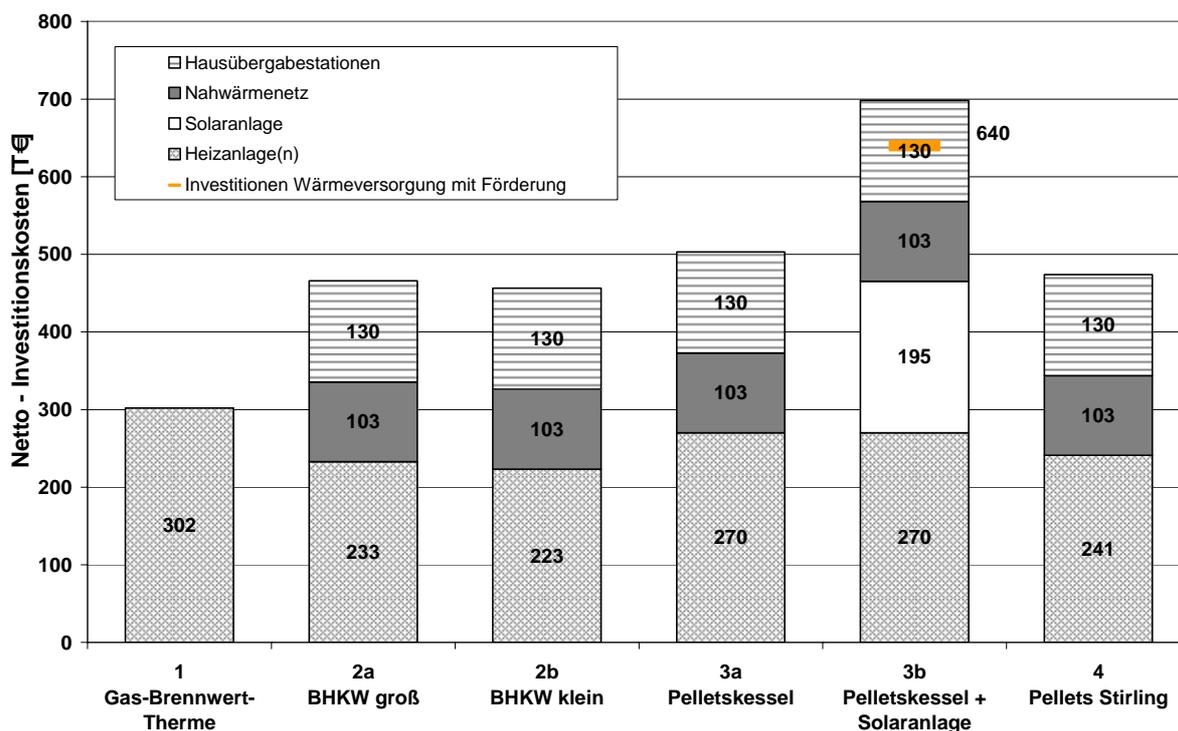


Bild 38 Gesamt-Investitionskosten (inkl. Planung, ohne MWSt.) der verschiedenen Varianten

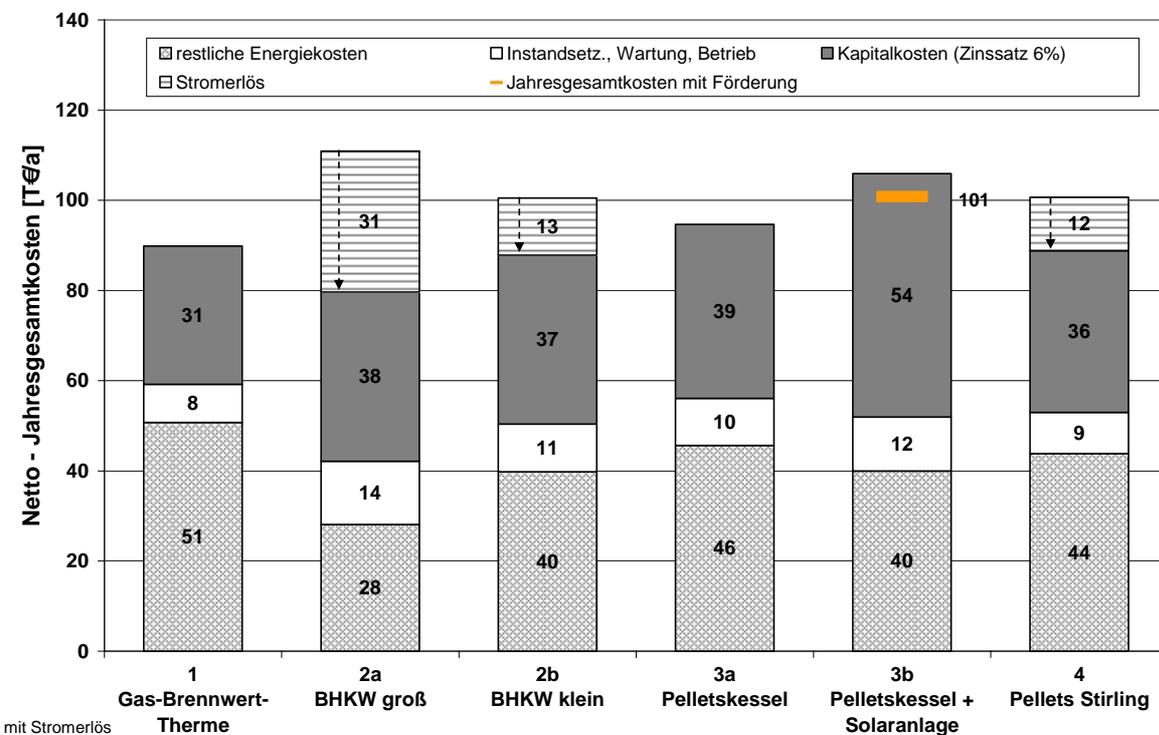


Bild 39 Jahresgesamtkosten (ohne MWSt.) der verschiedenen Varianten

Mit der Betrachtung des Primärenergiebedarfes und der CO₂- Emissionen erfolgt eine ökologische Bewertung der Wärmeversorgung, siehe Bild 34.

Trotz zusätzlichen Wärmebedarfs für die Verluste des Nahwärmenetzes lassen sich die CO₂- Emissionen und der Primärenergiebedarf für die Wärmeversorgung bei den Varianten der zentralen Wärmeversorgung unter die Werte der dezentralen Wärmeversorgung mit Gas senken. Bei den Varianten 3a und 3b wird durch den Einsatz des Energieträgers Holz eine Reduktion der CO₂-Emissionen um ca. 55% erzielt. Bei Einsatz von Gasmotor- BHKW's erhöhen sich zwar die Emissionen vor Ort, durch eine so genannte Stromgutschrift für die Vermeidung von Emissionen im konventionellen Kraftwerk wird effektiv eine CO₂- Reduzierung erreicht. Bei Variante 2a (BHKW groß) beträgt diese etwa 27%, bei den Kleinst- BHKW's wird die Stromgutschrift durch die zusätzlichen Netzverluste und den schlechteren Gesamtwirkungsgrad des BHKW's gegenüber einem Brennwertkessel nahezu wieder ausgeglichen. Beim Pelletsstirling addieren sich die Vorteile des erneuerbaren Energieträgers Holz und der Stromgutschrift für den erzeugten Strom. Auf Grund der geringen Leistung des Aggregats ist die CO₂-Reduzierung mit etwa 20% begrenzt.

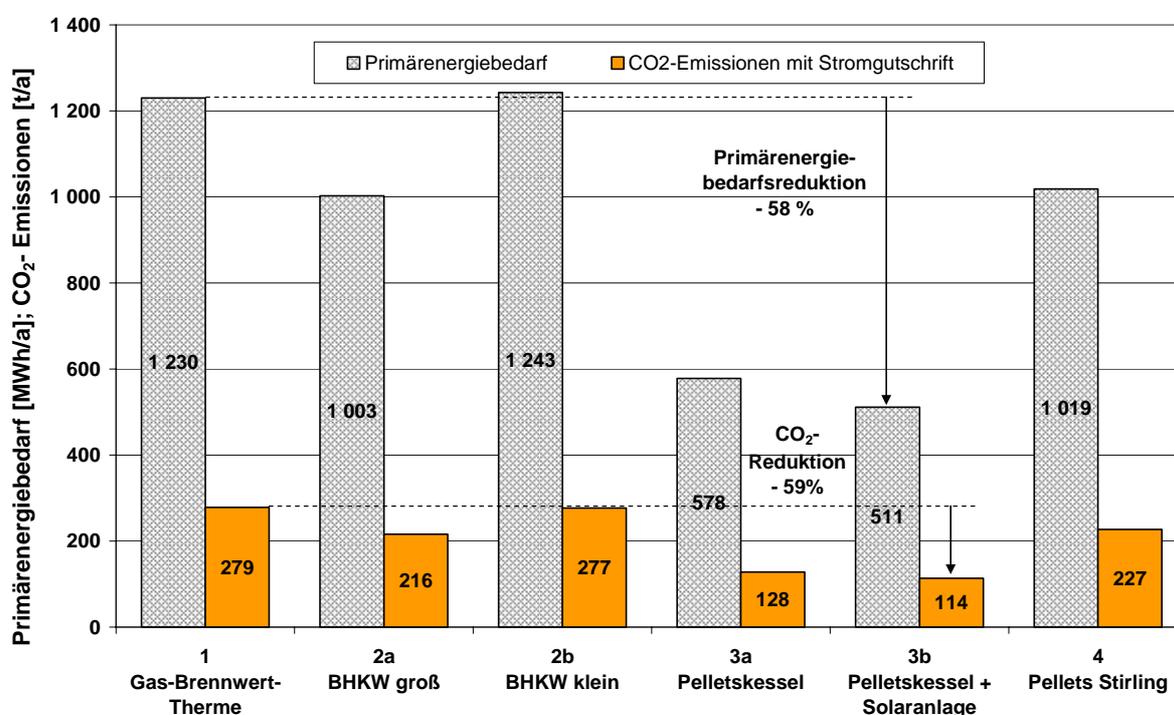


Bild 40 Primärenergiebedarf und CO₂- Emissionen der verschiedenen Varianten

Eine zentrale bietet gegenüber einer dezentralen Wärmeversorgung vereinfachte Möglichkeiten zum Einsatz von CO₂-neutralen Energieträgern, bei akzeptablen Mehrinvestitionen. Mit der Verlegung des Nahwärmenetzes überwiegend durch die Keller ist eine kostengünstige Ausführung möglich, die großenteils erst in der Bauphase und nicht bereits während der Erschließung erfolgt. Die höheren Investitionskosten werden über die Nutzungsdauer durch den günstigeren Brennstoff Holzpellets bzw. die Einspeisevergütung für den in KWK erzeugten Strom überwiegend ausgeglichen. Für eine spürbare Reduzierung der CO₂-Emissionen erfordert eine zentrale Versorgung einen deutlichen Anteil der Wärmeerzeugung durch innovative Systeme. Dies wird durch einen großen Pelletkessel oder ein großes BHKW erreicht.

Dem Investor wird folgendes empfohlen:

- Aufbau einer Nahwärmeversorgung mit einer Heizzentrale im Mehrgenerationenhaus
- Ausführung des Wärmenetzes mit PEX- Rohren durch die Keller
- Wärmeerzeugung mit einem großem BHKW (bis zu 50 kW_{el} / 100kW_{th}) oder einem Pelletkessel.

3.7 Projekt 7 – Jocketa, Wohngebiet Ferdinand-Sommer-Straße

In Jocketa im Vogtlandkreis soll die bestehende Nahwärmeversorgung in Bezug auf die steigenden Energiepreise hinsichtlich einer Sanierung bzw. Umrüstung der Heizzentrale im Auftrag der Gemeinde Pöhl geprüft werden. Das für 14 Wohngebäude mit 230 Wohneinheiten sowie zwei Schulgebäude, einen Kindergarten und eine Turnhalle errichtete Nahwärmenetz wurde ab 1995 in drei Bauabschnitten realisiert. Im Zuge einer Machbarkeitsstudie werden im Sommer 2006 verschiedene Wärmeversorgungskonzepte untersucht und bewertet. Um den Einfluss der Gebäudehülle der noch nicht energetisch sanierten beiden Schulgebäude auf die Versorgungsvarianten untersuchen zu können, variiert der Gebäudestandard zwischen Ist-Zustand und Sanierung nach Energieeinsparverordnung (EnEV).

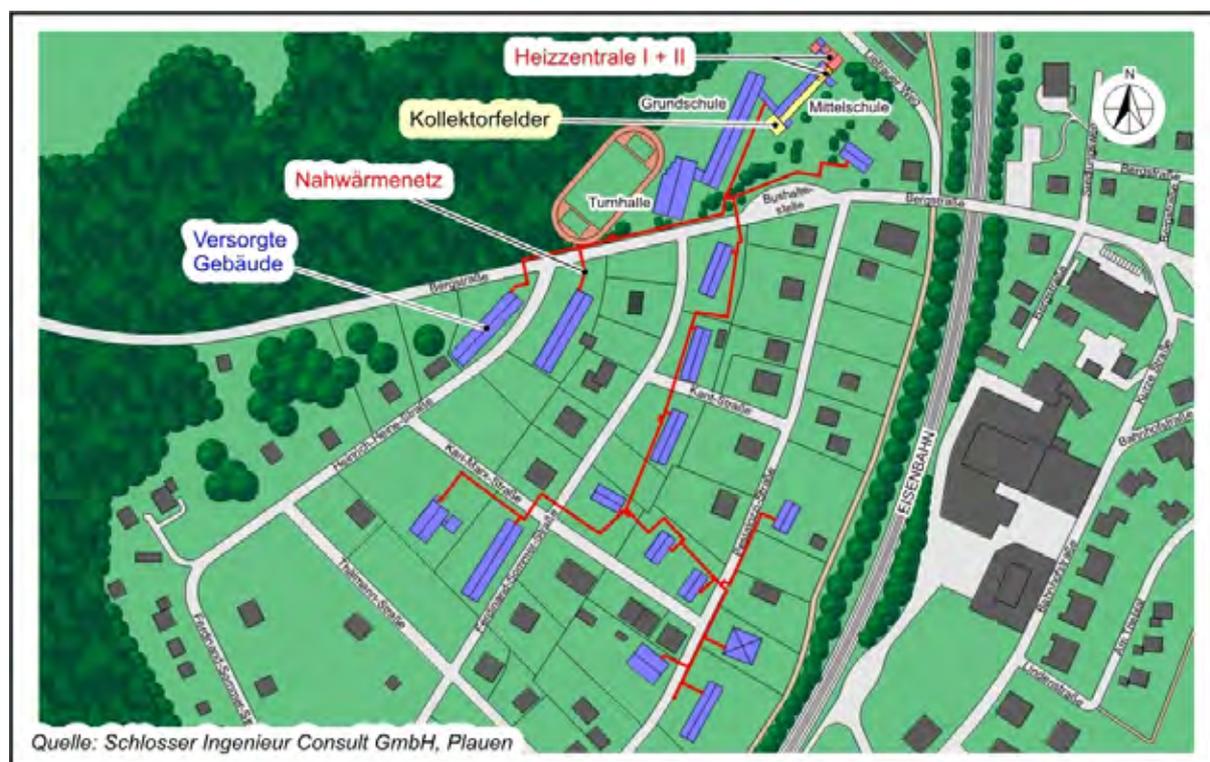


Bild 41 Lageplan Jocketa, Wohngebiet Ferdinand-Sommer-Straße

Ziel der Studie ist eine möglichst weitgehende Reduzierung des Jahresheizwärmebedarfs der beiden Schulgebäude sowie die Senkung der CO₂-Emissionen bei annehmbaren Kosten. Die Rahmendaten des Gebietes sind in Tabelle 14 aufgeführt.

Planungstand zum Zeitpunkt der Machbarkeitsstudie		
Gebäudetyp	Mehrfamilienhäuser, 2 Schulgebäude, KiTa, Turnhalle	
Anzahl der Gebäude	14 MFH, 4 Nichtwohngebäude	
Nutzung	Wohnen, Schulausbildung	
Klassifizierung	Sanierung	
Anzahl Wohneinheiten	230	
Wohnfläche / NGF	14.115 m ² 6.257 m ²	
Nutzfläche nach EnEV (A _N)	15.535 m ² 4.567 m ²	
Jahresheizwärmebedarf	61 kWh/m ² _{ANA}	1.223 MWh/a
Warmwasserbedarf	15 kWh/m ² _{ANA}	300 MWh/a
Netzverluste	410 kWh/m _{TA}	532 MWh/a
Gesamtwärmebedarf	102 kWh/m ² _{ANA}	2.055 MWh/a
Heizleistungsbedarf	75 W/m ² _{AN}	1.517 kW

Tabelle 14 Eckdaten Machbarkeitsstudie Jocketa, Wohngebiet Ferdinand-Sommer-Straße

Die bestehenden 14 Wohngebäude wurden in den Jahren 1995 bis 1997 energetisch saniert bzw. neu errichtet. Im Falle der Sanierung wurde jeweils ein Wärmedämmverbundsystem mit 10 cm (WLG 040) an der Außenwand realisiert. Zusätzlich konnten das Dachgeschoss und die Kellerdecke gedämmt werden. Bei den öffentlichen Einrichtungen der Gemeinde wurde die Turnhalle im Jahr 2000 neu errichtet, der Kindergarten bereits energetisch saniert. Die beiden Schulgebäude sollen in naher Zukunft energetisch ertüchtigt werden. In der Machbarkeitsstudie wird für die Sanierung der beiden Schulen der Mindeststandard nach geltender Energieeinsparverordnung (EnEV) in Bezug auf den Transmissionswärmeverlust um 15% unterschritten. Aufgrund der guten Gebäudegeometrie (A/V-Verhältnis) reduzieren sich die Bedarfswerte von 165 kWh/m²_{ANA} auf 50 kWh/m²_{ANA}.

Die Heizzentrale als Kernstück der Anlage befindet sich im Untergeschoss der Mittelschule. Sie besteht aus einer Zweikessel-Anlage (465 kW, 1.750 kW) welche mit Heizöl befeuert wird [SIC GmbH, 2006]. Über die Integration eines GLT- Leitrechners kann auf die aktuellen Daten in der Heizzentrale und an den einzelnen Unterstationen zugegriffen werden. Das in drei Bauabschnitten installierte Nahwärmenetz hat

eine Länge von etwa 1.300 m. Die Auslegungstemperaturen betragen für den Winter 80°C im Netzzvorlauf und 60°C im Netzzrücklauf.

Insgesamt verzeichnet das Netz 15 Übergabestationen, wobei die beiden Schulen und die Turnhalle direkt vom Nahwärmenetz über einen Heizungsverteiler gespeist werden. Die Temperaturen für die Heizkreise liegen im Auslegungsfall bei 70°C im Vorlauf und 50°C im Rücklauf. Alle Übergabestationen verfügen über ein Speicherlade-System zur Warmwasserbereitung.

Der resultierende Jahresheizwärmebedarf der einzelnen Wohngebäude wurde über die abgelesenen Zählerstände der letzten sechs Jahre (2000 – 2006) ermittelt. Für die Konkretisierung des Brauchwasserwärmebedarfs wird ein definierter Anteil vom Verbrauchswert abgezogen. Pro Wohngebäude wird ein spezifischer Wert in Höhe von 18,5 kWh/(m²_{AN}·a) angesetzt, welcher sich aus dem Standardwert der EnEV von 12,5 kWh/(m²_{AN}·a) und einem Anteil für Speicher- und Zirkulationsverluste in Höhe von 6 kWh/(m²_{AN}·a) zusammensetzt. Für die Brauchwassererwärmung sind demnach ca. 300 MWh/a (inklusive Speicher- und Zirkulationsverluste) erforderlich. Die Netzverluste betragen mit 532 MWh/a etwa 23% der von der Heizzentrale abgegebenen Wärmemenge. Dieser hohe Anteil beruht auf der Tatsache, dass noch nicht alle geplanten Gebäude an der Nahwärmeversorgung angeschlossen sind. Für das Gesamtgebiet entsteht ein jährlicher Wärmebedarf ab Heizzentrale von 2.055 MWh/a, siehe Bild 42. Die erforderliche Heizleistung beträgt nach Sanierung der beiden Schulen 1.517 kW.

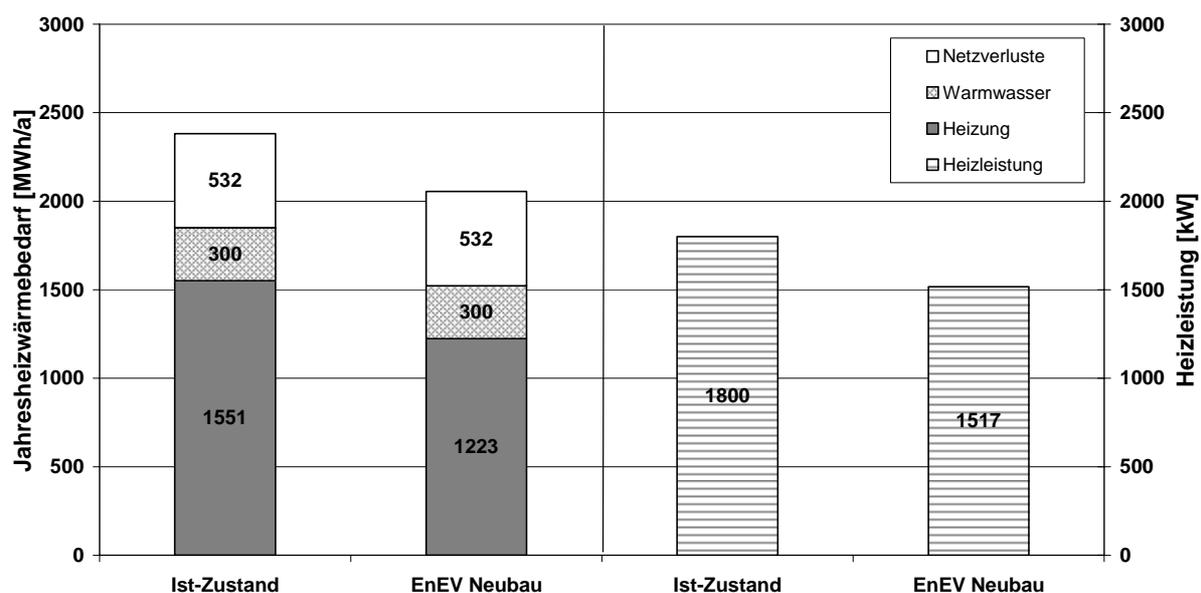


Bild 42 Darstellung Jahresheizwärmebedarf und Heizlast

Variantenbetrachtung

Die derzeitige Heizzentrale bleibt indirekt bestehen. Je nach Variante der Wärmeerzeugung sollen weitere Wärmeerzeuger im so genannten „Kohlebunker“ oder in einen Anbau am „Kohlebunker“ aufgestellt werden. Fünf verschiedene Versorgungsvarianten stehen wahlweise zur Diskussion. Bei der Brennstoffauswahl beschränkt sich die Betrachtung auf Heizöl und Holzpellets. Zusätzlich wird die Integration von thermischer Solarenergie und Photovoltaik geprüft. Bei der Auslegung einer Biomasseheizzentrale dieser Größe sind insbesondere die entsprechenden Lagerräume sowie die Verfügbarkeit der Anlieferungswege zu berücksichtigen.

Zur Wärmeversorgung werden acht Varianten betrachtet, welche nachfolgend aufgelistet sind:

Var.	zentral/ dezentral	Kesselart	Kesselleistung (je Kessel)	Kollektor- fläche	Speicher- art	Speicher- volumen
1	zentral	Öl-BWK Öl-NTK (B)	465 kW 1.750 kW	-	-	-
2	zentral	Holzpelletkessel Öl-NTK (B)	540 kW 1.750 kW	-	-	4,5 m ³
3a	zentral	Holzpelletkessel Öl-NTK (B)	540 kW 1.750 kW	370 m ²	Heißwasser	20 m ³
3b	zentral	Holzpelletkessel Öl-NTK (B)	540 kW 1.750 kW	1.000 m ²	Heißwasser	60 m ³
4a	zentral	Öl-BHKW Holzpelletkessel Öl-NTK (B)	100 kW _{th} / 50 kW _{el} 950 kW 1.750 kW	-	-	7,5 m ³
4b	zentral	Öl-BHKW Holzpelletkessel Öl-NTK (B)	100 kW _{th} / 50 kW _{el} 950 kW 1.750 kW	18,7 kWp (PV Anlage 156 m ² _{Brutto})	-	7,5 m ³
5a	zentral	Holzpelletkessel Holzpelletkessel Öl-NTK (B)	540 kW 950 kW 1.750 kW	-	-	7,5 m ³
5b	zentral	Holzpelletkessel Holzpelletkessel Öl-NTK (B)	540 kW 950 kW 1.750 kW	1.000 m ²	Heißwasser	60 m ³

(BWK = Brennwertkessel, BHKW = Blockheizkraftwerk, NTK – Niedertemperaturkessel, B = Bestand)

Tabelle 15 Varianten der Wärmeversorgung Reutlingen, Wohngebiet Lindachareal

In Variante 1 (Referenzvariante) erfolgt die Nahwärmeversorgung für das gesamte Versorgungsgebiet über einen neuen Öl-Brennwertkessel mit 465 kW sowie über den bestehenden Öl-Niedertemperatur-Kessel mit 1.750 kW.

Variante 2 sieht die Wärmeerzeugung durch einen Holzpelletkessel mit 540 kW und dem bestehenden Öl-Spitzenlastkessel mit 1.750 kW vor. Der Holzpelletkessel sowie das dazugehörige Pelletlager mit einer Größe von etwa 44 m³ sollen im ehemaligen Kohlebunker untergebracht werden. Ein Pufferspeicher mit 4,5 m³ verlängert die Betriebszeiten des Holzpelletkessels bei reduzierter Wärmeabnahme in der Übergangszeit.

Im Unterschied zur vorigen Variante 2 ist in Variante 3a und 3b zusätzlich eine Solaranlage vorgesehen, siehe Bild 43. Die Kollektoren werden in der Studie als dachintegriert sowie als aufgeständert ausgeführt. Belegt werden die Dachfläche der Mit-

telschule (235 m²) sowie eine Ständerkonstruktion an der Stirnseite des Gebäudes (135 m²). Für die 1.000 m² Variante wird oberhalb der Mittelschule auf einem Grundstück eine Kollektorfläche von ca. 630 m² aufgeständert installiert. Die Pufferspeicher werden als außen aufgestellte und entsprechend wärme gedämmte Stahlspeicher ausgeführt, da sie mit 20 m³ bzw. 60 m³ sehr groß sind und nicht in einem Gebäude untergebracht werden können. Im „Kohlebunker“ erfolgt die Unterbringung der Komponenten der Solarübergabestation. Bei einem erwarteten Ertrag von etwa 300 kWh/(m²·a) ergibt sich ein Ertrag von 130 MWh/a bzw. 350 MWh/a. Dadurch werden die Netzverluste und der Warmwasserbedarf zu 16% bzw. 42% solar gedeckt. Daraus ergibt sich ein Anteil von 5,5% bzw. 14,7% am Gesamtenergiebedarf ab Heizzentrale.

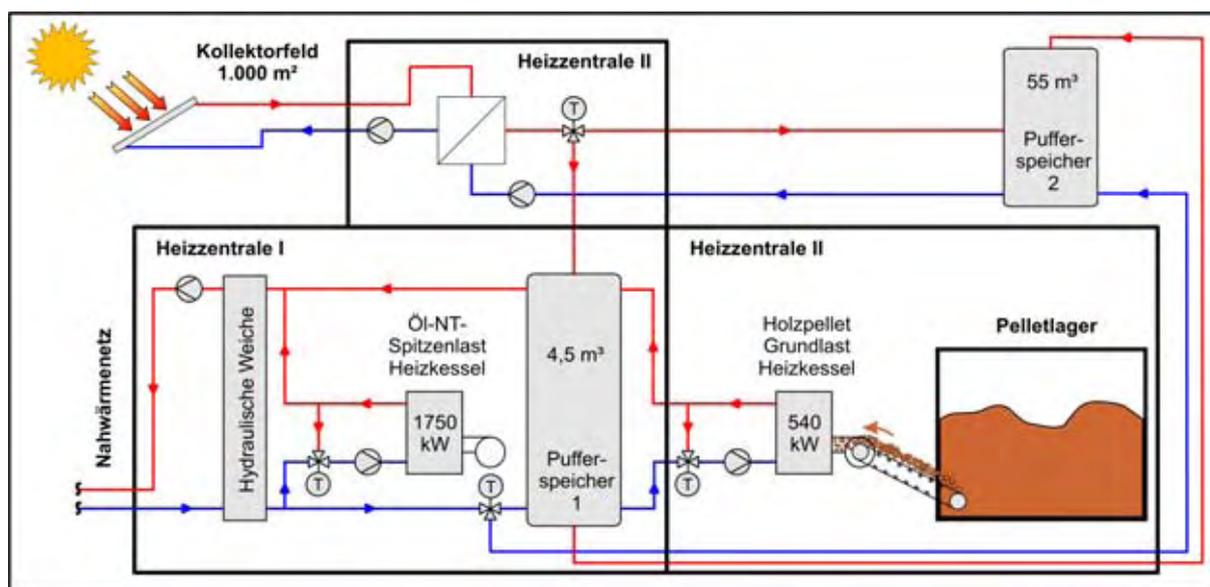


Bild 43 Anlagenschema Variante 3b – Holzpelletkessel mit Solaranlage 1.000 m²

In Variante 4a und 4b deckt ein wärmegeführtes Heizöl- BHKW mit einer thermischen Leistung von 100 kW (50 kW elektrische Leistung) die Grundlast. Bei einer Laufzeit von 6.500 h im Jahr können so 27% des Gesamtwärmebedarfs gedeckt werden. Ein Pufferspeicher mit 7,5 m³ verhindert zu häufiges Takten des BHKW's, gleicht kurzzeitige Lastspitzen aus und erhöht damit die Gesamtlaufzeit des BHKW's. Ein großer Holzpellet-Heizkessel mit 950 kW stellt weitere 60% der anste-

henden Wärmemenge ab Heizzentrale zur Verfügung. Der bestehende Öl-NT-Kessel mit 1.750 kW sichert die Spitzenlast. Für den großen Holzkessel muss eine neue Heizzentrale errichtet werden, da durch die Abmaße des Kessels sich die Integration in das vorhandene Gebäude nicht realisieren lässt. Zusätzlich wird in Variante 4b eine PV- Anlage mit einer Fläche von 156 m² bzw. 18,7 kWp installiert, welche die Energie der Sonne umwandelt und den Strom in das öffentliche Niederspannungsnetz einspeist.

In Variante 5a und 5b erfolgt die Nahwärmeversorgung über zwei Holzpellet- Heizkessel (540 kW und 950 kW) und über den bestehenden Öl-NT-Kessel. Dabei soll der Biomasse-Kessel für die Grundlast mit dem dazugehörigen Pelletlager im sog. Kohlebunker untergebracht werden. Für den großen Holzkessel muss eine neue Heizzentrale errichtet werden. Über die beiden Holzkessel können ca. 95% des Gesamtwärmebedarfs gedeckt werden. Ein Pufferspeicher mit 7,5 m³ verlängert die Betriebszeiten des Holzkessels bei reduzierter Wärmeabnahme in der Übergangszeit. Zusätzlich wird in Variante 5b ein Kollektorfeld mit einer Fläche von 1000 m² installiert, welches die Energie der Sonne in einen Kurzzeitwärmespeicher mit einem Volumen von 60 m³ einspeichert. Dadurch werden die Netzverluste und der Warmwasserbedarf zu 42% solar gedeckt (350 MWh/a). Daraus ergibt sich ein Anteil von 14,7% am Gesamtenergiebedarf ab Heizzentrale.

Ergebnisse

Bild 44 zeigt die Investitionskosten für die Wärmeversorgung bei allen Varianten, aufgeteilt nach den verschiedenen Anlagenteilen. Bei den Varianten mit Biomassekessel und BHKW wurde eine Förderung durch das Sächsische Förderprogramm „Immissions- und Klimaschutz“ für den Holzpelletkessel in Höhe von 40 €/kW und für das BHKW 30% der Investitionskosten berücksichtigt. Für Variante 3a, 3b und 5b werden die Kosten für die solaren Komponenten zu 30% durch Solarthermie2000plus als förderfähig angesetzt.

Bei Betrachtung der Wärmeschutzmaßnahmen (energetische Sanierung der beiden Schulen) kann der Energieverbrauch der gesamten Nahwärmeversorgung um 15% reduziert werden. Dabei entstehen Kosten in Höhe von 775.000 €, bezogen auf die

Nutzfläche nach EnEV ca. 170 €/m². Betrachtet man nur die Wärmeerzeugung, so sind die niedrigsten Investitionen bei zentraler Versorgung mit einer Öl-Kesselanlage zu erwarten (Variante 1). Hierbei wird nur der bestehende Grundlastkessel durch einen Neuen ersetzt. Die höchsten Investitionskosten entstehen bei der 95%-igen CO₂-neutralen Wärmeversorgung (Variante 5b), bei der die Kosten um das 20-fache steigen.

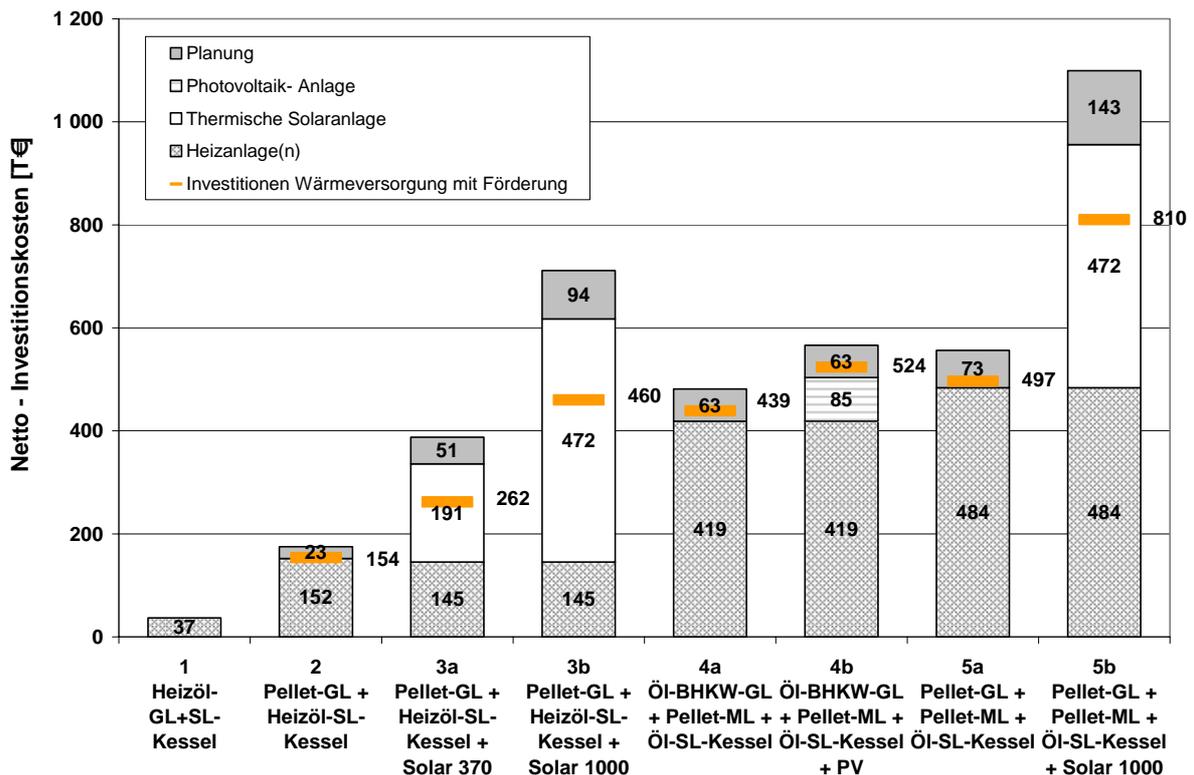


Bild 44 Gesamt-Investitionskosten (inkl. Planung, ohne MWSt.) der verschiedenen Varianten

In Bild 45 sind die Jahresgesamtkosten für die unterschiedlichen Varianten dargestellt, welche sich aus den Kapitalkosten, Instandsetzungs-, Wartungs-, und Betriebskosten sowie den Energiekosten zusammensetzen. Bei den Varianten mit BHKW und Photovoltaikanlage werden zudem Einnahmen durch Stromerzeugung erzielt. Berücksichtigt sind auch die Einsparungen durch die Förderung für den Holzpelletkessel, BHKW und für die Solaranlage.

Die günstigste Variante der Wärmeversorgung auch ohne Förderung ist die Grundlastsicherung durch einen Holzpellet- Heizkessel (Variante 2), bei der die Energie-

kosten gegenüber der Referenzvariante um ca. 20% gesenkt werden, bei 5-fachem Investitionsvolumen. Die höchsten Jahresgesamtkosten entstehen bei fast vollständiger Deckung des Energiebedarfs durch regenerative Energieträger (Variante 5b), was zu Mehrkosten in Höhe von ca. 25% führt.

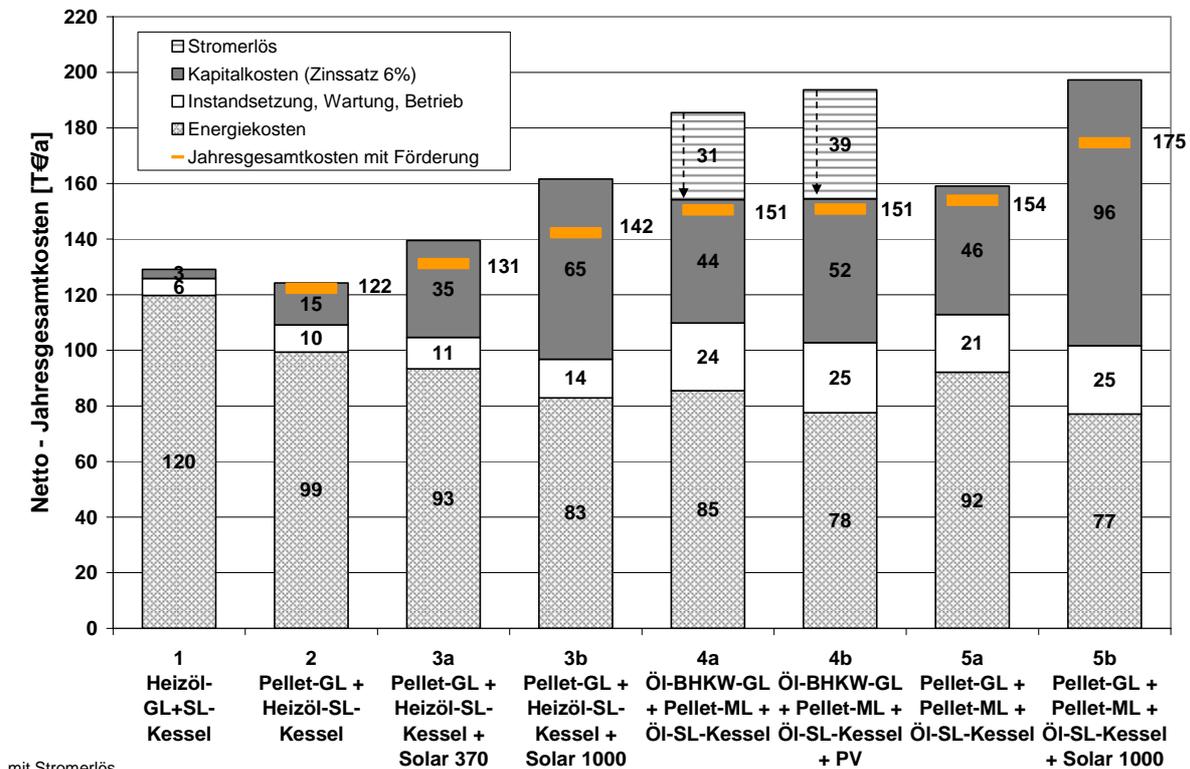


Bild 45 Jahresgesamtkosten (ohne MWSt.) der verschiedenen Varianten

Mit der Betrachtung des Primärenergiebedarfes und der CO₂- Emissionen erfolgt eine ökologische Bewertung der Wärmeversorgung, siehe Bild 46. Bei Wärmeversorgung auf Basis Holz (und Solar) ergeben sich deutliche Reduzierungen im Bereich der Emissionen und der Primärenergiekennzahlen.

Bei den Varianten 2 und 3 wird durch den Einsatz des Energieträgers Holz eine Reduktion der CO₂-Emissionen um ca. 65% erzielt. Bei Einsatz eines Grundlast-BHKW's zusätzlich zum Holzpelletkessel erhöhen sich zwar die Emissionen vor Ort, durch eine so genannte Stromgutschrift für die Vermeidung von Emissionen im konventionellen Kraftwerk wird effektiv eine CO₂- Reduzierung erreicht.

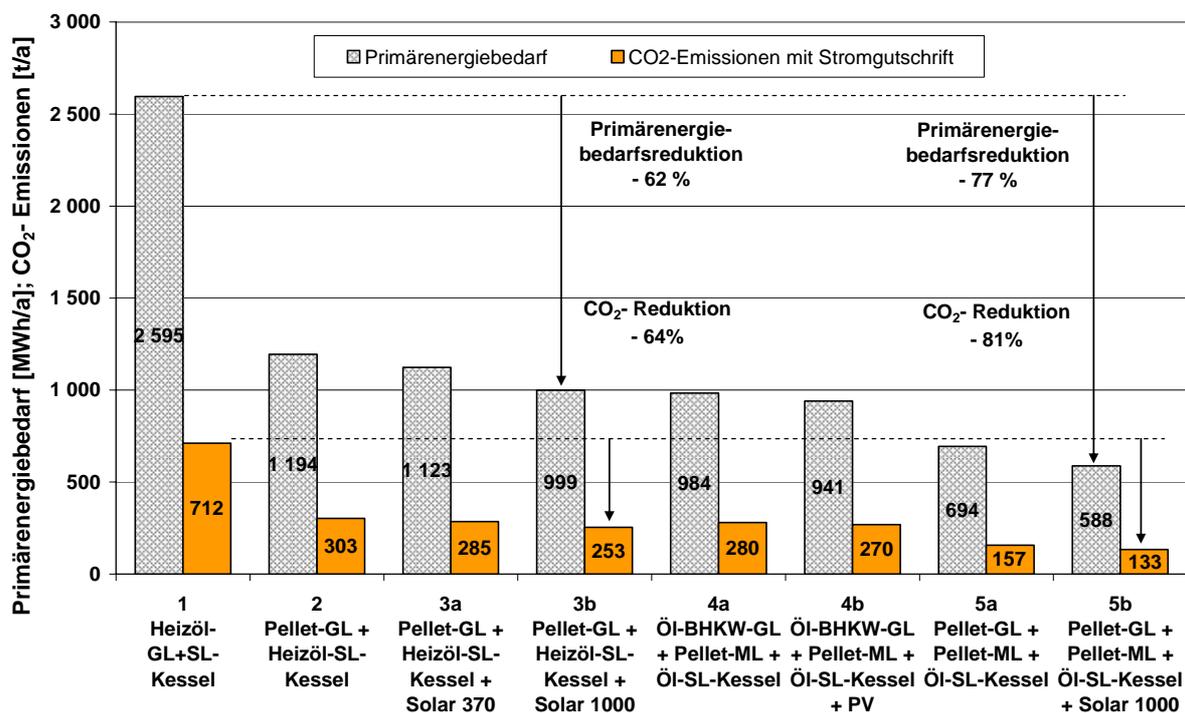


Bild 46 Primärenergiebedarf und CO₂- Emissionen der verschiedenen Varianten

Als Ergebnis sollte eine zentrale Wärmeversorgung mit Holzpelletkessel und Ölsplitzenlastkessel realisiert werden als Option mit Installation der kleinen Solaranlage mit 370 m² bei vertretbaren Mehrinvestitionskosten von ca. 110.000 €. Weiterhin ist der Wärmeschutz der Gebäudehülle der beiden Schulgebäude auf EnEV Neubau Standard zu verbessern. So lassen sich die Energiekosten sowie die Anschlussleistungen in der Wärmezentrale reduzieren.

Die Investitionskosten im Bereich der Heizzentrale sind für diese Variante im Vergleich zur Referenzvariante um das 5-fache höher. Bei Betrachtung der Jahresgesamtkosten ist diese Variante aufgrund niedriger Energiepreise jedoch wirtschaftlicher (um 5%) als die anderen zentralen Lösungen. Bei der langfristig zu erwartenden günstigeren Preisentwicklung für den Brennstoff Holz bietet sie darüber hinaus eine höhere Kostensicherheit. Durch die Versorgung mit regenerativen Energieträgern kann die Umwelt mit niedrigeren CO₂- Emissionen weiterhin effektiv entlastet werden.

3.8 Projekt 8 – Sarstedt, Wohngebiet Am Bürgerpark / Am Bruchgraben

Im Sommer 2006 wird eine Machbarkeitsstudie für 5 Mehrfamilien-Wohngebäude in Sarstedt bei Hannover mit insgesamt 3.345 m² Wohnfläche und 55 Wohneinheiten entwickelt. Die Ende der 70er Jahre erbauten Mehrfamilienhäuser sind im Besitz des Bauverein Sarstedt e.G. Alle Gebäude sind unterkellert und verfügen jeweils über ein Flachdach. Die Gebäude „Am Bürgerpark“ setzen sich aus drei „Einzelgebäuden“ mit verbundenem Kellergeschoß zusammen. Im vorderen Teil besitzt das Haus 3 Vollgeschosse, im hinteren Teil vier Vollgeschosse. Die Gebäude „Am Bruchgraben“ verfügen über 5 Vollgeschosse und getrennte Keller.

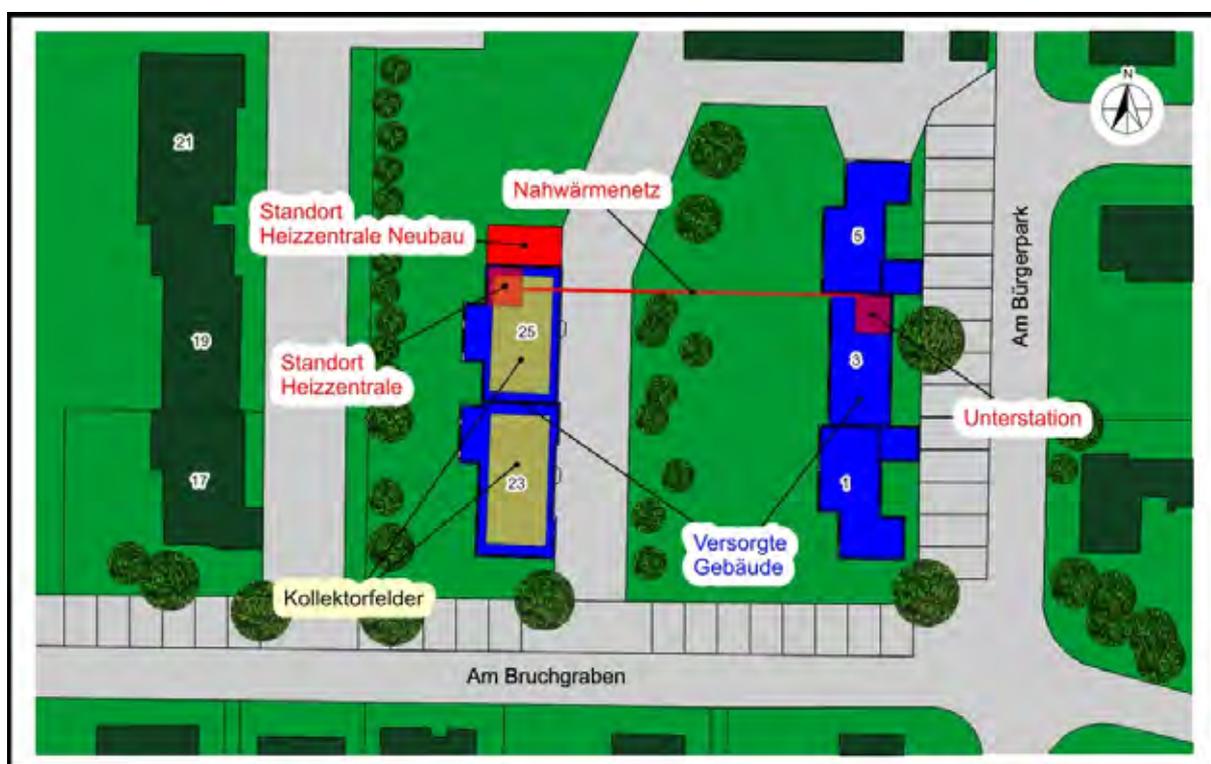


Bild 47 Lageplan Sarstedt, Wohngebiet Am Bürgerpark / Am Bruchgraben

Die bisherige Wärmeversorgung der Gebäude erfolgt jeweils über einen eigenen Gaskessel. Die Gebäude sowie die Wärmeerzeugungsanlage sollen in naher Zukunft erneuert werden. Die zur Verfügung stehende Raumhöhe im Kellergeschoß ist mit 2,50 m zur Einbringung und Aufstellung von Pufferspeichern bzw. bodenstehenden Wärmeerzeugern größerer Leistung begrenzt geeignet. Für ein Biomasselager müsste ein neuer Raum angebaut werden, welcher sich aber gut architektonisch integrie-

ren lassen würde. Die geringe Entfernung der Häuser ermöglicht eine Nahwärme-
 verbindung, sowie die Integration von größeren thermischen Solaranlagen, da die
 Häuser Süd orientiert errichtet wurden. Im Rahmen der Studie wird bei der energeti-
 schen Sanierung der Gebäude der Dämmstandard der Gebäudehülle auf den EnEV
 Neubau Standard verbessert (Kellerdeckendämmung 6 cm (WLG 040), Außenwand-
 dämmung 10 cm (WLG 040), Flachdachdämmung 12 cm (WLG 035), Fenstererneu-
 erung U-Wert 1,5 W/(m²·K)). Damit wird die gesetzliche Mindestanforderung in Be-
 zug auf den Transmissionswärmeverlust (H_T') um ca. 10% unterschritten.

Nach der durchgeführten Sanierung sollen die Gebäude folgende Kennwerte aufwei-
 sen:

	Planungstand zum Zeitpunkt der Machbarkeitsstudie	
Gebäudetyp	Mehrfamilienhäuser	
Anzahl der Gebäude	5	
Nutzung	Wohnen	
Klassifizierung	Sanierung	
Anzahl Wohneinheiten	55	
Wohnfläche	3.345 m ²	
Nutzfläche nach EnEV (A _N)	4.091 m ²	
Jahresheizwärmebedarf	67 kWh/m ² _{ANA}	272 MWh/a
Warmwasserbedarf	15 kWh/m ² _{ANA}	80 MWh/a
Netzverluste	212 kWh/m ² _{Tr,a}	14 MWh/a
Gesamtwärmebedarf	90 kWh/m ² _{ANA}	366 MWh/a
Heizleistungsbedarf	44 W/m ² _{AN}	180 kW

Tabelle 16 Eckdaten Machbarkeitsstudie Sarstedt, Wohngebiet Am Bürgerpark / Am Bruchgraben

Für die Gebäude werden die Verbrauchswerte von Heizung und Warmwasser der
 Jahre 2001 bis 2004 witterungsbereinigt aufgearbeitet. Bezogen auf die Nutzfläche
 nach EnEV wird ein mittlerer spezifischer Wert in Höhe von 147 kWh/(m²_{AN}·a) für die
 Gebäudeheizung ermittelt. Für die nach Wärmeschutzverordnung 1977 errichteten
 Gebäude ist dies eine akzeptable Kennzahl. Für die Warmwasserbereitung inklusive
 Speicher- und Zirkulationsverluste ergibt sich ein mittlerer Wert in Höhe von 20

kWh/(m²_{AN}·a). Für die Brauchwassererwärmung sind demnach ca. 80 MWh/a erforderlich. Für die unsanierten Gebäude entsteht ein jährlicher Wärmebedarf von 681 MWh/a.

Nach der Sanierung der Gebäude reduziert sich der Heizwärmebedarf um 55%, d.h. auf ca. 272 MWh/a. Bei zentraler Versorgung entstehen zudem Netzverluste in Höhe von 14 MWh/a. Dies ergibt einen Gesamtwärmebedarf ab Heizzentrale von 366 MWh/a, siehe Bild 48. Die erforderliche Heizleistung beträgt 180 kW.

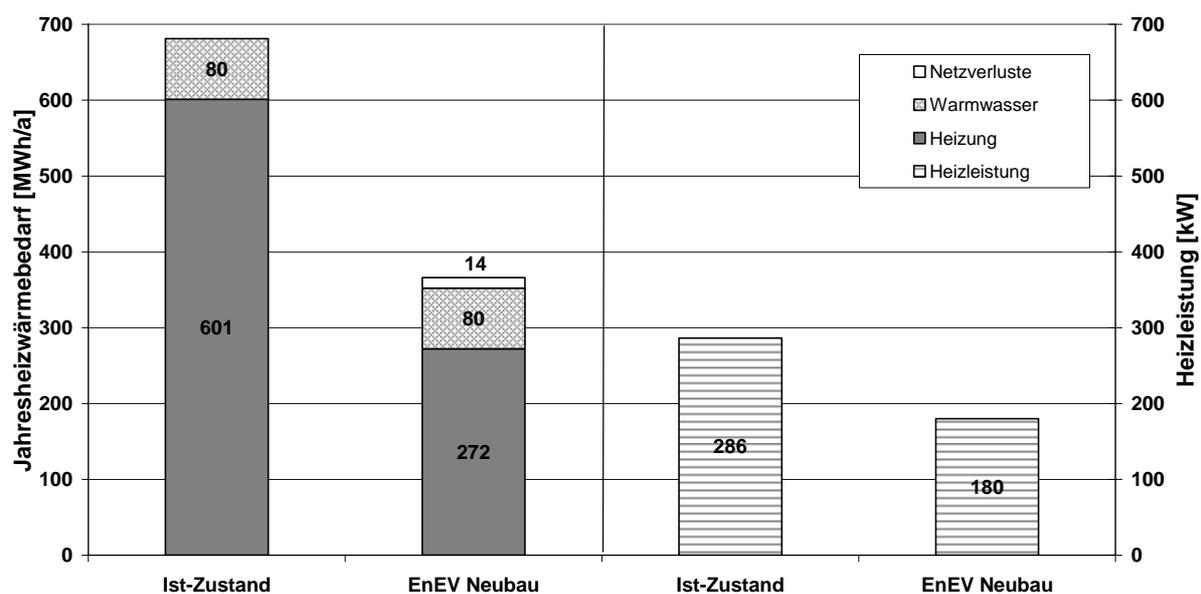


Bild 48 Darstellung Jahresheizwärmebedarf und Heizlast

Variantenbetrachtung

Zur Wärmeversorgung der Gebäude werden 4 unterschiedliche Varianten im Rahmen der Machbarkeitsstudie untersucht. Bei zentraler Wärmeerzeugung wird eine Heizzentrale als Anbau an die bestehende Technikzentrale des Gebäudes Am Bruchgraben 23/25 errichtet. Von hier aus erfolgt die Verlegung einer Nahwärmeverbindung in PEX Ausführung der Nennweite DN50. Aus Kostengründen wurde auf eine geradlinige Leitungsführung ohne Abzweigungen sowie auf eine weitgehende Verlegung in den Kellerräumen geachtet. Installationsaufwand und Erdarbeiten werden hierdurch reduziert. Beim Zusammenschluss der Häuser zu einem Netzverbund hat das Netz eine Länge von etwa 66 m. Die Netzverluste betragen etwa 4% der von

der Heizzentrale abgegebenen Wärmemenge. In allen Varianten erfolgt die Warmwasserbereitung über Speicher-Ladesysteme.

Zur Wärmeversorgung werden vier Varianten betrachtet, welche nachfolgend aufgelistet sind:

Var.	zentral/ dezentral	Kesselart	Kesselleistung (je Kessel)	Kollektor- fläche	Speicher- art	Speicher- volumen
1	dezentral	Gas-BWK	90 / 90 kW	-	-	-
2	zentral	Gas-BWK	185 kW	-	-	-
3	zentral	Holzpelletkessel	180 kW	-	Heißwasser	3 m ³
4	zentral	Holzpelletkessel	180 kW	170 m ²	Heißwasser	12 m ³

(BWK = Brennwertkessel)

Tabelle 17 Varianten der Wärmeversorgung Sarstedt, Wohngebiet Am Bürgerpark / Am Bruchgraben

In Variante 1 (dezentrale Wärmeversorgung) erhält jede Gebäudezeile einen eigenen Gasbrennwertkessel mit ca. 90 kW. Diese werden in die bestehenden Heizzentralen integriert und an die sanierten Heizungsverteiler angebunden.

Bei Variante 2 erfolgt die Wärmeerzeugung zentral durch einen Gasbrennwertkessel mit 185 kW.

Variante 3 sieht die Wärmeerzeugung durch einen Holzpelletkessel mit ca. 180 kW im Nahwärmeverbund vor. Zusätzlich zum Heizraum ist ein Pelletssilo mit einer Größe von etwa 56 m³ erforderlich (4m x 4m x 3,5m), welches mindestens eine LKW-Ladung Pellets (36 m³) fassen kann. Ein Pufferspeicher mit 3 m³ verlängert die Betriebszeiten des Holzkessels bei reduzierter Wärmeabnahme in der Übergangszeit.

Im Unterschied zur vorigen Variante ist in Variante 4 zusätzlich eine Solaranlage vorgesehen. Auf den Flachdächern der beiden Gebäude „Am Bruchgraben“ stehen 505 m² Dachfläche zur Aufständigung von Kollektoren zur Verfügung. Zur Optimierung des Solarertrags sollten die Kollektoren ca. 40° geneigt sein. Bei einer möglichen Ausnutzung der Dachfläche von 35% (Abstand vom Dachrand, Vermeidung von gegenseitiger Verschattung) beträgt die resultierende Kollektorfläche 170 m² (Pufferspeichervolumen 12 m³). Aufgrund der in der Praxis über die bestehenden Hausanlagen nicht zu erwartenden niedrigen Rücklauftemperatur wird ein Kollektor-

ertrag von 300 kWh/(m²·a) angesetzt. Es ergibt sich ein Ertrag von 51 MWh/a. Damit werden etwa 54% des Bedarfs für die WW- Bereitung und der Netzverluste bzw. 14 % des gesamten Wärmebedarfs ab Heizzentrale gedeckt.

Bei der Aufstellung des Pufferspeichers (12 m³) in der Heizzentrale ergeben sich Einschränkungen hinsichtlich der Raumhöhe. Es wird eine Lösung mit 3 Serien Pufferspeichern vorgeschlagen, welche in Reihe verschaltet werden. Bild 49 zeigt das vereinfachte Anlagenschema der Variante 4.

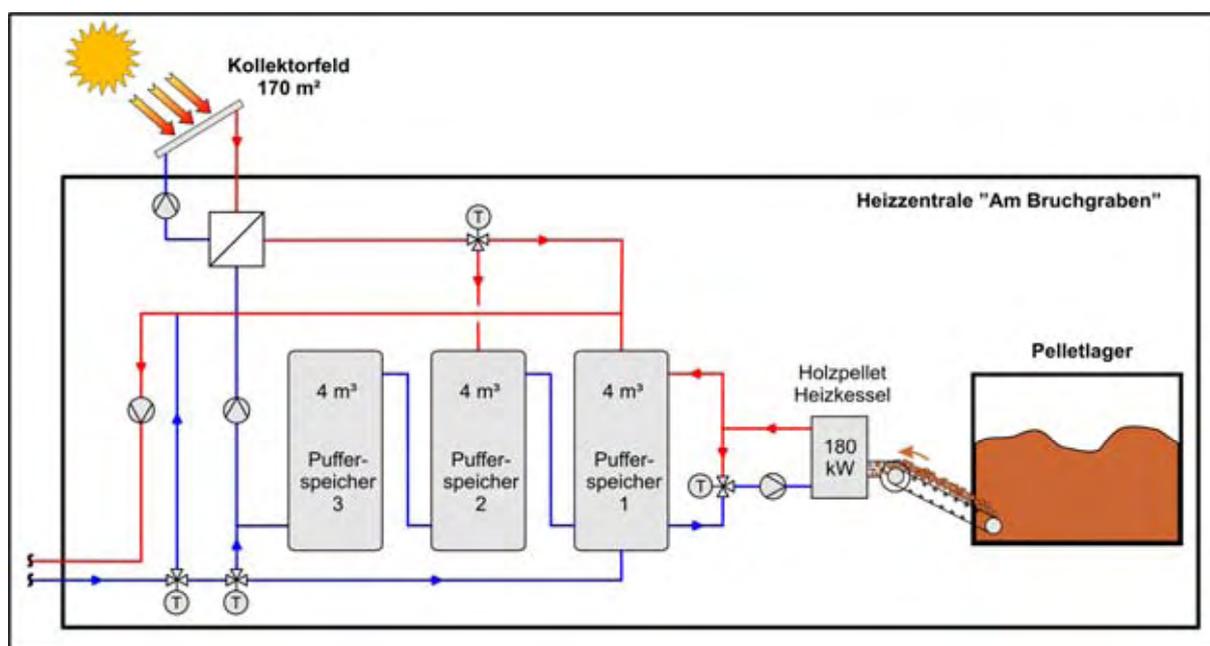


Bild 49 Anlagenschema Variante 4 – Holzpelletkessel mit Solaranlage 170 m²

Ergebnisse

Bild 50 zeigt die Investitionskosten für die Wärmeversorgung bei allen Varianten, aufgeteilt nach den verschiedenen Anlagenteilen.

Bei Variante 3 und 4 wurde eine Förderung durch die KfW-Förderbank (Marktanreizprogramm zur Förderung erneuerbaren Energien) für den Holzpelletkessel in Höhe von 60 €/kW, sowie für die Nahwärmetrasse in Höhe von 50 €/m_{Trasse} berücksichtigt. Für Variante 4 werden die Kosten für die solaren Komponenten zu 30% durch Solarthermie2000plus als förderfähig angesetzt.

Bei Betrachtung der Wärmeschutzmaßnahmen für den EnEV- Neubau Standard (energetische Sanierung der Gebäude inkl. Abluftanlage für Küche und Bäder) kann

der Energieverbrauch um 55% reduziert werden. Dabei entstehen Kosten in Höhe von 650.000 €, bezogen auf die Wohnfläche ca. 190 €/m².

Betrachtet man nur die Wärmeerzeugung, so sind die niedrigsten Investitionen bei zentraler Versorgung mit einem Gas-Brennwertkessel zu erwarten (Variante 2). Die höchsten Investitionskosten entstehen bei der 100%-igen CO₂- neutralen Wärmeversorgung inklusive Solaranlage (Variante 4), bei der die Kosten um das 5-fache steigen.

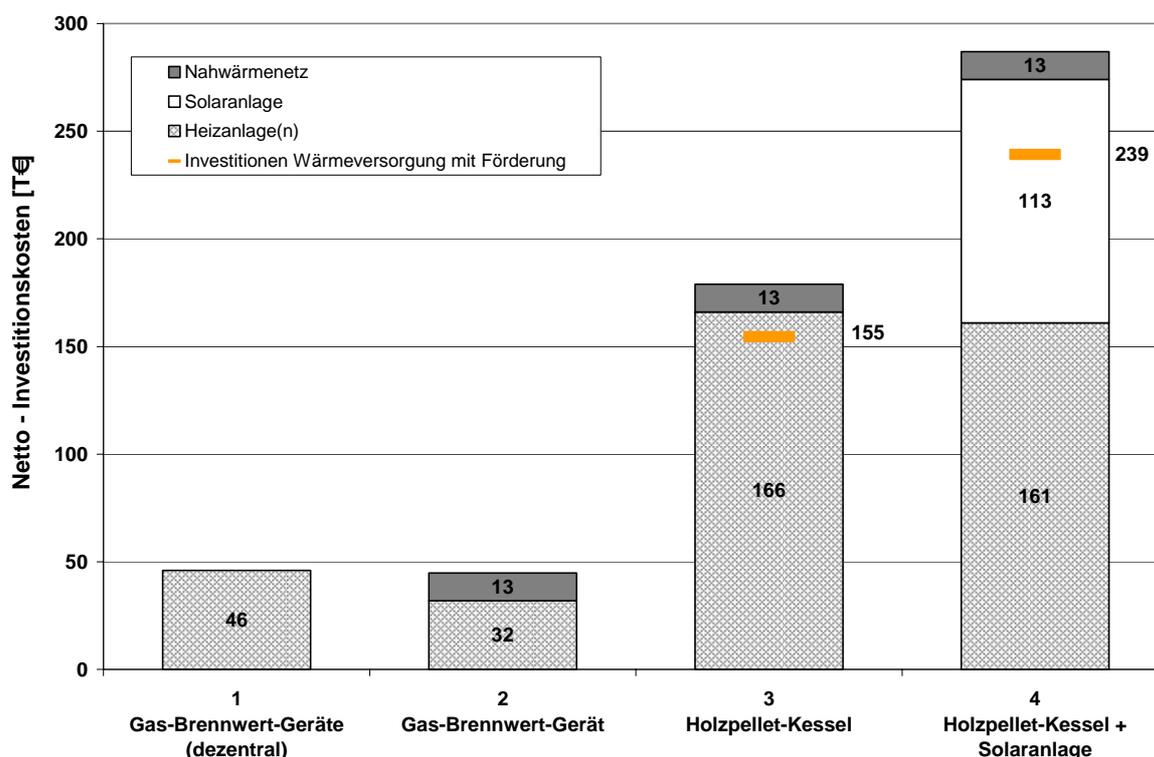


Bild 50 Gesamt-Investitionskosten (inkl. Planung, ohne MWSt.) der verschiedenen Varianten

In Bild 51 sind die Jahresgesamtkosten für die unterschiedlichen Varianten dargestellt, welche sich aus den Kapitalkosten, Instandsetzungs-, Wartungs-, und Betriebskosten sowie den Energiekosten zusammensetzen. Bei den Varianten mit Holzpelletkessel und Solaranlage werden die Einsparungen durch die Förderung berücksichtigt.

Die günstigste Lösung (ohne Berücksichtigung der Förderung) ist durch dezentrale oder zentrale Versorgung mit Gas (Variante 1 oder 2) zu erreichen. Die Jahresge-

Nettokosten der Variante 3 liegen um ca. 20% höher. Die höchsten Jahresgesamtkosten entstehen bei Variante 4, welche ca. 35% über Variante 1 und 2 liegen. Die Hauptursache hierfür sind die seit Anfang bis Mitte 2006 um 20% gestiegenen Preise für Holzpellets, aufgrund von Engpässen in der Produktion sowie der starken Nachfrage.

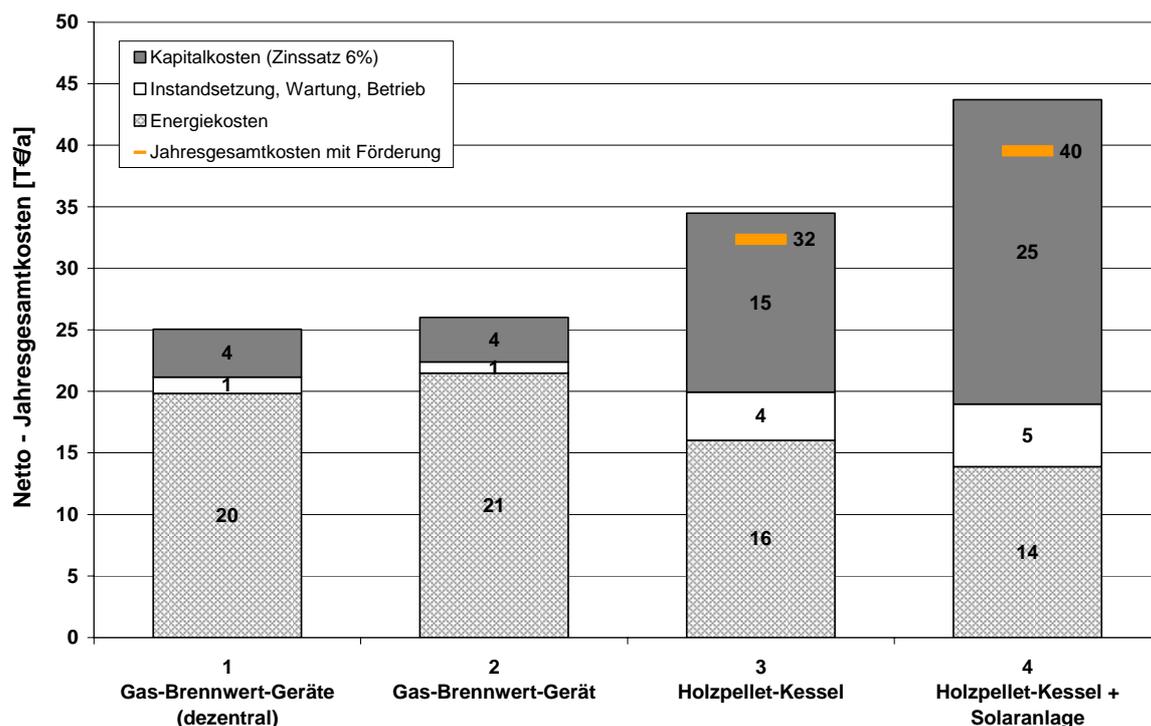


Bild 51 Jahresgesamtkosten (ohne MWSt.) der verschiedenen Varianten

Mit der Betrachtung des Primärenergiebedarfes und der CO₂- Emissionen erfolgt eine ökologische Bewertung der Wärmeversorgung, siehe Bild 52. Bei Wärmeversorgung auf Basis Holz (und Solar) ergeben sich deutliche Reduzierungen im Bereich der Emissionen und der Primärenergiekennzahlen.

Bei den Varianten 3 und 4 wird durch den Einsatz des Energieträgers Holz eine Reduktion der CO₂-Emissionen sowie der Primärenergiekennzahl um ca. 80% erzielt. Bei Einsatz eines Gaskessels im Nahwärmeverbund erhöhen sich die Emissionen um 8%.

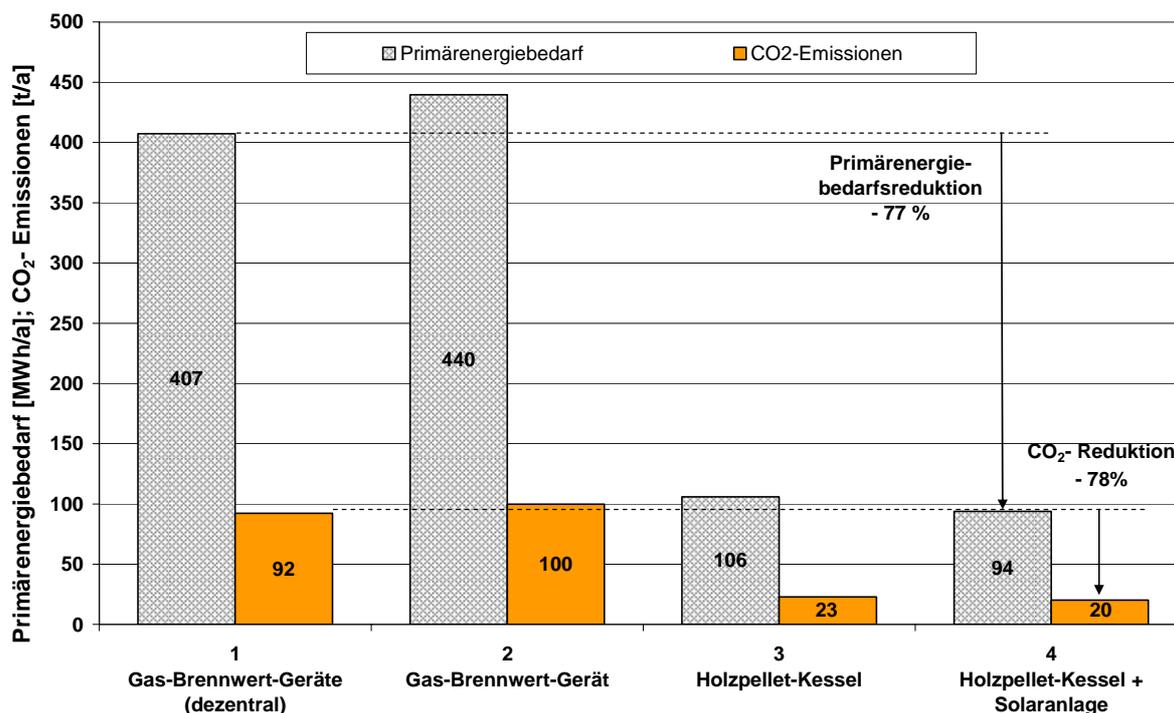


Bild 52 Primärenergiebedarf und CO₂- Emissionen der verschiedenen Varianten

Als Ergebnis sollte eine zentrale Wärmeversorgung mit Gas-Brennwertkessel oder Holzpelletkessel (Entwicklung der Pelletpreise beobachten) realisiert werden. Dabei sollte der Wärmeschutz der Gebäudehülle nach EnEV- Neubau- Standard verbessert werden. So lassen sich die Energiekosten sowie die CO₂-Emissionen im Vergleich zum Ist-Zustand erheblich reduzieren. Die Nahwärmeleitung sollte möglichst kurz unter Einbeziehung der Keller in den Mehrfamilienhäusern verlegt werden, um Wärmeverluste und Investitionskosten zu reduzieren.

3.9 Projekt 9 – Wolfenbüttel, Wohngebiet Ahlumer Siedlung

Im Auftrag der Wolfenbütteler Baugesellschaft mbH (WoBau) wird im Herbst 2006 für das Wohngebiet „Ahlumer Siedlung“ für 16 Gebäude mit insgesamt 146 Wohneinheiten ein zukunftsorientiertes Energiekonzept entwickelt. Dabei werden sowohl Aspekte des baulichen Wärmeschutzes als auch der Einsatz von erneuerbaren Energien berücksichtigt. Die bestehenden Gebäude wurden in den Jahren 1955 bis 1959 errichtet. Sie sind unterkellert und besitzen entweder drei bzw. zwei Vollgeschosse. Bei den Gebäuden mit zwei Vollgeschossen ist das Dachgeschoss mit einer oder mit zwei Wohnungen ausgebaut. Derzeit sind die Gebäude wohnungsweise mit Gas-Thermen zur Warmwasserbereitung und Wärmebereitstellung ausgestattet.



Bild 53 Lageplan Wolfenbüttel, Wohngebiet Ahlumer Siedlung

Alle Gebäude besitzen Drei- und Vierraumwohnungen. Bei der Sanierung wird die Grundrissstruktur nicht geändert. Weiterhin soll entweder eine Zentralheizung oder eine Nahwärmeversorgung mit Übergabestationen realisiert werden. Neun der insgesamt 16 betrachteten Gebäude sind nach Süden ausgerichtet (Längsseiten). Die

Dachflächen (Satteldächer) der anderen acht Häuser zeigen nach Westen. Nur drei Gebäude mit Südorientierung eignen sich zur Integration von größeren thermischen Kollektorflächen.

Die Rahmendaten des Gebietes sind in Tabelle 18 aufgeführt.

Planungstand zum Zeitpunkt der Machbarkeitsstudie		
Gebäudetyp	Mehrfamilienhäuser	
Anzahl der Gebäude	16 MFH	
Nutzung	Wohnen	
Klassifizierung	Sanierung	
Anzahl Wohneinheiten	146	
Wohnfläche	9.209 m ²	
Nutzfläche nach EnEV (A _N)	10.757 m ²	
Jahresheizwärmebedarf	78 kWh/m ² _{ANA}	834 MWh/a
Warmwasserbedarf	22 kWh/m ² _{ANA}	237 MWh/a
Netzverluste	251 kWh/m ² _{Tr} a	185 MWh/a
Gesamtwärmebedarf	117 kWh/m ² _{ANA}	1.257 MWh/a
Heizleistungsbedarf	55 W/m ² _{AN}	596 kW

Tabelle 18 Eckdaten Machbarkeitsstudie Wolfenbüttel, Wohngebiet Ahlumer Siedlung

Für die Gebäude ist ein Wärmeschutzstandard angestrebt, mit dem die Anforderungen an den mittleren U-Wert (HT') der Gebäudehülle für einen Neubau um mindestens 10% unterschritten werden. In Kombination mit einem Gas-Brennwertkessel werden damit ungefähr die Anforderungen der EnEV für einen Neubau an den Primärenergiekennwert (PE) erfüllt. Vier Gebäude mit jeweils 6 Wohneinheiten wurden bereits Anfang der neunziger Jahre mit einem Wärmedämmverbundsystem (6 cm, WLG 040) versehen.

Der resultierende Heizwärmebedarf der einzelnen Gebäude wurde über ein Berechnungsprogramm zum Nachweis der Anforderungen nach Energieeinsparverordnung – Wohngebäude (Monatsbilanz) ermittelt. Es ergeben sich typische Bedarfswerte von 60 bis 70 kWh/m²_{ANA}. Die Berechnung der Heizleistung erfolgt in Anlehnung an das vereinfachte Verfahren nach DIN EN 12831. Daraus ergeben sich die in der Literatur

verfügbaren Erfahrungswerte von 40 bis 55 W/m²_{AN}. Für die Ermittlung des Brauchwasserwärmebedarfs werden aktuelle Verbrauchswerte anderer WoBau Gebäude ausgewertet. Innerhalb der Studie wird ein Wert aus dem oberen Drittel angesetzt, d.h. 22 kWh/m²_{ANa} angesetzt, inklusive Speicher- und Zirkulationsverluste. Für die Brauchwassererwärmung sind demnach ca. 237 MWh/a erforderlich. Für das Gesamtgebiet entsteht ein jährlicher Heizwärmebedarf von 1.071 MWh/a.

Bei zentraler Versorgung entstehen zudem Netzverluste in Höhe von 185 MWh/a. Dies ergibt einen Gesamtwärmebedarf ab Heizzentrale von 1.257 MWh/a, siehe Bild 54. Die erforderliche Heizleistung kann durch die Sanierung von 1.450 kW auf ca. 600 kW reduziert werden. Durch die energetische Sanierung der Gebäude verringert sich der Bedarf des Gesamtsystems um ca. 50% sowie die Heizleistung um ca. 60%.

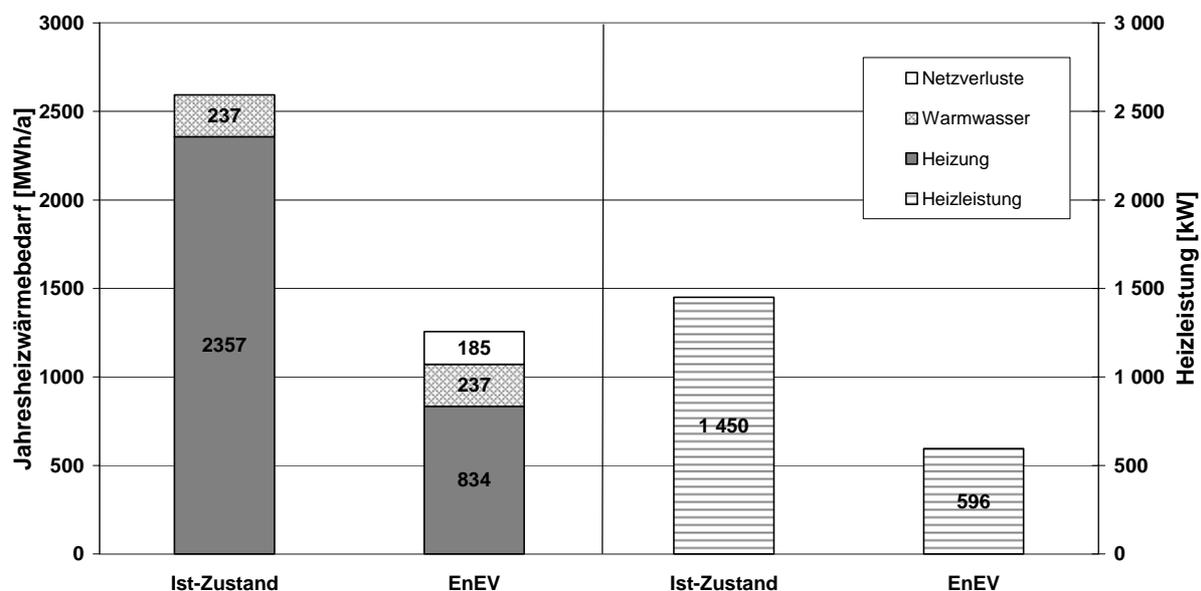


Bild 54 Darstellung Jahresheizwärmebedarf und Heizlast

Variantenbetrachtung

Zur Wärmeversorgung des Gebietes wurden eine dezentrale und vier unterschiedliche zentrale Varianten im Rahmen der Machbarkeitsstudie untersucht. Dabei wird das gesamte Wohngebiet betrachtet.

Bei zentraler Wärmeversorgung wird am Mehrfamilienhaus Fliederkehre 2/4 eine Heizzentrale als Anbau errichtet, die Wärmeverteilung erfolgt über ein Nahwärme-

netz. Von der Heizzentrale aus geht eine Haupttrasse in Süd-Richtung und eine Haupttrasse in Nord-West-Richtung ab. Die Leitungen werden so verlegt, dass ein möglichst geringer Anteil unter öffentlichen Straßen verläuft. Aus Kostengründen wurde darauf geachtet, dass Leitungen wenn möglich in den Kellerräumen verlegt werden und somit Abzweigungen im Erdreich vermieden werden. Die im Erdreich verlegten Abschnitte werden als KMR- Rohre ausgeführt, die Rohre im Keller in Stahl.

Das Netz hat eine Länge von ca. 740 m, davon sind 650 m im Erdreich, der Rest in den Kellern der Gebäude zu verlegen. Die Netzverluste betragen mit 251 MWh/a etwa 14% der von der Heizzentrale abgegebenen Wärmemenge. In den Mehrfamilienhäusern kommen indirekte Übergabestationen zur Anwendung. Dabei erfolgt die WW- Bereitung über Speicher-Lade-Systeme.

Zur Wärmeversorgung der nach EnEV- Neubau Standard sanierten Gebäude werden fünf Varianten betrachtet, welche nachfolgend aufgelistet sind:

Var.	zentral/ dezentral	Kesselart	Kesselleistung (je Kessel)	Kollektor- fläche	Speicher- art	Speicher- volumen
1	dezentral	Gas-BWK	25 / 40 / 45 kW	-	-	-
2	zentral	Gas-BWK Gas-NTK	300 kW 300 kW	-	-	-
3	zentral	Holzpelletkessel Holzpelletkessel	300 kW 300 kW	-	-	6 m ³
4	zentral	Holzpelletkessel Holzpelletkessel	300 kW 300 kW	450 m ²	Heißwasser	30 m ³
5	zentral	Holzpelletkessel Gas-NTK	300 kW 300 kW	-	-	6 m ³

(BWK = Brennwertkessel, NTK - Niedertemperaturkessel)

Tabelle 19 Varianten der Wärmeversorgung Wolfenbüttel, Wohngebiet Ahlumer Siedlung

In Variante 1 (dezentrale Wärmeversorgung) wird jedes Gebäude auf einen zentralen Gasanschluss umgestellt. Die Wohnhäuser mit 12 Wohneinheiten erhalten jeweils eine Gas-Brennwert-Kessel (GBWK) mit 40 bzw. 45 kW, die Wohnhäuser mit 5 Wohneinheiten (welche schon saniert wurden) mit 45 kW und die Wohngebäude mit 6 Wohneinheiten einen GBWK mit 25 kW.

Bei Variante 2 erfolgt die Wärmeerzeugung zentral durch eine Gas-Kesselanlage. Dabei deckt ein Gas-Brennwertkessel mit 300 kW die Grundlast ab, für die Spitzenlast wird ein Gas-Niedertemperaturkessel mit 300 kW eingesetzt.

Variante 3 sieht die Wärmeerzeugung durch zwei Holzpelletkessel mit je 300 kW im Nahwärmeverbund vor. Zusätzlich zum Heizraum ist ein Pelletssilo mit einer Größe von etwa 88 m³ erforderlich (5m x 5m x 3,5m), welches mindestens zwei LKW-Ladung Pellets (36 m³) fassen kann. Ein Pufferspeicher mit 6 m³ verlängert die Betriebszeiten des Holzkessels bei reduzierter Wärmeabnahme in der Übergangszeit.

Im Unterschied zur vorigen Variante ist in Variante 4 zusätzlich eine Solaranlage vorgesehen, siehe Bild 55. Die Kollektoren werden in der Studie als dachintegriert ausgeführt, belegt werden die Mehrfamilienhäuser Fliederkehre 1/3, 2/4 und Lärchenweg 5/7. Bei einer möglichen Ausnutzung der Dachfläche von 70% beträgt die resultierende Kollektorfläche 450 m² (Pufferspeichervolumen 30 m³). Bei einem erwarteten Ertrag von etwa 300 kWh/(m²·a) ergibt sich ein Ertrag von 135 MWh/a. Damit werden etwa 32% des Bedarfs für die WW- Bereitung und der Netzverluste bzw. 11 % des gesamten Wärmebedarfs ab Heizzentrale gedeckt.

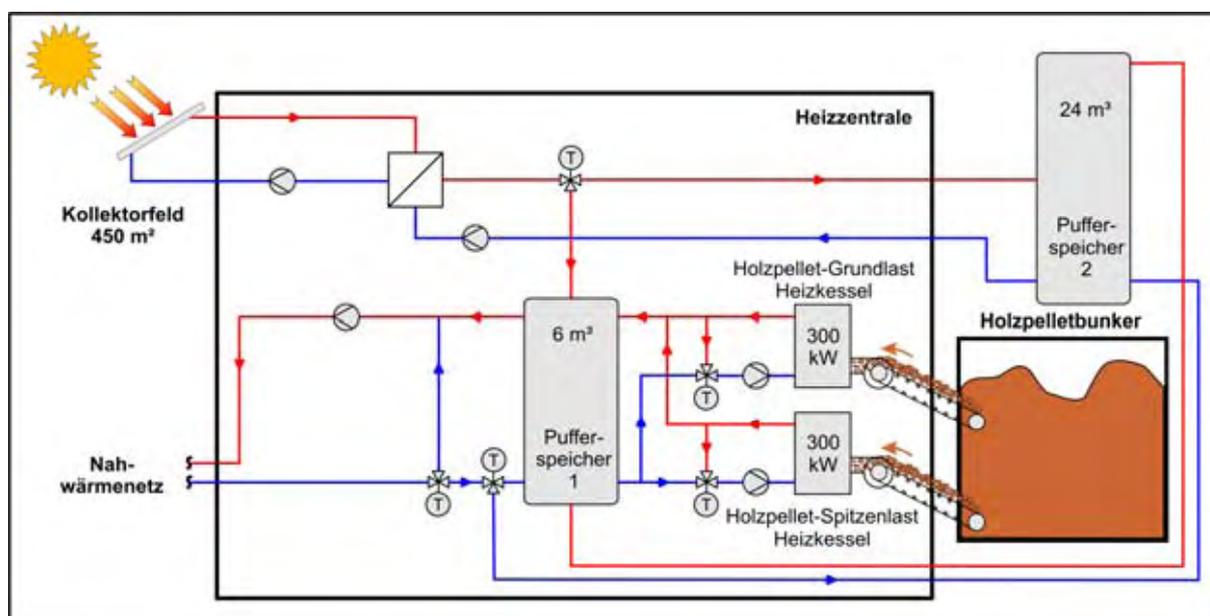


Bild 55 Anlagenschema Variante 3b – Holzpelletkessel mit Solaranlage 450 m²

In Variante 5 stellt ein 300 kW Holzpellet-Heizkessel ca. 80% der anstehenden Wärmemenge ab Heizzentrale zur Verfügung. Ein Gas-NT-Kessel mit 300 kW sichert die Spitzenlast. Ein Pufferspeicher mit 6 m³ verlängert die Betriebszeiten des Holzkes- sels bei reduzierter Wärmeabnahme in der Übergangszeit.

Ergebnisse

In Bild 56 sind die Gesamt-Investitionskosten für die unterschiedlichen Varianten dar- gestellt. Bei den Varianten 3 bis 5 wurde eine Förderung durch die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) – Marktanreizprogramm zur Förderung Erneuerbarer Energien für den Holzpelletkessel in Höhe von 60 €/kW sowie für das Nahwärmenetz in Höhe von 50 €/m_{Trasse} berücksichtigt. Für die Variante 4 wurden die Kosten für die solaren Komponenten zu 30% durch Solarthermie2000plus als förderfähig angesetzt.

Bei Betrachtung der Wärmeschutzmaßnahmen (energetische Sanierung inkl. Zentra- le Abluftanlage) kann der Energieverbrauch der Gebäude um 65% reduziert werden. Dabei entstehen Kosten in Höhe von 1.900.000 €, bezogen auf die Nutzfläche nach EnEV ca. 175 €/m². Betrachtet man nur die Wärmeerzeugung, so sind die niedrigs- ten Investitionen bei dezentraler Versorgung mit Gas-Brennwert-Geräten zu erwarten (Variante 1). Die höchsten Investitionskosten entstehen bei Variante 4 – Holzpellet- Kesselanlage in Kombination mit einer thermischen Solaranlage, bei der die Kosten um das 2,5-fache steigen.

In Bild 57 sind die Jahresgesamtkosten für die unterschiedlichen Varianten darge- stellt, welche sich aus den Kapitalkosten, Instandsetzungs-, Wartungs-, und Be- triebskosten sowie den Energiekosten zusammensetzen. Berücksichtigt sind auch die Einsparungen durch die Förderung für den Holzpelletkessel, das Nahwärmenetz und für die Solaranlage.

Die günstigste Lösung ist durch dezentrale Versorgung mit Gas (Variante 1) zu errei- chen. Die Jahresgesamtkosten der Varianten 2 und 3 liegen um ca. 25% höher, die der Variante 5 um ca. 20% höher. Die höchsten Jahresgesamtkosten entstehen bei Variante 4, welche ca. 30% über Variante 1 liegt. Der Anteil der Energiekosten bei Variante 3 mit Holzpellets ist, aufgrund der hohen Pelletpreise Ende 2006, nur um 10% geringer als bei dezentraler Versorgung mit Erdgas (Basisvariante).

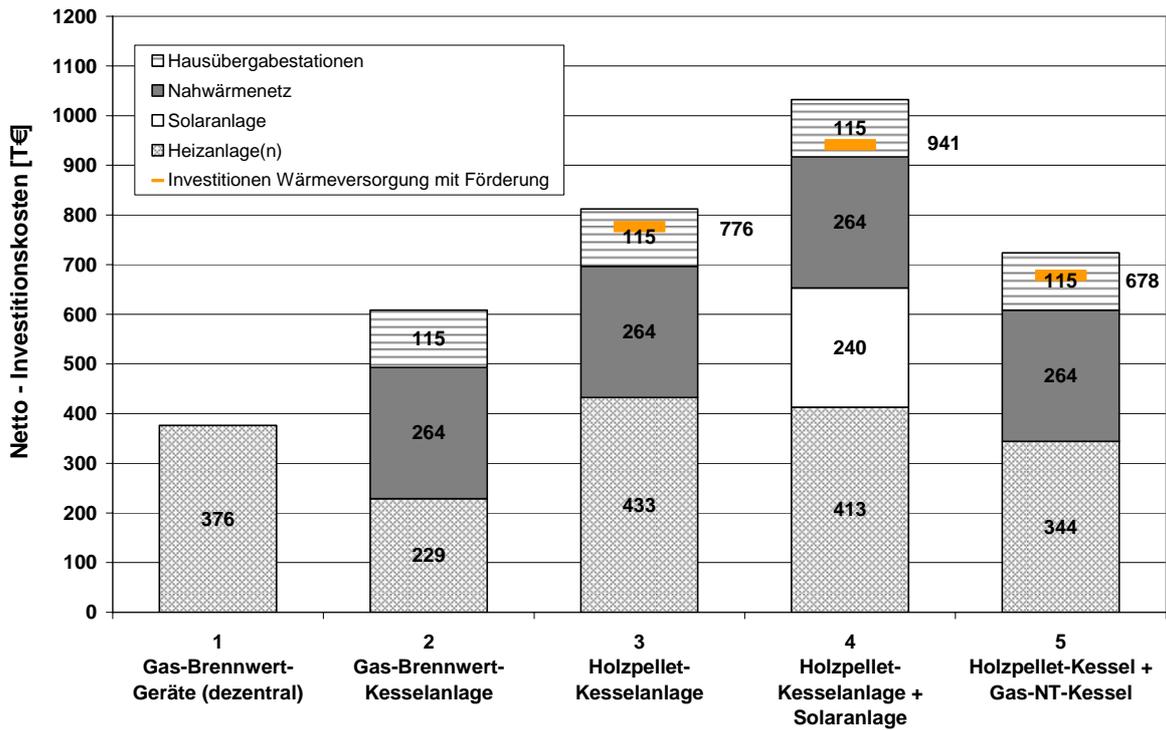


Bild 56 Gesamt-Investitionskosten (inkl. Planung, ohne MWSt.) der verschiedenen Varianten

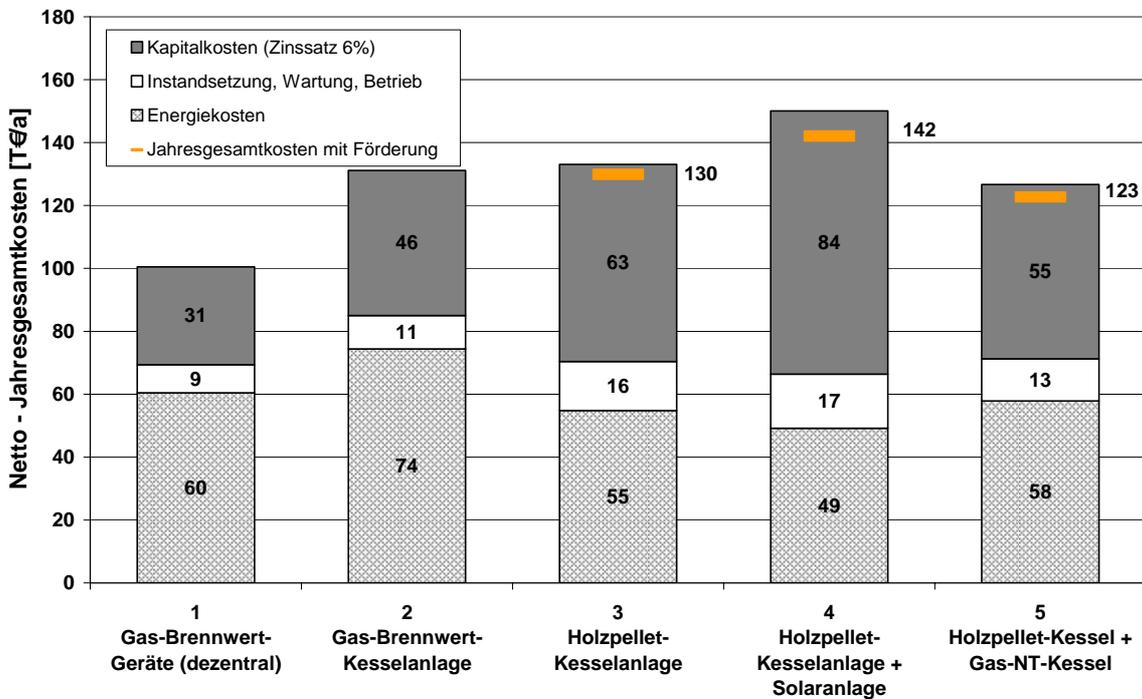


Bild 57 Jahresgesamtkosten (ohne MWSt.) der verschiedenen Varianten

Mit der Betrachtung des Primärenergiebedarfes und der CO₂- Emissionen erfolgt eine ökologische Bewertung der Wärmeversorgung, siehe Bild 58. Bei den Wärmeversorgungsvarianten auf Basis Holz (und Solar) ergeben sich deutliche Reduzierungen im Bereich der Emissionen und der Primärenergiekennzahlen. Bei den Varianten 3 und 4 wird durch den Einsatz des Energieträgers Holz eine Reduktion der CO₂- Emissionen und des Primärenergiebedarfs um ca. 75% erzielt.

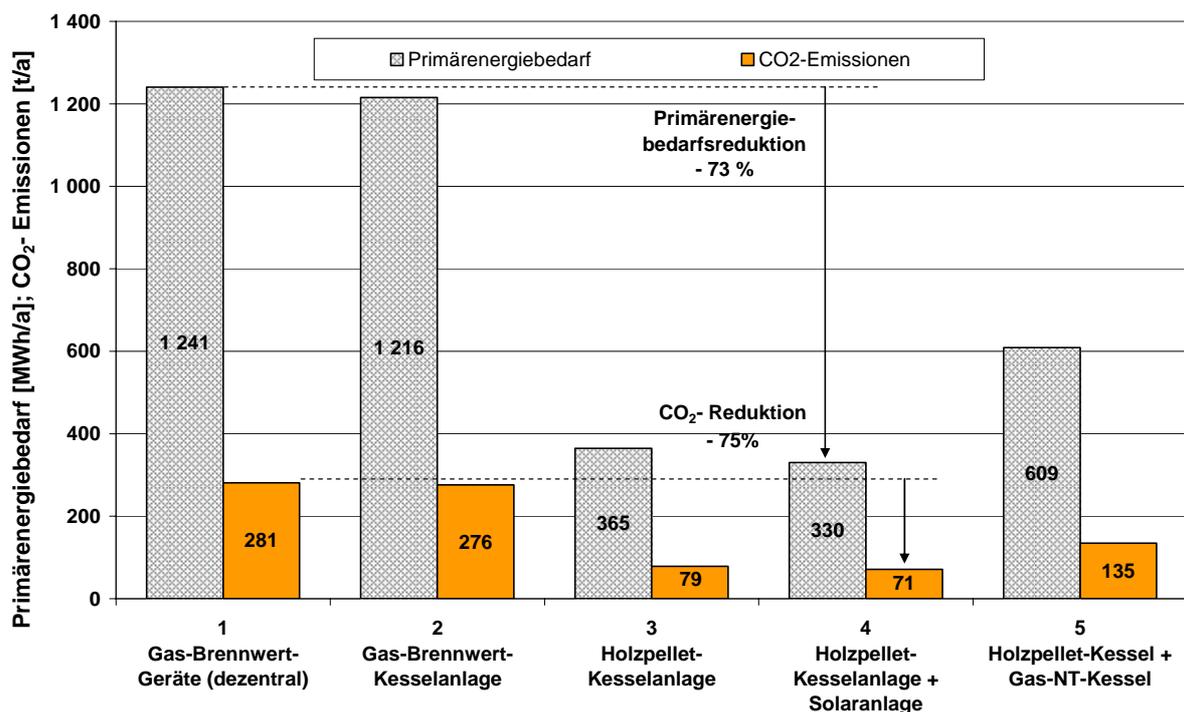


Bild 58 Primärenergiebedarf und CO₂- Emissionen der verschiedenen Varianten

Als Ergebnis sollte eine zentrale Wärmeversorgung mit Holzpelletkessel und Gas-spitzenlastkessel realisiert werden. Weiterhin ist der Wärmeschutz der Gebäudehülle auf EnEV Neubau Standard umzusetzen. So lassen sich die Energiekosten, die Anschlussleistungen sowie die Emissionen erheblich reduzieren.

3.10 Projekt 10 – Kassel, Brentanostraße 50 – 56

Im Bereich der Brentanostraße in Kassel entstehen durch den Bauverein 1894 zu Kassel Gemeinnützige Wohnungs-Genossenschaft eG in vier Bauabschnitten 81 Wohneinheiten mit zwei verschiedenen Gebäudetypen. Dabei werden 4 Mehrfamilienhäuser (4 x 7, 4 x 8 und 3 x 7 Wohneinheiten) errichtet. Die Gebäude sind alle unterkellert. Die Wohnfläche des Gesamtgebietes beträgt 6.480 m².



Bild 59 Lageplan Kassel, Brentanostraße 50 – 56

Für den zweiten und dritten Bauabschnitt der Brentanostraße wurde im Frühjahr 2006 ein zukunftsorientiertes Energiekonzept entworfen. Dabei werden verschiedene Aspekte des Wärmeschutzes betrachtet, Varianten der Wärmeversorgung grob dimensioniert und hinsichtlich des Energiebedarfs, der Kosten und der ökologischen Auswirkungen verglichen. Ziel ist eine möglichst weitgehende Reduzierung des Heizwärme- und Primärbedarfs. Die Rahmendaten der Gebäude sind in Tabelle 20 aufgeführt.

Planungstand zum Zeitpunkt der Machbarkeitsstudie		
Gebäudetyp	Mehrfamilienhäuser	
Anzahl der Gebäude	2	
Nutzung	Wohnen	
Klassifizierung	Neubau	
Anzahl Wohneinheiten	32	
Wohnfläche	2.561 m ²	
Nutzfläche nach EnEV (A _N)	2.885 m ²	
	KfW40-Standard	
Jahresheizwärmebedarf	35 kWh/m ² _{ANA}	102 MWh/a
Warmwasserbedarf	21 kWh/m ² _{ANA}	59 MWh/a
Gesamtwärmebedarf	56 kWh/m ² _{ANA}	161 MWh/a
Heizleistungsbedarf	32 W/m ² _{AN}	92 kW

Tabelle 20 Eckdaten Machbarkeitsstudie Kassel, Brentanostraße 50 – 56

Für die beiden Gebäude ist ein Wärmeschutzstandard angestrebt, mit dem die Anforderungen an den mittleren U-Wert (HT') der Gebäudehülle um mindestens 45% unterschritten werden. In Kombination mit einem Gas-Brennwertkessel, einer thermischen Solaranlage zur Heiz- und Warmwasserunterstützung sowie einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (WRG) werden damit ungefähr die Anforderungen an ein Energiesparhaus 40 (KfW40) bezüglich Primärenergiekennwert erfüllt (Jahres-Primärenergiebedarf $Q_p < 40$ kWh je m² Gebäudenutzfläche A_N). Mit einer regenerativen Wärmeversorgung (Holzpelletkessel) lässt sich bei gleichbleibendem Wärmeschutz der PE-Bedarf auf 15 kWh/m²_{ANA} deutlich reduzieren, bei gleichzeitigem Entfall der Lüftungsanlage mit WRG.

Der resultierende Heizwärmebedarf der beiden Gebäude wurde über ein Berechnungsprogramm zum Nachweis der Anforderungen nach Energieeinsparverordnung – Wohngebäude (Monatsbilanz) ermittelt. Es ergibt sich ein Bedarfswert für den KfW40- Standard von 32 kWh/m²_{ANA}. Die Berechnung der Heizleistung erfolgt über das vereinfachte Verfahren nach DIN EN 12831. Daraus ergibt sich ein Wert von 32 W/m²_{AN}. Für die Ermittlung des Brauchwasserwärmebedarfs wird der nach EnEV be-

rechnete Wert von 20,5 kWh/m²_{ANa} angesetzt. Für die Brauchwassererwärmung sind demnach ca. 59 MWh/a erforderlich. Für den zweiten und dritten Bauabschnitt entsteht ein jährlicher Heizwärmebedarf von 102 MWh/a, siehe Bild 60. Im Vergleich zum EnEV- Standard Gebäude kann der Heizwärmebedarf um 50% reduziert werden. Die erforderliche Heizleistung beträgt 92 kW.

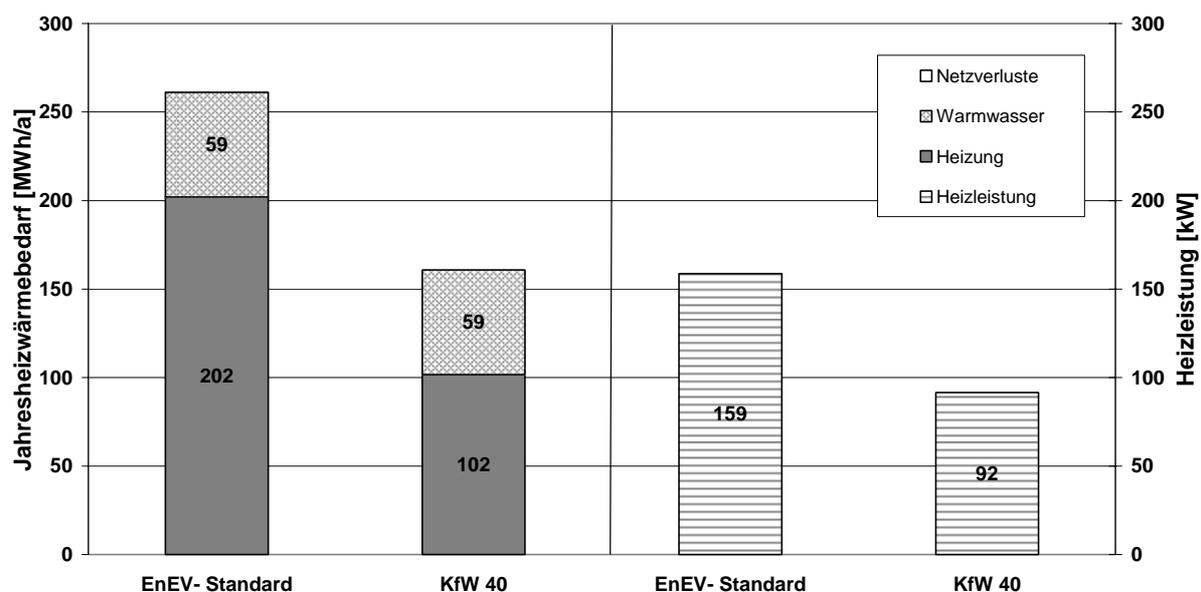


Bild 60 Darstellung Jahresheizwärmebedarf und Heizlast

Variantenbetrachtung

Zur Wärmeversorgung wurden drei unterschiedliche Varianten im Rahmen der Machbarkeitsstudie untersucht.

Zum Beheizen der Wohnräume kommt eine Fußbodenheizung (FBH) zum Einsatz. Die FBH ermöglicht einen sehr hohen Wohnkomfort. Ausgeführt wird diese Nieder-temperaturheizung mit den Systemtemperaturen 45/35. Um Sauerstoffdiffusion und die daraus resultierende Verschlammung zu verhindern, werden hochdichte vernetzte Kunststoff-Rohre eingesetzt.

Im Mehrfamilienhaus Brentanostraße 54 wird in der Tiefgarage eine Heizzentrale errichtet, die Wärmeverteilung erfolgt über Stahlrohre im Keller. Für die Warmwasserbereitung werden Frischwasserstationen (FWS) mit integrierter Zirkulationspumpe eingesetzt. Die vorgesehenen Stationen können bis zu 10 Wohneinheiten versorgen.

Die Vorteile einer FWS sind der sehr hohe Hygienestandard sowie die sehr niedrige Rücklauftemperatur im Zapfbetrieb (20-30°C). Dabei wird das Wasser über einen Plattenwärmeübertrager im Direktdurchlauf auf eine konstante Nutztemperatur gebracht. Ein sehr kleiner Pufferspeicher, innerhalb der FWS, hält das benötigte Bereitstellungsvolumen bedarfsoptimiert vor.

Zur Wärmeversorgung der Gebäude im KfW40-Standard werden drei Varianten betrachtet, welche nachfolgend aufgelistet sind:

Var.	zentral/ dezentral	Kesselart	Kesselleistung (je Kessel)	Kollektor- fläche	Speicher- art	Speicher- volumen
1	zentral	Gas-BWK	100 kW	-	-	-
2	zentral	Holzpelletkessel	100 kW	-	-	2 m ³
3	zentral	Holzpelletkessel	100 kW	105 m ²	Heißwasser	7 m ³

(BWK = Brennwertkessel)

Tabelle 21 Varianten der Wärmeversorgung Kassel, Brentanostraße 50 – 56

In Variante 1 wird ein Gas-Brennwert-Kessel mit 100 kW vorgesehen, welcher die Fußbodenheizung (FBH) sowie die Frischwasserstationen zur Warmwasserbereitung der vier einzelnen Gebäudeteile versorgt.

Variante 2 sieht die Wärmeerzeugung durch einen Holzpelletkessel mit ca. 100 kW vor. Zusätzlich zum Heizraum ist ein Pelletssilo mit einer Größe von etwa 50 m³ erforderlich, welches mindestens eine LKW-Ladung Pellets (36 m³) fassen kann. Ein Pufferspeicher mit 2 m³ verlängert die Betriebszeiten des Holzkessels bei reduzierter Wärmeabnahme in der Übergangszeit.

Im Unterschied zur vorigen Variante ist in Variante 3 zusätzlich eine Solaranlage vorgesehen, siehe Bild 61. Auf dem nach Norden orientierten Pultdach der beiden Mehrfamilienhäuser stehen 1.100 m² Dachfläche zur Aufständigung von Kollektoren zur Verfügung. Zur Optimierung des Solarertrags sollten die Kollektoren ca. 30 bis 40° geneigt sein. Bei einer möglichen Ausnutzung der Dachfläche von 20% (Abstand vom Dachrand, Vermeidung von gegenseitiger Verschattung auf nordorientiertem Pultdach) beträgt die resultierende Kollektorfläche 105 m² (Pufferspeichervolumen 7 m³). Bei einem erwarteten Ertrag von etwa 340 kWh/(m²-a) ergibt sich ein Ertrag von

36 MWh/a. Damit werden etwa 60% des Bedarfs für die WW- Bereitung bzw. 22 % des gesamten Wärmebedarfs ab Heizzentrale gedeckt.

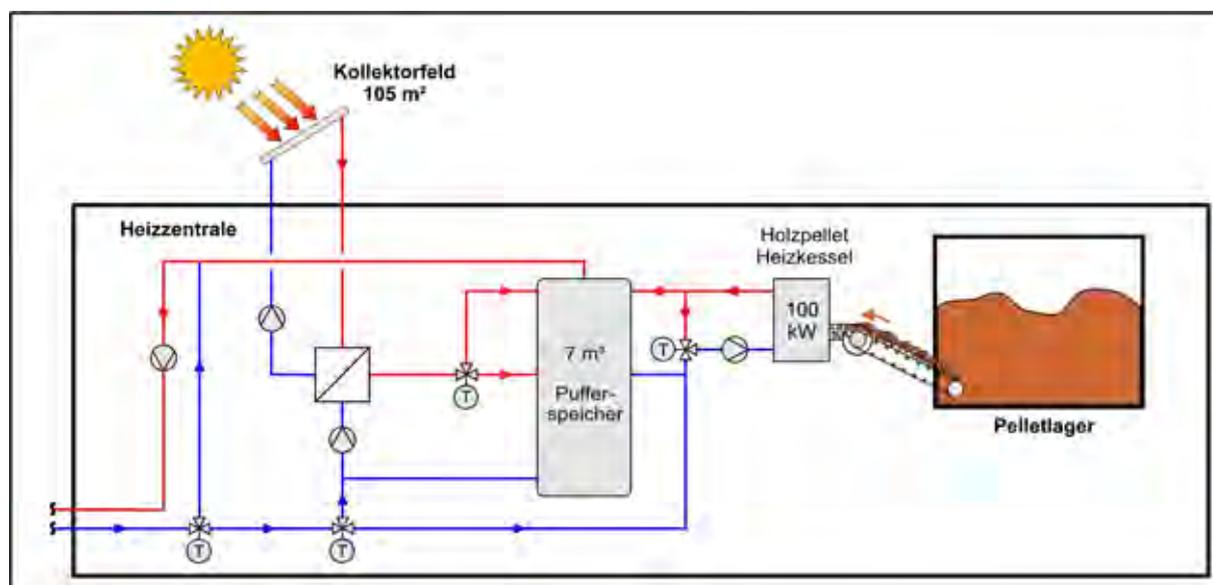


Bild 61 Anlagenschema Variante 3 – Holzpelletkessel mit Solaranlage 105 m²

Ergebnisse

Bild 62 zeigt die Investitionskosten für die Wärmeversorgung bei allen Varianten, aufgeteilt nach den verschiedenen Anlagenteilen. Bei Variante 2 und 3 wurde eine Förderung durch das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) aus dem Bereich Erneuerbare Energien für den Holzpelletkessel in Höhe von 60 €/kW berücksichtigt. Für Variante 3 werden die Kosten für die solaren Komponenten zu 30% durch Solarthermie2000plus als förderfähig angesetzt.

Die niedrigsten Investitionen entstehen bei Versorgung mit Erdgas (Variante 1). Fast doppelt so hoch sind die Investitionen für eine Versorgung mit Holzpellets (Variante 2). Noch höher sind die Kosten lediglich bei einer Versorgung mit Holzpellets und thermischer Solarenergie (Variante 3). Für eine Versorgung mit Holzpellets entstehen um 25.000 € höhere Kosten als bei Variante 1 (inkl. Förderung). Eine zusätzliche Solaranlage führt zu weiteren Investitionen von ca. 40.000 €, die durch die Energieeinsparung nicht vollständig ausgeglichen werden können.

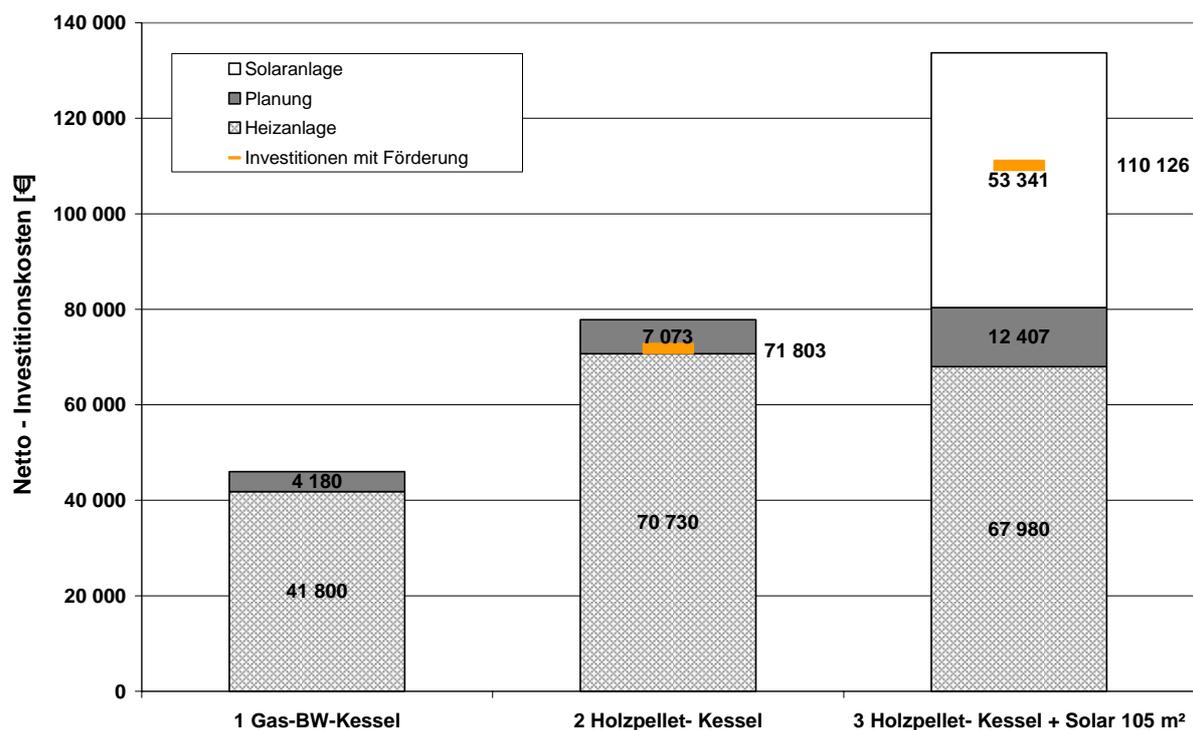


Bild 62 Gesamt-Investitionskosten (inkl. Planung, ohne MWSt.) der verschiedenen Varianten

In Bild 63 sind die Jahresgesamtkosten für die unterschiedlichen Varianten dargestellt. Die günstigste Lösung ist durch Versorgung mit Erdgas (Variante 1) und Versorgung mit Holzpellets (Variante 2) zu erreichen.

Die Jahresgesamtkosten der Variante 3 liegt um ca. 15% höher. Zu beachten ist neben dem Gesamtbetrag auch die Kostenaufteilung. Der Anteil der Energiekosten bei Variante 2 mit Holzpellets ist um 30% deutlich geringer als bei Basisvariante 1, bei Variante 3 sogar um 45%.

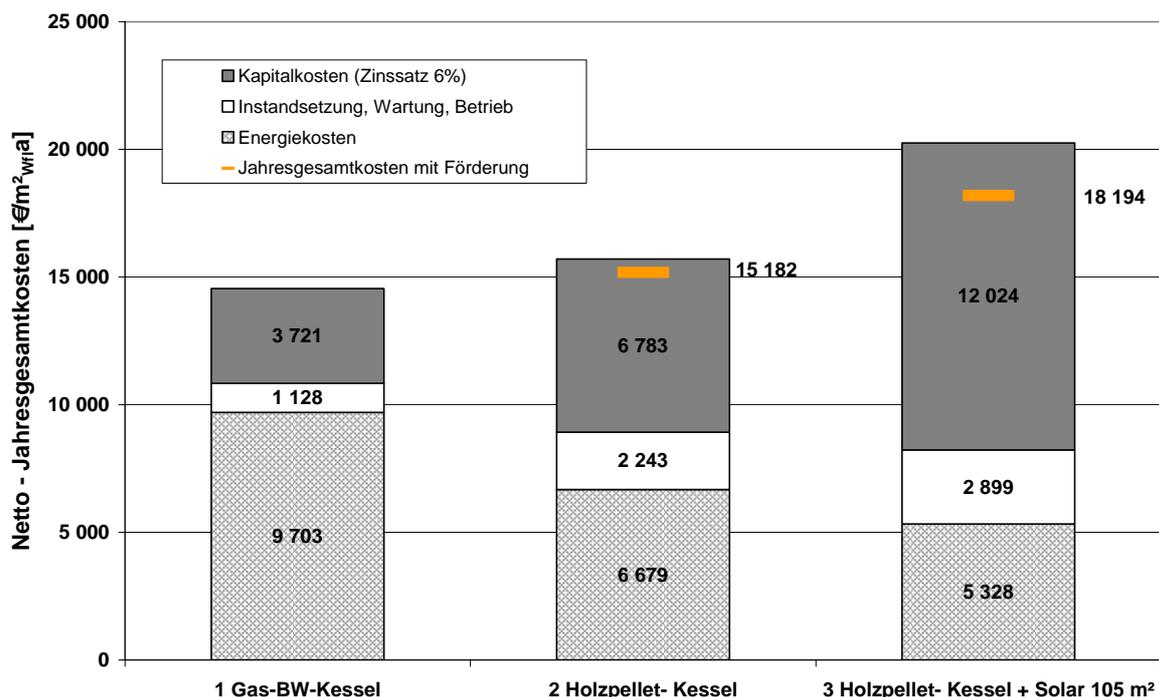


Bild 63 Jahresgesamtkosten (ohne MWSt.) der verschiedenen Varianten

Die Integration der thermischen Solaranlage in Kombination mit einem Holzpellet-Heizkessel ist auch bei relativ knapper Auslegung sinnvoll. Die Solarkollektoren ersetzen vor allem in den Sommermonaten den Kesselbetrieb, d.h. der Kessel kann abgeschaltet werden. Der wenig effiziente Teillastbetrieb mit erhöhten Verlusten und reduziertem Nutzungsgrad wird dadurch eingeschränkt.

Bild 64 gibt einen Überblick über die möglichen CO₂-Einsparungen bzw. Primärenergiebedarfsreduzierung beim Vergleich zwischen einer reinen Holzpellet-Heizung, der Kombination Solaranlage mit Holzpelletkessel und einer konventionellen Lösung mittels Gas-Brennwert-Heizkessel. Deutlich ist die Reduzierung der CO₂-Emissionen auf ca. 26% (Holzpellets, Variante 2) bzw. 21% (Holzpellets + Solar, Variante 3) des Ausgangswertes zu erkennen.

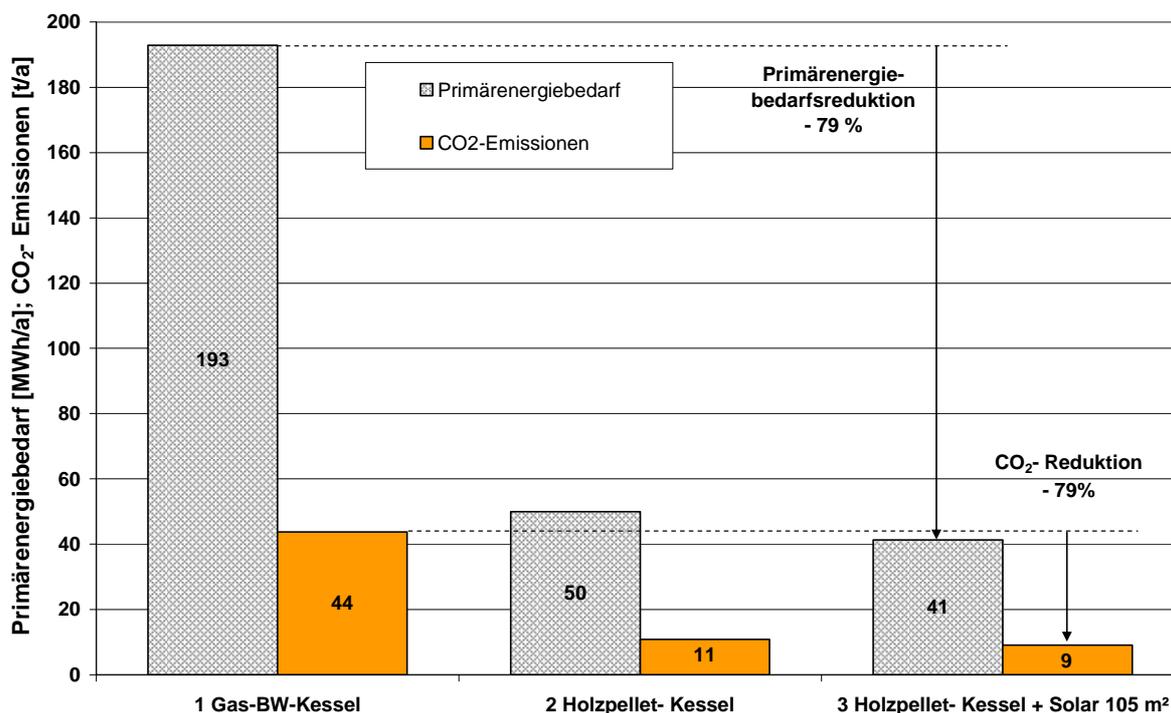


Bild 64 Primärenergiebedarf und CO₂-Emissionen der verschiedenen Varianten

Die Solaranlage führt zu höheren Investitionskosten im Vergleich zu den beiden Vergleichsvarianten, erreicht jedoch über den Wegfall der Betriebszeiten des Kessels im Sommer die geringsten CO₂-Emissionswerte. Gegenüber der Variante mit Gas-Brennwert-Heizkessel kann über die Kombination Solar/Holz eine Reduktion der Emissionen um etwa 80 % erreicht werden. Gleichzeitig können durch den Einsatz von Holzpellets die Energiekosten um 30%, in Kombination mit einer thermischen Solaranlage sogar um 45% reduziert werden. Dem Bauverein wird folgendes empfohlen:

- Wärmeerzeugung mit Holzpellets
- eventuell in Kombination mit einer Solaranlage.

3.11 Projekt 11 – Herten, Grüne Mitte Westerholt

Im Gebiet "Grüne Mitte Westerholt" werden von der Wohnungsgenossenschaft Herne-Süd e.G. eine Service-Wohnanlage (betreutes Wohnen für Senioren) sowie ein Senioren-Pflegeheim erstellt. Für diese beiden Gebäude wurde Anfang 2006 ein Energiekonzept entwickelt, in dem die Möglichkeiten zur energetischen Optimierung der Gebäude dargestellt werden. Neben den Aspekten des baulichen Wärmeschutzes wird auch der Einsatz von erneuerbaren Energien und effizienter Gebäudetechnik berücksichtigt.

Zunächst wird in der Machbarkeitsstudie für die Gebäude untersucht, mit welchen Maßnahmen bei Versorgung mit Fernwärme der KfW60- bzw. KfW40- Standard erreicht wird. Im Weiteren werden 6 verschiedene Varianten einer energetisch optimierten Wärmeversorgung erarbeitet.

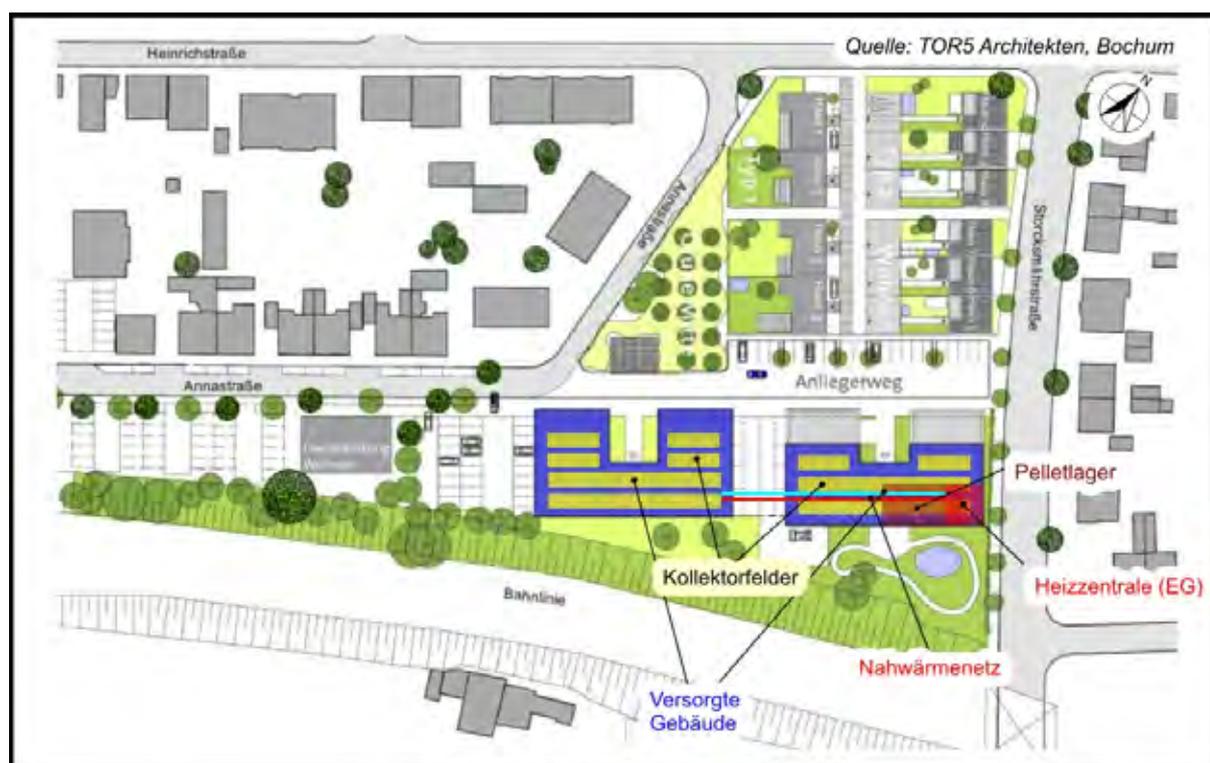


Bild 65 Lageplan Herten, Grüne Mitte Westerholt

Beide Gebäude weisen eine ähnliche Grundstruktur (U-Form) auf und sind mit einer der Längsseiten nach Südsüdost orientiert. Die Gebäude sind nicht unterkellert. Lager- und Abstellräume sowie die Technikzentralen sind jeweils im EG untergebracht.

Außerdem befinden sich dort Gemeinschaftsräume wie Küchen, Verwaltung, Therapieräume sowie Wasch- und Trockenräume. Die Wohnungen und Pflegezimmer befinden sich in den 3 bzw. 4 Obergeschossen. In beiden Gebäuden ist das EG jedoch vollständig in die gedämmte Gebäudehülle einbezogen. Die Rahmendaten sind in der Tabelle 22 aufgeführt.

Planungstand zum Zeitpunkt der Machbarkeitsstudie		
Gebäudetyp	Senioren-Wohnanlage	
Anzahl der Gebäude	2	
Nutzung	Wohnen, Pflegeheim	
Klassifizierung	Neubau	
Anzahl Wohneinheiten	116 (36 WE + 80 Pflegeplätze)	
Wohnfläche	- m ²	
Nutzfläche nach EnEV (A _N)	8.390 m ²	
Jahresheizwärmebedarf	52,2 kWh/m ² _{ANA} (KfW60)	438 MWh/a
Warmwasserbedarf	26 kWh/m ² _{ANA}	214 MWh/a
Netzverluste	300 kWh/m ² _{TrA}	23 MWh/a
Gesamtwärmebedarf	80 kWh/m ² _{ANA}	674 MWh/a
Heizleistungsbedarf	30 W/m ² _{AN}	252 kW

Tabelle 22 Eckdaten Machbarkeitsstudie Herten, Grüne Mitte Westerholt

In der Machbarkeitsstudie wird in drei Varianten am Beispiel des Gebäudes „Service Wohnen“ untersucht, welcher technische Aufwand erforderlich ist, um den KfW40-Standard einzuhalten. Für das Gebäude wird ein A/V-Verhältnis von 0,37 m⁻¹ ermittelt. Daraus ergeben sich, je nach angestrebtem Energiestandard, die in Tabelle 23 zusammengestellten Anforderungen an die energetischen Kennwerte in Bezug auf eine Fernwärmeversorgung. Mit den vorgegebenen Bauteilaufbauten vom Architekten werden bereits deutlich die Anforderungen an den KfW60-Standard erfüllt. Dies liegt vor allem am sehr guten Primärenergiefaktor der Fernwärme (Hertener Stadtwerke GmbH) von 0,69.

Energiesstandard	Transmissionswärmeverlust H _T '		Primärenergiebedarf	
	W/m ² K	%	kWh/m ² _{ANA}	%
EnEV	0,71	100%	79,2	100%
KfW60	0,50	70%	60	76%
KfW40	0,39	55%	40	51%
Vorgabe Architekt	0,43	61%	49,3	62%

Tabelle 23 Anforderungen an Gebäudehülle und Primärenergiebedarf für das Gebäude Service Wohnen bei unterschiedlichen Standards

Tabelle 24 gibt eine Übersicht über die Maßnahmen zur Erreichung des KfW40-Standards. Zum einen ist eine Verbesserung des Wärmeschutzes erforderlich. Zum anderen können auf der Seite der Anlagentechnik Veränderungen vorgenommen werden, wie die Reduzierung der Lüftungswärmeverluste durch kontrollierte Lüftung, der Einsatz erneuerbarer Energieträger sowie eine effiziente Wärmeerzeugung (z.B. mit Wärmepumpe).

	Variante 1 Fernwärme	Variante 2 Fernwärme	Variante 3 Fernwärme	Variante 4 Wärmepumpe
	cm	cm	cm	cm
Außenwand	14 (WLG040)	16 (WLG035)	16 (WLG035)	16 (WLG035)
Fenster	2-Scheiben WSV (U=1,3)	2-Scheiben WSV (U=1,3)	2-Scheiben WSV (U=1,3)	2-Scheiben WSV (U=1,3)
Flachdach	16 (WLG040)	24 (WLG040)	24 (WLG040)	24 (WLG040)
Boden gg. Erdreich	10 (WLG040)	12 (WLG040)	12 (WLG040)	12 (WLG040)
Blower-Door-Test	Nein	Ja	Ja	Ja
Abluftanlage	Nein	Ja	Nein	Nein
Lüftung mit WRG	Nein	Nein	Ja	Ja
Solaranlage	Nein	Ja	Nein	Ja
H _T ' (mittl. U-Wert)	0,43 (61%)	0,39 (55%)	0,39 (55%)	0,39 (55%)
Heizwärmebedarf	44,3 kWh/m ² _{ANA}	32,5 kWh/m ² _{ANA}	22,1 kWh/m ² _{ANA}	22,1 kWh/m ² _{ANA}
Primärenergiebedarf	49,3 kWh/m ² _{ANA}	39,3 kWh/m ² _{ANA}	39,0 kWh/m ² _{ANA}	39,6 kWh/m ² _{ANA}
Mehrinvestition	-	44 €/m ² _{AN}	55 €/m ² _{AN}	107 €/m ² _{AN}

Tabelle 24 Dämmstoffstärken und zusätzliche Maßnahmen zur Erreichung des KfW60 bzw. KfW40-Standards

Mit den vom Architekten angegebenen U-Werten wird für die Service-Wohnanlage der Heizwärmebedarf nach dem Berechnungsverfahren der EnEV ermittelt. Es ergibt sich ein Wert von etwa 45 kWh/m²_{ANa}. Da bei der vorgesehenen Nutzung ein höherer Bedarf als bei einem konventionellen Wohngebäude zu erwarten ist (höheres Raumtemperaturniveau), erfolgt hier ein 10%-iger pauschaler Zuschlag auf diesen Wert. Als Warmwasserbedarf wird ein Tagesbedarf von 40 l pro Person (bei 60°C) angesetzt. Für das Pflegeheim wird derselbe Heizwärmebedarf, hier mit einem nutzungsbedingten Zuschlag von 20%, sowie ein Warmwasserbedarf von 60 l pro Person und Tag angesetzt. Als Heizleistungsbedarf ist ein Wert von 30 W/m²_{AN} für beide Gebäude angenommen worden. Dieser beruht auf Erfahrungswerten aus ähnlichen Objekten.

Mit den beschriebenen spezifischen Werten ergibt sich ein Wärmebedarf (Heizung und WW) für das ServiceWohnen von 248 MWh/a und für das Pflegeheim von 404 MWh/a, in der Summe 652 MWh/a (674 MWh/a inkl. Netzverluste), siehe Bild 66. Der Heizleistungsbedarf beträgt 103 bzw. 149 kW, in der Summe 252 kW.

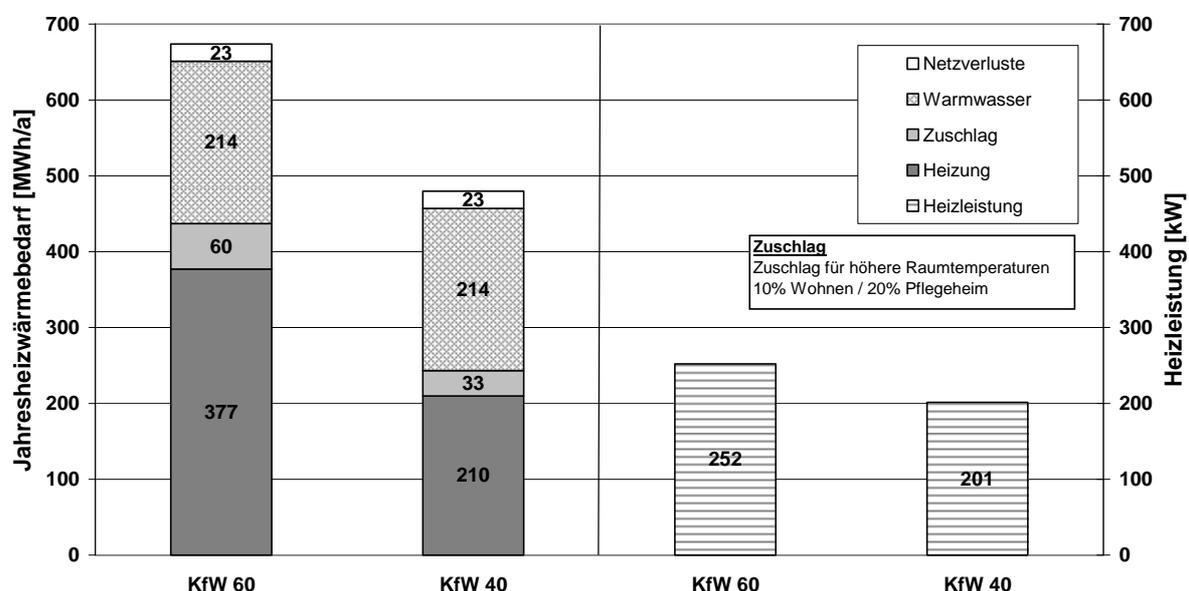


Bild 66 Darstellung Jahresheizwärmebedarf und Heizlast

Variantenbetrachtung

Zur Wärmeversorgung der beiden Gebäude wurden sechs unterschiedliche Varianten im Rahmen der Machbarkeitsstudie untersucht.

Für die ersten 4 Varianten (Fernwärme oder Erdsonden-Wärmepumpe) ist es sinnvoll, dass jedes der beiden Gebäude mit einer separaten Heizanlage ausgestattet wird. Für die in Variante 5 und 6 untersuchte Pelletsanlage empfiehlt sich wegen der hohen Kosten für den Pelletkessel und das Pelletlager eine gemeinsame Anlage für beide Gebäude. Dabei wird eine Nahwärmeleitung (PEX DUO, DN 40) verlegt mit einer Trassenlänge von ca. 75 m. Es ergeben sich Netzverluste in Höhe von 23 MWh/a (ca. 3%).

Zur Wärmeversorgung werden sechs Varianten betrachtet, welche nachfolgend aufgelistet sind:

Var.	zentral/ dezentral	Kesselart	Kesselleistung (je Kessel)	Kollektor- fläche	Speicher- art	Speicher- volumen
1	dezentral	Fernwärme	100 kW (SW) 150 kW (PH)	-	-	-
2	dezentral	Fernwärme	100 kW (SW) 150 kW (PH)	100 m ² 145 m ²	Heißwasser	6 m ³ 9 m ³
3	dezentral	Wärmepumpe	100 kW (SW) 150 kW (PH)			
4	dezentral	Wärmepumpe	100 kW (SW) 150 kW (PH)	100 m ² 145 m ²	Heißwasser	6 m ³ 9 m ³
5	zentral	Holzpelletkessel ÖI-NTK *)	220 kW 150 kW *)		-	4 m ³
6	zentral	Holzpelletkessel ÖI-NTK *)	220 kW 150 kW *)	270 m ²	Heißwasser	16 m ³

(SW = Service Wohnen, PH = Pflegeheim, NTK = Niedertemperaturkessel, *) = Versorgungssicherheit auf Wunsch des Auftraggebers)

Tabelle 25 Varianten der Wärmeversorgung Herten, Grüne Mitte Westerholt

Variante 1 betrachtet die Versorgung der beiden Gebäude mit Fernwärme. Jedes der Gebäude erhält einen eigenen Fernwärmeanschluss. Zudem erleichtert es die Wärmeabrechnung, da beide Gebäude unterschiedliche Betreiber haben werden. Für

das Gebäude „Service Wohnen“ ist ein FW- Anschluss mit etwa 100 kW und für das Pflegeheim ein Anschluss mit ca. 150 kW erforderlich. Zusätzlich zu der von den Stadtwerken angebotenen Übergabestation sind ein Warmwasserbereiter je Gebäude erforderlich.

Bei Variante 2 kommt zum Fernwärmeanschluss eine thermische Solaranlage hinzu. Jedes Gebäude erhält eine eigene Anlage. Die Kollektoren können auf den Flachdächern aufgestellt werden. Sie werden üblicherweise durch eine Beschwerung (Betonwerkstein oder Kies) statisch gesichert. Dies führt zu einer zusätzlichen Last von etwa 100-120 kg pro m² Kollektorfläche. Dies ist bei der Bemessung der obersten Geschossdecke zu berücksichtigen. Bei der Aufstellung der Kollektoren ist ein Randabstand von ca. 2 m einzuhalten. Die dezentralen Solaranlagen werden so ausgelegt, dass sie ca. 40% des Warmwasserbedarfs decken. Bei einem angesetzten Ertrag von ca. 350 kWh/m²a ergibt sich eine Kollektorfläche für das Gebäude „Service Wohnen“ von 100 m² und für das Pflegeheim eine Fläche von 145 m².

Bei Variante 3 wird die Wärme, ebenfalls in getrennten Anlagen je Gebäude, durch eine Wärmepumpe mit Erdsonden als Wärmequelle bereitgestellt (100 kW und 150 kW). In der Wärmepumpe wird die Wärme aus dem Erdreich von 10 - 15°C auf eine Temperatur von etwa 55, im besten Fall bis ca. 65°C gebracht. Mit den Erdsonden kann dem Erdreich eine Leistung von etwa 50 W/m entzogen werden. Bei Sondenlängen bis 100 m ist ein vereinfachtes Genehmigungsverfahren für die Erdsonden möglich.

Im Unterschied zur vorigen Variante sind in Variante 4 zusätzlich zwei Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung vorgesehen, analog zu Variante 2.

Variante 5 sieht die Wärmeversorgung für beide Gebäude aus einer gemeinsamen Heizzentrale vor. Als Haupt-Wärmeerzeuger wird ein Holzpelletkessel mit einer Leistung von 220 kW sowie als Spitzenlastkessel und zur Erhöhung der Versorgungssicherheit ein Ölkessel mit 150 kW vorgesehen. Als Standort für die Heizzentrale bietet sich der südöstliche Eckbereich des Pflegeheims an. Das dazugehörige Pelletlager erfordert eine Größe von etwa 60 m³. Ein Pufferspeicher mit 4 m³ verlängert die Betriebszeiten des Holzkessels bei reduzierter Wärmeabnahme in der Übergangszeit.

Bei Variante 6 kommt eine Solaranlage zur Warmwasserbereitung mit einer Kollektorfläche von 270 m² hinzu. Die Solarkollektoren können auf den Dächern beider Gebäude aufgestellt werden, deren Wärmeertrag wird über Solarleitungen in die Heizzentrale eingespeist. Von dort wird die Wärme direkt an das Pflegeheim sowie über eine Wärmeleitung im Erdreich an das Gebäude „Service Wohnen“ verteilt. Der Pufferspeicher kann evtl. in einen Bereitschaftsteil mit höheren Temperaturen (ca. 4 m³ / Aufstellung in Heizzentrale) und in einen Solarteil (12 m³ / Außenaufstellung) aufgeteilt werden. Bei einem erwarteten Ertrag von etwa 350 kWh/(m²·a) ergibt sich ein Ertrag von 95 MWh/a. Damit werden etwa 45% des Bedarfs für die Warmwasserbereitung bzw. 14 % des gesamten Wärmebedarfs ab Heizzentrale gedeckt.

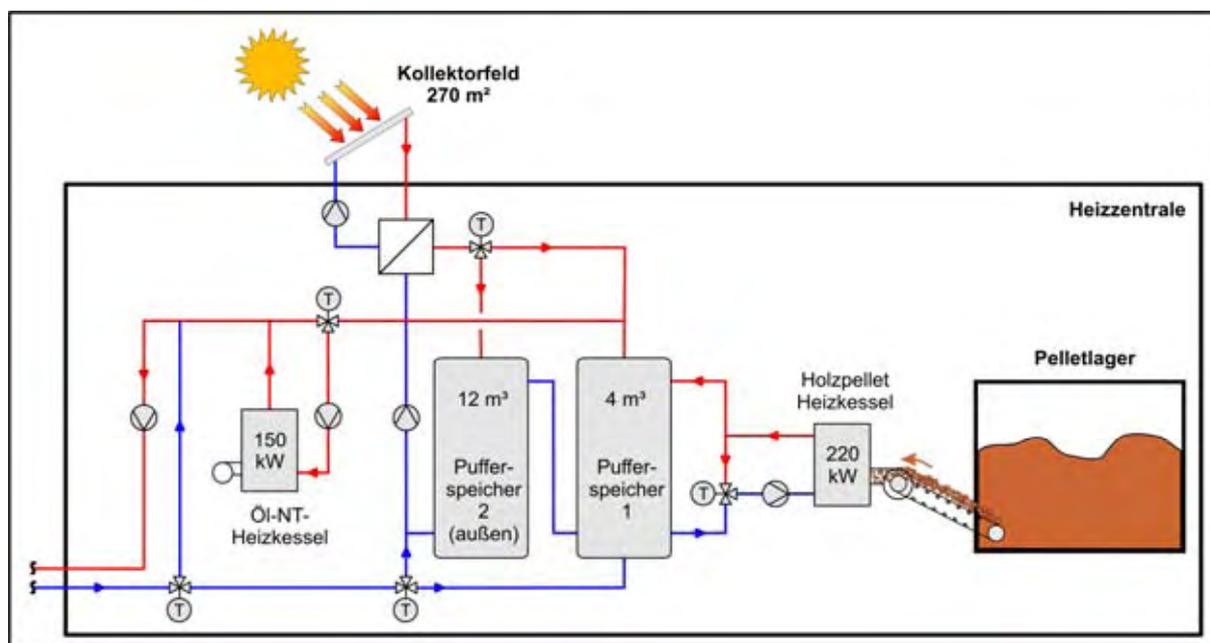


Bild 67 Anlagenschema Variante 6 – Holzpelletkessel mit Solaranlage 270 m²

Ergebnisse

Bild 68 zeigt die Investitionskosten für die Wärmeversorgung bei allen Varianten, aufgeteilt nach den verschiedenen Anlagenteilen. Für die Varianten 2, 4 und 6 wurden die Kosten für die solaren Komponenten zu 30% durch Solarthermie2000plus als förderfähig angesetzt.

Die mit Abstand niedrigsten Investitionen sind bei Anschluss an die Fernwärmeversorgung (Variante 1) zu erwarten. Die höchsten Investitionen entstehen mit einer Wärmeversorgung über eine Erdsonden-Wärmepumpe und eine Solaranlage (Variante 4). Die Investitionskosten für den Holzpelletkessel inklusive Nahwärmeverbundleitung (Variante 5) sind um ca. 140 T€ höher als bei Variante 1. Erfolgt die Installation einer Solaranlage (Variante 6) so liegt die Mehrinvestition im Bereich von ca. 130 T€

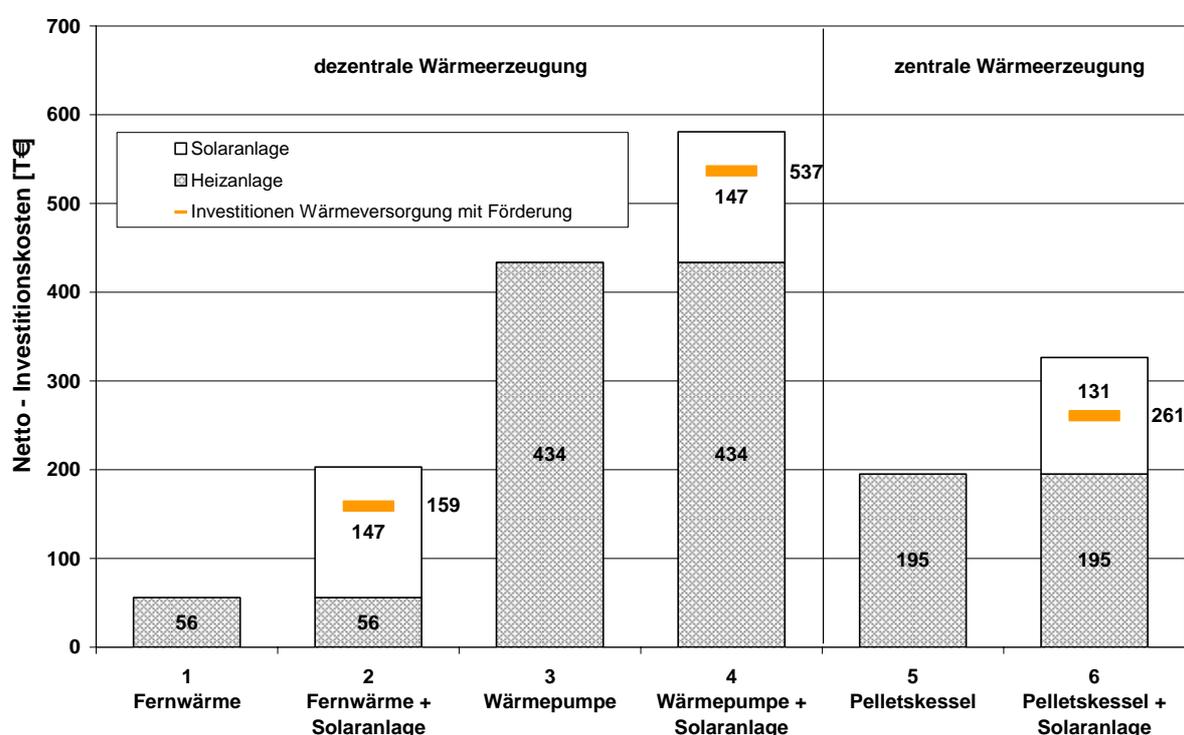


Bild 68 Gesamt-Investitionskosten (inkl. Planung, ohne MWSt.) der verschiedenen Varianten

In Bild 69 sind die Jahresgesamtkosten für die unterschiedlichen Varianten dargestellt. Die geringsten Jahreskosten werden bei den derzeitigen Energiepreisen durch die Fernwärme (Variante 1) verursacht, die höchsten durch die Kombination von Wärmepumpe und Solaranlage (Variante 4). Durch die Solaranlage in Variante 2 und 4 erhöhen sich die Jahreskosten um etwa 7.500 bis 9.000 € pro Jahr, je nach Preis für den dadurch ersetzten Energieträger. Durch die Versorgung mit Pellets (Variante

5) entstehen Jahreskosten, die ca. 11.000 € pro Jahr höher als die der Variante 1 (Fernwärme) liegen.

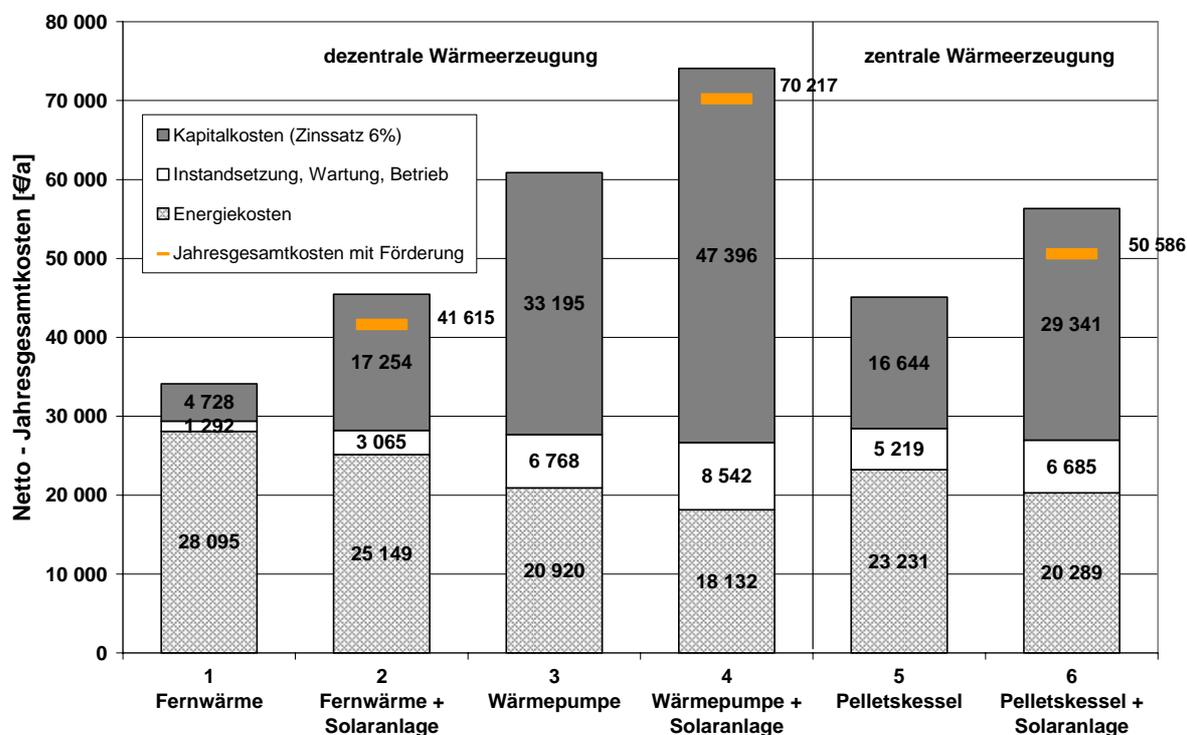


Bild 69 Jahresgesamtsumme (ohne MwSt.) der verschiedenen Varianten

In Bild 70 sind der Primärenergiebedarf sowie die CO₂- Emissionen dargestellt, die durch die verschiedenen Versorgungsarten entstehen. Der höchste PE-Bedarf entsteht bei der Versorgung mit Wärmepumpe. Dies lässt sich dadurch erklären, dass eine Wärmepumpe mit einer Arbeitszahl von etwa 3,5 bei einem PE-Faktor für Strom von 2,7 arbeitet, also einem "effektiven PE-Faktor" von $2,7 / 3,5 = 0,77$. Die Fernwärme, die in Kraft-Wärme-Kopplung erzeugt wird, hat hingegen einen PE-Faktor von 0,69. Die primärenergetisch günstigste Variante ist die Versorgung mit Holzpellets.

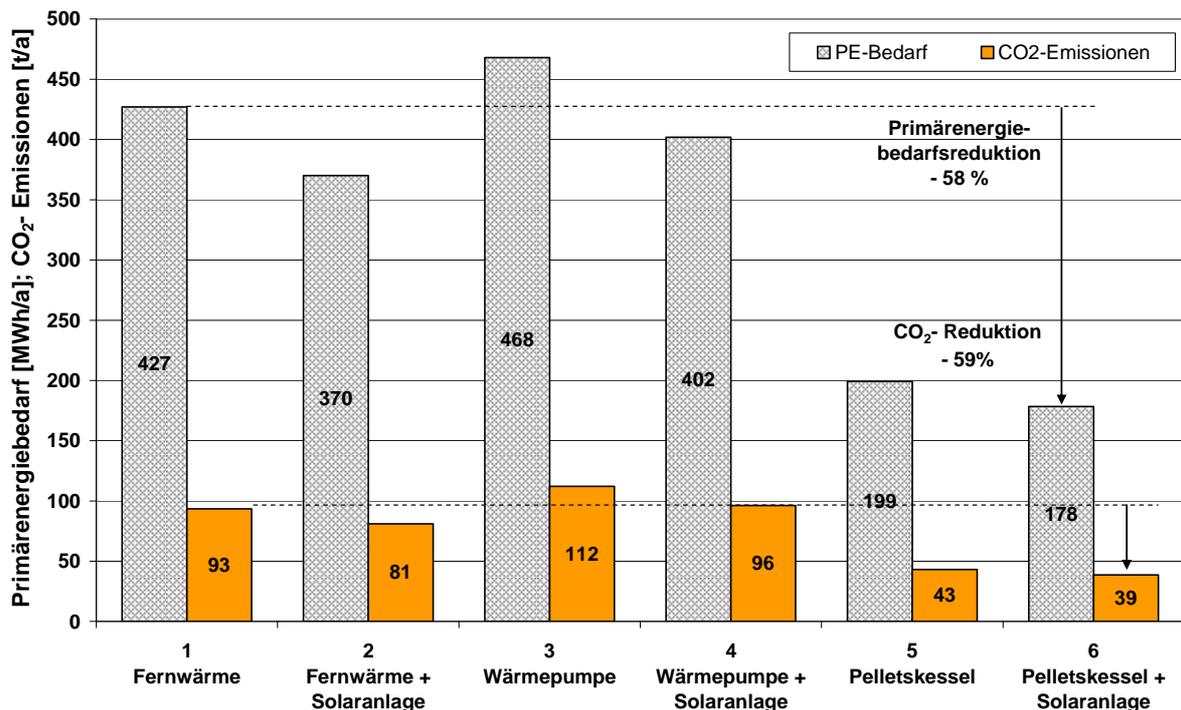


Bild 70 Primärenergiebedarf und CO₂- Emissionen der verschiedenen Varianten

Nach Auswertung der Ergebnisse wird dem Auftraggeber folgendes empfohlen:

- Verbesserung des Wärmeschutzes auf KfW40-Standard
- Weitere Reduzierung des Energiebedarfs durch eine kontrollierte Lüftung mit Wärmerückgewinnung oder alternativ durch eine Abluftanlage und eine thermische Solaranlage (Entscheidung im Zuge der Entwurfsplanung auf Basis detaillierter Kostenangaben)
- Deckung des Restwärmebedarfs durch Fernwärme

3.12 Projekt 12 – Heidelberg, Neubaugebiet Schollengewann

Im Stadtteil Heidelberg – Wieblingen soll das Gebiet Schollengewann mit ca. 200 Wohnungen und Reihenhäusern bebaut werden. Im Auftrag der Stadt Heidelberg (Amt für Umweltschutz, Gewerbeaufsicht und Energie) sollen im Zuge einer Machbarkeitsstudie Anfang 2006 verschiedene Energieversorgungskonzepte untersucht und bewertet werden. Das Wohngebiet besteht aus sechs Baufeldern, die in enger zeitlicher Reihenfolge gebaut werden sollen. Die Wohnfläche des Gesamtgebietes beträgt ca. 21.300 m².



Bild 71 Lageplan Heidelberg, Neubaugebiet Schollengewann

Die Grundfläche des Baugebietes beträgt 5,9 ha. Insgesamt werden auf Bau-feld 1 41 Reihenhäuser und 2 Einfamilienhäuser, auf den Bau-feldern 2 bis 5 jeweils 2 Mehrfamilienhäuser sowie auf Bau-feld 6 drei Mehrfamilienhäuser errichtet. In der Studie werden mehrere Versorgungsvarianten für unterschiedliche Wärmeschutzstandards der Gebäude untersucht, um den Einfluss einer Passivhausbebauung für zwei Bau-felder auf die Versorgungsvarianten prüfen zu können. Die Rahmendaten des Neubaugebietes sind in Tabelle 26 aufgeführt.

		Planungsstand zum Zeitpunkt der Machbarkeitsstudie
Gebäudetyp	Einfamilien- und Mehrfamilienhäuser	
Anzahl der Gebäude	56	
Nutzung	Wohnen	
Klassifizierung	Neubau	
Anzahl Wohneinheiten	200	
Wohnfläche	21.300 m ²	
Nutzfläche nach EnEV (A _N)	25.080 m ²	
Jahresheizwärmebedarf	55 kWh/m ² _{ANA}	1.379 MWh/a
Warmwasserbedarf	18 kWh/m ² _{ANA}	448 MWh/a
Netzverluste	266 kWh/m ² _{TA}	182 MWh/a
Gesamtwärmebedarf	80 kWh/m ² _{ANA}	2.009 MWh/a
Heizleistungsbedarf	35 W/m ² _{AN}	878 kW

Tabelle 26 Eckdaten Machbarkeitsstudie Heidelberg, Neubaugebiet Schollengewann

Für die Gebäude in Variante A ist ein Wärmeschutzstandard nach den Heidelberger Wärmeschutzrichtlinien angestrebt. Die gesetzlichen Anforderungen an den mittleren U-Wert (H_T') der Gebäudehülle werden hier um 30% unterschritten. Mit einer innovativen Wärmeversorgung lassen sich bei gleich bleibendem Wärmeschutz die Primärenergieanforderungen der EnEV deutlich unterschreiten.

In Variante B wird ein erhöhter Wärmeschutzstandard (Passivhausbauweise) für die Baufelder 1 und 4 untersucht. Das ist möglich, da sich die Grundstücke in städtischem Besitz befinden. Über die Kaufverträge kann die Stadt Heidelberg den erforderlichen Wärmeschutz festschreiben.

Zur Ermittlung des Wärme- und Heizleistungsbedarfs des Gesamtgebiets werden für die einzelnen Gebäudetypen, je nach A/V-Verhältnis und Gebäudegröße, pauschal typische Bedarfswerte von 15 kWh/m²_{ANA} für Passivhäuser bis 55 kWh/m²_{ANA} beim Heidelberger Standard und 10 bis 35 W/m²_{AN} angesetzt. Diese beruhen auf Erfahrungswerten aus durchgeführten Wärmebedarfsberechnungen für konkrete Gebäude. Für die Ermittlung des Brauchwasserwärmebedarfs wird bei den Wohngebäuden der nach EnEV angegebene Wert von 12,5 kWh/m²_{ANA} angesetzt.

Der jährliche Heizwärmebedarf beträgt 950 MWh/a (Baufeld 1 und 4 in Passivhausbauweise) bzw. 1.380 MWh/a. Für die Brauchwassererwärmung sind (inklusive 30% Speicher- und Zirkulationsverluste) 450 MWh/a erforderlich. Bei zentraler Versorgung entstehen zudem Netzverluste in Höhe von 120 bzw. 180 MWh/a. Dies ergibt einen Nutzwärmebedarf von 1.400 bzw. 1.830 MWh/a und einen Gesamtwärmebedarf ab Heizzentrale von 1.520 bzw. 2.010 MWh/a inkl. Netzverluste, siehe Bild 72. Die erforderliche Heizleistung ab Zentrale beträgt 575 kW (ohne Anschluss der Passivhäuser von Baufeld 1 mit 143 kW) bzw. 880 kW.

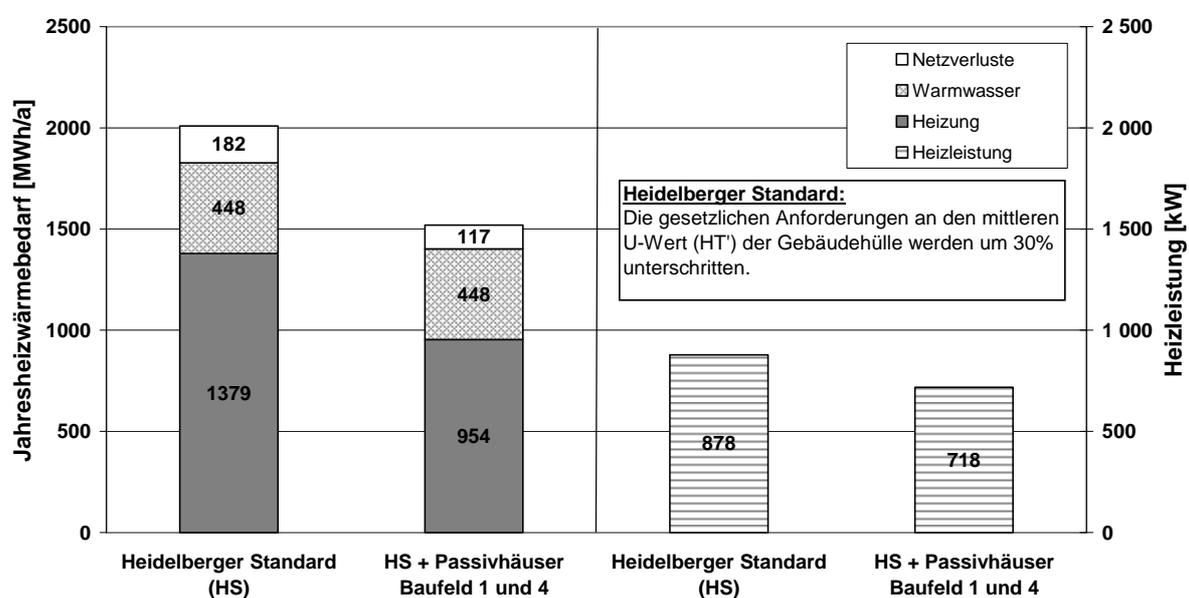


Bild 72 Darstellung Jahresheizwärmebedarf und Heizlast

Variantenbetrachtung

Zur Wärmeversorgung des Neubaugebietes wurden vier unterschiedliche Varianten im Rahmen der Machbarkeitsstudie untersucht. Dabei wird die Einzelhausversorgung mit Gas-Brennwert Geräten als Basisvariante definiert. In der Studie erfolgt die Betrachtung des gesamten Wohngebietes.

Bei zentraler Wärmeversorgung wird im Untergeschoss eines Mehrfamilienhauses am Dammweg an zentraler Stelle eine Heizzentrale errichtet. Von der Heizzentrale geht eine Haupttrasse in Ost-West-Richtung ab. Die Leitungen werden so verlegt, dass ein möglichst geringer Anteil der Leitungen unter öffentlichen Straßen verläuft.

Aus Kostengründen wurde darauf geachtet, dass Leitungen wenn möglich in den Kellern verlegt werden und somit Abzweigungen im Erdreich vermieden werden. Weiterhin werden dadurch lange Leitungslängen und Wärmeverluste eingespart. Jedes Haus erhält eine eigene Übergabestation. Bei Anschluss aller Häuser (Variante A) hat das Netz eine Länge von etwa 680 m. Die Netzverluste betragen mit 182 MWh/a etwa 9,1 % der von der Heizzentrale abgegebenen Wärmemenge. Bei dezentraler Versorgung der Passiv-Reihenhäuser (Variante B) ist das Netz ca. 440 m lang, die Wärmeverluste betragen 117 MWh/a (8,8 % der Wärmemenge).

Für alle Einfamilienhäuser werden direkte Übergabestationen mit Warmwasserbereitung im Durchfluss eingesetzt. In den Mehrfamilienhäusern kommen indirekte Übergabestationen mit Speicher-Lade-Systemen zur Anwendung.

Zur Wärmeversorgung werden vier Varianten betrachtet, welche nachfolgend aufgelistet sind:

Var.	zentral/ dezentral	Kesselart	Kesselleistung (je Kessel)	Kollektor- fläche	Speicher- art	Speicher- volumen
1	dezentral	Gas-BWK	11 / 35 / 150 kW	-	-	-
2	zentral	Holzpelletkessel Gas-NTK	540 kW 340 kW	930 m ²	Heißwasser	60 m ³
3	zentral	Holzpelletkessel Gas-NTK	540 kW 170 kW (R)	680 m ²	Heißwasser	40 m ³
4	zentral	Gasmotor-WP Gas-BWK Gas-NTK	160 kW 360 kW 360 kW	-	-	4 m ³

(BWK = Brennwertkessel, WP = Wärmepumpe, NTK - Niedertemperaturkessel, R = Redundanz von 135 kW)

Tabelle 27 Varianten der Wärmeversorgung Heidelberg, Neubaugebiet Schollengewann

In Variante 1 (dezentrale Wärmeversorgung) erhält jedes Gebäude einen eigenen Gasanschluss. Die Einfamilienhäuser besitzen jeweils eine Gas-Brennwert-Therme (GBT) mit etwa 10 kW als Dachheizzentrale, die kleinen Mehrfamilienhäuser eine GBT mit 35 kW und die großen Mehrfamilienhäuser einen Gas-Brennwertkessel mit 150 kW. Alle Gebäude sind vom Wärmeschutzstandard her im Heidelberger Standard ausgeführt.

Variante 2 sieht die Wärmeerzeugung durch einen Holzpelletkessel mit ca. 540 kW, einem Gas-Spitzenlastkessel mit 340 kW und einer thermischen Solaranlage mit 930 m² zur Warmwasserbereitung im Sommer im Nahwärmeverbund vor. Der Wärmeschutzstandard für sämtliche Gebäude ist dabei der Heidelberger Standard. Für die Heizzentrale ist ein Raum mit etwa 120 m³ erforderlich. Zusätzlich zum Heizraum ist ein Pelletssilo mit einer Größe von etwa 65 m³ erforderlich, es sollte am günstigsten quadratisch mit etwa 5x5 m Grundfläche ausgeführt werden. Ein Pufferspeicher verlängert die Betriebszeiten des Holzkessels bei reduzierter Wärmeabnahme in der Übergangszeit. Da die Solaranlage ebenfalls einen Pufferspeicher (60 m³) benötigt wird dieser auch für die Pelletsanlage genutzt. Die Kollektoren werden als Solarroof dachintegriert in drei Mehrfamilienhäusern an der Planstraße A ausgeführt. Bei einem erwarteten Ertrag von etwa 340 kWh/(m²·a) ergibt sich ein Ertrag von 315 MWh/a. Damit werden 50% des Bedarfs für die Warmwasserbereitung und der Netzverluste bzw. 16% des gesamten Wärmebedarfs ab Heizzentrale gedeckt.

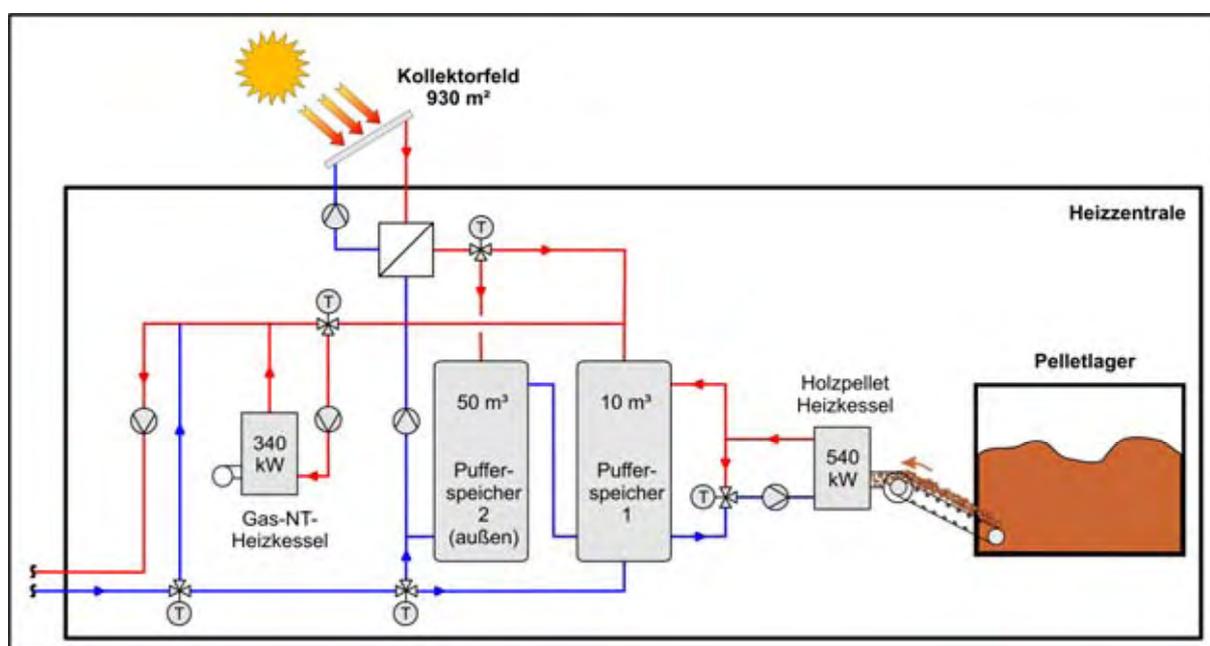


Bild 73 Anlagenschema Variante 2 – Holzpelletkessel mit Solaranlage 930 m²

In Variante 3 erfolgt die Wärmeerzeugung für die Baufelder 2 bis 6 über einen Holzpelletskessel (540 kW) mit Gaskesselspitzenkessel (170 kW) und Solaranlage 680

m² zur Warmwasserbereitung im Sommer im Nahwärmeverbund. Der Wärmeschutzstandard für die Gebäude von Baufeld 1 und 4 ist dabei der Passivhausstandard, wobei die Gebäude von Baufeld 4 mit an das Nahwärmenetz angeschlossen werden. Alle restlichen Häuser werden im Heidelberger Standard errichtet. Bei dezentraler Versorgung der Passiv-Reihenhäuser über ein Kompaktaggregat und Sole- Erdreichwärmetauscher müssen ca. 680 m² Kollektorfläche installiert werden, um etwa 50% des Warmwasserbedarfs der angeschlossenen Gebäude und der Netzverluste decken zu können. Für diese Solaranlage ist mit einem Ertrag von 232 MWh/a zu rechnen (340 kWh/m²a). Damit werden etwa 17% des gesamten Wärmebedarfs ab Heizzentrale gedeckt.

In Variante 4 erfolgt die Nahwärmeversorgung aller Gebäude über eine Gasmotor-Wärmepumpe (2 Module mit je 67 kW Leistung) und zwei Gas-Spitzenkesseln (2x 360 kW). Der Wärmeschutzstandard für sämtliche Gebäude ist dabei der Heidelberger Standard. Die beiden Gasmotor-Wärmepumpen können die erforderlichen hohen Vorlauftemperaturen (67°C) liefern, da der obere Temperaturbereich aus der Abwärme des Gasmotors abgedeckt wird. Bei den vorgesehenen Betriebsbedingungen ist aufgrund der hohen konstanten Wärmequellentemperatur (Abwasser) mit einer Heizzahl von etwa 2,0 zu rechnen d.h. beim Einsatz von 1 kWh Erdgas werden 2,0 kWh Wärme bereitgestellt. Zur Gewinnung der Wärme aus dem Kanal werden spezielle Wärmetauscher verwendet. Deren Entzugsleistung beträgt etwa 2 bis 4 kW/m. Der Abwasserkanal verläuft entlang des Dammwegs mit einem Ei-Profil 1100/1650 mm. Der Trockenwetterabfluss beträgt 94 l/s. Bei diesem Durchfluss ist für eine erforderliche Entzugsleistung von 70 kW ein Abwasserwärmetauscher von ca. 24 m Länge erforderlich. Eine Gasmotor-Wärmepumpe (GMWP) kann daraus eine thermische Leistung von 130 kW erzeugen.

Ergebnisse

Bild 74 zeigt die Investitionskosten für die Wärmeversorgung bei allen Varianten, aufgeteilt nach den verschiedenen Anlagenteilen. Bei Variante 2 und 3 wurde eine Förderung durch die KfW Förderbank für den Holzkessel in Höhe von 60 €/kW und für das Nahwärmenetz in Höhe von 50 €/m_{Trasse} berücksichtigt. Weiterhin wurden für

Varianten 2 und 3 die Kosten für die solaren Komponenten zu 35% durch Solarthermie2000plus als förderfähig angesetzt. Die KfW fördert den Bau von Niedrigenergie- und Passivhäuser mit einem zinsverbilligten Darlehen. Der reduzierte Zinssatz liegt etwa 2,0 % unter dem Marktzins, gewährt wird ein Darlehen von 50.000 € je Wohneinheit. Eine Förderung wurde für die Passivhäuser in Höhe von 20.000 € pro Wohneinheit eingerechnet, und zwar über einen bei den Jahresgesamtkosten angesetzten niedrigeren Zinssatz.

Die niedrigsten Investitionen sind bei dezentraler Versorgung mit Gas-Brennwertkessel zu erwarten. Die Investitionen für die Heizanlagen der Varianten mit zentraler Versorgung sind zwar niedriger als bei dezentraler Versorgung, allerdings kommen Investitionen für das Nahwärmenetz und die Übergabestationen hinzu, so dass die Kosten letztendlich um 300 bis 1.240 T€ höher liegen.

Die teuerste Versorgungsvariante ist Variante 3 mit Pelletkessel, Solaranlage und Passivhaus-Kompakttaggregaten. Die Investitionskosten sind hierbei etwa dreimal so hoch wie bei der dezentralen Gasversorgung.

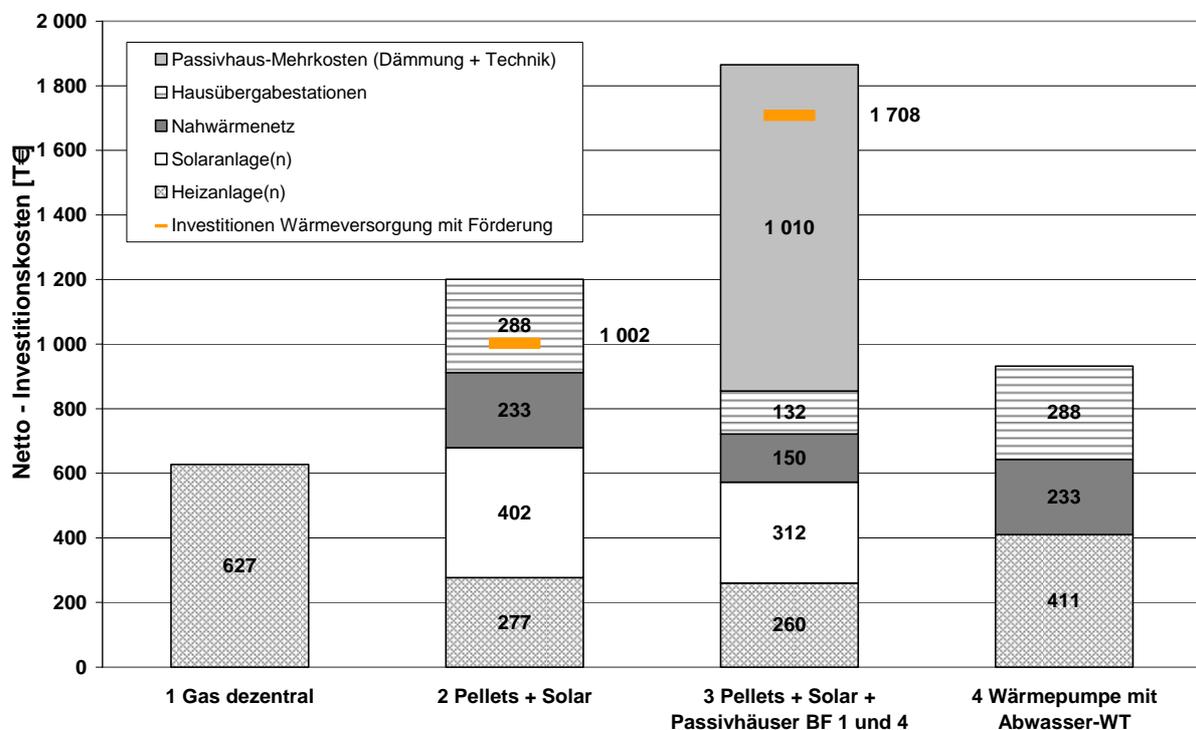


Bild 74 Gesamte Investitionskosten (inkl. Planung, ohne MWSt.) der verschiedenen Varianten

In Bild 75 sind die Jahresgesamtkosten für die unterschiedlichen Varianten dargestellt, welche sich aus den Kapitalkosten, Instandsetzungs-, Wartungs-, und Betriebskosten sowie den Energiekosten zusammensetzen.

Die Jahresgesamtkosten der verschiedenen Varianten liegen zwischen 162 und 228 T€/a, bei Berücksichtigung der Förderung ergeben sich Jahresgesamtkosten zwischen 159 und 194 T€/a. Bei den dezentral versorgten Gebäuden mit Gas-Brennwertkessel (Variante 1) überwiegen die Energiekosten die Kapitalkosten deutlich. Bei der Gasmotor-Wärmepumpe mit Abwasser-Wärmetauscher (Variante 4) ist das Verhältnis ausgewogen, die Heizzentralen mit Holzpelletkessel und Solaranlage (Variante 2) haben sehr hohe Kapitalkosten bei geringen Energiekosten. Die niedrigsten Energiekosten entstehen bei Variante 3, bei der zwei Baufelder in Passivhausbauweise ausgeführt sind.

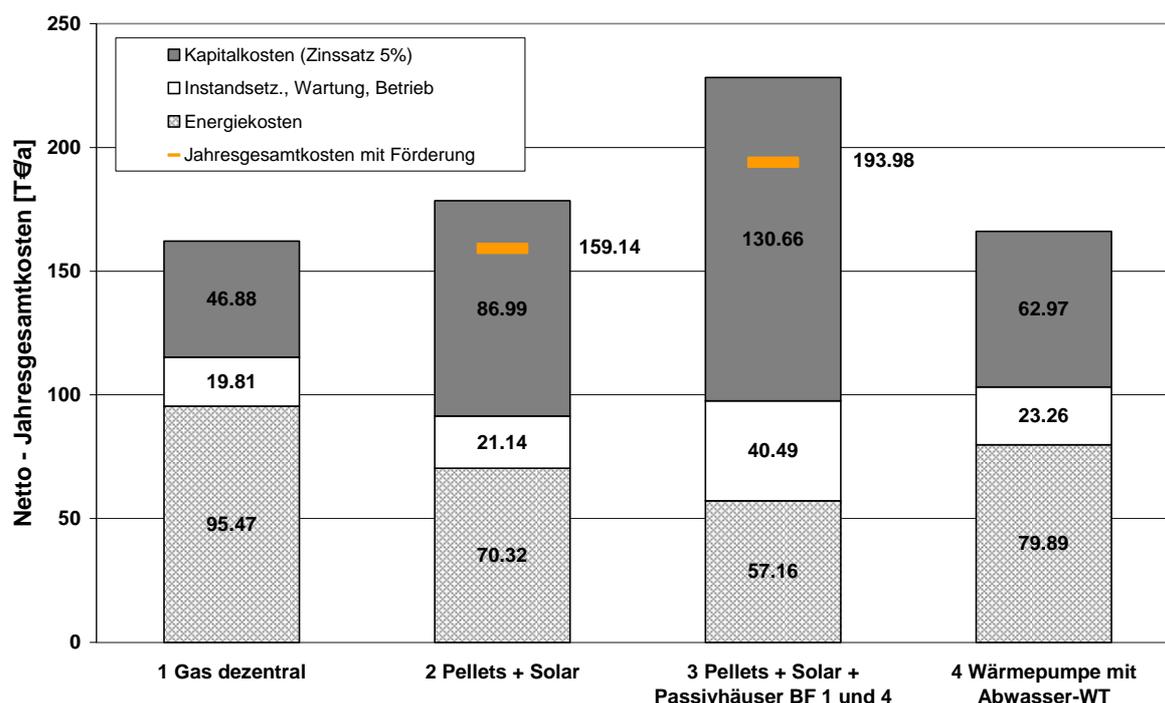


Bild 75 Jahresgesamtkosten (ohne MWSt.) der verschiedenen Varianten

Der Primärenergiebedarf ist ein sehr gutes Maß, um die Umweltfreundlichkeit eines Heizsystems oder Gebäudes zu bewerten. In Bild 76 ist der Primärenergiebedarf für die unterschiedlichen Versorgungsvarianten dargestellt. Primärenergetisch ist die Versorgung über Holzpellets und Solaranlage wesentlich günstiger als über Gasmotor-Wärmepumpe mit Abwasserwärmetauscher oder Gasversorgung, d.h. bis zu 66% besser. Der Passivhausstandard kann den Primärenergiebedarf gegenüber dem Heidelberger Standard um 17% reduzieren.

Mit der Betrachtung der CO₂- Emissionen erfolgt eine weitere ökologische Bewertung der Wärmeversorgung. Da Holzpellets ein nachwachsender Rohstoff sind, fallen für diesen Brennstoff bilanztechnisch kaum CO₂- Emissionen an. Lediglich bei der Herstellung und dem Transport entstehen CO₂-Emissionen. Bei der günstigsten Variante (Holzpelletkessel, Solaranlage und Passivhausstandard Baufeld 1 und 4) lassen sich gegenüber der Basisvariante rund 342 t CO₂ jährlich einsparen. Das entspricht etwa dem Ausstoß von 80 – 100 Neubau-Einfamilienhäusern.

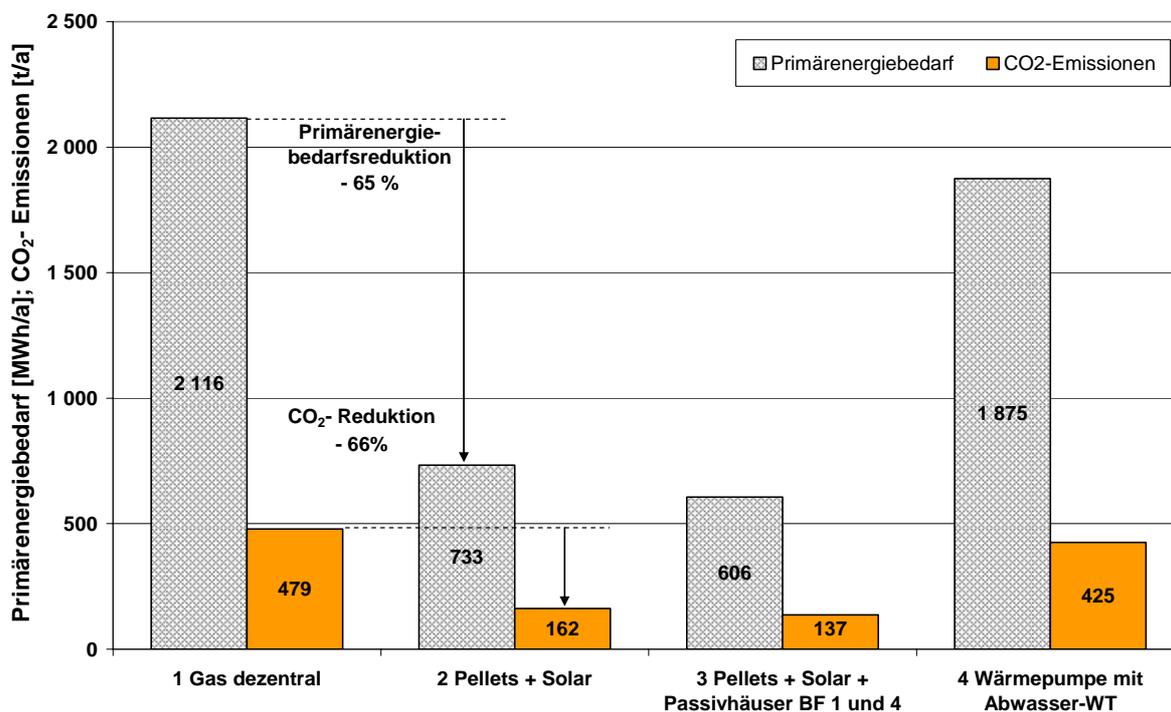


Bild 76 Primärenergiebedarf und CO₂- Emissionen der verschiedenen Varianten

Dem Auftraggeber wurde für die Versorgung des Baugebietes folgendes empfohlen. Es sollte eine zentrale Wärmeversorgung mit Holzpelletkessel und großer Solaranlage aufgebaut werden. Dabei sollte die Heizzentrale in einem Mehrfamilienhaus im Dammweg untergebracht werden, die Solaranlage kann auf den Dächern der Mehrfamilienhäuser in der Planstraße A untergebracht werden. Hierzu sollte allerdings die Dachneigung steiler sein als 15°, damit die Solaranlage wirtschaftlich als Solarroof eingebaut werden kann. Die Investitionskosten sind für diese Variante deutlich höher, bei Betrachtung der Jahresgesamtkosten ist diese Variante aufgrund niedriger Energiepreise jedoch wirtschaftlicher als die dezentrale Wärmeversorgung über Gas-Brennwertkessel. Bei langfristig steigenden Energiepreisen bietet sie darüber hinaus eine höhere Kostensicherheit. Durch die Wärmeversorgung mit regenerativen Energieträgern kann die Umwelt mit niedrigem Primärenergiebedarf sowie niedrigen CO₂-Emissionen effektiv entlastet werden. Die dezentrale Versorgung über Gas-Brennwertkessel führt zu etwa 3-fach höheren Werten.

Zusätzlich sollte eventuell in den Baufeldern 1 und 4 die Passivhausbauweise umgesetzt werden, auch sie lässt sich wirtschaftlich darstellen. Ein Nahwärmenetz sollte möglichst kurz unter Einbeziehung der Keller in den Mehrfamilienhäusern verlegt werden, um Wärmeverluste und Investitionskosten zu sparen.

3.13 Projekt 13 – Goslar, Technologie- und Gründerzentrum

Das Gelände der ehemaligen Rammelsberg Kaserne in Goslar mit einer Nutzfläche von derzeit ca. 25.000 m² soll ab 2008 zu einem Technologie- und Gründerzentrum (TGZG) sowie zu einer Wohnsiedlung umgestaltet werden. Die massiven Gebäude stammen zum Teil aus dem Ende des 19. Jahrhunderts und weisen keinerlei Wärmeschutzmaßnahmen auf. Im Zuge einer Machbarkeitsstudie werden für die Stadt Goslar im Herbst 2006 verschiedenen Wärmeversorgungskonzepte sowie Sanierungsstrategien der Gebäudehülle untersucht und bewertet.

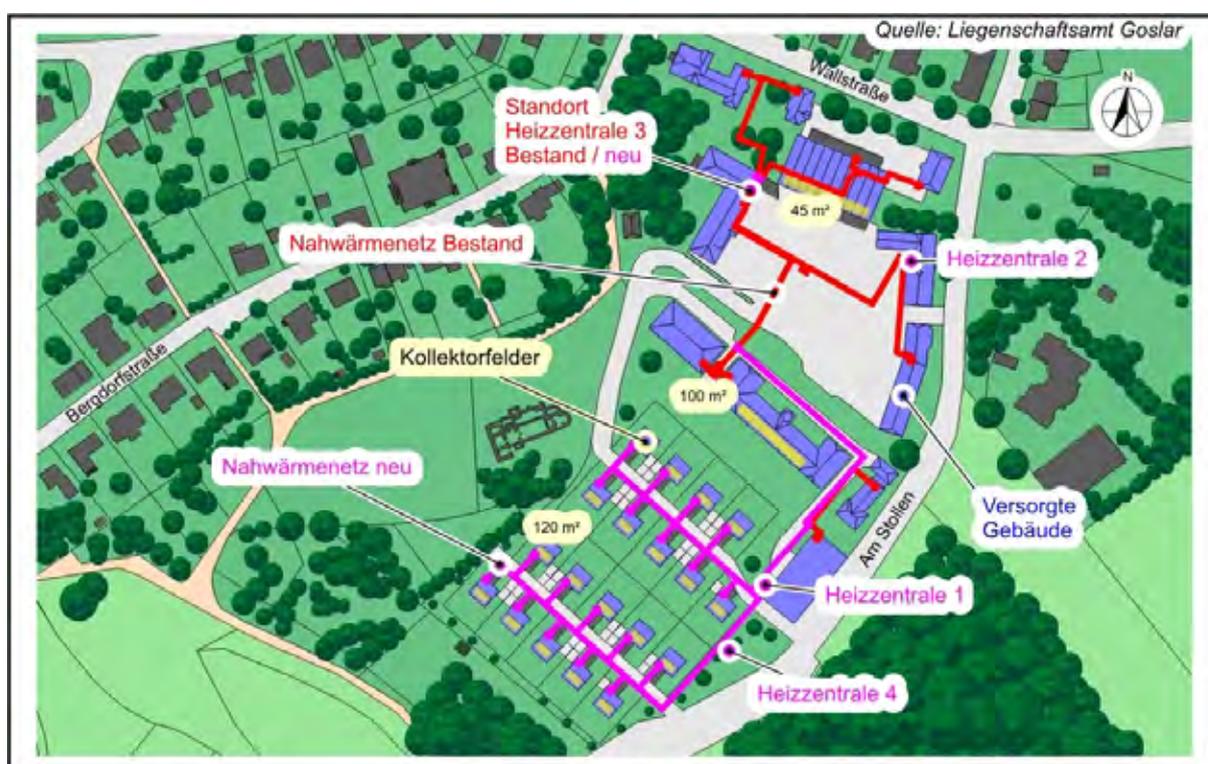


Bild 77 Lageplan Goslar, Technologie- und Gründerzentrum sowie Neubaugebiet

Insgesamt bleiben auf dem Gesamtareal 11 Gebäude erhalten. Im südlichen Teil werden vier große Fahrzeughallen für den Neubau einer Wohnsiedlung mit 20 Einfamilienhäusern abgerissen. In die beiden größten Gebäude wird in naher Zukunft, das Energieforschungszentrum Niedersachsen einziehen. Zur Untersuchung der Wärme- und Kälteversorgungsanlagen erfolgt die Aufteilung in zwei unterschiedliche Nahwärmenetzvarianten. Neben der Bestandsnahwärmenetzlösung werden so genannte Mikronetze betrachtet. Dabei werden nah beieinander liegende Gebäude zu

einer Versorgungseinheit über das vorhandene Versorgungsnetz zusammengeslossen. Ein gleitender Netzbetrieb mit Zu- und Abschaltung von Zentralen und bedarfsoptimierter Regelung steht für den innovativen Ansatz „Virtueller Wärmezeugung im Verbund“. In der Studie werden die Versorgungsvarianten für die Sanierung der Gebäude nach geltender Energieeinsparverordnung, unter Berücksichtigung des Denkmalschutzes, untersucht. Die Rahmendaten des Areals sind in Tabelle 28 aufgeführt.

		Planungstand zum Zeitpunkt der Machbarkeitsstudie
Gebäudetyp	Einfamilienfamilienhäuser, Bürogebäude	
Anzahl der Gebäude	20 EFH, 11 Bürogebäude	
Nutzung	Wohnen, Arbeiten	
Klassifizierung	Neubau, Sanierung	
Anzahl Wohneinheiten	20	
Wohnfläche	2.700 m ² (nur EFH)	
Nutzfläche nach EnEV (A _N)	19.620 m ²	
Jahresheizwärmebedarf	87 kWh/m ² _{ANA}	1.701 MWh/a
Warmwasserbedarf	4 kWh/m ² _{ANA}	83 MWh/a
Netzverluste	194 kWh/m ² _{Tr} a	184 MWh/a
Gesamtwärmebedarf	100 kWh/m ² _{ANA}	1.968 MWh/a
Heizleistungsbedarf	71 W/m ² _{AN}	1.390 kW

Tabelle 28 Eckdaten Machbarkeitsstudie Goslar, Technologie- und Gründerzentrum sowie Neubaugebiet

Der resultierende Heizwärmebedarf der bestehenden Gebäude wird über ein Berechnungsprogramm zum Nachweis der Anforderungen nach Energieeinsparverordnung für Nichtwohngebäude (Monatsbilanz) ermittelt. Die Basis hierzu sind zum einen die von der Stadt Goslar zur Verfügung gestellten Pläne sowie Ergebnisse aus der Begehung der Objekte. Es ergeben sich aufgrund des Denkmalschutzes Bedarfswerte in Höhe von ca. 90 kWh/m²_{ANA}. Die Berechnung der Heizleistung erfolgt in Anlehnung an das vereinfachte Verfahren nach DIN EN 12831.

Zur Ermittlung des Wärme- und Heizleistungsbedarfs der Wohnsiedlung werden für die Gebäude pauschal typische Bedarfswerte von 70 kWh/m²_{ANA} und 45 W/m²_{AN} angesetzt. Diese beruhen auf Erfahrungswerten aus durchgeführten Wärmebedarfsberechnungen für konkrete Gebäude. Für die Ermittlung des Brauchwasserwärmebedarfs wird der nach EnEV angegebene Wert von 12,5 kWh/m²_{ANA} angesetzt. Für die Brauchwassererwärmung sind demnach ca. 57 MWh/a (inklusive 30% Speicher- und Zirkulationsverluste) erforderlich. Für die Turnhalle mit Saunabetrieb wird ebenfalls nach dem gleichen Verfahren der Warmwasserbedarf ermittelt.

Für das Gesamtgebiet entsteht ein jährlicher Heizwärmebedarf von 1.701 MWh/a. Für die Brauchwassererwärmung sind (inklusive 30% Speicher- und Zirkulationsverluste) 84 MWh/a erforderlich. Bei zentraler Versorgung entstehen zudem Netzverluste in Höhe von 184 MWh/a. Dies ergibt einen Nutzwärmebedarf von 1.784 MWh/a und einen Gesamtwärmebedarf ab Heizzentrale von 1.968 MWh/a inkl. Netzverluste, siehe Bild 78. Bei Sanierung der Gebäude reduziert sich der Jahresheizwärmebedarf um ca. 50%. Die erforderliche Heizleistung ab Zentrale beträgt 1.390 kW.

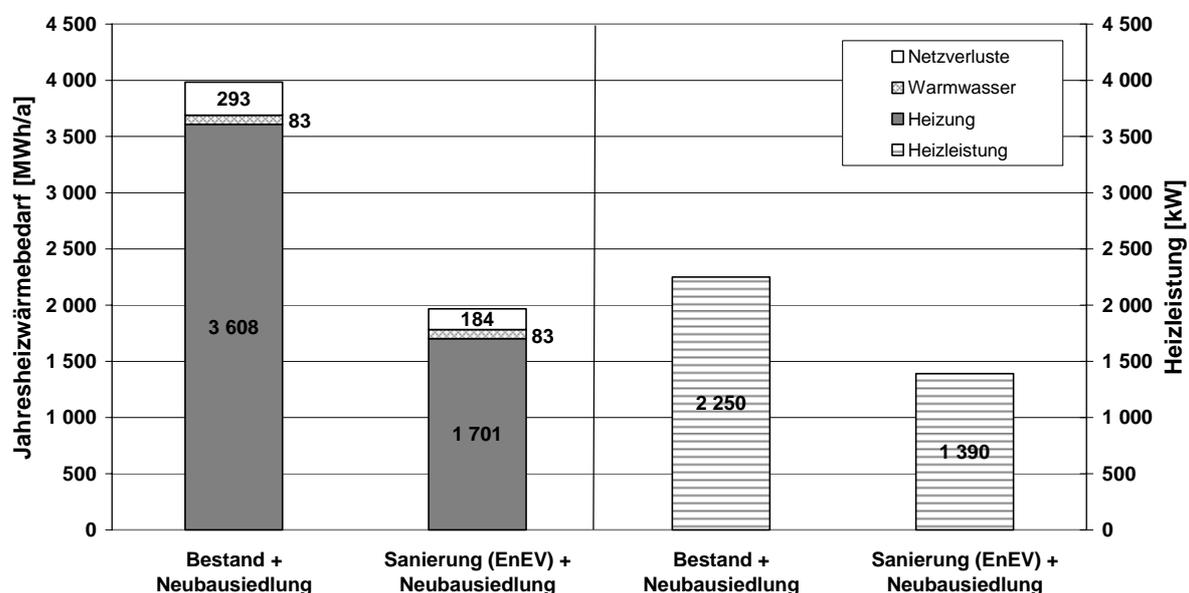


Bild 78 Darstellung Jahresheizwärmebedarf und Heizlast

Variantenbetrachtung

Zur Wärmeversorgung des Areals wurden insgesamt 12 unterschiedliche Varianten im Rahmen der Machbarkeitsstudie untersucht. Im nachfolgenden werden 4 ausgesuchte Varianten mit den oben erwähnten Mikronetzen vorgestellt.

In Absprache mit der Stadt Goslar werden auf dem Gelände vier mögliche Standorte zur Unterbringung der Wärmeversorgungszentralen der Mikronetze ausgewählt. Die Verbindungsleitungen zwischen den einzelnen Heizzentralen bzw. Mikronetzen bleiben hierbei bestehen, um ggf. einen Wärmetransport zwischen den Mikronetzen zu ermöglichen. Für die Wohnsiedlung wird ein neues Nahwärmenetz inklusive Heizzentrale mit Anschluss an das bestehende Nahwärmenetz errichtet. Jedes Einfamilienhaus erhält eine eigene Übergabestation mit hydraulischer Netztrennung und Warmwasserbereitung im Speicherprinzip.

Bei Anschluss aller Häuser und Gebäude hat das Netz eine Länge von etwa 950 m. Die Netzverluste betragen mit 184 MWh/a etwa 9,4 % der von der Heizzentrale abgegebenen Wärmemenge. Ohne Abschaltung von einzelnen Mikronetzen im Sommer würden die Wärmeverluste um etwa das zweifache höher liegen.

Zur Wärmeversorgung werden vier Varianten betrachtet, welche nachfolgend aufgelistet sind:

Var.	zentral/ dezentral	Kesselart	Kesselleistung (je Kessel)	Kollektor- fläche	Speicher- art	Speicher- volumen
1	zentral *)	Gas-BHKW Gas-NTK	180 kW _{th} / 80 kW _{el} 1.210 kW	-	-	-
2	zentral *)	Gas-BWK Gas-NTK	830 kW 560 kW	265 m ²	Heißwasser	16 m ³ (insgesamt)
3	zentral *)	Holzpelletkessel Gas-NTK	700 kW 690 kW	165 m ²	Heißwasser	10 m ³ (insgesamt)
4	zentral *)	Rapsöl-BHKW Gas-NTK	190 kW _{th} / 100 kW _{el} 1.200 kW	-	-	-

(BWK = Brennwertkessel, NTK – Niedertemperaturkessel, *) = vier dezentrale Mikronetze mit Angabe der Gesamtleistung der einzelnen Wärmeerzeuger, BHKW = Blockheizkraftwerk)

Tabelle 29 Varianten der Wärmeversorgung Goslar, Technologie- und Gründerzentrum sowie Neubaugebiet

Bei Variante 1 erfolgt die Wärmeerzeugung zentral in vier Heizzentralen durch jeweils ein oder mehrere Blockheizkraftwerke (BHKW). Ein BHKW deckt in der Regel nur einen Teil der maximalen Heizlast ab, für den Spitzenlastbedarf werden Gaskessel eingesetzt. Beim Einsatz in Wohn- und Bürogebäuden empfiehlt sich ein wärmegeführter Betrieb. Die vorgesehenen Gasmotor- BHKW's ($30 \text{ kW}_{\text{el}} / 65 \text{ kW}_{\text{th}}$ bzw. $5,5 \text{ kW}_{\text{el}} / 12,5 \text{ kW}_{\text{th}}$) werden mit einer Laufzeit von 5.000 h/a angesetzt. Es werden ca. 925 MWh/a Wärme und 390 MWh_{el}/a Strom erzeugt. Dies entspricht einem Wärmeanteil von 47%. Der Strom wird in das öffentliche Netz eingespeist. Die benötigte Kälteleistung für die Bürogebäude wird durch eine Kompressionskältemaschine bereitgestellt.

In Variante 2 erhält jede Heizzentrale der Mikronetze einen Gas-Brennwert-Kessel zur Grundlastsicherung. Für den Spitzenlastbedarf werden Gas-Niedertemperatur-Kessel eingesetzt. Die benötigte Kälteleistung für die Bürogebäude wird durch eine solarunterstützte Absorptionskältemaschine (AKM) mit einer Kollektorfläche von 100 m² bereitgestellt (Pufferspeichervolumen 6 m³). Bei einem erwarteten Ertrag von etwa 350 kWh/(m²-a) ergibt sich ein Ertrag von 35 MWh/a für die Hochleistungsflachkollektoren. Damit werden 50% des Wärmebedarfs für die AKM gedeckt. Zusätzlich wird ein Kollektorfeld mit einer Fläche von 45 m² auf dem Turnhallendach installiert (Volumen Solarspeicher 3 m³). Weiterhin erhält jedes Einfamilienhaus der Siedlung eine thermische Solaranlage zur Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung mit einer Kollektorfläche von 6 m², was in der Summe 120 m² ergibt. Dadurch wird der Warmwasserbedarf der Einfamilienhäuser und der Turnhalle zu 50% solar gedeckt. Bei einem erwarteten Ertrag von etwa 300 kWh/(m²-a) ergibt sich insgesamt ein Ertrag von 56 MWh/a. Damit werden 50% des Bedarfs für die Warmwasserbereitung und 6% des Bedarfs für die Heizung der Einfamilienhäuser gedeckt.

Variante 3 sieht die Versorgung der Mikronetze 1 bis 4 über Holzpelletkessel vor. Zur Abdeckung der Spitzenlast wird ein Gas-Niedertemperatur-Kessel genutzt. Zusätzlich zum Heizraum ist ein Pelletssilo erforderlich, es sollte am günstigsten quadratisch ausgeführt werden. Ein Pufferspeicher verlängert die Betriebszeiten des Holzkessels bei reduzierter Wärmeabnahme in der Übergangszeit. Die benötigte Kälteleistung für die Bürogebäude wird durch eine Kompressionskältemaschine be-

reitgestellt. Die Solaranlagen werden analog zur Variante 2 ebenfalls für die Turnhalle und die Wohnsiedlung berücksichtigt.

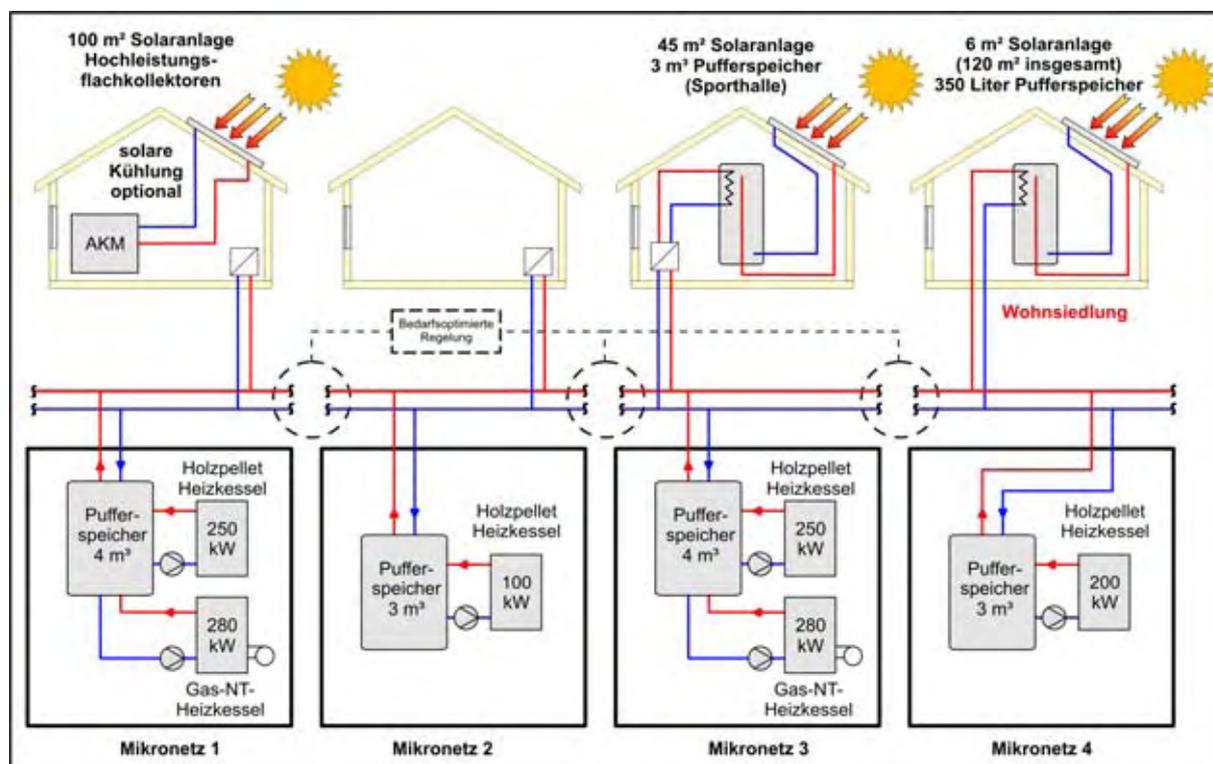


Bild 79 Anlagenschema Variante 3 – Mikronetze mit Holzpelletkessel mit Solaranlagen

Variante 4 basiert auf Variante 1. Das jeweilige Gas- BHKW wird durch ein Rapsöl befeuertes BHKW zur Abdeckung der Grundlast ersetzt. Dabei wird eine größere Leistungseinheit auf der elektrischen Seite installiert. Die vorgesehenen Rapsöl-BHKW's ($40 \text{ kW}_{\text{el}} / 67 \text{ kW}_{\text{th}}$ bzw. $5,5 \text{ kW}_{\text{el}} / 12,5 \text{ kW}_{\text{th}}$) werden mit einer Laufzeit von 5.000 h/a angesetzt. Es werden ca. 945 MWh/a Wärme und 481 MWh_{el}/a Strom erzeugt. Die Einspeisevergütung nach EEG ist in den Jahresgesamtkosten berücksichtigt. Für den Spitzenlastbedarf werden Gaskessel eingesetzt.

Ergebnisse

Bild 80 zeigt die Investitionskosten für die Wärmeversorgung bei allen Varianten, aufgeteilt nach den verschiedenen Anlagenteilen.

Bei Variante 3 wurde eine Förderung durch die KfW Förderbank für den Holzkessel in Höhe von 24 €/kW berücksichtigt. Weiterhin wurden für Varianten 2 und 3 die Kosten für die solaren Komponenten zu 30% durch Solarthermie2000plus als förderfähig angesetzt.

Die niedrigsten Investitionen stellen sich bei Variante 1 und 4 ein, bei der die Grundlast durch Kraft-Wärme-Kopplung sichergestellt wird. Die teuerste Versorgungsvariante ist Variante 3 mit Pelletkessel und Solaranlage. Die Investitionskosten sind hierbei etwa 20% höher.

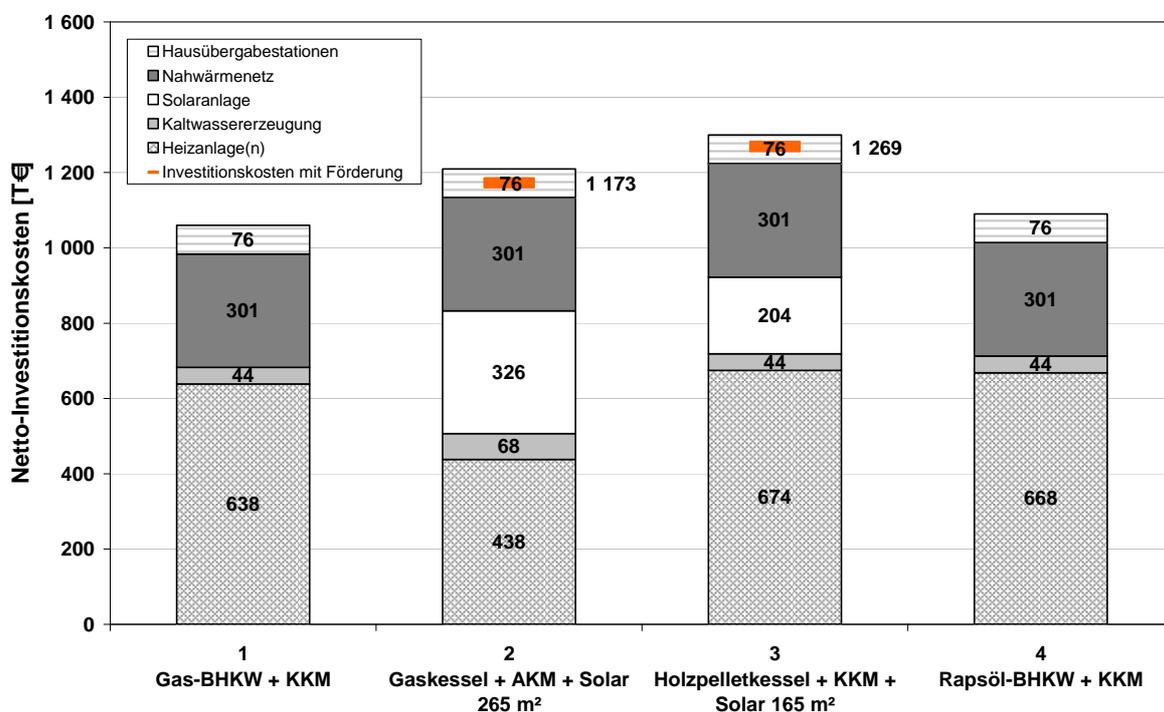


Bild 80 Gesamt-Investitionskosten (inkl. Planung, ohne MWSt.) der verschiedenen Varianten

In Bild 81 sind die Jahresgesamtkosten für die unterschiedlichen Varianten dargestellt, welche sich aus den Kapitalkosten, Instandsetzungs-, Wartungs-, und Betriebskosten sowie den Energiekosten zusammensetzen. Bei den Varianten mit BHKW's werden zudem Einnahmen durch Stromerzeugung erzielt. Berücksichtigt sind auch die Einsparungen durch die Förderung für die Solaranlagen.

Die Jahresgesamtkosten der verschiedenen Varianten liegen zwischen 225 und 250 T€/a. Dabei liegen die KWK- Lösungen der Varianten 1 und 4 auf ungefähr gleichem Niveau wie die Versorgung mit Holzpellets und Solaranlage (Variante 3).

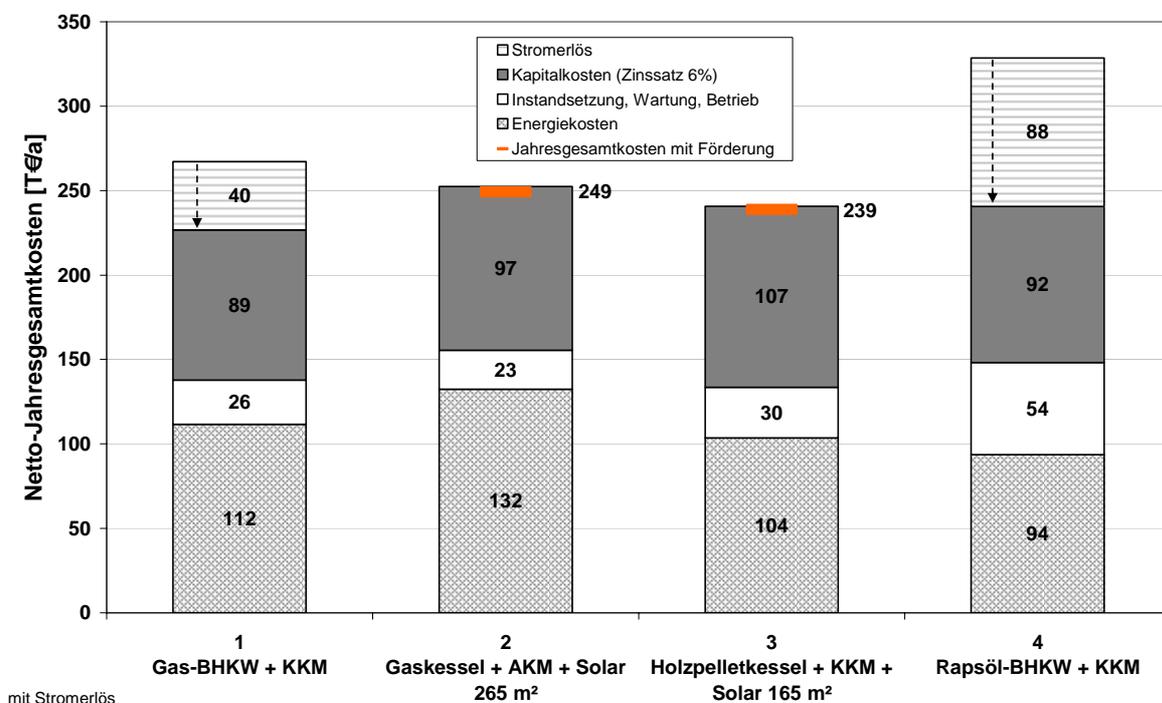


Bild 81 Jahresgesamtkosten (ohne MWSt.) der verschiedenen Varianten

Der Primärenergiebedarf ist ein sehr gutes Maß, um die Umweltfreundlichkeit eines Heizsystems oder Gebäudes zu bewerten. In Bild 82 ist der Primärenergiebedarf für die unterschiedlichen Versorgungsvarianten dargestellt. Primärenergetisch ist die Versorgung über Holzpellets in Kombination mit der Solaranlage sowie über Rapsöl wesentlich günstiger als über Erdgas. d.h. bis zu 75% besser.

Mit der Betrachtung der CO₂- Emissionen erfolgt eine weitere ökologische Bewertung der Wärmeversorgung. Da Holzpellets und Rapsöl ein nachwachsender Rohstoff sind, fallen für diese Brennstoffe bilanztechnisch wenig CO₂- Emissionen an. Lediglich bei der Herstellung und dem Transport entstehen CO₂-Emissionen. Bei der günstigsten Variante (Rapsöl- BHKW) lassen sich gegenüber Variante 1 rund 265 t CO₂ jährlich einsparen.

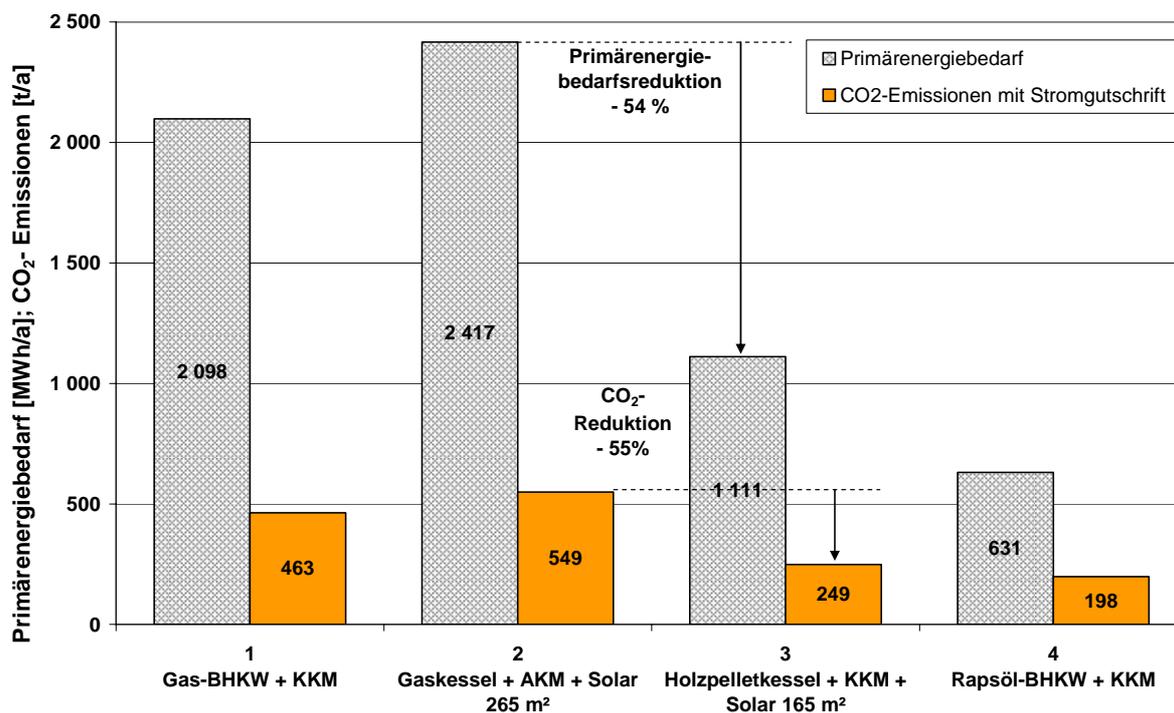


Bild 82 Primärenergiebedarf und CO₂- Emissionen der verschiedenen Varianten

Dem Auftraggeber wurde für die Versorgung des Areals folgendes empfohlen.

Bei der Auswahl einer Versorgungsvariante für das Technologie- und Gründerzentrum Goslar muss zunächst die Frage des Betreibers geklärt werden. Wenn die Stadt Goslar in Kooperation mit dem Energieforschungszentrum Niedersachsen als Betreiber in Frage kommen, sollte eine innovative Wärme- und Stromversorgung unter Berücksichtigung der energetischen Sanierung der Gebäude aufgebaut werden. Die Festlegung einer Zielstellung wäre dabei ein erster Schritt, wie z.B.:

- Ziel geringe Investitionskosten
- Ziel geringe Jahresgesamtkosten über Gesamtnutzungsdauer
- Ziel Innovative Wärme- und Stromversorgung
- Ziel geringe CO₂- Emissionen
- Ziel Reduktion des Jahresheizwärme- und Primärenergiebedarfs

3.14 Projekt 14 – Bremen, Stiftungsdorf Borgfeld

Die Heimstiftung Bremen plant im Baugebiet Borgfeld West die Errichtung von betreuten Seniorenwohnungen. In 4 Gebäuden sollen Wohnungen für jeweils 1 oder 2 Personen entstehen. Zusätzlich sind Gemeinschaftseinrichtungen vorgesehen. Die 4 Gebäude werden in zwei Bauabschnitten errichtet und besitzen eine Gesamt-Bruttogrundfläche (BGF) von 7.130 m², wovon allein 44% auf Haus 1 entfallen. Im Auftrag der Bremer Energiekonsens GmbH wurde im Frühjahr 2007 ein zukunftsfähiges Energiekonzept erarbeitet, welches deutlich über die Anforderungen der Energieeinsparverordnung (EnEV) hinausgeht. Dabei soll eine optimale Kombination von baulichem Wärmeschutz und effizienter Wärmeerzeugung gefunden werden.



Bild 83 Lageplan Bremen, Stiftungsdorf Borgfeld

Die Gebäude weisen eine ähnliche Grundstruktur auf. Haus 1 hat 3 Geschosse, die übrigen Gebäude 2 Geschosse. Die Dächer werden abwechselnd als Flach- und Satteldächer ausgeführt, wobei bei den Gebäudeabschnitten mit Satteldach jeweils die oberste Geschossdecke gedämmt wird, so dass aus wärmetechnischer Sicht eine kompakte Gebäudehülle vorhanden ist.

Die Rahmendaten sind in der Tabelle 30 aufgeführt.

		Planungstand zum Zeitpunkt der Machbarkeitsstudie	
Gebäudetyp	Senioren-Wohnanlage		
Anzahl der Gebäude	4		
Nutzung	Wohnen		
Klassifizierung	Neubau		
Anzahl Wohneinheiten	ca. 120 WE		
Wohnfläche	5.939 m ²		
Nutzfläche nach EnEV (A _N)	6.392 m ²		
Jahresheizwärmebedarf	47,9 kWh/m ² _{ANA}	306 MWh/a	
Warmwasserbedarf	25 kWh/m ² _{ANA}	160 MWh/a	
Netzverluste	121 kWh/m ² _{Tr}	20 MWh/a	
Gesamtwärmebedarf	76 kWh/m ² _{ANA}	486 MWh/a	
Heizleistungsbedarf	34 W/m ² _{AN}	242 kW	

Tabelle 30 Eckdaten Machbarkeitsstudie Bremen, Stiftungsdorf Borgfeld

In der Machbarkeitsstudie wurde in neun Varianten am Beispiel von Haus 1 untersucht, welcher technische Aufwand erforderlich ist, um den KfW60-, KfW40- sowie Passivhaus- Standard einzuhalten. Für Haus 1 wird ein A/V-Verhältnis von 0,46 m⁻¹ ermittelt. Daraus ergeben sich, je nach angestrebtem Energiestandard, die in Tabelle 31 zusammengestellten Anforderungen an die energetischen Kennwerte in Bezug auf eine Wärmeversorgung (Heizung und WW- Bereitung) mit Gas-Brennwertkessel.

Energiestandard	Transmissionswärmeverlust H _T '		Primärenergiebedarf	
	W/m ² K	%	kWh/m ² _{ANA}	%
EnEV	0,63	100%	86,1	100%
KfW60	0,44	70%	60	70%
KfW40	0,35	55%	40	47%
Passivhaus	0,27	43%	-	-

Tabelle 31 Anforderungen an Gebäudehülle und Primärenergiebedarf für Haus 1 bei unterschiedlichen Standards

Tabelle 32 gibt eine Übersicht über die Maßnahmen zur Erreichung des EnEV-, KfW60-, KfW40- und Passivhaus- Standards. Zum einen ist eine Verbesserung des Wärmeschutzes erforderlich. Zum anderen können auf der Seite der Anlagentechnik Veränderungen vorgenommen werden, wie die Reduzierung der Lüftungswärmeverluste durch kontrollierte Lüftung, der Einsatz erneuerbarer Energieträger sowie eine effiziente Wärmeerzeugung (z.B. mit Wärmepumpe).

	1 EnEV	2 KfW60	3 KfW60	4 KfW60	5 KfW60	6 KfW40	7 KfW40	8 KfW40	9 Passiv
	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
Außenwand	10	20	16	16	14	20	16	16	28
Fenster [W/m ² K]	1,40	0,90	1,30	1,30	1,30	0,90	0,90	0,90	0,80
Flachdach	14	24	20	20	18	22	20	20	30
Boden gg. Erdreich	8	18	8	8	8	16	12	12	22
Auslegung Heizung	70/55	55/45	55/45	55/45	70/55	55/45	70/55	55/45	55/45
Blower-Door-Test	nein	ja	ja	ja	nein	ja	nein	ja	ja
Lüftung mit WRG	nein	nein	ja	nein	nein	ja	nein	nein	ja
Solaranlage	nein	nein	nein	ja	nein	ja	nein	nein	ja
H _T ' (mittl. U-Wert)	0,51	0,31	0,41	0,41	0,43	0,32	0,34	0,34	0,27
Heizwärmebedarf [kWh/m ² _{ANA}]	51,0	29,0	24,2	37,4	43,5	17,7	36,8	36,8	9,5
Primärenergiebedarf [kWh/m ² _{ANA}]	85,9	60,0	59,7	60,0	50,1	39,9	16,3	45,2	44,2
Mehrinvestition [€/m ² _{AN}]	-	45	54	30	25	103	52	46	148

Tabelle 32 Dämmstoffstärken und zusätzliche Maßnahmen zur Erreichung des EnEV-, KfW60-, KfW40- bzw. Passivhaus- Standards

Für die fünf untersuchten Wärmeversorgungsvarianten sind jeweils unterschiedliche Wärmebedarfswerte anzusetzen, da die Varianten auf unterschiedlichen Energiestandards beruhen. Mit den jeweiligen U-Werten und der Gebäudegeometrie von Haus 1 wird der Heizwärmebedarf nach dem Berechnungsverfahren der EnEV ermittelt. Es ergeben sich Werte von 37 bis 44 kWh/m²_{ANA}. Aufgrund der zu erwartenden Nutzungsgewohnheiten (Lüftungsverhalten, höheres Raumtemperaturniveau) wurde darauf ein Zuschlag von etwa 7 kWh/m²_{ANA} gemacht. Für Haus 2 bis 4 wurde der

Heizwärmebedarf zusätzlich um 5 kWh/m²_{ANA} erhöht, da diese Gebäude nur 2 Geschosse (anstatt 3 bei Haus 1) haben und damit wesentlich weniger kompakt sind.

Der Warmwasserbedarf ist laut EnEV pauschal mit einem Wert von 12,5 kWh/m²_{ANA} zu berücksichtigen. Mit Speicher und Verteilverlusten ergibt sich dabei in der Regel ein Bedarf ab Heizkessel von 20 kWh/m²_{ANA}. Aufgrund der vorgesehenen Nutzung wird hierfür ein Bedarf von 25 kWh/m²_{ANA} angesetzt.

Mit den beschriebenen spezifischen Werten ergibt sich ein Wärmebedarf für die Heizung von 306 MWh/a bzw. 336 MWh/a (je nach Dämmstandard), für die Warmwasserbereitung 160 MWh/a, in der Summe inkl. Netzverluste 486 MWh/a bzw. 518 MWh/a, siehe Bild 84. Der Leistungsbedarf wird bei allen Varianten gleich hoch angesetzt mit einem Wert von 240 kW. Bei unterschiedlichen Dämmstandards sind die Abweichungen im Leistungsbedarf normalerweise geringer als im Jahresheizwärmebedarf.

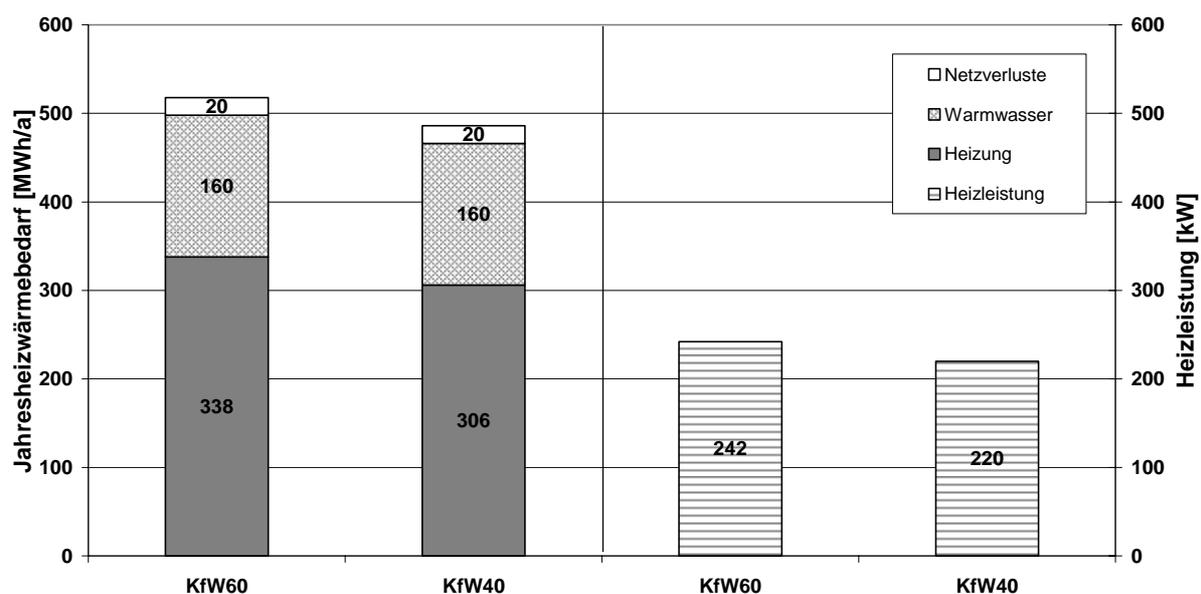


Bild 84 Darstellung Jahresheizwärmebedarf und Heizlast

Variantenbetrachtung

Zur Wärmeversorgung der beiden Gebäude wurden fünf unterschiedliche Varianten im Rahmen der Machbarkeitsstudie untersucht.

Im Untergeschoss von Haus 1 wird im westlichen Eingangsbereich eine Heizzentrale errichtet. Der Platzbedarf ist abhängig von der Art der Wärmeerzeuger und wird bei den einzelnen Variantenbeschreibungen genannt. Von der Heizzentrale aus wird die Wärme über ein 2-Leiter-Wärmenetz verteilt. Bei Anschluss aller vier Häuser hat das Netz eine Länge von etwa 168 m (PEX- DUO- Rohre DN40). Die Netzverluste betragen mit 20 MWh/a etwa 4,1 % der von der Heizzentrale abgegebenen Wärmemenge. Für Haus 1 und 2 ist eine gemeinsame Hausübergabestation ausreichend. Für die beiden anderen Gebäude sind jeweils getrennte Übergabestationen vorgesehen. Als Übergabestationen werden indirekte Stationen mit Speicher-Lade-System vorgesehen, d.h. die jeweiligen Hausnetze sind hydraulisch vom Verteilnetz durch einen Wärmetauscher getrennt. Zur Beladung der Warmwasser-Speicher wird ein externer Wärmetauscher eingesetzt (Speicher-Lade-System). Zur Wärmeversorgung werden fünf Varianten betrachtet, welche nachfolgend aufgelistet sind:

Var.	zentral/ dezentral	Kesselart	Kesselleistung (je Kessel)	Kollektor- fläche	Speicher- art	Speicher- volumen
1	zentral (KfW60)	Gas-BWK	240 kW	400 m ²	Heißwasser (MTS)	80 m ³
2	zentral (KfW40)	Holzpelletkessel	220 kW	250 m ²	Heißwasser	15 m ³
3	zentral (KfW40)	Holzpelletkessel	220 kW	-	-	3 m ³
4	zentral (KfW60)	Gas-BHKW Gas-BWK	60 kW _{th} / 30 kW _{el} 180 kW	-	-	3 m ³
5	zentral (KfW40)	Gas-BHKW Gas-BWK	60 kW _{th} / 30 kW _{el} 180 kW	-	-	3 m ³

(BWK = Brennwertkessel, MTS = Mehrtagespeicher)

Tabelle 33 Varianten der Wärmeversorgung Bremen, Stiftungsdorf Borgfeld

Variante 1 betrachtet die Versorgung mit einem Gasbrennwert Kessel (240 kW) und einer Solaranlage mit Mehrtagespeicher. Die Solaranlage wird so ausgelegt, dass sie 25% des Gesamtwärmebedarfs decken kann. Bei einem Ertrag von 300 kWh/m²a ist eine Kollektorfläche von 400 m² erforderlich. Auf Haus 2 ist die Aufstellung von ca. 300 m² möglich, so dass zusätzlich auch die Dächer von Haus 3 zur Kollektoraufstel-

lung erforderlich wären (Solarroof-Elemente, Dachneigung 45°). Für einen Mehrtagesspeicher ist ein Puffervolumen von etwa 200 l/m² Kollektor erforderlich. Dies ergibt einen Pufferspeicher von 80 m³. Ein Puffer in dieser Größe muss außen aufgestellt werden und sollte frühzeitig in die architektonische Integration eingeplant werden. Mit der gewählten Gebäudehülle (Variante 4 aus Tabelle 32) und Wärmeerzeugung wird der KfW60- Standard erreicht.

In Variante 2 wird als Haupt-Wärmeerzeuger ein Pelletkessel mit einer Leistung von 220 kW eingesetzt, zusätzlich ist eine Solaranlage mit Kurzzeitspeicher vorgesehen. Die Solaranlage wird so ausgelegt, dass sie 45% des Bedarfs für Brauchwarmwasser und Netzverluste deckt. Bei einem erwarteten Ertrag von 325 kWh/m²a ergibt sich eine Kollektorfläche von 250 m² und ein Pufferspeichervolumen von 15 m³. Zur Unterbringung der Kollektoren sind die Dächer von Haus 2 ausreichend. Die Kombination aus Gebäudehülle (Variante 7 aus Tabelle 32) und Wärmeerzeugung entspricht dem KfW40- Standard.

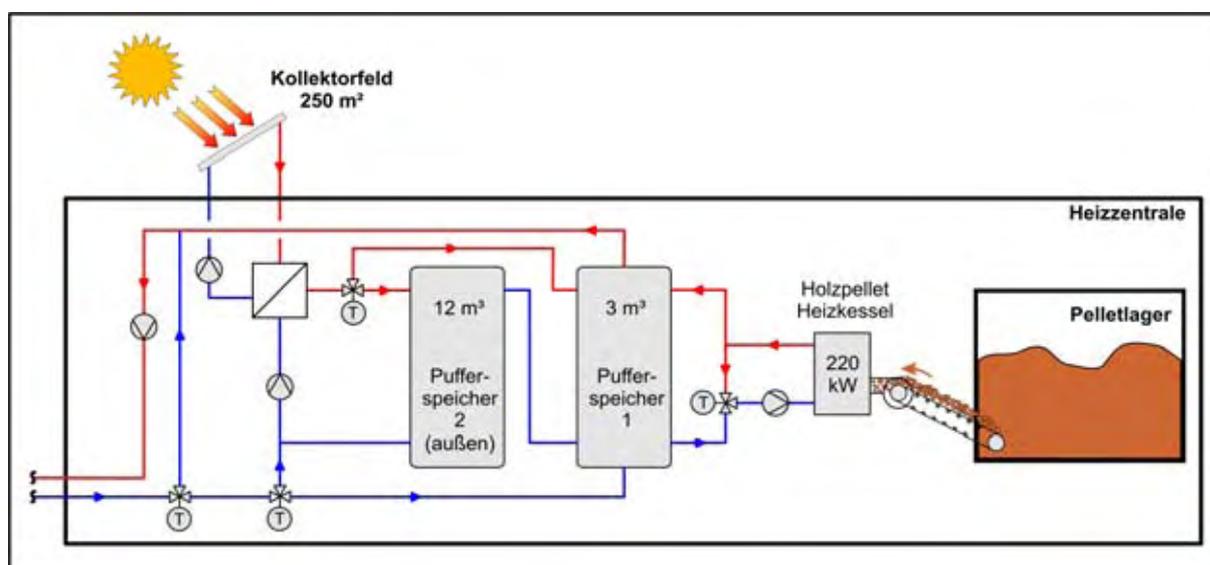


Bild 85 Anlagenschema Variante 2 – Holzpelletkessel mit Solaranlage 250 m²

In Variante 3 wird eine Wärmeversorgung nur mit Pelletkessel untersucht, die Solaranlage entfällt. Zur Umsetzung des KfW 40-Standards ist sie nicht erforderlich, da der Holzkessel bereits vollständig mit erneuerbaren Energien betrieben wird. Pellet-

kessel und -lager entsprechen dem von Variante 2, der Pufferspeicher ist jedoch mit 3 m³ deutlich kleiner. Er muss nur die Leistungsspitzen abdecken und soll einen gleichmäßigeren Betrieb des Pelletkessels ermöglichen.

In Variante 4 erfolgt die Wärmeerzeugung mit einem Gas-BHKW mit einer Leistung von 30 kW_{el} und 60 kW_{th}. Damit werden etwa 25% der Heizleistung abgedeckt. Bei einer erwarteten Laufzeit von mindestens 6.000 h/a werden mit dem BHKW 70% des jährlichen Wärmebedarfs gedeckt. Der Rest wird durch einen Gas-Spitzenlastkessel mit 180 kW bereitgestellt. Ein Pufferspeicher mit 3 m³ Inhalt kann die Wärme aus 2 h BHKW-Betrieb speichern. Dies verhindert vor allem in der Übergangszeit und im Sommer das Takten des BHKW's. Zudem erhöht sich dadurch die Gesamtlaufzeit des BHKW's, da kurzfristige Lastspitzen aus dem Puffer gedeckt werden. Die Kombination aus Gebäudehülle (Variante 5 aus Tabelle 32) und Wärmeerzeugung entspricht dem KfW60- Standard.

Variante 5 ist in der Wärmeerzeugung identisch zu vorherigen Variante. Mit der gewählten Gebäudehülle ((Variante 8 aus Tabelle 32) wird der KfW40- Standard erreicht.

Ergebnisse

Bild 86 zeigt die Investitionskosten für erhöhten Wärmeschutz und für die Wärmeversorgung bei allen Varianten, aufgeteilt nach den verschiedenen Anlagenteilen. Förderprogramme sind in letzter Zeit extrem "kurzlebig" geworden, sie werden häufig nach kurzer Laufzeit wieder ausgesetzt, wenn die eingesetzten Mittel ausgeschöpft sind. Daher werden keine Förderprogramme in der Wirtschaftlichkeitsberechnung berücksichtigt.

Bei den KfW 60-Varianten entstehen Kosten von 460 T€ (Variante 1) bzw. 295 T€ (Variante 4). Die Investitionen bei den KfW 40-Varianten liegen zwischen 430 T€ und 620 T€ (Variante 2, 3 und 5). Die jeweils günstigsten Varianten sind die mit Einsatz eines Gas-BHKW's. Die Mehrkosten von Variante 4 zu 5 (KfW 60 anstatt KfW 40) bei gleicher Versorgung betragen dabei etwa 135 T€.

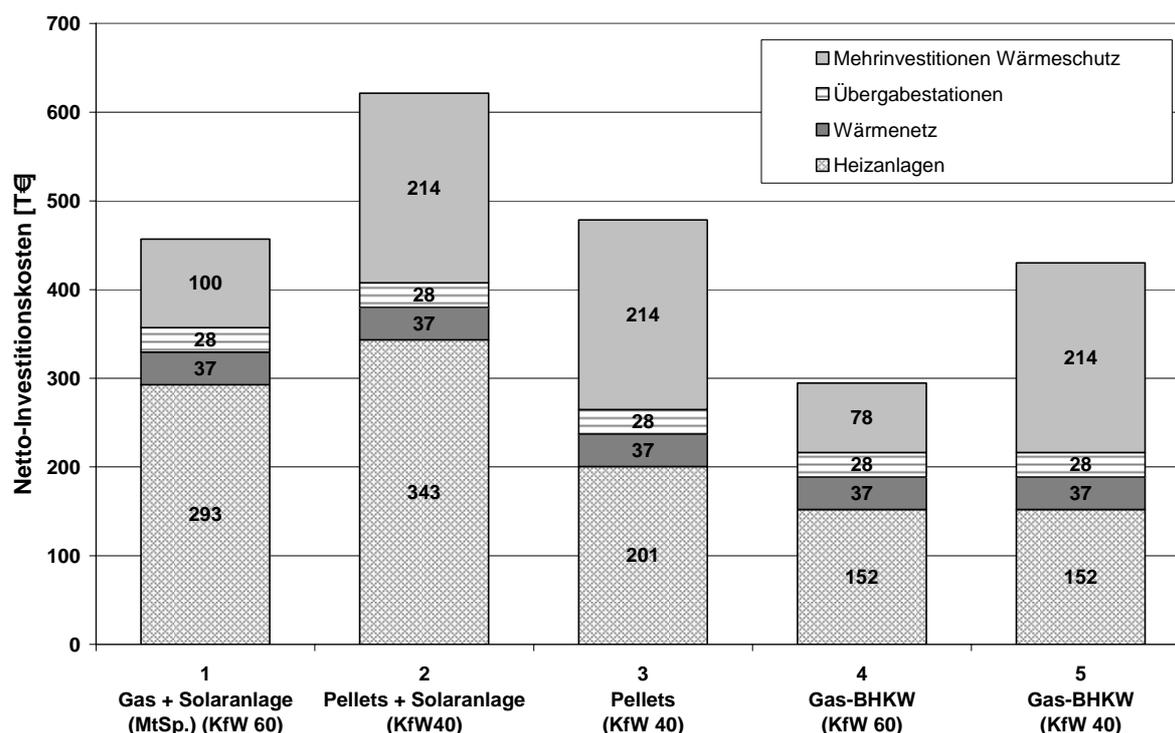


Bild 86 Gesamt-Investitionskosten (inkl. Planung, ohne MWSt.) der verschiedenen Varianten

In Bild 87 sind die Jahresgesamtkosten für die unterschiedlichen Varianten dargestellt. Bei den BHKW's wird als Stromerlös für den größten Teil die Einspeisevergütung nach KWKG-Gesetz angenommen, ein Anteil von 10% wird als Eigenverbrauch ("Allgemeinstrom") angesetzt.

Für die KfW 60-Varianten (1 und 4) gilt: Die Versorgung mit BHKW ist mit knapp 50 T€/ pro Jahr deutlich günstiger als mit Gas und Solaranlage. Auch bei den KfW 40-Varianten (2,3 und 5) ist die Versorgung mit BHKW (57 T€/a) die günstigste Variante, die anderen Varianten verursachen um 7 bis 16 T€/a höhere Kosten. Für den Vergleich von Variante 4 zu 5 gilt: Die höheren Kapitalkosten für den verbesserten Wärmeschutz (8.800 €/a) werden nur zum Teil durch Energiekosteneinsparungen (1.750 €/a) gedeckt, somit verbleiben jährliche Mehrkosten von 7.050 €

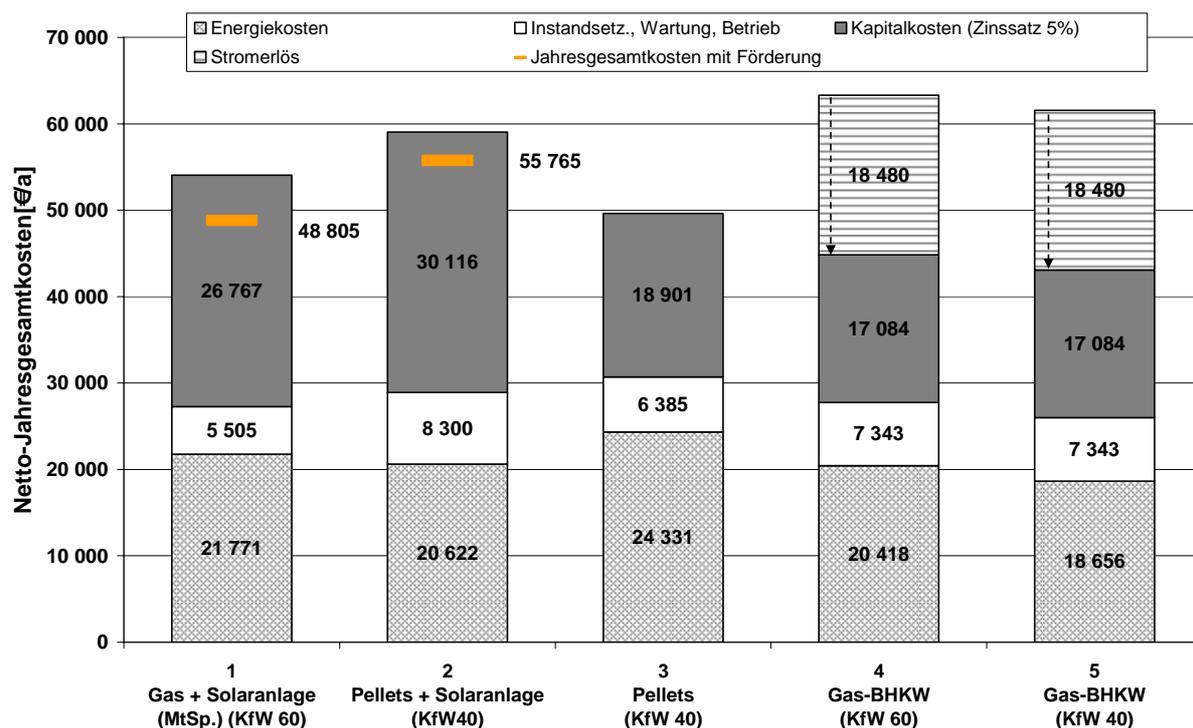


Bild 87 Jahresgesamtkosten (ohne MWSt.) der verschiedenen Varianten

Mit der Betrachtung des Primärenergiebedarfes und der CO₂- Emissionen erfolgt eine ökologische Bewertung der Wärmeversorgung, siehe Bild 88.

Bei den Varianten 2 und 3 wird durch den Einsatz des Energieträgers Holz eine Reduktion der CO₂-Emissionen um ca. 70% erzielt. Bei Einsatz von Gasmotor- BHKW's erhöhen sich zwar die Emissionen vor Ort, durch eine so genannte Stromgutschrift für die Vermeidung von Emissionen im konventionellen Kraftwerk wird effektiv eine CO₂- Reduzierung erreicht. Bei Variante 4 beträgt diese etwa 25%, bei Variante 5 etwa 33%.

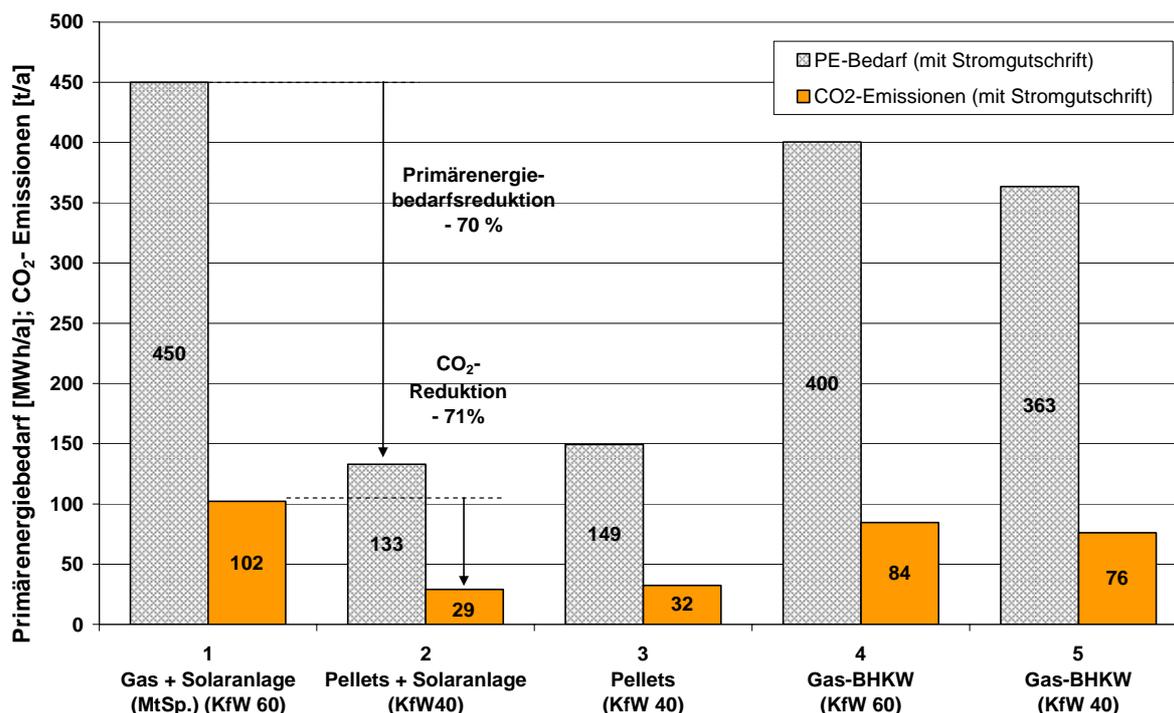


Bild 88 Primärenergiebedarf und CO₂- Emissionen der verschiedenen Varianten

In einem ersten Schritt wurde eine Reihe von Umsetzungsstrategien zur Umsetzung des KfW 60- bzw. des KfW 40-Standards untersucht. Dabei wurde der dafür erforderliche technische und finanzielle Aufwand verglichen. Für ausgewählte Varianten wurde in einem zweiten Schritt ein detaillierter Vergleich verschiedener Wärmeversorgungen betrachtet. Dabei sind in einer Gesamtkostenbetrachtung sowohl die Investitionskosten als auch die Betriebs- und Energiekosten betrachtet worden. Dem Auftraggeber wird folgendes empfohlen:

Umsetzung des KfW 40-Standards durch

- verbesserten Wärmeschutz
- zentrale Wärmeversorgung mit Gas-BHKW als Grundlastherzeuger und Gas-Spitzenkessel

3.15 Projekt 15 – Hohenhameln, Wärmeversorgung Ortsteil Bründeln

Der Ort Bündeln in Niedersachsen mit 158 Einwohnern liegt nordöstlich von Hildesheim. Die Stadt stellt mit der vorhandenen Bebauung aus Reihen- und Einfamilienhäusern mit insgesamt etwa 55 Wohngebäuden eine für Deutschland typische Ortschaft überwiegend dörflichen Charakters dar. Die bestehenden Gebäude sind zum Teil als Fachwerkgebäude errichtet. Weitere Gebäude aus dem Errichtungszeitraum zwischen etwa 1960 bis 2006 sind überwiegend als Massivbauten ausgeführt. Ziel einiger Initiatoren der Gemeinde ist eine Nahwärmeversorgung für die Ortschaft Bründeln mit möglichst hohem Deckungsanteil über regenerative Energieträger bei wirtschaftlich vertretbaren Wärmekosten, d.h. die größtmögliche Unabhängigkeit von endlichen, fossilen Brennstoffen.

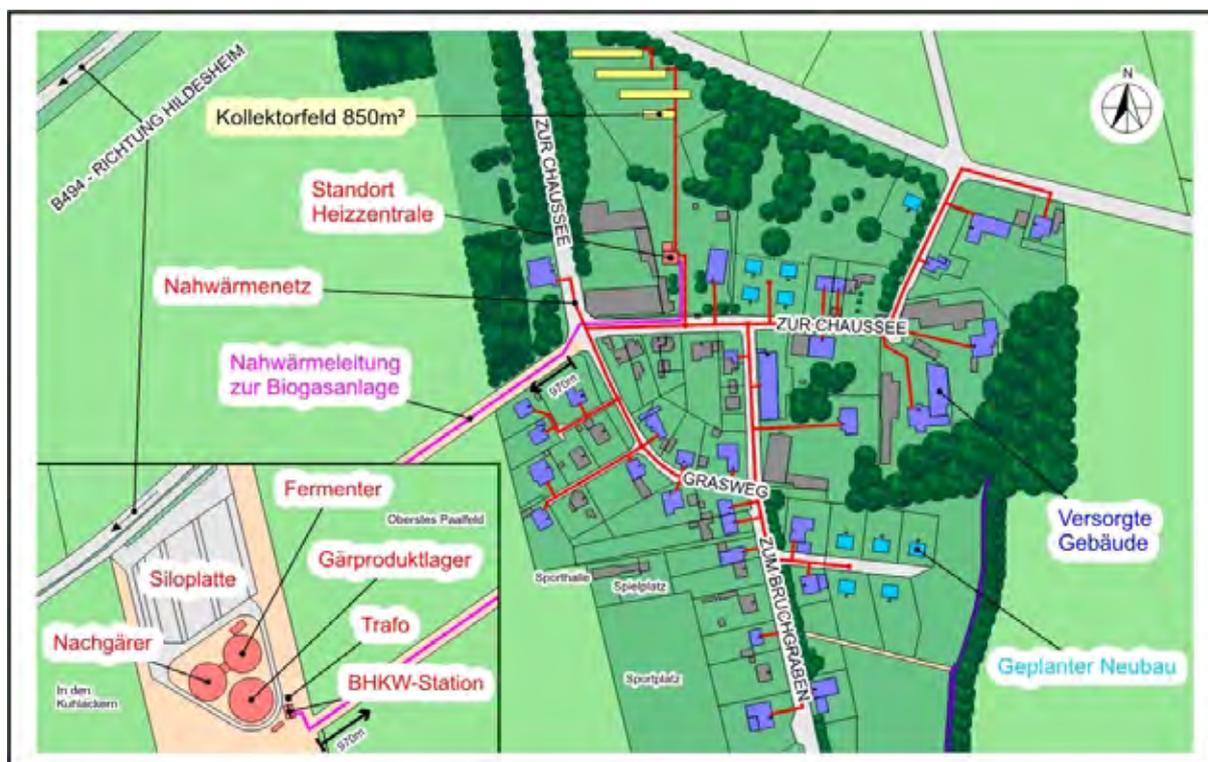


Bild 89 Lageplan Ortschaft Bründeln – Landkreis Hildesheim

Deshalb wurde im Herbst 2006 ein zukunftsorientiertes Energiekonzept entwickelt. Dabei werden verschiedene Varianten der Wärmeversorgung grob dimensioniert und hinsichtlich des Energiebedarfs, der Kosten und der ökologischen Auswirkungen

verglichen. Ein weiteres Ziel ist eine möglichst weitgehende Reduzierung der CO₂-Emissionen bei vertretbaren Kosten.

In der Studie werden für drei Ausbaustufen die Grundlagen ermittelt. Das Ergebnis der Anwohnerbefragung ist dabei ausschlaggebend für die Größe des Nahwärmenetzes und der Heizzentrale. Insgesamt ergibt sich bei etwa 60% der Haushalte der Ortschaft Bründeln ein großes Interesse an einer Nahwärmeversorgung. In der Machbarkeitsstudie werden für die erste Ausbaustufe die weiteren Untersuchungen durchgeführt.

Ein in Anlehnung an den Forschungsbericht vom Institut für Wohnen und Umwelt [IWU, 2005] erstellter Fragebogen wird an alle Anwohner der Ortschaft verteilt und ausgewertet. In dem entwickelten Erfassungsbogen werden neben dem Zustand und Größe (beheizte Fläche) der Gebäude auch die Anzahl der Bewohner (Warmwasserbedarf) sowie die Art der Wärmeerzeugung und -verteilung abgefragt. Auf Basis der Ergebnisse werden die Wärmebedarfswerte der Gebäude im Abgleich mit einem Raster für 17 verschiedene Gebäudetypen und dem angegebenen jährlichen Energieverbrauch ermittelt. Nach der durchgeführten Bestandsaufnahme weißt das Versorgungsgebiet in der ersten Ausbaustufe folgende Kennwerte auf:

Planungstand zum Zeitpunkt der Machbarkeitsstudie		
Gebäudetyp	Einfamilienhäuser	
Anzahl der Gebäude	31	
Nutzung	Wohnen, Gewerbe	
Klassifizierung	Sanierung	
Anzahl Wohneinheiten	31	
Wohnfläche	-	
Nutzfläche nach EnEV (A _N)	7.194 m ²	
Jahresheizwärmebedarf	138 kWh/m ² _{ANA}	
Warmwasserbedarf	18 kWh/m ² _{ANA}	133 MWh/a
Netzverluste	263 kWh/m _{T,a}	425 MWh/a
Gesamtwärmebedarf	216 kWh/m ² _{ANA}	1.551 MWh/a
Heizleistungsbedarf	122 W/m ² _{AN}	880 kW (ohne Gleichzeitigkeit)

Tabelle 34 Eckdaten Machbarkeitsstudie Ortschaft Bründeln – Ausbaustufe I

Der Jahresheizwärmebedarf setzt sich aus den Netzverlusten, dem Warmwasserbedarf und dem Heizungswärmebedarf zusammen. Bild 90 zeigt für alle drei Ausbaustufen den gesamten Jahresheizwärmebedarf sowie die Heizleistung.

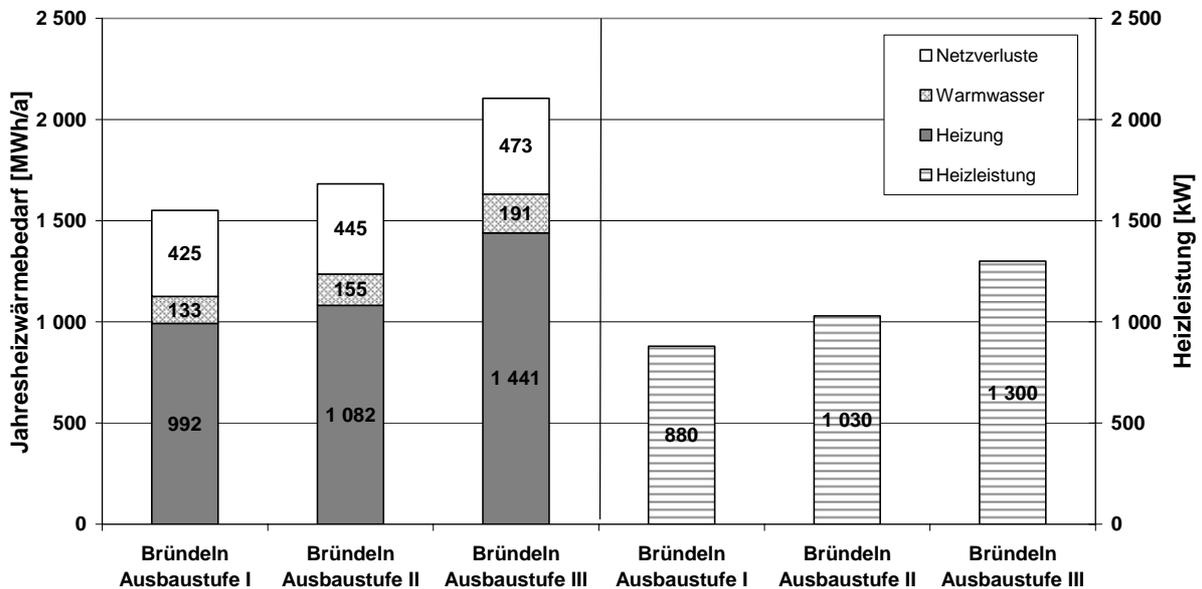


Bild 90 Darstellung Jahresheizwärmebedarf und Heizlast

Variantenbetrachtung

Zur zentralen Wärmeversorgung der Gebäude in der ersten Ausbaustufe wurden sieben unterschiedliche Varianten im Rahmen der Machbarkeitsstudie untersucht. Das Ergebnis wird mit der Neuanschaffung bestehender Einzelhaus-Heizsysteme auf Basis der Energieträger Gas, Heizöl oder Strom verglichen.

Voraussetzung für den wirtschaftlichen Einsatz der heute bekannten Technologien zur Nutzung regenerativer Energieträger ist eine Nahwärmeversorgung. Bei zentraler Versorgung kann in der Heizzentrale auch in Zukunft viel leichter auf andere Brennstoffe bzw. Energietechniken umgestellt werden als in jedem Einzelhaus. Damit bietet sie auch unter geänderten ökologischen und ökonomischen Randbedingungen größere Versorgungssicherheit.

In Absprache mit den Initiatoren wird ein Gelände im Zentrum der Ortschaft (Zur Chaussee 2) zur Unterbringung der Wärmeversorgungszentrale ausgewählt. Bei Anschluss aller vorgesehenen Häuser hat das Netz eine Länge von etwa 1.600 m. Die

Netzverluste betragen mit 425 MWh/a etwa 27 % der von der Heizzentrale abgegebenen Wärmemenge. Aufgrund der Einzelhausbebauung ist es ein relativ hoher Wert. Für alle Gebäude wird bei den Hausübergabestationen die indirekte Anschlussweise gewählt. Der wesentliche Vorteil dieser Variante ist die Betriebssicherheit für das Nahwärmenetz. Zur zentralen Wärmeversorgung werden sieben Varianten betrachtet, welche nachfolgend aufgelistet sind:

Var.	Zentral/ dezentral	Kesselart	Kesselleistung (je Kessel)	Kollektor- fläche	Speicher- art	Speicher- volumen
1	zentral	Gas-BWK Gas-NTK	400 kW 500 kW	-	-	-
2	zentral	HHS-Kessel ÖI-NTK	400 kW 500 kW	-	-	6 m ³
3	zentral	RS-Kessel ÖI-NTK	400 kW 500 kW	-	-	6 m ³
4	zentral	Holzpellet-Kessel ÖI-NTK	400 kW 500 kW	-	-	6 m ³
5	zentral	Holzpellet-Kessel ÖI-NTK	400 kW 500 kW	850 m ²	Heißwasser	50 m ³
6	zentral	NWL-Biogas ÖI-NTK	600 kW _{tr} / 600 kW _{el} 900 kW	-	-	-
7	zentral	Biogas-BHKW ÖI-NTK	300 kW _{tr} / 300 kW _{el} 900 kW	-	-	6,5 m ³

(NTK = Niedertemperaturkessel, BWK = Brennwertkessel, HHS = Holzhackschnitzel, NWL = Nahwärmeleitung, BHKW = Blockheizkraftwerk)

Tabelle 35 Varianten der Wärmeversorgung Ortschaft Bründeln – Landkreis Hildesheim

In Variante 1 erfolgt die Nahwärmeversorgung über einen Gas-Brennwert-Kessel mit 400 kW. Für den Spitzenlastbedarf wird ein Gas-Niedertemperatur-Kessel mit 500 kW eingesetzt.

In Variante 2 erfolgt die Nahwärmeversorgung über einen Holzhackschnitzel-Heizkessel und einen Öl-Niedertemperatur-Kessel. Die Leistung wird zu 400 kW Grund- und 500 kW Spitzenlast aufgeteilt. Der HHS- Kessel deckt etwa 70% der anstehenden Wärmemenge ab Heizzentrale mit 370 t Hackschnitzeln (Güte G30 / W30) pro Jahr. Das dazugehörige Hackschnitzellager weist eine Größe von 250 m³ auf und

muss ca. sieben Mal im Jahr befüllt werden. Ein Pufferspeicher mit 6 m³ verlängert die Betriebszeiten des Holzkessels bei reduzierter Wärmeabnahme in der Übergangszeit.

Variante 3 ersetzt die Holzhackschnitzel aus Variante 2 durch Rübenschnitzel, welche von der nahe gelegenen Zuckerfabrik in Clauen geliefert werden. Diese entsprechen in Form und Qualität den Holzhackschnitzeln. Der RS- Kessel deckt etwa 70% der anstehenden Wärmemenge ab Heizzentrale mit 1.150 t Rübenschnitzeln pro Jahr (Feuchtegehalt 70%). Durch die höhere Schüttdichte gegenüber Holzhackschnitzeln erhöht sich das zu lagernde Brennstoffvolumen nicht.

Variante 4 basiert wieder auf Variante 2. Dabei wird der Holzhackschnitzelkessel durch einen Holzpelletkessel mit 400 kW ersetzt. Zusätzlich zum Heizraum ist ein Pelletssilo mit einer Größe von etwa 88 m³ erforderlich (5m x 5m x 3,5m), welches mindestens zwei LKW-Ladung Pellets (36 m³) fassen kann. Der Holzpelletkessel deckt etwa 70% der anstehenden Wärmemenge ab Heizzentrale mit 255 t Holzpellets pro Jahr.

Variante 5 ist identisch zu Variante 1. Zusätzlich wird ein Kollektorfeld mit einer Fläche von 850 m² installiert, welche die Sonnenenergie in einen Kurzzeitwärmespeicher einspeichert (Volumen ca. 50 m³) und somit die Netzverluste und ca. 50% des Warmwasserbedarfs abdeckt. Der solare Deckungsanteil für eine derartige Auslegung der Solaranlage beträgt etwa 16 %. Der Kollektorertrag wird aufgrund der Annahme höherer resultierender Netz-Rücklauftemperaturen zu 300 kWh/(m²·a) angenommen, was ca. 255 MWh/a entspricht. Bild 91 zeigt das vereinfachte Anlagenschema der Variante 5.

In Variante 6 erfolgt die Nahwärmeversorgung über die Abwärme aus einer Biogas-BHKW- Anlage 2 x 300 kW_{th} / 300 kW_{el} (Biogasanlage Allgermissen in 1.000 m Entfernung) und einen Öl-Niedertemperatur-Kessel. Die Abwärme wird über eine Nahwärmeleitung zur Heizzentrale transportiert (ca. 20% Netzverluste) und deckt damit 95% der benötigten Wärmemenge ab. Bei Wartungsarbeiten oder im Notbetrieb sichert der Öl- Spitzenlastkessel mit 900 kW die vollständige Versorgung des Nahwärmenetzes ab.

In Variante 7 erfolgt die Nahwärmeversorgung über ein Biogas-BHKW 300 kW_{th} / 300 kW_{el} und einen 900 kW Öl-Niedertemperatur-Kessel. Dabei wird eine Biogasleitung zur Heizzentrale verlegt und ein BHKW im Container inklusive Stromeinspeisung von der Biogasanlage Algermissen nach Bründeln umgesetzt. Bei Ausfall oder bei Wartungsarbeiten am BHKW sichert der Spitzenlastkessel die vollständige Versorgung des Nahwärmenetzes ab.

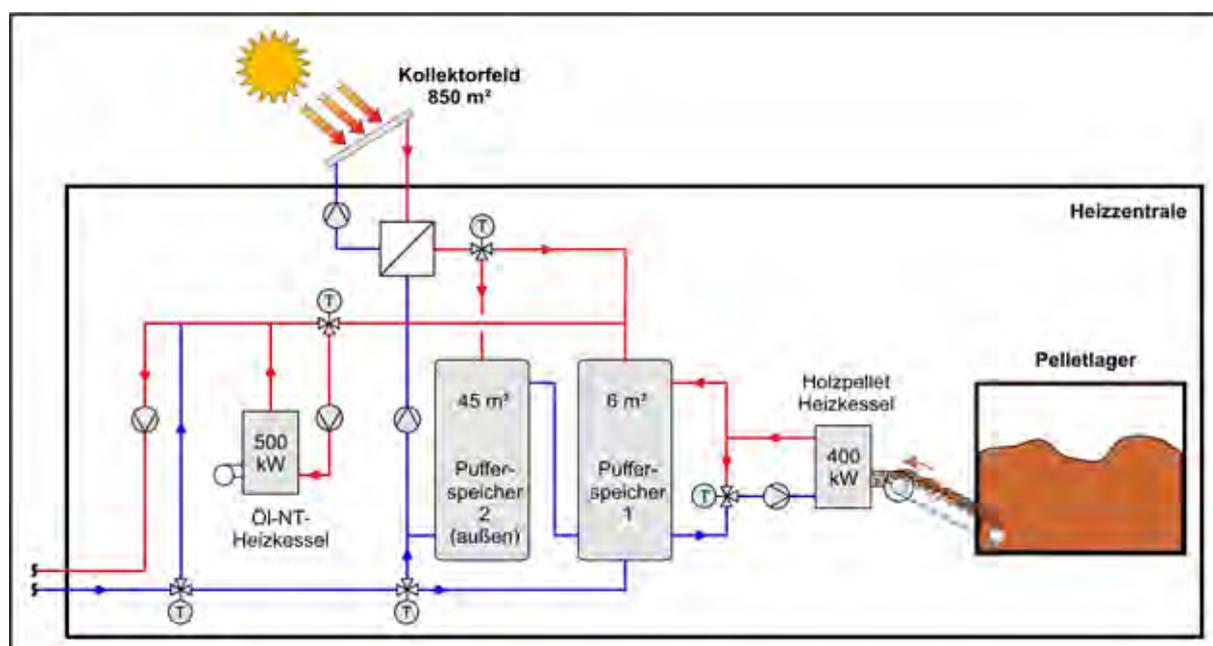


Bild 91 Anlagenschema Variante 5 – Holzpellet- Kesselanlage mit Solaranlage 850 m²

Ergebnisse

Bild 92 zeigt die Investitionskosten für die Wärmeversorgung bei allen Varianten, aufgeteilt nach den verschiedenen Anlagenteilen. Bei allen Varianten wird eine Förderung (Teilschuldenerlass) durch die KfW Förderbank für das Nahwärmenetz in Höhe von 50 €/m_{Trasse} und für die Übergabestationen (1.800 € pro HÜST) sowie bei den Variante 2- 5 für den Holzessel eine Förderung in Höhe von 24 €/kW berücksichtigt. Für Variante 5 werden die Kosten für die solaren Komponenten zu 30% durch Solarthermie2000plus, in Variante 6 die Nahwärmeleitung von der Biogasanlage zu 20% sowie in Variante 7 die Biogasleitung zu 30% als förderfähig angesetzt. Die Varianten 2 bis 7 erhalten weiterhin eine Sonderförderung durch den Landkreis

(100.000 €), eine Anschlussgebühr pro Haushalt von 5.000 € (insg. 155.000 €) sowie eine weitere Sonderförderung in Höhe von 50.000 € von privaten Investoren.

Die niedrigsten Investitionen sind bei zentraler Versorgung mit Erdgas ohne Berücksichtigung einer Förderung zu erwarten. Die Mehrkosten für die anderen Varianten liegen im Bereich von 13% bis 51%. Für das Nahwärmenetz allein entstehen Kosten in Höhe von 660.000 €, das entspricht ca. der Hälfte der Gesamtinvestition. Der Rest teilt sich in Heizzentrale und Hausübergabestationen auf.

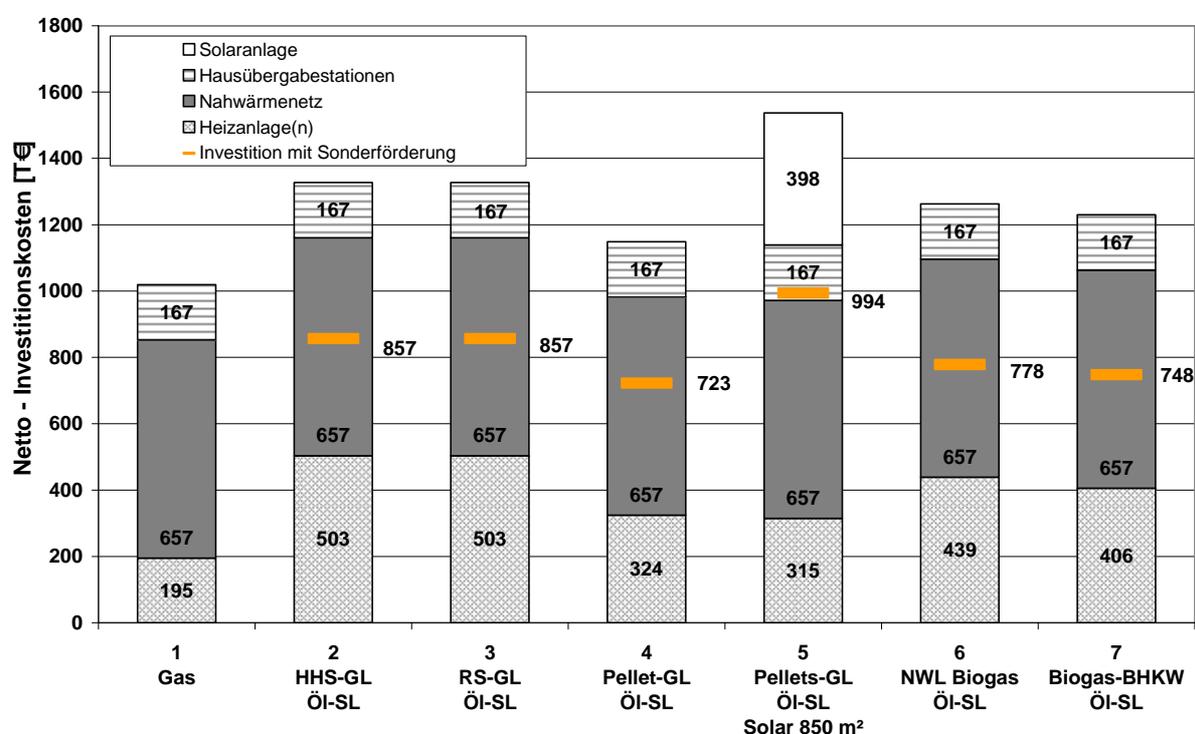


Bild 92 Gesamt-Investitionskosten (inkl. Planung, ohne MWSt.) der verschiedenen Varianten

In Bild 93 sind die Jahresgesamtkosten für die unterschiedlichen Varianten dargestellt. Dabei wird die Einspeisevergütung nach dem EEG (Energieeinspeisegesetz) in den Varianten mit Stromerzeugung nicht berücksichtigt, da hier ein fester Wärmepreis mit dem Betreiber der Biogasanlage vereinbart wird. Bei Berücksichtigung der einzelnen Fördermaßnahmen reduzieren sich die Jahresgesamtkosten je nach Variante zwischen 30 T€ und 41 T€ pro Jahr. Die niedrigsten Jahresgesamtkosten ergeben sich bei den Varianten 6 und 7, die Höchsten bei Variante 5. Zu beachten ist ne-

ben dem Gesamtbetrag auch die Kostenaufteilung. Etwa 50% der Kosten sind Kapitalkosten. Diese basieren auf den Investitionskosten und sind relativ genau kalkulierbar. Der Anteil der Energiekosten ist bei den Varianten 6 und 7 deutlich geringer als bei den anderen Varianten.

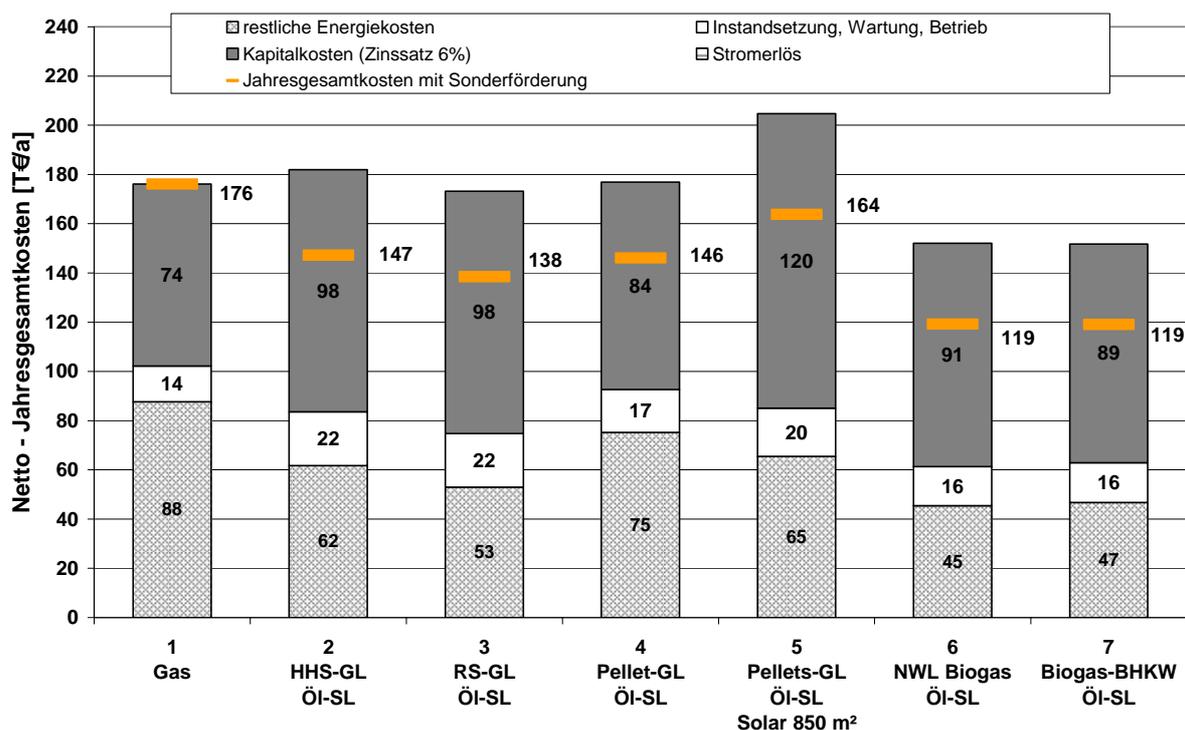


Bild 93 Jahresgesamtkosten (ohne MWSt.) der verschiedenen Varianten

Die Wärmekosten, siehe Bild 94, sind die auf die Nutzwärmemenge bezogenen Jahresgesamtkosten. Bei dezentraler Versorgung erfolgt der Bezug auf den Gesamtwärmebedarf des Gebäudes. Im Fall der zentralen Wärmeversorgung ist hier die Bezugsgröße ebenfalls der Gesamtwärmebedarf der Gebäude. Einige Nahwärmevarianten sind mit Förderung gegenüber dem Fall der Neuinstallation bestehender Einzelhaus-Heizsysteme auf Basis der Energieträger Gas, Heizöl oder Strom wirtschaftlich darstellbar.

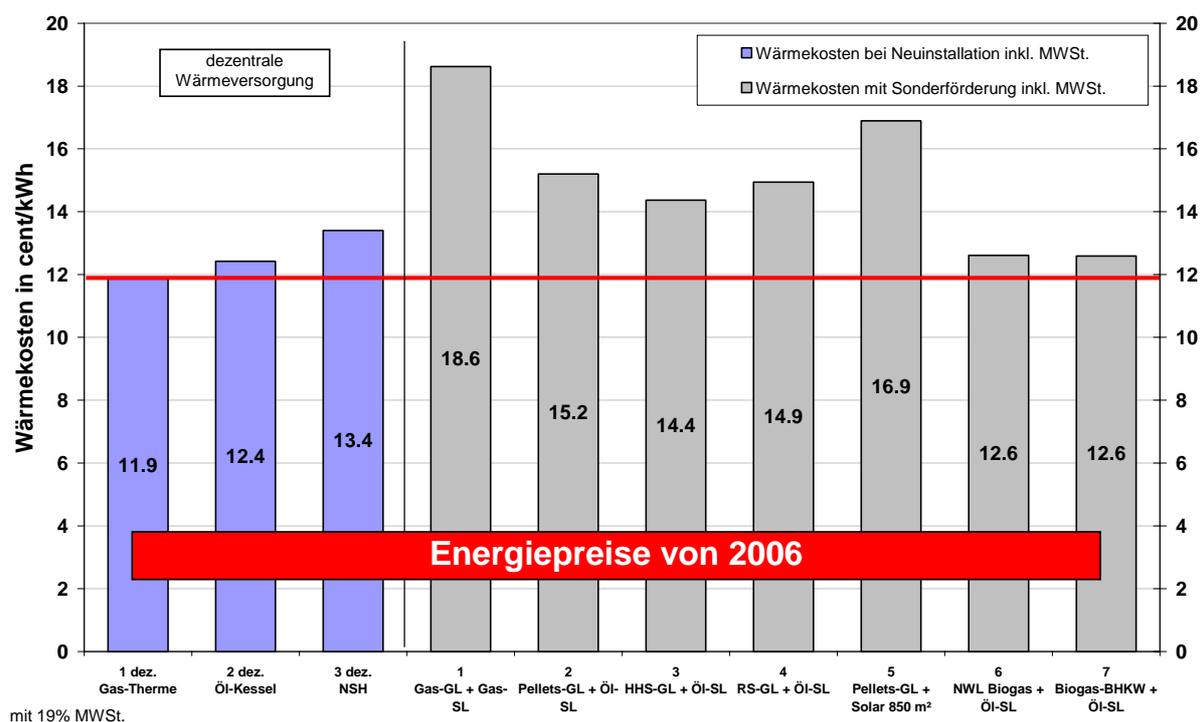


Bild 94 Wärmegestehungskosten mit MWSt. und mit Sonderförderung für die verschiedenen Varianten

Mit der Betrachtung des Primärenergiebedarfes und der CO₂- Emissionen erfolgt eine ökologische Bewertung der Wärmeversorgung, siehe Bild 95. Bei den Varianten mit erneuerbaren Energien lässt sich der PE Bedarf erheblich reduzieren. Für die Zahlenwerte der äquivalenten CO₂- Emissionen wurde die ProBas Datenbank vom Umweltbundesamt herangezogen [ProBas, 2000]. Bei der Betrachtung der CO₂- Emissionen liegen die Varianten mit erneuerbaren Energien auf etwa dem gleichen Niveau.

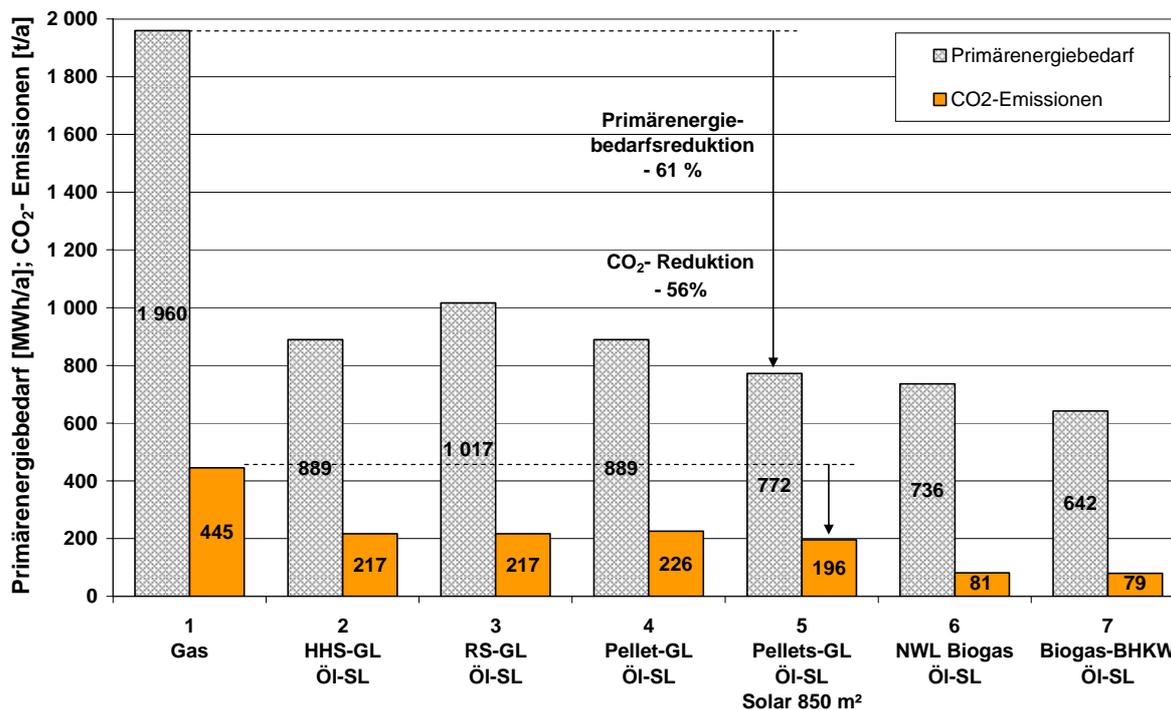


Bild 95 Primärenergiebedarf und CO₂- Emissionen der verschiedenen Varianten

Den Initiatoren wurde bei Realisierung einer zentralen Wärmeversorgung der Ortschaft die Anbindung an die Biogasanlage empfohlen. Dabei sollte eine Biogasleitung verlegt und ein BHKW in den Ort umgesetzt werden. Zu beachten sind auch die Netzverluste, welche durch die dörfliche Struktur bei 27% liegen, also fast ein Drittel des Jahresheizwärmebedarfs. Ein wirtschaftlicher Betrieb ist derzeit nur mit einer entsprechenden Förderung möglich.

3.16 Projekt 16 – Kassel Wehlheiden, Wohngebiet Sternbergstraße

Im Neubaugebiet Sternbergstraße in Kassel Wehlheiden sollen in den nächsten Jahren 51 Wohneinheiten (WE) in zwei Mehrfamilienhäusern und 14 Einfamilienhäusern (7 Reihenhäuser, 7 Doppelhaushälften) in ökologischer Bauweise entstehen. Das Wohngebiet soll in 7 Bauabschnitten erstellt werden. Die Wohnfläche des Gesamtgebietes beträgt 6.900 m² ohne Ausbaureserve im Dach- und Kellergeschoss.



Bild 96 Lageplan Kassel Wehlheiden, Neubaugebiet Sternbergstraße

Für das Neubaugebiet Sternbergstraße in Kassel im Stadtteil Wehlheiden wurde im Auftrag des Planungsbüros kooperativ-bauen ein zukunftsorientiertes Energiekonzept entworfen. Dabei werden verschiedene Varianten der Wärmeversorgung grob dimensioniert und hinsichtlich des Energiebedarfs, der Kosten und der ökologischen Auswirkungen verglichen. Ziel ist eine möglichst weitgehende Reduzierung der CO₂-Emissionen bei vertretbaren Kosten. Die Rahmendaten des Neubaugebietes sind in Tabelle 36 aufgeführt.

		Planungstand zum Zeitpunkt der Machbarkeitsstudie
Gebäudetyp	Einfamilien- und Mehrfamilienhäuser	
Anzahl der Gebäude	16	
Nutzung	Wohnen	
Klassifizierung	Neubau	
Anzahl Wohneinheiten	51	
Wohnfläche	6.902 m ²	
Nutzfläche nach EnEV (A _N)	9.361 m ²	
Jahresheizwärmebedarf	30 kWh/m ² _{ANA}	281 MWh/a
Warmwasserbedarf	15 kWh/m ² _{ANA}	139 MWh/a
Netzverluste	119 kWh/m ² _{Tr} a	70 MWh/a
Gesamtwärmebedarf	52 kWh/m ² _{ANA}	490 MWh/a
Heizleistungsbedarf	25 W/m ² _{AN}	234 kW

Tabelle 36 Eckdaten Machbarkeitsstudie Kassel Wehlheiden, Neubaugebiet Sternbergstraße

In der geplanten Ökosiedlung sollen drei verschiedenen Haustypen realisiert werden. Jeder Haustyp kann als Mittelhaus oder Endhaus und damit auch als Doppelhaus-Hälfte erstellt werden. Dabei soll die Holztafelbauweise mit Zellulosedämmung angewendet werden. Diese Bauweise verbindet die ökologisch und baubiologisch hochwertigen Materialien mit einem schnellen, trockenen und hohen Vorfertigungsanteil. Der Energiebedarf der Häuser liegt mit etwa 3 Liter Heizöl pro m² und Jahr nahe am Passivhausstandard. Die Häuser werden mit einer kontrollierten Be- und Entlüftungsanlage ausgestattet, um die Lüftungsverluste im Winter zu minimieren.

Zur Ermittlung des Wärme- und Heizleistungsbedarfs des Gesamtgebiets werden für die Gebäude pauschal typische Bedarfswerte für Niedrigstenergie-Häuser in Höhe von 25 kWh/m²_{ANA} und 25 W/m²_{AN} angesetzt. Diese beruhen auf Erfahrungswerten aus durchgeführten Wärmebedarfsberechnungen für vergleichbare Gebäude. Verteilverluste werden mit 5 kWh/m²_{ANA} angesetzt. Insgesamt ergeben sich so 30 kWh/m²_{AN} pro Jahr für den Wärmebedarf.

Für die Ermittlung des Brauchwasserwärmebedarfs wird ein mittlerer Warmwasserbedarf nach VDI 2067 (Blatt 4) in Höhe von 35 Liter pro Person und Tag angesetzt.

Für Speicher- und Zirkulationsverluste werden 4 kWh/m²_{ANa} berücksichtigt. Für das Gesamtgebiet ergibt sich damit ein jährlicher Heizwärmebedarf von 281 MWh/a. Für die Warmwasserbereitung sind etwa 139 MWh/a (inklusive Speicher- und Zirkulationsverluste) erforderlich. Bei zentraler Versorgung entstehen zudem Netzverluste in Höhe von 70 MWh/a. Dies ergibt einen Nutzwärmebedarf von 420 MWh/a und einen Gesamtwärmebedarf ab Heizzentrale von 490 MWh/a, siehe Bild 97. Insgesamt kann der Heizwärmebedarf im Vergleich zur EnEV- Standard Variante um ca. 50% reduziert werden. Die erforderliche Heizleistung beträgt 234 kW.

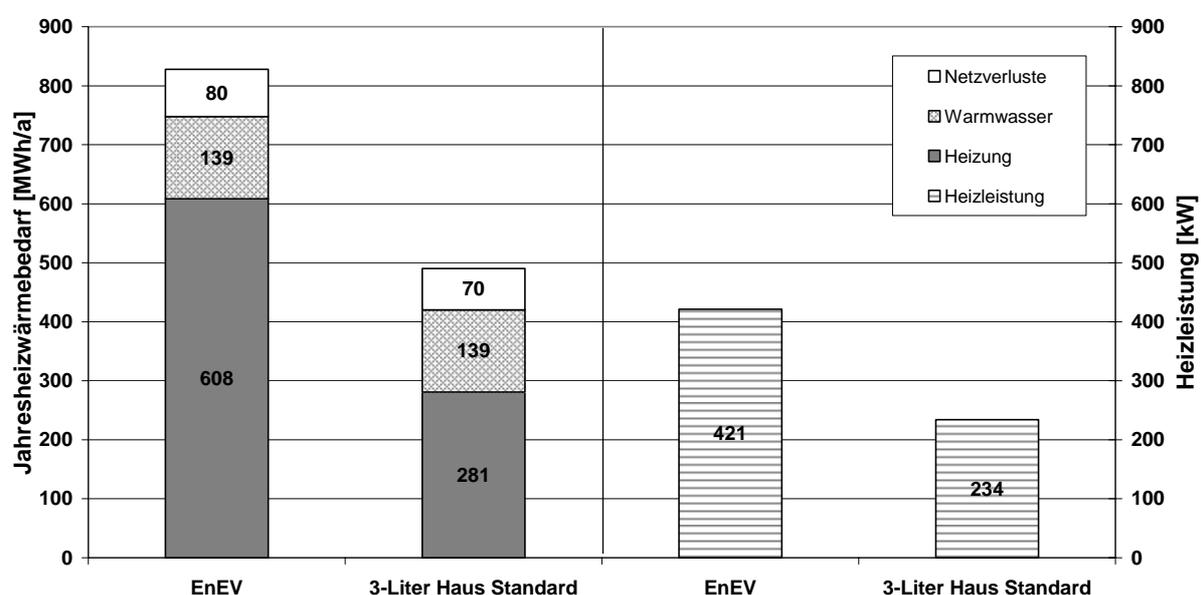


Bild 97 Darstellung Jahresheizwärmebedarf und Heizlast

Variantenbetrachtung

Zur Wärmeversorgung des Neubaugebietes wurden eine dezentrale und vier unterschiedliche zentrale Varianten im Rahmen der Machbarkeitsstudie untersucht. Dabei wird das gesamte Wohngebiet betrachtet.

Bei zentraler Wärmeversorgung wird an der Hauptkreuzung der Straßenzüge eine Heizzentrale errichtet, die Wärmeverteilung erfolgt über ein Nahwärmenetz. Das Netz hat eine Länge von etwa 590 m, davon sind 360 m im Erdreich, der Rest im Kellergeschoss der Gebäude zu verlegen. Die Netzverluste betragen mit 70 MWh/a etwa 14% der von der Heizzentrale abgegebenen Wärmemenge. Die im Erdreich

verlegten Abschnitte werden als KMR- Rohre ausgeführt, die Rohre im Keller in Stahl.

Für alle Einfamilienhäuser werden indirekte Übergabestationen mit WW- Bereitung im Durchfluss eingesetzt. Sie muss so ausgelegt sein, dass im Nahwärmenetz eine möglichst niedrige Rücklauftemperatur erreicht wird. Dies ist besonders von Bedeutung bei der Einbindung einer Solaranlage in die Wärmeversorgung, da die solaren Erträge der Kollektoren maßgeblich von der Rücklauftemperatur abhängen. Die genannten Übergabestationen bieten die Grundlage für niedrige Rücklauftemperaturen, erforderlich ist zudem eine genaue Auslegung sowie ein hydraulischer Abgleich der Wärmeverteilung in den Gebäuden. Zur Wärmeversorgung werden fünf Varianten betrachtet, welche nachfolgend aufgelistet sind:

Var.	zentral/ dezentral	Kesselart	Kesselleistung (je Kessel)	Kollektor- fläche	Speicher- art	Speicher- volumen
1	dezentral	Gas-BWK	11 kW	-	-	-
2	zentral	Gas-BWK	250 kW	-	-	-
3	zentral	Holzpelletkessel	250 kW	-	-	5 m ³
4	zentral	Holzpelletkessel	250 kW	170 m ²	Heißwasser	10 m ³
5	zentral	Holzpelletkessel	250 kW	350 m ²	Heißwasser	20 m ³

(BWK = Brennwertkessel)

Tabelle 37 Varianten der Wärmeversorgung Kassel Wehlheiden, Neubaugebiet Sternbergstraße

In Variante 1 (dezentrale Wärmeversorgung) erhält jedes Gebäude einen eigenen Gasanschluss. Die Wohnungen besitzen jeweils eine Gas-Brennwert-Therme mit etwa 11 kW als Dachheizzentrale.

Bei Variante 2 erfolgt die Wärmeerzeugung für das gesamte Versorgungsgebiet über einen Gas-Brennwert-Heizkessel. Die Wärmeleistung wird zu 250 kW bestimmt.

Variante 3 sieht die Wärmeerzeugung durch einen Holzpelletkessel mit ca. 250 kW im Nahwärmeverbund vor. Zusätzlich zum Heizraum ist ein Pelletssilo mit einer Größe von etwa 70 m³ erforderlich (4,5m x 4,5m x 3,5m), welches mindestens eine LKW-Ladung Pellets (36 m³) fassen kann. Ein Pufferspeicher mit 5 m³ verlängert die Betriebszeiten des Holzkessels bei reduzierter Wärmeabnahme in der Übergangszeit.

Im Unterschied zur vorigen Variante ist in Variante 4 zusätzlich eine Solaranlage vorgesehen. Die Kollektoren werden in der Studie als dachintegriert ausgeführt. Belegt werden die Dachflächen von vier Reihenhäusern mit jeweils ca. 42 m², was in der Summe eine resultierende Kollektorfläche von 170 m² ergibt (Pufferspeichervolumen 10 m³). Bei einem erwarteten Ertrag von etwa 300 kWh/(m²·a) ergibt sich ein Ertrag von 51 MWh/a. Damit werden etwa 25% des Bedarfs für die WW-Bereitung und der Netzverluste bzw. 10 % des gesamten Wärmebedarfs ab Heizzentrale gedeckt.

Variante 5 sieht die Wärmeerzeugung durch einen Holzpelletkessel mit ca. 250 kW und einer thermischen Solaranlage mit 350 m² vor, siehe Bild 98. Die Kollektoren werden wieder als Solarroof dachintegriert auf 7 Reihenhäusern ausgeführt. Bei einem erwarteten Ertrag von etwa 300 kWh/(m²·a) ergibt sich ein Ertrag von 105 MWh/a. Damit werden 50% des Bedarfs für die Warmwasserbereitung und der Netzverluste bzw. 21% des gesamten Wärmebedarfs ab Heizzentrale gedeckt. Bei Variante 5 wird der Pufferspeicher als außenaufgestellter und entsprechend wärmegeprägter Stahlspeicher ausgeführt, da er mit 20 m³ sehr groß ist und nicht in einem Gebäude untergebracht werden kann.

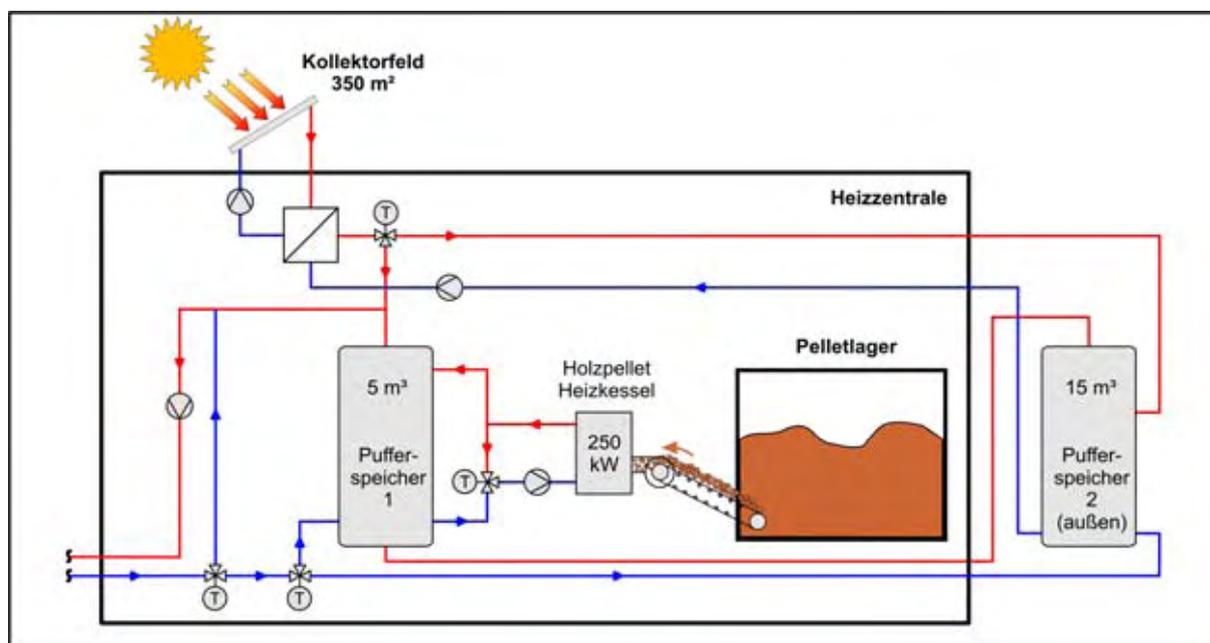


Bild 98 Anlagenschema Variante 5 – Holzpelletkessel mit Solaranlage 350 m²

Ergebnisse

Bild 99 zeigt die Investitionskosten für die Wärmeversorgung bei allen Varianten, aufgeteilt nach den verschiedenen Anlagenteilen.

Bei den Varianten 3 bis 5 wird eine Förderung (Teilschuldenerlass Erneuerbare Energien) durch die KfW Förderbank für das Nahwärmenetz in Höhe von 50 €/m_{Trasse} sowie für den Holzkessel eine Förderung in Höhe von 24 €/kW berücksichtigt. Für Variante 4 und 5 werden die Kosten für die solaren Komponenten zu 30% durch Solarthermie2000plus förderfähig angesetzt.

Die niedrigsten Investitionen sind bei dezentraler Versorgung mit Gas-Brennwert-Heizkessel zu erwarten (Variante 1). Die Investitionen für die Heizanlagen der Varianten mit zentraler Versorgung sind zwar niedriger als bei dezentraler Versorgung, allerdings kommen Investitionen für das Nahwärmenetz und die Übergabestationen hinzu. Letztendlich liegen die Kosten 15 T€ bis 305 T€ höher als bei dezentraler Versorgung (ohne Förderung). Für eine zentrale Versorgung mit Holzpellets entstehen um 125.000 € höhere Kosten als bei Variante 1. Eine zusätzliche Solaranlage führt zu weiteren Investitionen von ca. 100.000 € bzw. von ca. 180.000 € für die große Solaranlage, die durch die Energieeinsparung nicht vollständig ausgeglichen werden können. Durch entsprechende Fördergelder reduzieren sich die Investitionskosten bei Variante 3 um 6% und bei Variante 4 und 5 um ca. 12%.

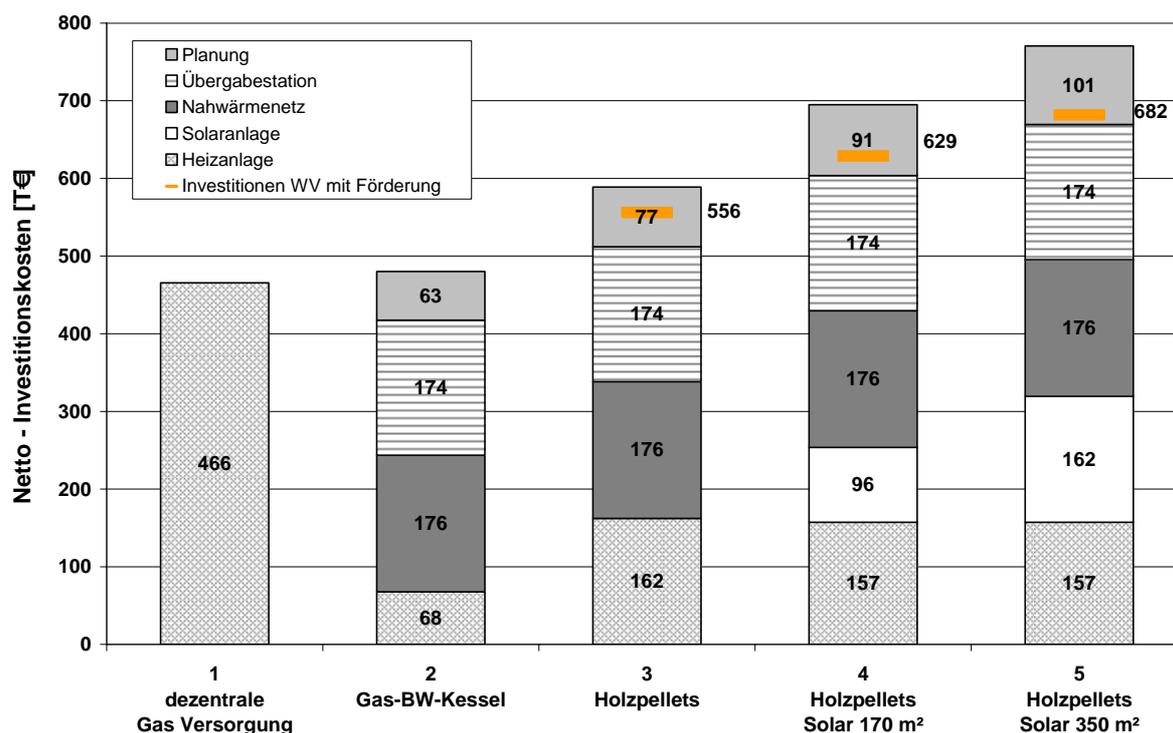


Bild 99 Gesamt-Investitionskosten (inkl. Planung, ohne MWSt.) der verschiedenen Varianten

In Bild 100 sind die Jahresgesamtkosten für die unterschiedlichen Varianten dargestellt. Die günstigste Lösung ist durch zentrale Versorgung mit Gas (Variante 2) und zentrale Versorgung mit Holzpellets (Variante 3) zu erreichen.

Die Jahresgesamtkosten der Variante 4 liegen um ca. 10% höher, die Mehrkosten bei Variante 5 ca. 15%. Zu beachten ist neben dem Gesamtbetrag auch die Kostenaufteilung. Der Anteil der Energiekosten bei Variante 3 mit Holzpellets ist um 25% deutlich geringer als bei dezentraler Versorgung mit Erdgas (Basisvariante). Durch eine thermische Solaranlage reduziert sich der Anteil der Energiekosten noch einmal.

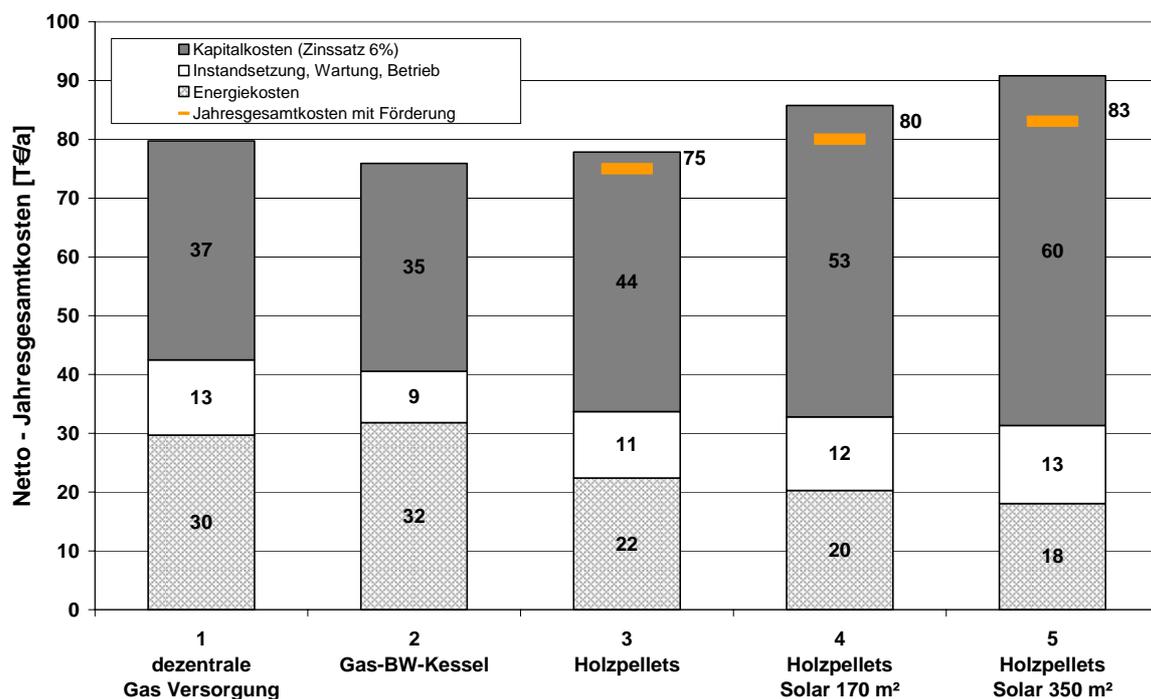


Bild 100 Jahresgesamtkosten (ohne MWSt.) der verschiedenen Varianten

Mit der Betrachtung des Primärenergiebedarfes und der CO₂- Emissionen erfolgt eine ökologische Bewertung der Wärmeversorgung, siehe Bild 101.

Trotz zusätzlichen Wärmebedarfs für die Verluste des Nahwärmenetzes lassen sich durch den Einsatz der Energieträger Holz und Solarenergie die CO₂-Emissionen und der Primärenergiebedarf für Heizung und Warmwasser bei den Varianten 3 bis 5 deutlich unter die Werte bei dezentraler Gasversorgung senken. Die niedrigsten Emissionen entstehen bei Variante 5 mit Holzpellets und großer Solaranlage, die eine CO₂-Reduzierung um ca. 80% ermöglichen.

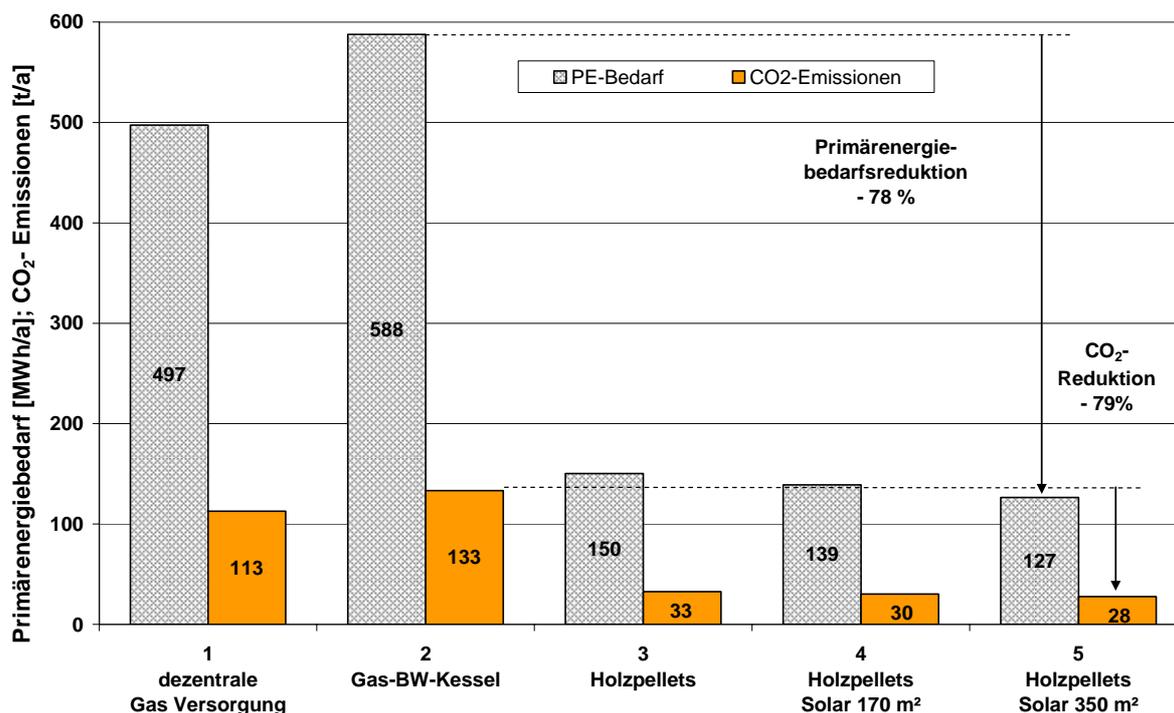


Bild 101 Primärenergiebedarf und CO₂- Emissionen der verschiedenen Varianten

Eine zentrale bietet gegenüber einer dezentralen Wärmeversorgung vereinfachte Möglichkeiten zum Einsatz von CO₂-neutralen Energieträgern, bei vertretbaren Mehrinvestitionen. Mit der Verlegung des Nahwärmenetzes überwiegend durch die Keller ist eine kostengünstige Ausführung möglich, die größtenteils erst in der Bauphase und nicht bereits während der Erschließung erfolgt. Dem Planungsbüro wird folgendes empfohlen:

- Es sollte eine zentrale Wärmeversorgung mit Holzpelletkessel aufgebaut werden. Eine thermische Solaranlage sollte auf jeden Fall Berücksichtigung finden, entweder als zentrale Lösung oder als dezentrale Variante, d.h. jedes Haus besitzt seinen eigenen Kollektor und Solarspeicher zur Trinkwassererwärmung, welcher über die Übergabestation bei Bedarf nachgeheizt werden kann.

3.17 Projekt 17 – Neubrandenburg, Ahornstraße 1 bis 23

Im Herbst 2006 wird eine Machbarkeitsstudie für 4 Mehrfamilien-Wohngebäude in der Südstadt von Neubrandenburg mit insgesamt 6.200 m² Wohnfläche und 112 Wohneinheiten entwickelt. Die bestehenden Gebäude wurden im Jahr 1971 in Plattenbauweise (Typ P-Halle) errichtet und sind im Besitz der Wohnungsgesellschaft Neubrandenburg mbH (NeuWoGes). Alle Gebäude weisen jeweils ein Flachdach und einen Keller auf. Jedes Haus besitzt vier Vollgeschosse, drei Gebäudeaufgänge sowie verschieden große Zwei-, Drei- und Vierraumwohnungen. Je Haus ergeben sich 28 Wohneinheiten. Derzeit sind die Gebäude wohnungsweise mit Gas-Einzelraum-Heizungen zur Warmwasserbereitung und Wärmebereitstellung ausgestattet.

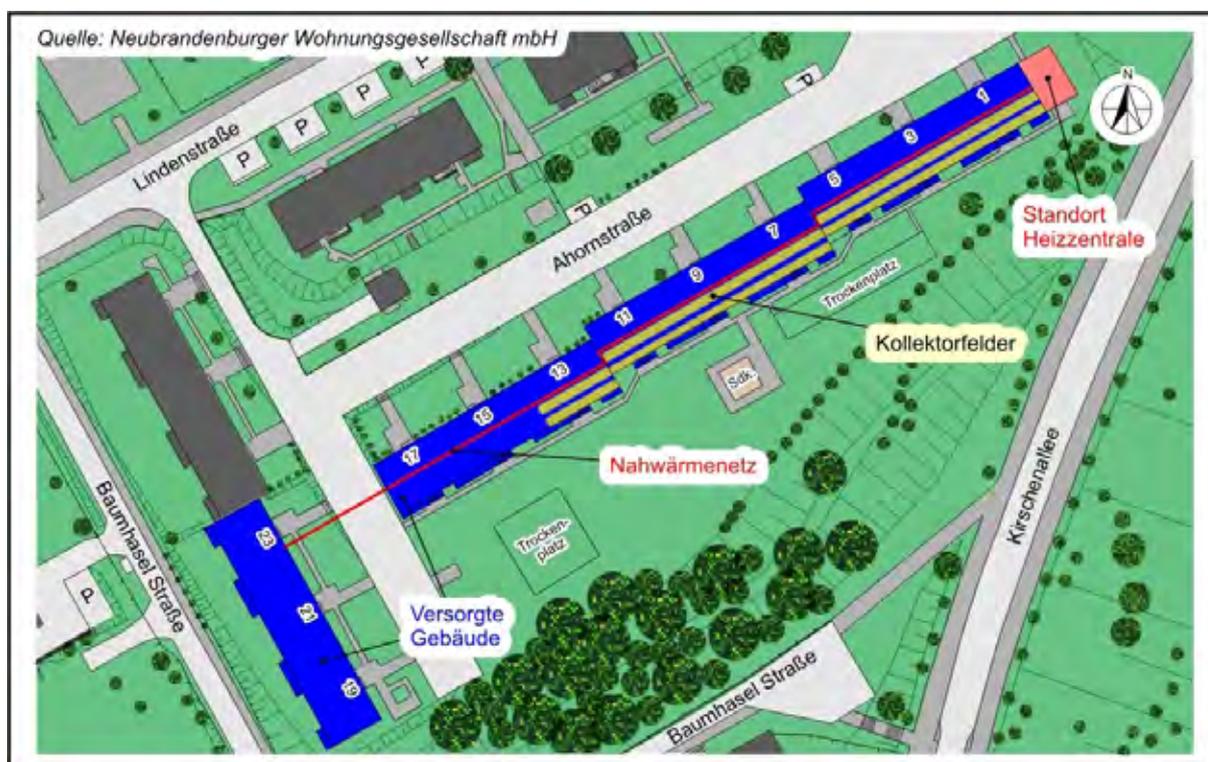


Bild 102 Lageplan Neubrandenburg, Ahornstraße 1 bis 23

Die Gebäude sowie die Wärmeerzeugungsanlage sollen in naher Zukunft saniert werden. Dabei wird eine Zentralheizung nachgerüstet und eine Nahwärmeversorgung realisiert. Die zur Verfügung stehende Raumhöhe im Untergeschoss (Keller) ist mit 2,20 m zur Einbringung und Aufstellung von Pufferspeichern bzw. bodenstehenden Wärmeerzeugern größerer Leistung begrenzt. Die drei Gebäude Ahornstraße 1-

5, 7-11 und 13-17 sind nach Südosten ausgerichtet und eignen sich zur Integration von größeren thermischen Kollektorflächen.

Nach der durchgeführten Sanierung sollen die Gebäude folgende Kennwerte aufweisen:

		Planungsstand zum Zeitpunkt der Machbarkeitsstudie	
Gebäudetyp	Mehrfamilienhäuser		
Anzahl der Gebäude	5		
Nutzung	Wohnen		
Klassifizierung	Sanierung		
Anzahl Wohneinheiten	112		
Wohnfläche	6.178 m ²		
Nutzfläche nach EnEV (A _N)	6.868 m ²		
Jahresheizwärmebedarf	54 kWh/m ² _{ANA}	373 MWh/a	
Warmwasserbedarf	28 kWh/m ² _{ANA}	193 MWh/a	
Netzverluste	198 kWh/m ² _{Tr} a	35 MWh/a	
Gesamtwärmebedarf	88 kWh/m ² _{ANA}	601 MWh/a	
Heizleistungsbedarf	42 W/m ² _{AN}	286 kW	

Tabelle 38 Eckdaten Machbarkeitsstudie Neubrandenburg, Ahornstraße 1 bis 23

In der Machbarkeitsstudie wird in vier Varianten am Beispiel des Gebäudes Ahornstraße 1 bis 5 untersucht, welcher Aufwand erforderlich ist, um den KfW60 und KfW40-Standard einzuhalten. Für das Gebäude wird ein A/V-Verhältnis von 0,40 m⁻¹ ermittelt. Daraus ergeben sich, je nach angestrebtem Energiestandard, die in Tabelle 39 zusammengestellten Anforderungen an die energetischen Kennwerte in Bezug auf eine Gasversorgung mit Brennwertkessel. Mit den vorgegebenen Bauteilaufbauten der NeuWoGes werden noch keine Anforderungen an den KfW60- bzw. KfW40-Standard erfüllt.

Energienstandard	Transmissionswärmeverlust H _T '		Primärenergiebedarf	
	W/m ² K	%	kWh/m ² _{ANA}	%
EnEV	0,68	100%	82,4	100%
KfW60	0,48	70%	60	73%
KfW40	0,37	55%	40	49%
Vorgabe NeuWoGes	0,47	69%	81,3	99%

Tabelle 39 Anforderungen an Gebäudehülle und Primärenergiebedarf für das Gebäude Ahornstraße 1 bis 5 bei unterschiedlichen Standards

Tabelle 40 gibt eine Übersicht über die Maßnahmen zur Erreichung des KfW60- und KfW40-Standards. Zum einen ist eine Verbesserung des Wärmeschutzes erforderlich. Zum anderen können auf der Seite der Anlagentechnik Veränderungen vorgenommen werden, wie die Reduzierung der Lüftungswärmeverluste durch kontrollierte Lüftung sowie der Einsatz erneuerbarer Energieträger.

	Variante 1 Gaskessel	Variante 2 KfW60	Variante 3 KfW60	Variante 4 KfW40
	cm	cm	cm	cm
Außenwand	10 (WLG035)	10 (WLG035)	20 (WLG035)	20 (WLG035)
Fenster	2-Scheiben WSV (U=1,5)	2-Scheiben WSV (U=1,5)	2-Scheiben WSV (U=1,2)	2-Scheiben WSV (U=1,2)
Flachdach	18 (WLG035)	18 (WLG035)	20 (WLG035)	20 (WLG035)
Kellerdecke	6 (WLG035)	6 (WLG035)	12 (WLG035)	12 (WLG035)
Blower-Door-Test	Nein	Ja	Ja	Ja
Abluftanlage	Nein	Ja	Nein	Nein
Holzpelletkessel	Nein	Nein	Nein	Ja
Solaranlage	Nein	Ja	Ja	Nein
H _T ' (mittl. U-Wert)	0,47 (70%)	0,47 (70%)	0,35 (52%)	0,35 (52%)
Heizwärmebedarf	47,5 kWh/m ² _{ANA}	39,1 kWh/m ² _{ANA}	37,7 kWh/m ² _{ANA}	37,7 kWh/m ² _{ANA}
Primärenergiebedarf	81,3 kWh/m ² _{ANA}	55,7 kWh/m ² _{ANA}	54,2 kWh/m ² _{ANA}	16,6 kWh/m ² _{ANA}
Mehrinvestition	-	67 €/m ² _{AN}	65 €/m ² _{AN}	35 €/m ² _{AN}

Tabelle 40 Dämmstoffstärken und zusätzliche Maßnahmen zur Erreichung des KfW60 bzw. KfW40-Standards

Mit den von der NeuWoGes angegebenen U-Werten wird für die 4 Wohngebäude der Heizwärmebedarf nach dem Berechnungsverfahren der EnEV ermittelt. Es ergibt sich ein Wert von etwa 48 kWh/m²_{ANA} zuzüglich 6 kWh/m²_{ANA} Verteilverluste. Als Warmwasserbedarf wird nach VDI 2067 (Blatt 4) ein Tagesbedarf von 45 l pro Person (bei 45°C) angesetzt, zuzüglich 6 kWh/m²_{ANA} für Verteil- und Speicherverluste. Als Heizleistungsbedarf ist ein Wert von 42 W/m²_{AN} für vier Gebäude in Anlehnung an das vereinfachte Verfahren nach DIN EN 12831 berechnet worden.

Für das Gesamtgebiet ergibt sich damit ein jährlicher Heizwärmebedarf von 373 MWh/a. Für die Warmwasserbereitung sind etwa 193 MWh/a (inklusive Speicher- und Zirkulationsverluste) erforderlich. Bei zentraler Versorgung entstehen zudem Netzverluste in Höhe von 35 MWh/a. Dies ergibt einen Nutzwärmebedarf von 566 MWh/a und einen Gesamtwärmebedarf ab Heizzentrale von 601 MWh/a, siehe Bild 103. Gegenüber der EnEV Variante lässt sich bei der Niedrigenergiehaus Variante der Heizenergiebedarf um 22% senken. Die erforderliche Heizleistung beträgt 286 kW.

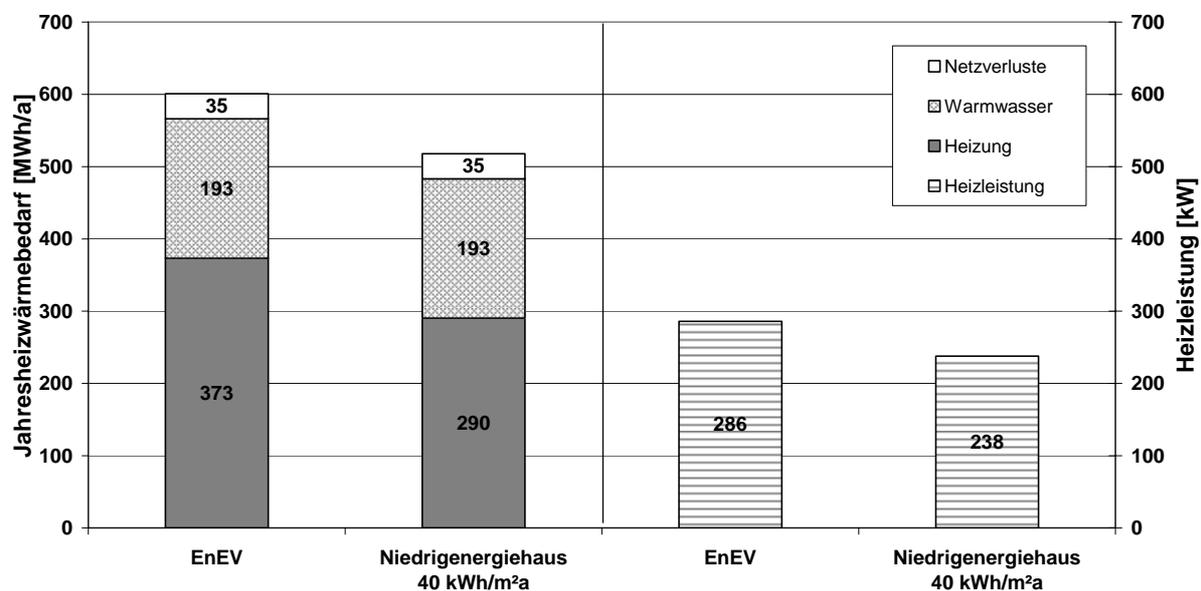


Bild 103 Darstellung Jahresheizwärmebedarf und Heizlast

Variantenbetrachtung

Zur Wärmeversorgung der Gebäude werden 4 unterschiedliche Varianten im Rahmen der Machbarkeitsstudie untersucht. Bei zentraler Wärmeerzeugung wird eine Heizzentrale als Anbau an die Ostseite des Gebäudes Ahornstraße 1-5 errichtet. Von hier aus erfolgt die Verlegung einer Nahwärmeverbundleitung in Stahl in den Keller-räumen bzw. in KMR- Ausführung im Erdreich. Beim Zusammenschluss der Häuser zu einem Netzverbund hat das Netz eine Länge von etwa 175 m. Die Netzverluste betragen etwa 6% der von der Heizzentrale abgegebenen Wärmemenge. In allen Varianten erfolgt die Warmwasserbereitung über Speicher-Ladesysteme.

Zur Wärmeversorgung werden die vier nachfolgend aufgelisteten Varianten betrachtet:

Var.	zentral/ dezentral	Kesselart	Kesselleistung (je Kessel)	Kollektor- fläche	Speicher- art	Speicher- volumen
1	zentral	Gas-BWK	300 kW	-	-	-
2	zentral	Gas-BWK	300 kW	350 m ²	Heißwasser	21 m ³
3	zentral	Holzpelletkessel	300 kW	-	-	4 m ³
4	zentral	Holzpelletkessel	300 kW	350 m ²	Heißwasser	21 m ³

(BWK = Brennwertkessel)

Tabelle 41 Varianten der Wärmeversorgung Neubrandenburg, Ahornstraße 1 bis 23

In Variante 1 erfolgt die Wärmeerzeugung zentral durch einen Gasbrennwertkessel mit 300 kW.

Im Unterschied zur vorigen Variante ist in Variante 2 zusätzlich eine Solaranlage vorgesehen. Auf den Flachdächern der Gebäude Ahornstraße 1 bis 17 stehen 1.400 m² Dachfläche zur Aufständigung von Kollektoren zur Verfügung. Zur Optimierung des Solarertrags sollten die Kollektoren ca. 30° bis 40° geneigt sein. Bei einer möglichen Ausnutzung der Dachfläche von 25% (Abstand vom Dachrand, Vermeidung von gegenseitiger Verschattung) ergibt sich eine Kollektorfläche von 350 m² (Pufferspeichervolumen 21 m³). Es ergibt sich ein Ertrag von 116 MWh/a, bei einem angesetzten Kollektorertrag von 330 kWh/(m²-a). Damit werden etwa 51% des Bedarfs für die WW- Bereitung und der Netzverluste bzw. 19 % des gesamten Wärmebedarfs ab Heizzentrale gedeckt. Bei der Aufstellung des Pufferspeichers (21 m³) in der Heiz-

zentrale ergeben sich Einschränkungen hinsichtlich der Raumhöhe. Es wird eine Lösung mit 3 Serien Pufferspeichern vorgeschlagen, welche in Reihe verschaltet werden und in einem abgesenkten Bereich aufgestellt werden.

Variante 3 sieht die Wärmeerzeugung durch einen Holzpelletkessel mit ca. 300 kW im Nahwärmeverbund vor. Zusätzlich zum Heizraum ist ein Pelletssilo mit einer Größe von etwa 56 m³ erforderlich (4m x 4m x 3,5m), welches mindestens eine LKW-Ladung Pellets (36 m³) fassen kann. Ein Pufferspeicher mit 6 m³ verlängert die Betriebszeiten des Holzkessels bei reduzierter Wärmeabnahme in der Übergangszeit.

Im Unterschied zur vorigen Variante ist in Variante 4 zusätzlich wieder eine Solaranlage analog Variante 2 vorgesehen. Bild 104 zeigt das vereinfachte Anlagenschema von Variante 4.

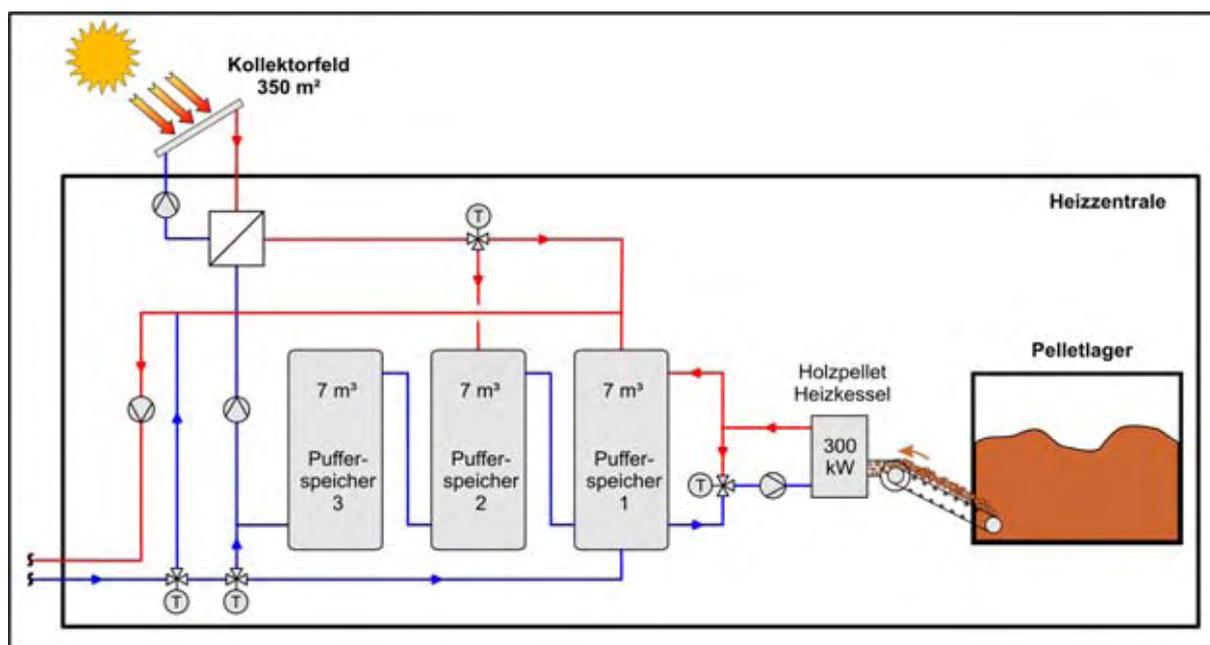


Bild 104 Anlagenschema Variante 4 – Holzpelletkessel mit Solaranlage 350 m²

Ergebnisse

Bild 105 zeigt die Investitionskosten für die Wärmeversorgung bei allen Varianten, aufgeteilt nach den verschiedenen Anlagenteilen. Bei Variante 3 und 4 wurde eine Förderung durch die KfW-Förderbank (Marktanreizprogramm zur Förderung erneuerbaren Energien) für den Holzpelletkessel in Höhe von 24 €/kW, sowie für die Nah-

wärmetrasse in Höhe von 50 €/m_{Trasse} berücksichtigt. Für Variante 2 und 4 werden die Kosten für die solaren Komponenten zu 30% durch Solarthermie2000plus als förderfähig angesetzt.

Bei Betrachtung der Wärmeschutzmaßnahmen für den EnEV- Neubau Standard (energetische Sanierung der Gebäude) kann der Energieverbrauch um 65% reduziert werden. Dabei entstehen Kosten in Höhe von 765.000 €, bezogen auf die Wohnfläche ca. 125 €/m²_{Wfl.}. Für einen erhöhten Wärmedämmstandard (40 kWh/m²_{ANA}) entstehen Mehrkosten in Höhe von 165.000 € bzw. 27 €/m²_{Wfl.}.

Betrachtet man die Wärmeerzeugung, so sind die niedrigsten Investitionen bei zentraler Versorgung mit einem Gas-Brennwertkessel zu erwarten (Variante 1). Für eine zentrale Versorgung mit Holzpellets entstehen um 100.000 € höhere Kosten als bei Variante 1. Eine zusätzliche Solaranlage führt zu weiteren Investitionen von ca. 190.000 €, die durch die Energieeinsparung nicht vollständig ausgeglichen werden können. Durch entsprechende Fördergelder reduzieren sich die Investitionskosten bei Variante 2 um 13%, bei Variante 3 um 7% und bei Variante 4 um ca. 15%.

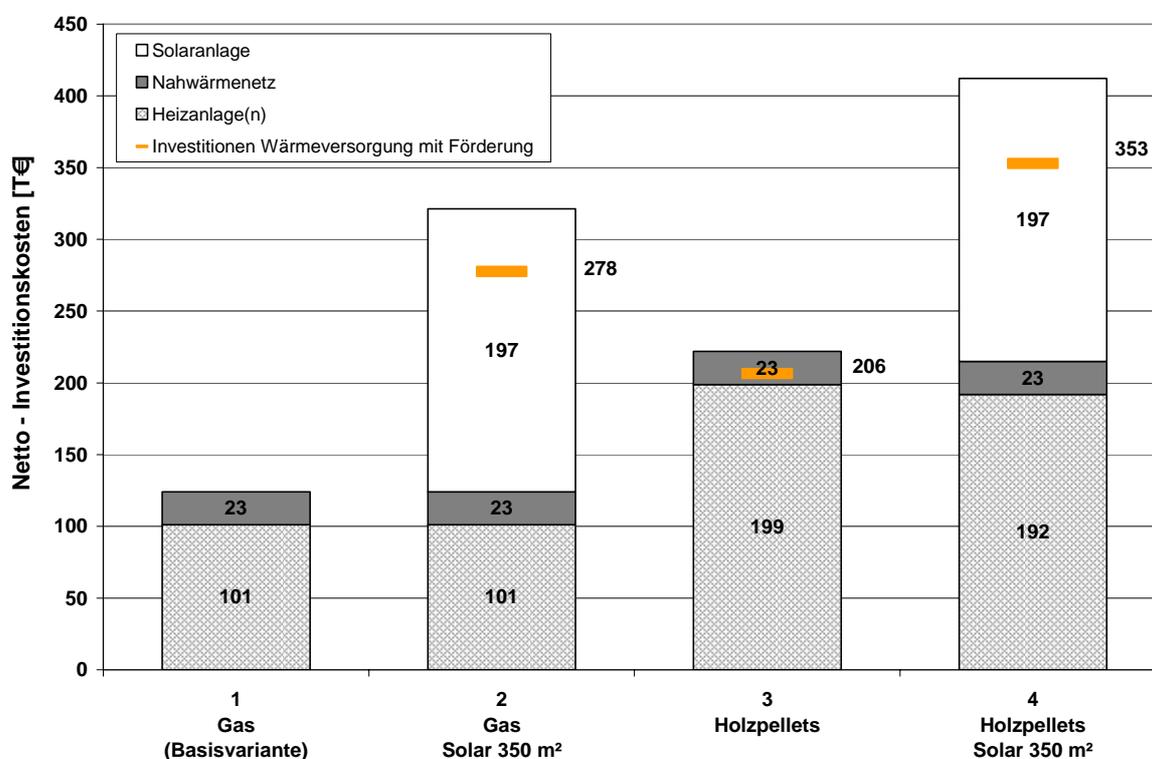


Bild 105 Gesamt-Investitionskosten (inkl. Planung, ohne MWSt.) der verschiedenen Varianten

In Bild 106 sind die Jahresgesamtkosten für die unterschiedlichen Varianten dargestellt, welche sich aus den Kapitalkosten, Instandsetzungs-, Wartungs-, und Betriebskosten sowie den Energiekosten zusammensetzen. Bei den Varianten mit Holzpelletkessel und Solaranlage werden die Einsparungen durch die Förderung berücksichtigt.

Die günstigste Lösung ist durch zentrale Versorgung mit Gas (Variante 1) und zentrale Versorgung mit Holzpellets (Variante 3) zu erreichen. Die Jahresgesamtkosten der Variante 2 und 4 liegen um ca. 22% höher. Zu beachten ist neben dem Gesamtbetrag auch die Kostenaufteilung. Der Anteil der Energiekosten bei Variante 3 mit Holzpellets ist um 30% deutlich geringer als bei zentraler Versorgung mit Erdgas (Basisvariante). Durch eine thermische Solaranlage reduziert sich der Anteil der Energiekosten noch einmal um 13%.

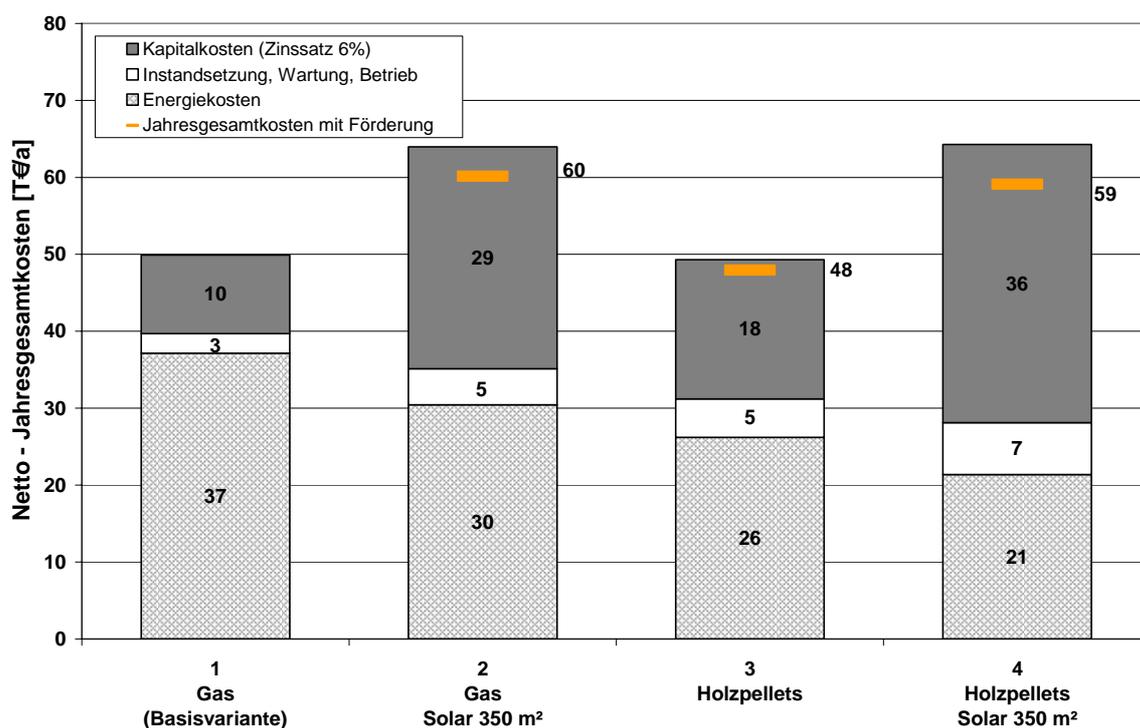


Bild 106 Jahresgesamtkosten (ohne MWSt.) der verschiedenen Varianten

Mit der Betrachtung des Primärenergiebedarfes und der CO₂- Emissionen erfolgt eine ökologische Bewertung der Wärmeversorgung, siehe Bild 107. Bei Wärmeversorgung auf Basis Holz (und Solar) ergeben sich deutliche Reduzierungen im Bereich der Emissionen und der Primärenergiekennzahlen. Bei den Varianten 3 und 4 wird durch den Einsatz des Energieträgers Holz eine Reduktion der CO₂-Emissionen sowie der Primärenergiekennzahl um ca. 80% erzielt.

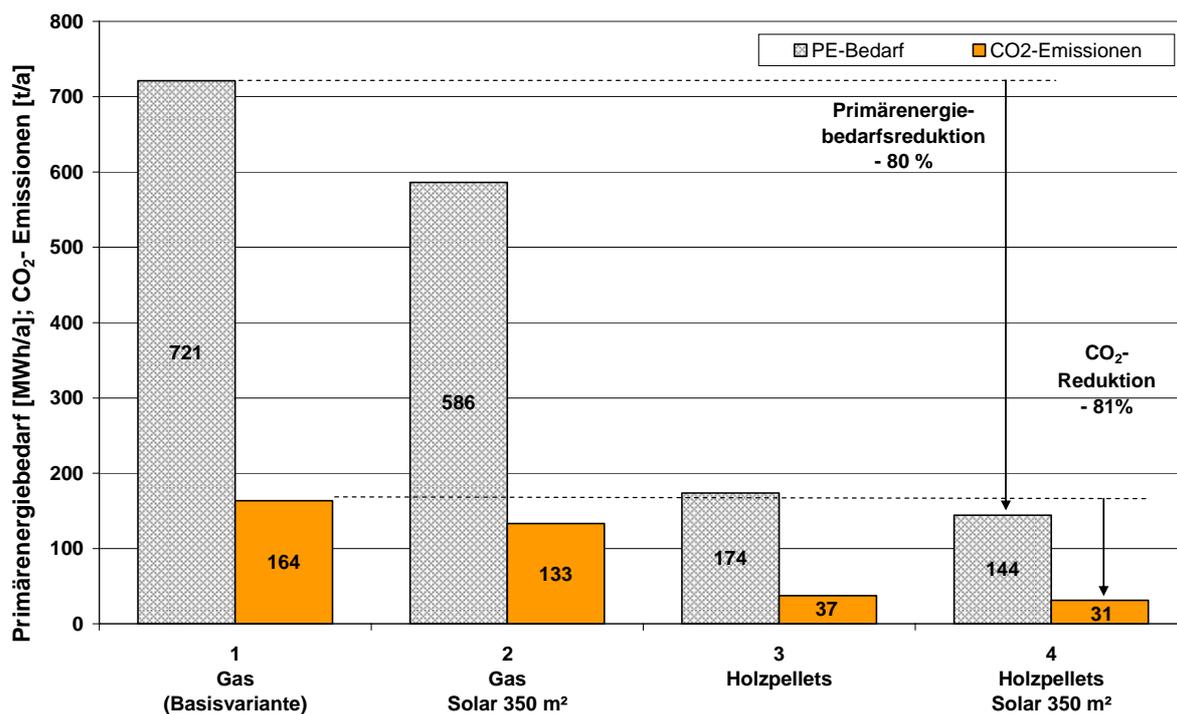


Bild 107 Primärenergiebedarf und CO₂- Emissionen der verschiedenen Varianten

Als Ergebnis sollte eine zentrale Wärmeversorgung mit Holzpelletkessel realisiert werden. Dabei sollte der Wärmeschutz der Gebäudehülle auf mindestens EnEV-Neubau- Standard verbessert werden. So lassen sich die Energiekosten sowie die CO₂-Emissionen im Vergleich zum derzeitigen Zustand erheblich reduzieren. Die Nahwärmeleitung sollte möglichst kurz unter Einbeziehung der Keller in den Mehrfamilienhäusern verlegt werden, um Wärmeverluste und Investitionskosten zu reduzieren.

3.18 Projekt 18 – Hamburg Wilhelmsburg, Quartier Weimarer Straße

Im Wohngebiet Weimarer Straße im Hamburger Stadtteil Wilhelmsburg befinden sich ca. 800 Wohneinheiten der SAGA Siedlungs-AG Hamburg. Bis zum Jahr 2013 ist eine Komplettsanierung des Wohnviertels geplant, wobei ein Teil der Gebäude modernisiert und erweitert, ein anderer Teil abgerissen und neu erstellt werden soll. Im Endausbau soll dabei die Anzahl der Wohneinheiten auf fast 900 erweitert werden. Im Zusammenhang mit der anstehenden Sanierung wird der Aufbau einer solarunterstützten Nahwärmeversorgung erwogen. Ein Flakturm aus dem 2. Weltkrieg sollte dabei als Aufstellort für die Kollektoren und die Wärmespeicher genutzt werden.

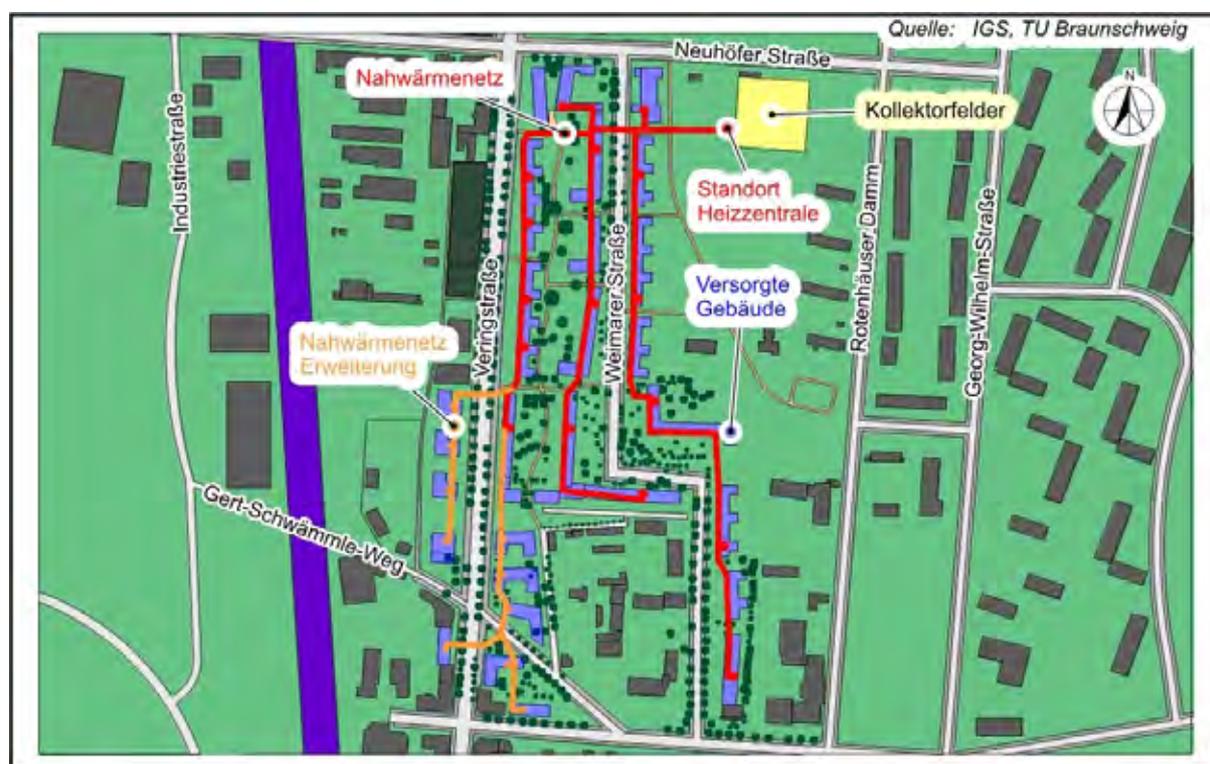


Bild 108 Lageplan Hamburg Wilhelmsburg, Wohngebiet Weimarer Straße

Im Auftrag der Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt, Hamburg sollen in einer Machbarkeitsstudie im Frühjahr 2007 die technischen Rahmenbedingungen für die technische Umsetzung einer solaren Versorgung geklärt werden, die Investitionskosten ermittelt sowie die Wirtschaftlichkeit bewertet werden.

Das betrachtete Wohngebiet der SAGA besteht zu einem großen Teil aus 4 parallel verlaufenden Zeilen von Wohnblocks entlang der Weimarer Straße und der Ve-

ringstraße. Im südlichen Bereich wird diese klare Struktur durch Wohngebäude anderer Eigentümer mit unregelmäßiger Bebauung unterbrochen. Die einzelnen Blöcke haben zwischen 2 und 7 Eingänge, in jedem davon sind derzeit 7 bis 11 Wohneinheiten. Insgesamt ergeben sich 816 Wohneinheiten und 12 Gewerbeeinheiten mit ca. 45.000 m² Wohn-/Nutzfläche. Das ergibt eine mittlere Fläche von 54 m² pro Einheit. In insgesamt 8 Bauabschnitten sollen alle Gebäude saniert und durch An- und Neubauten die Wohn-/Nutzfläche auf ca. 61.700 m² erweitert werden. Dabei soll die Anzahl der Wohneinheiten auf 889 und der Gewerbeeinheiten auf 38 erhöht werden. Dies entspricht auch einer Vergrößerung der Einheiten auf 67 m².

Die auf dem Flakturm vorgesehene realisierbare Kollektorfläche ist nicht in allen Fällen für die solarunterstützte Versorgung des gesamten Gebietes ausreichend. Das zu betrachtende Versorgungsgebiet wird deshalb in einigen Varianten auf definierte Bauabschnitte beschränkt. Dieses umfasst nach der Sanierung 621 Wohneinheiten und 19 Gewerbeeinheiten mit einer Gesamtfläche von 40.250 m², also etwa 2 Drittel des Gesamtgebiets. Die Rahmendaten des Teil- und Gesamtgebietes sind in Tabelle 42 aufgeführt.

Status	Planungstand zum Zeitpunkt der Machbarkeitsstudie			
	Teilgebiet	Gesamtgebiet		
Gebäudetyp	Mehrfamilienhäuser			
Anzahl der Gebäude	14	28		
Nutzung	Wohnen / Gewerbe			
Klassifizierung	Sanierung und Neubau			
Anzahl Wohneinheiten	621	889		
Anzahl Gewerbeeinheiten	19	38		
Wohn-/Nutzfläche	40.250 m ²	61.713 m ²		
Jahresheizwärmebedarf	70 kWh/m ² _{ANA}			
Warmwasserbedarf	33 kWh/m ² _{ANA}		1.328 MWh/a	2.037 MWh/a
Netzverluste	167 kWh/m ² _{TrA}	174 kWh/m ² _{TrA}	288 MWh/a	422 MWh/a
Gesamtwärmebedarf	110 kWh/m ² _{ANA}		4.434 MWh/a	6.779 MWh/a
Heizleistungsbedarf	45 W/m ² _{AN}		1.811 kW	2.777 kW

Tabelle 42 Eckdaten Machbarkeitsstudie Hamburg Wilhelmsburg, Wohngebiet Weimarer Straße

Zur Ermittlung des Wärme- und Heizleistungsbedarfs der Gebäude nach der Sanierung werden flächenbezogene Kennwerte von 70 kWh/m²_{Wfi}a und 45 W/m²_{Wfi} angesetzt bzw. für den Brauchwasserwärmebedarf 33 kWh/m²_{Wfi}a inklusive Speicher- und Zirkulationsverluste. Dabei wird von einer grundlegenden wärmetechnischen Sanierung der Gebäude ungefähr auf heutigem Neubaustandard ausgegangen. Die Kennwerte sind auf die Wohn-/Nutzfläche bezogen. Beim Vergleich mit Kennwerten, die nach der EnEV ermittelt werden, ist zu berücksichtigen, dass die dort verwendete Bezugsfläche (Nutzfläche A_N) meist größer als die Wohn-/Nutzfläche ist und deshalb zu kleineren Kennwerten führt. Der Warmwasserbedarf von 33 kWh/m²_{Wfi}a erscheint sehr hoch. Zum Vergleich dazu ergeben die Pauschalwerte nach EnEV mit 12,5 kWh/m²_{AN}a den Wert von ca. 20 kWh/m²_{AN}a inklusive Verluste. Die Umrechnung von A_N auf Wohnfläche (Wfl) mit Faktor 1 / 0,85 ergibt einen Bedarf von 24 kWh/m²_{Wfi}a. Aufgrund der überdurchschnittlich hohen Belegungsdichte ist dieser Wert hier jedoch nicht zutreffend. Von der SAGA wird für das Gebiet ein Warmwasserverbrauch von 0,4 m³/(m²_{Wfi}a) ermittelt. Bei einer Warmwasser Temperatur von 60°C ergibt sich daraus unter Anrechnung der Verteilverluste ein Verbrauch von 32,6 kWh/m²_{Wfi}a. Dieser Wert wird (gerundet) als Basis für die Bedarfsermittlung angesetzt.

Der jährliche Heizwärmebedarf beträgt 2.818 MWh/a (Teilgebiet) bzw. 4.320 MWh/a. Für die Brauchwassererwärmung sind (inklusive Speicher- und Zirkulationsverluste) 1.328 MWh/a (Teilgebiet) bzw. 2.037 MWh/a erforderlich. Bei zentraler Versorgung entstehen zudem Netzverluste in Höhe von 288 bzw. 422 MWh/a. Dies ergibt einen Nutzwärmebedarf von 4.146 bzw. 6.356 MWh/a und einen Gesamtwärmebedarf ab Heizzentrale von 4.434 bzw. 6.779 MWh/a inkl. Netzverluste, siehe Bild 109. Bei zentraler Versorgung des Gesamtgebiets erhöht sich der Jahresheizwärmebedarf um 35%. Die erforderliche Heizleistung ab Zentrale beträgt 1.811 bzw. 2.777 kW.

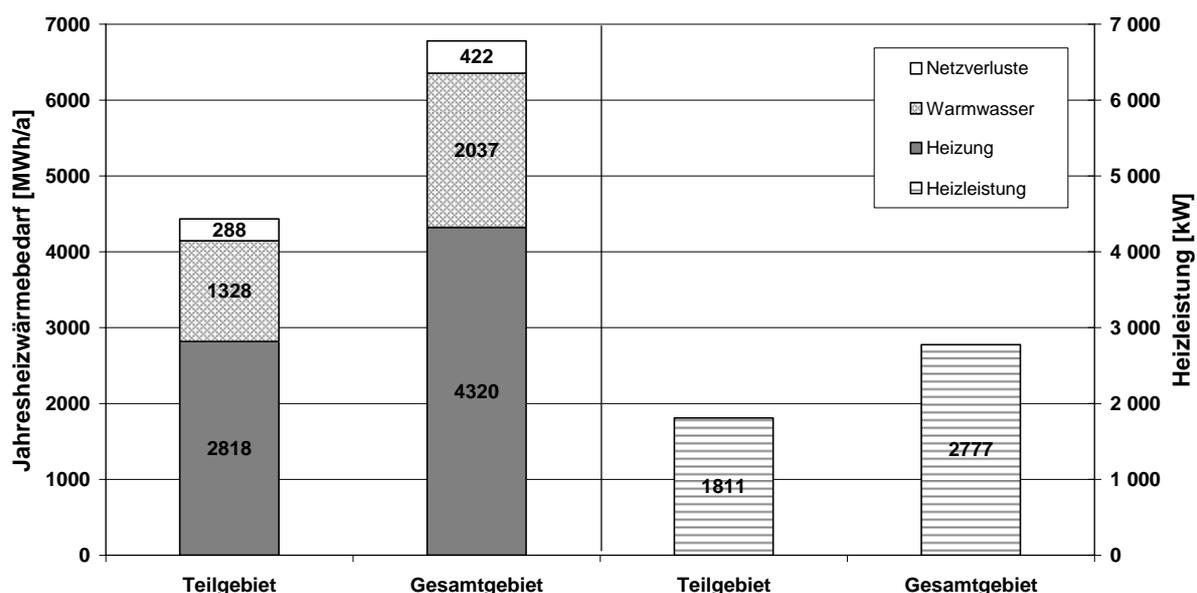


Bild 109 Darstellung Jahresheizwärmebedarf und Heizlast

Variantenbetrachtung

Zur Wärmeversorgung des Wohngebietes werden vier unterschiedliche Varianten im Rahmen der Machbarkeitsstudie untersucht. Dabei wird die Einzelhausversorgung mit Gas-Brennwert Geräten als Basisvariante definiert (Variante 1). Bei Variante 2 dient ein Wärmenetz nur der Verteilung der am Flakturm erzeugten Solarwärme, die erforderliche Nachheizung erfolgt in den vorhandenen Gaskesseln in den jeweiligen Gebäuden. Da ein Wärmenetz für 30 bis 40 Jahre im Betrieb sein kann, ist zu empfehlen, es auf jeden Fall so auszulegen, dass zu einem späteren Zeitpunkt auch die Gesamtversorgung aus einer zentralen Heizanlage möglich ist. In der praktischen Ausführung bedeutet dies maximal eine Vergrößerung um eine Nennweite. Bei Anschluss der Wohnhäuser (Teilgebiet) hat das Solar-Wärmenetz, welches in den Untergeschossen der Gebäude verlegt wird, eine Länge von etwa 1.730 m. Die Netzverluste betragen mit 184 MWh/a etwa 4% der von den Heizzentralen abgegebenen Wärmemengen bzw. 17% bezogen auf die erzeugte Solarwärme.

Bei Variante 3 und 4 hingegen wird die dezentrale Versorgung vollständig durch eine zentrale Struktur abgelöst. Bei Variante 3 (Teilgebiet) hat das Netz eine Länge von ca. 1.730 m wenn das Wärmenetz im Untergeschoss der Gebäude verlegt wird. Daraus ergeben sich Netzverluste von 288 MWh/a, was einem Anteil von lediglich 6,5%

am Gesamtwärmebedarf entspricht. In Variante 4 wird die Versorgung des Gesamtgebietes betrachtet. Dadurch erhöht sich die Netzlänge auf 2.430 m, die maximale Nennweite der erdverlegten Leitungen beträgt DN 150. In den Untergeschossen werden Leitungen bis zur Nennweite DN 100 erforderlich. Die Netzverluste erhöhen sich auf 420 MWh/a, bleiben aber anteilig bei 6,5%.

Zur Wärmeversorgung werden vier Varianten betrachtet, welche nachfolgend aufgelistet sind:

Var.	zentral/ dezentral	Kesselart	Kesselleistung (je Kessel)	Kollektor- fläche	Speicher- art	Speicher- volumen
1	dezentral	Gas-BWK	100 / 170 / 230 kW	-	-	-
2	dezentral	Gas-BWK	100 / 170 / 230 kW	zentral 3.700 m ²	Mehrtages- speicher	650 m ³
3	zentral	Gas-BWK Gas-NTK	850 kW 850 kW	zentral 3.700 m ²	Mehrtages- speicher	650 m ³
4	zentral	Holzhackschnitzel Gas-BWK Gas-NTK	800 kW 850 kW 850 kW	zentral 3.700 m ²	Kurzzeit- speicher	230 m ³

(BWK = Brennwertkessel, NTK - Niedertemperaturkessel)

Tabelle 43 Varianten der Wärmeversorgung Hamburg Wilhelmsburg, Wohngebiet Weimarer Straße

In Variante 1 werden als Vergleichsmaßstab die Kosten für eine dezentrale Wärmeversorgung mit Gas-Brennwertkessel für das Teilgebiet ermittelt. Die Investitionskosten für die installierten Anlagen werden auf Basis heutiger Preise geschätzt. Die Anlagen sind in den Bestandsgebäuden vorhanden, so dass diese Investitionen aktuell nicht anfallen, sondern jeweils erst wieder bei Ersatz von Anlagen. Der Leistungsreich der Mehrfamilienhäuser liegt zwischen 86 und 245 kW.

Bei Variante 2 erfolgt die zentrale Wärmeerzeugung nur durch die Solaranlage mit Mehrtagespeicher. Die Nachheizung erfolgt dezentral in den bereits vorhandenen bzw. neu zu installierenden Gas-Brennwertkesseln. Dabei werden die Hausstationen umgebaut und an das Solarwärmenetz angebunden. Die Solaranlage wird in den Rücklauf von Warmwasserbereitung und Heizung eingebunden. Die Warmwasserbereitung wird derart umgebaut, dass die Zirkulationserwärmung in einem separaten Wärmetauscher stattfindet. Der Rücklauf aus der Zirkulationserwärmung, dessen

Temperatur immer mindestens 55 °C beträgt, wird heizungsseitig in die Beimischung des Heizkreises eingebunden und kann so als Heizungsvorlauf genutzt werden. Der Solaranlage wird das kältere Heizungswasser aus dem Heizungsrücklauf zur Verfügung gestellt. Ist die Temperatur im Rücklauf aus Heizung / Zirkulationserwärmung zu hoch, dann kann der Rücklauf über ein Dreiwege-Umschaltventil an der Solaranlage vorbei geführt werden. Ziel dieser Anlagenkonfiguration ist die Senkung der Kollektoreintrittstemperaturen auf ein Minimum und damit die Erhöhung des nutzbaren Kollektorertes sowie die Reduzierung der Netzverluste. Auf Basis des angepassten Gestaltungsentwurfs (Czerner Götsch Architekten) ergibt sich eine maximale Kollektorfläche von etwa 3.600 m² auf dem Flakturm. Diese Fläche ist für eine Mehrtagesspeicher-Anlage für das Teilgebiet ausreichend. Der Pufferspeicher muss als druckloser Speicher ausgeführt werden. Bei einem drucklosen, d.h. offenen System können keine Stahlspeicher verwendet werden, da es durch den Sauerstoffeintrag zu Korrosion kommt. Es bieten sich deshalb Speicher aus Edelstahl oder aus glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK) an. Angenommen werden 6 in Reihe geschaltete Tanks aus 12-eckigen Segmentteilen mit einem Innen-Durchmesser von 4,4 m, einer Höhe von 7 m und einem Gesamtvolumen von etwa 650 m³. Bei einem erwarteten Ertrag von etwa 290 kWh/(m²-a) ergibt sich ein Ertrag von 1.073 MWh/a. Damit werden 25% des gesamten Wärmebedarfs der Gebäude gedeckt.

In Variante 3 wird von einer vollständig zentralen Versorgung des Teilgebiets ausgegangen, d.h. im Unterschied zu Variante 2 erfolgt hier die Nachheizung in einer zentralen Gaskesselanlage. Das Versorgungsgebiet erstreckt sich ebenfalls auf das oben genannte Teilgebiet. Die Solaranlage ist identisch mit der bei Variante 2 beschriebenen Anlage. Allerdings ist auf Grund der höheren Netztemperaturen ein geringerer spezifischer Solarertrag (270 kWh/m²a) zu erwarten. Für den konventionellen Teil der Heizzentrale ist ein Gebäude mit etwa 40 m² Grundfläche erforderlich. Die Wärmezeugung erfolgt mit zwei Gaskesseln mit jeweils 850 kW Heizleistung (1 Brennkessel und 1 NT-Kessel). Bei Variante 3 entfallen die dezentralen Heizkessel, damit entfällt beim Umbau der Hausstationen die geplante Umschaltung aus Variante 2.

Für Variante 4 wird ein Holzhackschnitzelkessel mit einer thermischen Leistung von 800 kW vorgesehen. Damit wird etwa ein Drittel der Heizleistung abgedeckt, den Rest decken 2 Gaskessel mit je 850 kW ab (1 Brennwert-Kessel, 1 NT-Kessel). Es soll ein Kessel mit Treppenrostfeuerung zum Einsatz kommen, damit auch Holz geringerer Qualität, z.B. Grünschnitt, verbrannt werden kann. Die Kesselanlage und das Holzhackschnitzellager erfordern den Bau einer Heizzentrale und eines Holzbunkers mit einem Gesamtvolumen von etwa 1.100 m³. Bei einer jährlichen Betriebsdauer von 5.000 h/a ergibt sich ein Brennstoffbedarf von 7.000 m³/a. Dies entspricht 85 LKW-Anfahrten pro Jahr. Im Volllastbetrieb sind pro Woche 3 LKW-Lieferungen erforderlich. Weiterhin kommt eine Solaranlage mit Kurzzeitspeicher zum Einsatz. Sie hat ebenfalls eine Fläche von 3.700 m². Zur Wärmespeicherung ist hier allerdings ein Pufferspeicher mit etwa 230 m³ ausreichend. Dieser kann noch in konventioneller Weise als Stahlspeicher und somit als geschlossener Speicher ausgeführt werden (2 Stück a 115 m³), siehe Bild 110. Der spezifische Solarertrag der Kollektoranlage wird auf 325 kWh/m²a geschätzt. Er ist deutlich höher als bei diesen Anlagen, die für den Sommerfall überdimensioniert sind und dementsprechend zeitweise in Stagnation gehen. Es ergibt sich ein Ertrag von 1.203 MWh/a. Damit werden 50% des Bedarfs für die Warmwasserbereitung und der Netzverluste bzw. 18% des gesamten Wärmebedarfs ab Heizzentrale gedeckt.

Bei Variante 4 kommt zu den in Variante 3 genannten Umbauten die Installation von 14 weiteren neuen Hausstationen in den Neubauten hinzu. Die erforderlichen Stationen haben jeweils eine Leistung von 50 bis 100 kW. Die Warmwasserbereitung erfolgt mit Speicher-Lade-System.

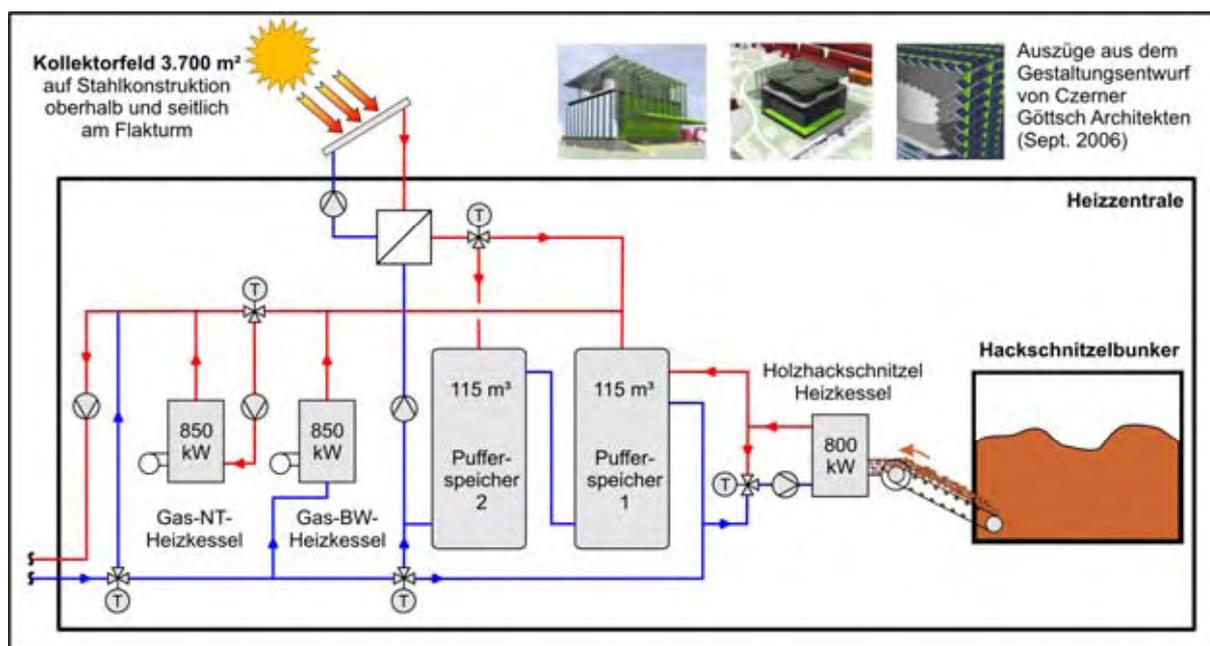


Bild 110 Anlagenschema Variante 4 – Holzhackschnittzelkessel mit Solaranlage 3.700 m²

Ergebnisse

Bild 111 zeigt die Investitionskosten für die Wärmeversorgung bei allen Varianten, aufgeteilt nach den verschiedenen Anlagenteilen. Bei Variante 4 wird eine Förderung aus dem Förderprogramm "Bioenergie" der Stadt Hamburg für den Holzessel in Höhe von 90 €/kW berücksichtigt. Voraussetzung ist die Reduzierung der Staubemissionen auf weniger als 40 mg/Nm³. Dazu ist auf jeden Fall ein Elektrofilter erforderlich. Weiterhin werden die Kosten für die solaren Komponenten bei Variante 2 zu 35% bzw. Variante 3 und 4 zu 30% durch Solarthermie2000plus als förderfähig angesetzt. Aus dem Hamburger Klimaschutzprogramm wird für thermische Solaranlagen mit Flachkollektoren ein Zuschuss von 160 €/m² bewilligt. Die beschriebenen Förderprogramme dürfen kombiniert werden, allerdings darf die Gesamtförderung höchstens 50% betragen. Die Unterkonstruktion zur Aufnahme der Kollektoren wird nicht kostenmäßig mit erfasst.

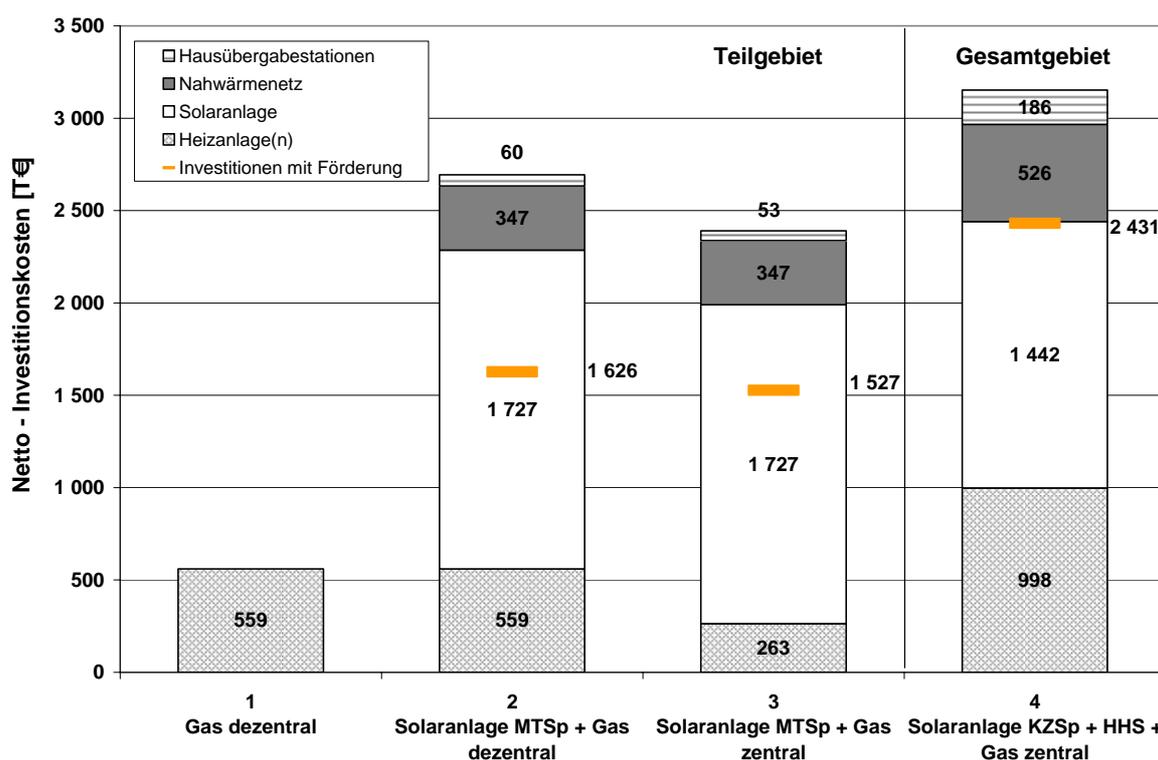


Bild 111 Gesamt-Investitionskosten (inkl. Planung, ohne MWSt.) der verschiedenen Varianten

Da sich Variante 4 auf ein größeres Versorgungsgebiet bezieht, sind die Werte nicht direkt vergleichbar. Dazu werden in Bild 112 die Kosten auf die Wohnfläche bezogen dargestellt. Bei den Varianten 2 bis 4 liegen die spezifischen Investitionen (mit Förderung) jeweils in annähernd gleicher Höhe (40 €/m²). Allerdings sind bei Variante 2 darin die zum Teil bereits getätigten Investitionen für die dezentralen Heizungsanlagen enthalten.

In Bild 113 sind die flächenbezogenen Jahresgesamtkosten für die unterschiedlichen Varianten dargestellt, welche sich aus den Kapitalkosten, Instandsetzungs-, Wartungs-, und Betriebskosten sowie den Energiekosten zusammensetzen.

Die Jahresgesamtkosten der verschiedenen Varianten liegen zwischen 7,3 und 10,9 €/m²_{WflA}, bei Berücksichtigung der Förderung ergeben sich Jahresgesamtkosten zwischen 7,3 und 7,7 €/m²_{WflA}. Bei den dezentral versorgten Gebäuden mit Gas-Brennwertkessel (Variante 1) überwiegen die Energiekosten die Kapitalkosten deutlich mit 80%. Bei den Solaranlagen mit Mehrtagespeicher (Variante 2 und 3) ist das Verhältnis ausgewogen, die Heizzentralen mit Holzhackschnitzelkessel und Solaranlage (Variante 4) haben sehr hohe Kapitalkosten bei geringen Energiekosten.

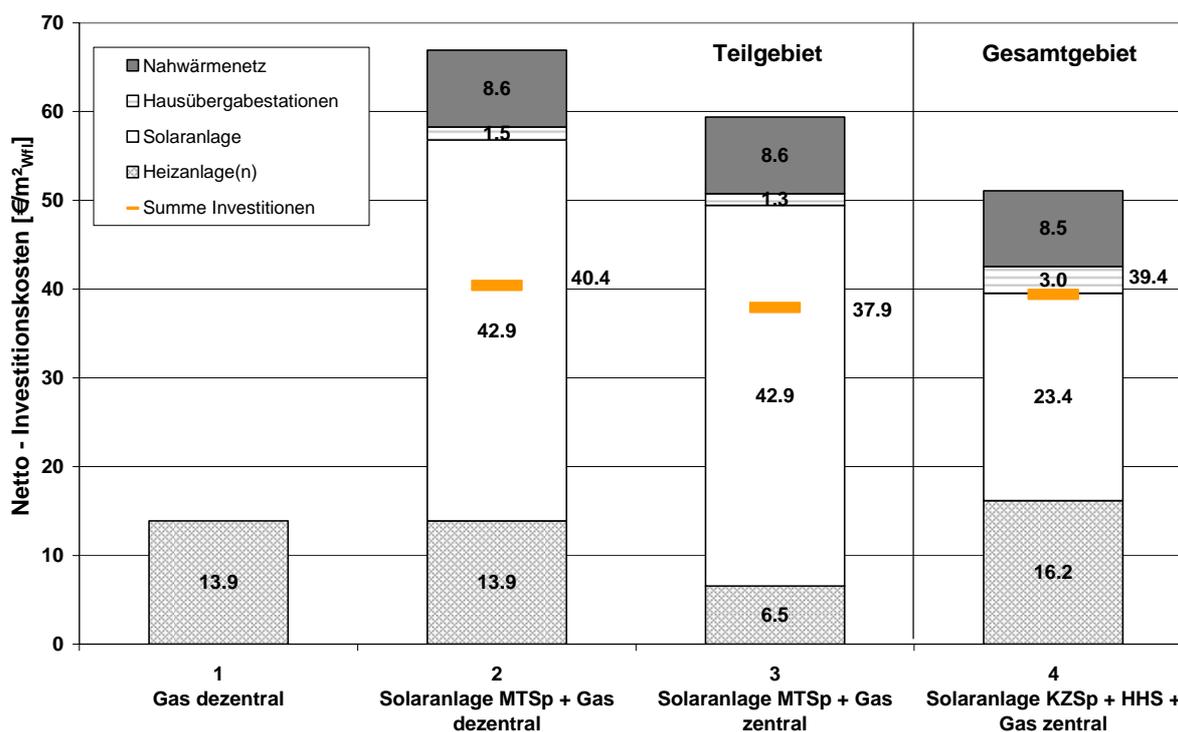


Bild 112 Flächenbezogene Investitionskosten (inkl. Planung, ohne MWSt.)

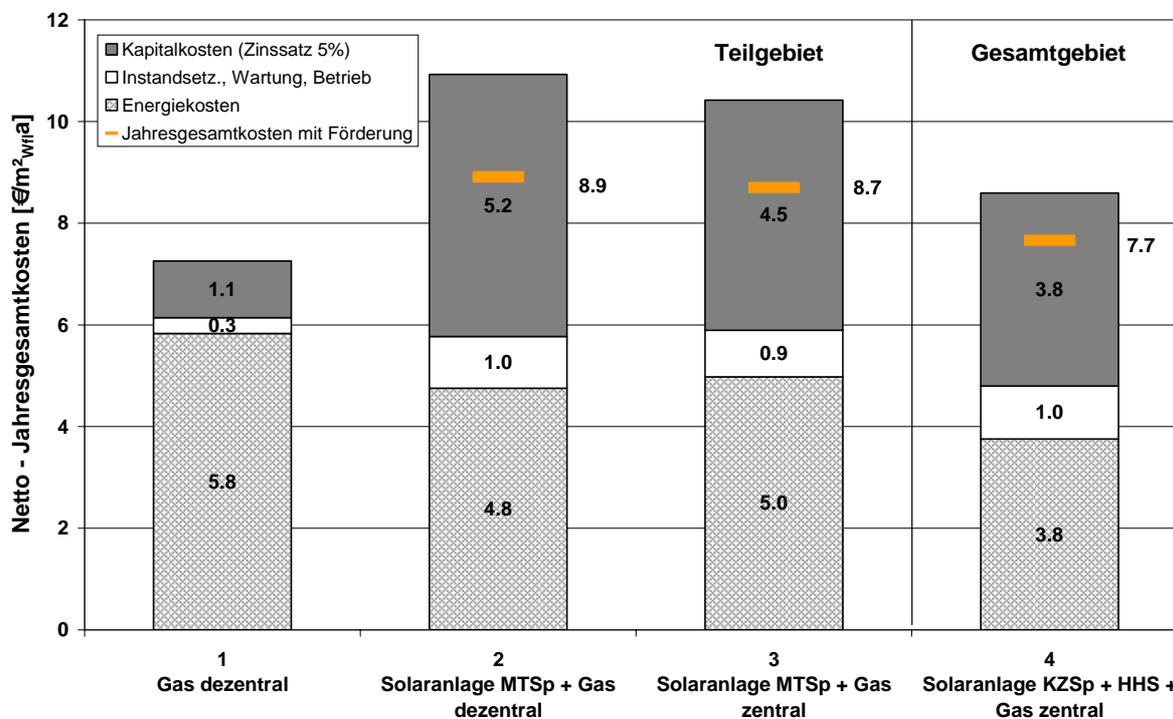


Bild 113 Flächenbezogene Jahresgesamtkosten (ohne MWSt.) der verschiedenen Varianten

Der Primärenergiebedarf ist ein sehr gutes Maß, um die Umweltfreundlichkeit eines Heizsystems oder Gebäudes zu bewerten. In Bild 114 ist der flächenbezogene Primärenergiebedarf für die unterschiedlichen Versorgungsvarianten dargestellt. Primärenergetisch ist die Versorgung über Holzhackschnitzel und Solaranlage wesentlich günstiger als über die 100%-ige Gasversorgung, d.h. bis zu 55% besser.

Mit der Betrachtung der CO₂- Emissionen erfolgt eine weitere ökologische Bewertung der Wärmeversorgung. Da Holzhackschnitzel ein nachwachsender Rohstoff sind, fallen für diesen Brennstoff bilanztechnisch kaum CO₂- Emissionen an. Lediglich bei der Herstellung und dem Transport entstehen CO₂-Emissionen. Für die Versorgung des Gesamtgebiets mit Holz und Sonne (Variante 4) ergeben sich CO₂-Emissionen, die absolut gesehen deutlich niedriger liegen. Diese liegen bei konventioneller Versorgung bei 28 kg/m²_{Wfla} und reduzieren sich durch die Solaranlage auf 23-24 kg/m²_{Wfla} sowie bei Variante 4 um fast 60% auf etwa 12 kg/m²_{Wfla}.

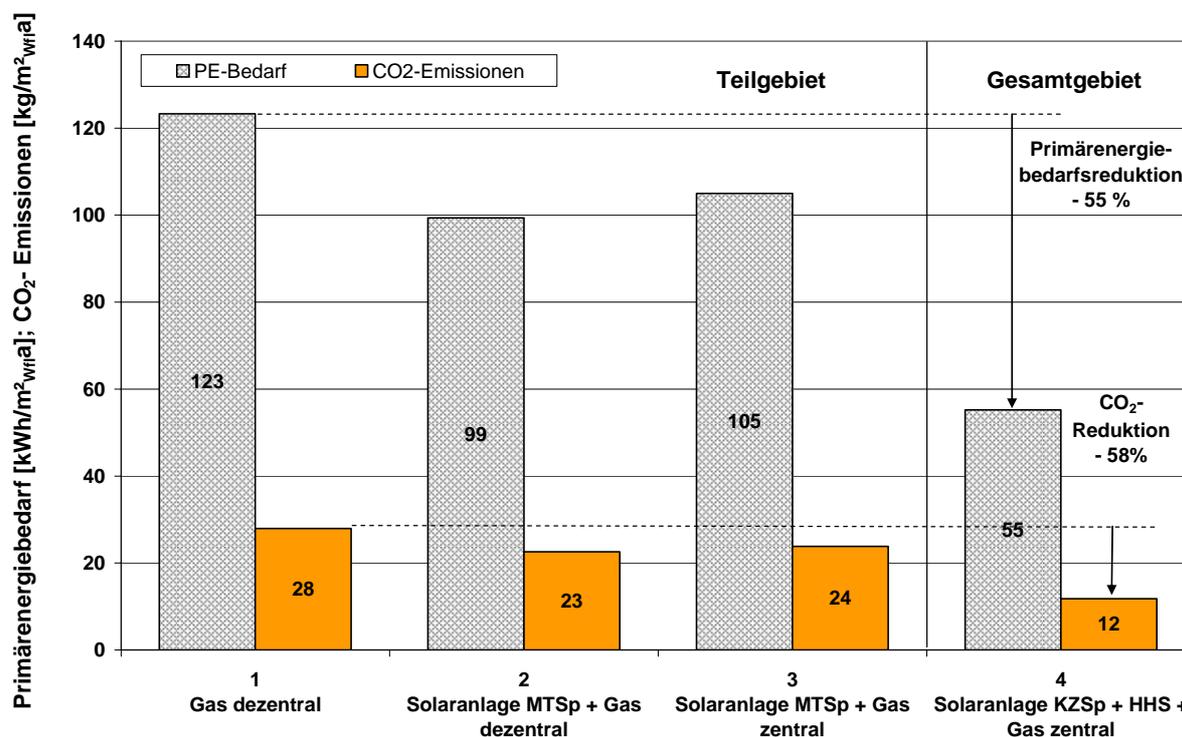


Bild 114 Flächenspezifischer Primärenergiebedarf und CO₂- Emissionen bezogen auf die Wohnfläche A_{Wfl} der verschiedenen Varianten

Eine solarunterstützte Versorgung mit Mehrtagespeicher ist bei den gegenwärtigen Energiepreisen trotz hoher Förderung nicht wirtschaftlich umsetzbar. Eine zentrale Wärmeversorgung bietet jedoch die Möglichkeit des Einsatzes von Biomasse als Hauptenergieträger. Damit lassen sich die CO₂-Emissionen um 45% reduzieren, bei annähernd gleichen Wärmeversorgungskosten wie bei dezentraler Versorgung mit Gas. Eine zusätzliche Solaranlage mit einer Kollektorfläche von 3.700 m² führt zu einer weiteren CO₂-Reduzierung um fast 15%. Die Investitionskosten für die Solaranlage incl. Unterkonstruktion liegen bei 2,2 Mio €. Davon können etwa 0,7 Mio € durch Förderprogramme, weitere 0,7 Mio € durch Energiekosteneinsparungen gedeckt werden. Somit verbleibt als zusätzlicher Förderbedarf (eventuell Sponsoring) ein Betrag von etwa 0,8 Mio €. Mit dieser Lösung wird der Flakturm als "solares Leuchtturmprojekt" der IBA 2013 eingebunden in ein Gesamtkonzept einer CO₂-optimierten Wärmeversorgung auf Basis von Solarenergie- und Biomassenutzung.

3.19 Projekt 19 – Heilbronn, Neubaugebiet Kirschengartenstraße

Auf dem Gebiet an der Kirschengartenstraße in Heilbronn soll in den nächsten Jahren eine Wohnbebauung entstehen. Die Stadt Heilbronn (Planungs- und Baurechtsamt) beabsichtigt, einen Bebauungsplan aufzustellen. Es handelt sich um ein ca. 1,4 ha großes Gebiet an einem ca. 11% geneigten Westhang. Geplant ist ein allgemeines Wohngebiet mit einer Nettobaulandfläche von ca. 1,0 ha für eine zweigeschossige Bebauung mit ca. 50 Wohneinheiten in Form von 11 frei stehenden Ein- bis Zweifamilienhäusern, 2 Doppelhaushälften, 12 Reihenhäusern und 3 Mehrfamilienhäuser mit 5 Wohneinheiten. Alle Gebäude sind unterkellert. Die Wohnfläche des Gesamtgebietes beträgt ca. 5.300 m².

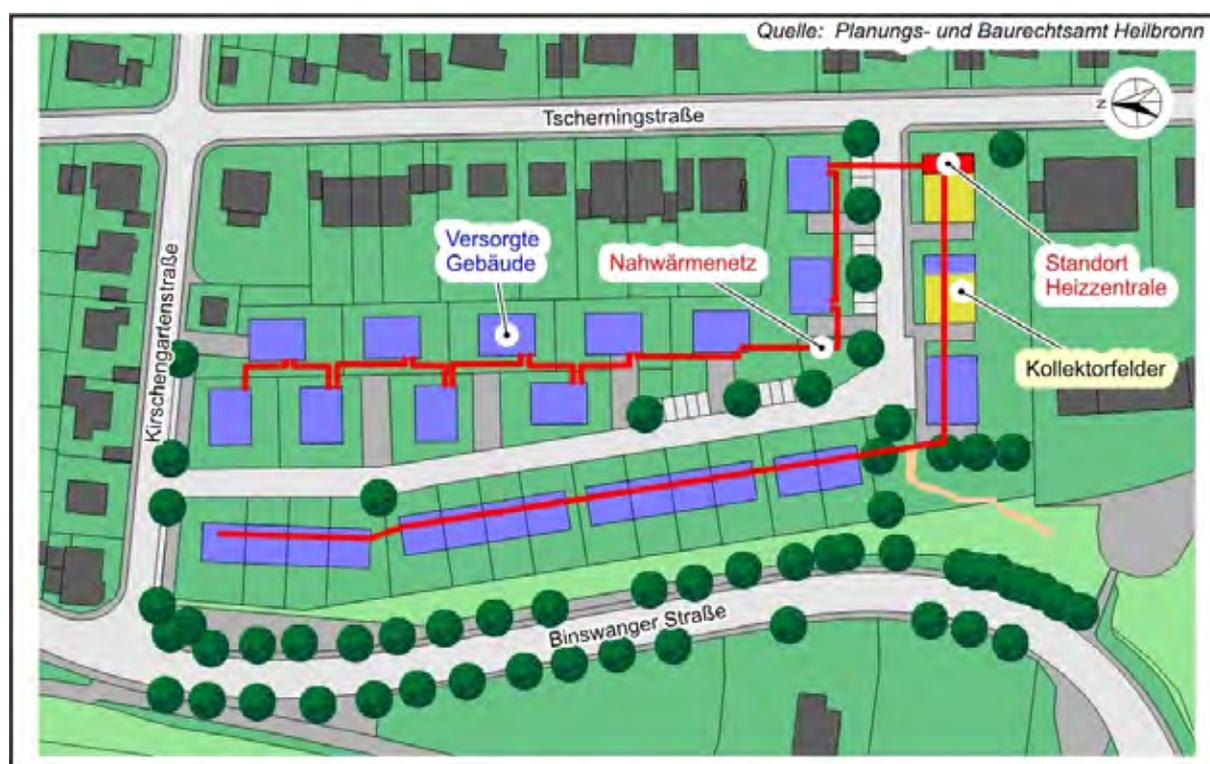


Bild 115 Lageplan Heilbronn, Neubaugebiet Kirschengartenstraße

Für das Neubaugebiet Kirschengartenstraße wird im Frühjahr 2007 ein zukunftsorientiertes Energiekonzept entworfen. Dabei sollen für das vorliegende städtebauliche Konzept unterschiedliche Möglichkeiten zur Nutzung von erneuerbaren Energien überprüft sowie die städtebaulichen Randbedingungen geklärt werden. Die Rahmen-daten für den EnEV- Gebäudestandard sind in Tabelle 44 aufgeführt.

		Planungstand zum Zeitpunkt der Machbarkeitsstudie
Gebäudetyp	Einfamilien- und Mehrfamilienhäuser	
Anzahl der Gebäude	28	
Nutzung	Wohnen	
Klassifizierung	Neubau	
Anzahl Wohneinheiten	40	
Wohnfläche	5.285 m ²	
Nutzfläche nach EnEV (A _N)	6.218 m ²	
Jahresheizwärmebedarf	65 kWh/m ² _{ANA}	405 MWh/a
Warmwasserbedarf	18 kWh/m ² _{ANA}	111 MWh/a
Netzverluste	132 kWh/m ² _{Tr} a	77 MWh/a
Gesamtwärmebedarf	95 kWh/m ² _{ANA}	593 MWh/a
Heizleistungsbedarf	41 W/m ² _{AN}	256 kW

Tabelle 44 Eckdaten Machbarkeitsstudie Heilbronn, Neubaugebiet Kirschengartenstraße

In der Studie werden sowohl Maßnahmen zur Ausführung im EnEV- Standard als auch mögliche Maßnahmenkombinationen, mit denen der KfW60-Standard erreicht werden kann, untersucht. Für KfW60 Gebäude sind die Anforderungen an den mittleren U-Wert (H_T') der Gebäudehülle um mindestens 30% zu unterschreiten. Mit einer innovativen Wärmeversorgung lässt sich bei gleich bleibenden PE-Anforderungen (z.B. 60 kWh/m²_{ANA}) der Wärmeschutz variieren.

Zur Ermittlung des Wärme- und Heizleistungsbedarfs des Gesamtgebiets werden für die einzelnen Gebäudetypen, je nach A/V-Verhältnis, Gebäudegröße und Energiestandard (EnEV oder KfW60) in Abhängigkeit der Anlagentechnik (Wärmepumpe, Holzpelletkessel, usw.), Bedarfswerte von 52 bis 65 kWh/m²_{ANA} und 40 W/m²_{AN} angesetzt. Für die Ermittlung des Brauchwasserwärmebedarfs wird für die Wohngebäude der nach EnEV angegebene Wert von 12,5 kWh/m²_{ANA} angesetzt. Für die Brauchwassererwärmung sind demnach ca. 111 MWh/a (inklusive 30% Speicher- und Zirkulationsverluste) erforderlich. Für das Gesamtgebiet entsteht ein jährlicher Heizwärmebedarf bei Errichtung der Gebäude nach EnEV von 405 MWh/a bzw. minimal 325 MWh/a bei KfW60 Standard. Bei zentraler Versorgung entstehen zudem

Netzverluste in Höhe von 77 MWh/a. Dies ergibt einen Gesamtwärmebedarf ab Heizzentrale von 593 MWh/a (EnEV) bzw. minimal 513 MWh/a (KfW60). Die erforderliche Heizleistung beträgt 256 kW.

In Bild 116 ist der Jahresheizwärmebedarf dargestellt, welcher sich aus den Netzverlusten, dem Warmwasserbedarf und dem Heizungswärmebedarf zusammensetzt. Bei zentraler Versorgung erhöht sich der Jahresheizwärmebedarf aufgrund der Netzverluste, was nicht ganz über den reduzierten Wärmebedarf der KfW60 Gebäude ausgeglichen werden kann.

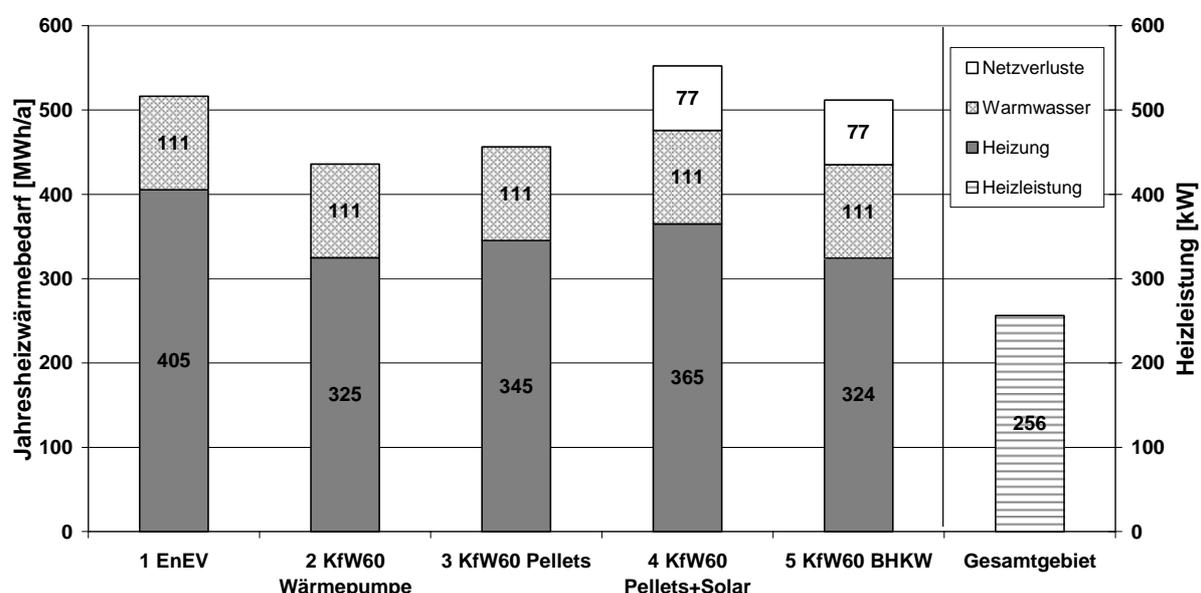


Bild 116 Darstellung Jahresheizwärmebedarf und Heizlast

Variantenbetrachtung

Zur Wärmeversorgung des Neubaugebietes werden fünf unterschiedliche Varianten im Rahmen der Machbarkeitsstudie untersucht. Dabei wird die Einzelhausversorgung mit Gas-Brennwert Geräten und EnEV- Standard als Basisvariante definiert. In der Studie erfolgt die Betrachtung des gesamten Wohngebietes.

Bei zentraler Wärmeversorgung wird im östlichen Mehrfamilienhaus im UG an der Tscherningstraße eine Heizzentrale errichtet. Die Wärmeverteilung erfolgt über ein Nahwärmenetz. Von der Heizzentrale gehen 2 Hauptrassen in Nord-Süd-Richtung ab. Die Leitungen werden so verlegt, dass ein möglichst geringer Anteil der Leitun-

gen unter öffentlichen Straßen verläuft. Aus Kostengründen wurde darauf geachtet, dass Leitungen wenn möglich in den Kellern verlegt werden und somit Abzweigungen im Erdreich vermieden werden. Die im Erdreich verlegten Abschnitte werden als PEX- Rohre ausgeführt, die Rohre im Keller in Stahl. Das Netz hat eine Länge von etwa 560 m, davon sind 400 m im Erdreich, der Rest in den Kellern zu verlegen. Die Netzverluste betragen mit 77 MWh/a etwa 14% der von der Heizzentrale abgegebenen Wärmemenge.

Für alle Einfamilienhäuser werden direkte Übergabestationen mit WW- Bereitung im Durchfluss eingesetzt. In den Mehrfamilienhäusern kommen indirekte Übergabestationen mit Speicher-Lade-Systemen zur Anwendung.

Beim Einsatz einer Solaranlage ist für einen zufrieden stellenden Betrieb dieser Anlage eine niedrige Rücklauftemperatur von größter Bedeutung. Die genannten Übergabestationen bieten die Grundlage für niedrige Rücklauftemperaturen, erforderlich ist zudem eine genaue Auslegung sowie ein hydraulischer Abgleich der Wärmeverteilung in den Gebäuden.

Zur Wärmeversorgung werden fünf Varianten betrachtet, welche nachfolgend aufgelistet sind:

Var.	zentral/ dezentral	Kesselart	Kesselleistung (je Kessel)	Kollektor- fläche	Speicher- art	Speicher- volumen
1	dezentral	Gas-BWK	11 / 11 / 15 kW	-	-	-
2	dezentral	Erdsonden-WP	11 / 11 / 15 kW	-	-	-
3	dezentral	Holzpelletkessel	11 / 11 / 15 kW	-	-	-
4	zentral	Holzpelletkessel	200 kW	270 m ²	Heißwasser	16 m ³
5	zentral	Gas-BHKW Gas-NTK	65 kW _{th} / 35 kW _{el} 190 kW	-	-	2 m ³

(BWK = Brennwertkessel, BHKW = Blockheizkraftwerk, WP = Wärmepumpe)

Tabelle 45 Varianten der Wärmeversorgung Heilbronn, Neubaugebiet Kirschengartenstraße

In Variante 1 (dezentrale Wärmeversorgung) erhält jedes Gebäude einen eigenen Gasanschluss. Die Einfamilien- und Reihenhäuser besitzen jeweils eine Gas-Brennwert-Therme (GBT) mit etwa 11 kW als Dachheizzentrale und die drei Mehrfa-

milienhäuser einen Brennwertkessel mit 15 kW. Der Wärmeschutz der Gebäude erfolgt nach EnEV.

Bei Variante 2 erfolgt die Wärmeerzeugung durch eine Wärmepumpe (WP). Als Wärmequelle dienen Erdsonden. Sie haben beim EFH, RH eine Tiefe von ca. 100 m, bei den Mehrfamilienhäusern werden jeweils ca. 200 m benötigt. Die Bereitstellung der Wärme erfolgt dezentral, d.h. jedes Haus erhält eine Wärmepumpe und Erdsonden. Die Arbeitszahl der Wärmepumpe hängt stark von der Temperaturdifferenz zwischen Wärmequelle und Heizsystem ab. Eine Fußbodenheizung, die mit einer Vorlauftemperatur von 30 bis 40°C betrieben wird und damit den WP-Betrieb begünstigt, ist bei allen Gebäuden vorgesehen. Zusätzlichen Aufwand erfordert die Brauchwasserbereitung, die ein höheres Temperaturniveau erfordert. Mit der WP kann das WW auf 50 - 55°C aufgewärmt werden. Dies ist für den Betrieb im Einfamilienhaus ausreichend, aus Gründen des Legionellenschutzes muss aber bei den Mehrfamilienhäusern der gesamte Brauchwasserspeicher auf 60°C aufgeheizt werden. Dazu ist ein elektrischer Heizstab erforderlich. Für die Berechnungen wird eine mittlere Arbeitszahl von 3,5 angesetzt, d.h. zur Gewinnung von 3,5 kWh Wärme ist der Einsatz von 1 kWh elektrischer Energie erforderlich. Der Wärmeschutz des Gebäudes richtet sich nach den Vorgaben eines Energiesparhauses 60.

Bei Variante 3 erfolgt die Wärmeerzeugung durch einen Holzpelletkessel. Die Bereitstellung der Wärme erfolgt dezentral, d.h. jedes Haus erhält einen Holzpelletkessel mit automatischer Brennstoffzufuhr und Gewebesilo (5 bis 6 m³). Alle Häuser erfüllen die KfW60 Anforderungen.

Variante 4 sieht die Wärmeerzeugung durch einen Holzpelletkessel mit ca. 200 kW und eine thermische Solaranlage im Nahwärmeverbund vor. Zusätzlich zum Heizraum ist ein Pelletssilo mit einer Größe von etwa 56 m³ erforderlich (4m x 4m x 3,5m), welches mindestens eine LKW-Ladung Pellets (36 m³) fassen kann. Die günstigste Dachform zur Kollektormontage sind das konventionelle Satteldach oder ein Pultdach mit Südneigung. Der Neigungswinkel sollte, je nach Einsatzbereich, zwischen 25 und 45° liegen. Auch andere Dachformen lassen die Montage von Solarkollektoren zu, ohne die planerische Freiheit oder den Nutzerkomfort allzu sehr einzuschränken. Auf den Dächern der 3 Mehrfamilienhäuser sollen ca. 270 m²

Kollektorfläche, d.h. 90 m² pro Gebäude, in Solarroof Ausführung integriert werden. Zur Optimierung des Solarertrags sollten die Kollektoren ca. 35° bis 40° geneigt sein. Zur Wärmespeicherung ist hier ein Pufferspeicher mit etwa 16 m³ ausreichend. Dieser kann in konventioneller Weise als Standard Stahlspeicher ausgeführt werden. Bei einem erwarteten Ertrag von etwa 350 kWh/(m²·a) ergeben sich 95 MWh/a. Damit werden etwa 50% des Bedarfs für die WW- Bereitung und der Netzverluste bzw. 17 % des gesamten Wärmebedarfs ab Heizzentrale gedeckt. Alle Häuser erfüllen die KfW60 Anforderungen.

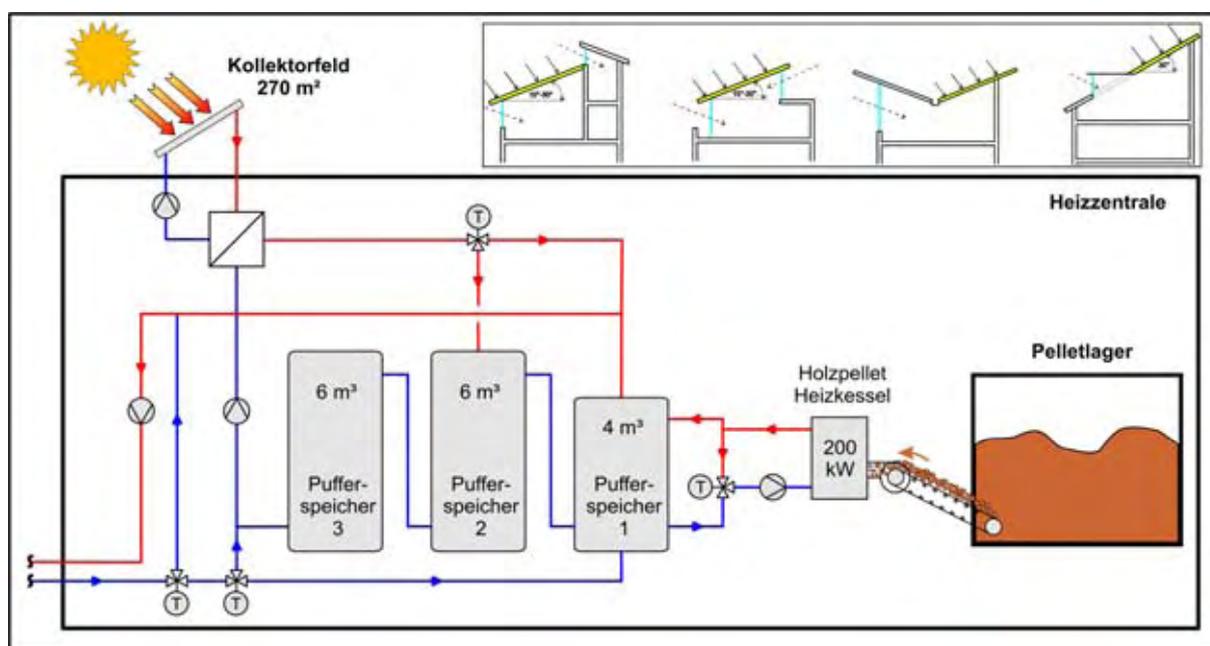


Bild 117 Anlagenschema Variante 4 – Holzpelletkessel mit Solaranlage 270 m²

Bei Variante 5 erfolgt die Wärmeerzeugung zentral durch ein Blockheizkraftwerk (BHKW). Beim Einsatz in Wohngebäuden empfiehlt sich ein wärmegeführter Betrieb. Das vorgesehene Gasmotor- BHKW (35 kW_{el} / 65 kW_{th}) wird mit einer Laufzeit von 6.000 h/a angesetzt. Ein BHKW deckt in der Regel nur einen Teil der maximalen Heizlast ab, für den Spitzenlastbedarf ist ein Gaskessel mit 200 kW vorgesehen. Es werden 390 MWh/a Wärme und 210 MWh_{el}/a Strom erzeugt. Dies entspricht einem Wärmeanteil von 75%. Ein Pufferspeicher mit 2 m³ verhindert zu häufiges Takten des BHKW's, gleicht kurzzeitige Lastspitzen aus und erhöht damit die Gesamtlaufzeit des BHKW's. Alle Häuser erfüllen die KfW60 Anforderungen.

Ergebnisse

Bild 118 zeigt die Investitionskosten für die Wärmeversorgung bei allen Varianten, aufgeteilt nach den verschiedenen Anlagenteilen. Für Variante 4 werden die Kosten für die solaren Komponenten zu 30% durch Solarthermie2000plus als förderfähig angesetzt. Bei Variante 2 wird eine Förderung durch die BAFA in Höhe von 1.000 € pro Holzpelletkessel, bei Variante 4 durch die KfW Förderbank für den Holzkessel eine Förderung in Höhe von 24 €/kW berücksichtigt. Die KfW fördert den Bau von Niedrigenergie- und Passivhäuser mit einem zinsverbilligten Darlehen. Der reduzierte Zinssatz liegt etwa 0,5 % unter dem Marktzins, gewährt wird ein Darlehen von 50.000 € je Wohneinheit. Eine Förderung wurde für die KfW60 Häuser in Höhe von 50.000 € pro Wohneinheit eingerechnet, und zwar über einen bei den Jahresgesamtkosten angesetzten niedrigeren Zinssatz.

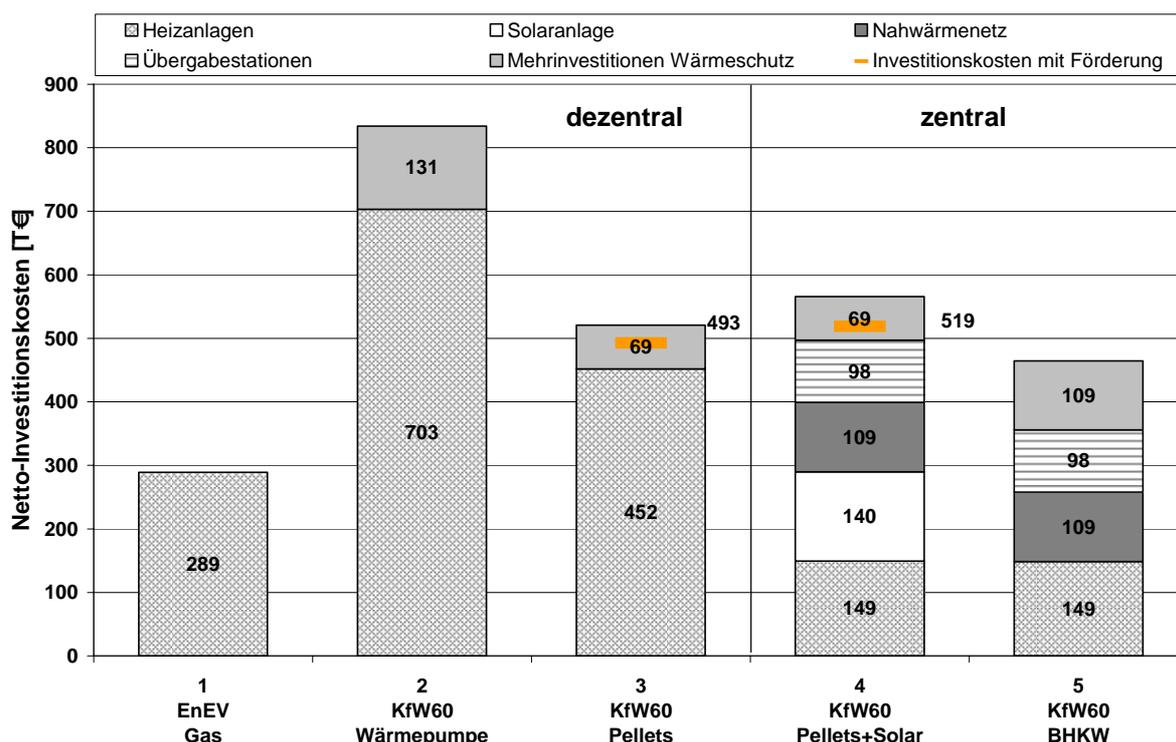


Bild 118 Gesamt-Investitionskosten (inkl. Planung, ohne MWSt.) der verschiedenen Varianten

Die niedrigsten Investitionen sind bei dezentraler Versorgung mit Gas-Brennwertkessel zu erwarten. Am höchsten liegen die Investitionskosten bei dezentraler

traler Versorgung mit Wärmepumpen (Variante 2). Die Investitionen für die Heizanlagen der Varianten mit zentraler Versorgung sind zwar niedriger als bei dezentraler Versorgung, allerdings kommen Investitionen für das Nahwärmenetz und die Übergabestationen hinzu, so dass die Kosten letztendlich um 180.000 bis 280.000 € höher liegen. Die Mehrkosten für den Wärmeschutz in Bezug auf den KfW60-Standard liegen zwischen 70.000 und 130.000 € je nach verwendeter Anlagentechnik.

In Bild 119 sind die Jahresgesamtkosten für die unterschiedlichen Varianten dargestellt, welche sich aus den Kapitalkosten, Instandsetzungs-, Wartungs-, und Betriebskosten sowie den Energiekosten zusammensetzen. Bei der Variante mit BHKW werden zudem Einnahmen durch Stromerzeugung erzielt. Berücksichtigt sind auch die Einsparungen durch die Förderung für die Solaranlage.

Die Jahresgesamtkosten für eine zentrale Versorgung mit BHKW liegen ohne Förderung in gleicher Höhe als bei dezentraler Versorgung mit Erdgas. Eine zentrale Versorgung mit Holzpellets und Solaranlage führt zu Mehrkosten von 7.500 € (10%), was durch entsprechende Fördermittel kompensiert werden kann.

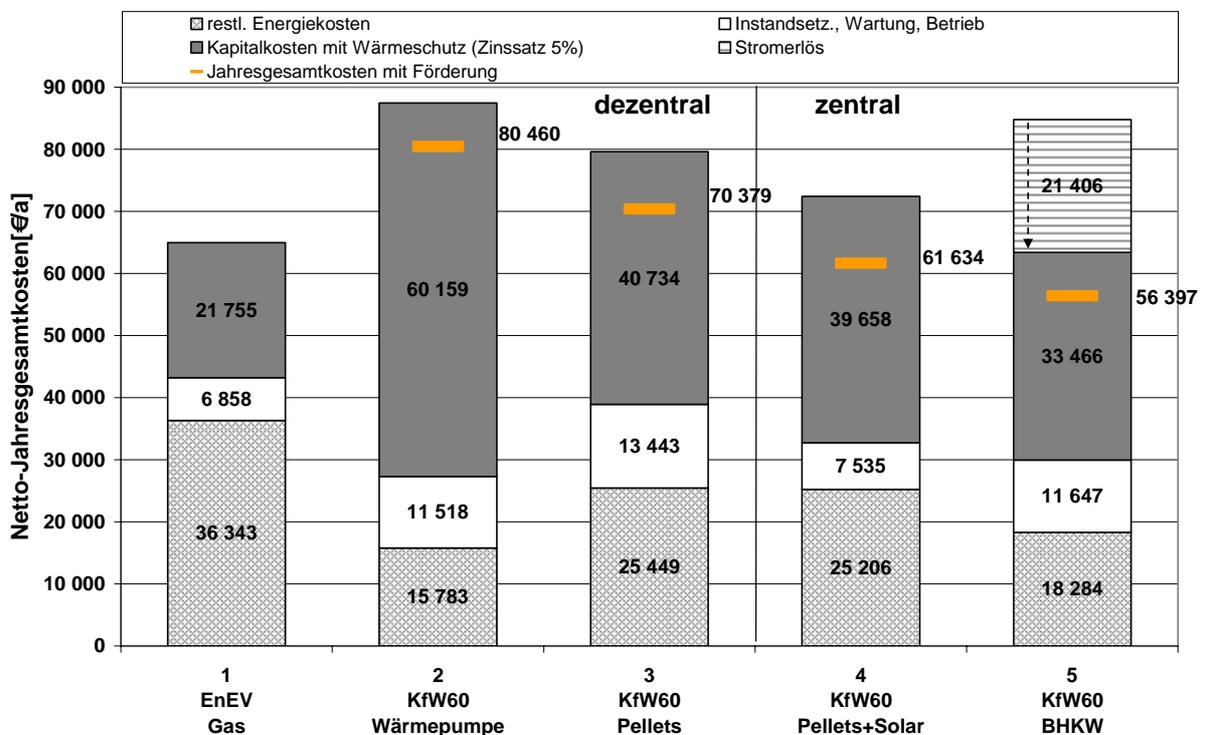


Bild 119 Jahresgesamtkosten (ohne MWSt.) der verschiedenen Varianten

Mit der Betrachtung des Primärenergiebedarfes und der CO₂- Emissionen bezogen auf die Nutzfläche erfolgt eine ökologische Bewertung der Wärmeversorgung, siehe Bild 120.

Trotz zusätzlichen Wärmebedarfs für die Verluste des Nahwärmenetzes lassen sich die CO₂- Emissionen und der Primärenergiebedarf für die Wärmeversorgung bei den beiden Varianten der zentralen Wärmeversorgung unter die Werte der dezentralen Wärmeversorgung mit Gas senken. Bei den Varianten 3 und 4 wird durch den Einsatz des Energieträgers Holz eine Reduktion der CO₂-Emissionen um ca. 80% erzielt. Bei Einsatz von Gasmotor- BHKW's erhöhen sich zwar die Emissionen vor Ort, durch eine so genannte Stromgutschrift für die Vermeidung von Emissionen im konventionellen Kraftwerk wird effektiv eine CO₂- Reduzierung erreicht. Bei Variante 5 beträgt diese etwa 50%. Die Varianten 2 bis 5 erfüllen die Anforderung an den KfW60 Standard mit Unterschreitung des Grenzwertes für den Primärenergiebedarf in Höhe von 60 kWh/m²_{ANA}.

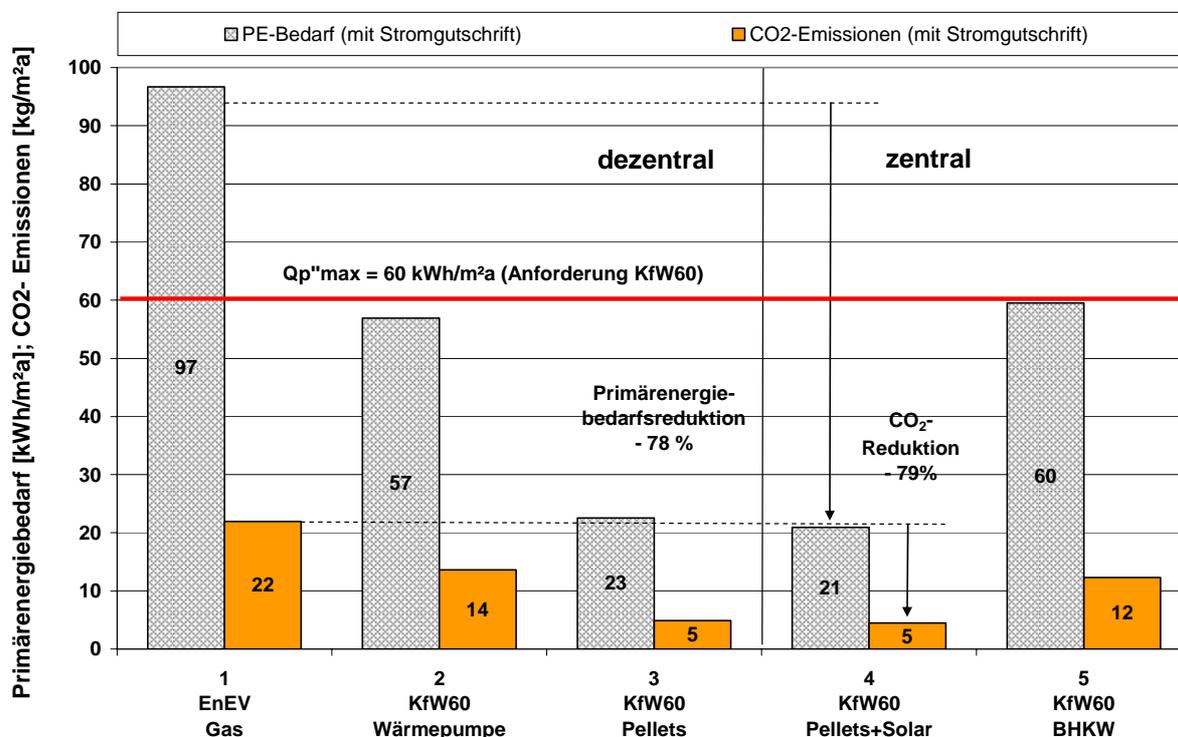


Bild 120 Primärenergiebedarf und CO₂- Emissionen der verschiedenen Varianten

In der vorliegenden Studie wurden für das vorliegende städtebauliche Konzept unterschiedliche Möglichkeiten zur Nutzung von erneuerbaren Energien überprüft und auf ihre Machbarkeit hin untersucht.

Die Festlegung von Energiestandards ist ein wichtiger Schritt in Richtung einer innovativen und zukunftsorientierten Bauweise und Wärmeversorgung. Er schreibt keine bestimmten Technologien, sondern nur ein Ziel vor. Damit lässt er dem Bauherrn und Planer ein Höchstmaß an planerischer Freiheit. Es wird empfohlen, den KfW60-Standard für das gesamte Wohngebiet festzusetzen, wodurch eine 30%ige Einsparung gegenüber der EnEV erreicht wird. Dieser innovative Ansatz lässt eine Vielzahl von Kombinationsmöglichkeiten zur Wärmeversorgung des Gebietes zu. Es wird als sinnvoll erachtet, die Reihen- und Mehrfamilienhäuser sowie wenn möglich die Ein-/Zweifamilienhäuser mit Nahwärme zu versorgen. Problematisch ist jedoch die Verlegung der Leitungen durch die einzelnen Grundstücke, wobei das Recht der Grunddienstbarkeit beachtet werden muss. Erfolgt die Verlegung des Nahwärmenetzes so, dass die Leitungen der Ein-/Zweifamilienhäuser jeweils auf dem Grundstück des Hauseigentümers verlaufen, erhöhen sich die Netzverluste von 77 MWh/a (560 m) auf ca. 100 MWh/a (600 m).

3.20 Projekt 20 – Hannover, Therapie- und Seniorenzentrum Geibelstraße

Im Herbst 2007 wird eine Machbarkeitsstudie für einen bestehenden Gebäudekomplex in Hannover mit insgesamt ca. 10.400 m² Bruttogeschossfläche und 110 Wohneinheiten (davon 60 Pflegeplätze) entwickelt. Das bestehende Gebäude wurde im Jahr 1970 errichtet, ist im Besitz der Landeshauptstadt Hannover und besteht aus vier Gebäudeteilen (A, B1, B2 und B3). Alle Gebäude weisen jeweils ein Flachdach und einen Keller auf. Haus A besitzt fünf Vollgeschosse, die Häuser B1, B2 und B3 zwei Vollgeschosse. Derzeit sind die Gebäude zentral mit zwei Gaskesseln zur Warmwasserbereitung und Wärmebereitstellung ausgestattet. Eine Großküche sowie die Gemeinschaftsräume verfügen jeweils über eine Lüftungsanlage ohne Wärmerückgewinnung.

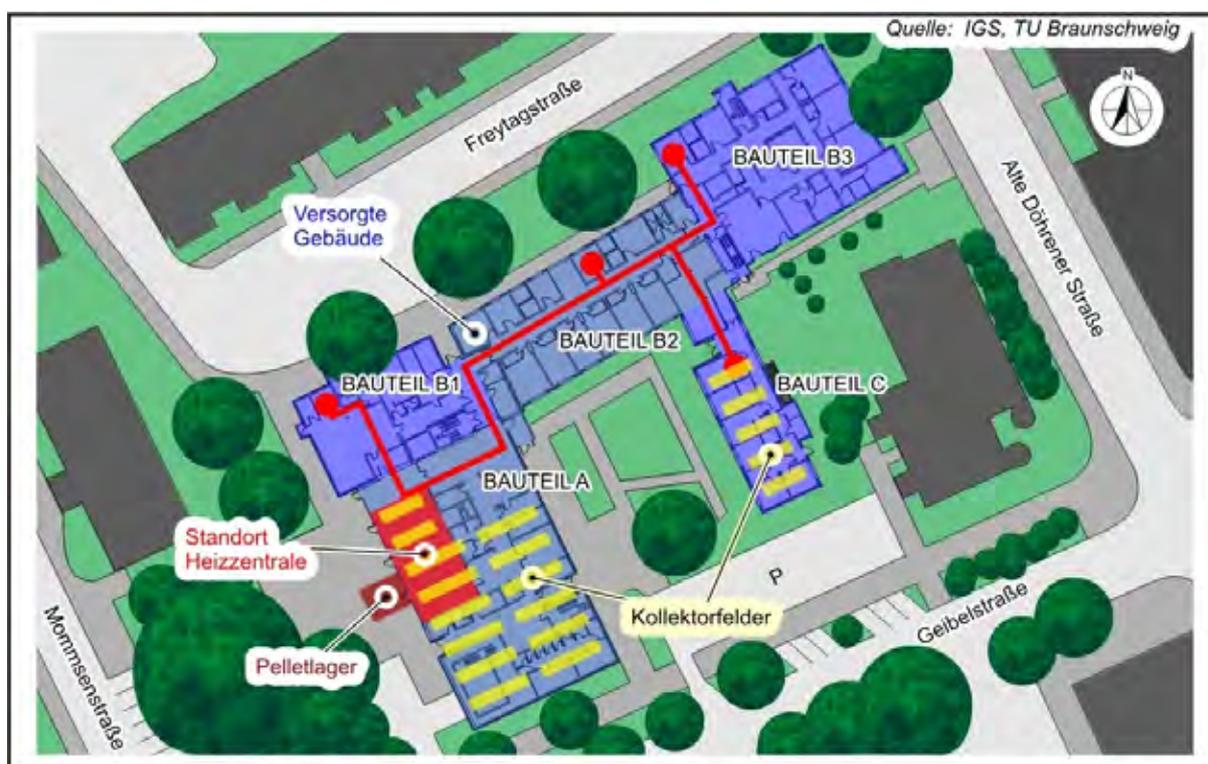


Bild 121 Lageplan Hannover, Therapie- und Seniorenzentrum Geibelstraße

Die Gebäude sowie die Wärmeerzeugungsanlage sollen in naher Zukunft saniert werden. Gleichzeitig wird eine Bettenstation als Neubau (Gebäudeteil C) realisiert. Der Gebäudeteil A sowie der Neubau C sind nach Südwesten ausgerichtet und eignen sich so zur Integration von größeren thermischen Kollektorflächen.

Nach der durchgeführten Sanierung inklusive Neubau der Bettenstation sollen die Gebäudeteile zusammen folgende Kennwerte aufweisen:

		Planungsstand zum Zeitpunkt der Machbarkeitsstudie
Gebäudetyp	Therapie- und Seniorenpflegezentrum	
Anzahl der Gebäude	5 Gebäudeteile	
Nutzung	Wohnen, Pflege, Therapie	
Klassifizierung	Sanierung und Neubau	
Anzahl Wohneinheiten	50 Wohn- und 60 Pflegeplätze	
Bruttogeschossfläche	10.361 m ²	
Nutzfläche nach EnEV (A _N)	8.115 m ²	
Jahresheizwärmebedarf	48 kWh/m ² _{ANA}	391 MWh/a
Zuschlag (35%)	25 kWh/m ² _{ANA}	201 MWh/a
Warmwasserbedarf	19 kWh/m ² _{ANA}	152 MWh/a
Netzverluste	193 kWh/m ² _{Tr,a}	24 MWh/a
Gesamtwärmebedarf	95 kWh/m ² _{ANA}	769 MWh/a
Heizleistungsbedarf	53 W/m ² _{AN}	433 kW

Tabelle 46 Eckdaten Machbarkeitsstudie Hannover, Therapie- und Seniorenzentrum Geibelstraße

Im Zuge des Neubaus der Bettenstation sollen die bestehenden Gebäudeteile umfangreich haustechnisch und energetisch saniert werden. Dabei wird der Dämmstandard der Gebäudehülle deutlich verbessert (Kellerdeckendämmung 8 cm (WLG 035), Außenwanddämmung 10 cm (WLG 035), Dämmung oberste Geschossdecke 12 cm (WLG 035), Fenstererneuerung U-Wert 1,5 W/(m²·K)). Die beiden Lüftungsanlagen werden ersetzt und erhalten eine Wärmerückgewinnung.

Mit den angegebenen U-Werten wird der Heizwärmebedarf nach dem Berechnungsverfahren der EnEV ermittelt. Es ergibt sich ein Wert von etwa 48 kWh/m²_{ANA}. Da bei der vorgesehenen Nutzung ein höherer Bedarf als bei einem konventionellen Wohngebäude zu erwarten ist (höheres Raumtemperaturniveau, höhere Lüftungswärmeverluste), erfolgt hier ein 35%-iger pauschaler Zuschlag auf diesen Wert. Für die Ermittlung des Brauchwasserwärmebedarfs wird der nach EnEV angegebene Wert von

12,5 kWh/m²_{ANa} angesetzt. Als Heizleistungsbedarf ist ein Wert von 53 W/m²_{AN} in Anlehnung an das vereinfachte Verfahren nach DIN EN 12831 berechnet worden.

Für den Gesamtkomplex ergibt sich damit ein jährlicher Heizwärmebedarf von 592 MWh/a. Für die Warmwasserbereitung sind etwa 152 MWh/a (inklusive 30% Speicher- und Zirkulationsverluste) erforderlich. Zusätzlich werden Netzverluste in Höhe von 24 MWh/a berücksichtigt. Dies ergibt einen Nutzwärmebedarf von 744 MWh/a und einen Gesamtwärmebedarf ab Heizzentrale von 769 MWh/a, siehe Bild 122. Gegenüber dem unsanierten Zustand lässt sich bei energetischer Sanierung der Gebäude der Heizenergiebedarf um 50% senken. Die erforderliche Heizleistung beträgt 433 kW. Zusätzlich fallen ca. 100 kW zur Beheizung des Bewegungsbades und der beiden Lüftungsanlagen an.

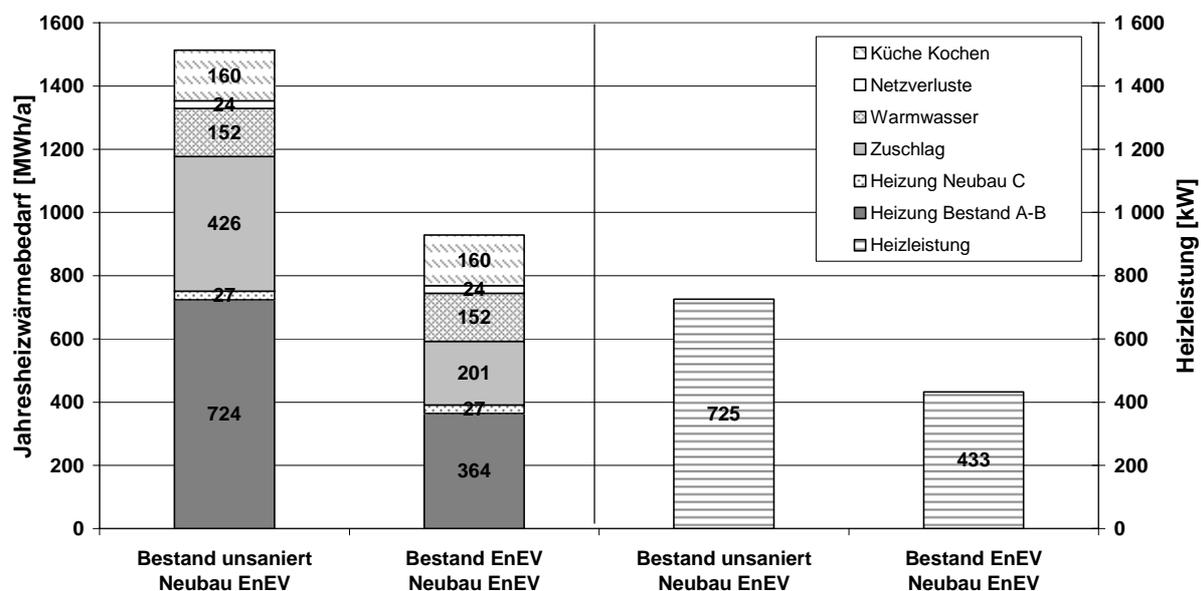


Bild 122 Darstellung Jahresheizwärmebedarf und Heizlast

Variantenbetrachtung

Zur Wärmeversorgung des Gebäudekomplexes werden 4 unterschiedliche Varianten im Rahmen der Machbarkeitsstudie untersucht. Zur Aufstellung der Wärmeerzeugungsanlage dient die bestehende Heizzentrale. Das bestehende Wärmenetz im Kellergeschoss eine Länge von etwa 125 m. Die Netzverluste betragen etwa 3% der von der Heizzentrale abgegebenen Wärmemenge. In allen Varianten erfolgt die Warm-

wasserbereitung über Speicher-Ladesysteme. Zur Wärmeversorgung werden die vier nachfolgend aufgelisteten Varianten betrachtet:

Var.	zentral/ dezentral	Kesselart	Kesselleistung (je Kessel)	Kollektor- fläche	Speicher- art	Speicher- volumen
1	zentral	Gas-BWK Gas-NTK	300 kW 250 kW	-	-	-
2	zentral	Holzpelletkessel Gas-NTK	300 kW 250 kW	-	-	4,5 m ³
3	zentral	Holzpelletkessel Gas-NTK	300 kW 250 kW	300 m ²	Heißwasser	19,5 m ³
4	zentral	Gas-BHKW Gas-BWK	50 kW _{th} / 25 kW _{el} 500 kW	-	-	1,5 m ³

(BWK = Brennwertkessel, NTK = Niedertemperaturkessel, BHKW = Blockheizkraftwerk)

Tabelle 47 Varianten der Wärmeversorgung Hannover, Therapie- und Seniorenzentrum Geibelstraße

In Variante 1 erfolgt die Wärmeerzeugung zentral durch einen Gasbrennwertkessel mit 300 kW und einen Niedertemperaturkessel mit 250 kW.

Variante 2 sieht die Wärmeerzeugung durch einen Holzpelletkessel mit ca. 300 kW und einem Gas-Niedertemperaturkessel mit 200 kW vor. Zusätzlich zum Heizraum ist ein Pelletssilo mit einer Größe von etwa 88 m³ erforderlich (5m x 5m x 3,5m), welches mindestens eine LKW-Ladung Pellets (36 m³) fassen kann. Ein Pufferspeicher mit 4,5 m³ verlängert die Betriebszeiten des Holzkessels bei reduzierter Wärmeabnahme in der Übergangszeit.

Im Unterschied zur vorigen Variante ist in Variante 3 zusätzlich eine Solaranlage vorgesehen. Auf den Flachdächern der Gebäudeteile A und C stehen 950 m² Dachfläche zur Aufständigung von Kollektoren zur Verfügung. Zur Optimierung des Solarertrags sollten die Kollektoren ca. 30° bis 40° geneigt sein. Bei einer möglichen Ausnutzung der Dachfläche von 35% (Abstand vom Dachrand, Vermeidung von gegenseitiger Verschattung) ergibt sich eine Kollektorfläche von 300 m² (Pufferspeichervolumen 19,5 m³). Es ergibt sich ein Ertrag von 96 MWh/a, bei einem angesetzten Kollektorsertrag von 320 kWh/(m²·a). Damit werden etwa 54% des Bedarfs für die

WW- Bereitung und der Netzverluste bzw. 12,5 % des gesamten Wärmebedarfs ab Heizzentrale gedeckt. Bei der Aufstellung des Pufferspeichers (19,5 m³) in der Heizzentrale ergeben sich Einschränkungen hinsichtlich der Raumhöhe. Es wird eine Lösung mit 3 Serien Pufferspeichern mit 6,5 m³ vorgeschlagen, welche in Reihe verschaltet werden. Bild 123 zeigt das vereinfachte Anlagenschema von Variante 3.

Bei Variante 4 erfolgt die Wärmeerzeugung zentral durch ein Blockheizkraftwerk (BHKW). Ein BHKW deckt in der Regel nur einen Teil der maximalen Heizlast ab, für den Spitzenlastbedarf werden Gaskessel eingesetzt. Beim Einsatz in Wohngebäuden empfiehlt sich ein wärmegeführter Betrieb. Das vorgesehene Gasmotor- BHKW (25 kW_{el} / 50 kW_{th}) wird mit einer Laufzeit von 6.000 h/a angesetzt. Es werden 300 MWh/a Wärme und 150 MWh_{el}/a Strom erzeugt. Dies entspricht einem Wärmeanteil von 39%. Ein Pufferspeicher mit 1,5 m³ verhindert zu häufiges Takten des BHKW's, gleicht kurzzeitige Lastspitzen aus und erhöht damit die Gesamtlaufzeit des BHKW's.

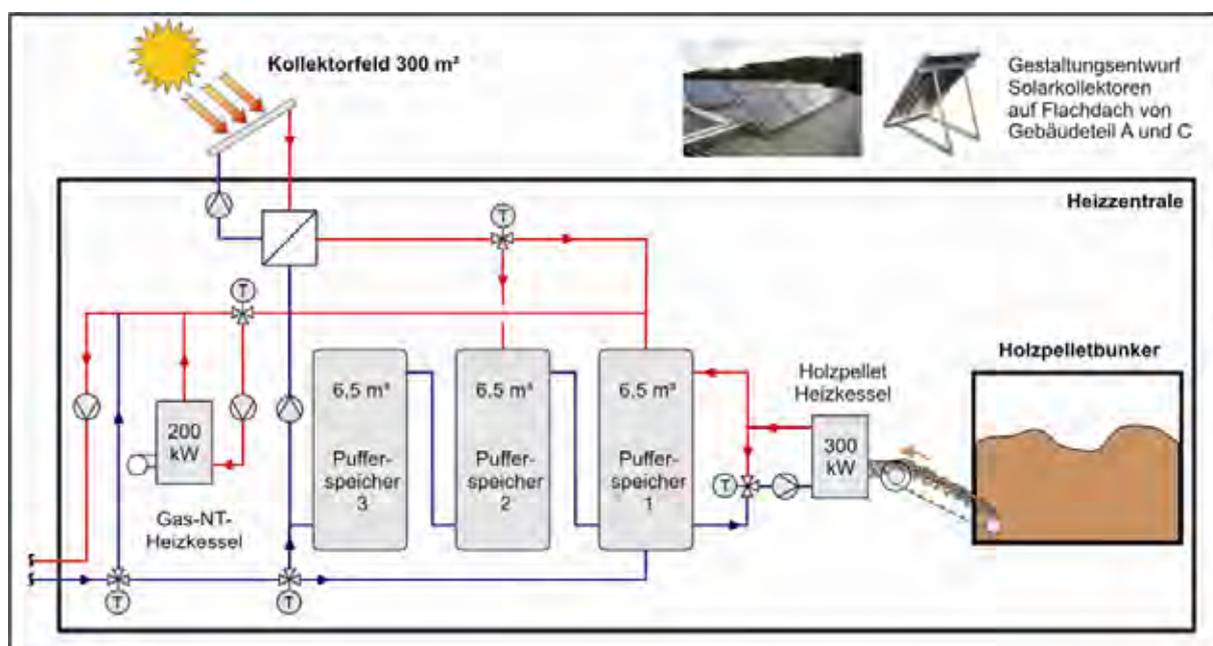


Bild 123 Anlagenschema Variante 3 – Holzpelletkessel mit Solaranlage 300 m²

Ergebnisse

Bild 124 zeigt die Investitionskosten für die Wärmeversorgung bei allen Varianten, aufgeteilt nach den verschiedenen Anlagenteilen. Bei Variante 2 und 3 wurde eine Förderung durch die KfW-Förderbank (Marktanreizprogramm zur Förderung erneuerbaren Energien) für den Holzpelletkessel in Höhe von 24 €/kW berücksichtigt. Für Variante 3 werden die Kosten für die solaren Komponenten zu 30% durch Solarthermie2000plus als förderfähig angesetzt.

Bei Betrachtung der Wärmeschutzmaßnahmen für den EnEV- Neubau Standard (energetische Sanierung der Gebäude) kann der Energieverbrauch um 50% reduziert werden. Dabei entstehen Kosten in Höhe von 950.000 €, bezogen auf die Bruttogeschossfläche ca. 100 €/m²_{BGF}.

Betrachtet man die Wärmeerzeugung, so sind die niedrigsten Investitionen bei zentraler Versorgung mit einem Gas-Brennwertkessel zu erwarten (Variante 1). Für eine zentrale Versorgung mit Holzpellets entstehen um 115.000 € höhere Kosten als bei Variante 1. Eine zusätzliche Solaranlage führt zu weiteren Investitionen von ca. 160.000 €, die durch die Energieeinsparung nicht vollständig ausgeglichen werden können. Ein Gas- BHKW (Variante 4) erhöht die Investitionskosten um ca. 65.000 €. Durch entsprechende Fördergelder reduzieren sich die Investitionskosten bei Variante 2 um 6% und bei Variante 3 um 11%.

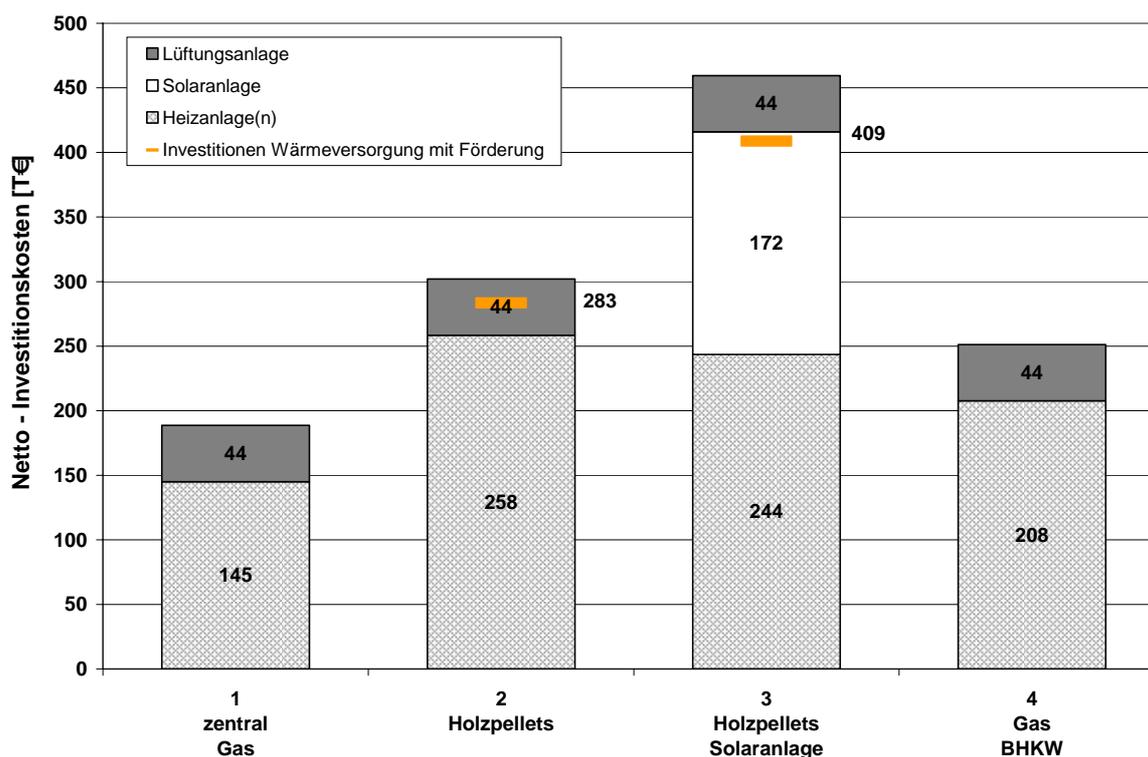


Bild 124 Gesamt-Investitionskosten (inkl. Planung, ohne MWSt.) der verschiedenen Varianten

In Bild 125 sind die Jahresgesamtkosten für die unterschiedlichen Varianten dargestellt, welche sich aus den Kapitalkosten, Instandsetzungs-, Wartungs-, und Betriebskosten sowie den Energiekosten zusammensetzen. Bei den Varianten mit Holzpelletkessel und Solaranlage werden die Einsparungen durch die Förderung berücksichtigt. Bei Variante 4 mit BHKW werden zudem Einnahmen durch Stromerzeugung erzielt.

Die günstigste Lösung ist durch zentrale Versorgung mit Gas (Variante 1) und zentrale Versorgung mit Holzpellets (Variante 2) zu erreichen. Die Jahresgesamtkosten der Variante 3 und 4 liegen um ca. 12% bzw. 7% höher. Zu beachten ist neben dem Gesamtbetrag auch die Kostenaufteilung. Der Anteil der Energiekosten bei Variante 2 mit Holzpellets ist um 27% deutlich geringer als bei zentraler Versorgung mit Erdgas (Basisvariante). Durch eine thermische Solaranlage reduziert sich der Anteil der Energiekosten noch einmal um 9%.

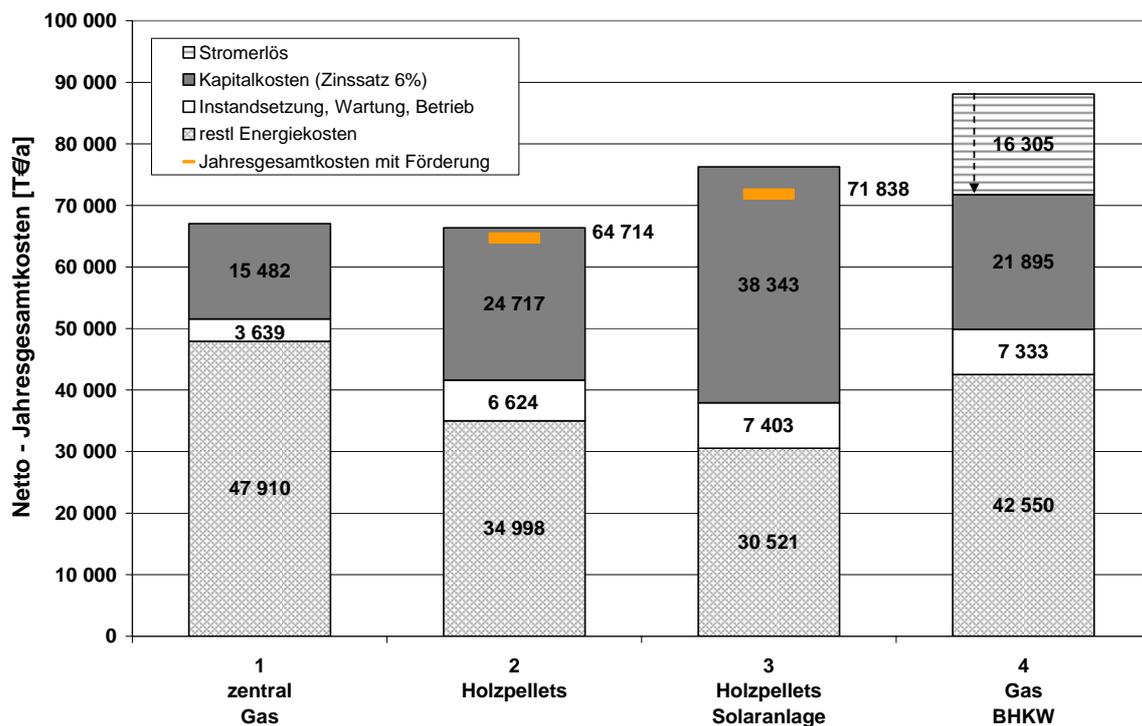


Bild 125 Jahresgesamtkosten (ohne MWSt.) der verschiedenen Varianten

Mit der Betrachtung des Primärenergiebedarfes und der CO₂- Emissionen erfolgt eine ökologische Bewertung der Wärmeversorgung, siehe Bild 126. Bei Wärmeversorgung auf Basis Holz (und Solar) ergeben sich deutliche Reduzierungen im Bereich der Emissionen und der Primärenergiekennzahlen. Bei den Varianten 2 und 3 wird durch den Einsatz des Energieträgers Holz eine Reduktion der CO₂-Emissionen sowie der Primärenergiekennzahl um ca. 80% erzielt.

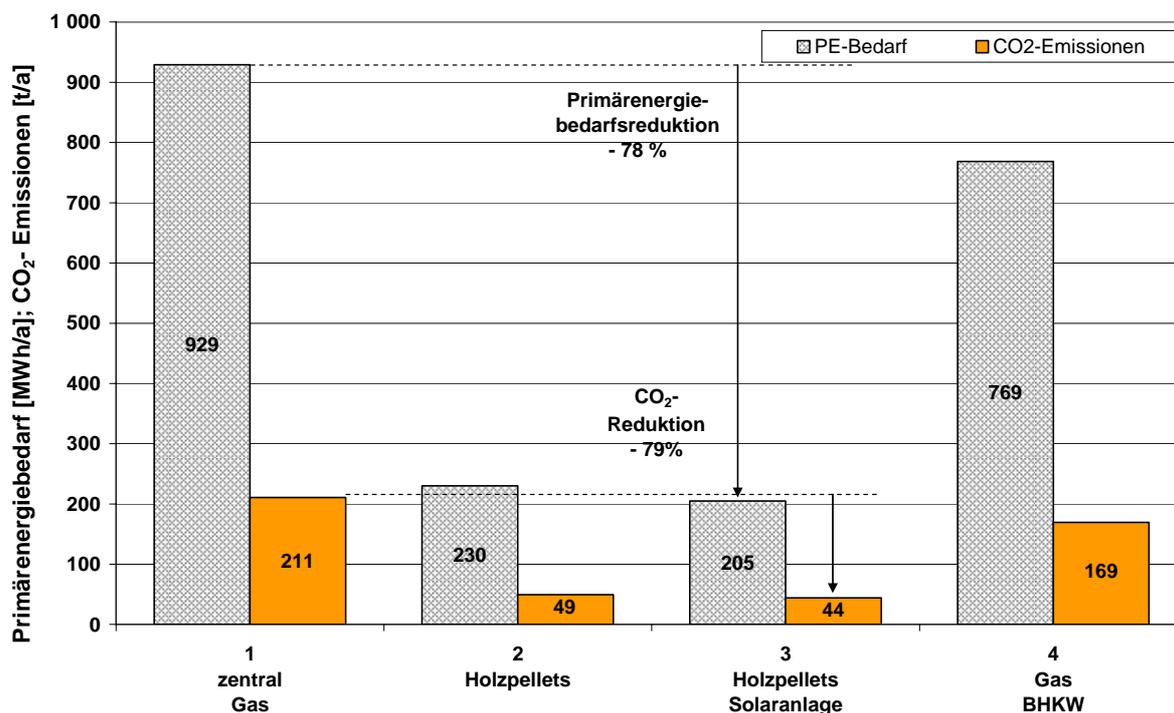


Bild 126 Primärenergiebedarf und CO₂- Emissionen der verschiedenen Varianten

Als Ergebnis sollte eine zentrale Wärmeversorgung mit Holzpelletkessel realisiert werden. Dabei sollte der Wärmeschutz der Gebäudehülle nach mindestens EnEV-Neubau- Standard verbessert werden. So lassen sich die Energiekosten sowie die CO₂-Emissionen im Vergleich zum derzeitigen Zustand erheblich reduzieren.

3.21 Projekt 21 – Pforzheim, Neubaugebiet Buckenberg Kaserne

Im Oktober 1996 wird das rund 20 ha umfassende Gelände der Buckenberg Kaserne durch die französischen Streitkräfte geräumt. Erst im Januar 2007 beginnen die Planungs- und Erschließungsarbeiten für das Neubaugebiet „Wohnen am Tiergarten“. Dabei werden in den nächsten Jahren 44 Einfamilienhäuser, 90 Reihenhäuser sowie 96 Doppelhaushälften erstellt. Das Wohngebiet soll in 2-3 Bauabschnitten erstellt werden. Alle 230 Gebäude sind unterkellert. Die Wohnfläche des Gesamtgebietes beträgt 36.700 m². Weiterhin werden sechs Gebäude mit insgesamt ca. 18.000 m² Gewerbefläche errichtet.

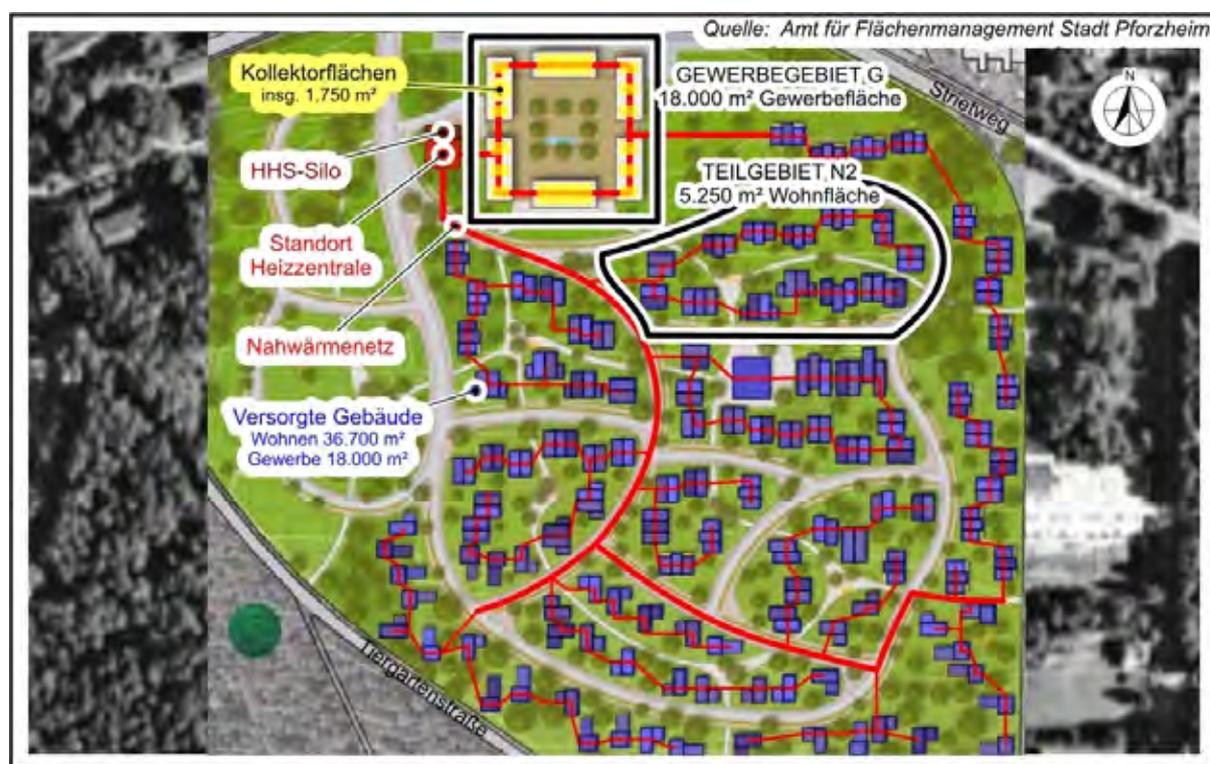


Bild 127 Lageplan Pforzheim, Neubaugebiet Buckenberg Kaserne

Für das Neubaugebiet wurde im Frühjahr 2007 ein zukunftsorientiertes Energiekonzept entworfen. Dabei werden verschiedene Varianten der Wärmeversorgung grob dimensioniert und hinsichtlich des Energiebedarfs, der Kosten und der ökologischen Auswirkungen verglichen. Ziel ist eine möglichst weitgehende Reduzierung der CO₂-Emissionen bei vertretbaren Kosten. Die Rahmendaten des Neubaugebietes sind in Tabelle 48 aufgeführt.

	Planungstand zum Zeitpunkt der Machbarkeitsstudie	
Gebäudetyp	Einfamilien- und Mehrfamilienhäuser sowie Gewerbe	
Anzahl der Gebäude	236	
Nutzung	Wohnen, Gewerbe	
Klassifizierung	Neubau	
Anzahl Wohneinheiten / Gewerbeeinheiten	230 WE	6 GE
Wohnfläche	36.700 m ²	18.000 m ²
Nutzfläche nach EnEV (A _N)	43.176 m ²	21.176 m ²
Jahresheizwärmebedarf	63 kWh/m ² _{ANA} 70 kWh/m ² _{ANA}	4.209 MWh/a
Warmwasserbedarf	18 kWh/m ² _{ANA}	771 MWh/a
Netzverluste	192 kWh/m _{Tr} a	1.014 MWh/a
Gesamtwärmebedarf	93 kWh/m ² _{ANA}	5.994 MWh/a
Heizleistungsbedarf	39 W/m ² _{AN}	2.495 kW



Tabelle 48 Eckdaten Machbarkeitsstudie Pforzheim, Neubaugebiet Buckenberg Kaserne

Für die Gebäude ist ein Wärmeschutzstandard angestrebt, mit dem die Anforderungen an den mittleren U-Wert (H_T') der Gebäudehülle um mindestens 15% unterschritten werden. In Kombination mit einer Gas-Brennwerttherme werden damit ungefähr die Anforderungen der EnEV an den Primärenergiekennwert (PE) erfüllt. Mit einer innovativen Wärmeversorgung lassen sich bei gleichbleibendem Wärmeschutz die PE-Anforderungen der EnEV z.T. deutlich unterschreiten.

Zur Ermittlung des Wärme- und Heizleistungsbedarfs des Gesamtgebiets werden für die einzelnen Gebäudetypen, je nach A/V-Verhältnis und Gebäudegröße, pauschal typische Bedarfswerte von 60 bis 70 kWh/m²_{ANA} und 35 bis 40 W/m²_{AN} angesetzt. Diese beruhen auf Erfahrungswerten aus durchgeführten Wärmebedarfsberechnungen für konkrete Gebäude. Für die Ermittlung des Brauchwasserwärmebedarfs wird für die Wohngebäude der nach EnEV angegebene Wert von 12,5 kWh/m²_{ANA} angesetzt. Der Warmwasserbedarf der Gewerbeflächen ist so gering, dass er vernachlässigt werden kann. Für die Brauchwassererwärmung sind demnach ca. 771 MWh/a (inklusive 30% Speicher- und Zirkulationsverluste) erforderlich. Für das Wohngebiet entsteht ein jährlicher Heizwärmebedarf von 2.727 MWh/a, für die sechs Gewerbe-

einheiten 1.482 MWh/a. Bei zentraler Versorgung entstehen zudem Netzverluste in Höhe von 1.014 MWh/a. Dies ergibt einen Gesamtwärmebedarf ab Heizzentrale von 5.994 MWh/a, siehe Bild 128. Die erforderliche Heizleistung beträgt für das Wohngebiet 1.648 kW und für die Gewerbeflächen 847 kW, was in Summe 2.495 kW ergibt.

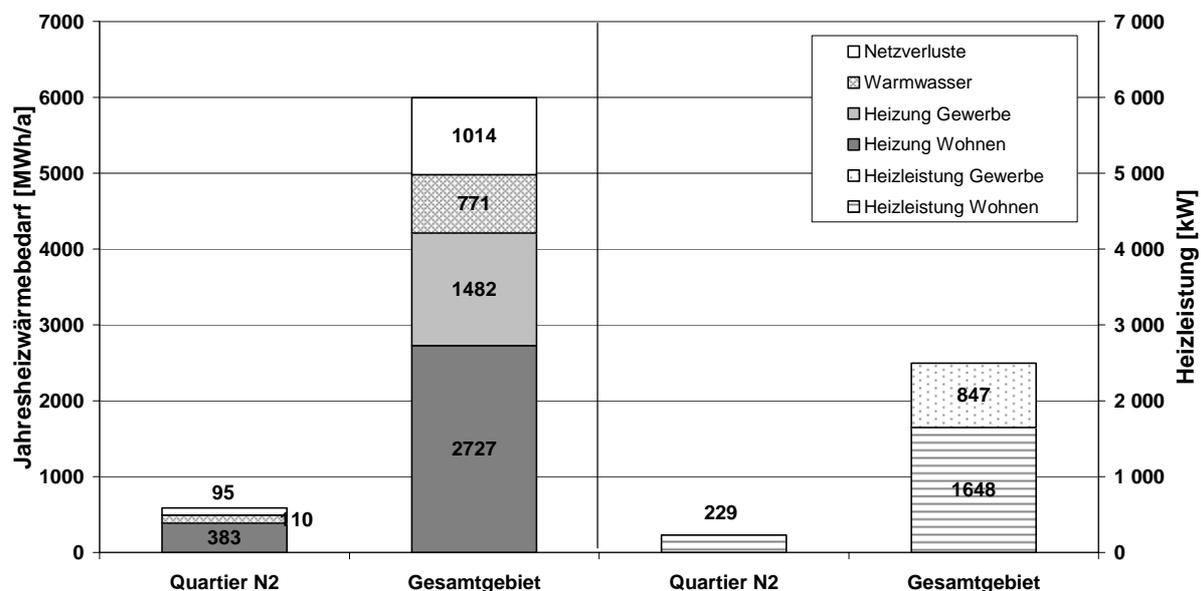


Bild 128 Darstellung Jahresheizwärmebedarf und Heizlast

Variantenbetrachtung

Zur Wärmeversorgung des ehemaligen Kasernengebietes wurden neun unterschiedliche Varianten im Rahmen der Machbarkeitsstudie untersucht. Dabei wird die Einzelhausversorgung mit Gas-Brennwert Geräten als Basisvariante definiert. Im weiteren Verlauf der Studie erfolgt die Untersuchung und Betrachtung der Quartierweisen Versorgung, bestehend aus 14 Doppelhaushälften und 21 Reihenhäusern, sowie die zentrale Versorgung des gesamten Wohngebietes.

Bei Quartierweiser Wärmeversorgung wird an zentraler Stelle eine Heizzentrale errichtet. Die Wärmeverteilung erfolgt über ein ringförmiges Nahwärmenetz. Von der Heizzentrale gehen 2 Hauptrassen ab. Die im Erdreich verlegten Abschnitte werden als PEX- Rohre ausgeführt, die Rohre im Keller in Stahl. Das Netz hat eine Länge von etwa 575 m, davon sind 290 m im Erdreich, der Rest in den Kellern zu verlegen.

Die Netzverluste betragen mit 95 MWh/a etwa 16% der von der Heizzentrale abgegebenen Wärmemenge.

Bei zentraler Wärmeversorgung des gesamten Wohngebiets wird im Gewerbequartier eine Heizzentrale errichtet. Die Wärmeverteilung erfolgt über ein Nahwärmenetz. Von der Heizzentrale gehen 2 Hauptrassen in Nord-Süd-Richtung ab. Die im Erdreich verlegten Abschnitte werden als KMR- Rohre ausgeführt, die Rohre im Keller in Stahl. Das Netz hat eine Länge von etwa 5.270 m, davon sind 3.215 m im Erdreich, der Rest in den Kellern zu verlegen. Die Netzverluste betragen mit 1.014 MWh/a etwa 17% der von der Heizzentrale abgegebenen Wärmemenge.

Für alle Einfamilienhäuser werden direkte Übergabestationen mit Speicher-Lade-Systemen eingesetzt.

Zur Wärmeversorgung werden neun Varianten betrachtet, welche nachfolgend aufgelistet sind:

Var.	zentral/ dezentral	Kesselart	Kesselleistung (je Kessel)	Kollektor- fläche	Speicher- art	Speicher- volumen
A1	dezentral	Gas-BWK	11 kW	-	-	-
A2	dezentral	Erdsonden-WP	8 kW	-	-	1 m ³
B1	zentral Quartier	Gas-BWK	250 kW	-	-	-
B2	zentral Quartier	Holzpelletkessel	220 kW	-	-	5 m ³
B3	zentral Quartier	Holzpelletkessel	220 kW	210 m ²	Heißwasser	12 m ³
B4	zentral Quartier	Erdgas-BHKW Gas-BWK	50 kW _{th} / 25 kW _{el} 200 kW	-	-	2 m ³
C1	zentral	HHS-Kessel Fernwärme	600 kW 1.645 kW	-	-	15 m ³
C2	zentral	HHS-Kessel Fernwärme	600 kW 1.645 kW	1.750 m ²	Heißwasser	100 m ³
C3	zentral	Erdgas-BHKW Gas-BWK Gas-NTK	600 kW _{th} / 450 kW _{el} 850 kW 800 kW	-	-	15 m ³

(BWK = Brennwertkessel, WP = Wärmepumpe, BHKW = Blockheizkraftwerk, HHS = Holzackschnitzel, NTK = Niedertemperaturkessel)

Tabelle 49 Varianten der Wärmeversorgung Pforzheim, Neubaugebiet Buckenberg Kaserne

In Variante A1 (dezentrale Wärmeversorgung) erhält jedes Gebäude einen eigenen Gasanschluss. Die Einfamilien-, Doppel- und Reihenhäuser besitzen jeweils eine Gas-Brennwert-Therme mit etwa 11 kW als Dachheizzentrale und die sechs Gewerbeeinheiten jeweils einen Gas-Brennwertkessel mit 150 kW.

Bei Variante A2 erfolgt die Wärmeerzeugung durch eine Wärmepumpe (WP). Als Wärmequelle dienen Erdsonden. Sie haben beim EFH, RH und DH eine Tiefe von ca. 100 m. Die Bereitstellung der Wärme erfolgt dezentral, d.h. jedes Haus erhält eine Wärmepumpe und Erdsonden. Die Arbeitszahl der Wärmepumpe hängt stark von der Temperaturdifferenz zwischen Wärmequelle und Heizsystem ab. Eine Fußbodenheizung, die mit einer Vorlauftemperatur von 30 bis 40°C betrieben wird und damit den WP-Betrieb begünstigt, ist bei allen Gebäuden vorgesehen. Für die Berechnungen wird eine mittlere Arbeitszahl von 3,5 angesetzt, d.h. zur Gewinnung von 3,5 kWh Wärme ist der Einsatz von 1 kWh elektrischer Energie erforderlich. Die sechs Gewerbeeinheiten erhalten jeweils einen Brennwertkessel mit 150 kW.

In Variante B1 erfolgt die Wärmeerzeugung durch einen Gas-Brennwertkessel mit ca. 250 kW im Nahwärmeverbund für Quartier N2.

Variante B2 sieht die Wärmeerzeugung durch einen Holzpelletkessel mit ca. 220 kW im Nahwärmeverbund für Quartier N2 vor. Zusätzlich zum Heizraum ist ein Pelletssilo mit einer Größe von etwa 65 m³ erforderlich, welches mindestens eine LKW-Ladung Pellets (36 m³) fassen kann. Ein Pufferspeicher mit 5 m³ verlängert die Betriebszeiten des Holzkessels bei reduzierter Wärmeabnahme in der Übergangszeit.

Im Unterschied zur vorigen Variante ist in Variante B3 zusätzlich eine Solaranlage vorgesehen. Die Kollektoren werden in der Studie auf einem Lärmschutzwall zur Gewerbefläche als Aufständering ausgeführt. In der Summe ergibt sich eine resultierende Kollektorfläche von 210 m² (Pufferspeichervolumen 12 m³). Bei einem erwarteten Ertrag von etwa 400 kWh/(m²·a) ergibt sich ein Ertrag von 82 MWh/a. Damit werden etwa 40% des Bedarfs für die WW- Bereitung und der Netzverluste bzw. 14 % des gesamten Wärmebedarfs ab Heizzentrale gedeckt.

Bei Variante B4 erfolgt die Wärmeerzeugung zentral durch ein Blockheizkraftwerk (BHKW). Das BHKW deckt in der Regel nur einen Teil der maximalen Heizlast ab, für den Spitzenlastbedarf wird ein Gaskessel mit 200 kW eingesetzt. Beim Einsatz in

Wohngebäuden empfiehlt sich ein wärmegeführter Betrieb. Das vorgesehene Gas-motor- BHKW (25 kW_{el} / 50 kW_{th}) wird mit einer Laufzeit von 7.000 h/a angesetzt. Es werden 350 MWh/a Wärme und 175 MWh_{el}/a Strom erzeugt. Dies entspricht einem Wärmeanteil von 60%. Ein Pufferspeicher mit 2 m³ verhindert zu häufiges Takten des BHKW's, gleicht kurzzeitige Lastspitzen aus und erhöht damit die Gesamtlaufzeit des BHKW's. Der erzeugte Strom wird in das öffentliche Netz eingespeist.

In Variante C1 wird von einer vollständig zentralen Versorgung des Gesamtgebiets ausgegangen. Dabei wird ein Holzhackschnitzelkessel mit einer thermischen Leistung von 600 kW vorgesehen. Damit wird etwa 25% der Heizleistung abgedeckt, den Rest deckt ein Fernwärmeanschluss mit 1.645 kW. Es soll ein Kessel mit Treppenrostfeuerung zum Einsatz kommen, damit auch Holz geringerer Qualität, z.B. Grünschnitt, verbrannt werden kann. Die Kesselanlage und das Holzhackschnitzellager erfordern den Bau einer Heizzentrale und eines Holzbunkers mit einem Gesamtvolumen von etwa 1.000 m³. Bei einer jährlichen Betriebsdauer von 5.000 h/a ergibt sich ein Brennstoffbedarf von 5.300 m³/a. Dies entspricht 65 LKW-Anfahrten pro Jahr. Im Volllastbetrieb sind pro Woche 2 LKW-Lieferungen erforderlich.

Im Unterschied zur vorigen Variante ist in Variante C2 zusätzlich eine Solaranlage vorgesehen. Sie hat eine Fläche von 1.750 m². Die Kollektoren werden in der Studie als dachintegriert ausgeführt. Belegt werden die Dachflächen der 6 Gewerbeeinheiten. Zur Wärmespeicherung ist ein Pufferspeicher mit etwa 100 m³ vorgesehen. Dieser kann in konventioneller Weise als Stahlspeicher und somit als geschlossener Speicher ausgeführt werden, siehe Bild 129. Der spezifische Solarertrag der Kollektoranlage wird auf 400 kWh/m²a geschätzt. Es ergibt sich ein Ertrag von 700 MWh/a. Damit werden 40% des Bedarfs für die Warmwasserbereitung und der Netzverluste bzw. 12% des gesamten Wärmebedarfs ab Heizzentrale gedeckt.

In Variante C3 erfolgt die Wärmeerzeugung zentral für das Gesamtgebiet durch ein Blockheizkraftwerk. Das Gas- BHKW in der hier untersuchten Variante deckt mit 600 kW thermischer Leistung etwa 25% des Heizleistungsbedarfs ab. Der restliche Teil wird von einem Fernwärmeanschluss mit 1.645 kW abgedeckt. Das vorgesehene BHKW (450 kW_{el} / 600 kW_{th}) wird mit einer Laufzeit von 7.000 h/a angesetzt. Es werden 4.200 MWh/a Wärme und 3.150 MWh_{el}/a Strom erzeugt. Damit werden etwa

70% des gesamten Wärmebedarfs ab Heizzentrale gedeckt. Ein Pufferspeicher mit 15 m³ verhindert zu häufiges Takten des BHKW's, gleicht kurzzeitige Lastspitzen aus und erhöht damit die Gesamtlaufzeit des BHKW's. Der erzeugte Strom wird in das öffentliche Netz eingespeist.

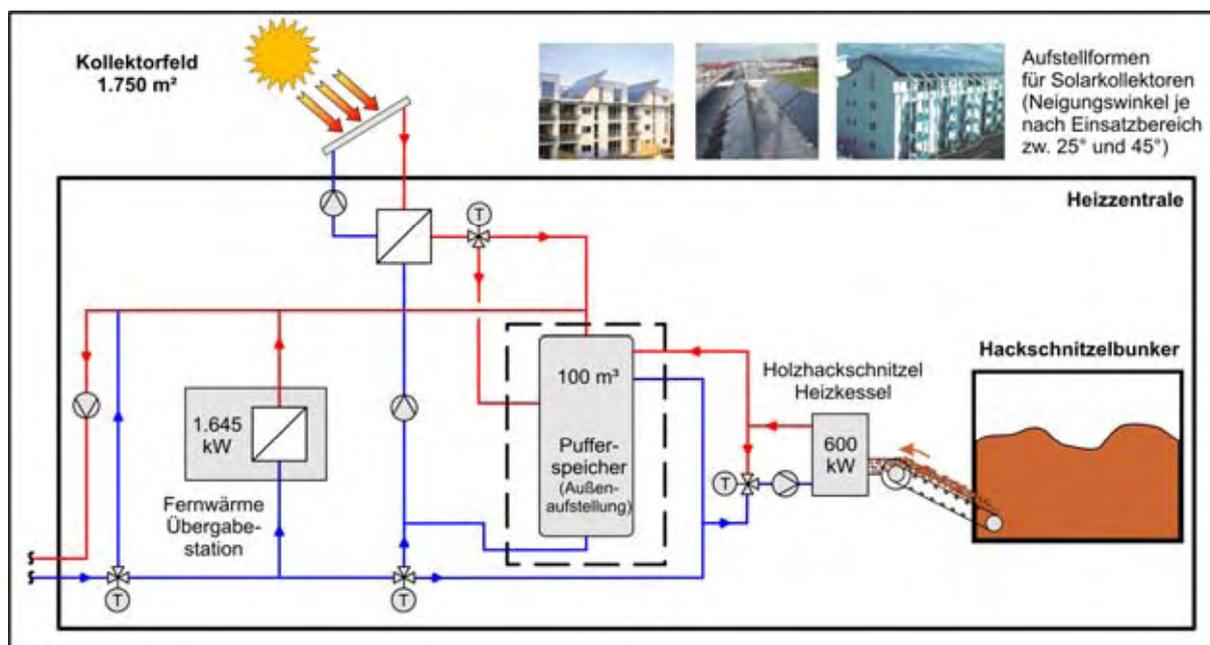


Bild 129 Anlagenschema Variante C2 – Holzhackschnitzelkessel mit Solaranlage 1.750 m²

Ergebnisse

Bild 130 zeigt die spezifischen Investitionskosten für die Wärmeversorgung bei allen Varianten bezogen auf die Nutzfläche A_N nach EnEV, aufgeteilt nach den verschiedenen Anlagenteilen. Für die Varianten B3 und C2 werden die Kosten für die solaren Komponenten zu 30% durch Solarthermie2000plus als förderfähig angesetzt.

Die niedrigsten Investitionen sind bei dezentraler Versorgung mit Gas-Brennwertkessel (Variante A1) sowie zentraler Versorgung mit Holzhackschnitzel (Variante C1) und zentraler Versorgung mittels Gas BHKW (Variante C3) zu erwarten. Am höchsten liegen die Investitionskosten bei dezentraler Versorgung mit Wärmepumpen (Variante A2). Die Investitionen für die Heizanlagen der Varianten mit zentraler Versorgung sind zwar niedriger als bei dezentraler Versorgung, allerdings

kommen Investitionen für das Nahwärmenetz und die Übergabestationen hinzu, so dass die spezifischen Kosten letztendlich um 1 bis 40 €/m²_{AN} höher liegen.

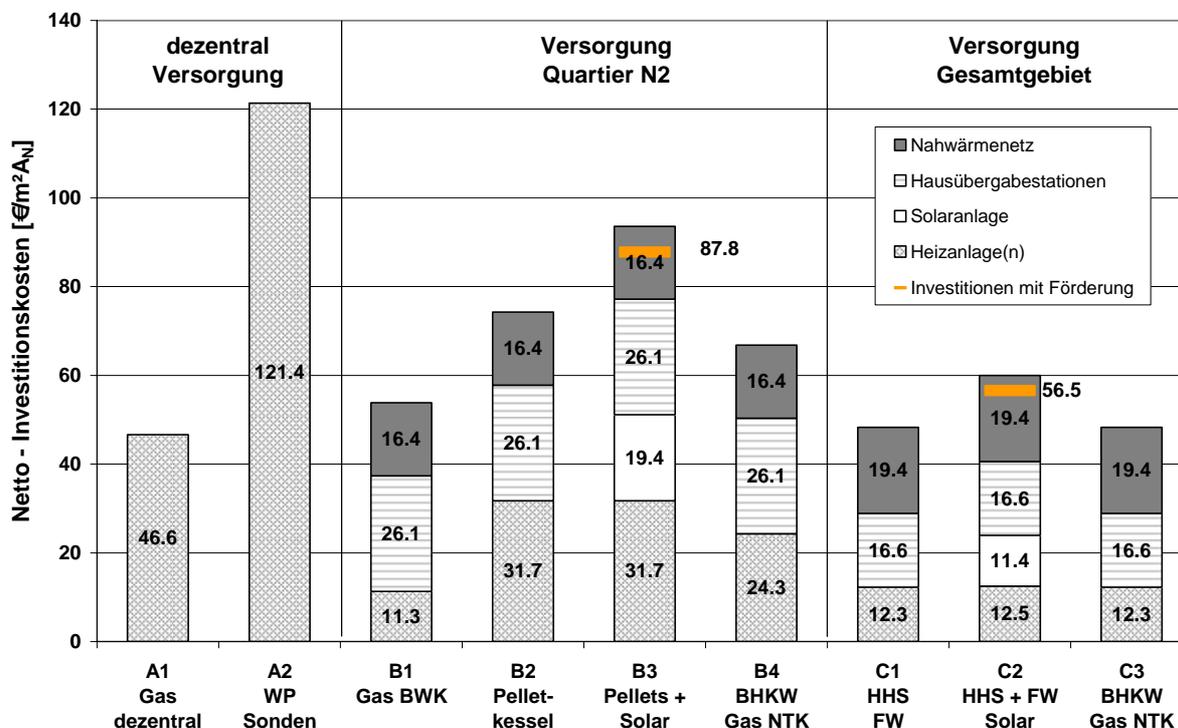


Bild 130 Spezifische Gesamt-Investitionskosten bezogen auf die Nutzfläche A_N nach EnEV (inkl. Planung, ohne MWSt.) der verschiedenen Varianten

In Bild 131 sind die spezifischen Jahresgesamtkosten bezogen auf die Nutzfläche A_N nach EnEV für die unterschiedlichen Varianten dargestellt, welche sich aus den Kapitalkosten, Instandsetzungs-, Wartungs-, und Betriebskosten sowie den Energiekosten zusammensetzen. Bei den Varianten mit BHKW's werden zudem Einnahmen durch Stromerzeugung erzielt. Berücksichtigt sind auch die Einsparungen durch die Förderung für die Solaranlage.

Die Jahresgesamtkosten für eine zentrale Versorgung des Gesamtgebiets mit einer der beiden Holzhackschnitzel- Varianten liegen um bis zu 18% niedriger als bei dezentraler Versorgung mit Gas-Brennwertkessel. Bei Quartierweiser Versorgung liegen die Varianten im Vergleich zur Basisvariante A1 auf gleichem Niveau bzw. maximal 15% höher.

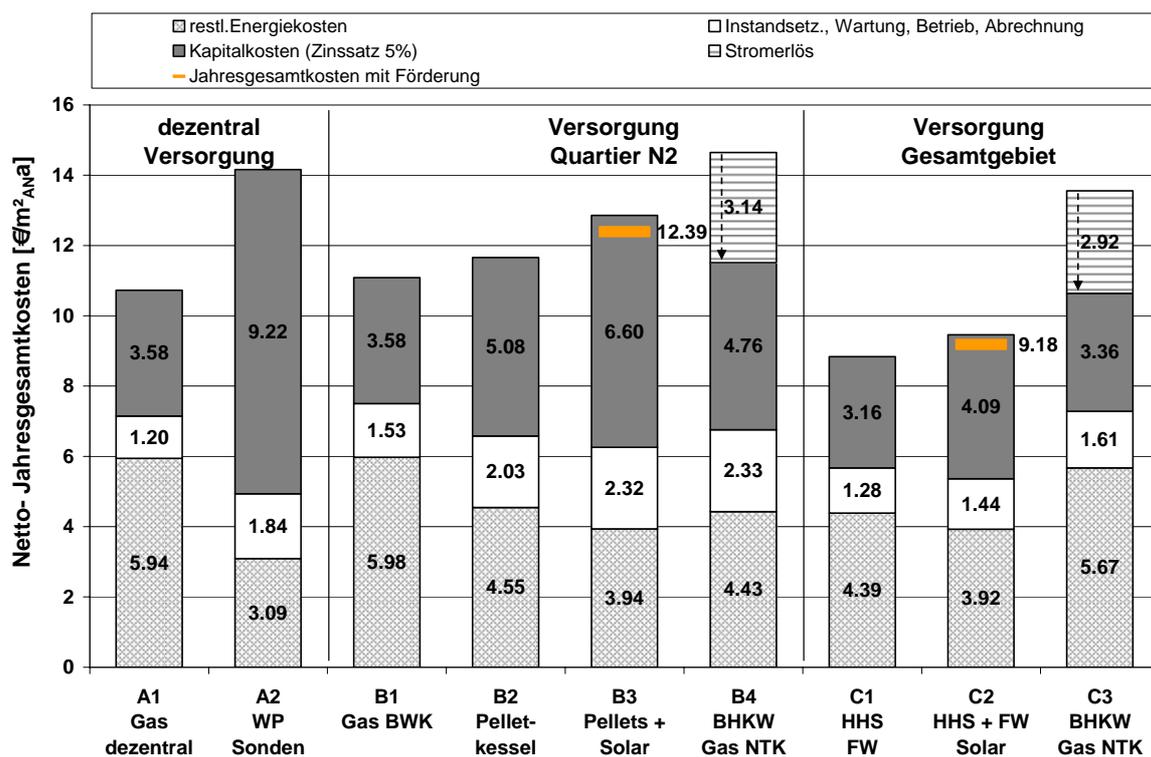


Bild 131 Spezifische Jahresgesamtkosten bezogen auf die Nutzfläche A_N nach EnEV (ohne MWSt.) der verschiedenen Varianten

Mit der Betrachtung des Primärenergiebedarfes und der CO₂- Emissionen erfolgt eine ökologische Bewertung der Wärmeversorgung, siehe Bild 132.

Trotz zusätzlichen Wärmebedarfs für die Verluste des Nahwärmenetzes lassen sich die CO₂- Emissionen und der Primärenergiebedarf für die Wärmeversorgung bei den Varianten der zentralen Wärmeversorgung unter die Werte der dezentralen Wärmeversorgung mit Gas senken. Bei den Varianten B2, B3, C1 und C2 wird durch den Einsatz des Energieträgers Holz eine Reduktion der CO₂-Emissionen um ca. 40 bis 75% erzielt. Bei Einsatz von Gasmotor- BHKW's erhöhen sich zwar die Emissionen vor Ort, durch eine so genannte Stromgutschrift für die Vermeidung von Emissionen im konventionellen Kraftwerk wird effektiv eine CO₂- Reduzierung erreicht. Bei Variante B4 (Quartierweise Versorgung) beträgt diese etwa 25%, bei Variante C3 ca. 55% aufgrund der sehr hohen Volllaststunden (7.000 h/a).

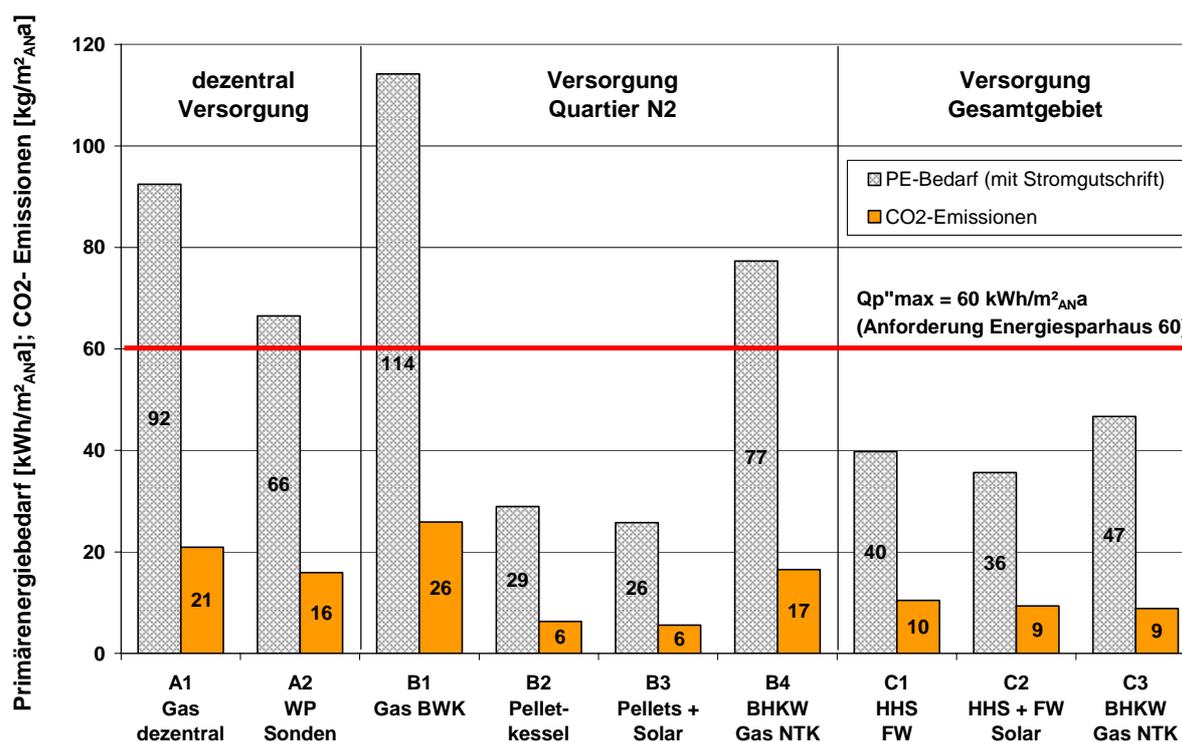


Bild 132 Primärenergiebedarf und CO₂- Emissionen bezogen auf die Nutzfläche A_N nach EnEV der verschiedenen Varianten

In der vorliegenden Studie wurden für das vorliegende städtebauliche Konzept unterschiedliche Möglichkeiten zur Nutzung von erneuerbaren Energien überprüft und auf ihre Machbarkeit hin untersucht.

Die Festlegung von Energiestandards ist ein wichtiger Schritt in Richtung einer innovativen und zukunftsorientierten Bauweise und Wärmeversorgung. Er schreibt keine bestimmten Technologien, sondern nur ein Ziel vor. Damit lässt er dem Bauherrn und Planer ein Höchstmaß an planerischer Freiheit. Es wird empfohlen, den KfW60-Standard für das gesamte Wohngebiet festzusetzen, wodurch eine 30%ige Einsparung gegenüber der EnEV erreicht wird. Dieser innovative Ansatz lässt eine Vielzahl von Kombinationsmöglichkeiten zur Wärmeversorgung des Gebietes zu. Mit der Verlegung des Nahwärmenetzes überwiegend durch die Keller ist eine kostengünstige Ausführung möglich, die großenteils erst in der Bauphase und nicht bereits während der Erschließung erfolgt. Die höheren Investitionskosten werden über die Nutzungsdauer durch den günstigeren Brennstoff Holzpellets oder Holzhackschnitzel bzw. die

Einspeisevergütung für den in KWK erzeugten Strom überwiegend ausgeglichen. Problematisch ist jedoch die Verlegung der Leitungen durch die einzelnen Grundstücke, wobei das Recht der Grunddienstbarkeit beachtet werden muss.

Dem Investor wird folgendes empfohlen:

- Aufbau einer Nahwärmeversorgung mit einer Heizzentrale für das Gesamtgebiet
- Ausführung des Wärmenetzes mit KMR- Rohren durch die Keller und im Erdreich
- Wärmeerzeugung mit einem Holzhackschnitzelkessel sowie Spitzenlastabdeckung über Fernwärme
- Berücksichtigung einer thermischen Solaranlage, entweder als zentrale Lösung oder eventuell als dezentrale Variante

3.22 Projekt 22 – Tübingen, Mühlenviertel – Quartier Sonnenmühle

Im Neubaugebiet Mühlenviertel in Tübingen wird die ATW (Arbeitsgemeinschaft Tübinger Wohnungsunternehmen) und private Einzelbauherren in den nächsten Jahren einen Wohnhof bestehend aus 5 Mehrfamilienhäusern (jeweils mit 8 Wohneinheiten) und 4 Modulhäuser erstellen. Der komplette Wohnhof ist als Tiefgarage ausgeführt in der weiterhin Abstellräume und die Heizzentrale untergebracht sind. Die Wohnfläche des Gesamtgebietes beträgt für 44 Wohneinheiten 4.145 m².

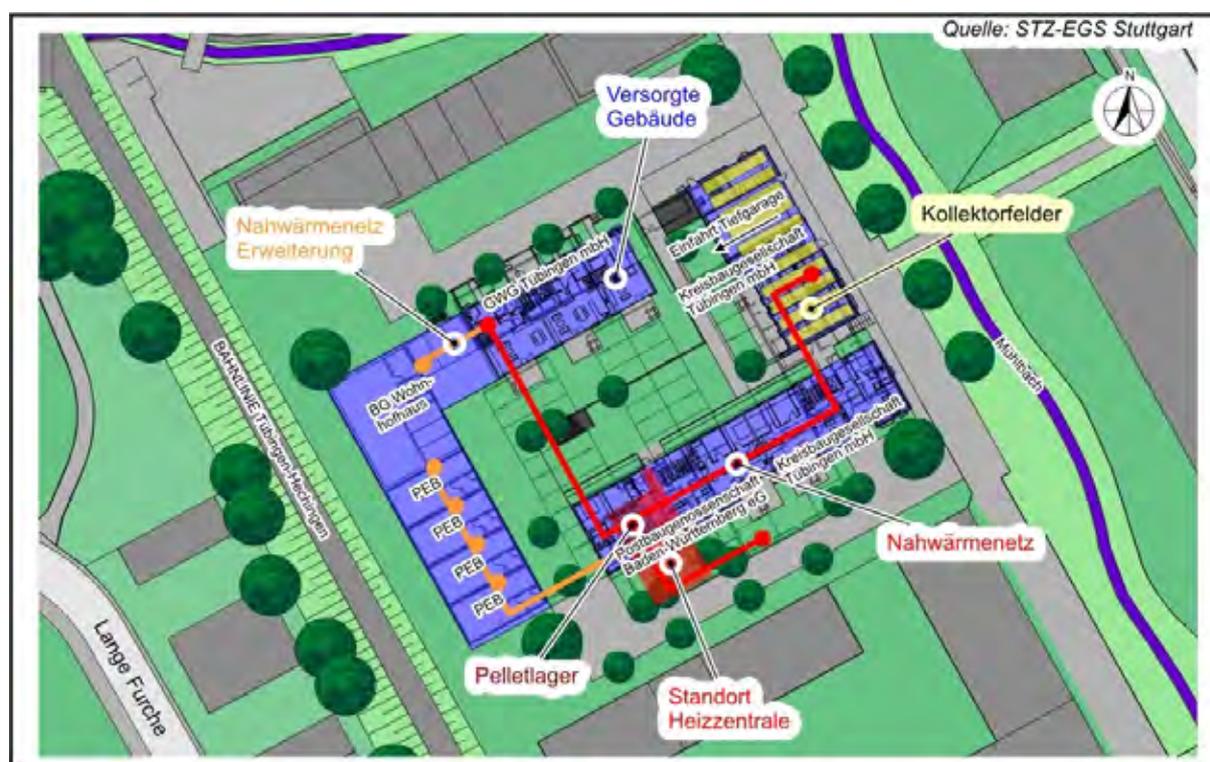


Bild 133 Lageplan Tübingen, Mühlenviertel – Quartier Sonnenmühle

Für das Neubauquartier Sonnenmühle wurde im Sommer 2007 ein zukunftsorientiertes Energiekonzept entworfen. Dabei werden verschiedene Varianten der Wärmeversorgung grob dimensioniert und hinsichtlich des Energiebedarfs, der Kosten und der ökologischen Auswirkungen verglichen. Ziel ist eine möglichst weitgehende Reduzierung der CO₂-Emissionen bei vertretbaren Kosten. Die Rahmendaten des Neubaugebietes sind in Tabelle 50 aufgeführt.

Planungstand zum Zeitpunkt der Machbarkeitsstudie		
Gebäudetyp	Mehrfamilienhäuser und Modulhäuser	
Anzahl der Gebäude	9	
Nutzung	Wohnen	
Klassifizierung	Neubau	
Anzahl Wohneinheiten	44	
Wohnfläche	4.145 m ²	
Nutzfläche nach EnEV (A _N)	5.013 m ²	
Jahresheizwärmebedarf	55 kWh/m ² _{ANA}	276 MWh/a
Warmwasserbedarf	20 kWh/m ² _{ANA}	100 MWh/a
Netzverluste	154 kWh/m ² _{TA}	30 MWh/a
Gesamtwärmebedarf	81 kWh/m ² _{ANA}	406 MWh/a
Heizleistungsbedarf	40 W/m ² _{AN}	201 kW

Tabelle 50 Eckdaten Machbarkeitsstudie Tübingen, Mühlenviertel – Quartier Sonnenmühle

Für die Gebäude ist ein Wärmeschutzstandard angestrebt, mit dem die Anforderungen an den mittleren U-Wert (H_T') der Gebäudehülle um mindestens 15% unterschritten werden. In Kombination mit einer Gas-Brennwerttherme werden damit ungefähr die Anforderungen der EnEV an den Primärenergiekennwert (PE) erfüllt. Mit einer innovativen Wärmeversorgung lassen sich bei gleichbleibendem Wärmeschutz die PE-Anforderungen der EnEV z.T. deutlich unterschreiten.

Zur Ermittlung des Wärme- und Heizleistungsbedarfs des Quartiers werden pauschal typische Bedarfswerte von 55 kWh/m²_{ANA} und 40 W/m²_{AN} angesetzt. Diese beruhen auf Erfahrungswerten aus durchgeführten Wärmebedarfsberechnungen für konkrete Gebäude. Für das Quartier entsteht ein jährlicher Heizwärmebedarf von 276 MWh/a. Für die Ermittlung des Brauchwasserwärmebedarfs wird für die Wohngebäude pauschal 20 kWh/m²_{ANA} angesetzt, inklusive 30% Speicher- und Zirkulationsverluste. Für die Brauchwassererwärmung sind demnach ca. 100 MWh/a erforderlich.

Zudem entstehen Netzverluste in Höhe von 30 MWh/a. Dies ergibt einen Gesamtwärmebedarf ab Heizzentrale von 406 MWh/a, siehe Bild 134. Bei zentraler Versor-

gung des Gesamtquartiers erhöht sich der Jahresheizwärmebedarf um ca. 30%. Die erforderliche Heizleistung beträgt 201 kW.

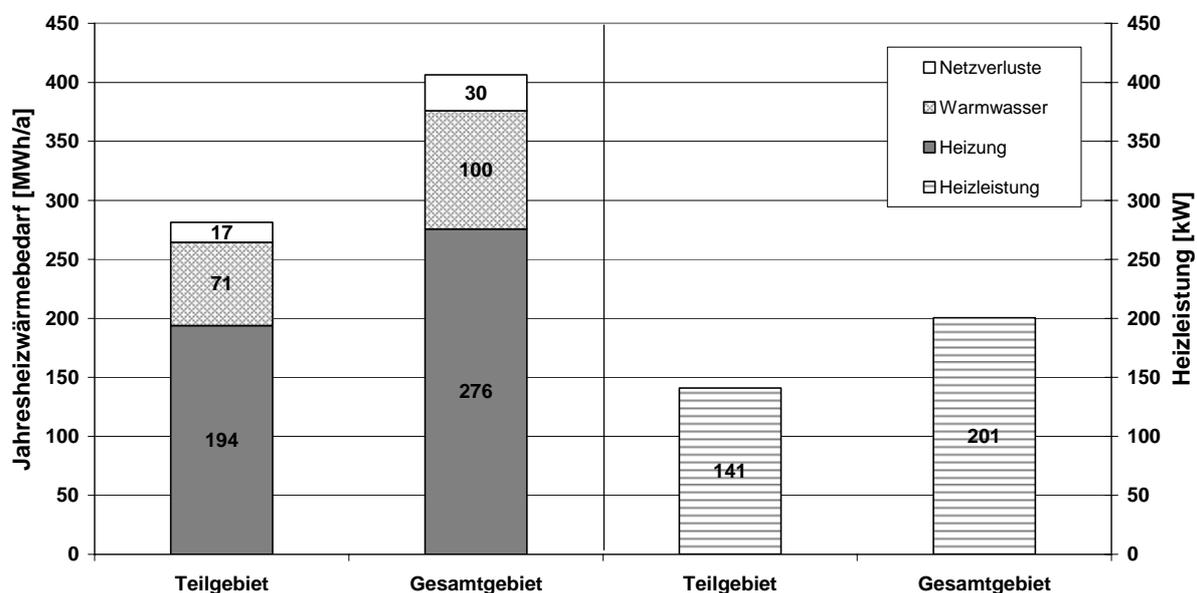


Bild 134 Darstellung Jahresheizwärmebedarf und Heizlast

Variantenbetrachtung

Zur Wärmeversorgung des Quartiers wurden sieben unterschiedliche Varianten im Rahmen der Machbarkeitsstudie untersucht. Auf Wunsch der privaten Einzelbauherren sowie einer Wohnungsgesellschaft wird die Versorgung für ein Teilquartier mit 4 Gebäuden (32 Wohneinheiten) sowie für das Gesamtquartier (44 Wohneinheiten) geprüft. Dabei wird die zentrale Versorgung mit Gas-Brennwert Gerät als Basisvariante definiert.

Bei zentraler Wärmeversorgung wird im südlichen Riegel in der Tiefgarage eine Heizzentrale errichtet. Die Wärmeverteilung erfolgt über ein Nahwärmenetz. Von der Heizzentrale gehen 3 Hauptrassen in Nord-, West- und Ost-Richtung ab. Die Leitungen werden an der Decke der Tiefgarage verlegt, wobei die Unterzüge berücksichtigt werden müssen. Die in der Tiefgarage verlegten Abschnitte werden in Stahl ausgeführt. Bei Anschluss aller Gebäude hat das Netz eine Länge von etwa 200 m, ansonsten sind ca. 110 m zu verlegen. Die Netzverluste betragen mit 30 MWh/a bzw. 17MWh/a etwa 7% der von der Heizzentrale abgegebenen Wärmemenge.

In den Gebäuden kommen indirekte Übergabestationen mit Speicher-Lade-Systemen zur Anwendung.

Zur Wärmeversorgung werden sieben Varianten betrachtet, welche nachfolgend aufgelistet sind:

Var.	zentral/ dezentral	Kesselart	Kesselleistung (je Kessel)	Kollektor- fläche	Speicher- art	Speicher- volumen
1	zentral 1	Gas-BWK	140 kW	-	-	-
2	zentral 1	Erdgas-BHKW Gas-NTK	40 kW _{th} / 20 kW _{el} 100 kW	-	-	2 m ³
3	zentral 1	WP-Sonden Gas-NTK	60 kW 80 kW	90 m ²	Heißwasser	5 m ³
4	zentral 1	Holzpelletkessel	2 x 70 kW	-	-	2 m ³
5	zentral 1	Holzpelletkessel	2 x 70 kW	100 m ²	Heißwasser	6 m ³
6	zentral 2	Holzpelletkessel	200 kW	-	-	3 m ³
7	zentral 2	Holzpelletkessel	200 kW	150 m ²	Heißwasser	9 m ³

(BWK = Brennwertkessel, WP = Wärmepumpe, BHKW = Blockheizkraftwerk, NTK - Niedertemperaturkessel)

Tabelle 51 Varianten der Wärmeversorgung Tübingen, Mühlenviertel – Quartier Sonnenmühle

In Variante 1 (Basisvariante) erhält die Heizzentrale einen Gasanschluss. Die Versorgung erfolgt über einen Gas-Brennwertkessel mit 140 kW. Dabei wird das Teilquartier mit 4 Gebäuden versorgt.

Bei Variante 2 erfolgt die Wärmeerzeugung zentral durch ein Blockheizkraftwerk (BHKW). Ein BHKW deckt in der Regel nur einen Teil der maximalen Heizlast ab, für den Spitzenlastbedarf wird ein Gas-Niedertemperaturkessel mit 100 kW eingesetzt. Das vorgesehene Gasmotor- BHKW (20 kW_{el} / 40 kW_{th}) wird mit einer Laufzeit von 5.000 h/a angesetzt. Es werden 200 MWh/a Wärme und 100 MWh_{el}/a Strom erzeugt. Dies entspricht einem Wärmeanteil von 71%. Ein Pufferspeicher mit 2 m³ verhindert zu häufiges Takten des BHKW's, gleicht kurzzeitige Lastspitzen aus und erhöht damit die Gesamtlaufzeit des BHKW's.

Bei Variante 3 wird die Grundlast durch eine elektrische Wärmepumpe (WP) mit einer Wärmeleistung von 60 kW bereitgestellt. Als Wärmequelle dienen Erdsonden mit einer Gesamtlänge von ca. 860 m. Die Arbeitszahl der Wärmepumpe hängt stark von der Temperaturdifferenz zwischen Wärmequelle und Heizsystem ab. Eine Fußbo-

denheizung, die mit einer Vorlauftemperatur von 30 bis 40°C betrieben wird und damit den WP-Betrieb begünstigt, ist in dieser Variante ohnehin vorgesehen. Zusätzlichen Aufwand erfordert die Brauchwasserbereitung, die ein höheres Temperaturniveau erfordert. Mit der WP kann das WW auf 50 - 55°C aufgewärmt werden. Dies ist für den Betrieb im Einfamilienhaus ausreichend, aus Gründen des Legionellenschutzes muss aber bei den Mehrfamilienhäusern der gesamte Brauchwasserspeicher auf mind. 60°C aufgeheizt werden. Dafür ist ein Gaskessel, eine zentrale Warmwasserbereitung sowie ein separates Wärmenetz erforderlich (4-Leiter Wärmenetz). Der Gaskessel mit einer Leistung von 80 kW deckt auch die winterliche Spitzenlast ab. Unterstützt wird die Warmwasserbereitung durch eine thermische Solaranlage. Bei einer Kollektorfläche von 90 m² (Pufferspeichervolumen 5 m³) und einem erwarteten Ertrag von etwa 400 kWh/(m²·a) ergibt sich ein Ertrag von 36 MWh/a. Damit werden etwa 38% des Bedarfs für die WW- Bereitung und der Netzverluste bzw. 12 % des gesamten Wärmebedarfs ab Heizzentrale gedeckt. Für die Berechnungen wird eine mittlere Arbeitszahl der Wärmepumpe von 3,5 angesetzt, d.h. zur Gewinnung von 3,5 kWh Wärme ist der Einsatz von 1 kWh elektrischer Energie erforderlich. Die Wärmepumpe kann etwa 65% der benötigten Wärmemenge bereitstellen (188 MWh/a), der Rest wird durch den Gas-NT-Heizkessel zu 23% (65 MWh/a) und durch die Solaranlage zu 12% (36 MWh/a) geliefert.

Variante 4 sieht die Wärmeerzeugung durch zwei Holzpelletkessel mit ca. 70 kW im Nahwärmeverbund für das Teilquartier mit 4 Gebäuden vor. Zusätzlich zum Heizraum ist ein Pelletssilo erforderlich, welches mindestens eine LKW-Ladung Pellets (36 m³) fassen kann. Ein Pufferspeicher mit 2 m³ verlängert die Betriebszeiten der Holzessel bei reduzierter Wärmeabnahme in der Übergangszeit.

Im Unterschied zur vorigen Variante ist in Variante 5 zusätzlich eine Solaranlage vorgesehen. Auf dem Flachdach des östlichen Gebäudeflügels stehen 310 m² Dachfläche zur Aufständigung von Kollektoren zur Verfügung. Zur Optimierung des Solarertrags sollten die Kollektoren ca. 40° geneigt sein. Bei einer Kollektorfläche von 100 m² (Pufferspeichervolumen 6 m³) und einem erwarteten Ertrag von etwa 350 kWh/(m²·a) ergibt sich ein Ertrag von 35 MWh/a. Damit werden etwa 40% des Be-

darfs für die WW- Bereitung und der Netzverluste bzw. 12 % des gesamten Wärmebedarfs ab Heizzentrale gedeckt.

Variante 6 ist identisch zu Variante 4, jedoch wird das gesamte Wohnquartier versorgt. Die Wärmeerzeugung erfolgt durch einen Holzpelletkessel mit 200 kW. Ein Pufferspeicher mit 3 m³ verlängert die Betriebszeiten der Holzpelletkessel bei reduzierter Wärmeabnahme in der Übergangszeit.

Im Unterschied zur vorigen Variante ist in Variante 7 zusätzlich eine Solaranlage vorgesehen. Dabei erhöht sich die Kollektorfläche im Gegensatz zu Variante 5 auf 150 m² (Pufferspeichervolumen 9 m³), siehe Bild 135. Bei einem erwarteten Ertrag von etwa 350 kWh/(m²·a) ergibt sich ein Ertrag von 53 MWh/a. Damit werden etwa 40% des Bedarfs für die WW- Bereitung und der Netzverluste bzw. 13 % des gesamten Wärmebedarfs ab Heizzentrale gedeckt.

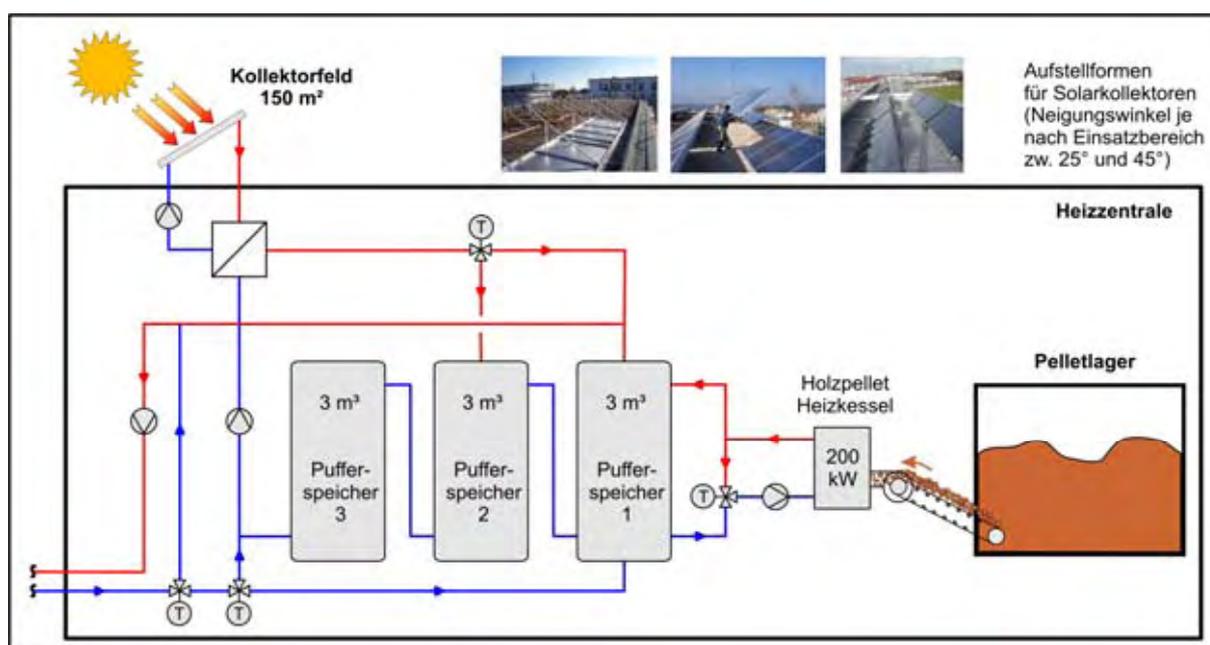


Bild 135 Anlagenschema Variante 7 – Holzpelletkessel mit Solaranlage 150 m²

Ergebnisse

Bild 136 zeigt die Investitionskosten für die Wärmeversorgung bei allen Varianten, aufgeteilt nach den verschiedenen Anlagenteilen. Für Variante 3, 6 und 7 werden die

Kosten für die solaren Komponenten zu 30% durch Solarthermie2000plus als förderfähig angesetzt.

Die niedrigsten Investitionen für das Teilquartier sind bei Versorgung mit Gas-Brennwertkessel zu erwarten. Die Investitionen für die Heizanlagen der anderen Varianten liegen um 65.000 bis 155.000 € höher. Die höchsten Investitionskosten ergeben sich bei Variante 4 mit Wärmepumpe und Solaranlage. Bei Versorgung des gesamten Quartiers über Holzpellets liegen die Investitionskosten um 187.000 € höher gegenüber der Basisvariante für das Teilquartier. Eine Solaranlage erhöht die Investitionskosten um weitere 60.000 € inklusive Förderung.

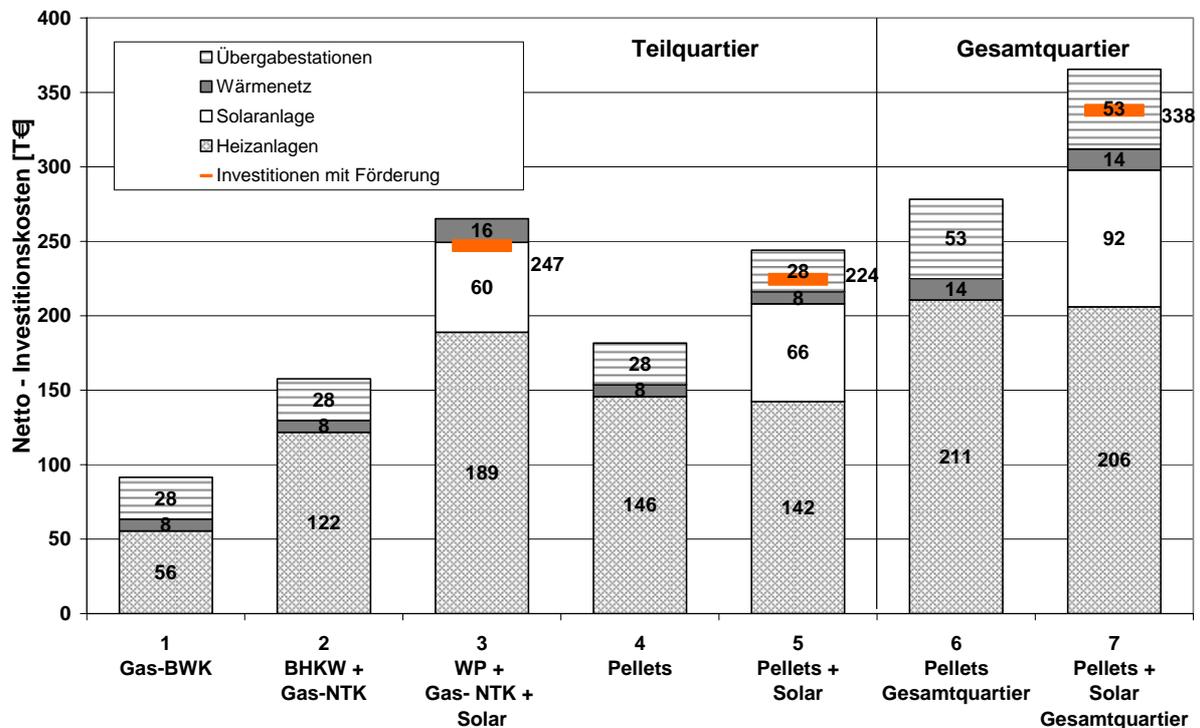


Bild 136 Gesamt-Investitionskosten (inkl. Planung, ohne MWSt.) der verschiedenen Varianten

In Bild 137 sind die Jahresgesamtkosten für die unterschiedlichen Varianten dargestellt, welche sich aus den Kapitalkosten, Instandsetzungs-, Wartungs-, und Betriebskosten sowie den Energiekosten zusammensetzen. Bei der Variante mit BHKW werden zudem Einnahmen durch Stromerzeugung erzielt. Berücksichtigt sind auch die Einsparungen durch die Förderung für die Solaranlage.

Die günstigste Lösung für das Teilquartier ist durch zentrale Versorgung mit Gas (Variante 1) zu erreichen. Die Jahresgesamtkosten der Variante 2 (BHKW) und 4 (Holzpellets) liegen um ca. 14% höher, bei Variante 3 (Wärmepumpe und Solaranlage) und 5 (Holzpellets und Solaranlage) um ca. 20%. Zu beachten ist neben dem Gesamtbetrag auch die Kostenaufteilung. Der Anteil der Energiekosten bei Variante 4 mit Holzpellets ist um 20% und bei Variante 3 mit Wärmepumpe um 44% deutlich geringer als bei zentraler Versorgung mit Erdgas (Basisvariante).

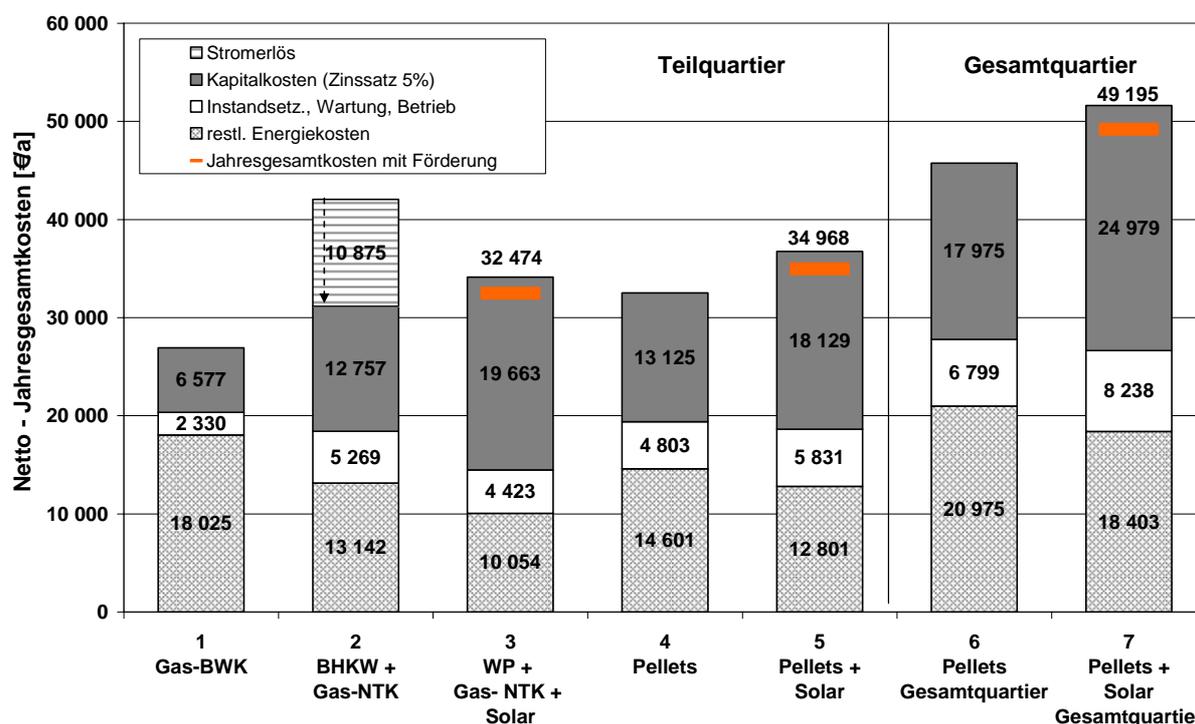


Bild 137 Jahresgesamtkosten (ohne MWSt.) der verschiedenen Varianten

Mit der Betrachtung des Primärenergiebedarfes und der CO₂- Emissionen erfolgt eine ökologische Bewertung der Wärmeversorgung, siehe Bild 138. Bei den Varianten 4 und 5 wird durch den Einsatz des Energieträgers Holz eine Reduktion der CO₂- Emissionen um ca. 75% erzielt. Bei Einsatz Variante 2 (BHKW) erhöhen sich zwar die Emissionen vor Ort, durch eine so genannte Stromgutschrift für die Vermeidung von Emissionen im konventionellen Kraftwerk wird effektiv eine CO₂- Reduzierung um 45% erreicht. Bei Variante 3 mit Wärmepumpe beträgt die Reduzierung etwa 24%.

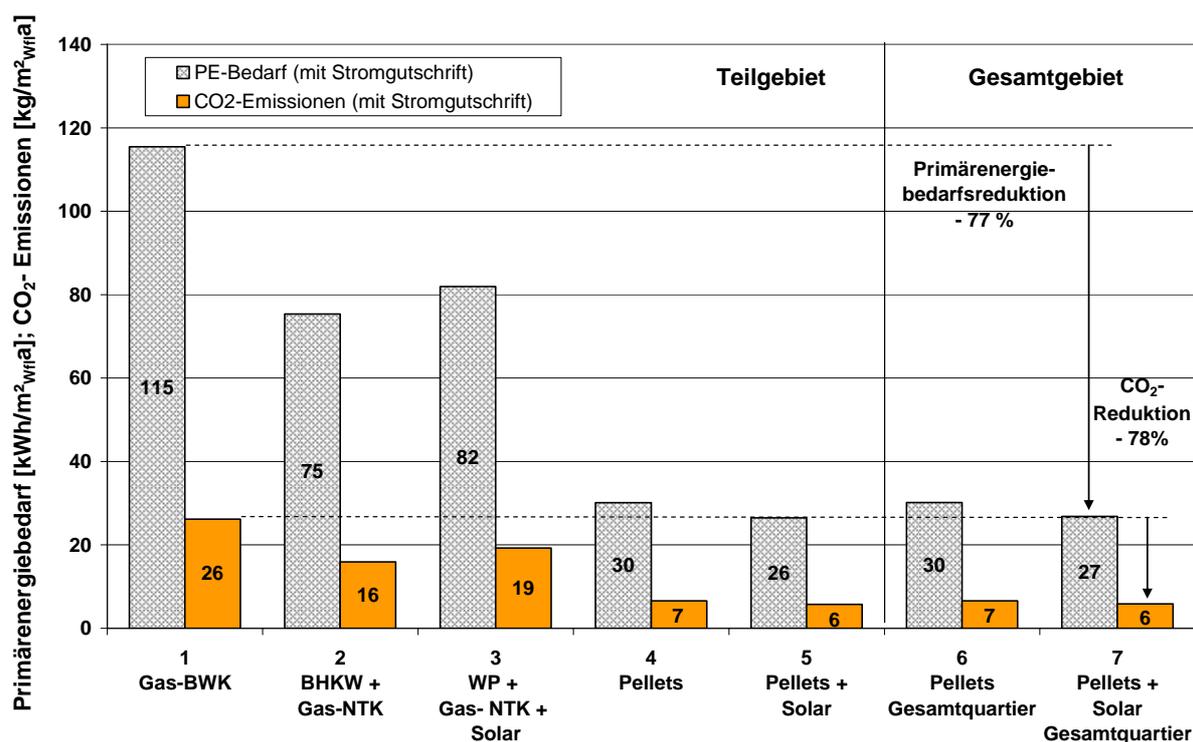


Bild 138 Flächenspezifischer Primärenergiebedarf und CO₂- Emissionen bezogen auf die Wohnfläche A_{Wfl} der verschiedenen Varianten

Eine Versorgung des gesamten Wohnquartiers bietet gegenüber einer „dezentralen Wärmeversorgung“ verbesserte Möglichkeiten zum Einsatz von CO₂-neutralen Energieträgern, bei akzeptablen Mehrinvestitionen. Weiterhin kann in Zukunft schneller auf andere Brennstoffe zentral umgestellt werden, als es bei dezentraler Versorgung möglich ist. Die höheren Investitionskosten werden über die Nutzungsdauer durch den günstigeren Brennstoff (z.B. Holzpellets) bzw. die Einspeisevergütung für den in KWK erzeugten Strom überwiegend ausgeglichen.

Dem Investor wird folgendes empfohlen:

- Errichtung einer Heizzentrale in der Tiefgarage für das gesamte Wohnquartier
- Ausführung des Wärmenetzes mit Stahl- Rohren durch die Tiefgarage
- Wärmeerzeugung mit einem großen Pelletkessel
- Berücksichtigung einer thermischen Solaranlage, entweder als zentrale Lösung (150 m²) oder eventuell als dezentrale Variante pro Übergabestation.

3.23 Projekt 23 – Nürnberg, Neubaugebiet Kornburg-Nord

Für das Baugebiet Kornburg-Nord wurde im Herbst 2007 in einem Pilotprojekt ein zukunftsweisendes Energiekonzept entwickelt. Besonders ist dabei, dass zu einem früheren Zeitpunkt des Bebauungsplanverfahrens von der Stadt die Gelegenheit ergriffen wurde, den Entwurf energetisch zu prüfen, zu optimieren und die Fragen nach einer energetisch intelligenten Versorgung vorab zu prüfen. Im Neubaugebiet Kornburg-Nord in Nürnberg entstehen in mehreren Bauabschnitten ca. 200 Wohneinheiten mit drei verschiedenen Gebäudetypen. Dabei werden 39 Einfamilienhäuser, 125 Reihenhäuser und 37 Doppelhaushälften errichtet. Die Gebäude sind alle unterkellert. Insgesamt werden 11 Wohnquartiere errichtet. Die Wohnfläche des Gesamtgebietes beträgt ca. 33.000 m².

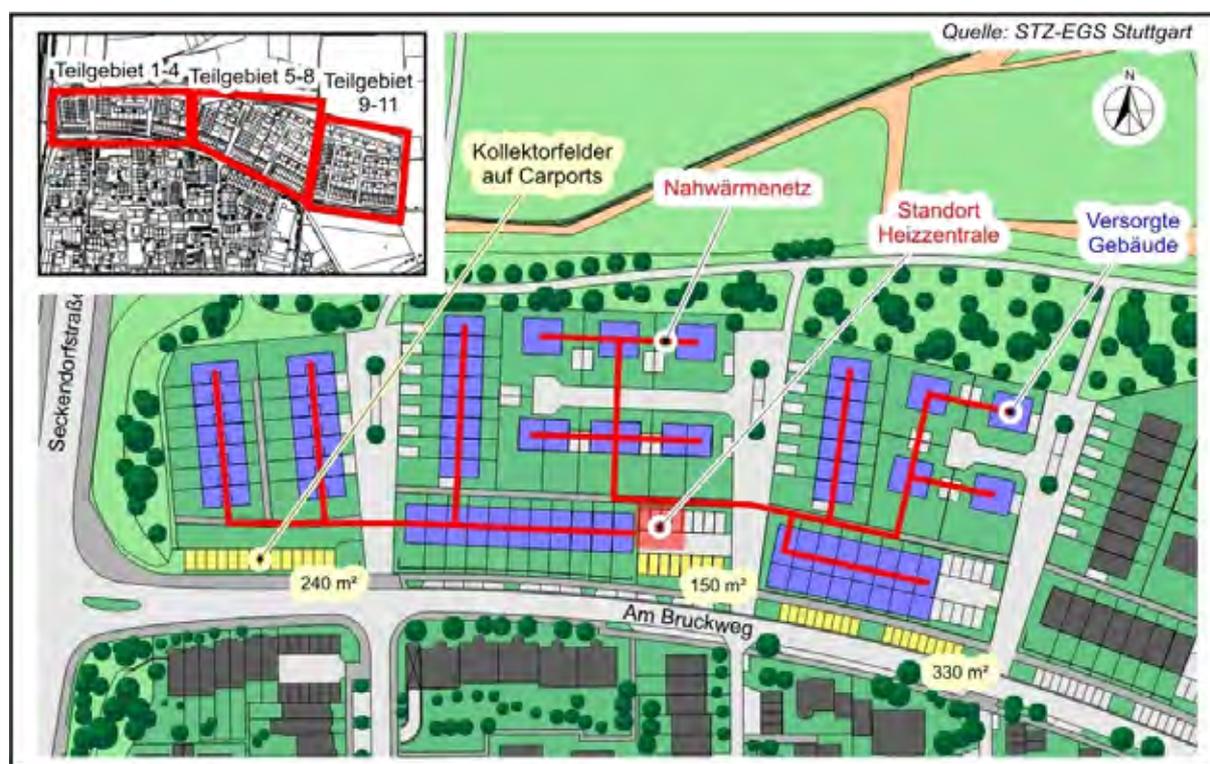


Bild 139 Lageplan Nürnberg, Neubaugebiet Kornburg-Nord Quartier 1-4

Neben einer Reihe von dezentralen Versorgungsoptionen sollen zentrale Wärmeversorgungsmöglichkeiten untersucht werden. Hier bietet sich ein weites Feld von technischen Möglichkeiten, die im Vorfeld auf ein sinnvolles Maß von Vergleichsvarianten zu begrenzen sind. Folgende Kriterien sind zu beachten:

- Die Geschwindigkeit der Aufsiedlung beeinflusst die Größe möglicher Versorgungseinheiten.
- Größe der Versorgungseinheiten hat Auswirkungen auf mögliche Betreiberformen (zu große Einheiten sind für eine Verwaltung durch die Nutzer selbst zu groß, zu kleine Einheiten sind für professionelle Betreiber mit zu viel Aufwand verbunden).
- Bestimmte Technologien sind nicht in allen Größen sinnvoll einsetzbar (Pellets bis ca. 400 kW, darüber Holzhackschnitzel; Einspeisevergütung für BHKW < 50 kW_{el} ist deutlich höher als bei größeren Anlagen).

Der folgende Variantenvergleich bezieht sich in den zentralen Varianten zum einen auf die Versorgung einer Hauszeile, zum anderen auf eine deutliche größere Einheit eines möglichen ersten Bauabschnittes. Eine zentrale Versorgung für das Gesamtgebiet ist auf Grund der unsicheren Dauer der Aufsiedlung nicht sinnvoll, da in diesem Fall die Dauer der Vorhaltung von Versorgungsstrukturen (vor allem Netz und Heizzentrale) unverhältnismäßig aufwändig wäre. Zudem vergrößern sich bei einem größeren Gebiet die Nennweiten der Versorgungsleitungen und damit die anteiligen Netzverluste sowie die Kosten. Bei Gebieten mit hohen Anteilen an Einfamilienhäusern werden dabei Netzverluste von 20% und mehr erreicht, was nicht mehr hinnehmbar ist. Folgende Wärmeversorgungsarten wurden untersucht:

- Dezentrale Wärmeversorgung
- Gemeinsame Versorgung für eine Reihenhauszeile (8 Wohneinheiten)
- Zentrale Versorgung für einen Bauabschnitt (Quartier 1 bis 4)

Die Rahmendaten des Neubaugebietes sind in Tabelle 52 aufgeführt.

	Planungstand zum Zeitpunkt der Machbarkeitsstudie					
Gebäudetyp	Einfamilienhäuser					
Anzahl der Gebäude	201					
Nutzung	Wohnen					
Klassifizierung	Neubau	Gesamtgebiet				
Anzahl Wohneinheiten	Quartier 1-4	Quartier 1-11			(Gesamtgebiet)	
	61 WE	201 WE				
Wohnfläche	10.056 m ²	33.077 m ²				
Nutzfläche nach EnEV (A _N)	11.830 m ²	38.914 m ²				
Bruttogeschossfläche (BFG)	12.570 m ²	41.346 m ²			61 WE	201 WE
Jahresheizwärmebedarf	58 kWh/m ² _{ANA}	60 kWh/m ² _{ANA}			587 MWh/a	2.009 MWh/a
Warmwasserbedarf	23 kWh/m ² _{ANA}	23 kWh/m ² _{ANA}	226 MWh/a	744 MWh/a		
Netzverluste	155 kWh/m ² _{TRa}	246 kWh/m ² _{TRa}	142 MWh/a	689 MWh/a		
Gesamtwärmebedarf	95 kWh/m ² _{ANA}	104 kWh/m ² _{ANA}	955 MWh/a	3.443 MWh/a		
Heizleistungsbedarf	39 W/m ² _{AN}	40 W/m ² _{AN}	391 kW	1.322 kW		

Tabelle 52 Eckdaten Machbarkeitsstudie Nürnberg, Neubaugebiet Kornburg-Nord

Der Wärme- und Heizleistungsbedarf der Gebäude wird aus flächenbezogenen Energiekennwerten ermittelt. Dafür werden die nach B-Plan maximal zulässigen Bruttogrundflächen zu Grunde gelegt. Als Kennwerte für den Heizwärmebedarf werden die vorher ermittelten Bedarfswerte für den KfW 60-Standard nach Optimierung des B-Plans zu Grunde gelegt. Es ergeben sich typische Bedarfswerte für die einzelnen Gebäudetypen, je nach A/V-Verhältnis und Gebäudegröße, zwischen 40 und 50 kWh/m²_{BGFa}. Diese Werte werden um etwa 5 kWh/m²_a erhöht, um zusätzliche hausinterne Wärmeverteilverluste zu berücksichtigen. Für die Berechnung des Brauchwasserbedarfs wird ein vorgegebener Pauschalwert von 18 kWh/m²_{BGFa} inklusive einem Anteil für Speicher- und Verteilverluste angesetzt. Der Heizleistungsbedarf wird aus den Heizwärmebedarfswerten mit einer Volllaststundenzahl von etwa 1.500 h/a ermittelt.

Für das Versorgungsgebiet mit 61 Wohneinheiten (Quartier 1 bis 4) ergeben sich die nachfolgend aufgeführten Kennwerte. Für die Brauchwassererwärmung sind demnach ca. 226 MWh/a (inklusive 30% Speicher- und Zirkulationsverluste) erforderlich. Für das Versorgungsgebiet entsteht ein jährlicher Heizwärmebedarf von 587 MWh/a. Bei zentraler Versorgung entstehen zudem Netzverluste in Höhe von 142 MWh/a. Dies ergibt einen Gesamtwärmebedarf ab Heizzentrale von 955 MWh/a, siehe Bild 140. Die erforderliche Heizleistung beträgt für das Gebiet 391 kW.

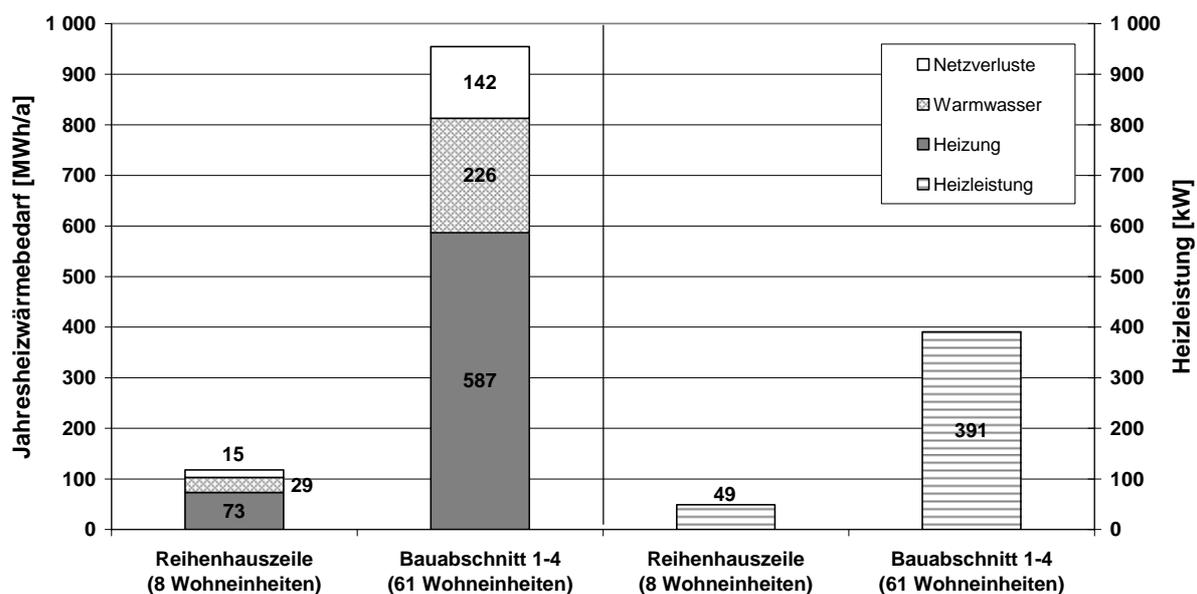


Bild 140 Darstellung Jahresheizwärmebedarf und Heizlast

Variantenbetrachtung

Zur Wärmeversorgung des ehemaligen Kasernengebietes wurden 13 unterschiedliche Varianten im Rahmen der Machbarkeitsstudie untersucht. Dabei wird die Einzelhausversorgung mit Gas-Brennwert Geräten als Basisvariante definiert. Im weiteren Verlauf der Studie erfolgt die Untersuchung und Betrachtung der Versorgung einer Reihenhauszeile mit 8 Reihenhäusern sowie der Versorgung eines größeren Bauabschnitts (Quartier 1 bis 4), bestehend aus 6 Doppelhaushälften, 7 Einfamilienhäusern und 48 Reihenhäusern.

Bei einer dezentralen Wärmeversorgung erhält jedes Gebäude einen eigenen Wärmeerzeuger. Dazu erforderlich ist für jedes Gebäude die entsprechende Versorgungsleitung oder ein entsprechender Brennstofflagerraum.

Eine gemeinsame Versorgung einer ganzen Reihenhauszeile unterscheidet sich in einigen Punkten von einer Einzelversorgung der Gebäude. Es wird nur eine Wärmezentrale errichtet. Diese sollte jederzeit von außen zugänglich sein, d.h. ein abgetrennter Raum oder Anbau an eine Garage, ein unterirdischer Anbau an ein Reihenendhaus (mit Zugang von außen) oder ein Container. Zur Wärmeverteilung von der Zentrale zu den einzelnen Gebäuden ist ein zusätzliches Leitungsnetz erforderlich. Ein solches Netz mit nur wenigen Abnehmern wird in der Regel als 4-Leiter-Netz ausgeführt. Der Warmwasserbereiter steht dabei in der Heizzentrale. Alternativ könnte die Wärme über ein 2 Leiter-Netz verteilt werden. Dazu wären dezentrale Warmwasserbereiter erforderlich. Zur Abrechnung sind für jedes Gebäude Messeinrichtungen, z.B. ein Wärmemengenzähler für die Heizwärme und ein Wasserzähler für die Warmwassermenge, erforderlich. Auf jeden Fall sind die Rechte zur Führung der Versorgungsleitungen durch die Gebäude sowie evtl. die Nutzung eines privaten Raumes als Heizraum durch Grunddienstbarkeiten abzusichern. Die Versorgung einer Hauszeile aus einer gemeinsamen Heizanlage wird am Beispiel einer Reihenhauszeile aus Quartier 4 untersucht. Für die 8 Gebäude wurde ein Heizleistungsbedarf von 49 kW ermittelt. Der Gesamtwärmebedarf der Gebäude beträgt 103 MWh/a. Bei der Wärmeverteilung über ein 4-Leiter-Netz, mit einer Länge von ca. 50 m, sind mit zusätzlichen Wärmeverlusten von 15 MWh/a zu rechnen, d.h. 5 MWh/a für die Heizverteilverluste und 10 MWh/a für die Verteilverluste der Warmwasserversorgung. Der Wärmeverlust, bezogen auf die im Heizraum erzeugte Wärme, beträgt damit 13%.

Eine zentrale Versorgung für ein größeres Gebiet, wie hier für die Quartiere 1 bis 4, ist nicht mit einer reinen Vergrößerung der Anlagenkomponenten realisierbar, sondern erfordert eine Anpassung des Gesamtsystems. Die Heizzentrale wird unter Umständen in einem separaten Gebäude auf einem eigenen Grundstück untergebracht. Das Wärmenetz wird als 2-Leiter-Netz ausgeführt. Dies erfordert in jedem Gebäude eine Übergabestation und einen eigenen Warmwasserbereiter. Um die Kosten für die

Wärmeverteilung und die Wärmeverluste auf ein Minimum zu begrenzen, werden die im Erdreich verlegten Abschnitte als PEX- Rohre ausgeführt, die Rohre im Keller in Stahl. Das Netz hat eine Länge von etwa 915 m, davon sind 425 m im Erdreich, der Rest in den Kellern zu verlegen. Die Netzverluste betragen mit 142 MWh/a etwa 15% der von der Heizzentrale abgegebenen Wärmemenge. Für alle Häuser werden direkte Übergabestationen mit Speicher-Lade-Systemen eingesetzt. Beim Übergang zwischen den Reihenhäusern ist auf die Belange des Schall- und Brandschutzes zu achten. Auf jeden Fall sind die Rechte zur Führung der Versorgungsleitungen auf den Grundstücken sowie durch die Gebäude durch Grunddienstbarkeiten abzusichern.

Zur Wärmeversorgung werden 13 Varianten betrachtet, welche nachfolgend aufgelistet sind:

Var.	zentral/ dezentral	Kesselart	Kesselleistung (je Kessel)	Kollektor- fläche	Speicher- art	Speicher- volumen
A1	dezentral	Gas-BWK	11 kW	-	-	-
A2	dezentral	Gas-BWK	11 kW	6 m ²	Heißwasser	0,4 m ³
A3	dezentral	Holzpelletkessel	11 kW	-	-	-
A4	dezentral	Holzpelletkessel	11 kW	6 m ²	Heißwasser	0,4 m ³
A5	dezentral	Erdsonden-WP	11 kW	-	-	0,2 m ³
B1	zentral RH	Holzpelletkessel	50 kW	-	-	-
B2	zentral RH	Holzpelletkessel	50 kW	45 m ²	Heißwasser	3 m ³
B3	zentral RH	Erdgas-BHKW Gas-BWK	12,5 kW _{th} / 5,5 kW _{el} 40 kW	-	-	1 m ³
C1	zentral	Holzpelletkessel	400 kW	-	-	8 m ³
C2	zentral	Erdgas-BHKW Gas-BWK	100 kW _{th} / 50 kW _{el} 300 kW	-	-	3 m ³
C3	zentral	Pflanzenöl-BHKW Pflanzenöl-NTK	105 kW _{th} / 75 kW _{el} 300 kW	-	-	3 m ³
C4	zentral	Gas-BWK	400 kW	700 m ²	Mehrtages- speicher	100 m ³
C5	zentral	Holzpelletkessel	400 kW	390 m ²	Kurzzeit- speicher	23 m ³

(RH = zentrale Versorgung einer Reihenhauszeile mit 8 Reihenhäusern, BWK = Brennwertkessel, WP = Wärmepumpe, BHKW = Blockheizkraftwerk, NTK = Niedertemperaturkessel)

Tabelle 53 Varianten der Wärmeversorgung Nürnberg, Neubaugebiet Kornburg-Nord

In Variante A1 (dezentrale Wärmeversorgung) erhält jedes Gebäude einen eigenen Gasanschluss. Die Einfamilien-, Doppel- und Reihenhäuser besitzen jeweils eine Gas-Brennwert-Therme mit etwa 11 kW als Dachheizzentrale.

In Variante A2 wird die o.g. Anlage um eine thermische Solaranlage zur Warmwasserbereitung erweitert. Für ein EFH werden etwa 6 m² Kollektoren benötigt, dabei wird der WW- Berteiter durch einen größeren Solarspeicher ersetzt. Die Solaranlage kann etwa 50-60% des Warmwasserwärmebedarfs decken.

Bei Variante A3 erfolgt die Wärmeerzeugung über einen Holzpelletkessel. Diese sind auch in der hier benötigten Größe von etwa 11 kW verfügbar. Neben dem etwas größeren Platzbedarf für den Heizkessel ist ein Pelletlagerraum erforderlich, der etwa einen Jahresbedarf von 3 to oder 4-5 m³ fasst. Im EFH werden dazu häufig Gewebetanks eingesetzt. Pellets werden über eine Förderschnecke oder ein Saugsystem dem Kessel zugeführt. Der Anlagenbetrieb ist vollautomatisch. Lediglich die anfallende Asche muss wenige Male im Jahr geleert werden. Da Pelletkessel in der Regel im Keller aufgestellt werden und Brennwertgeräte noch kaum verfügbar sind, ist ein konventioneller Schornstein (gemauert oder Edelstahl) erforderlich.

In Variante A4 wird der o.g. Pelletkessel um eine thermische Solaranlage erweitert. Dies ist für den praktischen Anlagenbetrieb sehr sinnvoll. Ein Pelletkessel hat eine deutlich größere Masse als eine Gastherme. Obwohl im Sommer der Kessel für die Warmwasserbereitung nur wenige Male am Tag in Betrieb geht, ist er den ganzen Tag warm. Dies führt zu hohen Wärmeverlusten. Mit einer thermischen Solaranlage kann der Heizkessel im Sommer ganz abgeschaltet werden.

Bei Variante A5 erfolgt die Wärmeerzeugung durch eine Wärmepumpe (WP). Eine Erdsonde entzieht dem Erdreich über Erdsonden Wärme, die Wärmepumpe bringt diese auf das für die Heizung und Warmwasserbereitung erforderliche Temperaturniveau. In der Wärmepumpe werden dabei aus 1 kWh elektrischer Energie ca. 3,5 bis 4 kWh Wärme erzeugt. Dieser Vorteil führt dazu, dass mit Wärmepumpen die Energiekosten gegenüber einer Gasheizung deutlich sinken. Für ein EFH wird eine Wärmepumpe mit etwa 10 kW sowie eine Erdsonde mit einer Tiefe von 80-100 m benötigt. Um einen kontinuierlichen WP-Betrieb zu erreichen und um die Abschaltzeiten des Energieversorgers zu überbrücken, ist ein Pufferspeicher erforderlich.

Variante B1 sieht die Wärmeerzeugung durch einen Holzpelletkessel mit ca. 50 kW im Nahwärmeverbund für 8 Reihenhäuser vor. Zusätzlich zum Heizraum ist ein Pelletsilo mit einer Größe von etwa 30 m³ erforderlich.

In Variante B2 erfolgt die Wärmeversorgung analog zur vorherigen Variante, erweitert um eine solare Warmwasserbereitung. Benötigt werden etwa 45 m² Kollektoren. Diese können auf den Carports oder Garagen untergebracht werden. Dabei ist auf die Baumbepflanzung zu achten, um unnötige Verschattung zu verhindern. Bei einem erwarteten Ertrag von etwa 380 kWh/(m²-a) ergibt sich ein Ertrag von 17 MWh/a. Damit werden etwa 40% des Bedarfs für die Warmwasserbereitung und der Netzverluste bzw. 15 % des gesamten Wärmebedarfs ab Heizzentrale gedeckt.

Bei Variante B3 erfolgt die Wärmeerzeugung zentral durch ein Blockheizkraftwerk (BHKW). Das BHKW deckt in der Regel nur einen Teil der maximalen Heizlast ab, für den Spitzenlastbedarf wird ein Gaskessel mit 40 kW eingesetzt. Das vorgesehene Gasmotor- BHKW (5,5 kW_{el} / 12,5 kW_{th}) wird mit einer Laufzeit von 6.500 h/a angesetzt. Es werden 81 MWh/a Wärme und 65 MWh_{el}/a Strom erzeugt. Dies entspricht einem Wärmeanteil von 69%. Ein Pufferspeicher mit 1 m³ verhindert zu häufiges Takten des BHKW's, gleicht kurzzeitige Lastspitzen aus und erhöht damit die Gesamtlaufzeit des BHKW's. Der erzeugte Strom wird in das öffentliche Netz eingespeist.

In Variante C1 wird von einer zentralen Versorgung der Quartiere 1 bis 4 ausgegangen. Die Heizzentrale wird in einem separaten Gebäude untergebracht. Die Wärmelieferung erfolgt über einen Pelletkessel mit 400 kW. Ein Pufferspeicher mit 8 m³ fängt Leistungsspitzen ab und ermöglicht einen gleichmäßigeren und somit effizienteren Betrieb des Pelletkessels. Der Raumbedarf für Heizzentrale und Pelletlager beträgt ca. 250 m³ bei einer Raumhöhe von ca. 3,30 m.

In Variante C2 erfolgt die Wärmeerzeugung zentral durch ein Blockheizkraftwerk. Da sich ein BHKW erst bei hohen Laufzeiten lohnt, wird nur ein Teil der maximalen Heizlast durch das BHKW abgedeckt. Für den Spitzenlastbedarf wird ein Gaskessel eingesetzt. Mit einem Gasmotor-BHKW (100 kW_{th} / 50 kW_{el}) ist eine Laufzeit von etwa 6.500 h/a zu erwarten. Es werden 650 MWh/a Wärme erzeugt. Dies entspricht einem

Wärmeanteil von 70%. Die Spitzenlast wird durch einen Gaskessel mit 300 kW gedeckt. Die elektrische Leistung des BHKW's beträgt 50 kW_{el}. Der erzeugte Strom von ca. 325 MWh/a wird ins öffentliche Netz eingespeist.

Bei Variante C3 wird wie bei der vorherigen Variante die Grundlast durch ein BHKW (105 kW_{th} / 75 kW_{el}), die Spitzenlast durch einen zusätzlichen Ölkessel (300 kW) abgedeckt. Als Brennstoff dient Pflanzenöl, durch dessen Einsatz die CO₂-Emissionen drastisch reduziert werden. Anstelle des Gasanschlusses wird bei dieser Variante ein Öltank von ca. 50 m³ benötigt. Der erzeugte Strom von ca. 490 MWh/a wird ins öffentliche Netz eingespeist.

Bei Variante C4 erfolgt die Wärmeerzeugung durch eine Solaranlage und einen Mehrtagespeicher. Damit auch einige Tage schlechter Witterung im Sommer bzw. der Übergangszeit überbrückt werden können, wird eine Kollektorfläche von 700 m² und ein Speichervolumen von 100 m³ vorgesehen. Damit werden 25% des Gesamtwärmebedarfs gedeckt. Die restliche Wärme wird durch einen Gaskessel von 400 kW bereitgestellt. Eine mögliche Aufstellung der Solarkollektoren ist auf den Carports. Bei einem erwarteten Ertrag von etwa 340 kWh/(m²-a) ergibt sich ein Ertrag von 238 MWh/a. Der Mehrtagespeicher muss aufgrund seiner Größe außerhalb der Heizzentrale aufgestellt werden.

In Variante C5 ist im Unterschied zu Variante C1 zusätzlich eine Solaranlage vorgesehen. Sie hat eine Fläche von 390 m² und soll auf die geplanten Carports integriert werden. Zur Wärmespeicherung ist ein Pufferspeicher mit etwa 23 m³ vorgesehen, siehe Bild 141. Der spezifische Solarertrag der Kollektoranlage wird auf 380 kWh/m²a geschätzt. Es ergibt sich ein Ertrag von 148 MWh/a. Damit werden 40% des Bedarfs für die Warmwasserbereitung und der Netzverluste bzw. 15% des gesamten Wärmebedarfs ab Heizzentrale gedeckt.

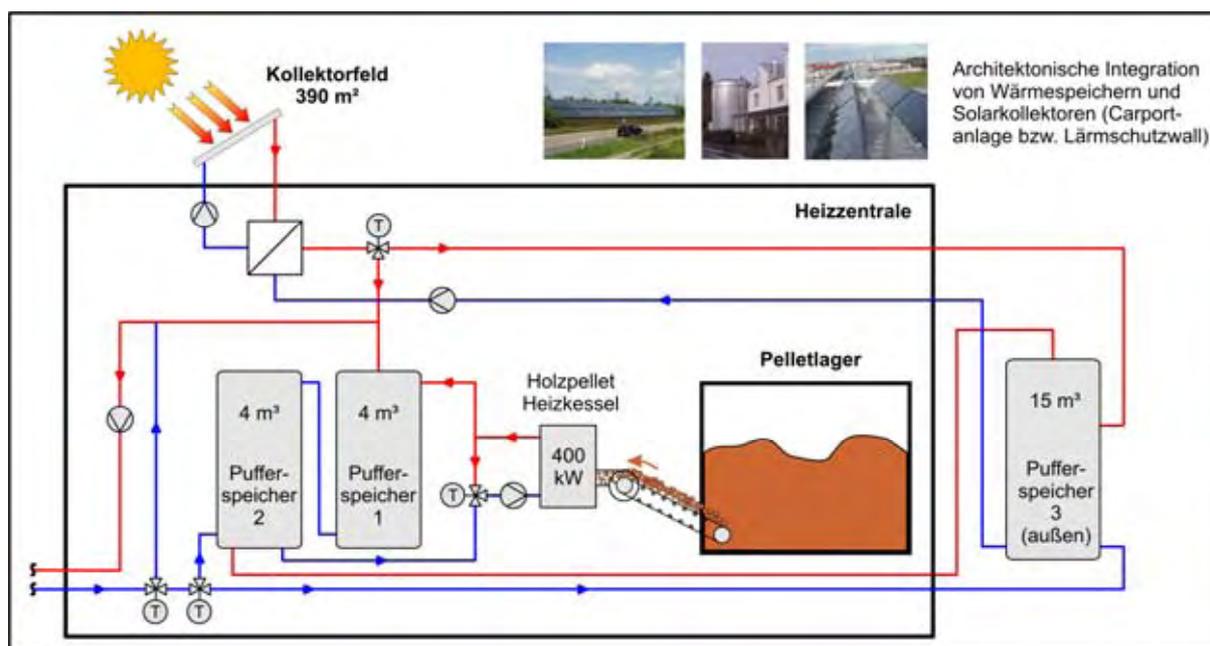


Bild 141 Anlagenschema Variante C5 – Holzpelletkessel mit Solaranlage 390 m²

Ergebnisse

Die ermittelten Investitionskosten beziehen sich auf unterschiedlich große Versorgungseinheiten. Um sie vergleichbar zu machen, werden sie alle auf die Kosten pro Haus umgerechnet. Bild 142 zeigt die Investitionskosten pro Haus (Wohneinheit) für die Wärmeversorgung bei allen Varianten, aufgeteilt nach den verschiedenen Anlagenteilen. Für Pelletkessel < 100 kW wird eine Förderung durch die BAFA (Marktanzreizprogramm) in Höhe von 1.000 € pro Holzpelletkessel, für Solaranlagen < 100 m² Bruttokollektorfläche eine Förderung in Höhe von 40 €/m² berücksichtigt. Für Solaranlagen > 100 m² werden die Kosten für die solaren Komponenten zu 30% durch Solarthermie2000plus als förderfähig angesetzt. Die folgenden Berechnungen basieren zunächst auf den jetzigen Investitionskosten sowie den aktuellen Energiepreisen. Sie geben somit die aktuelle Kostensituation wieder. Aus der Gegenüberstellung sind folgende Aussagen abzuleiten:

- Die höchsten Mehrinvestitionen für effiziente und innovative Wärmeerzeugungsanlagen entstehen bei kleinen, dezentralen Anlagen. Hier können sich die Kosten mehr als verdoppeln.

- Die gemeinsame Wärmeversorgung für eine Reihenhauszeile führt zu enormen Einsparungen bei den Wärmeerzeugern bei nur geringem Aufwand für die Wärmeverteilung.
- Zentrale Versorgungseinheiten mit Gas-BHKW oder Pelletkessel sind nicht oder nur geringfügig teurer als eine dezentrale Wärmeerzeugung mit Gas.
- Der Einsatz von Solaranlagen führt zu einer spürbaren Erhöhung der Investitionen.

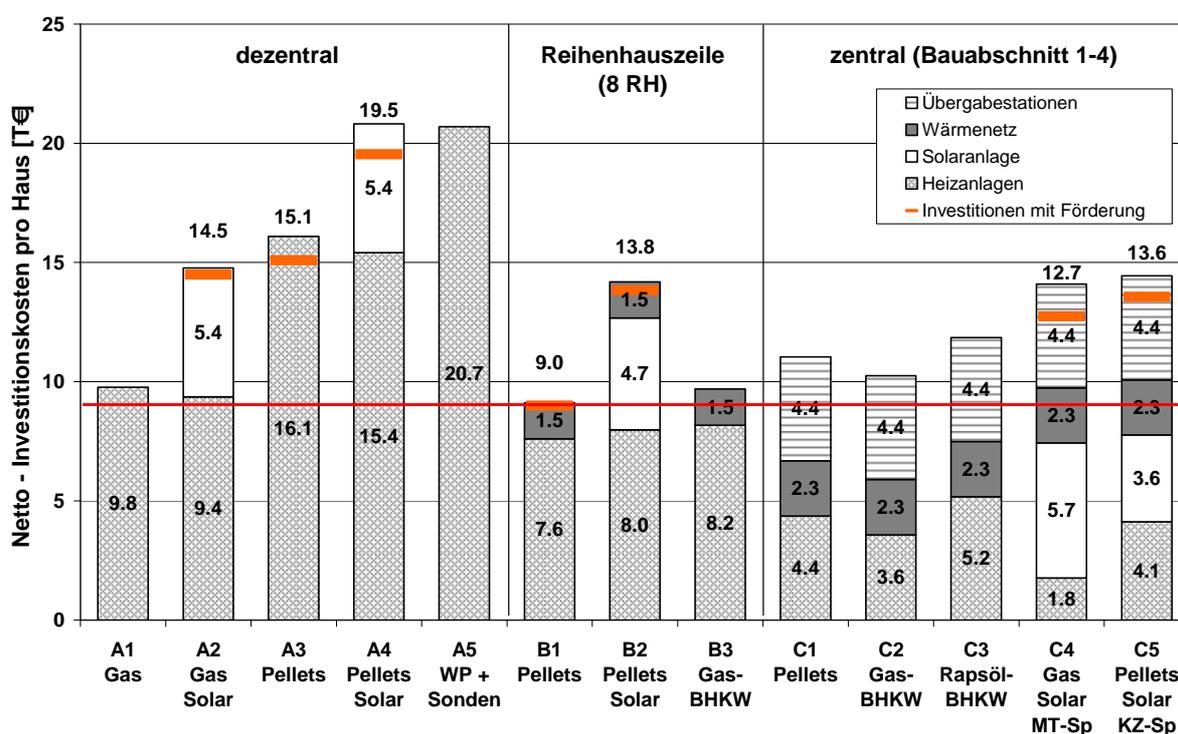


Bild 142 Spezifische Gesamt-Investitionskosten pro Haus (Wohneinheit) der verschiedenen Varianten (inkl. Planung, ohne MWSt.)

In Bild 143 sind die Jahresgesamtkosten pro Haus (Wohneinheit) für die unterschiedlichen Varianten dargestellt, welche sich aus den Kapitalkosten, Instandsetzungs-, Wartungs-, und Betriebskosten sowie den Energiekosten zusammensetzen. Bei den Varianten mit BHKW's werden zudem Einnahmen durch Stromerzeugung erzielt. Berücksichtigt sind auch die Einsparungen durch die Förderung für die Solaranlage und den Pelletkessel. Aus der Gegenüberstellung sind folgende Aussagen abzuleiten:

- Die gemeinsame Zentrale für eine Hauszeile stellt sich durchgängig als nicht teurer dar als die konventionelle Wärmeversorgung.
- Die kostengünstigste Art der zentralen Versorgung ist die mit Holzpellets oder einem Gas-BHKW.
- Der Einsatz eines Pflanzenöl- BHKW's führt zu sehr hohen Energiekosten, der jedoch eine hohe Einspeisevergütung gegenübersteht (nach EEG gesichert über 20 Jahre). Trotzdem ergeben sich beim Pflanzenölkessel die höchsten Gesamtkosten aller zentralen Varianten).
- Die beschriebenen Förderprogramme haben nur einen geringen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit. Die Jahreskosten reduzieren sich um höchstens 100 €/a.

Die Kapitalkosten bleiben im Laufe der Nutzungszeit einer Anlage annähernd konstant, auch die Kosten für Instandsetzung, Wartung und Betrieb steigen üblicherweise im Rahmen der allgemeinen Preisentwicklung. Als Unsicherheitsfaktor besteht vor allem die Entwicklung der Energiepreise. Energiesysteme, die weniger Energie verbrauchen oder prinzipiell kostengünstigere Energieträger verwenden, sind demnach weniger anfällig gegenüber Energiepreisanstiege.

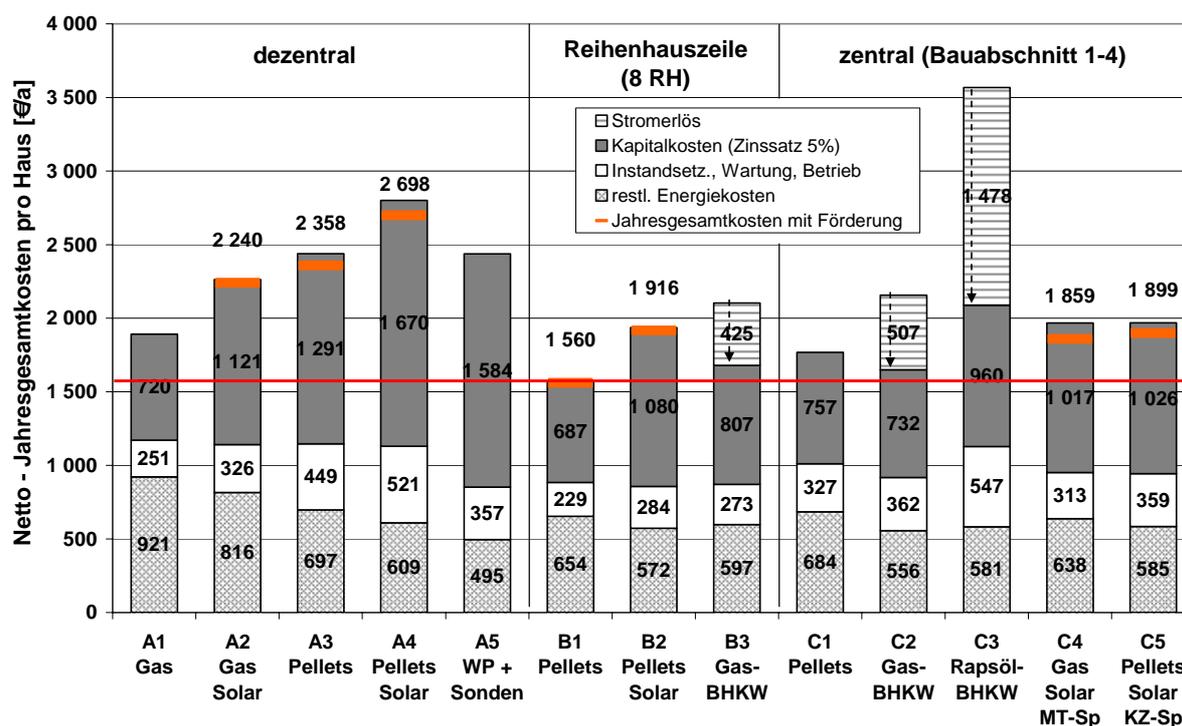


Bild 143 Spezifische Jahresgesamtkosten pro Haus (Wohneinheit) der verschiedenen Varianten (ohne MWSt.)

Eine ökologische Bewertung erfolgt meist nach den Faktoren CO₂- Emissionen oder Primärenergiebedarf. Da die Zielgröße der EnEV und der KfW-Energiestandards jeweils der Primärenergiebedarf ist, wird dieser im Folgenden als erstes betrachtet. Die CO₂-Emissionen korrelieren ungefähr mit denen der Primärenergie, so dass sich im Vergleich der Varianten ähnliche Ergebnisse einstellen, siehe Bild 144.

- Mit Holz (und ergänzend Sonne) als Energieträger (A3, A4, B1, B2, C1 und C5) wird der Primärenergiebedarf gegenüber der Referenzvariante um 70-75% reduziert.
- Mit einem BHKW als Grundlastwärmeerzeuger (B3; C2) lässt sich der Primärenergiebedarf um 30-35% reduzieren.
- Mit einer dezentralen Solaranlage (A2) reduziert sich der PE-Bedarf um etwa 15%. Das gleiche Ergebnis wird erreicht mit einer deutlich größer dimensionierten zentralen Anlage (C4), allerdings bei geringeren Kosten.

- Die dezentrale Erdsonden-Wärmepumpe (A5) reduziert den PE-Bedarf um ca. 25%.
- Mit einem Pflanzenöl-BHKW ergibt sich rechnerisch ein negativer Wert, in der tatsächlichen Bewertung ein Ergebnis von 0. Dies resultiert aus der Tatsache, dass ein erneuerbarer Brennstoff eingesetzt wird, mit dem auch noch Strom erzeugt wird, d.h. an anderer Stelle der Einsatz fossiler Brennstoffe ersetzt wird.

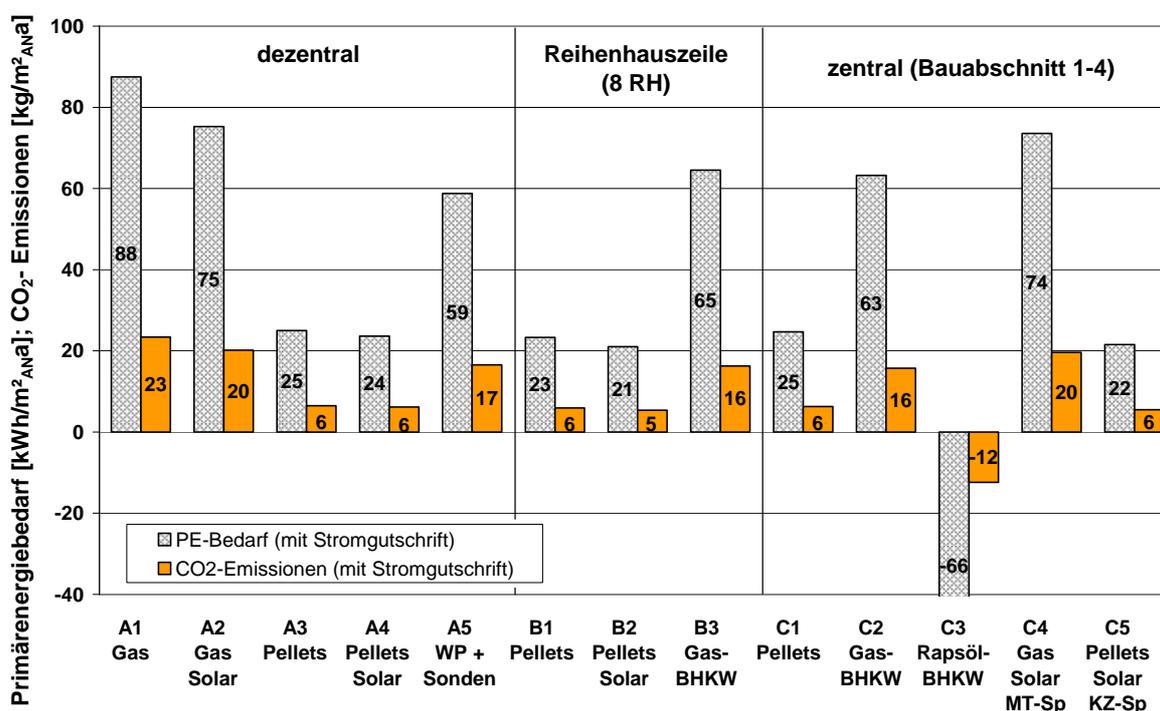


Bild 144 Primärenergiebedarf und CO₂- Emissionen bezogen auf die Nutzfläche A_{AN} nach EnEV der verschiedenen Varianten

Energiestandards und Anwendung

Die Festlegung von Energiestandards ist ein wichtiger Schritt in Richtung einer innovativen und zukunftsorientierten Bauweise und Wärmeversorgung. Er schreibt keine bestimmten Technologien, sondern nur ein Ziel vor. Wir empfehlen den KfW 60-Standard als Mindestanforderung für das Gesamtgebiet festzulegen. Folgende Gründe sprechen dafür:

- Die Wärmeschutzmaßnahmen (H_T) zum Erreichen des KfW 60-Standards sind mit vertretbarem Aufwand umsetzbar.
- Momentan ist eine Verschärfung der EnEV in der Diskussion, wodurch sich der Mehraufwand gegenüber den gesetzlichen Mindestanforderungen in einigen Jahren ohnehin reduziert.
- Die Primärenergie-Anforderungen des KfW 60-Standards sind mit einer Reihe von Technologien umsetzbar, sowohl dezentral als auch zentral.
- Eine zentrale Versorgung ist dabei kostengünstiger zu realisieren als eine dezentrale Wärmeversorgung.

Für die Ausführung eines innovativen Quartiers empfehlen wir für dieses den KfW 40-Standard festzulegen. Auch hier sind bei einer Reihe von möglichen zentralen Versorgungsvarianten lediglich die zusätzlichen Anforderungen an die Hülle zu erfüllen.

Optionen der Wärmeversorgung

Auf den ersten Blick erscheint die zentrale Versorgung der Reihenhauszeilen als die bevorzugte Variante. Jedoch würde dies bedeuten, dass die Einzel- und Doppelhäuser von einer zentralen Versorgung abgeschnitten und auf die teure dezentrale Umsetzung der Anforderungen angewiesen wären. Im Zuge eines Gesamtkonzepts ist es günstiger, größere Versorgungseinheiten zu bilden, wobei alle Gebäude zu erfassen sind. Die Größe dieser Einheiten ist von der vorgesehenen Aufsiedlung abhängig.

Wahl des Energieträgers:

Um die KfW 60 oder 40-Anforderungen sicher zu erreichen, ist der Einsatz eines BHKWs oder eines Pelletkessels zu empfehlen.

Alternative:

Als Alternative ist die Versorgung der Reihenhauszeilen mit einem BHKW denkbar. Diese Lösung benötigt geringen Platz und ist einfach zu handhaben. Die Kostensituation kann durch den Eigenverbrauch des Stroms weiter verbessert werden.

4 MACHBARKEITSSTUDIEN - FEINANALYSEN

Hintergrund

Die Fördermaßnahme „Solarthermie2000plus“ unterstützt die Planung, Errichtung und Erprobung von Pilot- und Demonstrationsanlagen mit einer erforderlichen Mindestgröße von 100 m² Kollektorfläche. Bei der Projektauswahl sollen einerseits neue technische Lösungen mit einer deutlichen Erhöhung des Beitrages der Solarenergie zur Wärmebedarfsdeckung einbezogen werden. Andererseits soll damit ein einheitliches und durchgängiges Verfahren zur ökonomischen Bewertung geschaffen werden, dass auch die bisher primär unter Versuchsaspekten geförderten Konzepte strengen Wirtschaftlichkeitskriterien unterwirft. Im Rahmen der Fördermaßnahme sollen verschiedene Konzepte der solarthermischen Nutzung erforscht, umgesetzt und erprobt werden. Eine Kategorie sieht die Förderung von solar unterstützten Wärmenetzen und zentraler Wärmespeicherung, einschließlich deren Kombinationen mit anderen umweltfreundlichen Wärmequellen (wie Biomasse, Geothermie, Abwärme aus hocheffizienter Kraft-Wärme-Kopplung), zur weitgehend CO₂ - neutralen Wärmeversorgung vor

Feinanalyse

Phase 2 des F+E Projektes CO₂- neutrale Wärmeversorgung für Wohnsiedlungen beinhaltet die Feinanalyse ausgewählter Konzeptstudien aus der Grobanalyse. Die vertiefende Bearbeitung der Konzeptstudien stellt die Basis für eine spätere Realisierung der betrachteten Vorhaben dar und deckt wesentliche Inhalte einer Vor- und Entwurfsplanung ab. Im Rahmen der weiteren Bearbeitung werden Gebäude und Anlagentechnik jeweils in einem Simulationsmodell abgebildet. In einer anschließenden Parameterstudie werden jeweils die Daten der Grobauslegung der Anlagentechnik sowie die Regelparameter überprüft und angepasst und die resultierenden Kennwerte ermittelt. Dabei wird das dynamische Verhalten und Zusammenwirken der einzelnen Wärmeerzeuger (-speicher) in Verbindung mit dem tages- und jahreszeitlich veränderlichen Wärmebedarf, sowie dem zeitlich wechselnden solaren Strahlungsangebot mit Hilfe der Werkzeuge TRNSYS [TRNSYS 15, 2000] bzw. T*SOL [T*SOL 4.2, 2005] untersucht und die Auslegung der Anlagentechnik optimiert.

4.1 Hannover, Magdeburger Straße 2 und 4 (Grobanalyse 1)

Für zwei Mehrfamilienhäuser in Hannover mit insgesamt 36 Wohneinheiten, im Besitz der Gesellschaft für Bauen und Wohnen Hannover mbH, wurde eine Machbarkeitsstudie für eine CO₂-neutrale Wärmeversorgung entwickelt. Die Anfang der 60-er Jahre erbauten Wohngebäude werden komplett saniert und über die Verbesserung des Wärmeschutzes an Außenwand, Dach und über die Erneuerung der Fenster auf Neubau-Standard gebracht, siehe Bild 145.



Bild 145 Links: West-Ansicht Gebäude unsaniert Magdeburger Str. 2, Rechts: Südwest-Ansicht während der Sanierung Magdeburger Str. 4

In der durchgeführten Grobanalyse wurde die neue Wärmeerzeugung der beiden Gebäude als eine CO₂ - neutrale Wärmeversorgung entwickelt. Hierbei ist eine kombinierte Wärmeerzeugung aus einer thermischen Solaranlage und einer Nachheizung über einen Holzpellet-Heizkessel (150 kW) vorgesehen. Die Kollektorfeldgröße variierte in der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zwischen 100 m² und 150 m², umgesetzt wird eine Aperturfläche von 124 m². Aufgrund der begrenzten statischen Belastbarkeit des Trockenbodens müssen die Kollektoren auf einer dachüberspannenden Tragkonstruktion mit Orientierung nach SSO und einem Anstellwinkel zwischen 30° und 40° angebracht werden. Die neue Wärmeerzeugungsanlage wird zentral im Untergeschoss des Gebäudes Magdeburger Straße 2 angeordnet (siehe Übersichtsplan Bild 4). Die zur Verfügung stehende Raumhöhe im Untergeschoss ist mit 2,10 m zur Einbringung und Aufstellung von Pufferspeichern bzw. bodenstehenden Wärmeerzeugern größerer Leistung begrenzt. Deshalb werden drei kellergeschweißte Puf-

ferspeicher mit je etwa 3 m³ in Reihe verschaltet. Die Simulationsergebnisse der Anlage wurden auf dem TRNSYS Usertag in Stuttgart [Schlosser, Kühl, 2006] sowie auf dem Statusseminar Thermische Energiespeicherung in Freiburg [Schlosser, Heuer, Kühl, Fisch, 2006] vorgestellt.

Grundlagen Anlagen- und Gebäudesimulation

Das dynamische Verhalten und Zusammenwirken der einzelnen Wärmeerzeuger (-speicher) in Verbindung mit dem tages- und jahreszeitlich veränderlichen Wärmebedarf, sowie dem zeitlich wechselnden Energieangebot der regenerativen Quelle Sonne ist mit Hilfe eines Simulationsprogramms zu optimieren. Dabei wird auch insbesondere der Teillastbetrieb berücksichtigt. Die Umsetzung erfolgt mit dem Simulationsprogramm TRNSYS [TRNSYS 15, 2000]. Bei der Simulation großer thermischer Solaranlagen werden üblicherweise zur Abbildung der Gebäude (Raumheizung) Lastprofile verwendet. Das Ersetzen dieses Profils durch Komponenten mit ihren entsprechenden numerischen Modellen stand im Mittelpunkt dieser Simulation, siehe Bild 146.

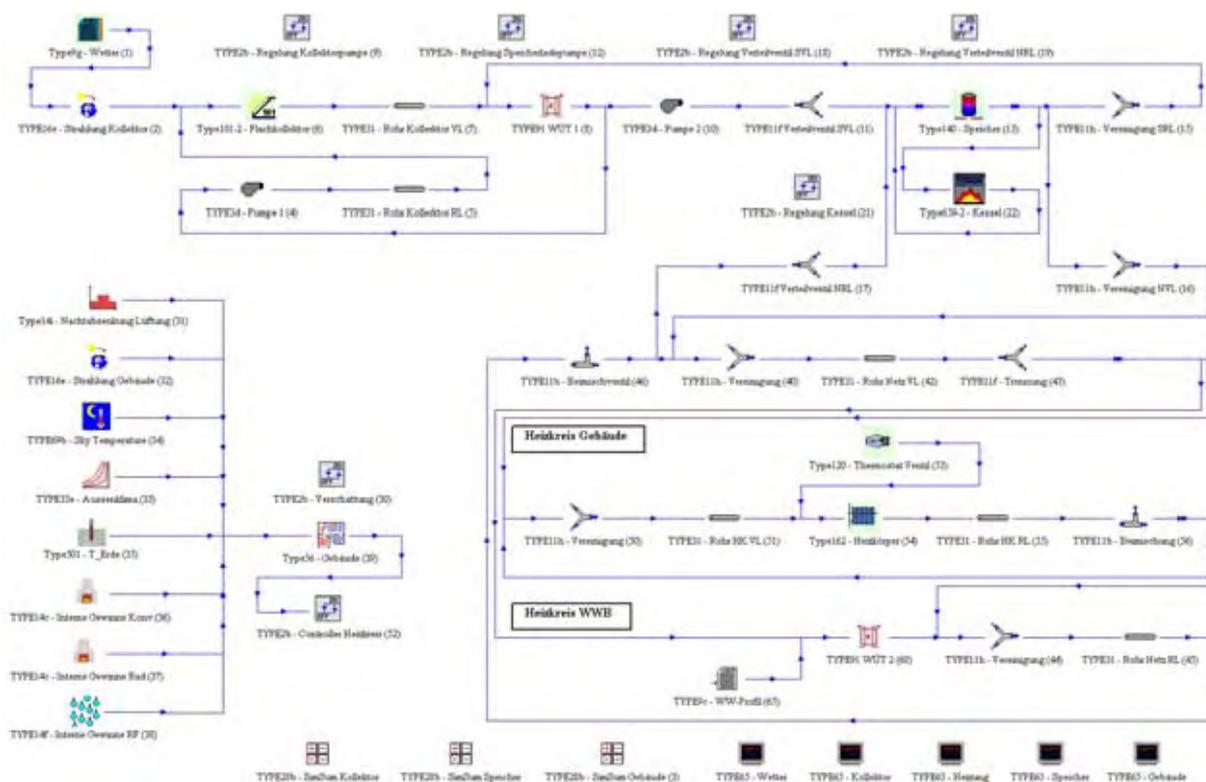


Bild 146 Simulationsmodell der Anlage in TRNSYS 15 (vereinfachte Abbildung)

Zusammenfassend stehen folgende Punkte im Fokus der Feinanalyse:

- Abbildung einer thermischen Solaranlage in Kombination mit Holzpellet- Heizkessel und Pufferspeicherkaskade unter Berücksichtigung der Randbedingungen des TGA- Vorentwurfs (insbesondere hydraulische Verschaltung und regelungstechnische Einbindung)
- Integration des Gebäudemodells mit Abbildung einer Zone unter Beachtung der U-Werte der Bauteile, Luftwechsel, Infiltration, interne Lasten, Speicherkapazität und Sonnenschutz sowie Integration des Heizkörpermodells
- Einbindung eines Lastprofils für die Warmwasserbereitung (Generierung eines Lastprofils anhand von Messdaten für ein Speicherladesystem)
- Abbildung der Nahwärmeverbundleitung mit Netzvorlauftemperaturregelung und Umschaltung des Netzzurücklaufs unter Berücksichtigung des Betriebs der Solaranlage

Ergebnisse

Bei großen Solaranlagen werden zum größten Teil Lastprofile für Raumheizung und Warmwasserbereitung eingesetzt. Über die Integration des Gebäudemodells sowie der Raumheizung kann der Einfluss unterschiedlicher Dämmstärken auf Wärmebedarf, Anlagenbetrieb und solaren Deckungsanteil untersucht werden. Das bietet den Vorteil, direkt Einfluss auf die Verbesserung der energetischen Effizienz und der Wirtschaftlichkeit des Anlagen- und Gebäudebetriebs nehmen zu können.

Solaranlage

Die südostorientierte Kollektoranlage hat eine Fläche von 124 m² und ist mit 30° angegestellt. Ein Edelstahl- Plattenwärmeübertrager trennt den Kollektorkreis vom Solar-speicherladekreis. Der Solarspeicherladekreis ist mit einem Dreivegeverteilterventil ausgestattet, welches auf den Pufferspeicher 1 umschaltet ("Puffer oben") wenn die Temperatur über dem Einschaltwert von 74°C liegt, siehe Bild 147.

Für die Regelung der Solaranlage werden drei Fühler benötigt: Fühler S1 im Kollektorfeld, Fühler S2 im Pufferspeicher 3 unten und Fühler S3 im Solarspeicherkreis. Sobald die Temperaturdifferenz S1-S2 über dem Einschaltwert von 10 K liegt, wird

die Kollektorkreispumpe eingeschaltet. Sobald die Temperaturdifferenz S3-S2 über dem Einschaltwert von 7 K liegt, wird die Speicherladepumpe eingeschaltet. Wenn die entsprechenden Ausschaltwerte (jeweils 5 K) unterschritten werden, schaltet der Regler die entsprechenden Pumpen aus. Werden 105°C im oberen Bereich von Pufferspeicher 1 erreicht, so wird die Kollektorpumpe gesperrt. Eine zeitverzögerte Entsperrung nach Abschaltung über den Temperaturwächter erfolgt nach eingestellter Zeitdifferenz nach 6 Stunden.

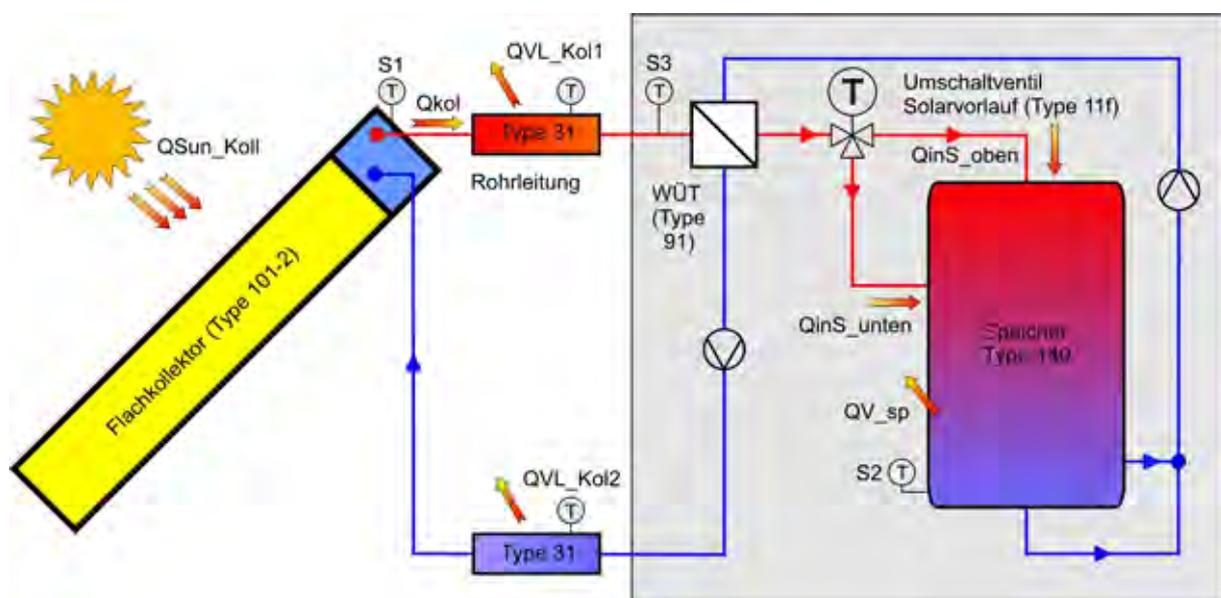


Bild 147 Energiefluss im Kollektorkreis (vereinfachte Abbildung)

Mit den eingestellten Parametern ergeben sich die in Bild 148 abgebildeten Vor- und Rücklauftemperaturen im Kollektorkreis auf der Primärseite, d.h. vor dem Wärmeübertrager. In den Sommermonaten ist das Auftreten von Stagnation mehrmals zu erkennen. Die Verluste in der Rohrleitung sowie die Verluste am Wärmeübertrager fallen mit ca. 7% für die Größe der Solaranlage relativ gering aus.

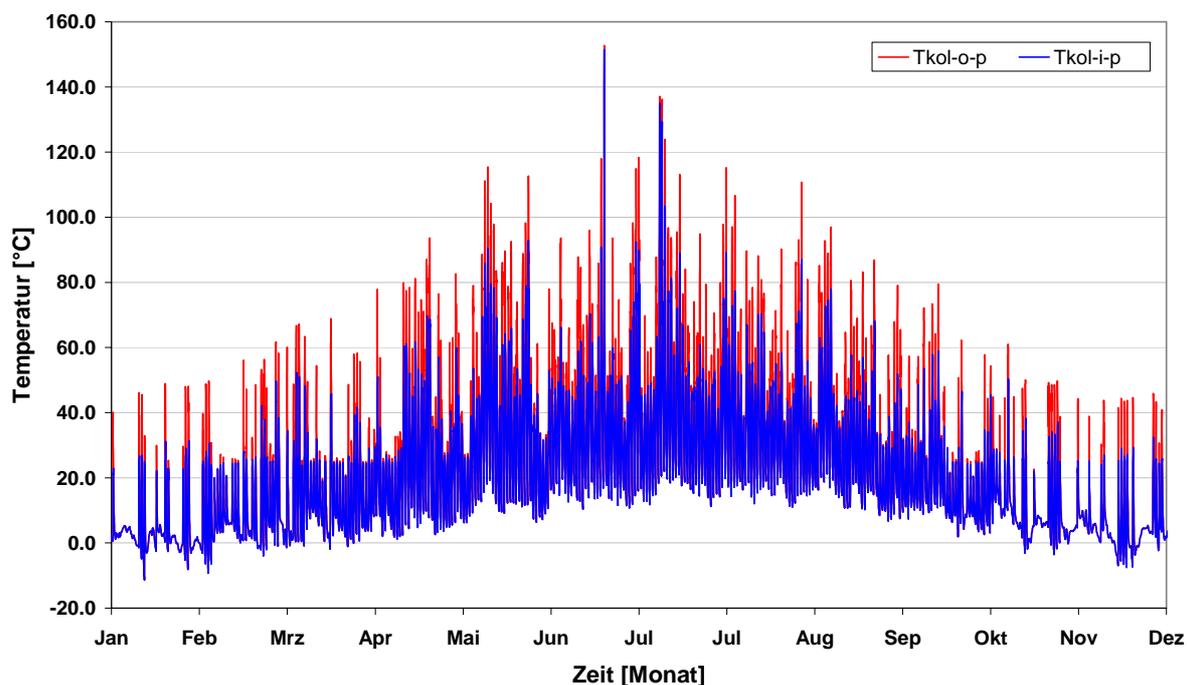


Bild 148 Temperaturen im Kollektorkreis auf der Primärseite (TRY 02–DWD 1984)

Warmwasserbereitung

In der Magdeburger Straße soll die Warmwassererzeugung über Speicherladesysteme realisiert werden. Dabei wird das Trinkwarmwasser über einen außenliegenden Plattenwärmeübertrager am Pufferspeicher im Direktdurchlauf auf eine konstante Nutztemperatur gebracht und in den Trinkwarmwasserspeicher eingespeichert. Für die Simulation werden Messdaten aus vorangegangenen Projekten vom IGS verwendet. Es handelt sich dabei um ein Mehrfamilienhaus in Hannover mit 52 Wohneinheiten. Die Anpassung an den zukünftigen prognostizierten Verbrauch der Magdeburger Straße erfolgt über die Skalierung des Massestroms. Berücksichtigt werden auch die Verluste durch die Zirkulationsleitung.

Unter Beachtung der oben genannten Randbedingungen ergibt sich das unten dargestellte Wochenprofil, siehe Bild 149. Im reinen Zirkulationsbetrieb stellt sich eine Rücklauftemperatur von ca. 55°C ein.

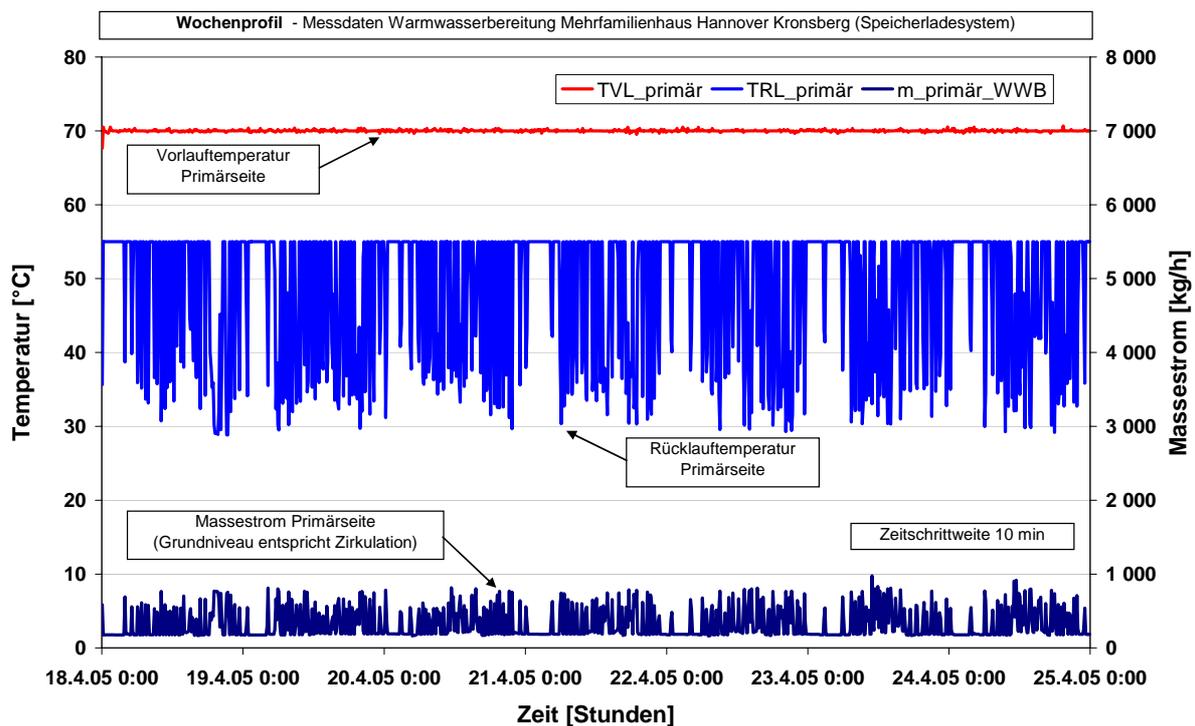


Bild 149 Wochenprofil Speicherladesystem Primärseite (Messdaten IGS 2005)

Gebäude- und Heizkörpermodell

Die Anforderungen der EnEV werden im Rahmen der durchgeführten Vollsanierung eingehalten, sodass nachfolgende U-Werte in die Simulationsumgebung übertragen werden (Außenwand 0,24 W/m²·K, Flachdach 0,20 W/m²·K, oberste Geschossdecke 0,19 W/m²·K, Kellerdecke 0,36 W/m²·K, Fenster mit WSV 1,5 W/m²·K / g-Wert 0,58). Für das Einzonenmodell gelten weiter folgende Parameter:

- Luftwechsel $n_{\text{Tag}} = 0,7$ (07:00 – 20:00 Uhr) / $n_{\text{Nacht}} = 0,3$ 1/h
- Infiltration $n_{\text{infil}} = 0,15$ 1/h
- Berücksichtigung von Innenwänden (Speicherkapazität) und internen Lasten
- Schließen des innenliegenden Sonnenschutzes ab $T_{\text{Raum}} = 24^{\circ}\text{C}$
- Hälfte der Rohrleitungsverluste (Heizkörperanbindung) sind interne Gewinne
- Systemtemperaturen Heizkreis 60°C / 40°C im Auslegungsfall

Für den Heizkreis ergeben sich beispielsweise nachstehende Temperaturverläufe, siehe Bild 150, für das Standardwetter vom DWD TRY 02 (1984) – Station Hannover Langenhagen.

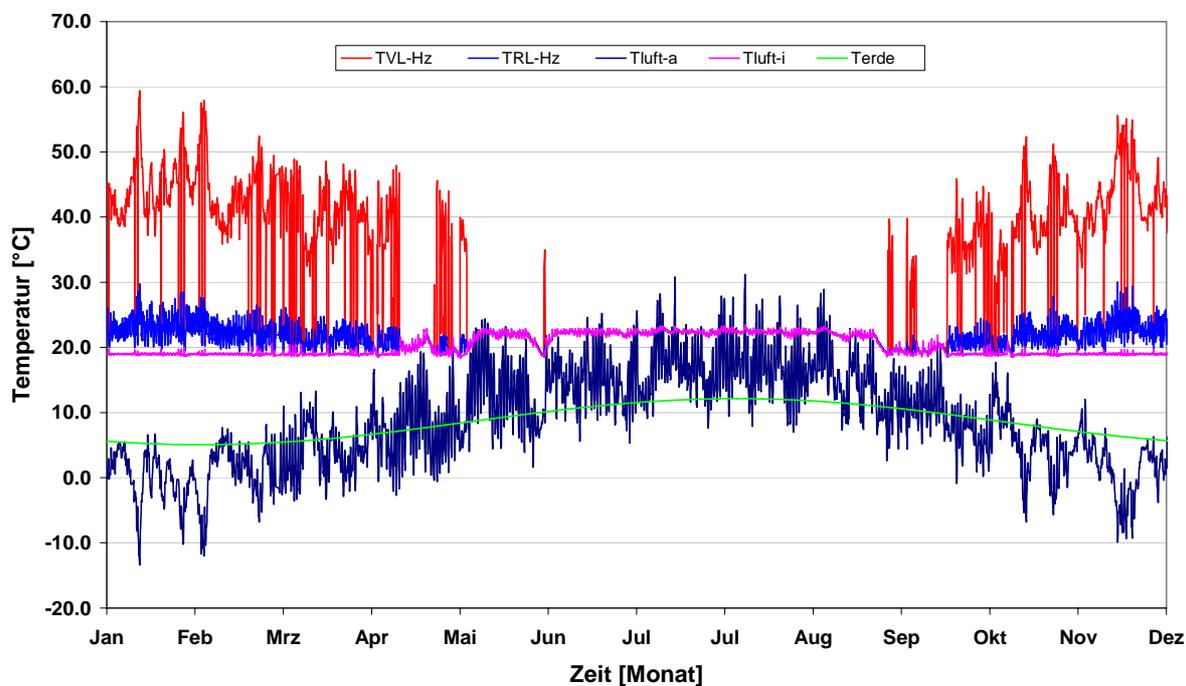


Bild 150 Temperaturen im Heizkreis (Stundenmittelwerte im Jahresverlauf)

Pufferspeicherkaskade und Nahwärmeleitung

Die Wärmeversorgung setzt sich aus einem Holzpellet- Heizkessel in Kombination mit einer thermischen Solaranlage und einem Speichersystem zur Kurzzeitwärmespeicherung zusammen. Die drei Pufferspeicher mit je 3.000 l sind in Reihe verschaltet. Dabei ist der erste Speicher dem Holzpelletkessel und die beiden anderen Speicher der Solaranlage zuzuordnen. In der Simulation werden folgende Annahmen getroffen:

- Modell des idealen Schichtenspeichers mit 100 Schichten (Type 140)
- Volumen = 9 m³, Höhe = 6 m, Ø = 1.38 m, $\lambda_{\text{iso}} = 0.035 \text{ W/mK}$ (10 cm)
- Solaranschluss, Kesselanschluss und Nahwärmenetzanschluss nach Bild 151
- Höhenniveau der Temperatursensoren

$$T_{\text{PS1O}} = 99\% \quad T_{\text{PS1m}} = 83\% \quad T_{\text{PS1u}} = 67\% \quad T_{\text{PS2O}} = 65\% \quad T_{\text{PS3u}} = 4\%$$

Der Verlauf der Speichertemperaturen als Stundenmittelwerte übers Jahr ist in Bild 152 dargestellt. Beim Modell des idealen Schichtenspeichers wird das eingebrachte Wasser in der jeweils relevanten Temperaturschicht eingespeichert. Die Nachheizung über den Kessel erfolgt mit einer konstanten Vorlauftemperatur von 85°C. Ab einer mittleren Speichertemperatur (Speicher 1) von 60°C regelt der Kessel in seiner Leistung auf minimal 30% herunter.

Die Nahwärmeleitung zwischen den beiden Gebäuden hat eine Länge von insgesamt 40 m. Die Netzvorlauftemperaturregelung erfolgt über ein Dreiwegeventil mit Temperaturregler, welcher auf 70°C eingestellt ist. Der Netzurücklauf vom Nahwärmenetz ist mit einem Dreiwegeventil zur Umschaltung ausgestattet. Sobald die Temperaturdifferenz zwischen dem Fühler in Pufferspeicher 2 oben und dem Fühler im Rücklauf vom Nahwärmenetz über dem Einschaltwert von 3 K liegt, wird das Ventil auf "Puffer unten" geschaltet. Wird der Ausschaltwert von 1,4 K erreicht, erfolgt die Umschaltung auf "Puffer oben".

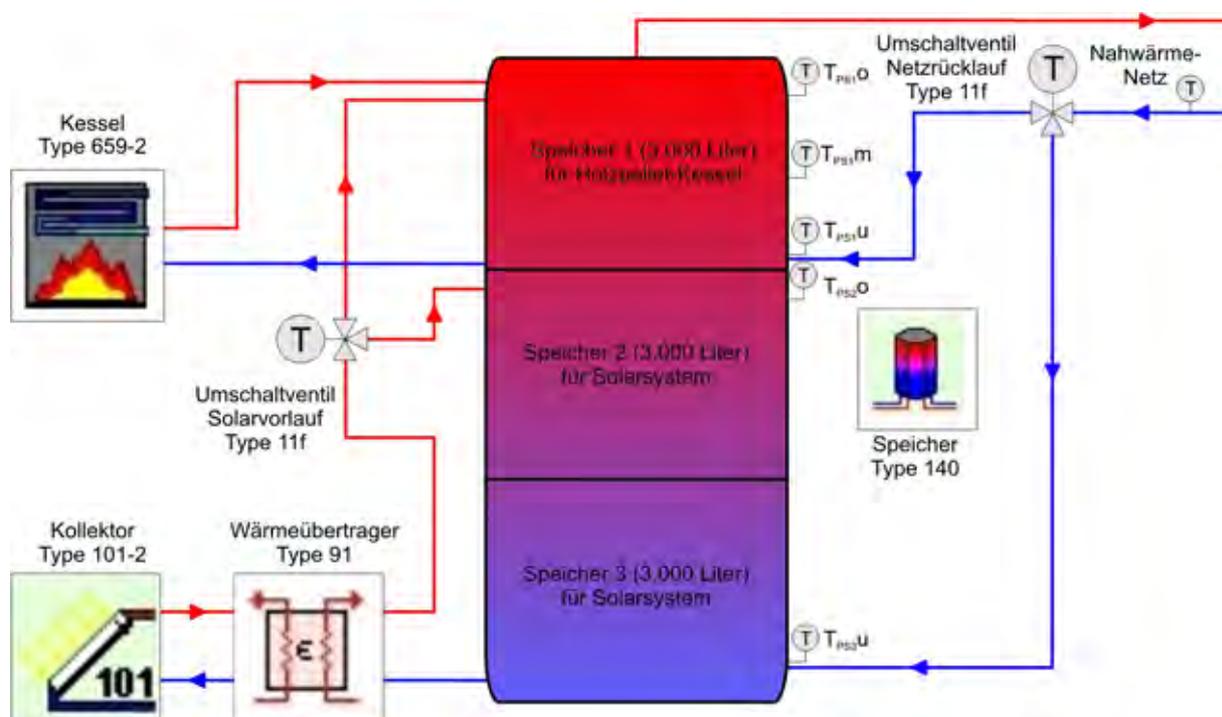


Bild 151 Umsetzung hydraulische Verschaltung Pufferspeicher in TRNSYS 15

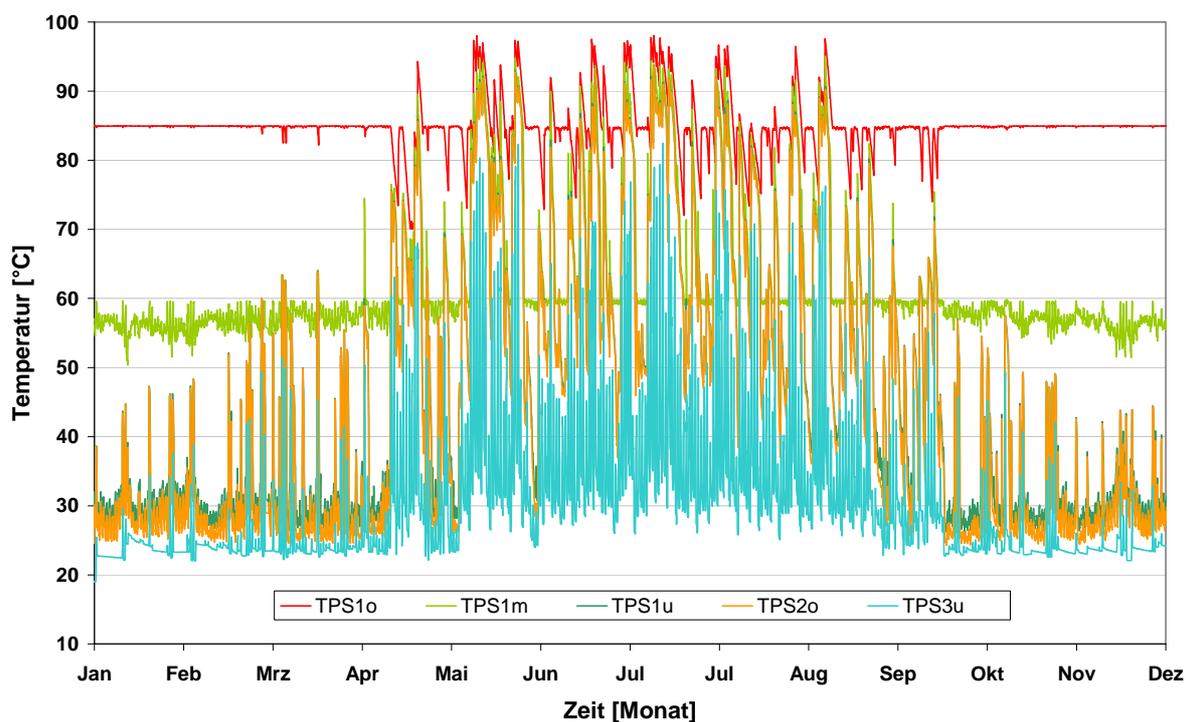


Bild 152 Temperaturen im Pufferspeichersystem (Stundenmittelwerte im Jahresverlauf)

Wärmebilanzen

Für die Simulation wird ein Wetterdatensatz vom DWD verwendet. Dabei ist für Hannover das Testreferenzjahr TRY 02, 1984, Standard-Wetter, Nord- und Westdeutsches Tiefland (Klimaregion 2), Station Hannover-Langenhagen gültig.

Die Wärmebilanz des Testreferenzjahres im Vergleich zum Energiekonzept ist in Tabelle 54 zusammengestellt. Die Wärmelieferung der Kollektoren liegt im Standard-Testreferenzjahr über 380 kWh/m²·a. Die solare Wärme wird in den Kurzzeit-Wärmespeicher und dort zu 93% eingespeist, der restliche Anteil geht über die Kollektorverbindungsleitungen verloren.

Eine Volldeckung des Wärmebedarfs über die Solaranlage im Sommer kann nicht erreicht werden. Eine zusätzliche Wärmelieferung über den Kessel wird daher minimal benötigt. Die jährlich in das Nahwärmenetz eingespeiste Wärmemenge liegt im prognostizierten Bereich. Bild 153 zeigt die monatlichen Wärmebilanzen des Wärmeversorgungssystems unter Berücksichtigung des Testreferenzjahres 02 von 1984.

Wärmebilanz Hannoversch Münden		Energie- konzept	TRY 02
Kollektoraperturfläche	123.84 m ²	EnEV	1984
Nutzfläche nach EnEV	3 492 m ²		Standard
Einstrahlung in Kollektorebene	kWh/m ² a	-	1 050
Wärmelieferung Kollektoren	MWh/a	-	47.7
	kWh/m ² a	-	385
Einspeisung Solarwärme in Speicher	MWh/a	-	44.9
	kWh/m ² a	-	362
Gesamtspeicherwärmeverluste	MWh/a	-	2.5
Speicherverluste anteilig Solar	MWh/a	-	1.0
Wärmelieferung Kessel	MWh/a	269.0	278.3
Wärmemenge gesamt ins Netz	MWh/a	317.0	320.5
Wärmeverluste Nahwärmenetz	MWh/a	6.0	7.0
Wärmemenge Heizkreis Gebäude	MWh/a	212.8	216.2
Wärmeverluste Heizkreis Gebäude	MWh/a	14.0	15.0
Wärmemenge WWB	MWh/a	84.4	82.4
Solare Nutzenergie	MWh/a	44.6	43.9
	kWh/m ² a	360.0	354.3
Solarer Deckungsanteil ¹⁾	%	14.1	13.7

¹⁾ Solare Nutzenergie bezogen auf Gesamtwärmemenge Nahwärmenetz

Tabelle 54 Vergleich der Wärmebilanzen Energiekonzept und Simulation

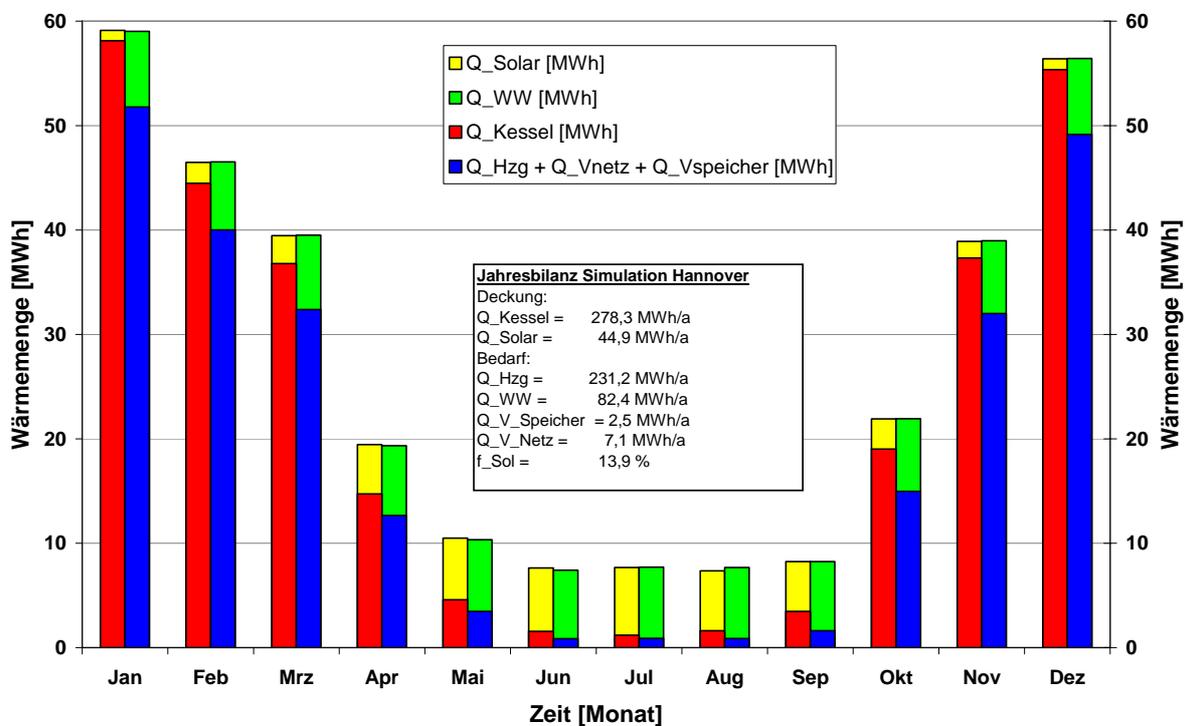


Bild 153 Monatlicher Verlauf Wärmebedarf (Input / Output) (TRY 02–DWD 1984)

4.2 Hannoversch Münden, Wiershäuser Weg 25 – 41 (Grobanalyse 4)

Für drei Mehrfamilienhäuser mit insgesamt 49 Wohneinheiten und ein Verwaltungsgebäude einer Wohnungsbaugesellschaft in Hannoversch-Münden wurde eine Machbarkeitsstudie für eine CO₂-neutrale Wärmeversorgung entwickelt. Die in den Jahren 1927 und 1928 erbauten Wohngebäude wurden komplett saniert und über die Verbesserung des Wärmeschutzes an Außenwand, Dach und über die Erneuerung der Fenster auf Neubau-Standard gebracht, siehe Bild 154.

Für die bereits als Nahwärme-Verbundlösung mit Holzpellet- Heizkessel geplante Anlage wird zusätzlich eine 105 m² Solaranlage bestehend aus Vakuumröhren-Kollektoren vorgesehen. Die Warmwasserbereitung erfolgt über Frischwasserstationen in den Gebäuden. Die mit Vakuumröhren-Kollektoren ausgestattete Solaranlage soll für einen direktdurchflossenen Betrieb mit Heizwasser, d.h. ohne Systemtrennung ausgeführt werden [Paradigma, 2005].



Bild 154 Links: Südwest-Ansicht Mehrfamilienhaus, Rechts: Südwest-Ansicht Verwaltungsgebäude Wiershäuser Weg Hannoversch-Münden

Der Lageplan der Gebäude mit Nahwärmenetz und Standort der Heizzentrale im Verwaltungsgebäude der Wohnbaugesellschaft (Nr. 27) ist in Bild 23 dargestellt. Um im Winter die Anlage vor dem Einfrieren zu schützen, erfolgt der Einbau einer Frostschutzfunktion in die Regelung. Diese sorgt dafür, dass an Frosttagen immer nur gerade soviel Wärme in den Leitungen verteilt wird, dass das Einfrieren verhindert wird. Die Simulationsergebnisse der Anlage wurden auf dem 17. Symposium Thermische Solarenergie in Kloster Banz, Bad Staffelstein [Schlosser, Fisch, 2007] vorgestellt.

Grundlagen Anlagen- und Gebäudesimulation

Das dynamische Verhalten und Zusammenwirken der einzelnen Wärmeerzeuger (-speicher) in Verbindung mit dem tages- und jahreszeitlich veränderlichen Wärmebedarf, sowie dem zeitlich wechselnden Energieangebot der regenerativen Quelle Sonne wird für das Projekt Wiershäuser Weg in Hannoversch Münden mit Hilfe des Simulationsprogramms TRNSYS [TRNSYS 15, 2000] näher untersucht.

Bei der Simulation großer thermischer Solaranlagen werden üblicherweise zur Abbildung der Gebäude (Raumheizung) und der Warmwasserbereitung Lastprofile verwendet. Das Ersetzen dieser Profile durch Komponenten mit ihren entsprechenden numerischen Modellen stand im Mittelpunkt dieser Simulation, siehe Bild 155.

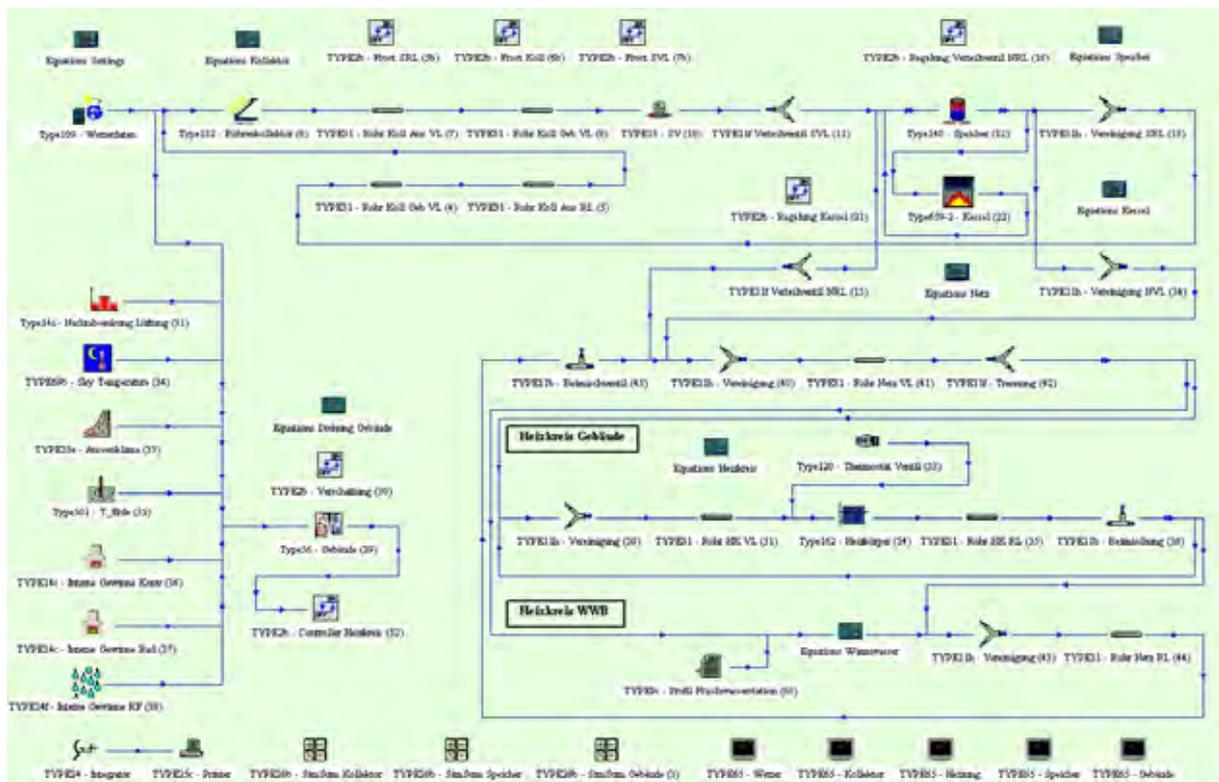


Bild 155 Simulationsmodell der Anlage in TRNSYS 15 (vereinfachte Abbildung)

Zusammenfassend standen folgende Punkte im Fokus der Feinanalyse:

- Abbildung einer direkt- durchströmten Vakuumröhrenkollektoranlage mit Frostschutzfunktion in Kombination mit Holzpellet- Heizkessel und Pufferspeicherkas-

kade unter Berücksichtigung der Randbedingungen des TGA- Vorentwurfs (insbesondere hydraulische Verschaltung und regelungstechnische Einbindung)

- Integration des Gebäudemodells mit Abbildung einer Zone unter Beachtung der U-Werte der Bauteile, Luftwechsel, Infiltration, interne Lasten, Speicherkapazität und Sonnenschutz sowie Integration des Heizkörpermodells
- Einbindung des Modells einer Frischwasserstation mit Zirkulationsanschluss über separate Simulation als Jahresprofil mit 3 min Zeitschrittweite
- Abbildung der Nahwärmeverbundleitung mit Netzvorlauftemperaturregelung und Umschaltung des Netzurücklaufs unter Berücksichtigung des Betriebs der Solaranlage

Ergebnisse

Bei großen Solaranlagen werden zum Größten Teil Lastprofile für Raumheizung und Warmwasserbereitung eingesetzt. Über die Integration des Gebäudemodells sowie der Raumheizung kann der Einfluss unterschiedlicher Dämmstärken auf Wärmebedarf, Anlagenbetrieb und solaren Deckungsanteil untersucht werden. Durch diesen wesentlichen Vorteil kann direkt Einfluss auf die Verbesserung der energetischen Effizienz und der Wirtschaftlichkeit des Anlagen- und Gebäudebetriebes genommen werden.

Solaranlage

Die Solaranlage ist als AquaSystem ausgeführt. Anstatt eines separaten Solarkreislaufes mit Frostschutzmittel wird die Solaranlage direkt mit Heizungswasser durchströmt. Innerhalb der Simulation wird ein vereinfachter Einspeisealgorithmus angewendet. Beim Einschalten gilt das so genannte "Eimer-Prinzip", was bedeutet, dass erst nach Erreichen der eingestellten Zieltemperatur (hier 78°C) zzgl. einer Schaltdifferenz der Solarkreis in Betrieb geht. Im Fall von wechselnder Bewölkung wird also die Wärme „Eimer Weise“ in die Heizzentrale gefördert. Der Fühler befindet sich dabei am Kollektor.

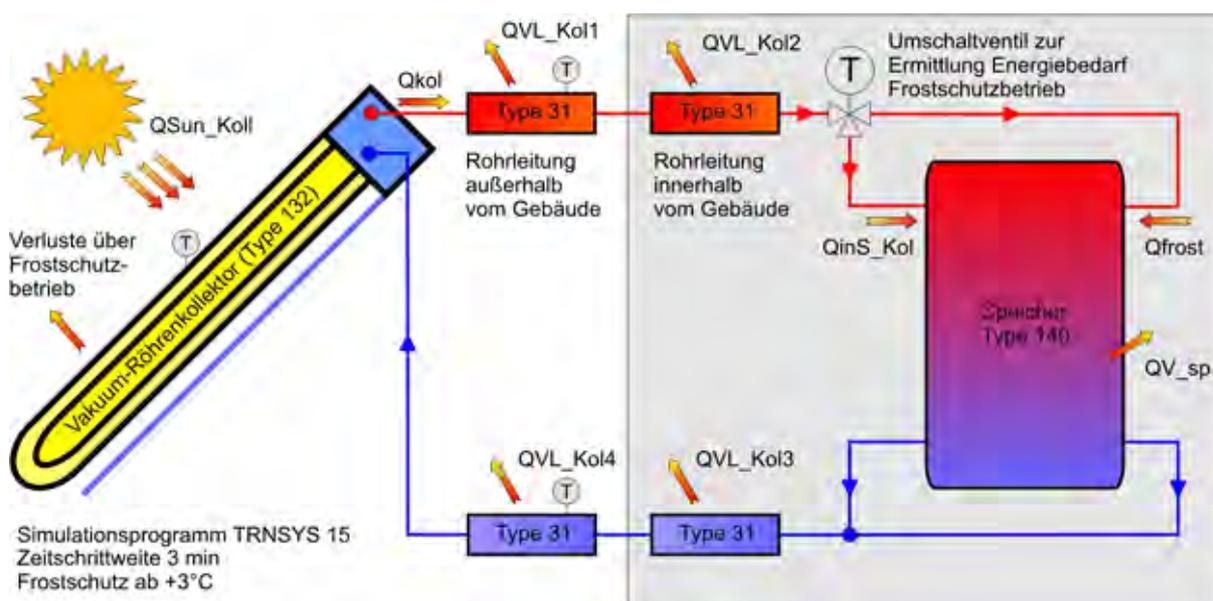


Bild 156 Energiefluss im Kollektorkreis (vereinfachte Abbildung)

Um im Winter die Anlage vor dem Einfrieren zu schützen, erfolgt der Einbau einer Frostschutzfunktion. Diese sorgt dafür, dass an Frosttagen immer nur gerade soviel Wärme in den Leitungen verteilt wird, dass das Einfrieren verhindert wird. Zusätzlich werden Temperaturfühler an den außen- liegenden Rohrleitungen angebracht. Um den Energiefluss im direktdurchströmten Kollektorkreis zu erfassen, wird zur Ermittlung der Frostschutzverluste ein Umschaltventil integriert, siehe Bild 156.

Bei der Analyse der Temperaturen konnte dabei ein erhöhtes mittleres Temperaturniveau von 9°C im Kollektor während des Frostschutzbetriebs festgestellt werden, siehe Bild 157. Dieses Problem ist auf die gewählte 3 Minuten Zeitschrittweite zurückzuführen. Hierbei läuft die Solarpumpe jeweils mindestens 3 Minuten lang. Beim eigentlichen Algorithmus liegt die mittlere Kollektortemperatur bei 5°C. Dabei läuft die Solarpumpe kurzzeitig im regelmäßigen Takt an und regelt die Temperatur ab 7°C auf den Sollwert. Damit wird verhindert, dass die Anlage weiter abkühlt und einfriert. Für die Gesamtwärmebilanz des Frostschutzes hat dies jedoch keine Auswirkungen.

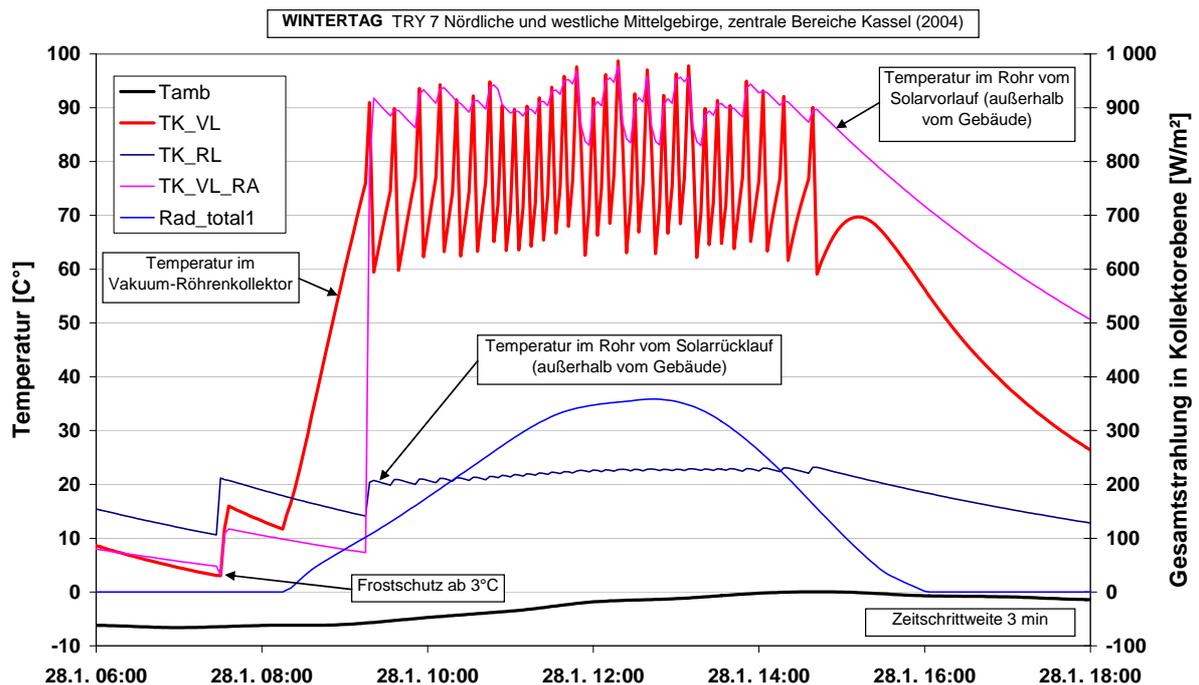


Bild 157 Temperaturen im Kollektorkreis an einem Wintertag (TRY 07–DWD 2004)

Warmwasserbereitung

Die Vorteile einer Frischwasserstation (FWS) sind der sehr hohe Hygienestandard sowie die sehr niedrige Rücklaufftemperatur (20-30°C). Dabei wird das Wasser über einen Plattenwärmeübertrager im Direktdurchlauf auf eine konstante Nutztemperatur gebracht. Zusätzlich wird eine Zirkulationsleitung berücksichtigt, siehe Bild 158. Das dazugehörige Warmwasser-Zapfprofil über ein Jahr wurde über das Programm DHWcalc [Vajen, Jordan, 2003] mit einer Zeitschrittweite von 3 Minuten generiert. Für die Erzeugung des primärseitigen Profils für die Anlage in Hannoversch Münden gelten folgende Parameter:

- Vorlauftemperatur Primärseite 70°C / Sekundärseite 60°C
- Länge Zirkulationsleitung 200 m (20 x 2,9)
- Länge Warmwasserleitung 200 m (40 x 6,0)
- Warmwasser Tagesbedarf Gesamtsystem 2.450 Liter pro Tag (bei 60°C)

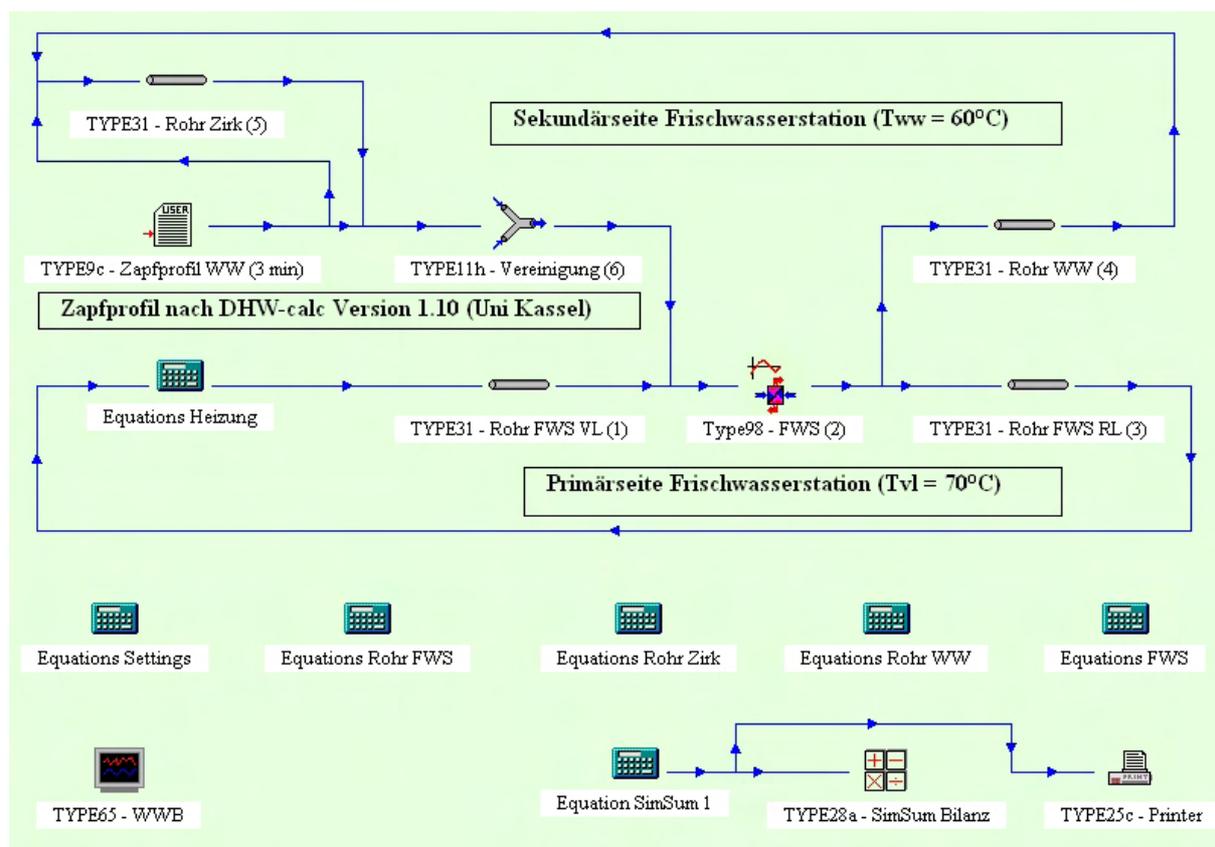


Bild 158 Simulationsmodell Frischwasserstation in TRNSYS 15

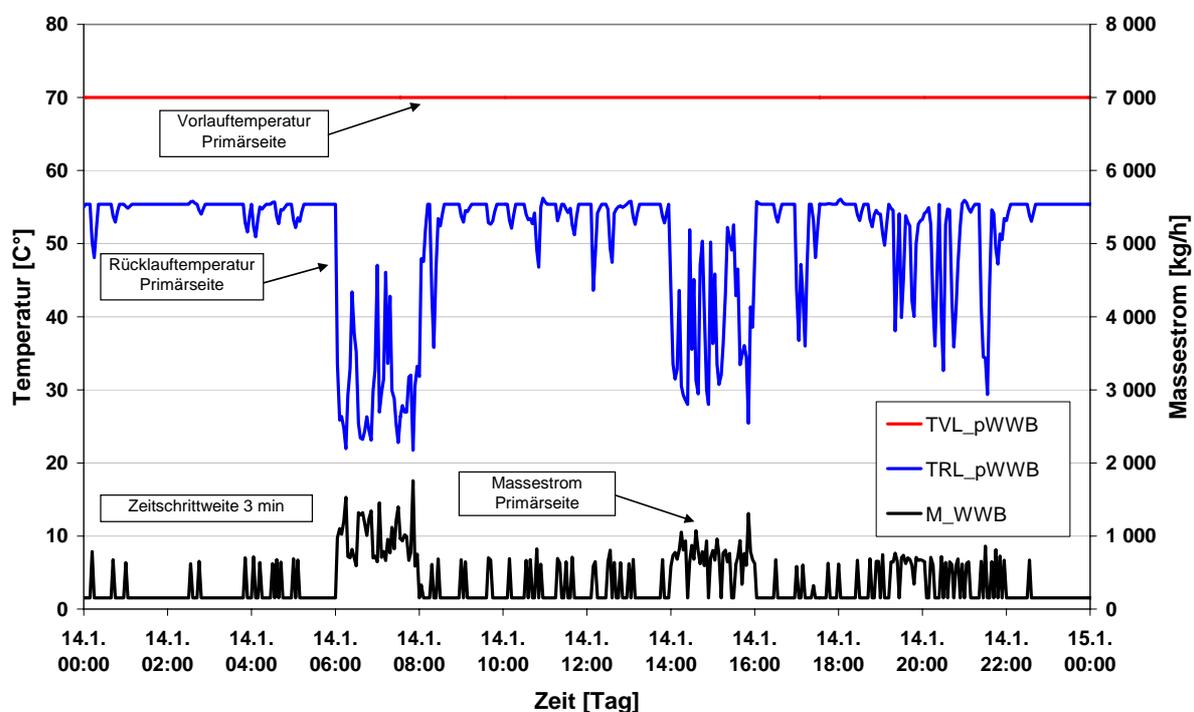


Bild 159 Tagesprofil Frischwasserstation Primärseite

Unter Beachtung der oben genannten Randbedingungen ergibt sich das in Bild 159 dargestellte Simulationsergebnis. Im reinen Zirkulationsbetrieb stellt sich eine Rücklauftemperatur von ca. 55°C ein.

Gebäude- und Heizkörpermodell

Die Anforderungen der Energieeinsparverordnung werden im Rahmen der durchgeführten Vollsanieung eingehalten, sodass nachfolgende U-Werte in die Simulationsumgebung übertragen werden (Außenwand 0,27 W/m²·K, Dach 0,63 W/m²·K, oberste Geschossdecke 0,34 W/m²·K, Kellerdecke 0,45 W/m²·K, Kellerdecke ungedämmt 1,69 W/m²·K, Fenster mit WSV 1,5 W/m²·K / g-Wert 0,85). Für das Einzonenmodell gelten weiter folgende Parameter:

- Luftwechsel $n_{\text{Tag}} = 0,7$ (07:00 – 20:00 Uhr) / $n_{\text{Nacht}} = 0,3$ 1/h
- Infiltration $n_{\text{infil}} = 0,15$ 1/h
- Berücksichtigung von Innenwänden (Speicherkapazität) und internen Lasten
- Schließen des innenliegenden Sonnenschutzes ab $T_{\text{Raum}} = 24^{\circ}\text{C}$
- Hälfte der Rohrleitungsverluste (Heizkörperanbindung) sind interne Gewinne
- Systemtemperaturen Heizkreis 60°C / 40°C im Auslegungsfall

Für den Heizkreis ergeben sich beispielsweise nachstehende Temperaturverläufe, siehe Bild 160, für das Standardwetter vom DWD TRY 07 (2004).

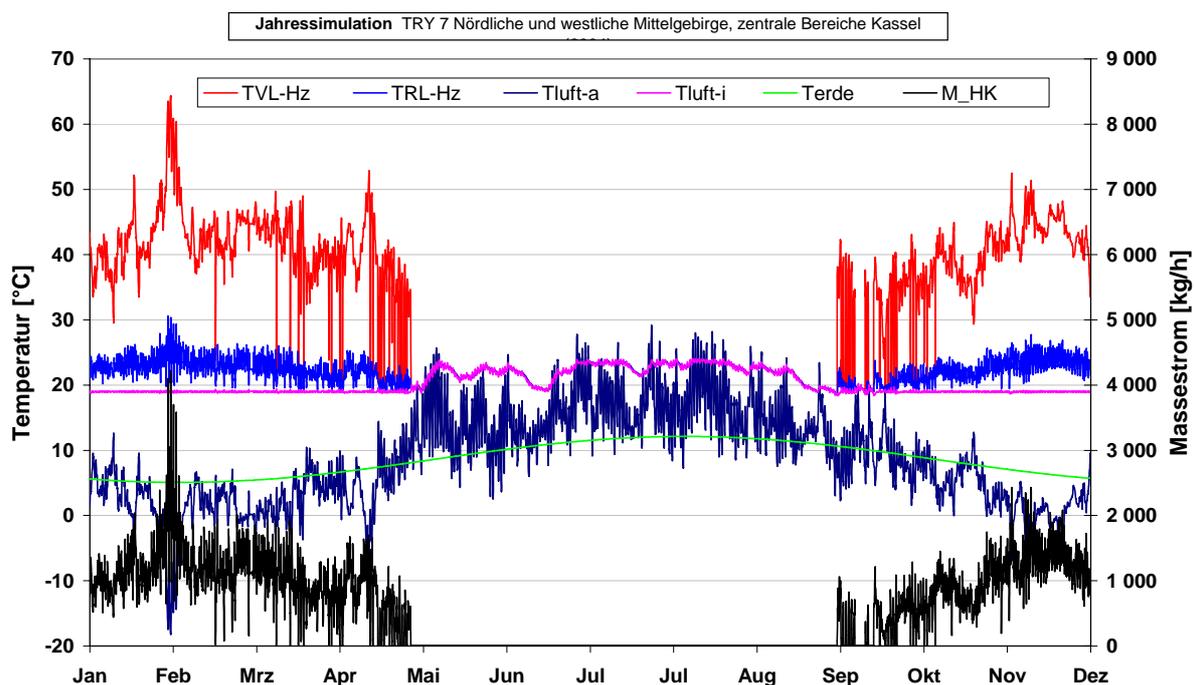


Bild 160 Temperaturen im Heizkreis (Stundenmittelwerte im Jahresverlauf)

Pufferspeicherkaskade und Nahwärmenetz

Die Wärmeversorgung setzt sich aus einem Holzpellet- Heizkessel in Kombination mit einer thermischen Solaranlage und einem Speichersystem zur Kurzzeitwärmespeicherung zusammen. Die der Kesselanlage zugeordneten zwei Pufferspeicher (1 und 2) a 1.500 l sind parallel verschaltet. Die anderen Pufferspeicher (3, 4 und 5) mit ebenfalls 1.500 l sind in Reihe verschaltet und werden der Solaranlage zugeordnet. Aus den fünf Speichern ergeben sich vier in Reihe verschaltete Pufferspeicher mit einem Gesamtvolumen von 7.500 l. In der Simulation werden folgende Annahmen getroffen:

- Modell des idealen Schichtenspeichers mit 100 Schichten (Type 140)
- Volumen = 7,5 m³, Höhe = 9 m, Ø = 1.05 m, $\lambda_{iso} = 0.035$ W/mK (10 cm)
- Solaranschluss, Kesselanschluss und Nahwärmenetzanschluss nach Bild 161
- Höhenniveau der Temperatursensoren von unten beginnend

$$Ts1 = 2\% \quad Ts2 = 30\% \quad Ts3 = 60\% \quad Ts4 = 80\% \quad Ts5 = 99\%$$

Der Verlauf der Speichertemperaturen als Stundenmittelwerte übers Jahr ist in Bild 162 dargestellt. Beim Modell des idealen Schichtenspeichers wird das eingebrachte Wasser in der für das Wasser relevanten Temperaturschicht eingespeichert. Die Nachheizung über den Kessel erfolgt mit einer konstanten Vorlauftemperatur von 85°C. Ab einer mittleren Speichertemperatur (Speicher 1 und 2) von 60°C regelt der Kessel in seiner Leistung auf minimal 30% herunter.

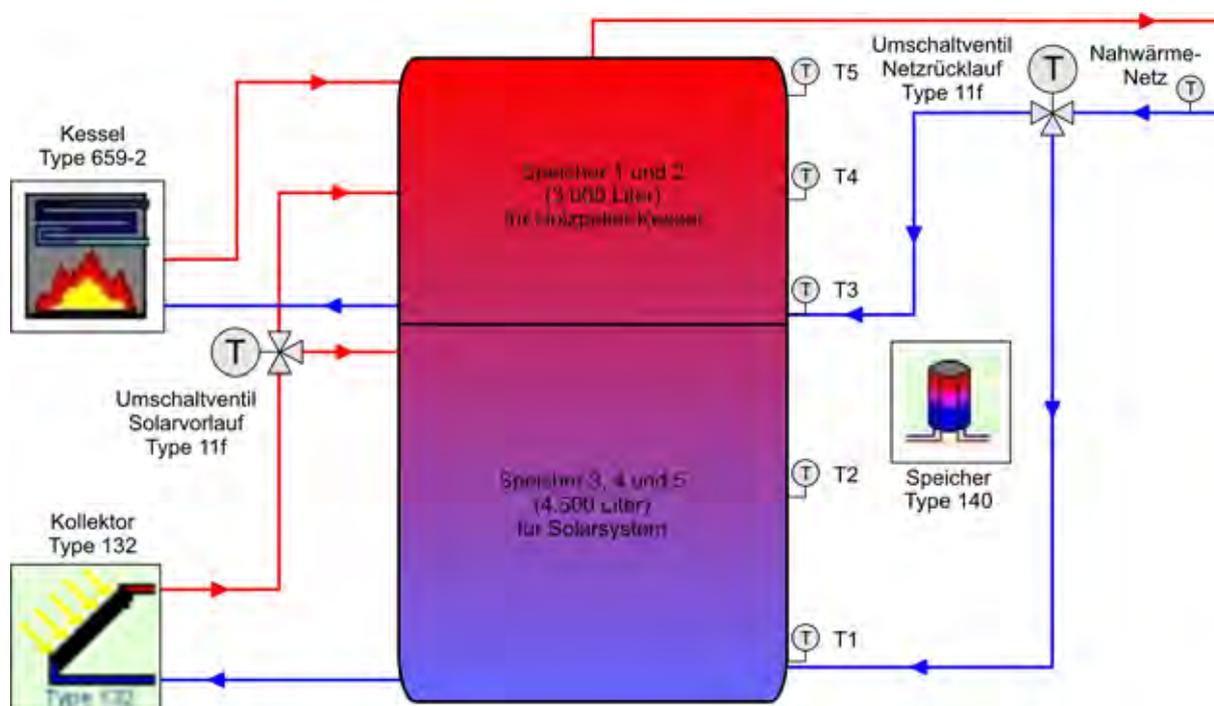


Bild 161 Umsetzung hydraulische Verschaltung Pufferspeicher in TRNSYS 15

Das Nahwärmenetz hat eine Länge von insgesamt 84 m. Dabei wird die Netzlauftemperatur auf einen Wert von 70°C geregelt, siehe Bild 163.

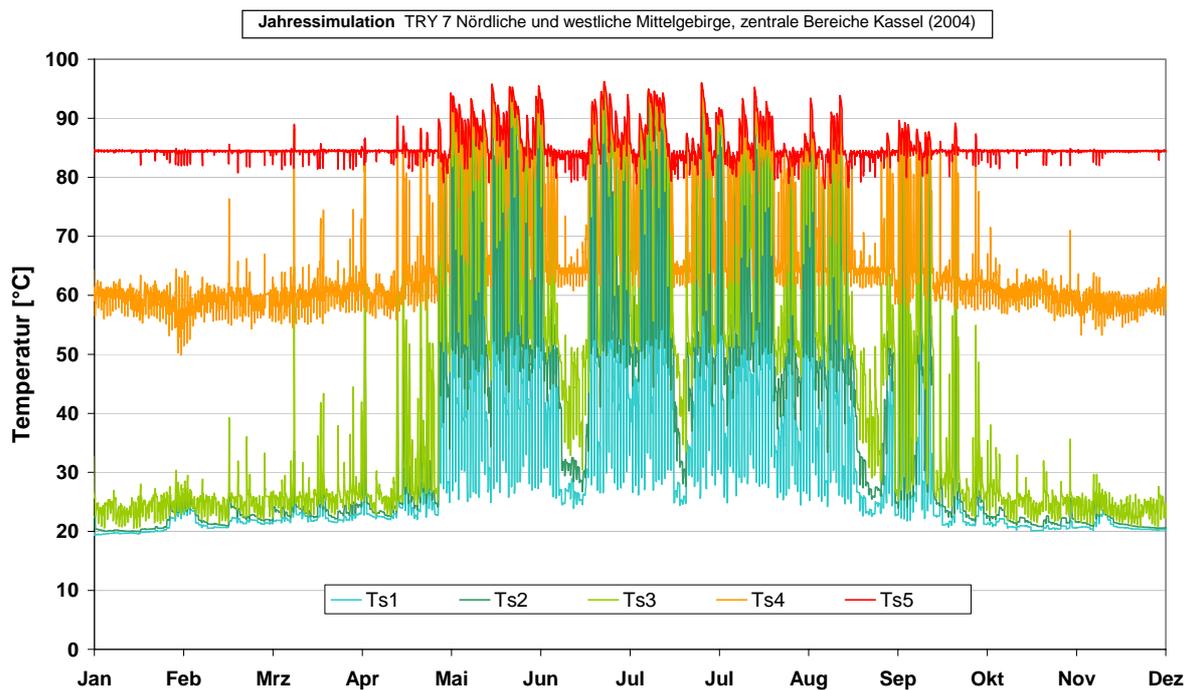


Bild 162 Temperaturen im Pufferspeicher (Stundenmittelwerte im Jahresverlauf)

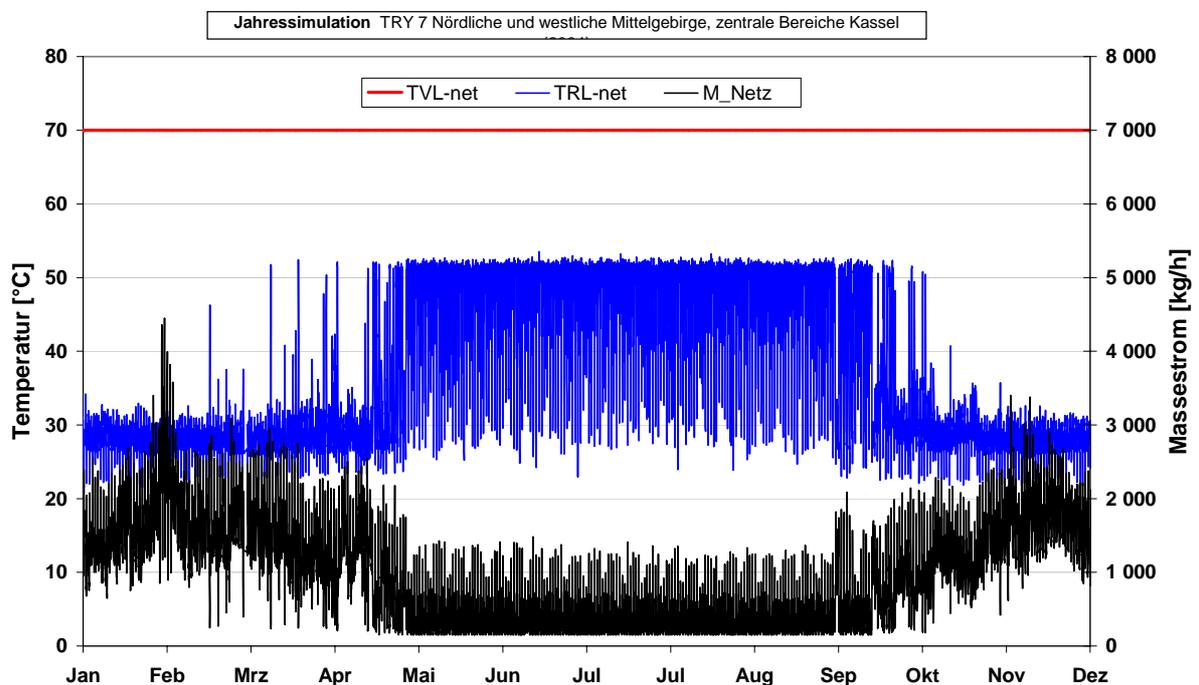


Bild 163 Temperaturen im Nahwärmenetz (Stundenmittelwerte im Jahresverlauf)

Wärmebilanzen

Um die Auswirkungen hinsichtlich des Kollektorertrags der Solaranlage und des Energieverbrauchs der Gebäude zum Standardwetterdatensatz herauszufiltern, werden folgende Wetterdatensätze vom DWD zu Vergleichszwecken eingesetzt:

- TRY 03, 1984, Standard-Wetter, Ruhrgebiet und Ballungsgebiete im Flachland (gültig für Hannoversch Münden bis 2004)
- TRY 07, 2004, Standard-Wetter, Nördliche und westliche Mittelgebirge, zentrale Bereiche Kassel
- TRY 07, 2004, Extrem-Wetter (Winter und Sommer)

Die Wärmebilanzen der jeweiligen Testreferenzjahre im Vergleich zum Energiekonzept sind in Tabelle 55 zusammengestellt. Die Wärmelieferung der Kollektoren liegt im Standard-Testreferenzjahr über 400 kWh/m²-a. Im Extremjahr ist mit einem Solarertrag in einer Größenordnung von +10% zu rechnen. Die solare Wärme wird in den Kurzzeit-Wärmespeicher und dort zu 97,5% eingespeist, der restliche Anteil geht über die Kollektorverbindungsleitungen verloren.

Eine Volldeckung des Wärmebedarfs über die Solaranlage im Sommer kann nicht erreicht werden. Eine zusätzliche Wärmelieferung über den Kessel wird daher minimal benötigt. Die jährlich in das Nahwärmenetz eingespeiste Wärmemenge liegt im prognostizierten Bereich. Im Extremwinter entsteht ein Mehrenergiebedarf von maximal 15%, welcher über den Kessel gedeckt werden kann.

Bild 164 zeigt die monatlichen Wärmebilanzen des Wärmeversorgungssystems unter Berücksichtigung des Testreferenzjahres 07 von 2004.

Wärmebilanz Hannoversch Münden		Energie- konzept	TRY 03	TRY 07	TRY 07
Kollektoraperturfläche	105.0 m ²	EnEV	1984	2004	2004
Nutzfläche nach EnEV	3 213.3 m ²		Standard	Standard	Extrem
Einstrahlung in Kollektorebene	kWh/m ² a	-	1 082	1 089	1 199
Wärmelieferung Kollektoren	MWh/a	-	43.5	42.3	46.6
	kWh/m ² a	-	414	403	444
Einspeisung Solarwärme in Speicher	MWh/a	-	42.4	41.2	45.4
	kWh/m ² a	-	404	392	433
Frostschutz	MWh	-	0.6	0.7	1.2
	kWh/m ² a	-	5.5	7.1	11.5
Gesamtspeicherwärmeverluste	MWh/a	-	2.6	2.6	2.7
Speicherverluste anteilig Solar	MWh/a	-	0.7	0.7	0.7
Wärmelieferung Kessel	MWh/a	268.0	270.4	304.4	327.1
Wärmemenge gesamt ins Netz	MWh/a	311.0	309.5	342.1	368.5
Wärmeverluste Nahwärmenetz	MWh/a	13.3	14.9	14.8	14.8
Wärmemenge Heizkreis Gebäude	MWh/a	214.3	212.3	243.5	269.0
Wärmeverluste Heizkreis Gebäude	MWh/a	12.9	11.4	12.6	13.5
Wärmemenge WWB	MWh/a	70.6	70.8	71.2	71.2
Solare Nutzenergie	MWh/a	43.1	41.2	39.8	43.5
	kWh/m ² a	410.0	392.4	379.0	414.4
Laufzeit Solarkreispumpe	h/a	-	706.6	698.4	773.9
Solarer Deckungsanteil ¹⁾	%	13.8	13.3	11.6	11.8

¹⁾ Solare Nutzenergie bezogen auf Gesamtwärmemenge Nahwärmenetz

Tabelle 55 Wärmebilanzen der verschiedenen Testreferenzjahre

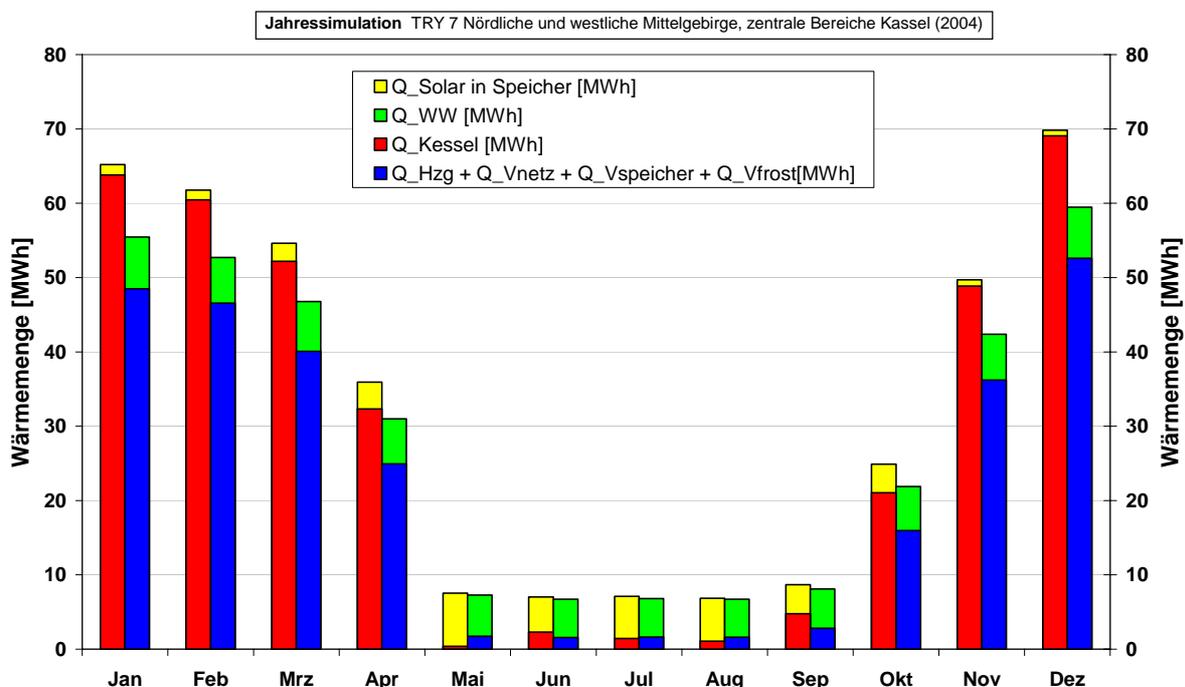


Bild 164 Monatlicher Verlauf Wärmebedarf (Input / Output) (TRY 07-DWD 2004)

4.3 Kassel, Brentanostraße 50 – 56 (Grobanalyse 10)

Vom Bauverein 1894 zu Kassel - Gemeinnützige Wohnungs-Genossenschaft eG werden in den Jahren 2003 bis 2009 vier im Areal Brentanostraße bestehende und zur Sanierung anstehende Mehrfamilienhäuser abgerissen und durch Neubauten ersetzt. Im 2. und 3. BA sollen die Neubauten Brentanostraße 50, 52, 54 und 56 mit insgesamt 32 WE im KfW-40-Standard errichtet werden. Die fensterbelüfteten und mit verbessertem Wärmeschutz sowie Fußbodenheizung ausgestatteten Gebäude sollen über eine zentrale CO₂- neutrale Wärmeversorgung versorgt werden.



Bild 165 Brentanostr. 54 und 56 Links: Süd-Ansicht Gebäude während der Bauphase, Rechts: Süd-Ansicht nach Fertigstellung

In der durchgeführten Grobanalyse wurde die Wärmeerzeugung der beiden Gebäude als eine CO₂- neutrale Wärmeversorgung entwickelt. Hierbei ist eine kombinierte Wärmeerzeugung aus einer thermischen Solaranlage mit einer Kollektorfläche von 105 m² und einer Nachheizung über einen Holzpellet- Heizkessel (100 kW) vorgesehen. Die Kollektoren werden auf dem nach Norden geneigten Dach mit Orientierung nach Süden und einem Anstellwinkel zwischen 30° und 40° montiert. Die Wärmeerzeugungsanlage und das dazugehörige Holzpelletlager werden zentral im Untergeschoß (Tiefgaragenebene) des Gebäudes Brentanostraße 54 untergebracht. Für die Warmwasserbereitung werden Frischwasserstationen eingesetzt. Da die Gebäude und somit auch die Solaranlage in zwei Bauabschnitten errichtet werden, wird das Pufferspeichervolumen von 7 m³ auf zwei 3.500 Liter Speicher aufgeteilt.

Grundlagen Simulation

Neben dem komplexen Simulationsprogramm TRNSYS soll auch ein komfortables dynamisches Programm wie T*SOL zur Anwendung kommen. T*SOL ist ein Simulationsprogramm zur Planung und professionellen Auslegung von thermischen Solaranlagen. Es enthält bereits in seiner Standardausführung über 60 vorkonfigurierte Anlagensysteme für Warmwasserbereitung, Prozesswärme sowie für solare Heizungsunterstützung. Das Programm ist für Ingenieure, Planer, Dachdecker sowie Installateure aus dem Bereich der Heiz- und Gebäudetechnik entwickelt worden.

Nach Eingabe weniger Parameter über den möglichen Standort und Verbrauch kann ein vorgeschlagenes Anlagensystem ausgewählt und eine Dimensionierung von Kollektorfeld und Speicher durchgeführt werden.

Aus der Vorauswahl wird eine Systemvariante mit Solaranlage zur Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung, Pufferspeicher, Nachheizung über Holzpellet-Kessel, Flachkollektoren, externer Solarwärmeübertrager, Fußbodenheizung und ein Speicherladesystem gewählt, siehe Bild 166.

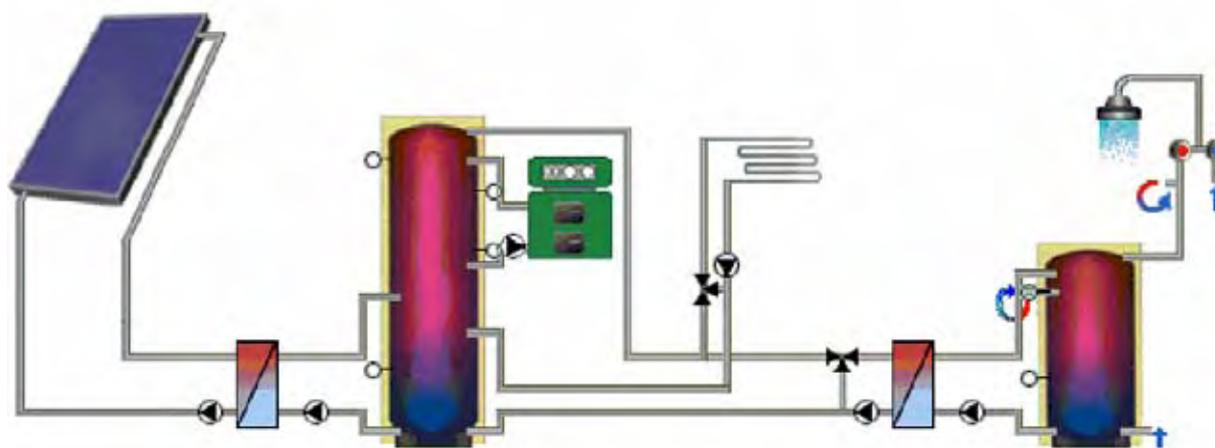


Bild 166 Simulationsmodell der Anlage in T*SOL 4.2

Aufgrund der durch die Software gegebenen Randbedingungen wurde bei der Warmwasserbereitung der Bereitschaftsspeicher des Speicherladesystems mit 100 Litern als Ersatz für die Frischwasserstation gerechnet.

Ergebnisse

Die Ergebnisse der Anlagenberechnung mit T*SOL lassen sich in vielfältiger Weise darstellen. Auf dem zusammenfassenden Ergebnisausdruck werden neben der Energiebilanz, dem Nutzungsgrad und Deckungsanteil sowie dem eingesparten Brennstoff auch die vermiedenen CO₂-Emissionen angegeben.

Solaranlage

Mit den eingestellten Parametern ergeben sich die in Bild 167 abgebildeten täglichen Maximaltemperaturen im Kollektor. Aufgrund des großzügig dimensionierten Pufferspeichervolumens tritt in den Sommermonaten nur wenig Stagnation auf. Die Verluste in den Kollektoranschlussleitungen sowie die Verluste am Solarwärmeübertrager liegen bei 9,5 %.

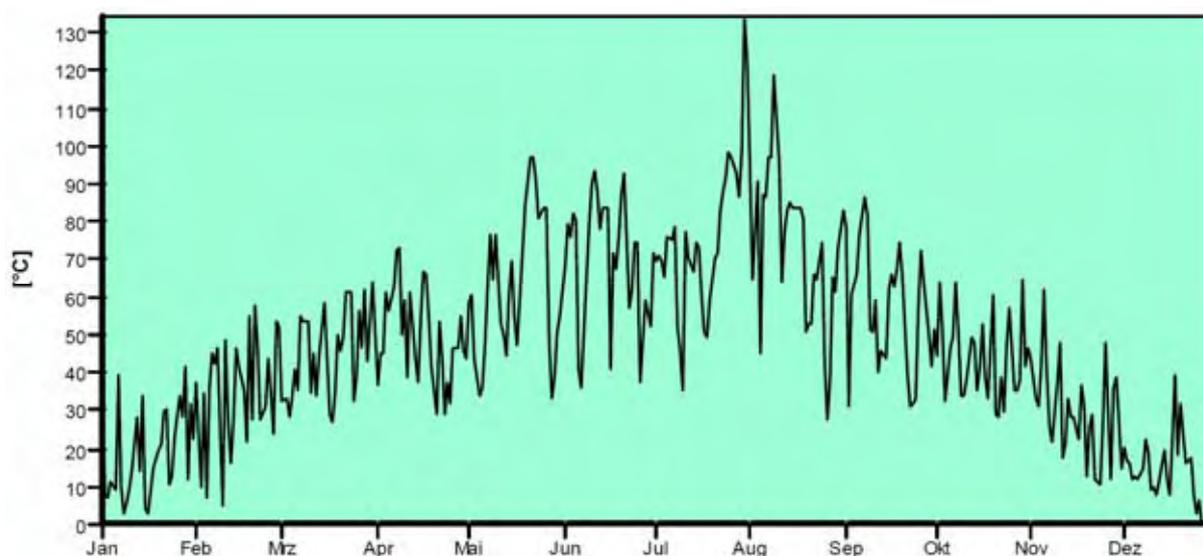


Bild 167 Tägliche Maximaltemperaturen im Kollektor

Wärmebilanzen

Für die Simulation wird aus den 150 angebotenen Wetterstationen für Deutschland der Standort Kassel verwendet. Für rund 470 Standorte in Europa und ca. 275 weitere Standorte weltweit sind die Klimadaten für Einstrahlung und Lufttemperatur in stündlicher Auflösung für den Zeitraum eines Jahres zusätzlich verfügbar. Darüber hinaus ist es möglich, die TRY- Dateien des Deutschen Wetterdienstes einzulesen.

Die Wärmebilanz der Simulation am Standort Kassel im Vergleich zum Energiekonzept ist in Tabelle 56 zusammengestellt. Die Wärmelieferung der Kollektoren liegt bei ca. 375 kWh/m²·a. Die solare Wärme wird in den Kurzzeit-Wärmespeicher und dort zu 90% eingespeist, der restliche Anteil geht über die Kollektorverbindungsleitungen und den Solarwärmeübertrager verloren.

Wärmebilanz Kassel		Energie-	TRY
		konzept	Kassel
		EnEV	Standard
Kollektoraperturfläche	105.42 m ²		
Nutzfläche nach EnEV	2 885 m ²		
Einstrahlung in Kollektorebene	kWh/m ² a	-	1 049
Wärmelieferung Kollektoren	MWh/a	-	39.5
	kWh/m ² a	-	374
Einspeisung Solarwärme in Speicher	MWh/a	36.0	35.7
	kWh/m ² a	340	339
Gesamtspeicherwärmeverluste	MWh/a	6.0	7.2
Speicherverluste anteilig Solar	MWh/a	-	-
Wärmelieferung Kessel	MWh/a	125.0	123.6
Wärmemenge gesamt ins Netz	MWh/a	154.8	151.2
Wärmemenge Heizkreis Gebäude	MWh/a	101.6	103.3
Wärmemenge WWB	MWh/a	41.6	41.8
Wärmemenge Zirkulationsverluste	MWh/a	11.6	6.2
Solarer Deckungsanteil ¹⁾	%	22.3	22.5

¹⁾ Solare Nutzenergie bezogen auf Gesamtwärmemenge Nahwärmenetz inkl. Speicherverluste

Tabelle 56 Vergleich der Wärmebilanzen Energiekonzept und Simulation

Eine Volldeckung des Wärmebedarfs über die Solaranlage im Sommer kann nicht erreicht werden. Eine zusätzliche Wärmelieferung über den Kessel wird daher minimal benötigt. Die jährlich in das Nahwärmenetz eingespeiste Wärmemenge liegt im prognostizierten Bereich von ca. 160 MWh/a. Bild 168 zeigt den Gesamtenergiebedarf sowie den Anteil der Solarenergie.

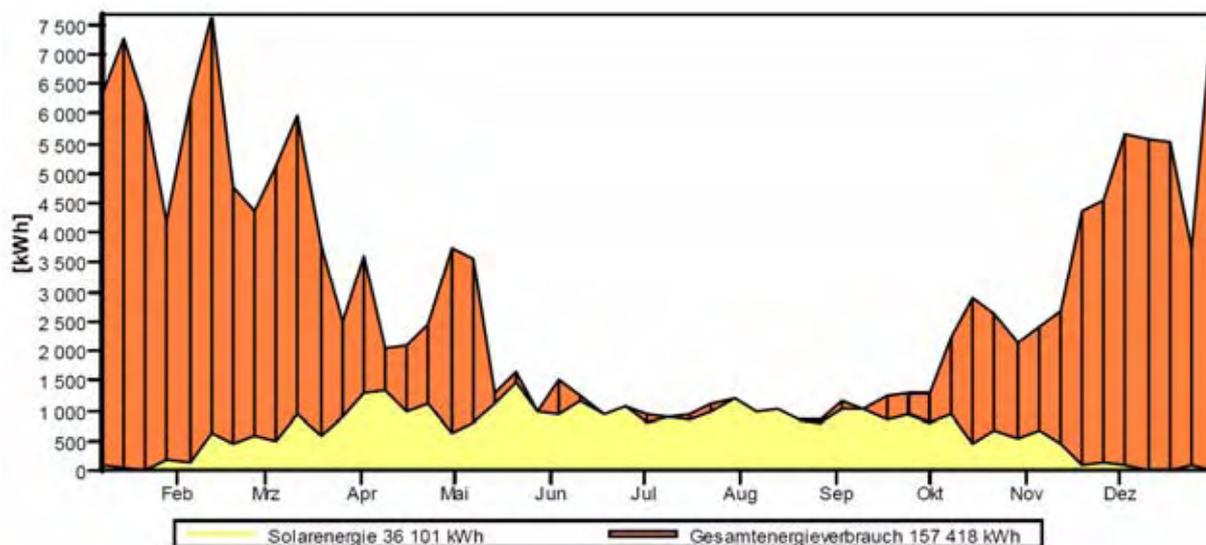


Bild 168 Anteil der Solarenergie am Energieverbrauch

5 KENNZAHLEN

Aus den für die jeweiligen definierten Aufgabenstellungen entwickelten Konzeptlösungen sollen allgemeingültige und auf andere Vorhaben übertragbare Kennzahlen abgeleitet und dokumentiert werden. Neben Aussagen zu Energiebedarf und CO₂-Emissionen werden auch Kennwerte zu Kosten bzw. zur Wirtschaftlichkeit der betrachteten Konzeptvarianten abgeleitet.

Für die in den Grobanalysen definierten Wärmeversorgungsvarianten werden die Investitionskosten sowie die Jahresgesamtkosten nach VDI 2067 ermittelt. Dabei werden die Investitionskosten für die technischen Komponenten ebenso berücksichtigt wie bauliche Kosten für den Raumbedarf der Heizzentralen und zu erstellenden Brennstofflager. Zur Ermittlung realitätsnaher Kennwerte werden auch die erforderlichen Planungskosten und zusätzlich ein Kostenanteil in Höhe von 10% für Unvorhergesehenes einkalkuliert. Brennstoffkosten werden innerhalb der Jahresgesamtkosten mit den aktuellen standortspezifischen Energiepreisen (2005 bis 2008) berechnet.

Die ökologische Bewertung in den Machbarkeitsstudien erfolgt über die Ermittlung und den Vergleich der CO₂-Emissionen und des Primärenergiebedarfs. Entsprechend der Hauptanforderung der Energieeinsparverordnung (EnEV) wird der Primärenergiebedarf als Energiekennwert für die Konzeptvarianten herangezogen. Im Primärenergiebedarf ist der komplette Energiebedarf für die Energiebereitstellung inkl. aller vorgelagerten Energieketten für Gewinnung, Transport und Umwandlung der jeweiligen Energieform (Erdgas, Holz, Strom, ...) enthalten. So wird z.B. Strom als Energieform wegen des schlechten Kraftwerkswirkungsgrads in Deutschland von durchschnittlich 38% wesentlich ungünstiger bewertet als Erdgas oder Heizöl. Holzhackschnitzel weisen im Vergleich hierzu als Produkt aus nachwachsenden Rohstoffen deutlich günstigere Primärenergiebedarfswerte. Der für Holzpellets im Vergleich zu Hackschnitzel zur Herstellung (Trocknung, Formgebung) entsprechende Mehraufwand ist ebenfalls berücksichtigt.

Als zweiter Indikator für die Umweltbelastung wird die Menge der durch den Energieverbrauch entstehenden CO₂-Emissionen bilanziert. Durch Holzpellets als nachwachsender Rohstoff entstehen aufgrund des CO₂-Verbrauchs des Materials in der

Wachstumsphase bilanziell kaum CO₂-Emissionen. Lediglich Herstellung und Transport belasten die CO₂-Bilanz des Brennstoffs.

5.1 Investitionskosten

In den Machbarkeitsstudien für die einzelnen Projekte werden dezentrale und zentrale Wärmeversorgungsvarianten erarbeitet. Die jeweiligen Komponenten der Wärmeversorgung werden grob dimensioniert und die erforderlichen Investitionskosten im Rahmen einer Kostenschätzung ermittelt. Die Investitionskosten umfassen alle Anlagenteile, die zur Bereitstellung der Wärme (Heizung und Warmwasserbereitung) erforderlich sind. Dabei werden bei zentraler Versorgung folgende Kostensektoren betrachtet:

Heizanlage

- Wärmeerzeugungsanlage (Gaskessel, Holzpelletkessel, BHKW, ...)
- Pufferspeicher (wenn erforderlich)
- Hydraulische Einbindung Wärmeerzeugung und -speicherung
- Heizungsverteilung für Nahwärmenetz inkl. Ausdehnungsgefäß
- MSR-Technik, Elektroarbeiten, Inbetriebnahme
- Abgasanlage
- Warmwasserbereitung (abhängig von Übergabestation)

Solaranlage

- Kollektoren inkl. Montage und Verrohrung im Feld
- Solarleitungen im und außerhalb vom Gebäude
- Hydraulische Einbindung (Solarwärmeübertrager, Glykolfüllung, ...)
- Pufferspeicher, Ausdehnungsgefäß
- MSR-Technik, Elektroarbeiten, Inbetriebnahme

Nahwärmenetz

- Haupttrasse befestigtes / unbefestigtes Gelände (Kosten Rohr, Verlegung und Tiefbauarbeiten)
- Haupttrasse kellerverlegt (Kosten Rohr und Verlegung)
- Leckwarnsystem
- Hausabzweig, Hausanschlussleitungen und Hausanschluss

Übergabestationen

- Direkte oder indirekte Hausübergabestationen, einschließlich Regelung, Montage und Inbetriebnahme
- Wärmemengenzähler
- Warmwasserbereitung im Durchfluss oder über Speicherladesystem

Bauliche Maßnahmen

- Raumbedarf Heizzentrale für Wärmeerzeugung
- Raumbedarf Brennstofflager (Holzpellets, Holzhackschnitzel, Heizöl, ...)
- Umbaumaßnahmen im Sanierungsfall (Vergrößerung Tür Heizzentrale, statische Verstärkung der Dachkonstruktion für die Aufständigung von Kollektoren, ...)

Mehrkosten Dämmung

Nur erforderlich wenn unterschiedliche Gebäudestandards verglichen werden wie z.B.: EnEV, KfW 60, KfW 40, 3-Liter-Haus usw.

- Dämmstärken (Außenwand, Flachdach, oberste Geschossdecke, Kellerdecke, Bodenplatte, ...)
- Fenster (2- oder 3-Scheibenverglasung, U-Wert Verglasung)
- Lüftungssystem (Fensterlüftung, Abluftanlage, Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung)

Enthalten sind auch Medienanschlusskosten (z.B. Gasanschluss), Planungskosten mit 10 oder 15% sowie Kosten für Unvorhergesehenes in Höhe von 10%. Die Kosten für die Wärmeverteilung im Gebäude werden nicht einbezogen, sie sind bei allen betrachteten Varianten etwa gleich hoch. Nicht berücksichtigt ist auch der Aufwand für die Bereitstellung eines Raumes in den einzelnen Gebäuden. Er ist bei dezentraler und zentraler Versorgung etwa gleich groß, da im einen Fall eine Heizanlage, im anderen Fall eine Übergabestation unterzubringen ist. Die Baukosten für die Erstellung einer Heizzentrale für eine Nahwärmeversorgung werden in der Kostengruppe „Bauliche Maßnahmen“ berücksichtigt.

Für die verschiedenen Wärmeversorgungsvarianten sind Förderungen möglich. Der bauliche Wärmeschutz wird ebenfalls gefördert. Förderprogramme sind aber in letzter Zeit extrem "kurzlebig" geworden, sie werden häufig nach kurzer Laufzeit wieder ausgesetzt, wenn die eingesetzten Mittel ausgeschöpft sind. Als feste Größe können Fördergelder nur schwer einkalkuliert werden. Folgende Förderprogramme kommen nach aktuellem Stand (Sommer 2008) für die untersuchten Varianten in Frage:

- KfW-Programm "Erneuerbare Energien" für Biomassekessel, Nahwärmenetze und Hausübergabestationen
- Solarthermie2000plus für Solarthermische Anlagen mit Pilot- oder Demonstrationscharakter
- BAFA Marktanreizprogramm für Solarthermische Anlagen, Holzpelletkessel, Wärmepumpenheizsysteme
- KfW-Programm „Energiesparhaus 60 bzw. 40“
- Verschiedene Förderprogramme der einzelnen Bundesländer (standortabhängig)

Alle Kostenangaben sind netto, d.h. ohne die gesetzliche Mehrwertsteuer. Fördergelder werden bei der Kennwertbildung nicht berücksichtigt.

Für die Kennwertbildung werden die Varianten aus den einzelnen Studien zur weitgehend CO₂- neutralen Wärmeversorgung in Kombination mit solarthermischer E-

nergie und Biomasse (Holzpellets, Holzhackschnitzel,...) in einer Datenbank erfasst. Dabei werden

Siedlungs- und Gebäudekennwerte

- Gebäudeart (EFH, RH, DHH, MFH, Schule, Kindergarten, Sporthalle, ...)
- Anzahl der Wohn- und Gewerbeeinheiten
- Wohnfläche sowie Nutzfläche A_N nach EnEV
- Nettogrundfläche (Berechnung: $NGF = 0.95 * A_N$)
- Heizleistung der Gebäude
- Kollektoraperturfläche der thermischen Solaranlage

Investitionskosten

- Heizanlage, Solaranlage, Nahwärmenetz, Übergabestationen, Bauliche Maßnahmen, Mehrkosten Dämmung
- Investitionskosten mit Förderung

Jahresgesamtkosten

- Kapitalkosten
- Kosten für Instandsetzung, Wartung, Betrieb
- Energiekosten

Ökologische Faktoren

- CO₂- Emissionen
- Primärenergiebedarf

in einer Datenbank gespeichert. Anschließend erfolgt der Bezug auf die jeweilige Größe, wie die Nettogrundfläche, Anzahl der Wohneinheiten sowie die Heizleistung der Gebäude. Für den Vergleich der Studien werden immer erst die gesamten Investitionskosten auf die spezifische Kenngröße bezogen, mit anschließender Aufteilung

nach den entsprechenden Kostensektoren. Im Anschluss erfolgt die Darstellung nach den in Kapitel 3 vorgestellten sechs Kategorien (Sanierung Wohnsiedlung, Neubau Wohnsiedlung, Sanierung Seniorenzentrum, Siedlung im ländlichen Raum, Neubau Seniorenzentrum, Neubau / Sanierung Wohn- und Verwaltungszentrum).

Auf der zu Grunde gelegten Matrix entstehen die nachfolgend aufgelisteten Abbildungen:

- | | |
|----------|---|
| Bild 169 | Spezifische Nettoinvestitionskosten auf Basis einer Kostenschätzung bezogen auf die Nettogrundfläche (NGF) |
| Bild 170 | Spezifische Nettoinvestitionskosten auf Basis einer Kostenschätzung aufgeteilt nach den verschiedenen Investitionssektoren bezogen auf die Nettogrundfläche (NGF) |
| Bild 171 | Spezifische Nettoinvestitionskosten auf Basis einer Kostenschätzung bezogen auf die Nettogrundfläche (NGF) für die Kategorie „Sanierung Wohnsiedlung“ |
| Bild 172 | Spezifische Nettoinvestitionskosten auf Basis einer Kostenschätzung bezogen auf die Nettogrundfläche (NGF) für die Kategorie „Neubau Wohnsiedlung“ |
| Bild 173 | Spezifische Nettoinvestitionskosten auf Basis einer Kostenschätzung bezogen auf die Nettogrundfläche (NGF) für die Kategorie „Siedlung im ländlichen Raum“ |
| Bild 174 | Spezifische Nettoinvestitionskosten auf Basis einer Kostenschätzung bezogen auf die Nettogrundfläche (NGF) für die Kategorie „Sanierung/Neubau Seniorenzentrum“ |
| Bild 175 | Spezifische Nettoinvestitionskosten auf Basis einer Kostenschätzung bezogen auf die Wohneinheiten (WE) |
| Bild 176 | Spezifische Nettoinvestitionskosten auf Basis einer Kostenschätzung aufgeteilt nach den verschiedenen Investitionssektoren bezogen auf die Wohneinheiten (WE) |
| Bild 177 | Spezifische Nettoinvestitionskosten auf Basis einer Kostenschätzung bezogen auf die Heizleistung der Gebäude |

Bild 178

Spezifische Nettoinvestitionskosten auf Basis einer Kostenschätzung aufgeteilt nach den verschiedenen Investitionssektoren bezogen auf die Heizleistung der Gebäude

Bild 179

Spezifische Nettoinvestitionskosten für die Solaranlage auf Basis einer Kostenschätzung bezogen auf die Kollektoraperturfläche

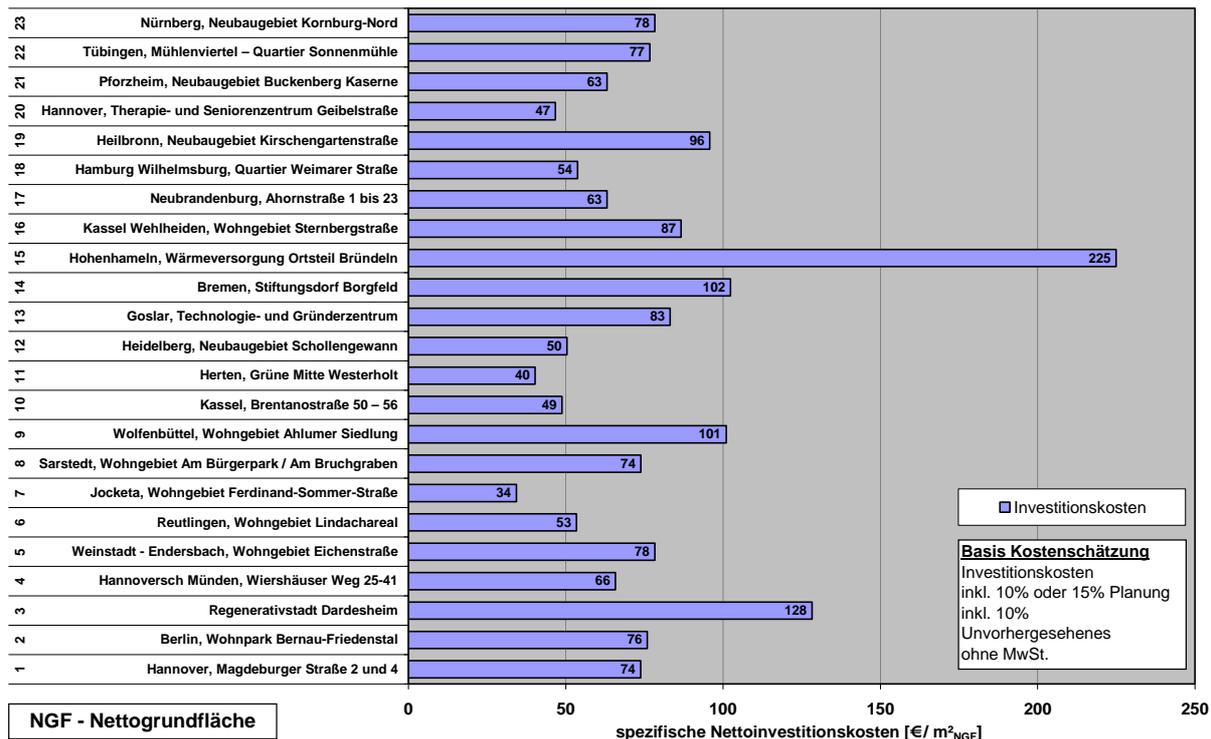


Bild 169 Spezifische Nettoinvestitionskosten auf Basis einer Kostenschätzung bezogen auf die Nettogrundfläche (NGF)

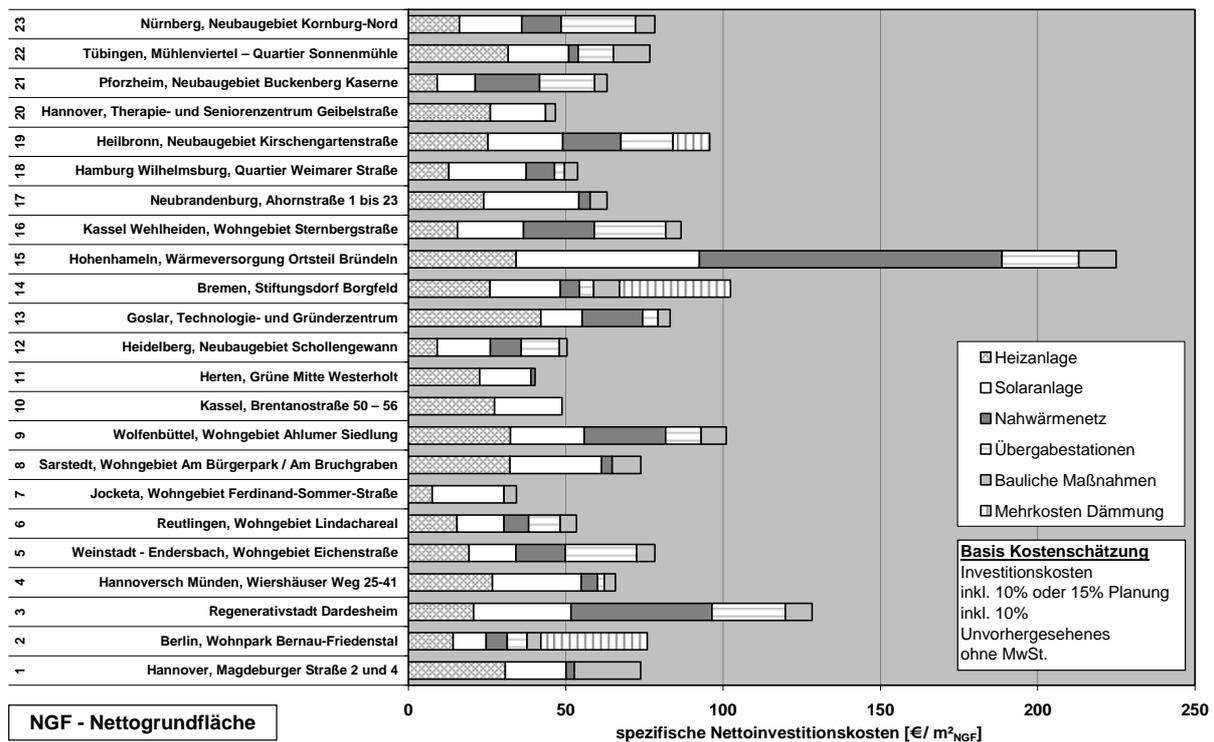


Bild 170 Spezifische Nettoinvestitionskosten auf Basis einer Kostenschätzung aufgeteilt nach den verschiedenen Investitionssektoren bezogen auf die Nettogrundfläche (NGF)

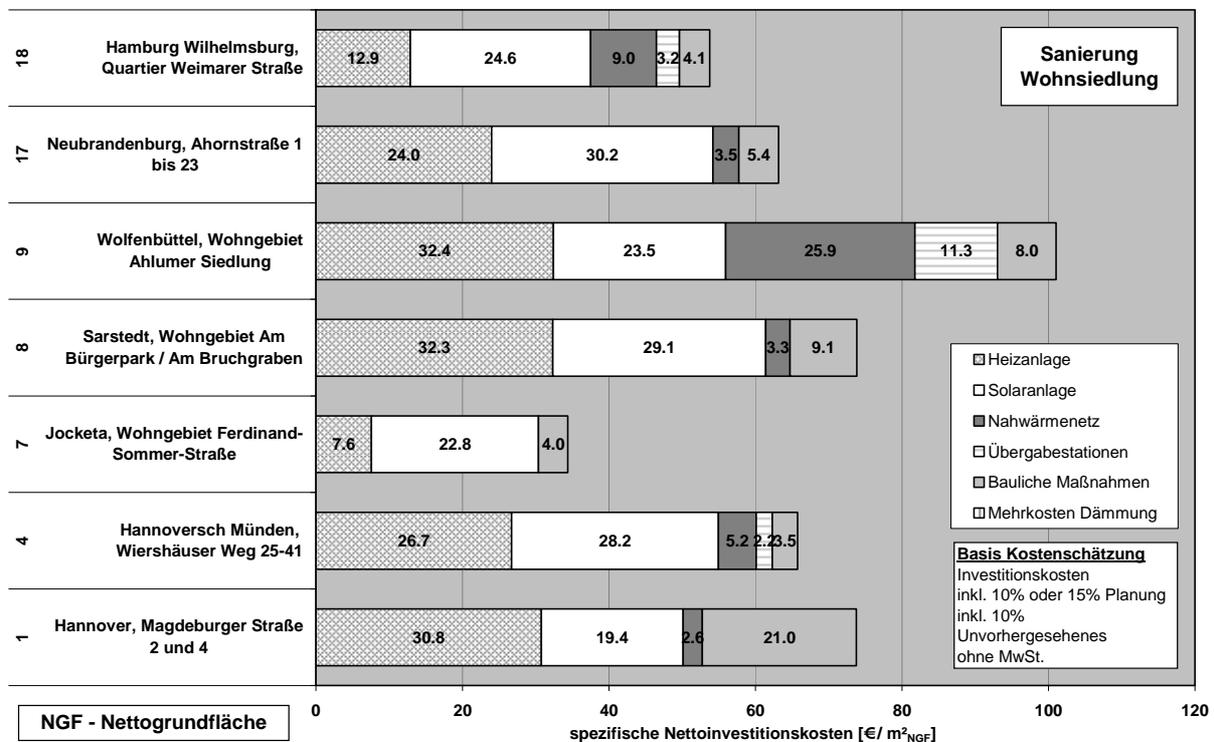


Bild 171 Spezifische Nettoinvestitionskosten auf Basis einer Kostenschätzung bezogen auf die Nettogrundfläche (NGF) für die Kategorie „Sanierung Wohnsiedlung“

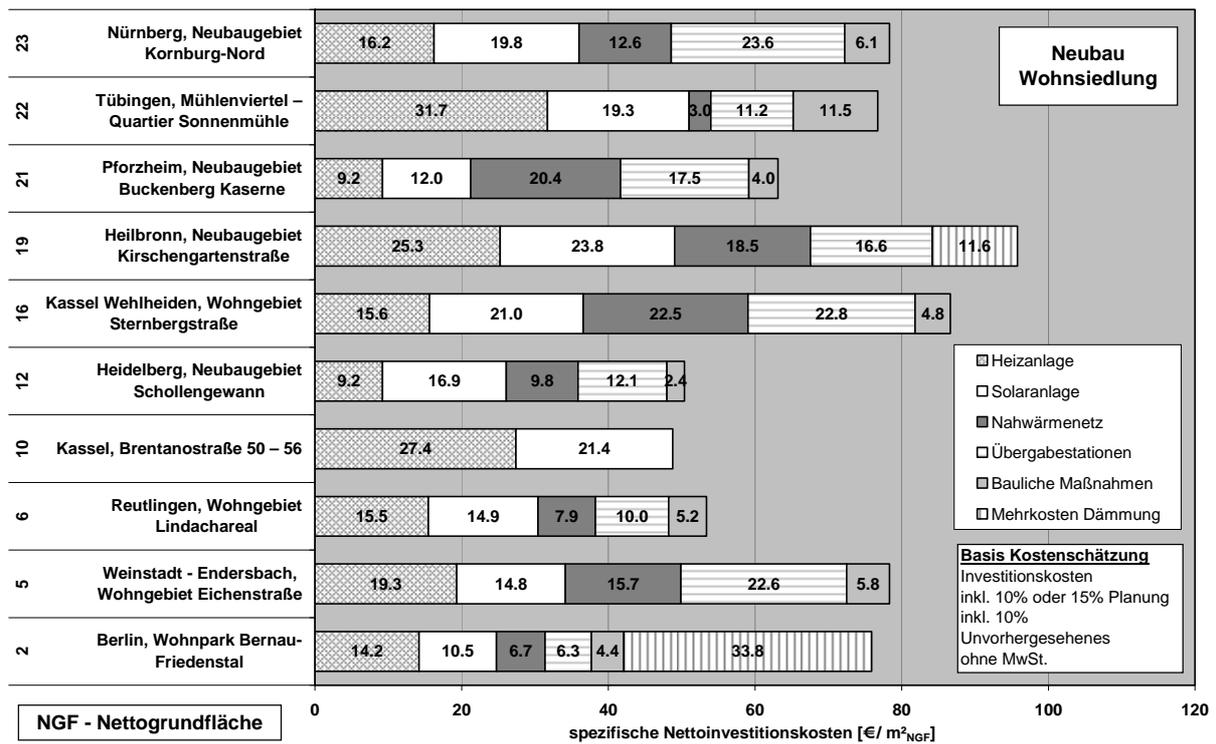


Bild 172 Spezifische Nettoinvestitionskosten auf Basis einer Kostenschätzung bezogen auf die Nettogrundfläche (NGF) für die Kategorie „Neubau Wohnsiedlung“

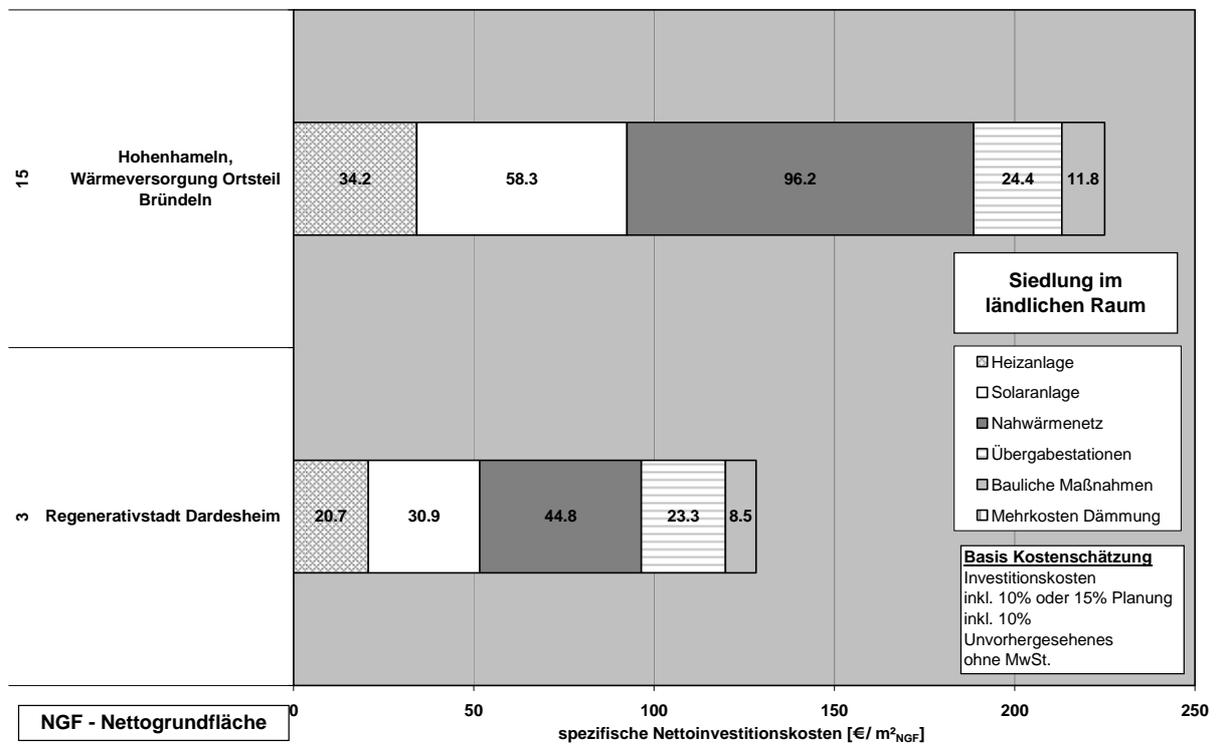


Bild 173 Spezifische Nettoinvestitionskosten auf Basis einer Kostenschätzung bezogen auf die Nettogrundfläche (NGF) für die Kategorie „Siedlung im ländlichen Raum“

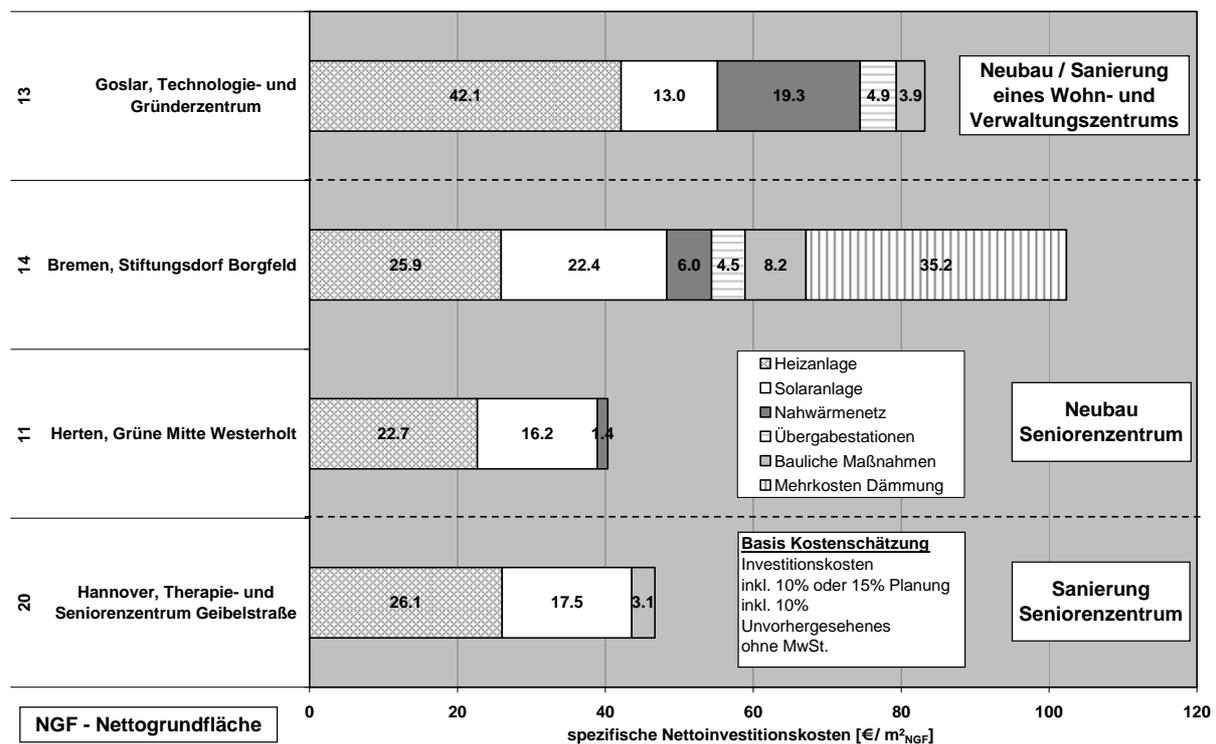


Bild 174 Spezifische Nettoinvestitionskosten auf Basis einer Kostenschätzung bezogen auf die Nettogrundfläche (NGF) für die Kategorie „Sanierung/Neubau Seniorenzentrum“

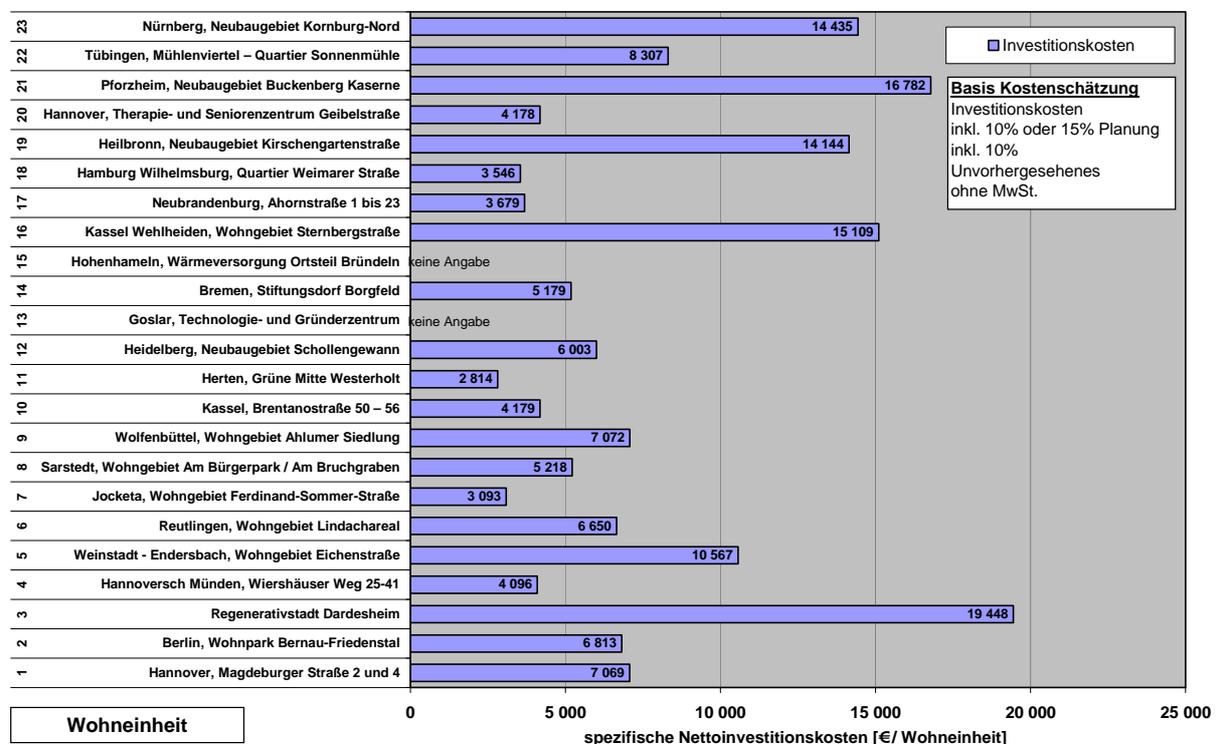


Bild 175 Spezifische Nettoinvestitionskosten auf Basis einer Kostenschätzung bezogen auf die Wohneinheiten (WE)

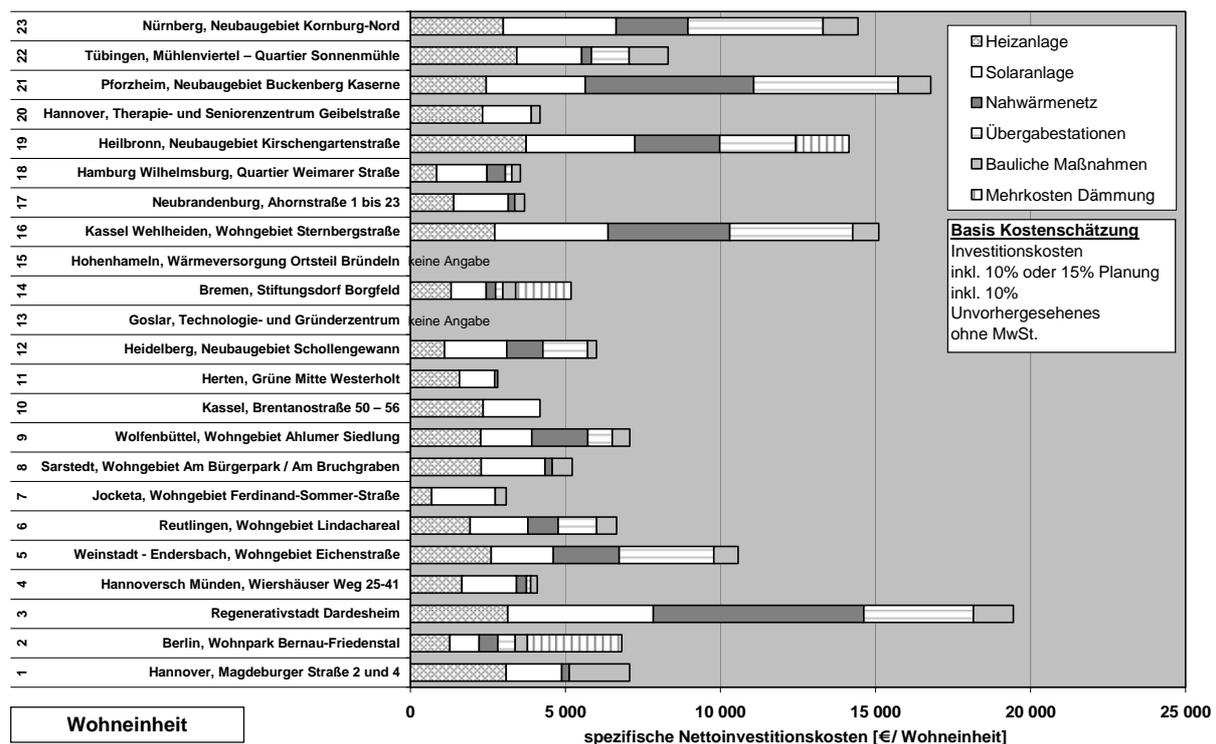


Bild 176 Spezifische Nettoinvestitionskosten auf Basis einer Kostenschätzung aufgeteilt nach den verschiedenen Investitionssektoren bezogen auf die Wohneinheiten (WE)

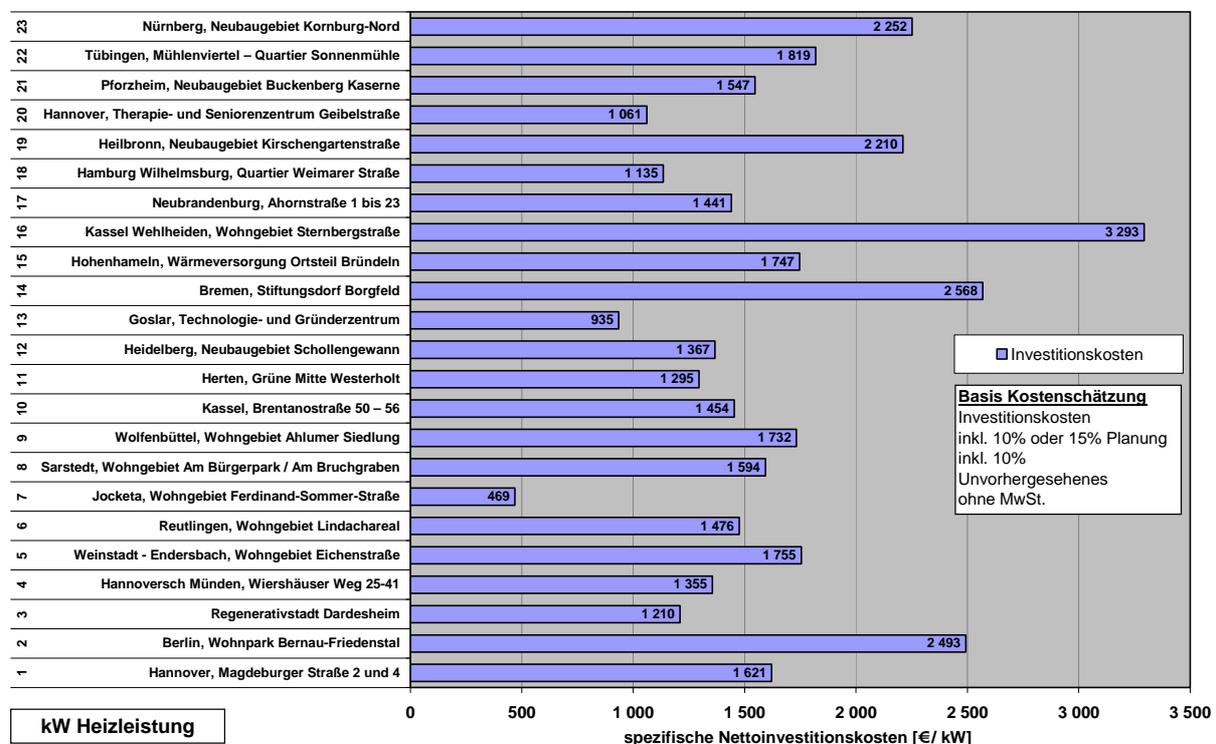


Bild 177 Spezifische Nettoinvestitionskosten auf Basis einer Kostenschätzung bezogen auf die Heizleistung der Gebäude

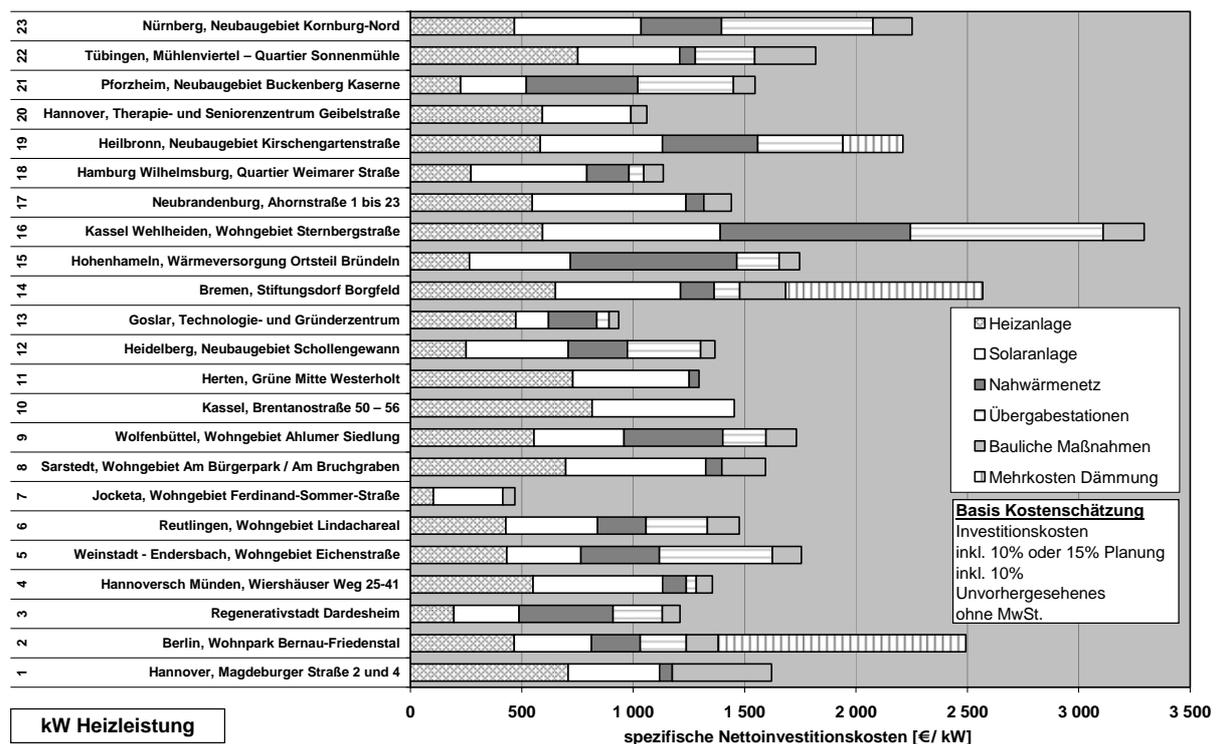


Bild 178 Spezifische Nettoinvestitionskosten auf Basis einer Kostenschätzung aufgeteilt nach den verschiedenen Investitionssektoren bezogen auf die Heizleistung der Gebäude

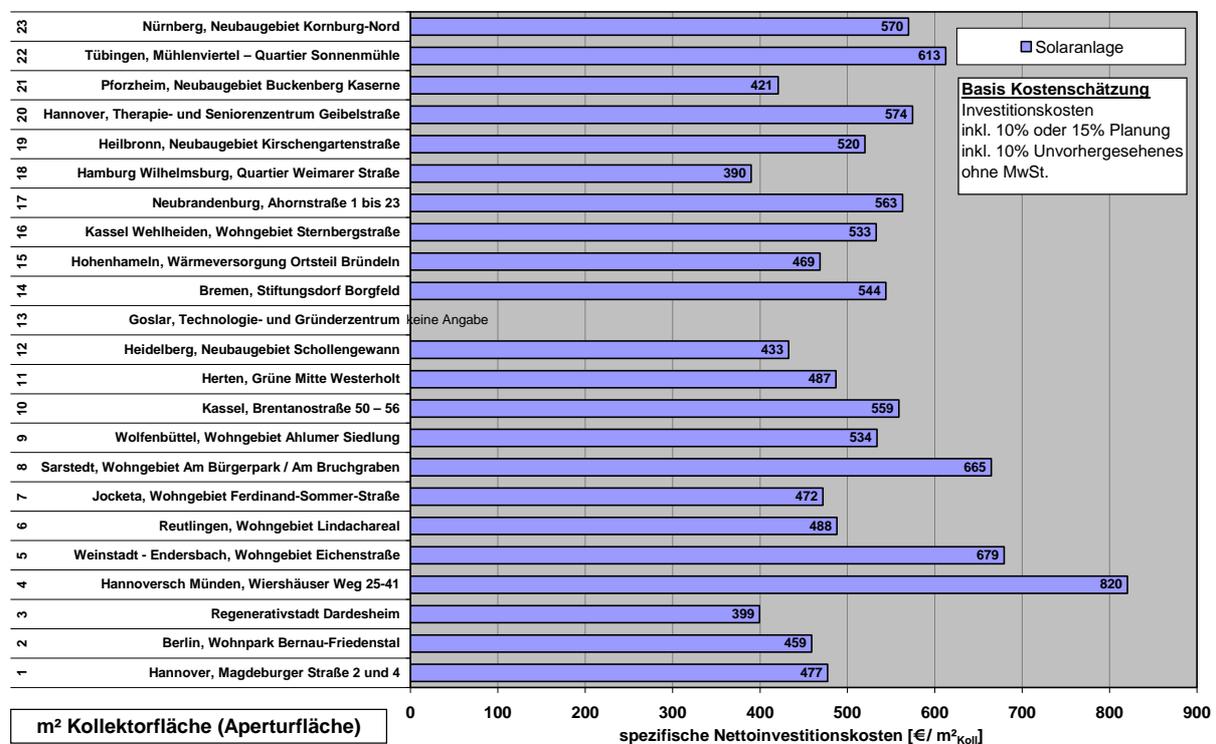


Bild 179 Spezifische Nettoinvestitionskosten für die Solaranlage auf Basis einer Kostenschätzung bezogen auf die Kollektoraperturfläche

5.2 Jahresgesamtkosten

Die Berechnung der Jahresgesamtkosten erfolgt nach VDI 2067. Bei der Ermittlung der Kosten werden drei Kostengruppen berücksichtigt.

- Kapitalgebundene Kosten (Kapitalkosten mit Zinssatz von 6%; bei 8 Projekten mit 5%)
- Bedarfs-(verbrauchs-) gebundene Kosten (Energiekosten)
- Betriebsgebundene Kosten (Instandsetzungs-, Wartungs- und Betriebskosten)

Für die kapitalgebundenen Kosten werden die ermittelten Investitionen aus der Kostenschätzung für betriebstechnische Anlagenteile herangezogen. Neben der Gliederung der Anlagenteile erfolgt die Zusammenstellung der rechnerischen Nutzungsdauer. Liegen hierfür keine Angaben nach VDI 2067 vor, so werden für die Anlagenteile nach gleichwertigem Standard Werte für die Nutzungsdauer übernommen. Der umbaute Raum für gebäudetechnischen Anlagen wird mit Baukosten in Höhe von 200 €/m³ angesetzt.

Die Berechnung der bedarfs-(verbrauchs-) gebundenen Kosten erfolgt über den Jahresheizenergiebedarf, der auf typischen Bedarfskennwerten oder dem rechnerischen Nachweis (EnEV- Verfahren) basiert. Die Brennstoff- und Energiepreise werden für den jeweiligen Standort des zu untersuchenden Objektes beim zuständigen Versorger oder Lieferant angefragt. Kosten für die Einbringung in Brennstofflager werden ebenfalls berücksichtigt.

Zu den betriebsgebundenen Kosten gehören u.a. der Aufwand für das Bedienen der Anlagen sowie die Kosten für Wartung und Instandsetzung. Quelle sind hier die entsprechenden Tabellen der VDI 2067.

Die Wirtschaftlichkeit von Investitionen kann mit verschiedenen Verfahren überprüft bzw. nachgewiesen werden. Ein gängiges Verfahren der dynamischen Wirtschaftlichkeitsberechnung ist die Annuitätenmethode, bei der alle während des Berechnungszeitraumes anfallenden Kosten mit Hilfe des Annuitätenfaktors a in auf Jahresbasis bezogene mittlere periodisch konstante Annuitätenkosten transformiert werden.

Dabei werden der Zins- und der Tilgungsanteil des zurückzuzahlenden Kapitals berücksichtigt. Als Berechnungszeitraum wird die Nutzungsdauer der Anlagenkomponenten gewählt. Die jeweilige Nutzungsdauer kann aus den dafür vorgesehenen Tabellen der VDI 2067 entnommen werden. Die Annuitätenmethode ist das übliche Verfahren im Rahmen der VDI 2067.

Alle Kostenangaben sind netto, d.h. ohne die gesetzliche Mehrwertsteuer. Fördergelder werden bei der Kennwertbildung nicht berücksichtigt.

Die Kennwertbildung erfolgt analog zu Kapitel 5.1 Investitionskosten. Dabei erfolgt der Bezug auf die jeweilige Größe, wie die Nettogrundfläche, Anzahl der Wohneinheiten sowie die Heizleistung der Gebäude. Auf der zu Grunde gelegten Matrix entstehen die nachfolgend aufgelisteten Abbildungen:

Bild 180	Spezifische Nettojahresgesamtkosten auf Basis einer Kostenschätzung bezogen auf die Nettogrundfläche (NGF)
Bild 181	Spezifische Nettojahresgesamtkosten auf Basis einer Kostenschätzung aufgeteilt nach den verschiedenen Investitionssektoren bezogen auf die Nettogrundfläche (NGF)
Bild 182	Spezifische Nettojahresgesamtkosten auf Basis einer Kostenschätzung bezogen auf die Nettogrundfläche (NGF) für die Kategorie „Sanierung Wohnsiedlung“
Bild 183	Spezifische Nettojahresgesamtkosten auf Basis einer Kostenschätzung bezogen auf die Nettogrundfläche (NGF) für die Kategorie „Neubau Wohnsiedlung“
Bild 184	Spezifische Nettojahresgesamtkosten auf Basis einer Kostenschätzung bezogen auf die Nettogrundfläche (NGF) für die Kategorie „Siedlung im ländlichen Raum“
Bild 185	Spezifische Nettojahresgesamtkosten auf Basis einer Kostenschätzung bezogen auf die Nettogrundfläche (NGF) für die Kategorie „Sanierung/Neubau Seniorenzentrum“

Bild 186 Spezifische Nettojahresgesamtkosten auf Basis einer Kostenschätzung bezogen auf die Wohneinheiten (WE)

Bild 187 Spezifische Nettojahresgesamtkosten auf Basis einer Kostenschätzung aufgeteilt nach den verschiedenen Investitionssektoren bezogen auf die Wohneinheiten (WE)

Bild 188 Spezifische Nettojahresgesamtkosten auf Basis einer Kostenschätzung bezogen auf die Heizleistung der Gebäude

Bild 189 Spezifische Nettojahresgesamtkosten auf Basis einer Kostenschätzung aufgeteilt nach den verschiedenen Investitionssektoren bezogen auf die Heizleistung der Gebäude

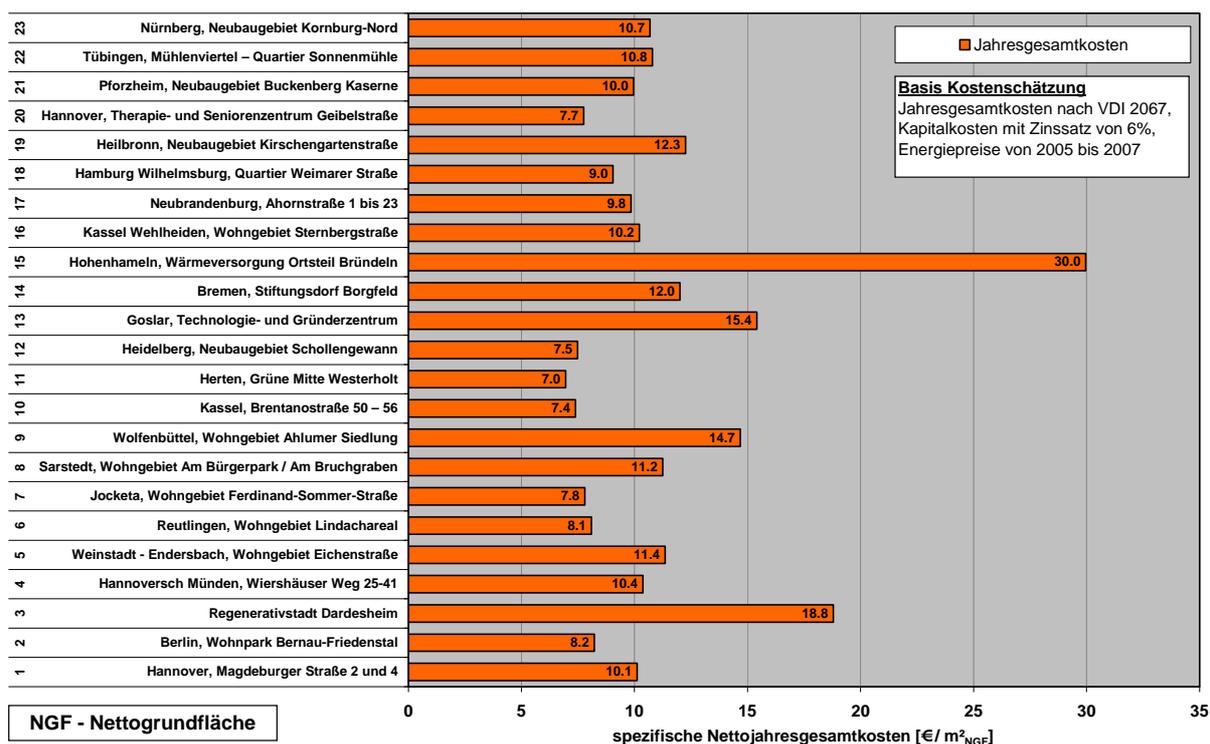


Bild 180 Spezifische Nettojahresgesamtkosten auf Basis einer Kostenschätzung bezogen auf die Nettogrundfläche (NGF)

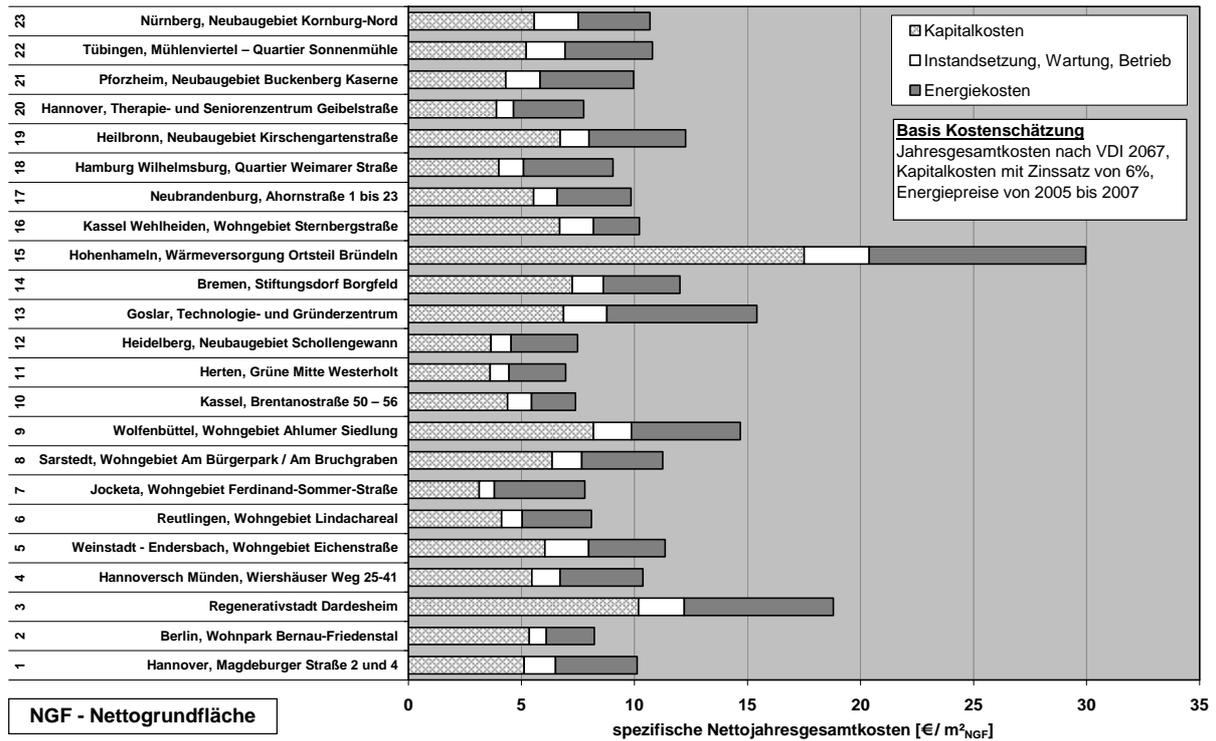


Bild 181 Spezifische Nettojahresgesamtkosten auf Basis einer Kostenschätzung aufgeteilt nach den verschiedenen Investitionssektoren bezogen auf die Nettogrundfläche (NGF)

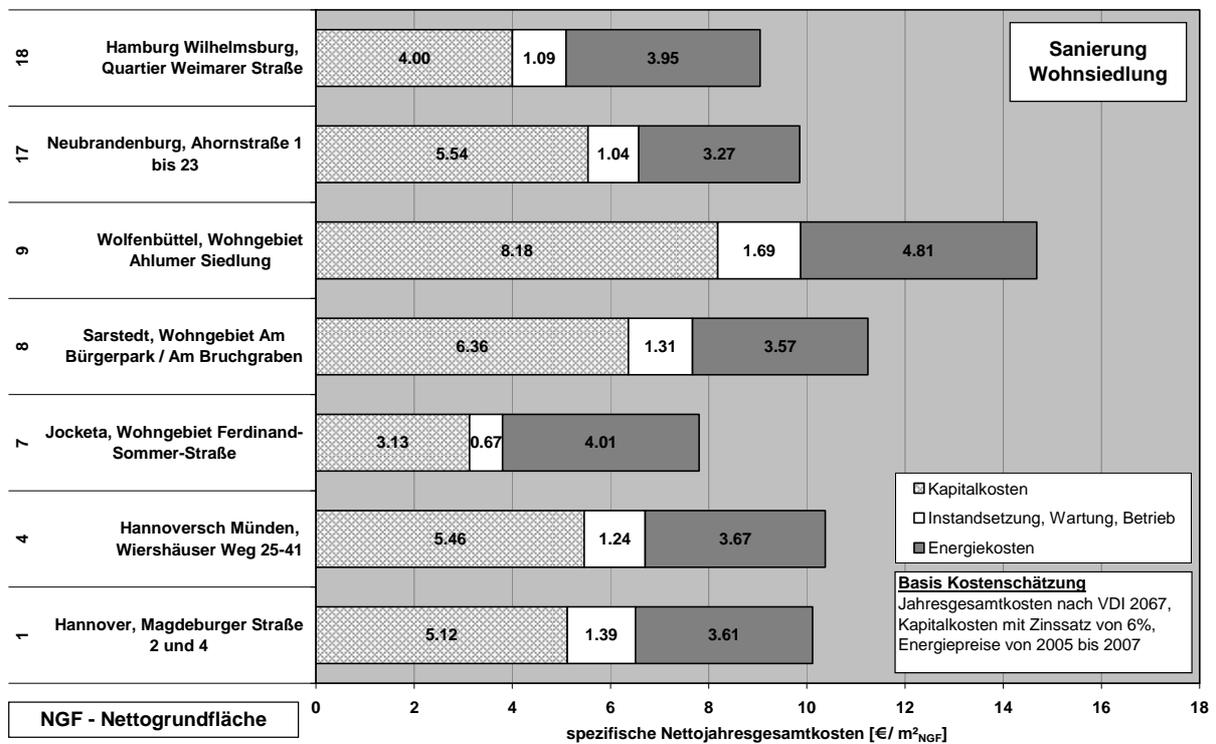


Bild 182 Spezifische Nettojahresgesamtkosten auf Basis einer Kostenschätzung bezogen auf die Nettogrundfläche (NGF) für die Kategorie „Sanierung Wohnsiedlung“

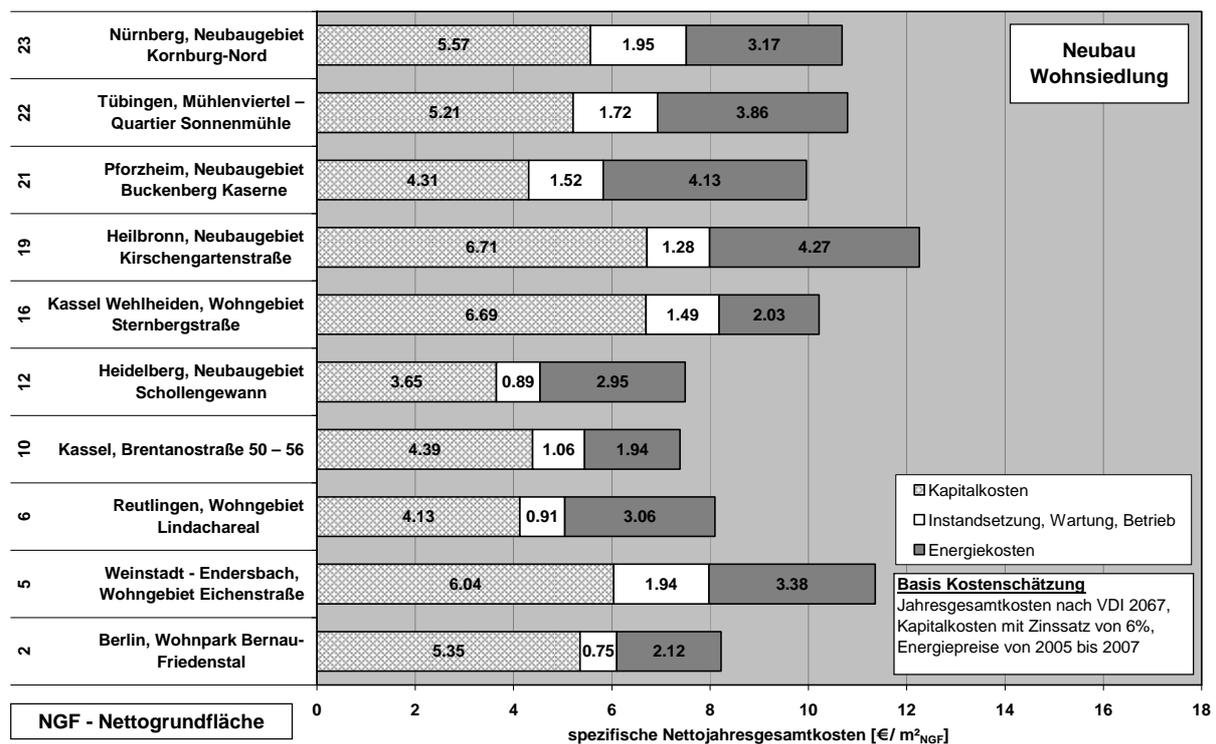


Bild 183 Spezifische Nettojahresgesamtkosten auf Basis einer Kostenschätzung bezogen auf die Nettogrundfläche (NGF) für die Kategorie „Neubau Wohnsiedlung“

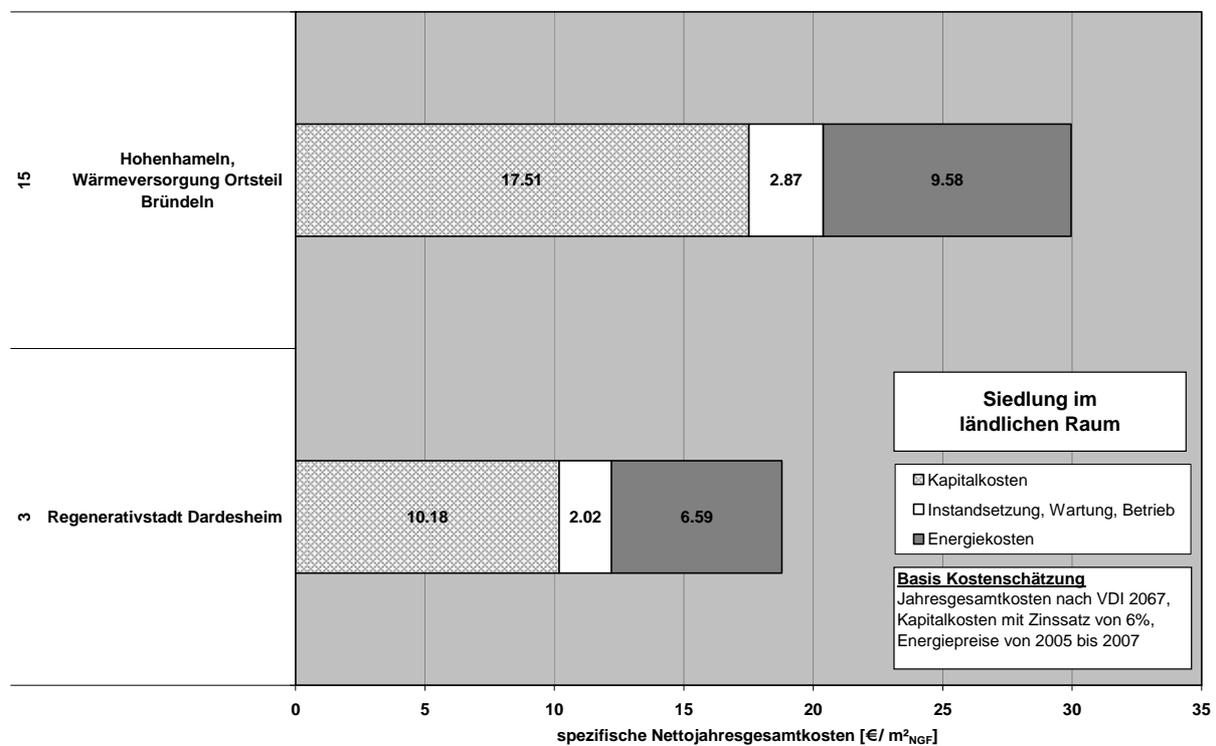


Bild 184 Spezifische Nettojahresgesamtkosten auf Basis einer Kostenschätzung bezogen auf die Nettogrundfläche (NGF) für die Kategorie „Siedlung im ländlichen Raum“

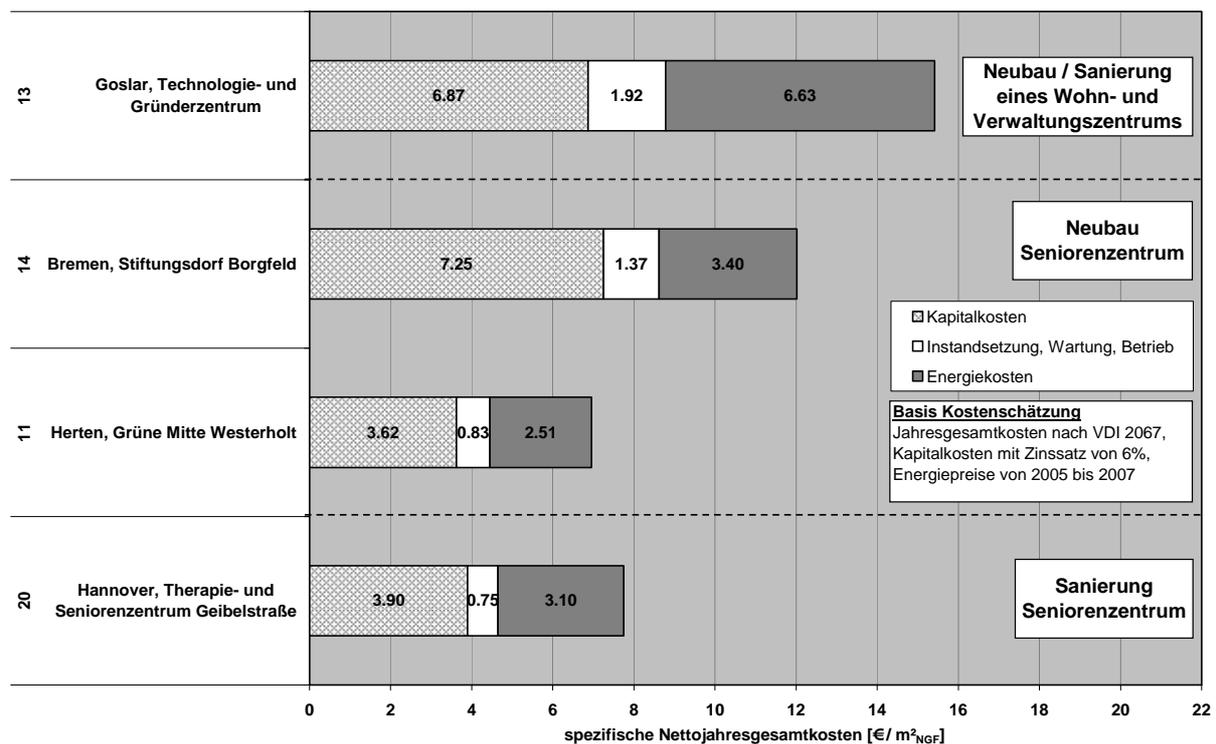


Bild 185 Spezifische Nettojahresgesamtkosten auf Basis einer Kostenschätzung bezogen auf die Nettogrundfläche (NGF) für die Kategorie „Sanierung/Neubau Seniorenzentrum“

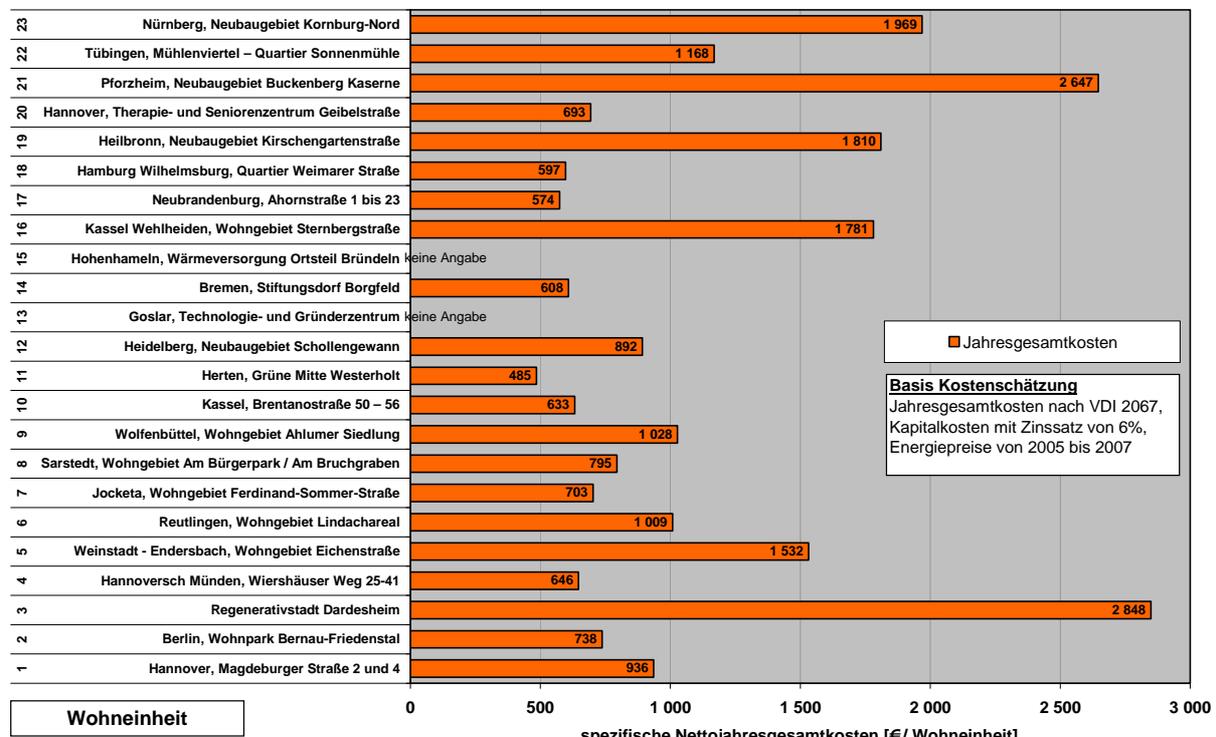


Bild 186 Spezifische Nettojahresgesamtkosten auf Basis einer Kostenschätzung bezogen auf die Wohneinheiten (WE)

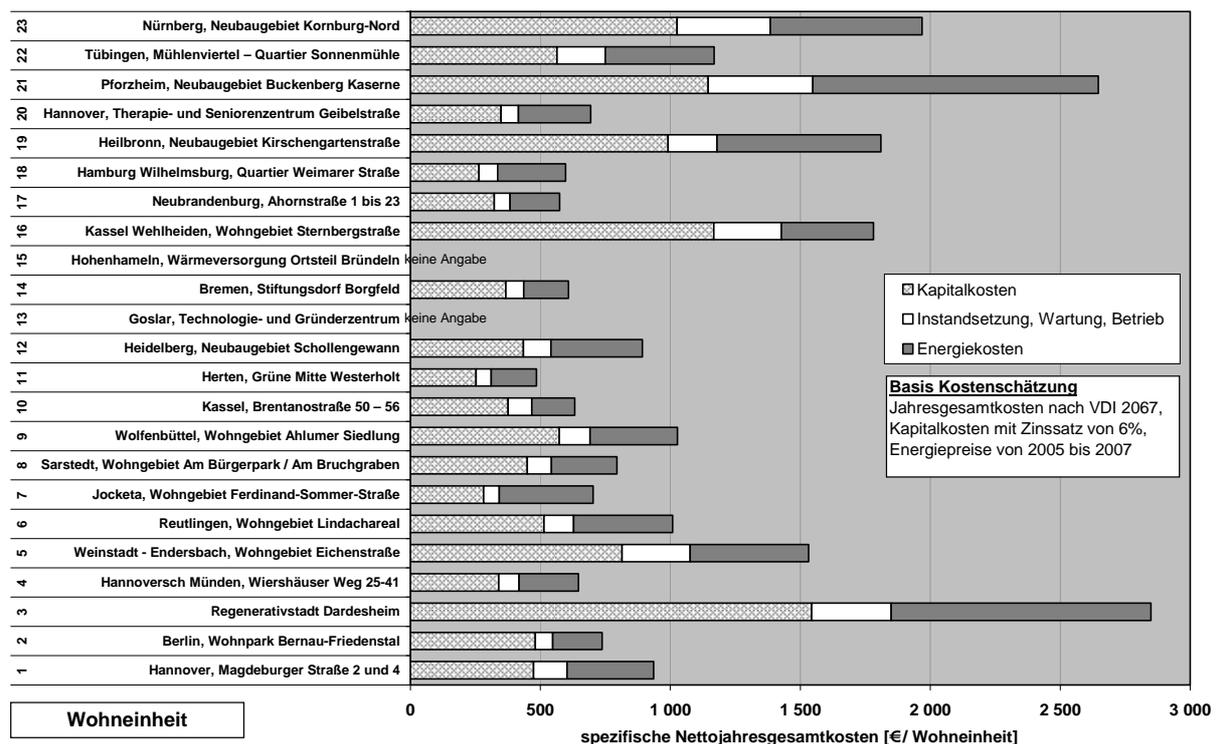


Bild 187 Spezifische Nettojahresgesamtkosten auf Basis einer Kostenschätzung aufgeteilt nach den verschiedenen Investitionssektoren bezogen auf die Wohneinheiten (WE)

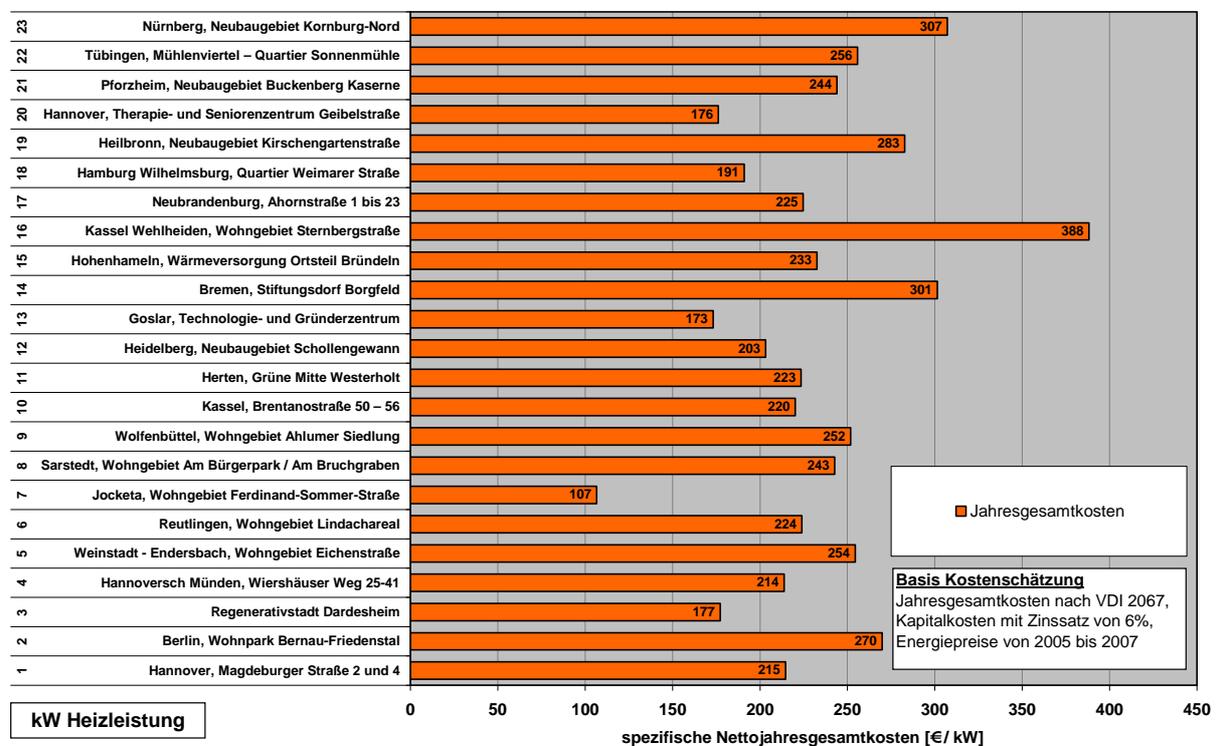


Bild 188 Spezifische Nettojahresgesamtkosten auf Basis einer Kostenschätzung bezogen auf die Heizleistung der Gebäude

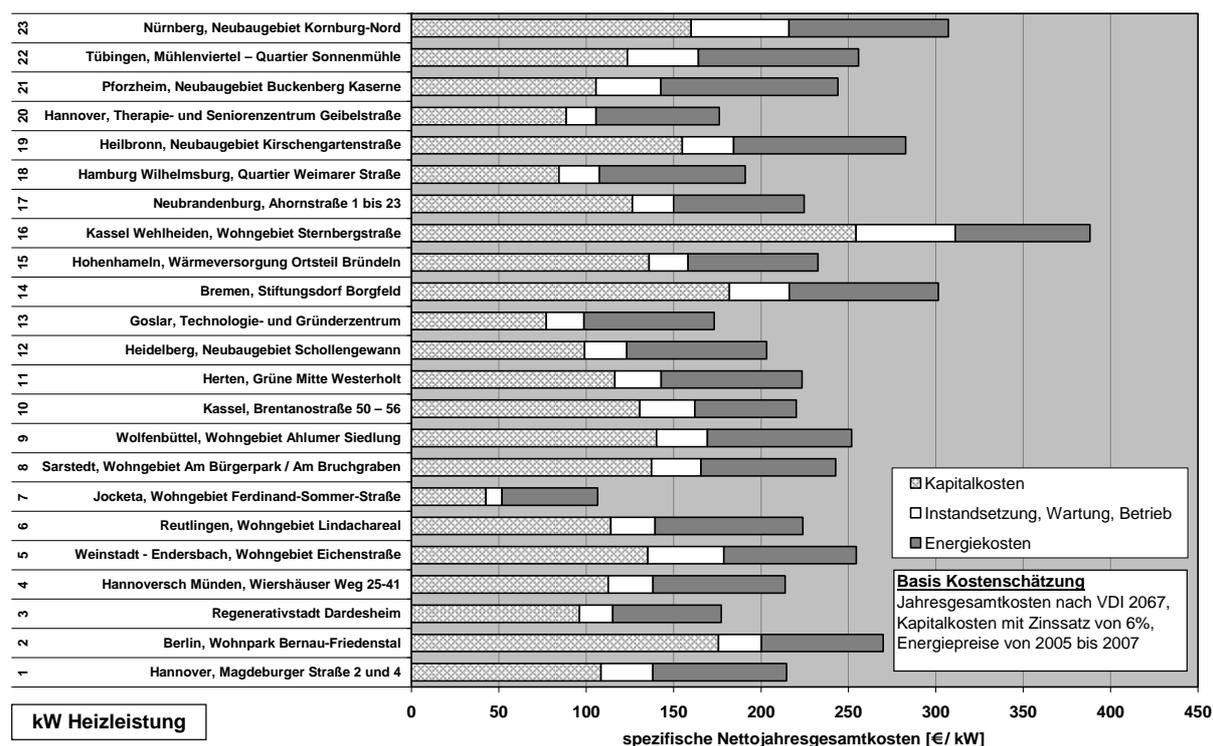


Bild 189 Spezifische Nettojahresgesamtkosten auf Basis einer Kostenschätzung aufgeteilt nach den verschiedenen Investitionssektoren bezogen auf die Heizleistung der Gebäude

5.3 Ökologische Kennzahlen

Für die ökologische Bewertung der Wärmeversorgung einer Wohnsiedlung kommt eine Vielzahl von Möglichkeiten in Frage. Innerhalb des Projektes CO₂- neutrale Wärmeversorgung von Wohnsiedlungen werden zwei Bewertungskriterien näher untersucht. In den durchgeführten Studien wird zum einen der Primärenergiebedarf Q_p sowie die ausgetoßene Menge des Treibhausgases Kohlendioxid (CO₂) pro Jahr ermittelt.

Primärenergiebedarf

Fossile Brennstoffe als Energieträger für die Wärmeversorgung von Gebäuden gehen als nicht erneuerbare Anteile in die Berechnung des Primärenergiebedarfs Q_p ein. Mit Hilfe von Primärenergiefaktoren f_p erfolgt die Umrechnung des Endenergiebedarfs (siehe Tabelle 57). Damit wird neben der Endenergie auch Aufwand für die vorgelagerten Prozessketten wie beispielsweise die Förderung, die Verarbeitung und den Transport erfasst. Zum Vergleich der Projekte untereinander wird der spezifische

Primärenergiebedarf, d.h. bezogen auf die Nettogrundfläche, berechnet. In Bild 190 sind für alle Grobanalysen die Primärenergiebedarfskennwerte abgebildet. Bild 191 zeigt den flächenbezogenen Primärenergiebedarf, aufgeteilt nach den verschiedenen Energieträgern.

Energieart	Primärenergiefaktoren [kWh _{Prim} /kWh _{End}]
Erdgas	1,1
Heizöl	1,1
Rapsöl *)	0,3
Holzpellets	0,2
Holz hackschnitzel	0,2
Fernwärme **)	0,63
Strom	2,7

*) keine Angabe in DIN V 18599 - Angabe einer sicheren Obergrenze in Anlehnung an regenerative Brennstoffe

***) hier standortspezifische zertifizierte Angabe der Stadtwerke Pforzheim

Tabelle 57 Primärenergiefaktoren [DIN V 18599-1, 2007]

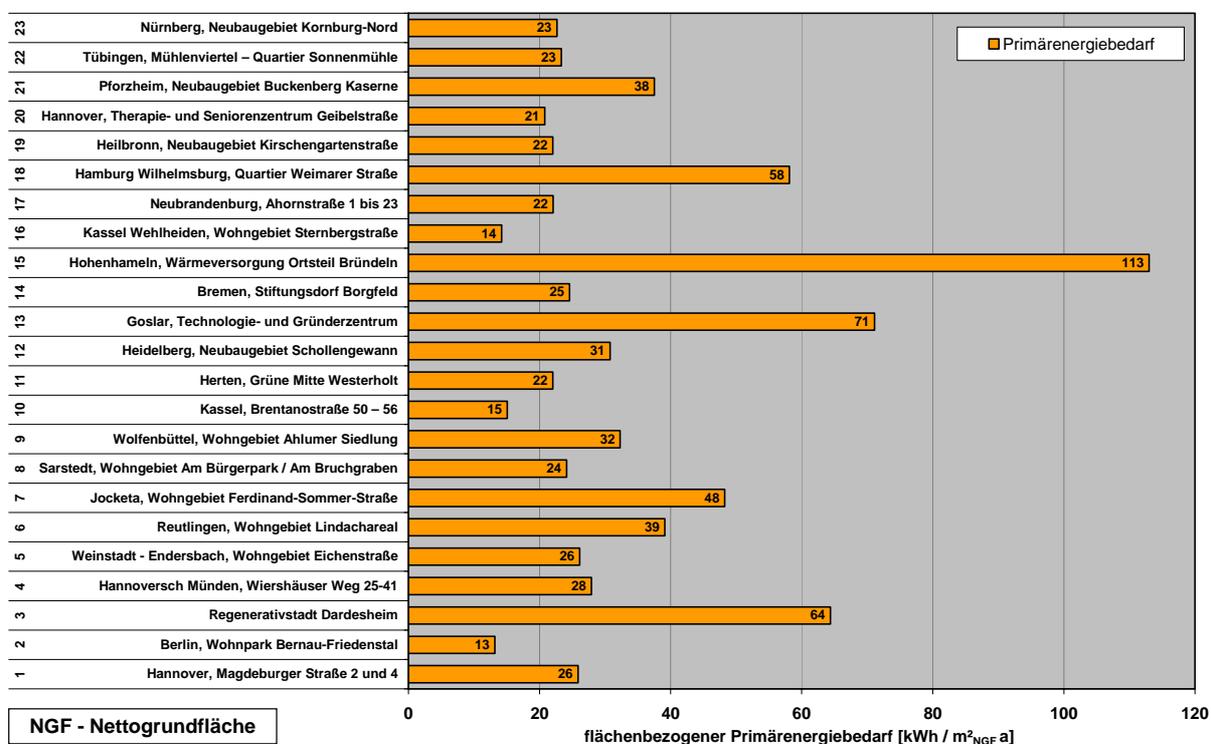


Bild 190 Spezifischer Primärenergiebedarf bezogen auf die Nettogrundfläche (NGF)

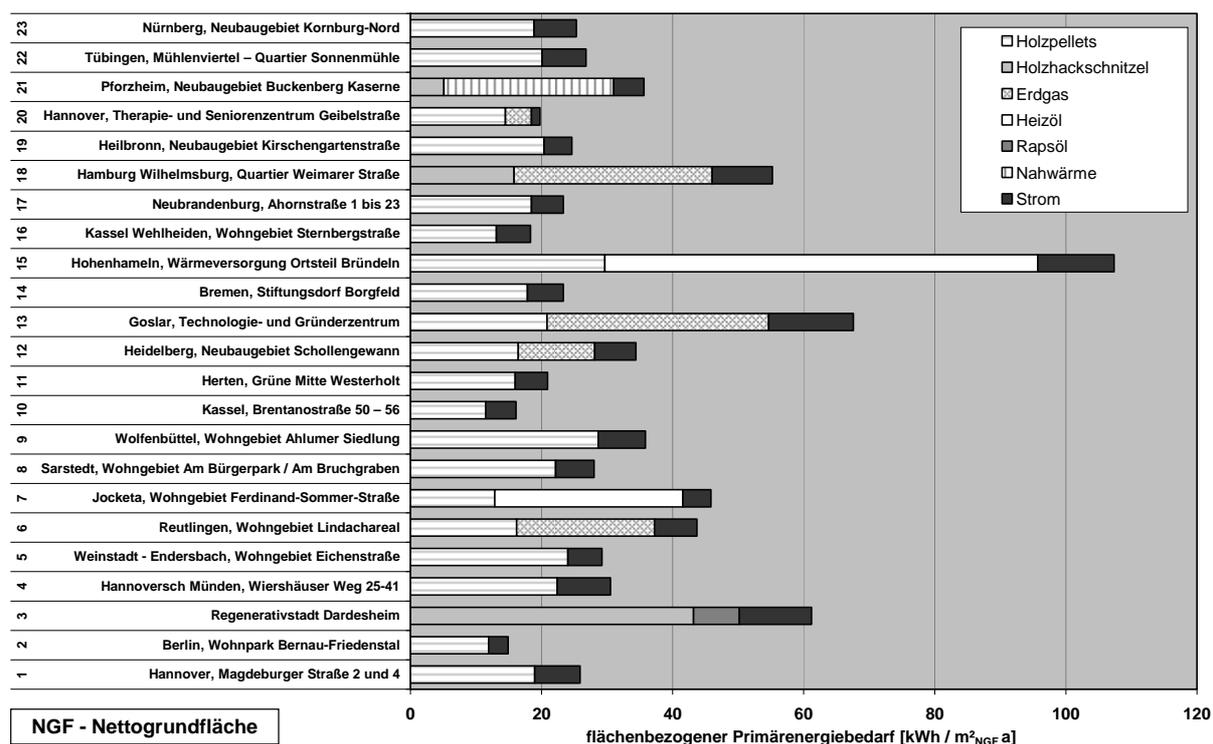


Bild 191 Spezifischer Primärenergiebedarf aufgeteilt nach den verschiedenen Energieträgern bezogen auf die Nettogrundfläche (NGF)

CO₂- Emissionen

Einen Indikator für die Umweltbelastung stellt die Menge des durch den Energieverbrauch emittierten CO₂-Äquivalents m_{CO_2} dar. Die Kohlendioxid-Emissionen werden mit Hilfe von CO₂- Äquivalentkennzahlen und dem Endenergiebedarf ermittelt (siehe Tabelle 58). Damit werden auch die anfallenden CO₂- Emissionen für die vorgelagerten Prozessketten wie beispielsweise die Förderung, die Verarbeitung und den Transport erfasst. Bei der Verbrennung von z.B. Holz (Holzhackschnitzel, Holzpellets, Scheitholz) wird nur so viel CO₂ freigesetzt, wie zum Entstehen der Holzmasse während des Pflanzenwachstums durch Photosynthese zuvor aus der Atmosphäre aufgenommen worden ist, siehe Bild 192. Hinzu kommt ein Anteil für Holzgewinnung, Brennstoffherstellung und Transport.

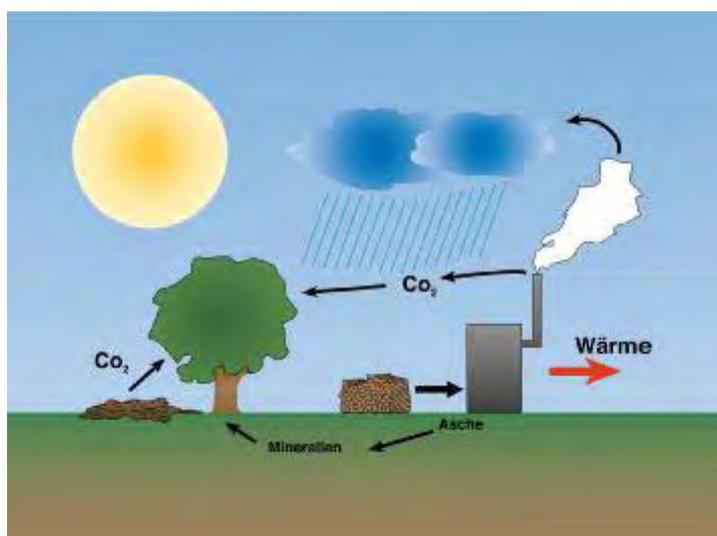


Bild 192 Kohlendioxid-Kreislauf bei Bäumen und Pflanzen

Zum Vergleich der Projekte untereinander werden die spezifischen CO₂- Emissionen auf die Nettogrundfläche bezogen. In Bild 193 sind für alle Grobanalysen die CO₂- Emissionskennwerte abgebildet. Bild 194 zeigt die flächenbezogenen CO₂- Emissionen, aufgeteilt nach den verschiedenen Energieträgern.

Energieart	Treibhausgase CO ₂ - Äquivalent [g/kWh _{End}]
Erdgas	249
Heizöl	303
Rapsöl	110
Holzpellets	42
Holz hackschnitzel	35
Nahwärme *)	157
Strom	647

*) Nahwärme mit 30% KWK- Anteil (Stromgutschrift für Kohlestrom)

Tabelle 58 CO₂- Äquivalent verschiedener Energieträger und Energieversorgungen berechnet mit GEMIS Version 4.3 [IWU, 2006]

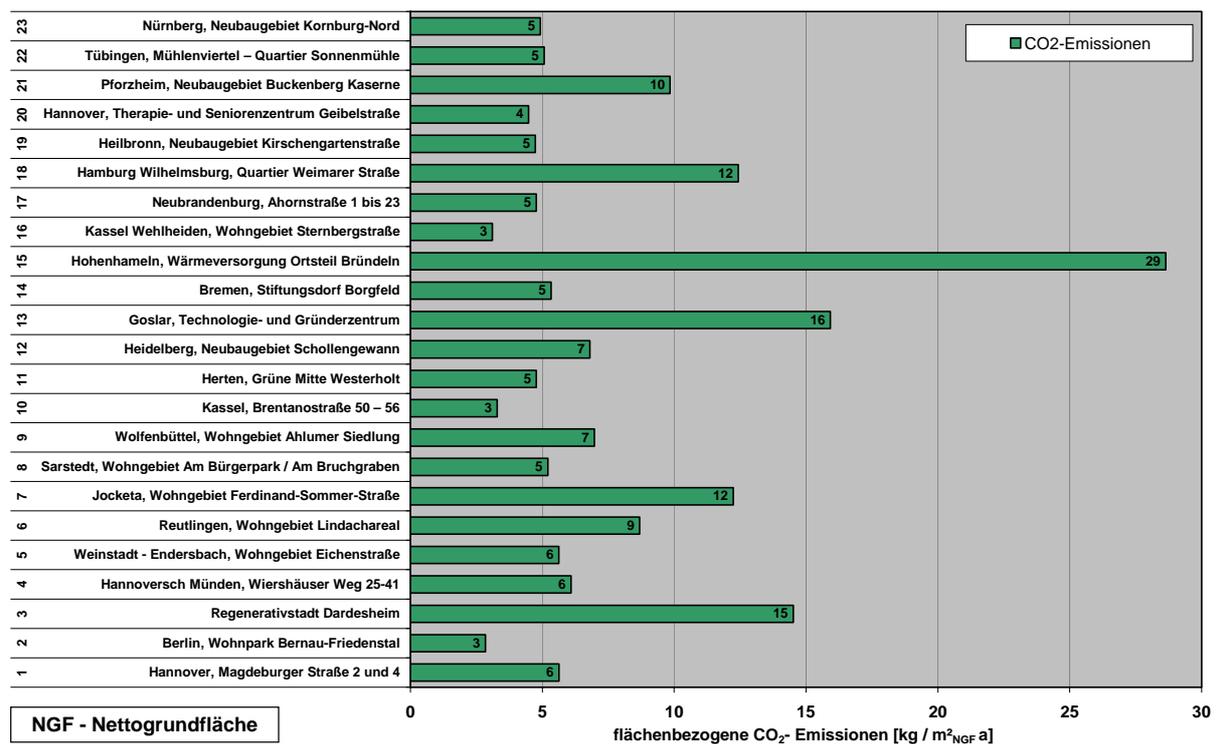


Bild 193 Spezifische CO₂- Emissionen bezogen auf die Nettogrundfläche (NGF)

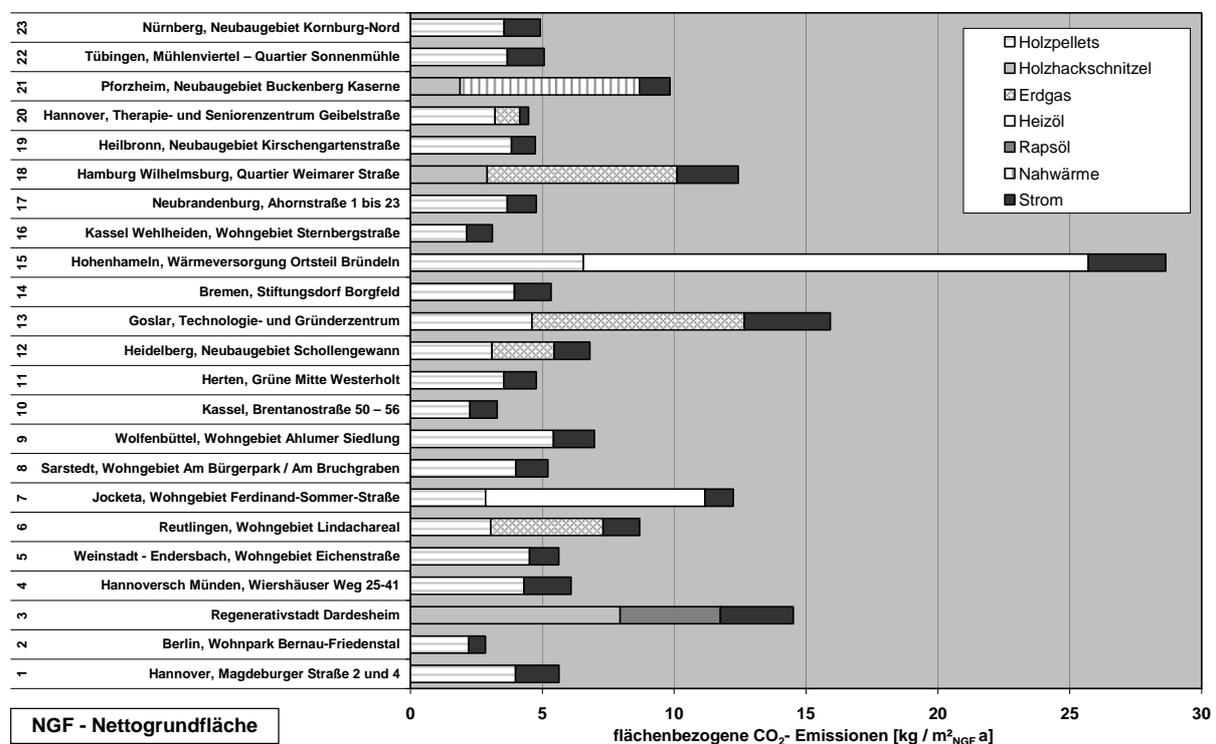


Bild 194 Spezifische CO₂- Emissionen aufgeteilt nach den verschiedenen Energieträgern bezogen auf die Nettogrundfläche (NGF)

6 REDUZIERUNG DES PRIMÄRENERGIEBEDARFS UNTER BERÜCKSICHTIGUNG DER WIRTSCHAFTLICHKEIT (IBP)

6.1 Einleitung

Für die Bereitstellung von Heizenergie für Raumwärme und Trinkwarmwasserbereitung gewinnt die Nutzung von regenerativer Energie zunehmend an Bedeutung. Der gesamte Endenergieverbrauch (EEV) im Jahr 2007 betrug in Deutschland 8.581 Petajoule (dies entspricht rd. 2.384 TWh/a) [BDEW, 2008]. Mit einem Anteil von rd. 835 PJ (232 TWh) wurde hierbei bereits 9,7% durch Erneuerbare Energien gedeckt. Die Verwendung der Erneuerbaren Energiequellen erfolgte dabei zu 39% für die Stromerzeugung, 40% für den gesamten Wärmesektor und zu 21% für Kraftstoffe.

Für die Beheizung und Trinkwarmwasserbereitung in Wohngebäuden (ohne sonstige Prozesswärme) wurden im Jahr 2007 rd. 504 TWh Endenergie aufgewendet, dies entspricht einem Anteil von 21% am Gesamtendenergieverbrauch [BDEW, 2008]. Im Sektor der privaten Haushalte wurde mit einem Endenergieeinsatz erneuerbarer Energien in Höhe von 65,8 TWh bereits 13% des dort entstandenen Energieverbrauchs gedeckt.

Unter Berücksichtigung der aktuellen gesamten Wohnfläche in Deutschland [DeStatis, 2008] von rund 3,353 Mrd. m² ergibt sich für den gesamten Bereich Haushalte (Wohngebäude) ein spezifischer Endenergieverbrauch für die Kategorien Heizwärme und Trinkwarmwasserbereitung von rd. 150 kWh/(m²a). Der spezifische Deckungsanteil erneuerbarer Energien beträgt somit 19,5 kWh/(m²a).

In der aktuellen Leitstudie 2008 zur Ausbaustrategie Erneuerbarer Energien [Nitsch et al, 2008] wird im Leitszenario 2008 davon ausgegangen, dass bei einer Abnahme des Endenergiebedarfes für den gesamten Sektor Wärme bis zum Jahr 2050 von derzeit 1.292 TWh/a [BDEW, 2008] auf 689 TWh/a eine gleichzeitige Erhöhung des regenerativen Anteils der Bedarfsdeckung von derzeit 138 TWh/a auf 333 TWh/a erfolgt. Die Voraussetzung hierfür ist, dass der gesamte Gebäudebestand bis zum Jahr 2050 energetisch saniert ist. Für den Bereich Raumwärme im Sektor der Haushalte (Wohngebäude) bedeutet dies eine Abnahme der spezifischen Endenergieverbräuche auf ca. 73 kWh/(m²a). Bei einem zukünftigen Anteil von Erneuerbarer

Energie in Höhe von 48% im Jahr 2050 und unter der Maßgabe, dass der Anteil der nahezu unbegrenzt zur Verfügung stehenden Solarenergie nicht beliebig anwächst (im Leitszenario 2008 wird von einem Deckungsanteil für Raumwärme aus Geothermie- und Solarenergienutzung von 39% ausgegangen), können demnach im Durchschnitt 35 kWh/(m²a) der Wohnfläche mit erneuerbaren Energien gedeckt werden.

Das Nutzungspotential von Biomasse für den Wärmemarkt ist bis zum Jahr 2050 laut Leitszenario 2008 weitgehend ausgeschöpft. Mit der Substitution fossiler Energieträger durch Erneuerbare Energie muss somit eine Reduktion des Energiebedarfes einhergehen.

6.2 Ziele

In der vorliegenden Studie sollen für ein Neubauvorhaben und einem Sanierungsvorhaben mit Hilfe der Untersuchung von anlagentechnischen und baulichen Varianten der Zusammenhang zwischen der Reduzierung des Nutzenergiebedarfs für Wohngebäude und der Nutzung erneuerbarer Energien aufgezeigt werden.

Langfristig lassen der weltweit steigende Energiebedarf und die daraus resultierende Nachfrage den Energiepreis weiter ansteigen. Daher ist eine Senkung des Energiebedarfs nicht nur eine umweltpolitische, sondern auch eine ökonomische Angelegenheit. In einem zweiten Schritt soll aus diesem Grund mit Hilfe von Wirtschaftlichkeitsanalysen die Sinnhaftigkeit verschiedener Maßnahmen überprüft und das Kosten-Nutzen-Verhalten dargestellt werden.

6.3 Methodik

Für die Untersuchungsobjekte wird für verschiedene Energieeffizienzmaßnahmen eine Energiebedarfsermittlung und die Berechnung der verursachten CO₂-Emissionen nach DIN EN 832 [EN 832, 2003], DIN V 4108-6 [DIN V 4108-6, 2003] und DIN V 4701-10 [DIN V 4701-10, 2003] durchgeführt. Anhand dieser Ergebnisse wird anschließend eine Wirtschaftlichkeitsanalyse durchgeführt.

Um aussagekräftige Vergleiche des Kostenverhaltens der Gebäude- und Technikausführungen durchführen zu können, wird die Jahresannuität verschiedener Maßnahmen bewertet. Die Jahresannuität, die auf einer dynamischen Wirtschaftlichkeitsberechnung beruht [VDI 2067, 2000], zeigt die jährlichen Kosten innerhalb eines Betrachtungszeitraumes auf und beinhaltet Investitionskosten, Kosten für Wartung und Instandhaltung sowie Energiekosten.

Um die ökonomische, energetische und ökologische Güte verschiedener Maßnahmen beurteilen zu können, werden die einzelnen Jahresannuitäten der Varianten, die Energiebedarfe sowie die CO₂-Emissionen miteinander verglichen und bewertet. Hierbei wird der Vergleich zu einer Standardvariante gezogen, der eine zeitgemäße, übliche Gebäude- und Technikausführung zu Grunde liegt. Dadurch wird es möglich, die Gesamteffizienz einer Maßnahme, die aus der wirtschaftlichen und energetischen Untersuchung hervorgeht, zu bewerten. Anschließend werden energetisch und wirtschaftlich sinnvolle Varianten identifiziert. Dabei wird sowohl die Bandbreite der Primär- und Endenergiebedarfe, als auch die durch die Maßnahmen entstehenden Kosten berücksichtigt.

CO₂-Emissionen

Für die Bewertung der CO₂-Emissionen werden CO₂-Äquivalente betrachtet. CO₂-Äquivalente beschreiben die Menge eines Treibhausgases, welche zum Treibhauseffekt beitragen, und stellen somit einen Indikator für das klimarelevante Schädigungspotential dar. Das Treibhauspotential ist die Treibhauswirkung eines Treibhausgases bezogen auf das Gas CO₂. Die verschiedenen Treibhausgase haben eine unterschiedliche Wirkungscharakteristik sowie eine unterschiedliche Verweildauer in der Atmosphäre, daher muss das Treibhauspotential als ein zeitliches Integral über einen Betrachtungszeitraum ermittelt werden, welcher üblicherweise 100 Jahre beträgt. In das CO₂-Äquivalent wird der gesamte Lebenszyklus inklusive Transporte und Materialvorleistungen, jedoch ohne Entsorgung mit einbezogen. Für den erneuerbaren Energieträger Holz wird jedoch nur der CO₂-Ausstoß impliziert, der durch die Bereitstellung des Energieträgers verursacht wurde. In Tabelle 59 sind die verschiedenen verwendeten CO₂-Äquivalente gemäß [GEMIS] aufgeführt.

Tabelle 59 CO₂-Äquivalente gemäß GEMIS, Version 4.1.3

		Holzpellets	Gas	Strom
CO ₂ -Äquivalent	[g/kWh _{End}]	43	247	683

6.4 Beschreibung der Projekte

Für die Untersuchung werden zwei Projekte aus dem Forschungsvorhaben "CO₂-neutrale Wärmeversorgung für Wohnsiedlungen" ausgewählt. Hierbei sollen die Studien an einem Neubauvorhaben und einem Sanierungsvorhaben durchgeführt werden.

6.4.1 Neubauvorhaben Kassel

Gegenstand der Untersuchung ist die geplante Wohnanlage in der Brentanostraße 50-56 in Kassel. Der Gebäudekomplex ist in vier Bauabschnitte aufgeteilt. Für die energetischen und ökonomischen Berechnungen wird der zweite und dritte Bauabschnitt ausgewählt, da hierfür eine detaillierte Planung, sowie ein energetisches Konzept vorliegen. Der hier untersuchte Neubau besteht aus 4 Mehrfamilienreihenhäusern, mit insgesamt 32 Wohneinheiten. Die Gebäude sind voll unterkellert und bestehen aus drei Vollgeschossen und einem ausgebauten Dachgeschoß. Bild 195 zeigt die Nordansicht für den fertig gestellten Rohbau des zweiten Bauabschnittes (Hausnummer 54 und 56).



Bild 195 Fotografische Aufnahme des Rohbaus, Brentanostraße 54-56, Kassel.

Die Gebäude haben gemäß vorliegendem Energieausweis [Steube, 2004] insgesamt ein Brutto-Volumen von 9.016,2 m³, eine wärmeübertragende Umfassungsfläche von 3.479,7 m², sowie ein A/V_e-Verhältnis von 0,39 m⁻¹. Die Wohnfläche der untersuchten Gebäude beträgt rd. 2.560 m².

Tabelle 60 Wärmetechnische Kenndaten der Hüllflächenbauteile im Planungszustand

Bauteil/Konstruktion	Orientierung Neigung	Fläche A m ²	U-Wert W/(m ² K)
Dach waagrecht	N0,0°	73,96	0,27
Dachschrägen	N0,0°	315,93	0,18
Außenwand MW Hlz d=24 cm EG-2OG	N90,0°	195,67	0,21
Außenwand MW Hlz d=24 cm EG-2OG	S90,0°	157,11	0,21
Außenwand MW Hlz d=24 cm EG-DG	O90,0°	134,5	0,21
Außenwand MW Hlz d=24 cm EG-DG	W90,0°	120,31	0,21
Außenwand PPW2/ DG	N90,0°	72,22	0,35
Außenwand PPW2/ DG	O90,0°	7,37	0,35
Außenwand PPW2/ DG	S90,0°	86,42	0,35
Außenwand PPW2/ DG	W90,0°	8,78	0,35
Fenster/ Mauerwerkswand	N90,0°	78,65	0,9
Fenster/ Holzständerwand	N90,0°	20,8	0,9
Fenster/ Holzständerwand	O90,0°	6,24	0,9
Fenster/ Mauerwerkswand	S90,0°	122,58	0,9
Fenster/ Holzständerwand	S90,0°	49,61	0,9
Fenster/ Mauerwerkswand	W90,0°	12,78	0,9
Fenster/ Holzständerwand	W90,0°	6,24	0,9
Außentür	N90,0°	5,06	2
Decke zum unbeheizten Keller	0,0°	400,12	0,21

Der berechnete Transmissionswärmeverlustkoeffizient der Hüllfläche beträgt 0,35 W/(m²K) und repräsentiert dabei einen sehr guten Wärmedämmstandard. In Tabelle 60 sind die im geplanten Zustand der Gebäude ermittelten U-Werte der Hüllflächenbauteile zusammengefasst.

Die technische Gebäudeausrüstung wird im Abschnitt 6.5.1 erläutert. In allen Varianten, bis auf eine Grundvariante werden für die Wärmeübergabe Fußbodenheizungen eingesetzt.

Die Trinkwarmwasserbereitung wird über so genannte Frischwasserstationen gewährleistet, welche das Trinkwarmwasser im Durchlaufprinzip bereitstellen.

6.4.2 Bestandsgebäude Hannoversch' Münden

Bei dem betrachteten Gebäudekomplex handelt es sich um drei freistehende Mehrfamilienhäuser, die in den 1920er Jahren erstellt wurden, sowie um ein Bürogebäude aus den 1970er Jahren. Die folgenden beiden Bilder zeigen einen Teil eines Mehrfamilienhauses und das Verwaltungsgebäude.



Bild 196 Westansicht des Mehrfamilienhauses WW 35-41



Bild 197 Südansicht des Nichtwohngebäudes WW 27

Zwei der drei Wohngebäude bestehen aus je drei beheizten Geschossen, das dritte Gebäude aus einem drei- und einem viergeschossigen Teil. Zusätzlich existieren in jedem der drei Wohngebäude ein unbeheiztes Kellergeschoss sowie ein unbeheizter Dachraum, welche sich außerhalb der thermischen Hülle befinden.

Die Nutzfläche der Mehrfamilienhäuser von 3.282 m² ist auf 49 Wohneinheiten und Treppenhäuser verteilt, das beheizte Bruttovolumen dieser Gebäude beträgt 11.841 m³. Der zweistöckige Bürobau mit Flachdach hat 396 m² Nutzfläche bei einem Bruttovolumen von 1.486 m³. Im Jahr 2005 wurde das Untergeschoß des Bürobaus um einen Heiz- und Pelletlagerraum erweitert. Zusätzlich befinden sich im Untergeschoß beheizte wie unbeheizte Lagerräume sowie Sanitärbereiche und Verkehrsflächen.

Die Hauptnutzungen der Räume im Erdgeschoss bestehen größtenteils aus Büronutzungen, denen die üblichen Sanitärbereiche, Küchenräume und Verkehrsflächen angeschlossen sind. Die Wohngebäude weisen die charakteristischen Nutzungen dieser Gebäudetypen auf und beschränken sich auf Wohnbereiche, Treppenhäuser sowie unbeheizte Lagerflächen im Kellergeschoß.

Die Gebäudebezeichnungen WW 25, WW 27, WW 29-33 und WW 35-41 leiten sich aus der jeweiligen Hausnummer ab und werden im Folgenden zur Identifikation der einzelnen Häuser verwendet.

Bild 198 zeigt einen Lageplan des Gebäudekomplexes.

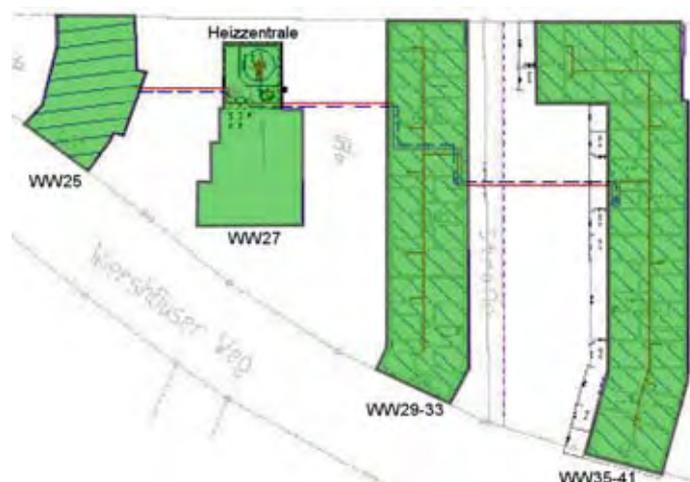


Bild 198 Lageplan der Gebäude (Mehrfamilienhäuser WW 25, WW 29-33, WW 35-41, sowie Verwaltungsbau WW 27)

Gebäudehüllfläche

Die Gebäudehüllfläche des Gebäudekomplexes wurde im Jahr 2005 teilweise saniert. Im Zuge dieser Sanierung sind die aus einem zweischaligen Mauerwerk bestehenden Außenwände mit einem 10 cm dicken Wärmedämmverbundsystem aus Polystyrol-Hartschaum mit einer Wärmeleitfähigkeit von 0,035 W/(mK) ausgestattet worden. Die oberste Geschossdecke ist im begehbaren Bereich mit einer 10 cm starken Dämmung aus extrudiertem Polystyrolhartschaum und im nicht begehbaren Bereich mit einer 12 cm starken Mineralfaser-Dämmung versehen. Eine 10 cm starke Mineralfaserschicht dämmt innen die Gaubenwände und das Steildach. Der Sockel sowie die Kellerdecke sind ungedämmt, ebenso die Außenwände des Bürogebäudes. Der Anbau an dieses Gebäude ist mit dem oben genannten Wärmedämmverbundsystem ausgestattet. Das Flachdach ist als nicht belüftetes Dach ausgeführt, das mit einer 6 cm starken Wärmedämmung (WLG045) versehen ist. In Tabelle 61 sind die Wärmedurchgangskoeffizienten der beschriebenen opaken Bauteile aufgeführt.

Tabelle 61 Auflistung der Wärmedurchgangskoeffizienten opaker Bauteile der Gebäudehülle

Name	Bezeichnung	U-Wert [W/m ² K]
AW1	Außenwand Neubau Bürogeb.	0,25
AW2	Außenwand Altbau Bürogeb.	1,47
AW6	Außenwand Whg Sockel	1,13
AW7	Außenwand Whg saniert	0,25
AW8	Außenwand Whg Gaube	0,39
FUU1	Fußboden gg. unbeheizt Whg	1,20
OG1	oberste Geschossdecke - trittfest	0,20
OG2	oberste Geschossdecke - Mineralfaser	0,18
DA1	Flachdach	0,56
DA2	Satteldach	0,25

Die Fenster bestehen fast ausschließlich aus einer Zweifach-Wärmeschutzverglasung und weisen einen Wärmedurchgangskoeffizienten von 1,3 W/(m²K) auf. Die einzige Ausnahme befindet sich in dem Wohngebäude WW35-41, in dem in Nord- und Südrichtung noch kleine Fensterflächen mit einem U-Wert von 2,5 W/(m²K) vorzufinden sind.

Anlagentechnik

Neben der Gebäudehüllfläche wurde auch die Anlagentechnik der vier Gebäude im Jahre 2005 saniert. Alle Anlagenkomponenten, von der Wärmeerzeugung bis zur Übergabe in die Wohnungsverteilungen, sind ausgetauscht worden.

Die Gebäude werden zentral über einen Kesselverbund mit Wärme versorgt. Hierzu dient ein Holzpelletkessel sowie zwei Gas-Brennwertthermen zur Spitzenlastdeckung. Diese befinden sich in der neu errichteten Heizzentrale im Bürogebäude WW 27. Von dort werden die einzelnen Gebäude über ein Nahwärmenetz an die Zentrale angebunden und mit Wärme versorgt.

Der Führungskessel der Mehrkesselanlage ist ein Holzpelletkessel (Typ: Turbomatic 100 - Hersteller: Fröling GmbH) mit einem Gebläsebrenner mit einer Nennleistung von 100 kW. Über eine automatische Förderschnecke erfolgt die Brennstoffzufuhr aus dem angrenzenden Holzpelletbunker. Die Spitzenlast wird über zwei Gas-Brennwertthermen (Typ: Modula II – Hersteller: Paradigma) mit 40 - bzw. 60 kW Nennleistung gedeckt. Die Schaltung der Wärmeerzeuger verläuft im Vorrangbetrieb. Zwei 1,5 m³ große Pufferspeicher (PS1502 - Hersteller: Paradigma) dienen der Wärmespeicherung in der Heizzentrale, zusätzlich befindet sich je ein 1 m³ fassender Pufferspeicher (PS1005 - Hersteller: Paradigma) in dem Gebäude WW 29-33 und WW 35-41. Bild 199 zeigt das Anlagenschema der Wärmeerzeugung.

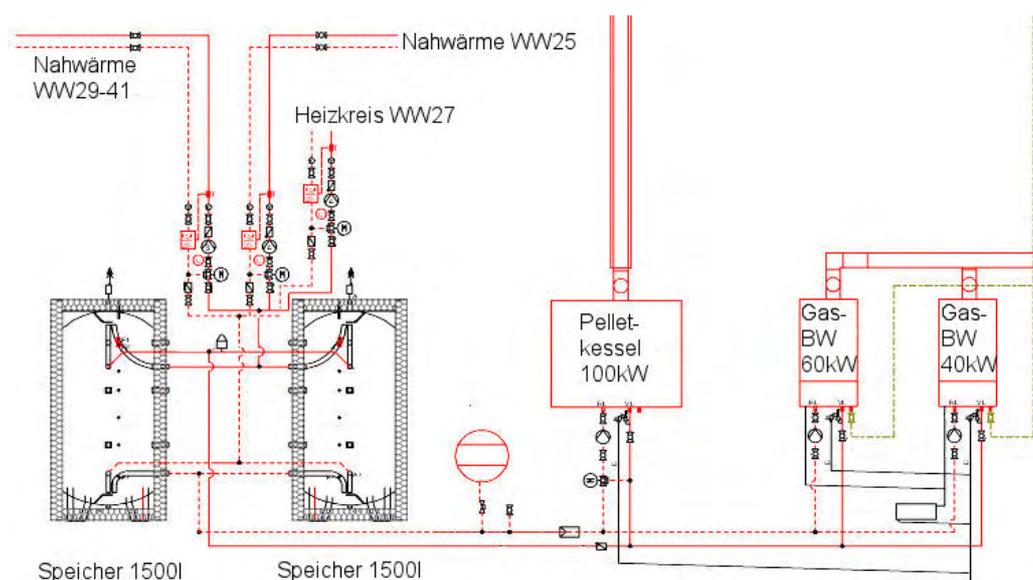


Bild 199 Anlagenschema der Heizzentrale

Die Wärmeübergabe der Warmwasserheizung erfolgt über Radiatorenheizkörper mit Thermostatventilen mit dem Auslegungsproportionalbereich von 2 Kelvin. Diese befinden sich überwiegend im Außenwandbereich.

Die Trinkwarmwasserbereitung inklusive der Zirkulation wird von Frischwasserstationen im Übergaberaum der Nahwärme im jeweiligen Gebäude übernommen. Frischwasserstationen bestehen aus Plattenwärmeübertragern, die die Wärme des Heizwassers im Durchlaufprinzip auf das Trinkwasser übertragen.

Die Belüftung der Gebäude erfolgt über Fenster, ein Nachweis über eine Luftdichtigkeitsprüfung liegt nicht vor. In den WC-Bereichen der Wohngebäude WW 25, WW 29-33 und WW 35-41 sind Abluftventilatoren eingebaut, die in ihrer Leistung und Laufzeit vernachlässigbar klein sind.

Verteilssystem Heizung und Trinkwarmwasser

Über das Nahwärmenetz versorgt die Heizzentrale im Gebäude WW 27 die Wohngebäude WW 25, WW 29-33 und WW 35-41. Der Wärmedurchgangskoeffizient dieser erdverlegten Rohrleitungen beträgt nach Herstellerangaben¹ 0,13 W/(mK). In den unbeheizten Kellergeschossen der Mehrfamilienhäuser befinden sich die Übergabestationen der Nahwärme. Bild 200 zeigt ein Schema, welches das Nahwärmenetz und die weitere Verteilung in den einzelnen Gebäuden darstellt.

Die Verteilleitungen für Heizung, Trinkwarmwasser und Zirkulation im Kellergeschoss sind nach den Mindestdämmschichtdicken gemäß Energieeinsparverordnung von 2004 gedämmt, was in diesem konkreten Fall einem Wärmedurchgangskoeffizienten von 0,28 W/(mK) entspricht [EnEV, 2004]. Die Steigleitungen sind nur zu 50% der nach Energieeinsparverordnung geforderten Mindestdämmschichtstärke gedämmt. Der Wärmedurchgangskoeffizient beträgt hier 0,4 W/(mK).

¹ Angaben von Lögstor Rör (Deutschland) GmbH, Rohrleitung St.37.0/P235GH

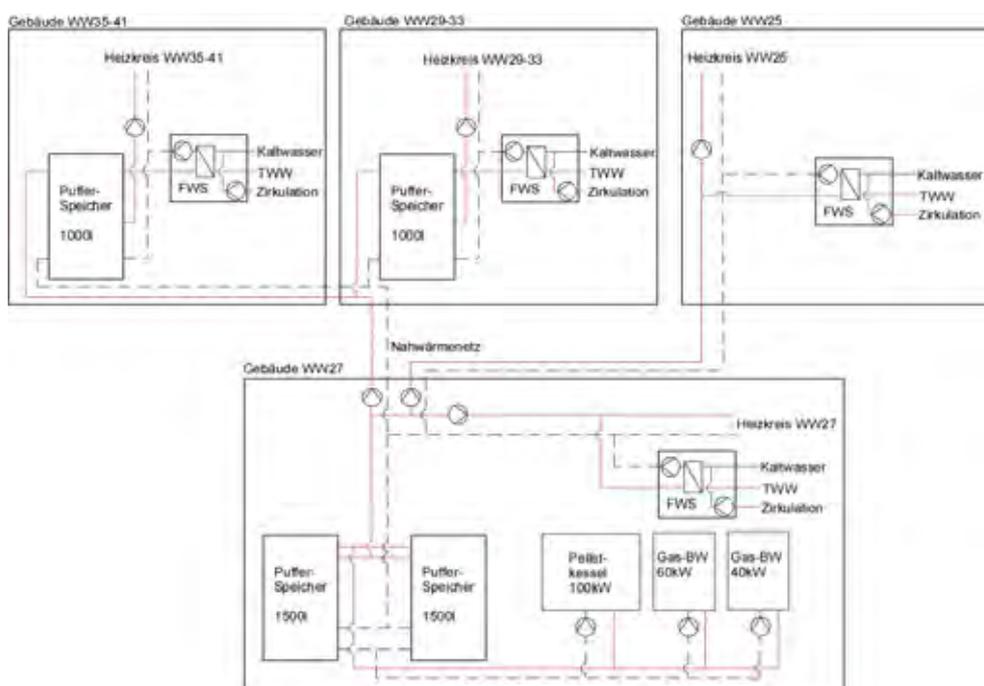


Bild 200 Schema der Wärmeverteilung

Die stockwerkweise Anbindung der Radiatoren erfolgt über aufputzverlegte, ungedämmte Ringleitungen in den Wohneinheiten, wobei die Strang- und Anbindeleitungen der Trinkwarmwasserversorgung den gleichen Wärmeschutz wie die Steigleitungen aufweisen. Im Bürogebäude verläuft die Verteilung analog hierzu.

Die Vor-Rücklauftemperaturen des Nahwärmenetzes betragen 80°C im Vorlauf und 60°C im Rücklauf, während die Auslegungstemperaturen der Warmwasserheizung in den verschiedenen Gebäuden 70°C im Vorlauf und 55°C im Rücklauf aufweisen.

6.5 Varianten

6.5.1 Neubauvorhaben Brentanostraße, Kassel

Das betrachtete Gebäude ist schon im geplanten Zustand mit einem hohen Dämmstandard ausgestattet, was eine Verbesserung der Gebäudehülle nicht zwingend erfordert. Deshalb wird die Untersuchung primär auf die Optimierung der Anlagentechnik ausgerichtet.

Die Anlagentechnik des Referenzfalls (Variante 1) besteht aus einem Gas-Brennwertkessel und einer Radiatorheizung. Der Transmissionswärmeverlustkoeffi-

zient (H_T') der Hüllfläche ist im Ausgangsfall 0,35 W/m²K. Im Folgenden werden insgesamt 12 Varianten mit der Basisvariante verglichen und energetisch sowie hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit beurteilt. Die Varianten 1 bis 8 basieren alle auf der Grundlage des Ausgangsfalls mit einem Transmissionswärmeverlustkoeffizient von $H_T' = 0,35$ W/m²K. Die Varianten 9 bis 12 sind mit einem noch höheren Dämmstandard ausgestattet ($H_T' = 0,25$ W/m²K). In der Variante 13 ist eine wesentlich schlechter gedämmte Hüllfläche mit $H_T' = 1,52$ W/m²K in Ansatz gebracht.

Eine Übersicht über die verschiedenen Konfigurationen liefert Tabelle 62.

Tabelle 62 Übersicht der Varianten

Varianten	H_T'			Anlagentechnik					
	0,25 [W/m ² K]	0,35 [W/m ² K]	1,52 [W/m ² K]	Heizkörper- Heizung	Fußboden- Heizung	Brennwert- kessel	Holzpellet- kessel	Solar- Anlage	WLA mit WRG
Referenz		X		X		X			
2		X			X	X			
3		X			X		X		
4		X			X		X	X	
5		X			X	X		X	
6		X			X	X			X
7		X			X		X		X
8		X			X	X		X	X
9	X				X	X			
10	X				X		X		
11	X				X	X			X
12	X				X	X		X	
13			X		X		X		

Die Varianten 3 bis 8 sind bis auf die Art der Wärmeerzeugung identisch mit Variante 2. Diese besteht in Variante 3 aus einem Holzpelletkessel. In Variante 4 wird der Holzpelletkessel mit einer Solaranlage ergänzt. In Variante 5 wird im Vergleich zu der Anlage von Variante 4 nur der Holzpelletkessel durch einen Gas-Brennwertkessel ersetzt. Die Varianten 6 bis 8 enthalten alle eine Wohnungslüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung. Dabei ist Variante 6 mit einem Gas-

Brennwertkessel ausgestattet und Variante 7 mit einem Holzpelletkessel. Die achte Variante verfügt zusätzlich zu dem Gas-Brennwertkessel und der Lüftungsanlage über eine thermische Solaranlage.

Die Varianten 9 bis 12 mit einem verbesserten Wärmeschutz entsprechen anlagentechnisch den Varianten 2, 3, 5 und 6. Um den Einfluss des Primärenergiefaktors zu untersuchen ist die Variante 13 mit einer Hüllfläche von dem Stand der 1970er Jahre sowie einem Holzpelletkessel versehen.

Die thermische Solaranlage besteht aus einer Kollektorfläche von ca. 100 m². Die Anlagengröße und die gelieferte Energie sind in jeder Variante gleich, was zu unterschiedlichen Deckungsanteilen führt. Der Anteil an der Warmwasserbereitung beträgt 5,39 kWh/(m²a), sowie für die Heizungsunterstützung 4,5 kWh/(m²a) zusätzlich. Dies führt zu einem Deckungsanteil von 34% für Warmwasserbereitung, sowie 13,5% für die Heizungsunterstützung. Abweichend hiervon beträgt in Variante 12 der Deckungsanteil für die Wohnungsheizung 20%.

Für alle Varianten wird ein Wärmebrückenverlustbeiwert von $\Delta U_{WB} = 0,05 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ bezogen auf die gesamte Hüllfläche des Gebäudes berücksichtigt.

6.5.2 Saniertes Gebäude Wiershäuser Weg, Hannoversch' Münden

Die energetische und ökonomische Effizienz eines zu sanierenden Gebäudekomplexes soll in verschiedenen Szenarien untersucht werden. Hierbei wird die Anlagentechnik sowie die Gebäudehülle in verschiedenen Ausführungen betrachtet.

Darstellung der verschiedenen Varianten

Als Referenz wurde eine Variante mit zeitgemäßen Anlagentechniken und Dämmstandards gewählt, die im Folgenden näher beschrieben werden. Dem Referenzgebäude liegt ein Transmissionswärmeverlustkoeffizient (H_T') von 0,59 W/(m²K) zu Grunde, der dem aktuellen Dämmstandard der betrachteten Gebäude entspricht. Die Wärmeerzeugung erfolgt über drei Gas-Brennwertkessel, die in der Heizzentrale aufgestellt sind.

Die Variante 2 stellt den Ist-Zustand des Gebäudekomplexes dar. Der Transmissionswärmeverlustkoeffizient ist ebenfalls wie in Variante 1 $0,59 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, die Wärmeversorgung erfolgt über einen Holzpelletkessel und zwei Gasbrennwertgeräten.

Die 3. Variante geht von einer ertüchtigten Gebäudehüllfläche aus. In dieser Variante ist $H_T' = 0,39 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, die Anlagentechnik entspricht dem Referenzfall.

In Variante 4 werden in Ergänzung zu Variante 3 die bei der Bestandsaufnahme vorgefundenen ungedämmten, bzw. nicht den Anforderungen entsprechenden Strang- und Anbindeleitungen gedämmt ($U_{\text{Rohr}} = 0,2 \text{ W}/(\text{mK})$).

Zusätzlich ist in den Varianten 3 und 4 eine Dichtigkeitsprüfung vorgenommen worden, so dass der freie Luftwechsel gemäß DIN V 4108-6 von $0,7\text{h}^{-1}$ auf $0,6\text{h}^{-1}$ gesenkt werden kann.

In Variante 5 soll das energetische, ökologische und ökonomische Verhalten bei dem zulässigen Grenzwert des Transmissionswärmeverlustkoeffizienten untersucht werden. Der bauliche Wärmeschutz wird hierbei bis zu dem zulässigen Grenzwert verschlechtert. Aus einem A/V_e Verhältnis von rd. 0,51 folgt ein maximal zulässiger Transmissionswärmeverlustkoeffizient von $H_T' = 0,83 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Da der bauliche Wärmeschutz mit real existierenden Konstruktionen modelliert wird, kann der exakte Grenzwert nicht erreicht werden. Mit der Modellierung eines schlechten Wärmeschutzes folgt ein $H_T' = 0,82 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

In allen Varianten wird die Wärmeversorgung durch eine Mehrkesselanlage sichergestellt. Der Deckungsanteil ist in allen Varianten gleich und beruht auf Angaben des Anlagenplaners [innovatec, 2005]. Der Grundlastkessel hat in jeder Variante einen Anteil von 80% an der Wärmeversorgung, während die beiden Spitzenkessel je einen Anteil von 10% bereitstellen. Der Holzpelletkessel wird zur Trinkwarmwasserbereitung ausschließlich in der Heizperiode betrieben. In den Sommermonaten wird die Trinkwarmwasserbereitung von den beiden Gasbrennwertthermen übernommen.

Zusätzlich zur Variation der Wärmeerzeuger wird für die Varianten 6, 7 und 8 eine thermische Solaranlage definiert.

Der Nutzenergiebedarf zur Trinkwarmwasserbereitung ist in allen Szenarien identisch und beträgt nach DIN V 4701-10 $12,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$.

Tabelle 63 zeigt die Unterschiede der verschiedenen Varianten.

Tabelle 63 Übersicht der Varianten

Variante	Dämmstandard:			Wärmeerzeugung		Verteilung	Solaranlage
	H _T '=0,59 [W/(m ² K)]	H _T '=0,39 [W/(m ² K)]	H _T '=0,82 [W/(m ² K)]	Pellet- kessel 100kW	Brennwert- kessel 100kW	U _R =0,2 [W/(mK)]	
1	X				X		
2	X			X			
3		X			X		
4		X			X	X	
5			X	X			
6	X				X		X
7	X			X			X
8		X			X	X	X

6.6 Energetische Bewertung

Randbedingungen

Der End- und Primärenergiebedarf, sowie der Heizwärmebedarf eines Gebäudes, werden mit dem Monatsbilanz-Verfahren nach DIN V 4108-6 [DIN V 4108-6, 2003], DIN EN 832 [EN 832, 2003] und DIN V 4701-10 [DIN V 4701-10, 2003] berechnet. Die Luftwechselrate wird mit $n = 0,6 \text{ h}^{-1}$ angesetzt und entspricht damit den Anforderungen an Neubauten mit vorgesehener Luftdichtigkeitsprüfung.

Für die an Erdreich angrenzenden Bauteile wird das so genannte Fx-Verfahren gemäß DIN V 4108-6 verwendet. Die Internen Wärmequellen sind mit 5 W/m^2 berücksichtigt.

Für die Berechnung beider Objekte wird der Klimadatensatz für die Region 9 gemäß DIN 4108-6 für Kassel verwendet.

Für alle betrachteten Fälle wird eine sechs Stunden andauernde Nachtabsenkung berücksichtigt. Hierbei wird während der Absenkphase eine minimale Innentemperatur von 15°C und ein Luftwechsel von $n = 0,6 \text{ h}^{-1}$ in Ansatz gebracht.

In der DIN V 4701-10 wird dem Anwender freigestellt, ob die aus der Lüftung zurück gewonnene Wärme im Heizwärmebedarf oder bei der Wärmeversorgungstechnik zu berücksichtigen ist. In der vorliegenden Studie werden die energetischen Effekte einer Wärmerückgewinnung nicht im Heizwärmebedarf, sondern bei der Betrachtung

der Anlagentechnik angerechnet. Dadurch werden sowohl der Nutzen der Lüftungswärmerückgewinnung als auch deren Aufwand in der gleichen Kenngröße Aufwandszahl des Gesamtsystems berücksichtigt.

6.6.1 Energetische Bewertung, Brentanostraße Kassel

Die Ergebnisse der Berechnungen sind in Tabelle 64 dargestellt.

Tabelle 64 Überblick der wichtigsten Ergebnisse für alle betrachteten Varianten

	Endenergiebedarf [kWh/m ² a]			Primärenergiebedarf [kWh/m ² a]			CO ₂ Emissionen [kg/m ² a]
	Heizung [kWh/m ² a]	Hilfsenergie [kWh/m ² a]	Summe [kWh/m ² a]	Heizung [kWh/m ² a]	Hilfsenergie [kWh/m ² a]	Summe [kWh/m ² a]	
Referenz: BWK 70/50°C	54,9	1	55,9	60,43	3,09	63,5	14,3
V2 Fbh + BWK	50,4	1,5	51,9	55,4	4,4	59,8	13,4
V3 Fbh + Pellet	67,7	2,58	70,28	13,5	7,8	21,3	4,7
V4 Fbh + Pellet + Solar	55,3	2,17	57,47	11	6,6	17,8	4
V5 Fbh + BWK + Solar	40,1	1,58	41,68	44	4,6	48,7	10,9
V6 Fbh + BWK + WLA	34,3	4,1	38,4	37,7	12,2	50	11,3
V7 Fbh + BWK + WLA	45,6	5,14	50,74	9	15,3	24,6	5,7
V8 Fbh + BWK + WLA + Solar	26,1	4,18	30,28	28,6	12,5	41,3	9,1
V9 WD-II + Fbh + BWK	39,7	1,4	41,1	43,7	4,1	47,8	10,7
V10 WD-II + Fbh + Pellet	56	2,4	58,4	11,19	7,1	18,3	4
V11 WD-II + Fbh + BWK + WLA	23,6	3,8	27,4	25,9	11,4	37,3	8,4
V12 WD-II + Fbh + BWK + Solar	29,3	1,48	30,78	32,2	4,34	36,6	8,2
V13 WD-0 + Fbh + Pellet	204,2	5,19	209,39	40,79	15,46	56,3	7,4

Vergleich der Varianten

In Bild 201 sind die errechneten Endenergiebedarfe der Varianten 2 – 8 im Vergleich zur Referenz dargestellt. Der Endenergiebedarf berücksichtigt dabei die für die Beheizung und Trinkwarmwasserbereitung notwendige Brennstoffenergie, sowie den Strombedarf für Pumpen, Ventilatoren, Brenner und andere Hilfsantriebe.

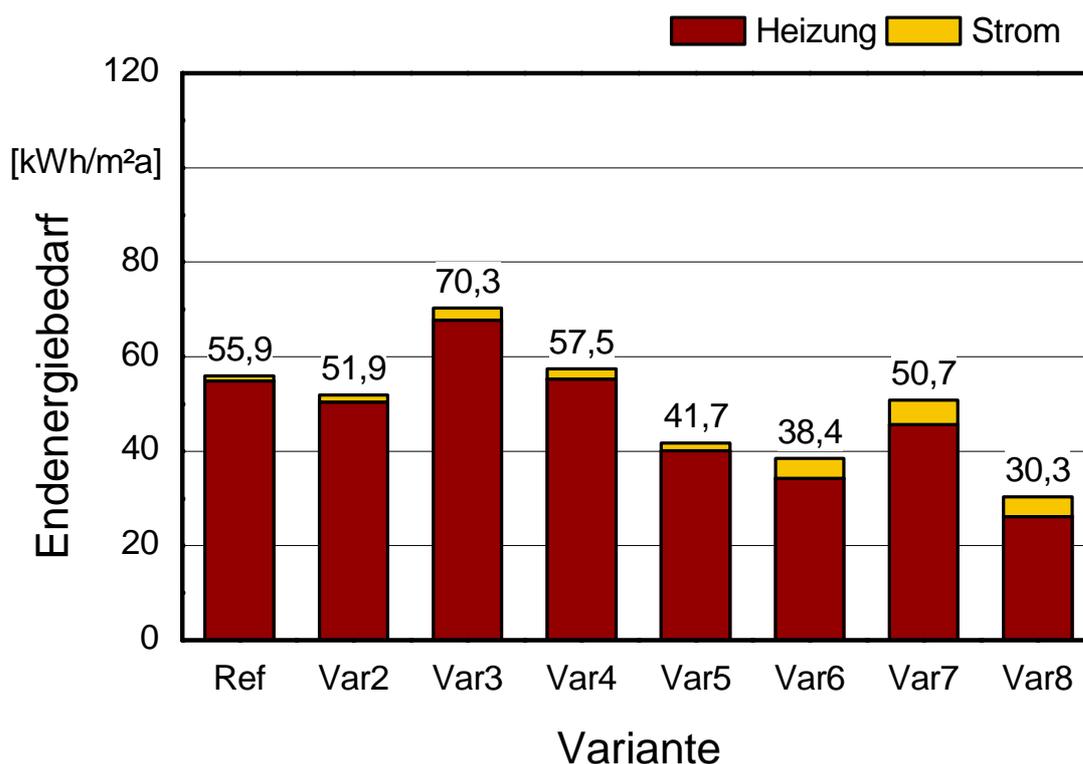


Bild 201 Vergleich der Endenergiebedarfe verschiedener Varianten

Die Unterschiede resultieren aus den verschiedenen Anlagentechniken, der bauliche Wärmeschutz ist bei dieser Betrachtung identisch ($H'_{\tau}=0,35 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$). Die Bandbreite der Energiebedarfe reicht von 70,3 kWh/(m²a) für ein Gebäude mit Holzpelletkessel bis zu 30,3 kWh/(m²a) für eine Kombination aus Brennwertkessel, thermischer Solaranlage und Wohnungslüftungsanlage. Im Vergleich zur Referenz ergeben sich Abweichungen im Endenergiebedarf von +25,7 (Variante 3) bis -45,7 % (Variante 8).

Einfluss der Wärmeübergabesysteme

Den Einfluss verschiedener Übergabesysteme zeigt der Vergleich des Referenzfalles mit der Variante 2. Die Gebäudeplanung sieht für das zu errichtende Gebäude eine klassische Radiatorenheizung vor, welche mit einer Temperatur von 70/50°C betrieben wird. Für die Vergleichsvariante 2 wird ein Fußbodenheizsystem eingeführt, um den Effekt niedrigerer Medientemperaturen (35/28°C) auf den Energiebedarf zu quantifizieren.

Die in Bild 202 dargestellten End- und Primärenergiebedarfe zeigen eine deutliche Reduktion der Werte für Variante 2. Der Endenergiebedarf vermindert sich gegenüber dem Referenzfall um 8%. Da der Strombedarf für Hilfsantriebe bei einer Fußbodenheizung leicht ansteigt, zeigt sich eine geringere Reduktion des Primärenergiebedarfes um 6%. Ursache für die Verringerung der Energiebedarfe und damit einhergehend die Verbesserung der CO₂-Bilanz, ist die Verminderung der Verteilverluste durch die niedrigeren Medientemperaturen. Für eine bessere Vergleichbarkeit werden die folgenden energetischen Auswertungen mit der Variante 2 verglichen, um die Effekte der Wärmeübergabe zu eliminieren.

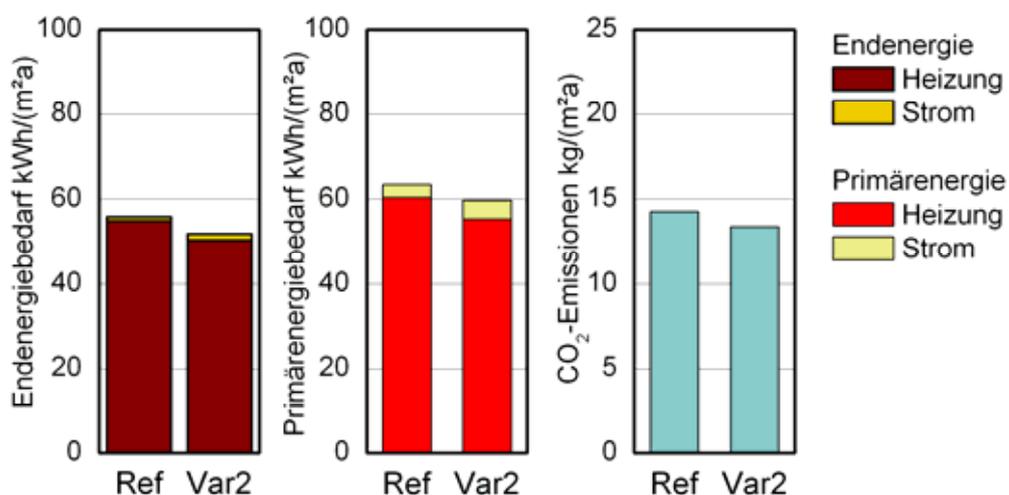


Bild 202 Vergleich der Energiebedarfe, Primärenergiebedarfe und der CO₂-Emissionen für die Referenz und Variante 2

Einfluss der Anlagentechnik

Aus der Betrachtung der Endenergiebedarfe in Bild 201 geht hervor, dass in nahezu allen Varianten der Einsatz eines Gasbrennwertkessels zu günstigen Energiebedarfswerten führt. Eine Ausnahme bildet Variante 7, welche mit einer Kombination aus einem Pelletkessel und einer Wohnungslüftungsanlage einen um rd. 2% geringeren Endenergiebedarf zum Referenzfall (Variante 2) aufweist. Erwartungsgemäß liefert die Betrachtung der Varianten 2, 5, 6 und 8 abnehmende Endenergiebedarfe für Gebäude mit Gasbrennwertkessel und zusätzlicher Anlagentechnik. Deutlich günstiger als der Einsatz einer thermischen Solaranlage stellt sich der Betrieb einer Wohnungslüftungsanlage dar, welche mit insgesamt 38,4 kWh/(m²a) zwar einen höheren Strombedarf aufweist, jedoch endenergetisch um rd. 8% unter der Kombination Gaskessel und Solaranlage liegt. Die Ursache hierfür kann Bild 203 entnommen werden. Die Betrachtung der Verlustanteile zeigt, dass bei einem Gebäude mit gutem Wärmeschutz die Lüftungswärmeverluste mehr als die Hälfte der Gesamtwärmeverluste betragen. Der Einsatz einer Wohnungslüftungsanlage mit einem Wärmerückgewinnungsgrad (Gegenstromplattenwärmetauscher) von $\eta_{WRG} = 90\%$ ist somit eine sinnvolle Maßnahme, um den Bedarf erheblich zu senken.

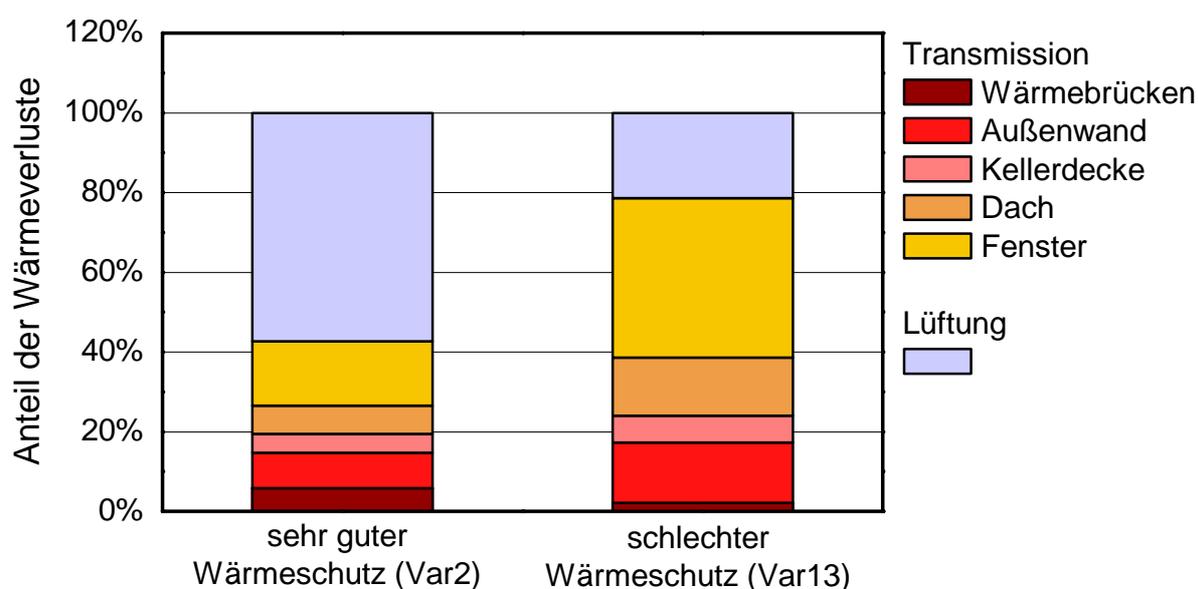


Bild 203 Vergleich der relativen Wärmeverlustanteile für Gebäude mit einem guten und schlechten Wärmedämmstandard

Die endenergetisch günstigste Variante bildet die Kombination aus Gasbrennwertkessel, thermische Solaranlage und Wohnungslüftungsanlage. Mit diesem System sinkt der Endenergiebedarf gegenüber Variante 2 um rd. 42%. Im Vergleich zum Betrieb eines Pelletkessels (Variante 3) kann sogar mehr als die Hälfte des Endenergiebedarfs (57%) eingespart werden.

Der primärenergetische Vergleich der Varianten 2-8 zeigt ein komplett anderes Bild. Während alle Varianten, welche mit einem Gaskessel ausgestattet sind Primärenergiebedarfe von 41,3 bis 59,8 kWh/(m²a) aufweisen, liegen die Varianten mit Pelletheizung weit darunter. Die Ursache hierfür ist die Bewertung des Energieträgers Holz mit einem Primärenergiefaktor $f_{\text{prim}} = 0,2$. In Bild 203 sind für die Varianten mit gleichem Wärmeschutz ($H'_{\text{T}}=0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$) die sich ergebenden Primärenergiebedarfe aufgetragen. Hierbei zeigt sich, dass die Kombination aus einem Pelletkessel und einer Solaranlage (Variante 4) für diesen Planungsstand des Gebäudes den niedrigsten Primärenergiebedarf und damit einhergehend die geringsten CO₂-Emissionen aufweist. Die endenergetisch ungünstige Variante wird somit zur primärenergetisch besten Variante.

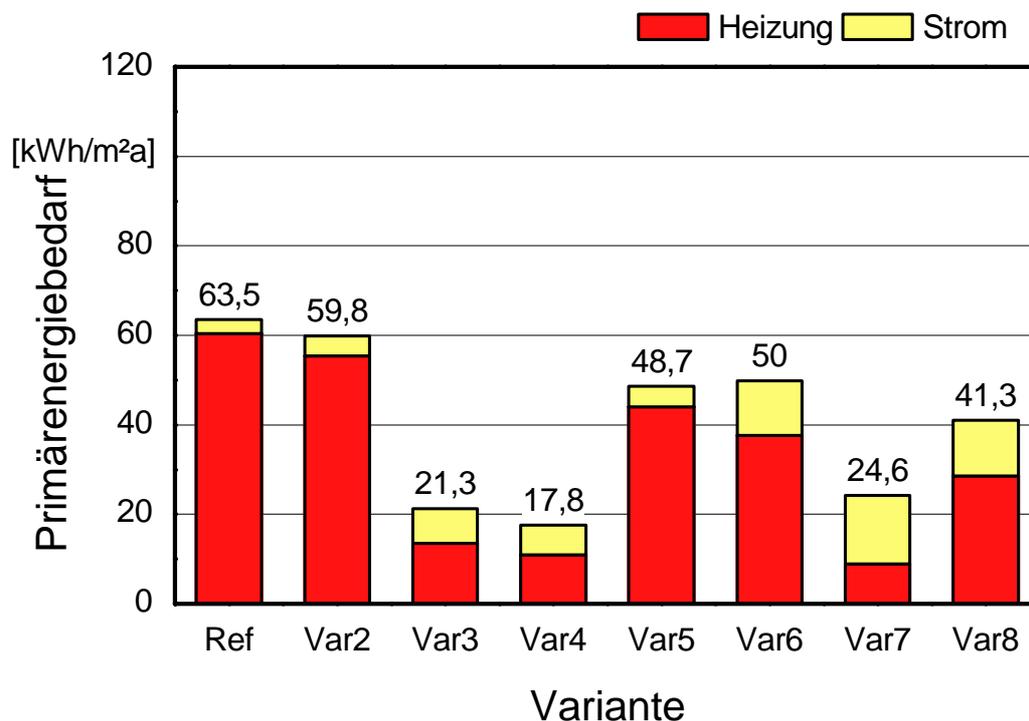


Bild 204 Vergleich der Primärenergiebedarfe verschiedener Varianten, Brentanostraße Kassel

Des Weiteren ist auffällig, dass Variante 6, welche endenergetisch besser als Variante 5 ist, durch den hohen Strombedarf der Lüftungsanlage primärenergetisch ungünstiger wird.

Einfluss der Gebäudehülle

Das hier untersuchte Gebäude besitzt schon einen sehr guten Dämmstandard. Mit einigem Aufwand kann der Wärmeschutz des Gebäudes aber noch weiter verbessert werden. Durch die in Tabelle 65 dargestellten Maßnahmen, sowie ein Austausch der Fenster durch eine 3-fach Wärmeschutzverglasung ($U_g=0,5$, $U_w=0,7$ W/m²K) wurde der Transmissionswärmeverlustkoeffizient von 0,35 auf 0,25 W/m²K gesenkt und erreicht somit nahezu Passivhausniveau.

Tabelle 65 Maßnahmen für einen verbesserten Wärmeschutz

BAUSTOFF	Dicke [cm]	Lambda [W/mK]	Dichte [kg/m ³]	R [m ² /K/W]	R _{si} [m ² /K/W]	R _{se} [m ² /K/W]	Maßnahme
Außenwände N,S,W,O - Mauerwerk							
Putzmörtel aus Kalk	1	1	1800	0,010			+10cm (+55%)
Hochlochziegel	24	0,26	1000	0,923			
Polystyrol PS-Partikelschaum	26	0,035	20	7,429			
Putzmörtel aus Kalk	0,5	1	1800	0,005			
U-Wert	0,117	R_{TOTAL}	8,537	8,367	0,13	0,04	
Außenwände N,S,W,O - Porenbeton-Dachgeschoss							
Putzmörtel aus Kalk	1	1	1800	0,010			+10cm (+55%)
Porenbeton	24	0,21	650	1,143			
Polystyrol PS-Partikelschaum	26	0,035	20	7,429			
Putzmörtel aus Kalk	0,5	1	1800	0,005			
U-Wert	0,114	R_{TOTAL}	8,756	8,586	0,13	0,04	
Kellerdecke							
Zement-Estrich	7	1,4	2000	0,050			+15cm (+150%)
Beton armiert mit 2% Stahl	18	2,5	2400	0,072			
Polystyrol PS-Extrudiert	25	0,03	25	8,333			
U-Wert	0,114	R_{TOTAL}	8,795	8,455	0,17	0,17	
Dach horizontal							
Beton armiert mit 2% Stahl	18	2,5	2400	0,072			+15cm (+150%)
Polystyrol PS-Extrud.	25	0,03	25	8,333			
U-Wert	0,117	R_{TOTAL}	8,545	8,405	0,1	0,04	
Dachschrägen -Zwischensparrendämmung							
Gipskartonplatten ruhende Luftschicht (vertikal)-300mm	1,3	0,25	900	0,052			λ=0,035
Mineral und pflanzl.Faserdämmstoff	2,8	0,16	20	0,175			
	24	0,035	260	6,857			
U-Wert	0,138	R_{TOTAL}	7,224	7,084	0,1	0,04	

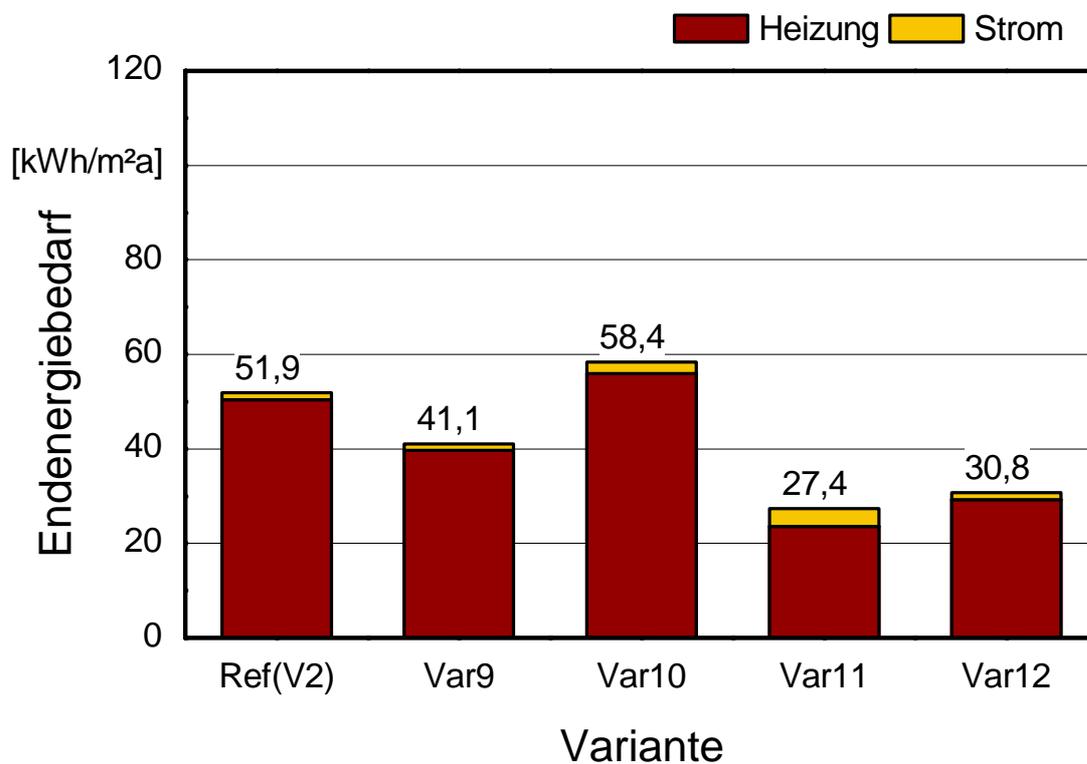


Bild 205 Endenergiebedarfe der Varianten mit verbessertem Wärmeschutz ($H'_T=0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$)

Die Verbesserung des baulichen Wärmeschutzes (Variante 9) führt zu einer Verringerung des Endenergiebedarfs im Vergleich zum Referenzfall um 10,8 kWh/(m²a). Dies entspricht in etwa dem Betrag, der bei einer schlechteren Gebäudehülle mit einer Kombination aus Gaskessel und Solaranlage erreichbar ist (Variante 5 mit 41,7 kWh/m²a). Der in der Variantenbetrachtung günstigste Endenergiebedarf lässt sich durch eine Verbesserung der Hüllfläche in Kombination mit einem Gasbrennwertkessel und einer Wohnungslüftungsanlage erreichen. Der Endenergiebedarf der Variante 11 liegt um 47% niedriger als die Referenz. Weiterhin kann beobachtet werden, dass der Energiebedarf für Variante 8 und 12 fast identisch ist. Für einen verbesserten Wärmeschutz kann unter den gegebenen Randbedingungen auf eine Wohnungslüftungsanlage verzichtet werden. Auch in einem sehr gut gedämmten Gebäude führt der Einsatz eines Pelletkessels zu einem höheren Endenergiebedarf, der mit 58,4 kWh/m²a noch deutlich größer ist, als der Bedarf der Vergleichsbasis.

Die primärenergetische Bewertung liefert wiederum ähnliche Aussagen wie zuvor.

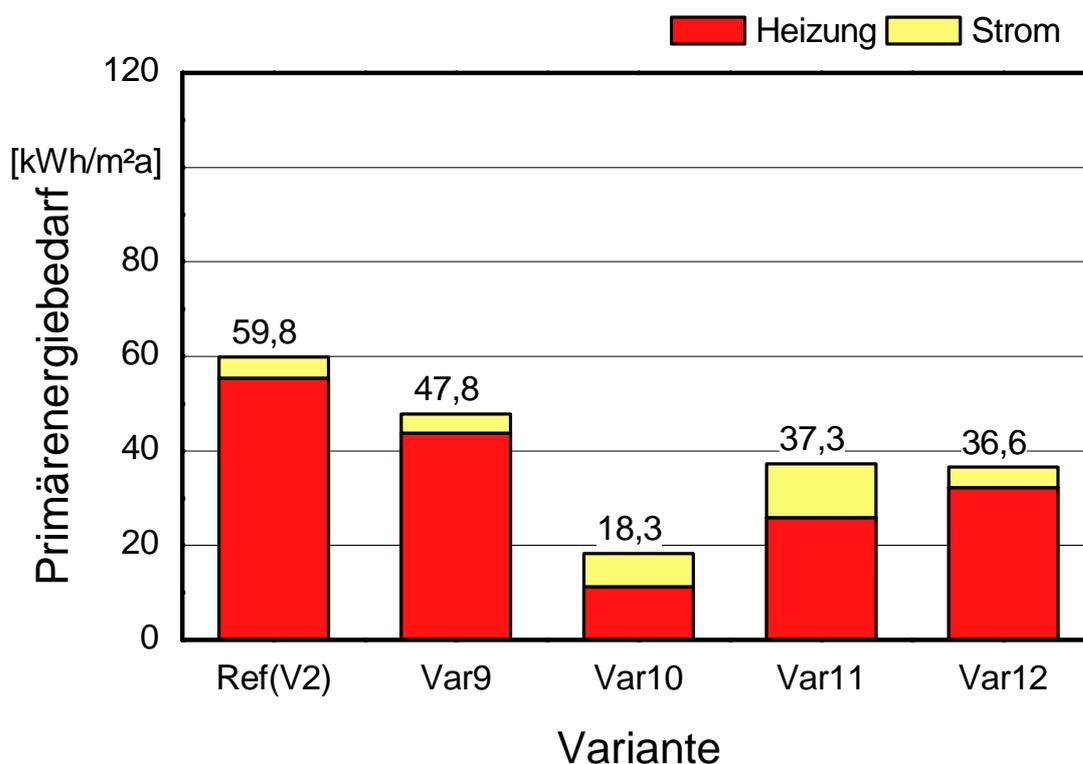


Bild 206 Primärenergiebedarf für Varianten mit verbessertem Wärmeschutz

Die in Bild 206 dargestellten Primärenergiebedarfe zeigen, dass mit der Erhöhung des Wärmeschutzes, sowie dem Einsatz eines Pelletkessels der in dieser Studie niedrigste Primärenergiebedarf berechnet wird.

Einfluss der Nutzung von Biomasse

Auf Grund der primärenergetischen Bewertung von Holzbrennstoffen mit einem Primärenergiefaktor $f_{\text{prim}} = 0,2$ sind alle gerechneten Varianten mit Holzpelletkessel günstiger als die Varianten mit Gasbrennwertkessel. Allerdings ist dies nicht der Fall, wenn die Endenergie betrachtet wird. Der Endenergiebedarf ist für die Wirtschaftlichkeit eines Vorhabens von großer Bedeutung, da diese vom Endverbraucher bezahlt werden muss. Die Überprüfung der Wirtschaftlichkeit der gezeigten Varianten ist somit unbedingt notwendig, um ein Optimum zwischen Primärenergiebedarf, Endenergiebedarf und den durch die Wahl des Dämmstandards und der Anlagentechnik entstehenden Kosten zu finden.

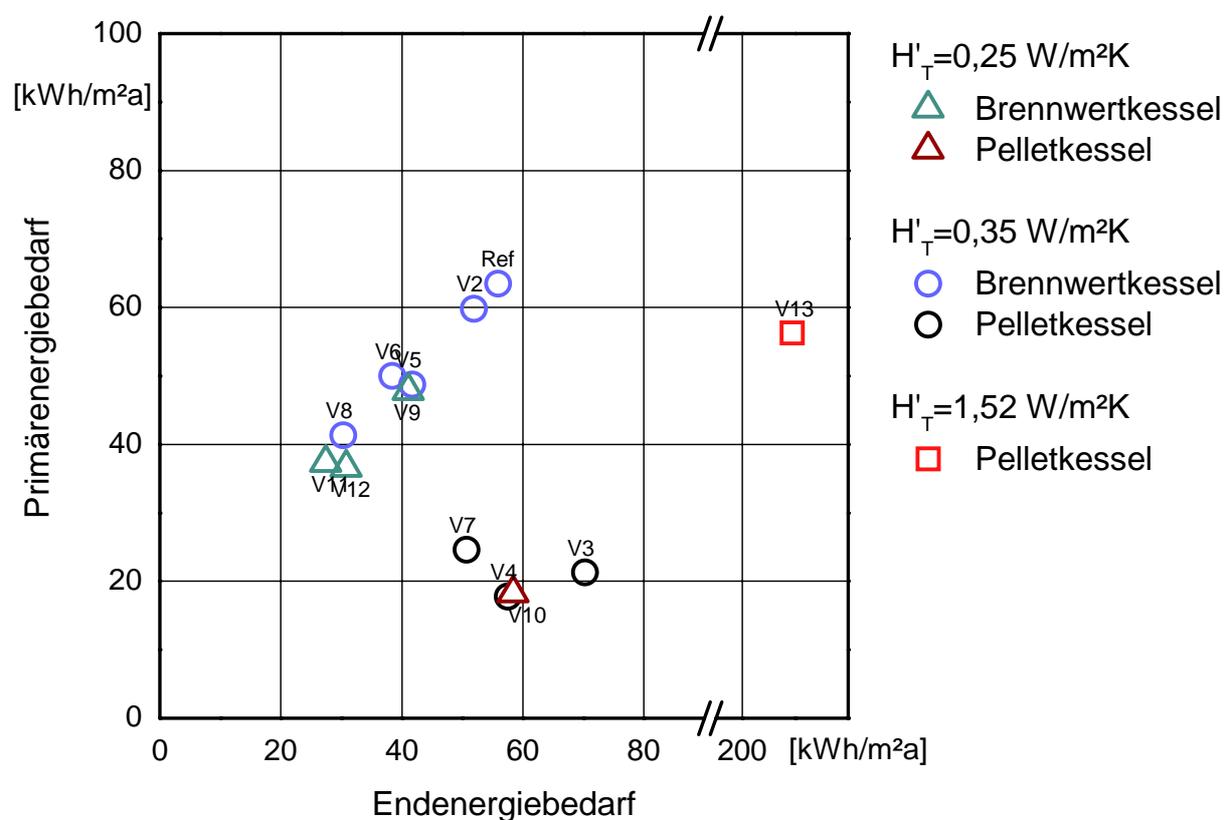


Bild 207 Primärenergiebedarf aller Varianten, aufgetragen über den jeweiligen Endenergiebedarf

Zusammenfassend sind in Bild 207 die ermittelten Primärenergiebedarfe der verschiedenen Varianten über deren Endenergiebedarf aufgetragen. Die Aussagen hinsichtlich der energetischen Bewertung werden hier nochmals bestätigt. Erwartungsgemäß liegen alle Varianten, die als Energieträger Holzpellets nutzen, primärenergetisch und somit auch hinsichtlich der CO₂-Emissionen im Bedarfsniveau deutlich unter den Varianten, bei denen Gas als Energieträger dient. Die rein energetische Betrachtungsweise liefert sieben Varianten, die sowohl primär- als auch endenergetisch unterhalb des Referenzniveaus (Variante 2) liegen.

6.6.2 Energetische Bewertung, Wiershäuser Weg, Hannoversch' Münden

Die verschiedenen Komponenten des Gebäudes wirken sich unterschiedlich auf die Energiebilanz des Gebäudes aus. Die Ausführung der Gebäudehüllfläche geht unmittelbar in die Ermittlung des Heizwärmebedarfs ein, welcher den Berechnungen der Anlagentechnik zu Grunde liegt. Die primärenergetische Bewertung berücksichtigt zusätzlich die Energie, die für Förderung, Aufbereitung, Umwandlung, Transport und Verteilung der Energieträger benötigt wird. Jedoch wird bei erneuerbaren Energieträgern nur der nicht regenerative Anteil mit einbezogen. Auf dieser Basis wird ein Vergleich verschiedener Energieeffizienzscenarien bewertet.

Einfluss des Dämmstandards der Gebäudehülle

Im Gegensatz zu einem Neubauvorhaben sind die Möglichkeiten, den baulichen Wärmeschutz zu verbessern begrenzt. Der hier vorliegende Referenzfall basiert auf einer Sanierung der Hüllfläche mit den in Abschnitt 6.4.2 genannten Konstruktionen und Bauteilen. Für die Basisvariante ergibt sich ein Transmissionswärmeverlustkoeffizient $H'_T = 0,59 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Analog zum Neubauvorhaben wird in der Variation des baulichen Wärmeschutzes durch Erhöhung der Dämmstoffdicken und Auswahl höherwertiger Fenster eine Verbesserung der thermischen Hüllfläche bewirkt. Für diesen Fall kann eine Reduktion des Transmissionswärmeverlustkoeffizienten auf das Niveau eines Niedrigenergiehauses, $H'_T = 0,39 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ erreicht werden.

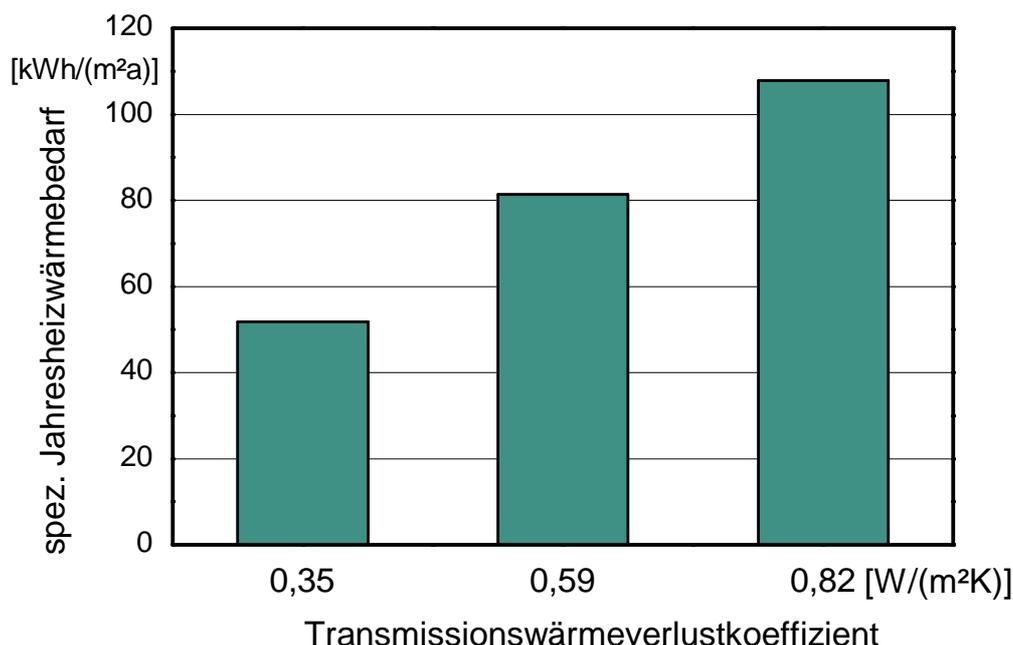


Bild 208 Spezifischer Jahresheizwärmebedarf für unterschiedliche Dämmstandards

Der Jahresheizwärmebedarf ist unter Berücksichtigung der gleich bleibenden Randbedingungen wie Geometrie, Ausrichtung, Höhe der internen Gewinne unmittelbar von dem Transmissionswärmeverlustkoeffizienten abhängig. Der maximale zulässige Transmissionswärmeverlustkoeffizient gemäß Energieeinsparverordnung 2004 beträgt für diesen Gebäudekomplex 0,83 W/m²K. Durch die Verwendung realer Bauteile für diesen Fall ergibt sich der in Bild 208 dargestellte Transmissionswärmeverlustkoeffizient von $H_T' = 0,82 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

Einfluss der Anlagentechnik

Um den Heizwärmebedarf zu decken, muss die Anlagentechnik inklusive aller Verluste einen Energiebedarf bereitstellen, der dem Endenergiebedarf entspricht. Der spezifische Endenergiebedarf ist in Bild 209 nach Energieträgern aufgeschlüsselt.

Die endenergetische Bewertung der Variante 1 und 2 zeigt deutlich, dass trotz gleichem Heizwärmebedarf die Anlagentechnik mit dem Holzpelletkessel als Führungskessel einen höheren Energiebedarf hat. Die Begründung liegt vor allem in dem schlechteren Wirkungsgrad des Biomassekessels. Der Wirkungsgrad im Grundzyklus des Biomassewärmeerzeugers beträgt nur 82,44% und im stationären Betrieb

liegt er bei 91,6%, während der 100 kW-Gasbrennwertkessel einen Wirkungsgrad von 98,2% bei Nennleistung und 109,2% bei Teillast bezogen auf den Heizwert aufweist.

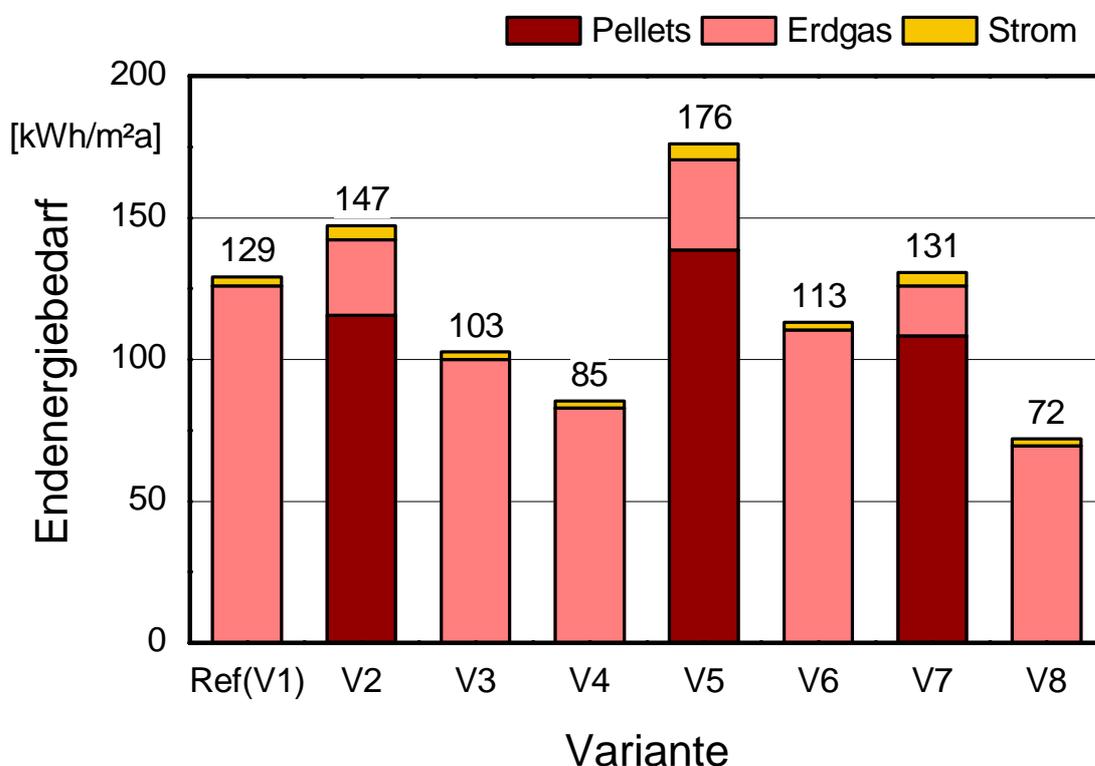


Bild 209 Spezifische Endenergiebedarfe für die untersuchten Varianten

Zusätzlich ist im Vergleich zu dem Gasbrennwertgerät der spezifische Hilfsenergiebedarf bei dem Biomassewärmeerzeuger um 1,86 kWh/(m²a) größer.

Der Endenergiebedarf der Variante 3 ist deutlich geringer als der beider vorangegangenen Varianten. Dies ist auf den deutlich geringeren Jahresheizwärmebedarf zurückzuführen, den die Anlagentechnik decken muss. Die zusätzliche Abnahme des Endenergiebedarfs in Variante 4 ist durch die bessere Dämmung der Rohrleitungen, mit Ausnahme des Nahwärmenetzes, zu erklären. Jedoch ist hierbei zu beachten, dass die Bilanzierung der DIN V 4701 Teil 10 die Wärmeverluste der Rohrleitungen nur zu einem geringen Teil berücksichtigt, zusätzlich aber die Wärmeabgabe der Heizkreisrohrleitungen innerhalb des Gebäudes auf Grund des Heizperiodenbilanzierung nicht in den Jahresheizwärmebedarf eingehen kann. Die Reduzierung des Jahresheizwärmebedarfs durch die Wärmeabgabe der Rohrleitungen lässt sich nur in

einem Monatsbilanzverfahren abbilden, da die monatlich unterschiedlichen Wärmebedarfe unterschiedliche Rohrleitungsverluste hervorrufen und so nicht pauschal über die Heizperiode einbezogen werden können. Der Wärmeverlustfaktor der innen liegenden und nicht absperrbaren Rohrleitungen beträgt 0,15. Damit werden 15% der Wärmeabgabe der innen liegenden Rohrleitungen als Verlust bewertet. Variante 5 hat mit Abstand den höchsten Endenergiebedarf. Die Ursache hierfür ist neben dem erhöhten Jahresheizwärmebedarf wiederum der Einsatz eines Pelletkessels. Hinzu kommt, dass je mehr Energie erzeugt werden muss, die Verluste der Anlagentechnik ebenso ansteigen.

Einfluss der Energieträger

Die Wahl des Energieträgers hat erwartungsgemäß einen deutlichen Einfluss auf die primärenergetische Effizienz des Gebäudes. Die Energiemenge der vorgelagerten Prozessketten außerhalb der Gebäudebilanzgrenze wirkt sich auf den Primärenergiefaktor aus.

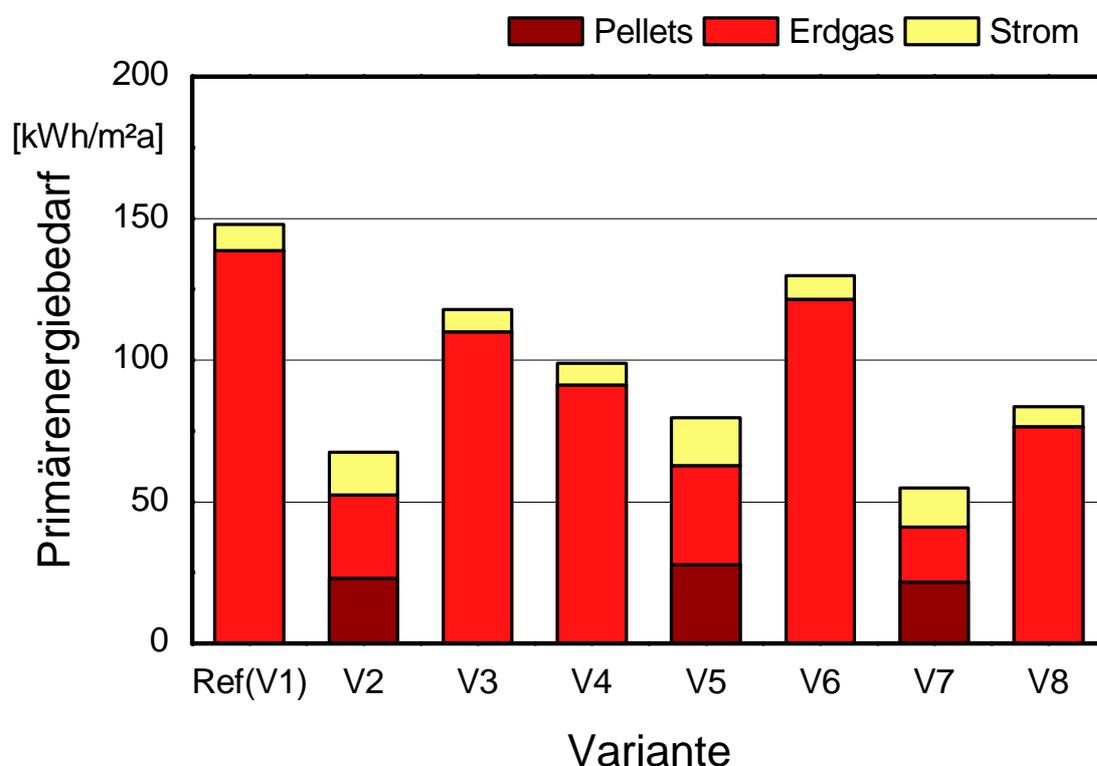


Bild 210 Spezifische Primärenergiebedarfe für die untersuchten Varianten

Dies bedeutet, dass der Primärenergiefaktor zwischen 0 bei Kraft-Wärme-Kopplung mit einem regenerativen Energieträger und 3,0 bzw. 2,7 bei Strommix als Energieträger variiert und dementsprechend den Primärenergiebedarf beeinflusst. In Bild 210 sind die Primärenergiebedarfe der verschiedenen Varianten nach Energieträgern aufgeschlüsselt.

Aus Bild 210 geht hervor, wie einflussreich der Primärenergiefaktor ist. Während die endenergetische Bewertung zeigt, dass der von dem Energieträger Holzpellets erbrachte Anteil am Gesamtendenergiebedarf wesentlich höher ist als der des Energieträgers Gas, hat sich der Anteil am Primärenergiebedarf nun deutlich geändert. Durch den Primärenergiefaktor von Holzpellets ($f_{\text{prim}}=0,2$) ist der Anteil dieses Energieträgers am Primärenergiebedarf bis unter den Anteil des Energieträgers Gas mit dem Primärenergiefaktor von 1,1 gesunken. Diese Veränderung trifft auch auf den Energieträger Strom zu. Durch den hohen Primärenergiefaktor hat sich der Primärenergiebedarf im Vergleich zum Endenergiebedarf verdreifacht.

Die Verhältnisse zwischen End- und Primärenergiebedarf sind in Bild 211 dargestellt.

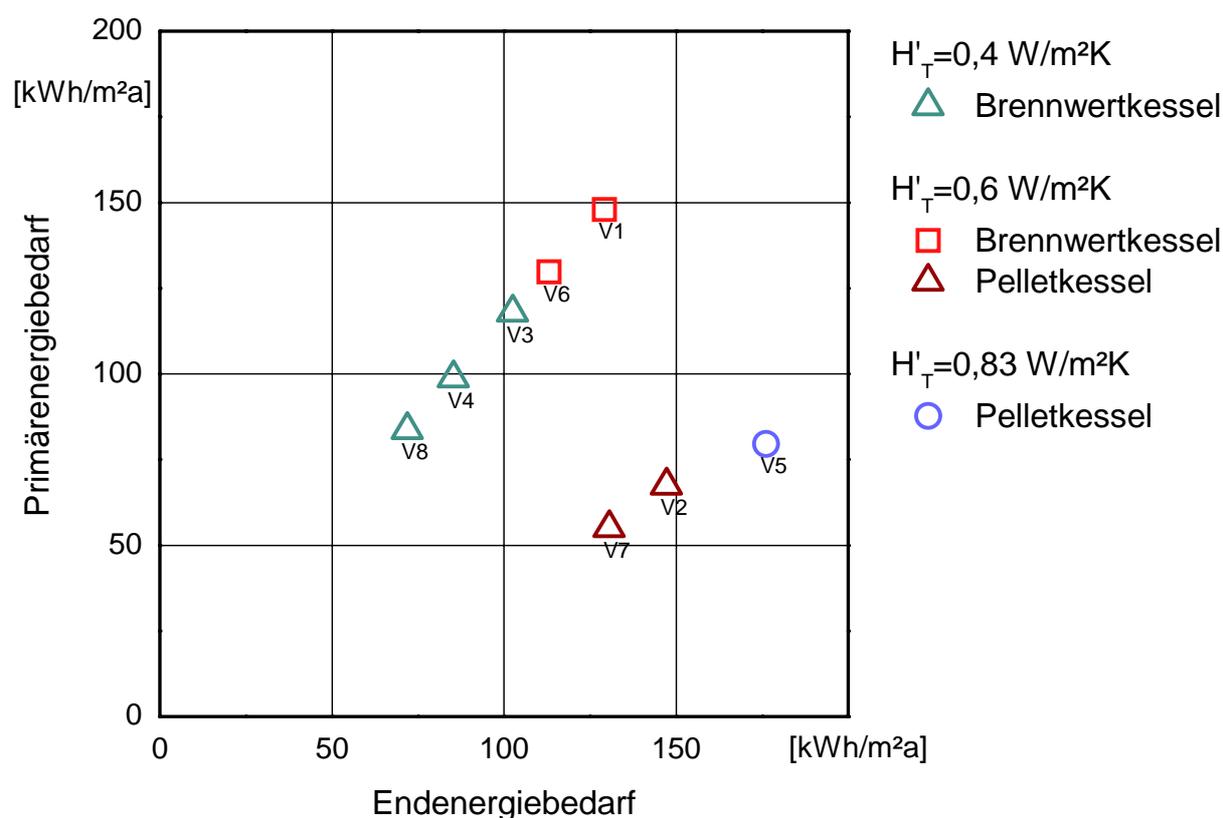


Bild 211 Primärenergiebedarf aller Varianten, aufgetragen über den jeweiligen Endenergiebedarf

Die Auftragung der ermittelten Primärenergiebedarfe über die jeweiligen Endenergiebedarfe zeigt, dass der Primärenergiebedarf der Variante 5, die den höchsten Endenergiebedarf aller Varianten besitzt, auf einem ähnlichen Niveau liegt, wie Variante 8 mit dem geringsten Endenergiebedarf. Das bedeutet, dass ein besser gedämmtes Gebäude in Kombination mit einer hocheffizienten Anlagentechnik (Brennwertkessel, thermische Solaranlage und optimierte Verteilung) gerade so gut ist wie ein Gebäude mit schlechtem Wärmeschutz mit Biomassenutzung. Dies ist möglich, da der Primärenergiefaktor von Holz nur den nicht erneuerbaren Anteil der benötigten Energie zur Brennstoffbereitstellung betrachtet.

Die positive Bewertung der erneuerbaren Rohstoffe beinhaltet nicht, wie effizient diese im Gebäude eingesetzt werden können. Andere Emissionen, wie z.B. Feinstaub, werden nicht in die primärenergetische Bewertung mit einbezogen. Ebenfalls entfällt eine Bewertung hinsichtlich der Nachhaltigkeit.

Betrachtung der Kohlendioxid-Emissionen

Eine Energieeinsparungsmaßnahme kann aus verschiedenen Motivationen und deren Kombinationen bestehen. Einerseits senkt eine Energieeinsparung die Energiekosten und andererseits führt der geringere Energiebedarf zu einem ökologischeren Handeln. Dabei sinken die Emissionen, wobei der Ausstoß des Treibhausgases Kohlendioxid (CO₂) derzeit die wichtigste Rolle spielt.

Die Wahl des Brennstoffes hat direkte Auswirkungen auf den CO₂-Ausstoß. Nicht nur der Endenergiebedarf des betrachteten Gebäudes, sondern auch die Art des Energieträgers geht in die Betrachtung der CO₂-Emissionen mit ein. Regenerative Energieträger, in diesem Fall Holzpellets, können zu einem großen Teil als CO₂-neutral gewertet werden, da die Menge an CO₂, die diese Brennstoffe bei einer Verbrennung freisetzen, vorher gebunden wurde.

Aus den Ergebnissen des Endenergiebedarfs ergeben sich die in Bild 212, auf die Nutzfläche bezogene, CO₂-Emissionen.

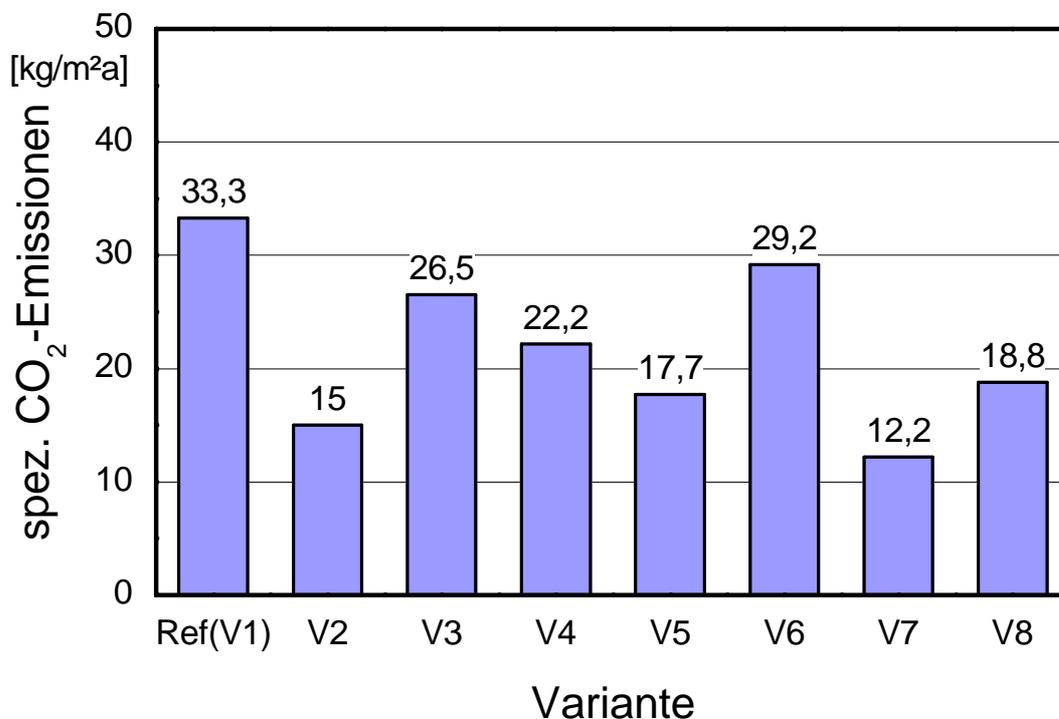


Bild 212 Spezifische CO₂-Emissionen

Die Emissionen sind den Primärenergiebedarfen sehr ähnlich. Dies resultiert aus der im Primärenergiefaktor berücksichtigten CO₂-Relevanz.

Aus Bild 212 geht hervor, welche Varianten den Brennstoff Holzpellets verwenden. Es wird deutlich, dass bei der Betrachtung der Verringerung des CO₂-Ausstoßes der Energieträger eine größere Rolle spielt als der eigentliche Energiebedarf.

Um die CO₂-Aggregation in der Atmosphäre reduzieren zu können, ist es folglich nach dieser Betrachtungsweise effizienter, den Wärmedämmstandard eines Gebäudes nicht zu verbessern, sondern auf erneuerbare Energieträger zu wechseln, wobei die eigentlich benötigte Energie dabei nicht berücksichtigt wird. Diese Aussage bezieht sich auf eine mögliche Wahl zwischen den beiden genannten Maßnahmen. Eine Verbesserung des Wärmestands in Kombination mit einem erneuerbaren Energieträger senkt die CO₂-Emissionen zusätzlich.

6.7 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

6.7.1 Randbedingungen

Aufbauend auf die energetischen Untersuchungen in Abschnitt 6.6 werden im Folgenden für die gewählten Varianten wirtschaftliche Bewertungen durchgeführt. Ziel hierbei ist es, für verschiedene Maßnahmen bei der Erstellung und darüber hinaus bei der Sanierung von Gebäuden ein Optimum der CO₂-Einsparungen bei möglichst geringen Kosten zu finden.

Die verschiedenen Varianten werden hinsichtlich ihrer jährlichen Kosten in einem Zeitraum von zwanzig Jahren untersucht. In diesen Kosten sind sowohl Investitionskosten, als auch betriebs- und verbrauchsgebundene Kosten enthalten. Die Wirtschaftlichkeitsberechnung nach der Annuitätenmethode gemäß VDI 2067 Blatt 1 [VDI 2067, 2000] stellt hierfür eine Berechnungsmethode bereit.

Einmalige Zahlungen, wie Investitionskosten und periodische Zahlungen, wie Wartungs- oder Energiekosten werden während des Betrachtungszeitraumes zusammengefasst und als eine konstante periodische Zahlung ausgegeben, bzw. nach den Annuitäten, der kapitalgebundenen, der verbrauchgebundenen und der betriebsgebundenen Zahlungen aufgeschlüsselt. Somit ist ein unmittelbarer Vergleich der ver-

schiedenen Energieeffizienzscenarien auf Grund der jährlich anfallenden Gesamtkosten möglich.

Neben der allgemeinen Preissteigerung (Inflationsrate) ist die zukünftige Energiepreissteigerung der einflussreichste Faktor für die Bestimmung der verbrauchsgebundenen Zahlungen. Für die wirtschaftliche Betrachtung wurden die prognostizierten Energiepreissteigerungen bis zum Jahr 2030 der EWI/Prognos-Studie [PROGNOS, 2005] entnommen. Für Holzpellets sind dort keine Prognosen enthalten. Der Rechenwert der Preissteigerung für Holzpellets resultiert aus einer Mittelung der Daten aus den Jahren 2002 bis 2007 [C.A.R.M.E.N., 2008]. Während aufgrund der hohen Nachfrage in der zweiten Jahreshälfte 2006 der Preis für Pellets überproportional gestiegen ist, sank dieser Anfang 2007 wieder, wegen des durch den Orkan Kyrill hervorgerufenen Sturmschadens. Auf Grund von diesen Einzelereignissen wird dieser Zeitraum aus der Betrachtung ausgenommen. In Tabelle 66 sind die gewählten Preissteigerungen zusammengefasst.

Tabelle 66 Übersicht über die gewählten Preissteigerungen

	Holzpellets	Gas	Strom	allgemeine Preissteigerung	Kalkulationszinssatz
Preissteigerung [%]	1,46	1,3	0,3	1,9	4%

Die allgemeine Preissteigerung (Verbraucherpreisindex) ist mit Hilfe der Daten des Statistischen Bundesamts in Wiesbaden ermittelt worden [DeStatis, 2007]. Hierzu werden die Verbraucherpreisindexe zwischen 1992 und 2006 betrachtet.

Die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) bietet für Sanierungsmaßnahmen Kredite mit relativ niedrigen Zinssätzen an. Dieser Zinssatz liegt meistens bei 4%, bzw. etwas niedriger.

6.7.2 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung Neubauvorhaben

6.7.2.1 Kostenermittlung

Für das Neubauvorhaben Brentanostraße kann zum derzeitigen Planungsstand nur eine Abschätzung der zu erwartenden Kosten vorgenommen werden. Hierbei werden

die Kosten für die verschiedenen anlagentechnischen Ausführungsvarianten gemäß des Energiekonzeptes für das Vorhaben entnommen. Die Kosten der verschiedenen Wärmedämmsysteme des Gebäudes sowie die zusätzlichen Mehrkosten der Wärmedämmverbundsysteme wurden durch verschiedene Herstellerbefragungen ermittelt. Die Kosten der Lüftungsanlage werden gemäß [Ostrowski, 2004] mit 66 €/m² (Kosten ohne MwSt.) bezogen auf die Wohnfläche des Gebäudes als Investitionskosten in Ansatz gebracht.

Die Verhältnisse der Wartungs- und Bedienungskosten der Komponenten der ausgewählten Anlagentechniken sind aus VDI 2067, Tabellen A.2-A.4 entnommen. In Tabelle 67 sind die Basisdaten der Kostenermittlung zusammengefasst.

Tabelle 67 Zusammenstellung der Kosten für das Neubausvorhaben

	Menge	Einzelkosten	Einheit	Kosten €
1 Gebäudehüllfläche:				
1.1 Standard-Wärmeschutz				
Polystyrol Pratikelschaum WLG 0,035, 20kg/m ³ , 16cm	1300 m ²	21,6	€/m ²	28.080
Polystyrol PS extrud. WLG 0,035, 25kg/m ³ , 12 cm	950 m ²	27,5	€/m ²	26.125
Mineral und Pflazlich.Dämmstoff WLG 040, 24cm	632 m ²	9,45	€/m ²	5.972
Fenster Ug=0,7	416 m ²	180	€/m ²	74.880
1.2 Verbesserter Wärmeschutz				
Polystyrol Pratikelschaum WLG 0,035, 20kg/m ³ , 26cm	1300 m ²	21,6	€/m ²	28.080
Mehrkosten Wärmedämmverbundsystem	1300 m ²	12	€/m ³	15.600
Polystyrol PS extrud. WLG 0,035, 28cm	950 m ²	64,2	€/m ²	60.990
Mineral und pflanzliche Dämmstoffe WLG 035, 24cm	632 m ²	12,4	€/m ²	7.837
Fenster Ug=0,5	416 m ²	190	€/m ²	79.040
2 Anlagentechnik				
2.1 Gas-Brennwert-Kessel 100 kW mit Zubehör und Regelung	1	8800	€	8.800
Hydraulische Einbindung Wärmeerzeuger	1	3.300	€	3.300
Abgasanlage (1-zügig)	1	5.500	€	5.500
Speicher-Lade-System Brauchwasserspeicher 1000 l	1	6.600	€	6.600
Gasanschluss (10 m)	1	2.475	€	2.475
MSR-Technik, Elektroarbeiten, Inbetriebnahme	1	3.300	€	3.300

2.2 Holzpelletkessel (100kW) mit aut. Beschickung und Entaschung	1	38500 €	38.500
Hydraulische Einbindung Wärmeerzeuger	1	6600 €	6.600
Abgasanlage	1	6600 €	6.600
Speicher-Lade-System Brauchwasser 1000 l	1	6600 €	6.600
Pufferspeicher mit Einbindung	2 m ³	1375 €/m ³	2.750
Raumbedarf Pelletsilo	62 m ³	200 €/m ³	12.400
MSR-Technik, Elektroarbeiten, Inbetriebnahme	1	5500 €	5.500
2.3 Solaranlage			
Kollektoren inkl. Montage und Verrohrung im Feld	100 m ²	231 €/m ²	23.100
Aufstand der Kollektoren	1	6600 €	6.600
Installation Heizzentrale inkl. MSR-Technik	1	14500 €	14.500
Pufferspeicher mit Einbindung inkl. Dämmung	6 m ³	1458 €/m ³	8.748
2.4 Zu/Abluftanlage			
Zentrale Zu/Ablüftungsanlage mit WRG, inklusive Kanalnetz und Regelung	2367 m ²	66 €/m ²	171.821

Die Bewertung des Kosten/Nutzen-Verhältnisses der verschiedenen Varianten erfolgt mit Hilfe von Kennzahlen, die die Mehrkosten der Maßnahmen dem Einsparpotential von End- und Primärenergie, sowie die Minderung der CO₂-Emissionen berücksichtigt und beinhaltet somit die energetischen und emissionsbedingten Vermeidungskosten. Als Referenzfall dient hierbei analog zur energetischen Bewertung die Variante 2.

6.7.2.2 Ergebnisse der Berechnung

Vergleich der Investitionskosten

Der Vergleich der Investitionskosten zeigt eine große Bandbreite der einmaligen Zahlungen. Die Referenzvariante, die einen Brennwertkessel beinhaltet, stellt unter Berücksichtigung des geplanten Wärmeschutzstandards die günstigste Variante dar. Vor allem die Implementierung von Wohnungslüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung erhöhen die Investitionskosten erheblich. Der Ansatz mit 66 €/m² Wohnfläche entspricht zwar einem hohen Niveau der Kosten, deckt sich aber mit den Angaben aus der Literatur [HMWVL, 2004].

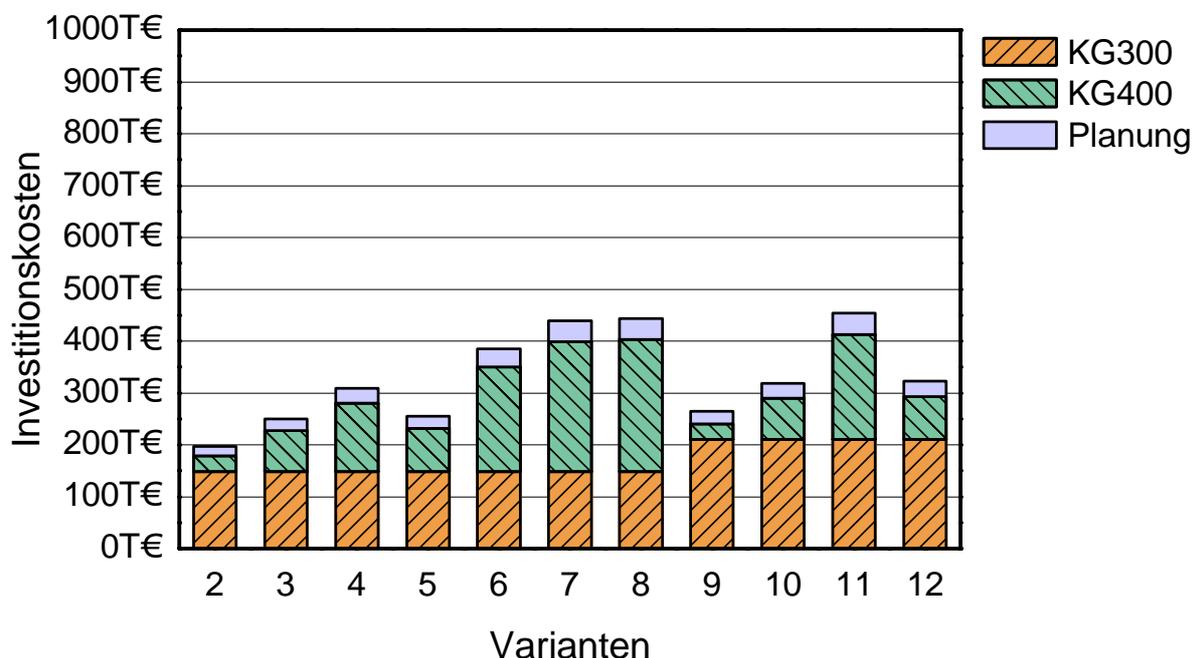


Bild 213 Vergleich der Investitionskosten im Neubauvorhaben.

Die Verbesserung des baulichen Wärmeschutzes erhöht die Investitionskosten in der Kostengruppe 300 um 41%. Verantwortlich hierfür ist hauptsächlich die erhebliche Erhöhung der Dämmstoffdicken der Außenwände von 12 cm auf 28 cm.

Vergleich der Energiekosten

Energiekosten sind die Kosten, die durch den Kauf der entsprechenden Energieträger, die den Endenergiebedarf decken müssen, entstehen. Dadurch sind die Energiekosten sehr stark vom Endenergiebedarf und dem jeweiligen Preis der verschiedenen Energieträger abhängig. Durch die unterschiedlichen Energiepreissteigerungen der verschiedenen Energieträger bleibt die Differenz der Energiekosten der einzelnen Varianten über den gesamten Betrachtungszeitraum nicht konstant.

In Bild 214 sind die Energiekosten des gesamten Betrachtungszeitraumes nach Energieträger aufgeschlüsselt und grafisch dargestellt.

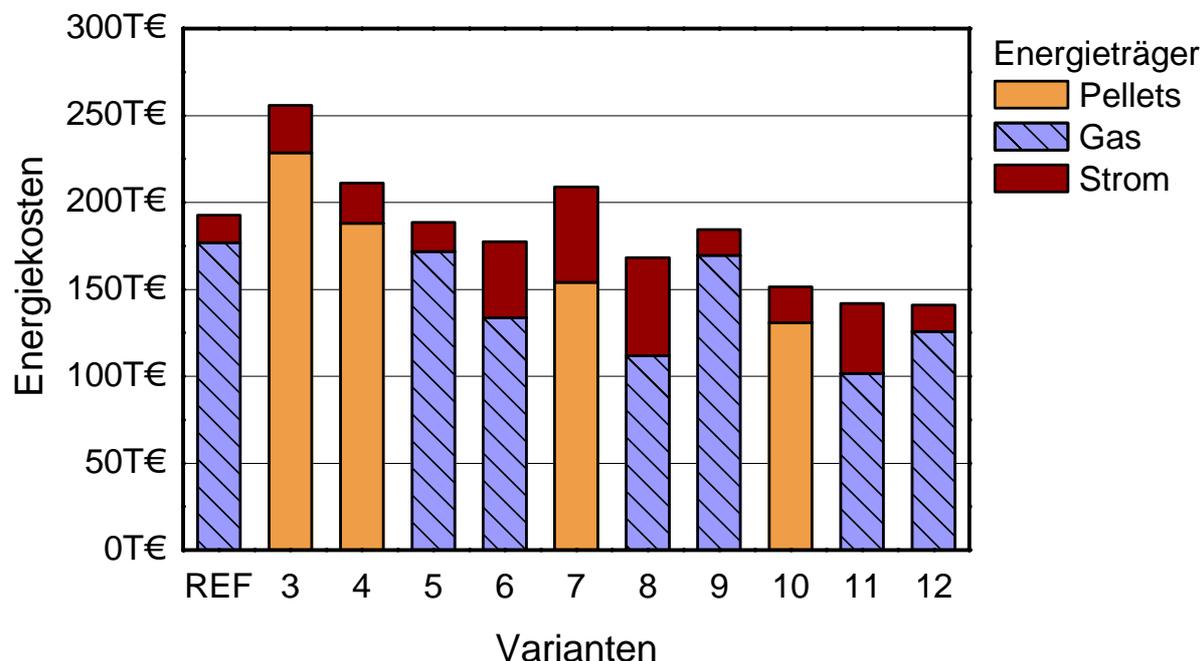


Bild 214 Berechnete Energiekosten für den gesamten Betrachtungszeitraum (20 Jahre) aufgeschlüsselt nach Art der Energieträger.

Vergleich der Annuitäten

Der Vergleich der berechneten Annuitäten für das Neubauvorhaben zeigt eine große Varianz hinsichtlich der Summe der kapitalgebundenen, bedarfsgebundenen und betriebsgebundenen Zahlungen. Auf Grund des bereits im Planungszustand vorhandenen guten Wärmeschutzes und dem daraus resultierenden niedrigen Heizenergiebedarf, ist der Anteil der kapitalgebundenen Zahlungen ausschlaggebend für die Höhe der Gesamtannuität. Somit fällt die Höhe der Investitionen sehr viel stärker ins Gewicht, als die bedarfsgebundenen Zahlungen. Gerade die Installation einer Wohnungslüftungsanlage scheint bei dieser Betrachtung wirtschaftlich keine geeignete Alternative zu allen anderen Varianten zu sein. In Bild 215 werden die Zusammenhänge deutlich.

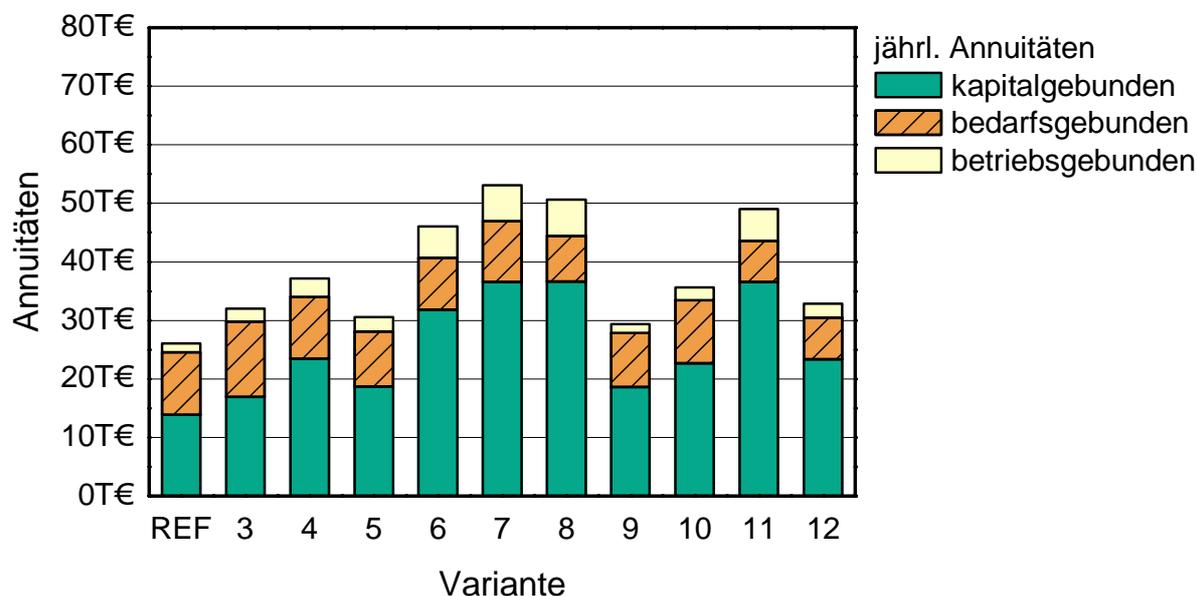


Bild 215 Darstellung der berechneten Annuitäten für das Neubauvorhaben.

Obwohl die Brennstoffkosten für alle Varianten, welche mit einer Lüftungsanlage ausgestattet sind (Variante 6, 7, 8 und 11) um bis zu 42% niedriger sind als bei der Referenzvariante, wird dieser Vorteil durch die hohen Investitionskosten für die Lüftungsanlagen überkompensiert. Des Weiteren führt der höhere Strombedarf bei einem Betrieb von Lüftungsanlagen dazu, dass die Summe der bedarfsgebundenen Zahlungen in diesen Fällen zum Teil die bedarfsgebundenen Zahlungen für die Grundvariante übertreffen. Als wirtschaftlich ähnlich erweisen sich die Varianten 3 (Pelletkessel), 5 (Brennwertkessel + Solar), 9 (Brennwertkessel + besserer Wärmeschutz) und 12 (Brennwertkessel + besserer Wärmeschutz + Solar), obwohl auch hier die Gesamtannuitäten die der Referenzvariante um durchschnittlich 19% übersteigen.

Ein anderes Bild ergibt sich, wenn die spezifischen Mehrkosten einer Maßnahme mit dem energetischen und emissionsbedingten Einsparpotential verglichen werden. Zu diesem Zweck wird ein Kennwert pec eingeführt, welcher aus dem Quotienten der Mehrkosten und der Einsparung gebildet wird.

Mehrkosten pro eingesparte kWh Primärenergie :

$$= \frac{\left(\begin{array}{c} - \\ - \end{array} \right)}{\left(\begin{array}{c} - \\ - \end{array} \right)} \quad (1)$$

Mehrkosten pro eingesparte kWh Endenergie:

$$= \frac{\left(\begin{array}{c} - \\ - \end{array} \right)}{\left(\begin{array}{c} - \\ - \end{array} \right)} \quad (2)$$

Mehrkosten pro eingespartes Kilogramm CO₂:

$$= \frac{\left(\begin{array}{c} - \\ - \end{array} \right)}{\left(\begin{array}{c} - \\ - \end{array} \right)} \quad (3)$$

Mit:

p_{ec}	: spezifische Mehrkosten	€/kWh, €/kg
$A_{N,ref}$: Gesamtannuität des Referenzfalles	€/a
$A_{N,i}$: Gesamtannuität des Vergleichsfalles	€/a
$Q_{p,ref}$: Primärenergiebedarf des Referenzfalles	kWh/a
$Q_{p,i}$: Primärenergiebedarf des Vergleichsfalles	kWh/a
$Q_{f,ref}$: Endenergiebedarf des Referenzfalles	kWh/a
$Q_{f,i}$: Endenergiebedarf des Vergleichsfalles	kWh/a
$E_{CO_2,ref}$: CO ₂ -Emissionen des Referenzfalles	kg/a
$E_{CO_2,i}$: CO ₂ -Emissionen des Vergleichsfalles	kWh/a

Tabelle 68 zeigt die Ergebnisse, die mit den oben genannten Rahmenbedingungen und der Berechnungsmethode ermittelt wurden. Die Mehrkosten für eine Kilowattstunde eingesparte Primärenergie beträgt minimal 5,3 ct/kWh für die Variante 3 (Pelletkessel) und maximal 70,8 ct/kWh für Variante 6 (Brennwertkessel + Wohnungslüftung). Bei der Betrachtung der endenergetischen Kosteneffizienz ergeben sich für die Varianten 3, 4 und 10 negative Werte. Ursache hierfür ist, dass bei diesen Varianten der Endenergiebedarf im Vergleich zur Referenzvariante steigt und somit der Mehr-

bedarf an Endenergie mit Mehrkosten von 11,2 bis 68,8 ct/kWh_{end} erkaufte werden muss. Als Ersatz für die wenig aussagekräftige Kenngröße Endenergievermeidungskosten liefert für diese Fälle Tabelle 69 zusätzlich die Wärmegestehungskosten, welche aus der Gesamtannuität und dem Endenergiebedarf ermittelt werden.

Tabelle 68 Kosteneffizienz der Varianten, bezogen auf das Einsparpotential

Variante	Konfiguration					Annuitäten [€/a]				Vermeidungskosten		
	Wärmeschutz	BWK	Pellet	WLA	Solar	Gesamt	Kapitalgebundene Kosten	Bedarfsgebundene Kosten	Betriebsgebundene Kosten	Primär-energie [€/kWh]	End-energie [€/kWh]	Co2-Emissionen [€/kg]
2	Standard (KfW40)	x				26.076	13.879	10.656	1.540			
3			x			32.003	16.959	12.798	2.245	0,053	-0,112	0,236
4			x		x	37.128	23.490	10.555	3.083	0,091	-0,688	0,408
5		x			x	30.524	18.677	9.468	2.378	0,139	0,151	0,617
6		x		x		46.080	31.820	8.889	5.371	0,708	0,514	3,302
7			x	x		53.079	36.574	10.428	6.076	0,266	8,068	1,216
8		x		x	x	50.665	36.618	7.838	6.209	0,461	0,394	1,982
9		x				29.400	18.595	9.265	1.540	0,096	0,107	0,427
10	hoch		x			35.654	22.681	10.728	2.245	0,080	-0,511	0,353
11		x		x		49.005	36.536	7.098	5.371	0,353	0,324	1,589
12		x			x	32.841	23.393	7.070	2.378	0,101	0,111	0,451

Tabelle 69 Wärmegestehungskosten der Varianten

Variante	Konfiguration					Gesamtannuität [€/a]	Endenergiebedarf [kWh/a]	Wärmegestehungskosten [€/kWh]
	Wärmeschutz	BWK	Pellet	WLA	Solar			
2	Standard (KfW40)	x				26.076	149.737	0,174
3			x			32.003	202.765	0,158
4			x		x	37.128	165.807	0,224
5		x			x	30.524	120.251	0,254
6		x		x		46.080	110.788	0,416
7			x	x		53.079	146.390	0,363
8		x		x	x	50.665	87.361	0,580
9		x				29.400	118.578	0,248
10	hoch		x			35.654	168.490	0,212
11		x		x		49.005	79.052	0,620
12		x			x	32.841	88.803	0,370

Hinsichtlich der Vermeidung von CO₂-Emissionen erweist sich die Kombination aus gutem Wärmeschutz und einem Pelletkessel (Variante 3), sowie die Kombination aus verbessertem Wärmeschutz und einem Pelletkessel (Variante 10) als günstig.

Der Zusammenhang der bedarfsgebundenen Kosteneffizienz und der Höhe der Einsparung wird aus der Auftragung beider Werte deutlich. In Bild 216 sind die ermittelten Faktoren der Mehrkosten pro eingesparte kWh Primärenergie aufgetragen über das prozentuale primärenergetische Einsparpotential. Hieraus kann abgelesen werden, dass alle Varianten, welche mit einem Brennwertkessel ausgestattet sind zu Primärenergieeinsparungen von 18 bis 39 % (10 bis zu 25 kWh/m²a) führen. Die Mehrkosten hierfür differieren stark.

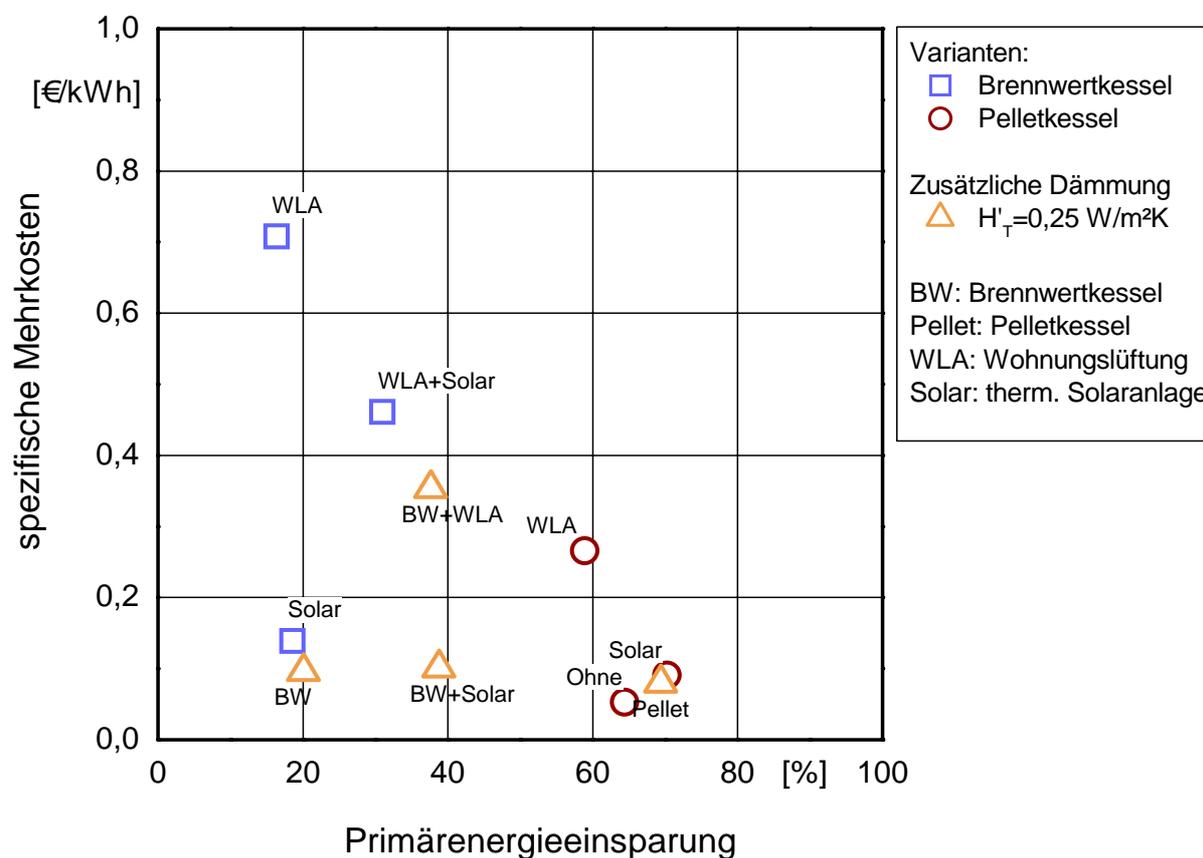


Bild 216 Kosteneffizienzfaktor $p_{ec,prim}$ aufgetragen über das primärenergetische Einsparpotential.

Die hinsichtlich der Einsparung teuersten Varianten sind diejenigen, welche mit einer Wohnungslüftungsanlage ausgerüstet sind. Die hohen Investitionskosten und in Folge dessen die hohen kapitalgebundenen Annuitäten sind hierfür verantwortlich. Bei dieser Betrachtung stellt sich des Weiteren heraus, dass die Verbesserung des baulichen Wärmeschutzes mit der Kombination Brennwertkessel und Solaranlage zu einer Lösung führt, die bei relativ geringen Mehrkosten hohe Primärenergieeinsparungen bewirkt.

Die höchsten primärenergetischen Einsparungen lassen sich mit den Varianten 3, 4 und 10 erreichen. Erwartungsgemäß sind dies Kombinationen mit einem Pelletkessel. Besonders hervorzuheben ist, dass die Verbesserung des Wärmeschutzes in Kombination mit einem Pelletkessel (Variante 10) zu einem gleichwertigem Ergebnis führt, wie Variante 4, welche den Standardwärmeschutz mit Pelletkessel und zusätzlicher Solaranlage beinhaltet. Jedoch kann mit beiden Varianten kein endenergetisches Einsparpotential erreicht werden. Bei der mehrdimensionalen Betrachtung stellt somit sowohl primär- als auch endenergetisch die Variante 12 (verbesserter Wärmeschutz, Brennwertkessel und Solaranlage) einen geeigneten Kompromiss dar. Für diese Variante entstehen bei einer Primärenergieeinsparung von 39% spezifische Mehrkosten von rd. 10ct/kWh eingesparter Primärenergie. Hier lassen sich ebenfalls rd. 40% der Endenergie einsparen. Das bedeutet, dass gleichermaßen die politischen Ziele der Bundesregierung und Anforderungen an die Wirtschaftlichkeit von Effizienzmaßnahmen erfüllt werden.

6.7.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung Sanierungsvorhaben

6.7.3.1 Kostenermittlung

Die Kosten der baulichen Maßnahmen (Kostengruppe 300) sind auf Basis einer Zusammenstellung des ausführenden Architekten ermittelt worden. Dies beinhaltet die Kosten für Material und Löhne für die verbesserte Außenwand in Variante 1 und 2, die Kosten der Dämmung der obersten Geschossdecke, die Kosten für den Austausch der Fenster sowie für Schornsteine.

Viele Daten der technischen Installation beruhen auf einer Grundlagenermittlung des Instituts für Gebäude und Solartechnik (IGS). Dies gilt für die Kosten der Pumpen, der Mess-, Steuer- und Regelungstechnik, der Elektroinstallation, der Pufferspeicher, der Übergabestationen, der Frischwasserstationen sowie des Pelletkessels inklusive aller Installationen.

Die Kosten des Nahwärmenetzes sowie die des Bodens des Pelletlagerraums sind vom Ausführungsplaner der Firma Innovatec, Friedland angegeben, die der neuen Verteilleitungen wurden dem Baukostenindex 2006 entnommen [Schmitz et al, 2006]. Bei den jeweiligen Herstellern wurden die Brennwertkesselkosten angefragt. Die Installationskosten, ohne Elektroinstallation sind telefonisch bei dem ausführenden Heizungsbauunternehmen erfragt worden.

Die Kosten des verwendeten Wärmedämmverbundsystems der Variante 3 und 4, sowie die entsprechenden Materialkosten wurden vom Hersteller des tatsächlich ausgeführten Systems geliefert [Knauf, 2007]. Aus den realen Planungsdaten des Architekten wurden die Lohnkosten übernommen.

Die Sanierung der Gaubenwände und der Kellerdecke, die Dämmung der ungedämmten Rohrleitungen sowie der zusätzliche Fensteraustausch der restlichen Fenster mit dem U-Wert von 2,5 W/(m²K) wurden auf Basis des Baukostenindex 2006 ermittelt [Schmitz et al, 2006].

In jeder Variante ist die Planung mit 10% der Investitionssumme angenommen worden. Die Kosten für den Anbau des Bürogebäudes werden nicht in diese wirtschaftliche Betrachtung mit einbezogen, da die Büroflächenerweiterung keine Relevanz für die energetische Sanierung des Gebäudekomplexes hat. Die zusätzlich gewonnene Fläche im Keller des Anbaus ist in jeder Variante notwendig, um den Platzbedarf der Technikzentrale bereitzustellen. Auch die Varianten mit nur Gas-Brennwertgeräten hätten nicht in dem alten Heizraum untergebracht werden können, die Pufferspeicher der Nahwärmeversorgung haben in allen Varianten den gleichen Raumbedarf. Einzig die Kosten für den Boden des Pelletlagerraums müssen in Variante 2 und 5 zusätzlich betrachtet werden. Eine Übersicht der verwendeten Kostendaten ist Tabelle 70 zu entnehmen.

Tabelle 70 Übersicht über die Investitionskosten, Wiershäuser Weg, Hannoversch' Münden

Maßnahme	Investitions- kosten [€]	Nutzung für Variante	Datenquelle
Gebäudehülle			
Wärmedämmverbundsystem(Ausführungszustand)	199.676,00	3,4,8	Architekturbüro
Dämmung Oberste Geschossecke	40.847,00	1,2,3,4,6,7,8	Architekturbüro
Fenster	215.583,00	1,2,3,4,6,7,8	Architekturbüro
Wärmedämmverbundsystem WLG032	250.256,90	1,2,6,7	Knauf Insulation
zusätzlicher Fensteraustausch	13.218,40	3,4,8	Baukostenindex 2006
Dämmung Kellerdecke	31.125,00	3,4,8	Baukostenindex 2006
zus. Dämmung Gauben	5.805,00	3,4,8	Baukostenindex 2006
Rohrleitung dämmen	16.551,54	4,8	Baukostenindex 2006
Anlagentechnik			
Gas-Brennwerttherme (2 Stck.)	8.538,00	1..8	Hersteller, Paradig- ma
Gas BW 100kW	7.060,00	1,3,4,6,8	Hersteller, Buderus
Pelletkessel	35.000,00	2,5,7	IGS
Pelletlager (Boden)	2.088,00	2,5,7	Haustechnikplaner
Pumpen	19.250,00	1..8	IGS
MSR	6.000,00	1..8	IGS
Nahwärmenetz	6.150,78	1..8	Haustechnikplaner
Verteilung + Übergabestation	52.121,85	1..8	IGS
Speicher	6.250,00	1..8	IGS
FWS	19.000,00	1..8	IGS
Schornsteine	8.097,00	1..8	Architekturbüro
Solaranlage			
Kollektoren	52.325,00	6,7,8	IGS
Aufständerung Kollektoren	6.000,00	6,7,8	IGS
Installation in Heizzentrale	15.000,00	6,7,8	IGS
neuartiges Regelsystem	2.000,00	6,7,8	IGS
Unterkonstruktion Kollektoren	6.500,00	6,7,8	IGS
Planung 15%	12.273,75	6,7,8	IGS

Die periodischen Kosten für Instandhaltung und Wartung sowie die Nutzungsdauer in Jahren sind anhand der Daten der Richtlinie VDI 2067, Blatt 1 bestimmt worden. Für das Nahwärmenetz sind die Instandhaltungskosten vom IGS ermittelt worden die Nutzungsdauer wird dabei auf 30 Jahre angesetzt. Die Kosten für die Wartung und

Instandhaltung des Holzpelletkessels sind aus [Lenz, 2007], die Nutzungsdauer für Brennwert- und Holzpelletkessel wird mit 20 Jahren in Ansatz gebracht.

Für eine bessere Vergleichbarkeit der Ergebnisse werden entgegen dem Ansatz für Wartungs- und Instandhaltungskosten gemäß VDI 2067 Blatt 1 für die Außendämmung, sowie dem Fensteraustausch keine Kosten hinterlegt, da ein prozentualer Anteil der Kosten an den Investitionen hier Verfälschungen hervorrufen würde.

Bei dem Energieträger Gas wurde 0,0596 €/kWh als Arbeitspreis und 29,2 €/a als Grundpreis verwendet. Diese Preise stammen von den Städtischen Werken in Kassel und beruhen auf dem Kostenstand vom 01.01.2007 bei einer Abnahme von mindestens 49.347 kWh. Der Strompreis liegt bei 0,1797 €/kWh, jedoch wird hier ab 8.307 kWh kein Grundpreis verlangt.² Der Preis der Holzpellets beruht auf den Daten vom Deutschen Energie- Pellet- Verband e.V. vom Februar 2007. Dieser beträgt 0,044 €/kWh.

6.7.3.2 Wirtschaftlicher Vergleich der Varianten

Mit den genannten Randbedingungen und Energiebedarfswerten kann ein wirtschaftlicher Vergleich durchgeführt werden. Im Folgenden werden die Unterschiede der Investitionskosten, der Energiekosten und der Jahresannuitäten, der einzelnen Varianten untersucht und gegenübergestellt. Es soll überprüft werden, welche Anlagentechnik, welcher Energieträger und welche Gebäudeausführung in Bezug auf den Endenergiebedarf, den Primärenergiebedarf und die CO₂-Emissionen wirtschaftlich die größte Effizienz aufweist.

Vergleich der Investitionskosten

Zunächst werden die Investitionskosten der verschiedenen Varianten analysiert. Die Investitionskosten unterscheiden sich zum Teil deutlich, da z.B. die Anschaffung eines Holzpelletkessels deutlich teurer gegenüber einer Gas-Brennwerttherme mit gleicher Leistung ist. Ebenso ist die Aufwertung der Gebäudehülle in Variante 3

² Angaben der Städtischen Werke Kassel

und 4 immer mit zusätzlichen Kosten verbunden. In Bild 217 sind die Investitionskosten der jeweiligen Variante nach Kostengruppen aufgeschlüsselt.

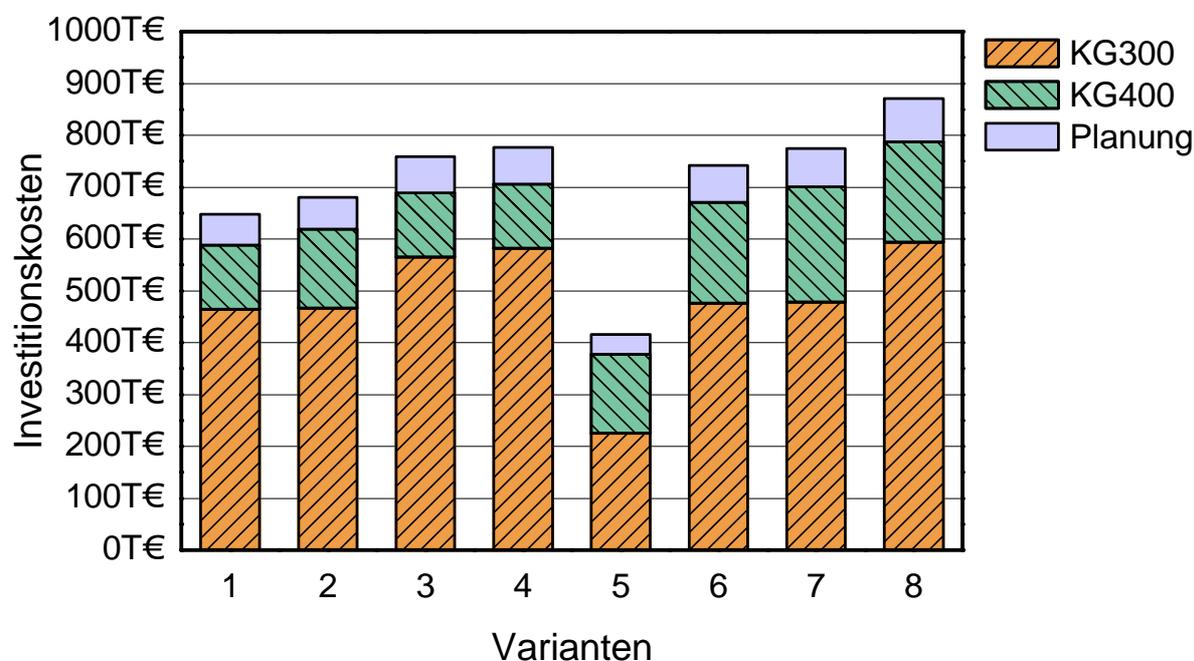


Bild 217 Vergleich der Investitionskosten Wiershäuser Weg.

Der Anstieg der Investitionskosten von Variante 1 zu 2 hängt, wie bereits erwähnt, mit den höheren Anschaffungs- und Installationskosten des Holzpelletkessels zusammen. Ebenso treten weitere Kosten bei der Einrichtung des Bodens des Pelletlagerraums auf.

Die höheren Kosten in Variante 3 in Bezug zur Variante 1 mit gleicher Anlagentechnik ist auf die zusätzlichen Dämmmaßnahmen von Außenwänden, Gaubenwänden und Kellerdecken sowie auf den Fensteraustausch zurückzuführen.

In Variante 4 kommen noch die Kosten zur Dämmung aller Rohrleitungen, mit Ausnahme des Nahwärmenetzes hinzu.

Bei Variante 5 ist nur die Anlagentechnik saniert und auf den Stand von Variante 2 gebracht worden. Zudem sind die alten Fenster ausgetauscht worden. Die übrige Gebäudehülle wurde nicht saniert, was die geringen Investitionskosten zu Folge hat.

Vergleich der Energiekosten

Energiekosten sind die Kosten, die durch den Kauf der entsprechenden Energieträger, die den Endenergiebedarf decken müssen, entstehen. Dadurch sind die Energiekosten sehr stark vom Endenergiebedarf und dem jeweiligen Preis der verschiedenen Energieträger abhängig. Durch die unterschiedlichen Energiepreissteigerungen der verschiedenen Energieträger bleibt die Differenz der Energiekosten der einzelnen Varianten über den gesamten Betrachtungszeitraum nicht konstant.

In Bild 218 sind die Energiekosten des gesamten Betrachtungszeitraumes nach Energieträger aufgeschlüsselt und grafisch dargestellt.

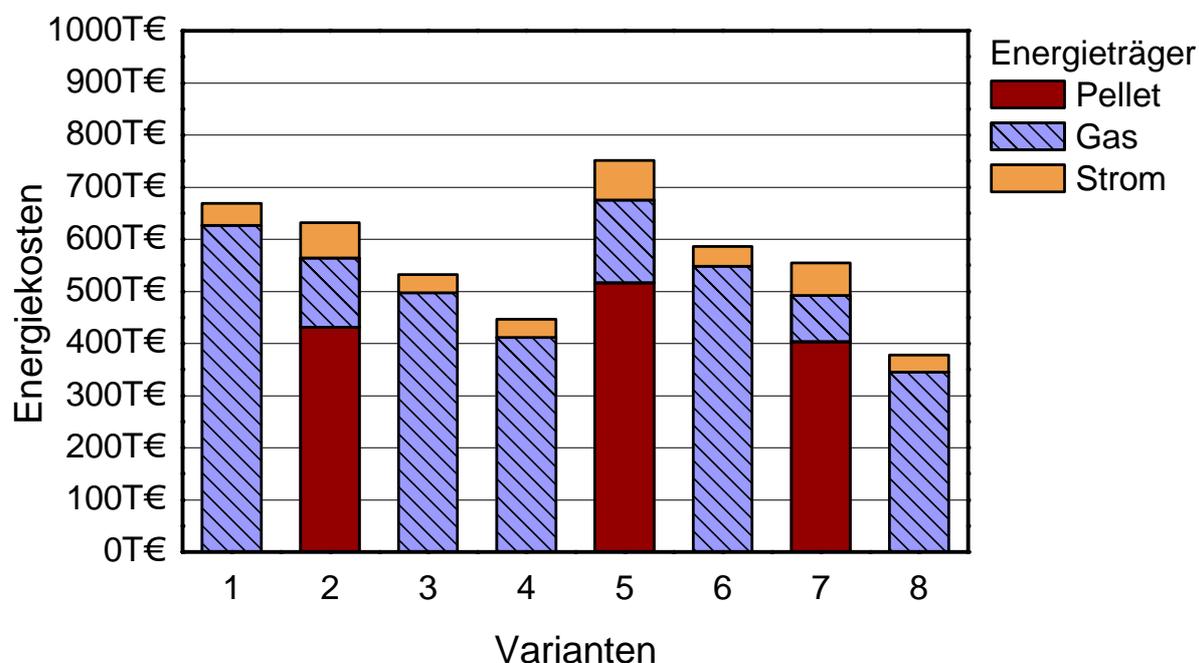


Bild 218 Berechnete Energiekosten für den gesamten Betrachtungszeitraum (20 Jahre) aufgeschlüsselt nach Art der Energieträger.

Die Variante 2 hat trotz eines höheren Endenergiebedarfs im Vergleich zu Variante 1 geringere Energiekosten, da die Kilowattstunde Holzpellets günstiger ist als die Kilowattstunde Erdgas. Durch den in Bezug auf die gelieferte Energie zur Deckung des gesamten Endenergiebedarfs der Variante 2 großen Anteil an Holzpellets bleiben die Kosten unterhalb der rein endenergetisch effizienteren Maßnahme von Variante 1.

Der Verlauf von Variante 3 bis 5 war so zu erwarten und ähnelt dem Verlauf der verschiedenen Endenergiebedarfe der drei Varianten. Varianten 3 und 4 sind nicht nur endenergetisch, sondern auch in Bezug auf die Energiekosten effizienter als die Varianten 1 und 2. Variante 5 hat auf Grund des sehr hohen Bedarfs auch die höchsten Energiekosten zu verzeichnen.

Vergleich der Annuitäten

Trotz sehr hoher Energiekosten, die sich aus dem großen Endenergiebedarf ergeben ist Variante 5 eindeutig das günstigste Szenario. Dies resultiert aus den geringen Investitionskosten. Doch ist zu bemerken, dass bei einem geringeren Kalkulationszinssatz die anderen Varianten, besonders Variante 4, durchaus konkurrenzfähig wären. Schon bei einer Senkung des Kalkulationszinssatzes von 4% auf 3% läge die Jahresannuität der Variante 4 bei 61.827 €/a, während Variante 5 62.054 €/a kosten würde. Ein niedrigerer Kalkulationszinssatz ist nicht unrealistisch, da es auch Förderungen der KfW-Bankengruppe gibt, die Kredite, je nach Maßnahmen mit Zinssätzen zwischen 2 und 3% anbieten.³ Dies macht den großen Einfluss des Kalkulationszinssatzes sehr deutlich.

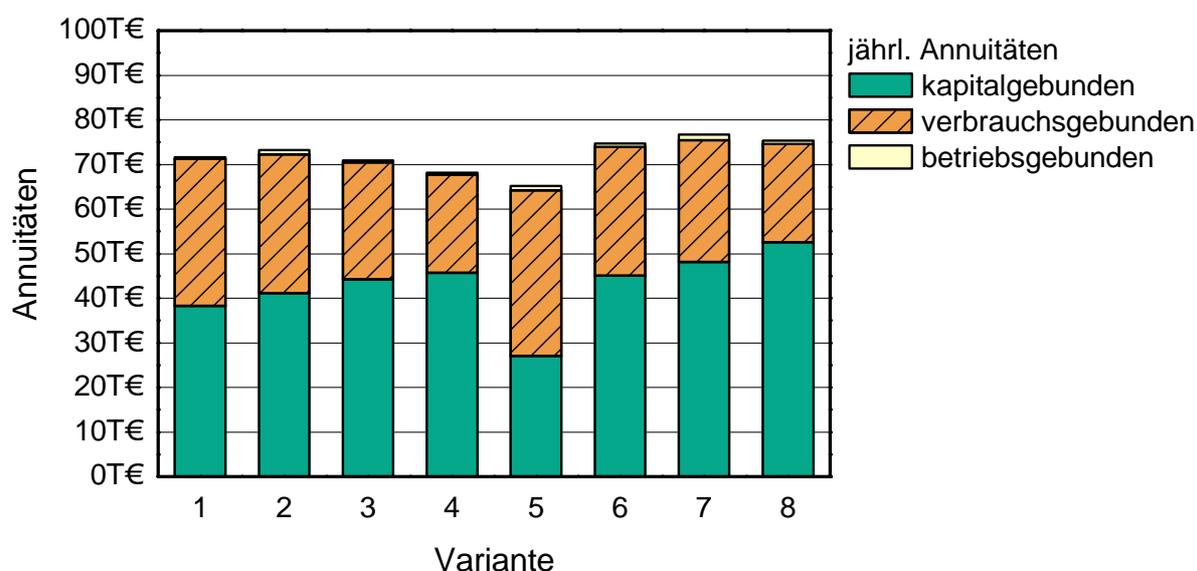


Bild 219 Vergleich der Annuitäten

³ Vgl. KfW Bankengruppe, KfW Förderbank, Finanzierung von wohnwirtschaftlichen Investitionen, 2007

Der Vergleich der Gesamtannuitäten der verschiedenen Varianten ist in Bild 219 dargestellt. Die kapitalgebundenen Zahlungen entstehen durch die Summe der Annuitäten der Instandhaltungskosten und der Annuitäten der Investitionskosten. Wobei der Anteil der jährlichen Instandhaltungskosten in den ersten vier Varianten bei ungefähr 5% liegt und bei Variante 5 bei knapp 9%. Daraus geht hervor, dass der Einfluss der kapitalgebundenen Zahlungen der Investitionskosten wesentlich wichtiger ist. Die verbrauchsgebundenen Zahlungen resultieren aus den endenergiebedarfsabhängigen Energiekosten und die betriebsgebundenen Zahlungen aus den Kosten für jegliche Wartungen.

Durch die geringen Energiekosten, die auf Grund des geringen Endenergiebedarfs entstehen, sind Variante 3 und 4 auch deutlich günstiger als die Ausgangsvariante 1, obwohl die beiden Varianten 3 und 4 größere kapitalgebundene Zahlungen hervorgerufen. Variante 4 senkt in Bezug zu Variante 3 den Endenergiebedarf und somit auch die Energiekosten durch eine Dämmung der in Variante 3 nicht gedämmten oder schlechter gedämmten Rohrleitungen, obgleich sie auf Grund dieser Maßnahme geringfügig höhere kapitalgebundene Zahlungen aufweist.

Die teuerste Variante ist trotz der geringeren verbrauchsgebundenen Zahlungen im Vergleich zur Ausgangsvariante 1 die Variante 2. Dies resultiert aus den höheren Wartungs- und Instandhaltungskosten des Biomassewärmereizers gegenüber den Gasbrennwertkesseln und dem größeren Investitionsbetrag für die Anlagentechnik. Deutlich ist zu erkennen, dass die verbrauchsgebundenen Zahlungen sowie die Investitionskosten den größten Einfluss darstellen, wobei die durch die Instandhaltung entstehenden kapital- sowie die betriebsgebundenen Zahlungen nicht zu vernachlässigen sind.

Tabelle 71 Kosteneffizienz der Varianten im Sanierungsfall, bezogen auf das Einsparpotential

Variante	Konfiguration				Annuitäten [€/a]			Vermeidungskosten			
	HT	BWK	Pellet	Solar	Gesamt	Kapitalge- bundene Kosten	Bedarfsge- bundene Kosten	Betriebsge- bundene Kosten	Primär- energie [€/kWh]	End- energie [€/kWh]	Co2- Emissionen [€/kg]
1	0,6	x			71.674	38.346	32.944	385			
2	0,6	x	x		73.201	41.190	31.071	940	0,005	-0,023	0,023
3	0,4	x			70.901	44.266	26.249	385	-0,007	-0,008	-0,621
4	0,4	x			68.128	45.738	22.004	385	-0,020	-0,022	-0,087
5	0,8	x	x		65.175	27.053	37.178	943	-0,026	0,038	-0,113
6	0,6	x		x	74.674	45.077	28.904	692	0,031	0,007	0,200
7	0,4	x	x	x	76.701	48.169	27.285	1.247	0,015	-0,941	0,060
8	0,4	x		x	75.298	52.601	22.004	692	0,015	0,017	0,068

Analog zur Vorgehensweise im Neubauvorhaben wird nachfolgend der Kosteneffizienzfaktor p_{ec} für die Bewertung der einzelnen Maßnahmen herangezogen. Eine Übersicht über die berechneten Werte liefert Tabelle 71. Die Analyse der Vermeidungskosten liefert überraschende Ergebnisse. Im Vergleich zur Referenzvariante weisen die Varianten 3, 4 und 5 Minderkosten zur Vermeidung von Primärenergie und CO₂-Emissionen auf. Die Ursache hierfür liegt in der Investitionskostenstruktur, die sich erheblich von einem Neubauvorhaben unterscheidet. In diesem Fall wird auch bei Betrieb eines Pelletkessels zusätzlich ein kleiner dimensionierter Spitzenlastkessel benötigt. Des Weiteren wurde bei der Variantenbildung für die Fälle der ausschließlichen Beheizung mit Gas, insgesamt drei Heizkessel in der Berechnung berücksichtigt. Die Investitionskosten für die baulichen Maßnahmen differieren ebenfalls nicht so stark wie bei dem Neubauvorhaben, da deutlich weniger Aufwand für eine Verbesserung des Wärmeschutzes von $H'_T = 0,6$ auf $H'_T = 0,4$ W/(m²K) entsteht, als bei einer Verbesserung auf Passivhausniveau.

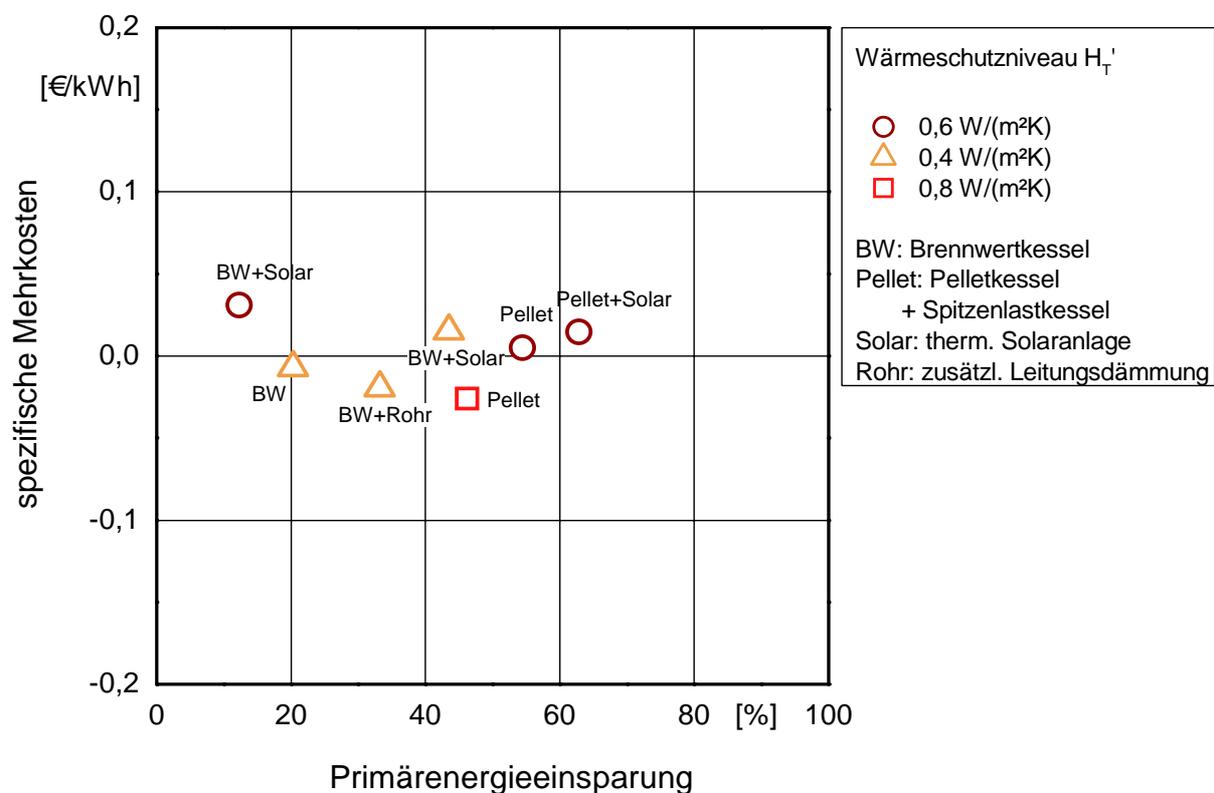


Bild 220 Kosteneffizienzfaktor $p_{ec,prim}$ aufgetragen über das primärenergetische Einsparpotential.

Vor diesem Hintergrund zeigt Bild 220, dass die Kombination aus einem wärmetechnisch unsanierten Gebäude ($H_{T}^{\prime}=0,83 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$) mit Pelletkessel bei einer möglichen Primärenergieeinsparung von 46% eine Kostenersparnis hinsichtlich der vermiedenen Primärenergie von 2,6 ct/kWh_{prim} aufweist. Gleichfalls zu einer Ersparnis von Vermeidungskosten gelangt man durch eine Verbesserung des Wärmeschutzes in Kombination mit einem Brennwertkessel. Bemerkenswert ist, dass eine zusätzliche Rohrleitungsdämmung zu erheblich günstigeren Werten gegenüber der ansonsten gleichen Konfiguration in Variante 3 führt. Die niedrigen Investitionskosten für eine nachträgliche Rohrleitungsdämmung und die hohen Energieeinsparungen durch diese Maßnahme sind hierfür verantwortlich. Der Wärmegestehungspreis für die primärenergetisch optimale Konfiguration aus Pelletkessel, Solaranlage und IST-Wärmeschutz beträgt 16 ct/kWh_{end} und liegt damit nur geringfügig über den Gestehungskosten der Referenzvariante (15 ct/kWh). Mit moderaten Vermeidungskosten

bezüglich der Primärenergie von 1,5 ct/kWh_{prim} und den CO₂-Emissionen in Höhe von 6 ct/kWh, stellt diese Variante ein Optimum hinsichtlich des Verhältnisses aus CO₂-Neutralität und Wirtschaftlichkeit dar.

6.8 Zusammenfassung der Ergebnisse

Für das Neubauvorhaben in Kassel wird bereits in der Grundvariante (Gaskessel, Radiatorheizung und guter baulicher Wärmeschutz) die Anforderung an den Primärenergiebedarf gemäß EnEV 2007 um rd. 22% unterschritten. Ursächlich hierfür ist der schon im Planungszustand vorzufindende gute bauliche Wärmeschutz ($H'_{T=0,35}$ W/(m²K)). Der Vergleich verschiedener anlagentechnischer und baulicher Varianten zeigt, dass die höchsten zusätzlichen Primärenergieeinsparungen mit der Kombination aus dem geplanten Wärmeschutz, Pelletkessel und Solaranlage, sowie der Kombination verbesserter Wärmeschutz mit Pelletkessel erreichbar sind. Die sehr gute primärenergetische Effizienz führt jedoch zu einem leicht höheren Endenergiebedarf im Vergleich zur Referenzvariante. Der Unterschied zur endenergetisch besten Lösung, nämlich der Kombination aus verbessertem Wärmeschutz, Brennwertkessel und Wohnungslüftungsanlage im Vergleich zur primärenergetisch optimalen Lösung beträgt 30 kWh/(m²a). Das bedeutet, dass der Endenergiebedarf um mehr als 50% steigt. Bemerkenswert ist, dass selbst bei erheblicher theoretischer Verschlechterung des baulichen Wärmeschutzes auf den Stand der 1970 er Jahre die Nutzung Erneuerbarer Energie zu einem niedrigeren Primärenergiebedarf gemessen an der Vergleichsvariante mit gutem Wärmeschutz und Gaskessel führt.

Die Analyse der Energie- und CO₂-Vermeidungskosten, welche über einen Betrachtungszeitraum von 20 Jahren aus der Wirtschaftlichkeitsberechnung ermittelt wurden, zeigen hohe Varianzen bezüglich der untersuchten Maßnahmen. Hierbei findet man relativ niedrige Primärenergievermeidungskosten für diejenigen Varianten, welche nicht mit einer Wohnungslüftungsanlage ausgerüstet sind, da diese hohe Investitionskosten bedingen. Die beiden Varianten, welche zu den höchsten Primärenergieeinsparungen führen, können mit Mehrkosten pro eingesparte Kilowattstunde Primärenergie von 9 und 10 ct/kWh_{prim} realisiert werden. Die CO₂-Vermeidungskosten liegen dabei bei 40 – 45 ct/kgCO₂.

Die Untersuchung verschiedener Anlagenkonfigurationen und bauliche Maßnahmen im Sanierungsfall zeigen, dass mit einer Verbesserung des Wärmeschutzes auf das Niveau eines Niedrigenergiehauses unabhängig von der Anlagentechnik die höchsten endenergetischen Einsparungen herstellen lassen. Hierbei erweist sich eine Kombination aus Brennwertkessel und Solaranlage mit einem Endenergiebedarf von 72 kWh/(m²a) als die günstigste Konfiguration, gefolgt von Variante 4 (Brennwertkessel und Rohrleitungsdämmung, Q_f=85 kWh/(m²a)) und Variante 3 (Brennwertkessel, Q_f=103 kWh/(m²a)). Alle Varianten, die aus einer Kombination aus einem Pelletkessel und einem Gas-Spitzenlastkessel bestehen, liegen hingegen primärenergetisch deutlich besser als alle Varianten mit Gaskesseln. Die höchste primärenergetische Effizienz besitzt dabei die Kombination aus Pelletkessel und Solaranlage für den vorgefundenen Wärmeschutz (H_T'=0,59 W/(m²K)). Im Vergleich zur Basisvariante kann knapp 63% der Primärenergie eingespart werden. Der Endenergiebedarf in Höhe von 131 kWh/(m²a) bleibt durch den Einsatz einer Solaranlage im Vergleich zur Referenzvariante nahezu gleich. Die kostengünstigste Variante, bei welcher der maximal zulässige Transmissionswärmetransferkoeffizient gerade noch eingehalten wird (H_T'=0,83 W/(m²K)), kann bei einem Einsatz eines Pelletkessels immerhin noch rd. 46% der Primärenergie eingespart werden.

6.9 Fazit

Die derzeit gültige Energieeinsparverordnung 2007 [EnEV, 2007] limitiert bei Einhaltung der Hauptanforderung Primärenergiebedarf den zulässigen Kennwert für den baulichen Wärmeschutz H_T'. Der maximal zulässige auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogene Transmissionswärmeverlust wird hierbei anhand der Gebäudegeometrie ermittelt und variiert von 1,05 W/(m²K) für kompakte Gebäude bis 0,44 W/(m²K) für Gebäude mit einem A/V_e-Verhältnis $\geq 1,05 \text{ m}^{-1}$. Das bedeutet, dass bei Einhaltung der Hauptanforderungsgröße Primärenergiebedarf, der bauliche Wärmeschutz bis zu o.g. Werten verschlechtert werden darf. Die Nutzung von erneuerbarer Energie für die Bereitstellung von Wärme für die Beheizung und Trinkwarmwasserbereitung in Wohngebäuden führt unter Berücksichtigung der niedrigen Primärenergiefaktoren dazu, dass die Anforderungen an den Primärenergiebedarf so

gut wie immer eingehalten werden. Das am 01.01.2009 in Kraft tretende Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz – EEWärmeG [EEWärmeG, 2008] schreibt die Nutzung Erneuerbarer Energien für neu zu errichtende Gebäude vor. In neu zu errichtenden Gebäuden (Wohn- und Nichtwohngebäude) muss der Deckungsanteil am Wärmeenergiebedarf bei Nutzung von Solarenergie mindestens 15%, bei Nutzung gasförmiger Biomasse mindestens 30% und bei Nutzung von fester oder flüssiger Biomasse oder Geothermie mindestens 50% betragen. Als Ersatzmaßnahme gilt die Nutzungspflicht als erfüllt, wenn die jeweils gültige Anforderung an den Primärenergiebedarf und den baulichen Wärmeschutz um mindestens 15% unterschritten wird.

Des Weiteren werden Maßnahmen zur Nutzung Erneuerbarer Energie, welche die Verpflichtung zur Nutzung bis zu den geforderten Deckungsanteilen erfüllen, von einer finanziellen Förderung ausgenommen. Ein Verpflichteter muss gemäß der wirtschaftlichen Betrachtung durch höhere Investitionen bei der Nutzung Erneuerbarer Energie, sowie der teilweisen höheren bedarfsgebundenen Zahlungen mit höheren Annuitäten rechnen. Der finanzielle Handlungsspielraum für die Verbesserung des baulichen Wärmeschutzes wird dadurch eingeengt. In der vorliegenden Studie konnte auf der anderen Seite gezeigt werden, dass mit wirtschaftlich vertretbaren Mitteln, bzw. moderaten CO₂-Vermeidungskosten (40-45 ct/kg_{CO2}) sowohl der bauliche Wärmeschutz als auch die Nutzung Erneuerbarer Energien realisiert werden können.

Das Nutzungspotential von Biomasse für den Wärmemarkt ist bis zum Jahr 2050 laut Leitszenario 2008 weitgehend ausgeschöpft. Umso wichtiger ist es also, zukünftig den Wärmebedarf durch bauliche Maßnahmen weiter zu senken, damit das CO₂-Vermeidungspotential erneuerbarer Energieträger noch effizienter genutzt werden kann.

7 LOW-LEVEL-MONITORING (STZ-EGS)

Vom Steinbeis-Transferzentrum Energie-, Gebäude- und Solartechnik, Stuttgart bzw. dessen Partnerbüro EGS-plan, wurden seit 2001 etwa 20 Nahwärmeversorgungen mit Pellets als Hauptenergieträger, teilweise ergänzt um Solarenergie oder Erdgas, geplant. Ein Großteil der Anlagen wird von einem Energiedienstleister, der ImmoTherm GmbH, Tübingen betrieben.

In einem Low-Level-Monitoring werden seit Ende 2005 die Zählerdaten einer größeren Anzahl von Anlagen mindestens jährlich erfasst und ausgewertet. Die Anlagen wurden bereits beim Bau so mit Zählern ausgestattet, dass sich die wesentlichen Energieströme nachvollziehen lassen. Für die Auswertung standen Daten bis einschließlich 2007 zur Verfügung.

Zusätzlich wurde in einer der Anlagen, die mit Pelletkessel und Solaranlage ausgestattet ist, eine Datenerfassungsanlage installiert, die aus allen Wärmemengenzählern die vorhandenen Messwerte kontinuierlich aufzeichnet. Diese Daten stehen ab etwa März 2008, mit einigen Unterbrechungen, zur Verfügung.

Hauptmotivation für die Durchführung der Datenerfassung und -auswertung sind:

- für den Betreiber: Optimierung der Betriebsweise und dadurch höherer Wirkungsgrad und geringere Energiekosten
- für die Planer: Rückmeldung über die Funktionsweise der geplanten Anlagen, Überprüfung der Wirksamkeit von Regelparametern etc.

Im Wesentlichen werden folgende Daten erfasst:

- Wärmeverbräuche der versorgten Gebäude
- ans Netz gelieferte Wärmemenge
- vom Pelletkessel erzeugte Wärmemenge
- von der Solaranlage erzeugte Wärmemenge (falls vorhanden)
- bezogene Gasmenge (falls vorhanden)
- Pelletverbrauch

Bei der kontinuierlichen Datenaufzeichnung, bei der die o.g. Werte in 15-Minuten-Schritten erfasst werden, kommen folgende Daten hinzu:

- Durchfluss sowie Vor- und Rücklauftemperaturen an den Wärmemengenzählern
- Außenlufttemperatur

Die Erfassung der Daten ist mit folgenden Schwierigkeiten und Ungenauigkeiten verbunden: Die Ablesung der Wärmemengenzähler bei den Wärmekunden und innerhalb der Heizzentrale erfolgte nicht konsequent am selben Stichtag. Außerdem ist die Ermittlung der Pellet- Verbrauchsmenge ungenau, da die zum Jahresende vorhandene Restmenge nur geschätzt wird. Der hierdurch verursachte Fehler reduziert sich bei Anlagen mit hohem Verbrauch und bei größeren Betrachtungszeiträumen, z.B. über 2 oder 3 Jahre.

7.1 Pliezhagen, Baumsatz 3

Die Anlage im Baugebiet Baumsatz 3 war die erste Pellet-Anlage, die von STZ-EGS geplant und von der ImmoTherm GmbH gebaut und betrieben wurde. Für ein erstes Quartier aus einem Mehrfamilienhaus und 28 Reihenhäusern wurde 2002 eine Heizzentrale mit einem 220 kW Pelletkessel und einer Solaranlage errichtet. Als in der Folgezeit (2004/05) ein weiteres Quartier angeschlossen wurde, wurde der Kessel ausgebaut und durch einen größeren mit einer Leistung von 300 kW ersetzt.

Die wichtigsten Daten des Versorgungsgebietes:

Gebäude	2 MFH (12 WE), 36 EFH (freistehend, DH, RH) Bezug: überwiegend bis 2005
Wohnfläche	ca. 6.320 m ² (Stand Ende 2007)
Heizanlage	Pelletkessel 300 kW Solaranlage 140 m ² Kollektoren, Solarroof, Dachneigung 30° Pufferspeicher 9 m ³

Nahwärmenetz	ca. 1.110 m Trassenlänge (PEX / erdverlegt und Stahl / im UG)
Inbetriebnahme	Heizzentrale: Ende 2001 Einbau neuer Kessel: 2004

Im Jahr 2008 wurden noch 8 weitere EFH angeschlossen. Bis zum Endausbau fehlen noch 6 EFH.



Bild 221 Luftbild Wohngebiet Baumsatz 3 [Quelle: Google Earth]



Bild 222 Links: Holzpelletkessel in Heizzentrale Rechts: Kollektorfeld auf Garagendach

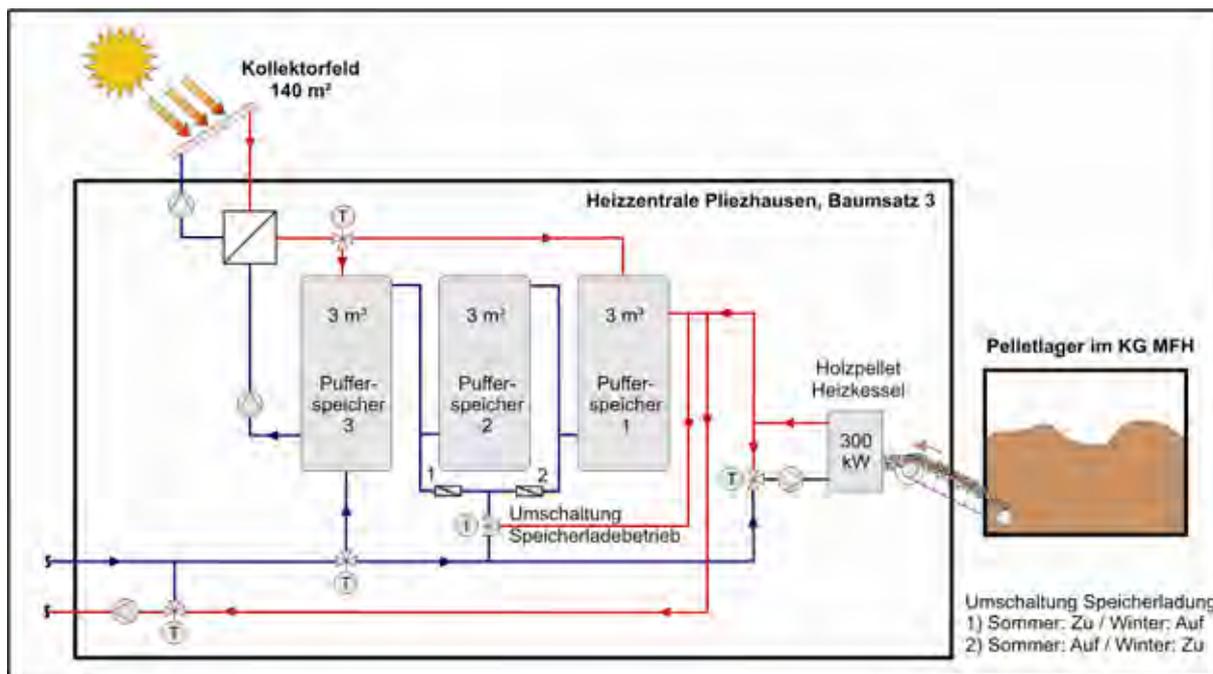


Bild 223 Vereinfachtes Anlagenschema Baumsatz 3

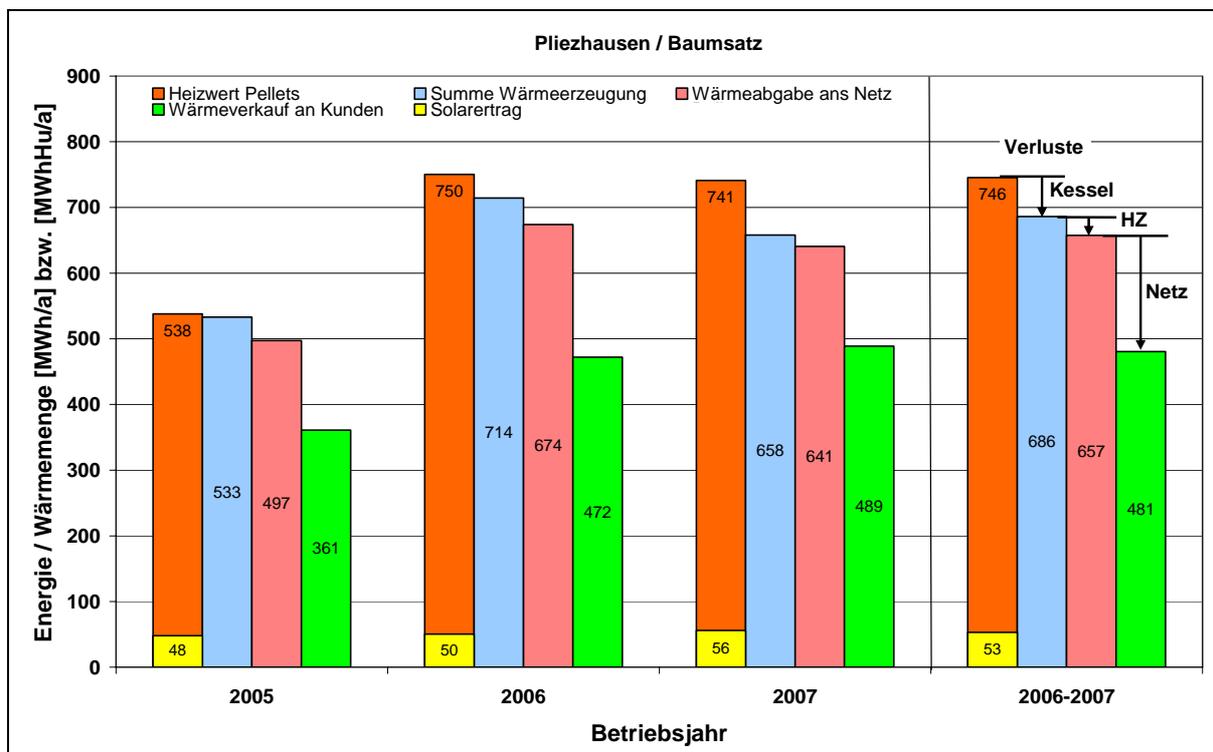


Bild 224 Energiebilanzen Baumsatz 3

Im Laufe des Jahres 2005 kamen neben einem MFH mehrere EFH hinzu, was im Jahr 2006 zu einer deutlichen Erhöhung des Wärmeverbrauchs auf etwa 470 MWh/a führte. Bild 224 zeigt für die einzelnen Jahre folgende Stufen der Energiemengen:

- Heizwert Pellets + Solarwärme
- Summe Wärmeerzeugung (aus Pelletkessel und Solaranlage)
- Wärmeabgabe ans Netz
- Wärmebezug der Kunden

Die Differenzen beziffern die Umwandlungsverluste im Kessel, die Verluste innerhalb der Heizzentrale sowie die Netzverluste. Die Solaranlage lieferte im Mittel 53 MWh/a bzw. 379 kWh/m²a.

7.2 Esslingen, Kastenäcker

Das Baugebiet Kastenäcker wurde in den Jahren 2004 bis 2006 vom Siedlungswerk Stuttgart mit 1 Mehrfamilienhaus und 30 Doppel- und Reihenhäusern sowie freistehenden Einfamilienhäusern bebaut. Ein innovatives Energiekonzept auf Basis einer Nahwärmeversorgung mit Pellets und Solaranlage wurde frühzeitig in die Planungen einbezogen und mit den Anforderungen der Stadtplaner abgestimmt. Realisiert wurde eine Nahwärmeversorgung mit Pelletkessel und thermischer Solaranlage.

Gebäude	1 MFH (6 WE), 30 EFH (freistehend, DH, RH) in 2 Bauabschnitten / Fertigstellung 2005 bzw. 2006
Wohnfläche	ca. 4.350 m ²
Heizanlage	Pelletkessel 220 kW Solaranlage 147 m ² Kollektoren, Solarroof, Dachneigung 20° Pufferspeicher 9 m ³
Nahwärmenetz	ca. 630 m Trassenlänge (PEX / erdverlegt und Stahl / im UG)
Übergabestationen	EFH: direkte Stationen mit Warmwasserbereitung im Durchfluss MFH: indirekte Station mit Speicher-Lade-System

Inbetriebnahme Heizzentrale: Juni 2005
 Solaranlage: Okt. 2005



Bild 225 Luftbild Wohngebiet Kastenacker [Quelle: <http://maps.live.de>]

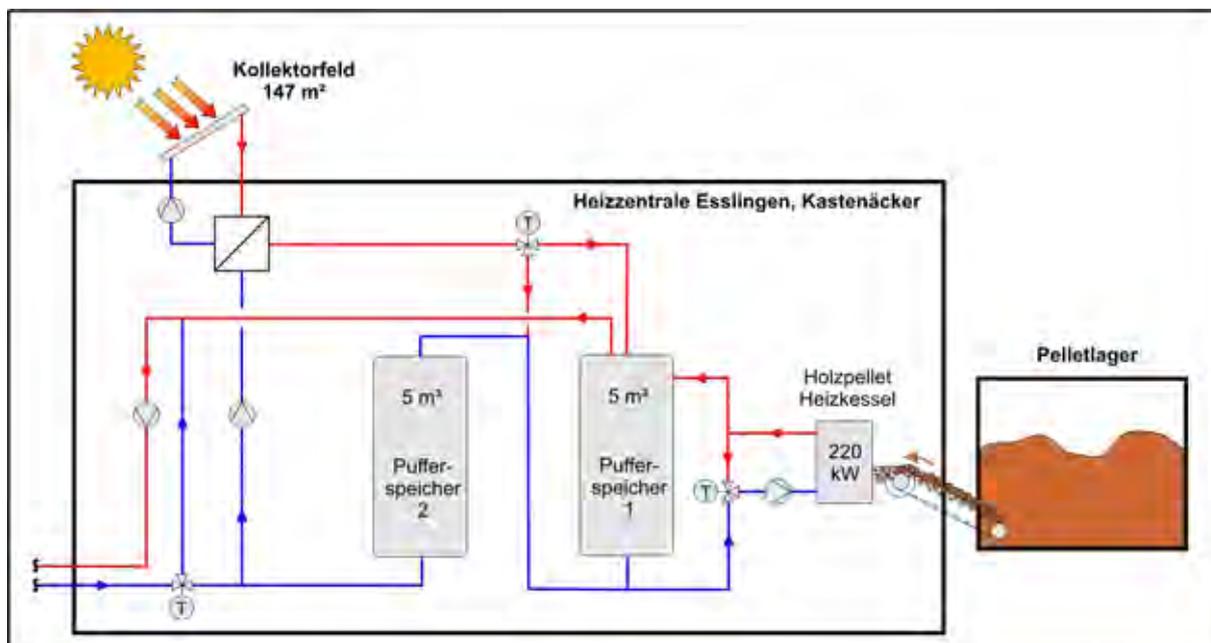


Bild 226 Vereinfachtes Anlagenschema Kastenacker

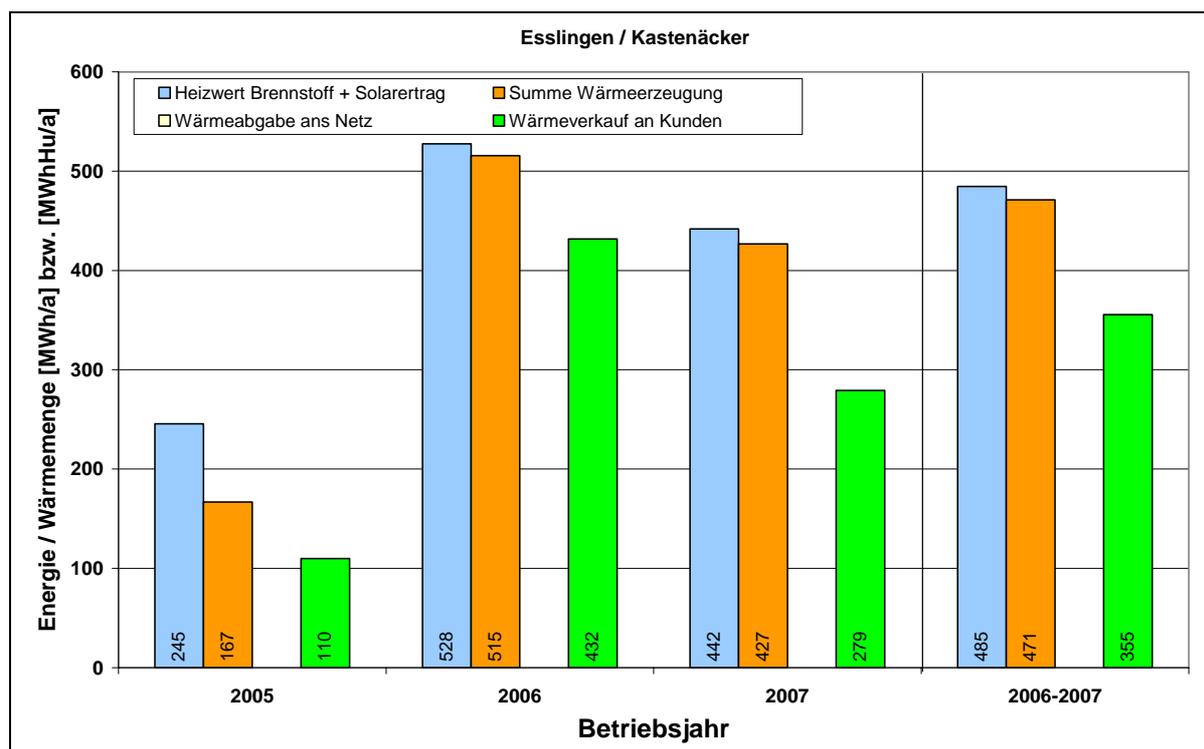


Bild 227 Energiebilanzen Kastenäcker

Die Anlage verfügte über keinen Zähler für die ins Netz abgegebene Wärmemenge. Dieser wurde erst mit der Installation der Datenerfassung im Jahr 2008 nachträglich eingebaut.

Die Solaranlage lieferte im Mittel 40 MWh/a bzw. 268 kWh/m²a.

Mit der kontinuierlichen Datenerfassung ab März 2008 konnte auch das Betriebsverhalten der Anlage analysiert werden und Fehlfunktionen behoben werden.

Bild 228 zeigt den Verlauf der Vor- und Rücklauftemperaturen sowie der Außentemperatur. Mit Hilfe dieser Aufzeichnung wurde festgestellt, dass die Vorlauftemperaturregelung nicht funktionierte. Das Heizwasser aus dem Pufferspeicher wurde ohne Rücklaufbeimischung mit Temperaturen zwischen 70 und 85°C ins Netz gepumpt. Nachdem dieser Fehler am 26.04.08 behoben worden war, lag die Vorlauftemperatur konstant bei 68°C, auch die Rücklauftemperatur senkte sich in Folge um etwa 5 bis 10 K ab.

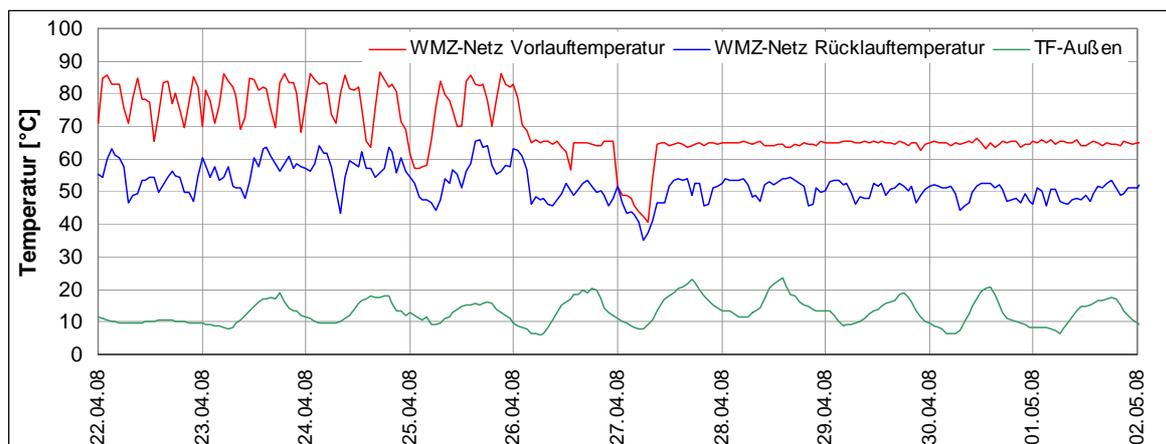


Bild 228 Netztemperaturen und Auswirkung einer fehlerhaften Regelung

Bild 229 zeigt die ans Netz abgegebene Leistung in einer Sommerperiode. Es zeigt sich deutlich ein Sockel von etwa 10 kW, was der Verlustleistung des Netzes entspricht. Hochgerechnet ergibt sich daraus ein jährlicher Netzverlust von etwa 90 MWh/a. Dies entspricht in etwa den berechneten Werten aus der Studie.

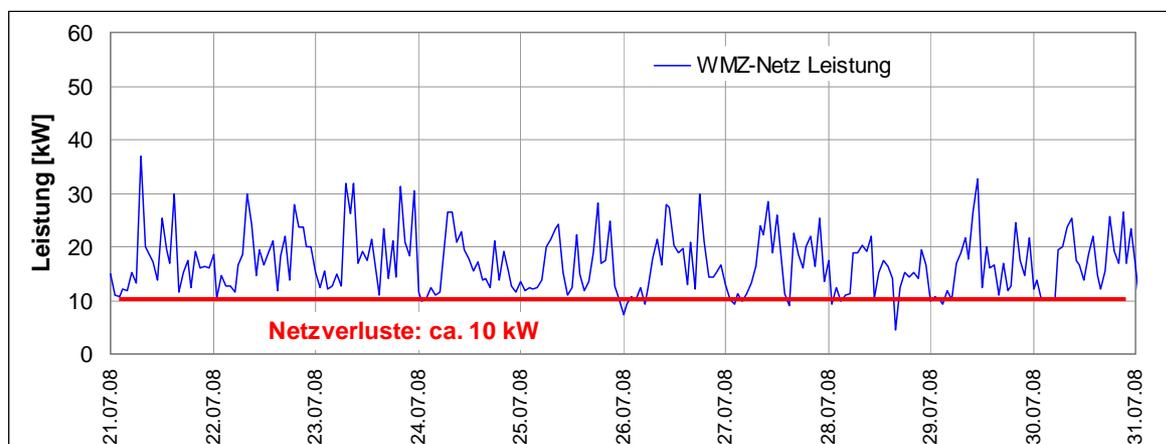


Bild 229 Leistungsabgabe ins Netz (Sommer)

Ziel der Kombination des Pelletkessels mit einer Solaranlage ist es, dass in den Sommermonaten bei guter Witterung vollständig auf den Kessel verzichtet werden kann und die Wärme vollständig mit der Solaranlage bereitgestellt werden kann. Bild 230 zeigt, dass dies bei der Anlage Kastenacker nicht ausreichend funktioniert.

Aufgrund der ungenügenden Abkühlung des Netzes in den Übergabestationen benötigen die Pufferspeicher in den frühen Vormittagsstunden eine Nachladung durch den Kessel. Obwohl z.T. bereits kurze Zeit später die Speicherladung durch die Solaranlage einsetzt, ist der Kessel weiter in Betrieb, bis der erste Puffer vollständig beladen ist und überhitzt diesen aufgrund des erforderlichen Ausbrandes. Dadurch reduziert sich das für die Solaranlage verfügbare Speichervolumen, so dass bereits in den Nachmittagstunden die Speicher beladen sind. Dies lässt sich an den ansteigenden Rücklauftemperaturen im Solarkreislauf erkennen.

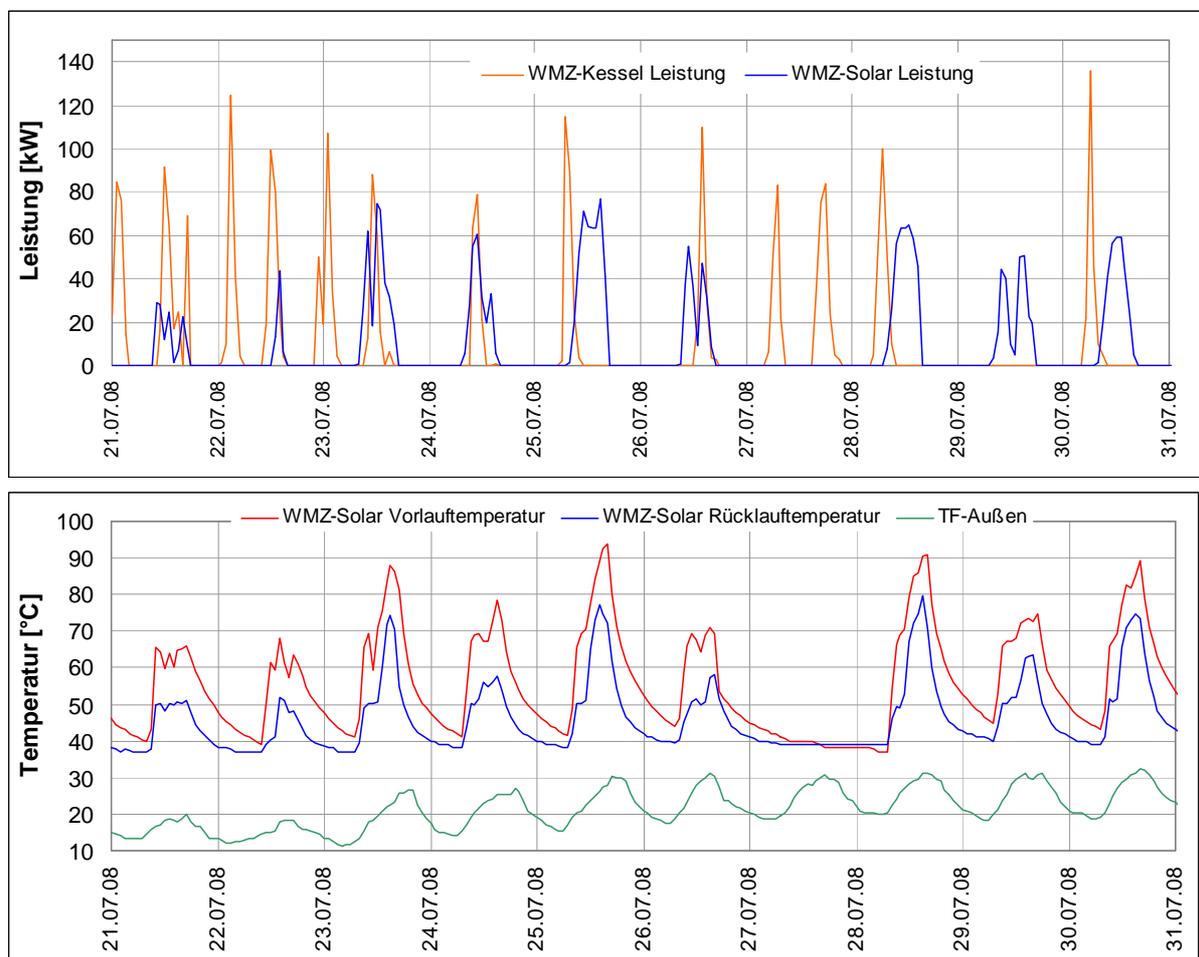


Bild 230 Ertrag Solaranlage und Kesselleistung sowie Temperaturen im Solarkreislauf (Sommerperiode)

Ende 2008 wurde zudem bemerkt, dass die Regelung der Netzpumpen nicht differenzdruckgeregelt erfolgt. Dadurch wurde der Durchfluss im Netz nicht vollständig der Wärmeabnahme angepasst und damit das Heizwasser nicht ausreichend abgekühlt. In Folge der Änderung im Oktober 2009 sank die Rücklauftemperatur im Mittel um weitere 2 K ab. Die Auswirkung bei reinem Warmwasser Bezug wird erst in den Sommermonaten 2009 zu erkennen sein.

Die Probleme sind bei neueren Anlagen inzwischen durch eine neue Regelung mit einem besseren Speichermanagement entschärft. Dabei wird nicht mehr die Rücklauftemperatur aus dem Speicher als Führungsgröße für die Kesselabschaltung herangezogen, sondern eine frei wählbare Temperatur im Speicher. Dadurch beginnt die Kesselabschaltung nicht erst, wenn der erste Speicher vollständig beladen ist, sondern so rechtzeitig vorher, dass dieser Speicher noch die Wärme aus der Ausbrandphase des Kessels aufnehmen kann.

7.3 Köngen, Burgweg-West II

Das Baugebiet Burgweg-West II wird seit 2004 vom Siedlungswerk Stuttgart erstellt. In bisher 3 Bauabschnitten wurden bis 2006 ein Mehrfamilienhaus und 21 Doppel- und Reihenhäuser errichtet. Auf diese bezieht sich die folgende Auswertung

Das Gebiet wird aus einer Heizzentrale mit Pelletkessel und thermischer Solaranlage mit Wärme versorgt. Die Zentrale befindet sich im Untergeschoss des Mehrfamilienhauses.

Gebäude	1 MFH (6 WE), 21 EFH (DH, RH) in 3 Bauabschnitten (2005 bzw. 2006)
Wohnfläche	ca. 3.320 m ²
Heizanlage	Pelletkessel 300 kW Solaranlage 139 m ² Kollektoren, Solarroof, Dachneigung 18° Pufferspeicher 10 m ³
Nahwärmenetz	ca. 450 m Trassenlänge (PEX / erdverlegt und Stahl / im UG)

Übergabestationen EFH: direkte Stationen, teilweise mit Warmwasserbereitung im Durchfluss, teilweise mit Speichern
MFH: indirekte Station mit Speicher-Lade-System
Inbetriebnahme Heizzentrale: Anfang 2005

Zur Zeit befinden sich die letzten 14 Reihen- und Doppelhäuser in Bau. Diese werden voraussichtlich noch im Jahr 2009 angeschlossen.

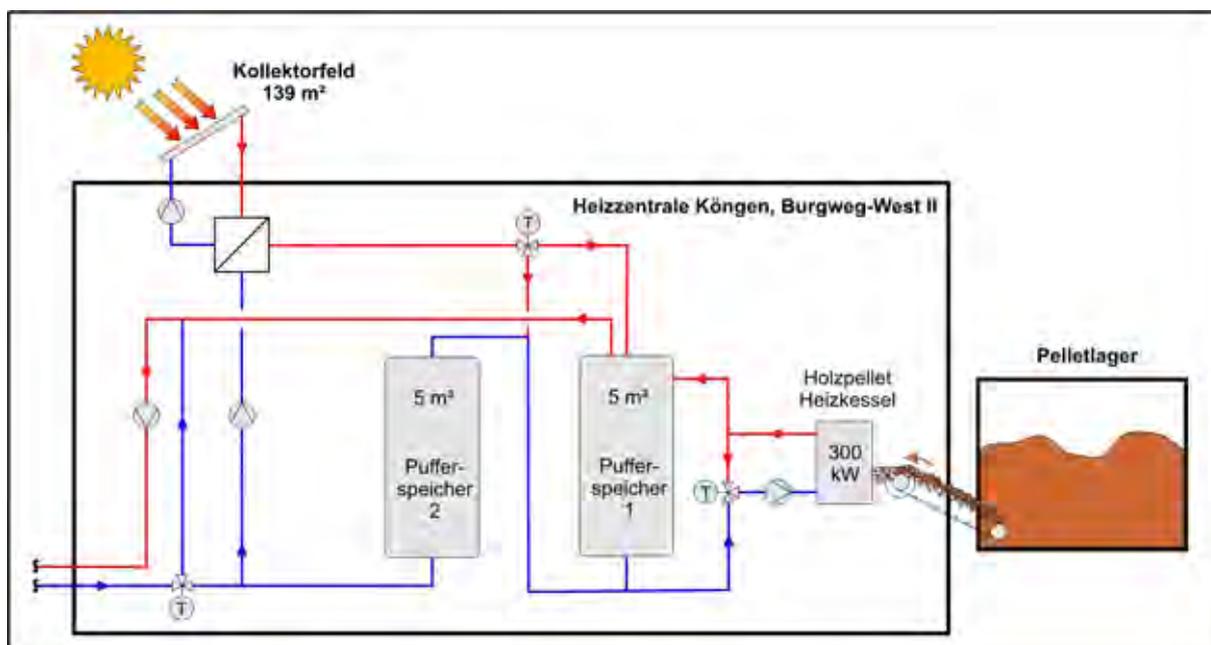


Bild 231 Vereinfachtes Anlagenschema Burgweg-West II



Bild 232 Links: Entwurf Doppelhaushälfte 3. Bauabschnitt, Rechts: Entwurf Reihenhauszeile 3. Bauabschnitt [Quelle: www.siedlungswerk.de]

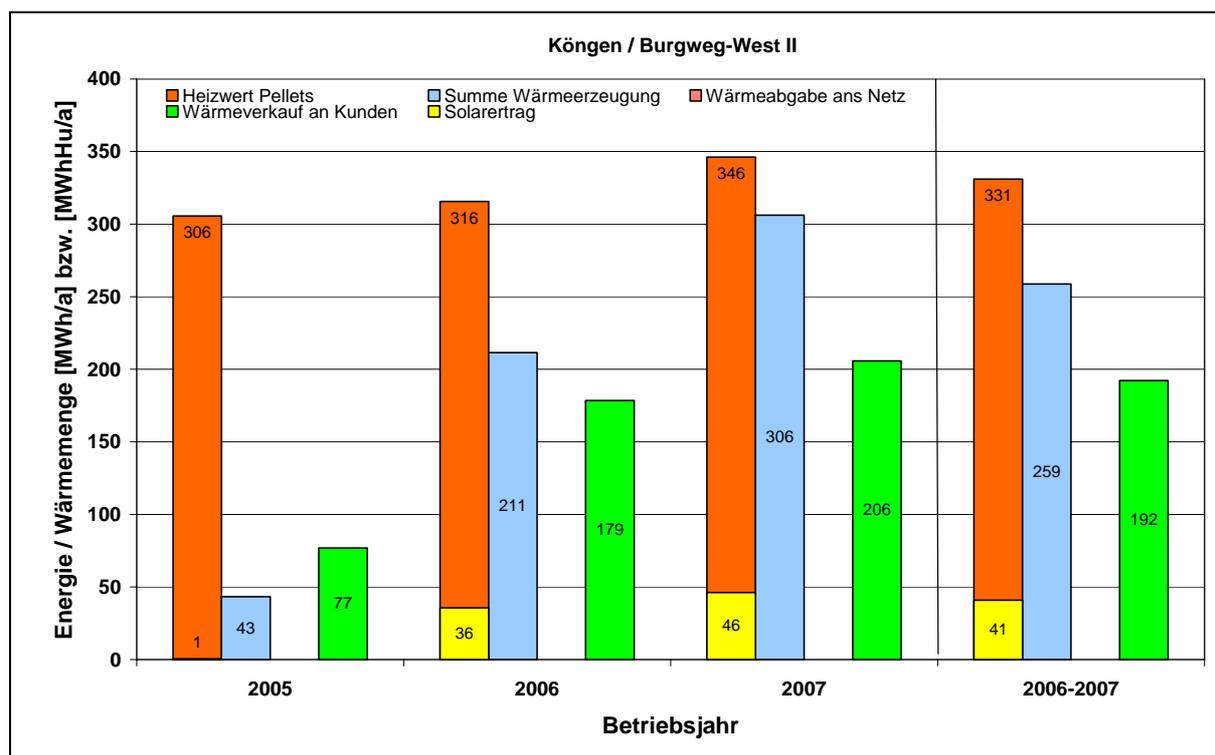


Bild 233 Energiebilanzen Burgweg-West II

Die Daten von 2005 beziehen sich im Wesentlichen auf die Inbetriebnahme- und Bauphase. Der Wert für "Summe Wärmeerzeugung" ist nicht plausibel. Vermutlich wurde der entsprechende Zähler erst später in Betrieb genommen.

Kontinuierlicher Betrieb spiegelt sich erst in den Daten von 2007 wieder, da viele der Gebäude erst in 2006 bezogen wurden.



Bild 234 Vorder- und Rückansicht Mehrfamilienhaus mit Heizzentrale und Kollektorfeld

7.4 Weil im Schönbuch, Seetal

Im Baugebiet Seetal wurde ab 2005 ein erster Bauabschnitt mit 9 Einfamilienhäusern erstellt. Das Gebiet wird aus einer gemeinsamen Heizzentrale mit Pelletkessel versorgt.

Gebäude	9 EFH (freistehend, DH, RH) Fertigstellung 2006
Wohnfläche	ca. 1.200 m ²
Heizanlage	Pelletkessel 150 kW Pufferspeicher 5 m ³
Nahwärmenetz	ca. 190 m Trassenlänge (PEX / erdverlegt und Stahl / im UG)
Übergabestationen	EFH: direkte Stationen mit Speicher-Lade-System
Inbetriebnahme	Heizzentrale: August 2006

In einem zweiten Bauabschnitt sollen weitere 10 Einfamilienhäuser an die Nahwärmeversorgung angeschlossen werden.

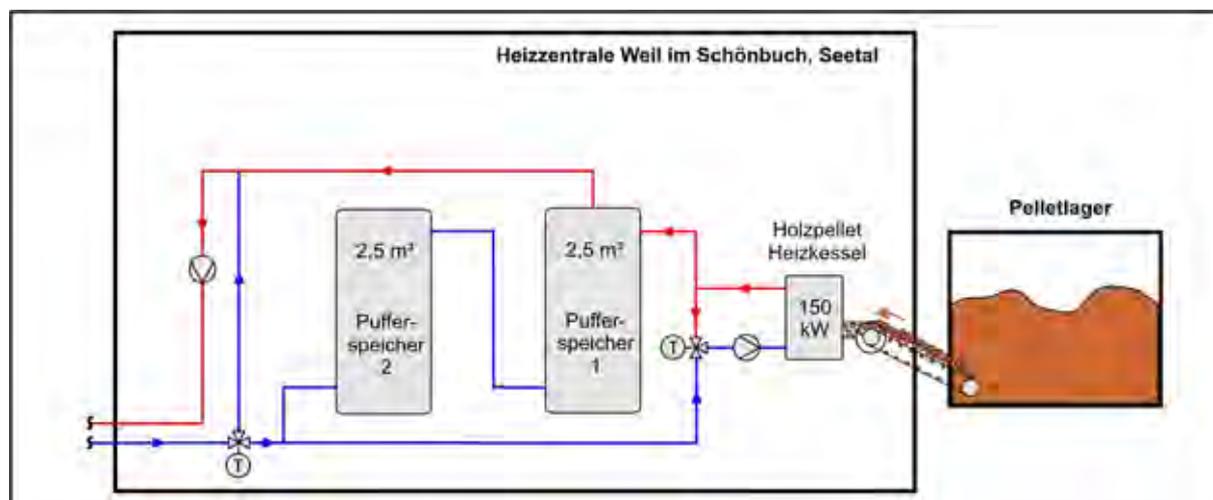


Bild 235 Vereinfachtes Anlagenschema Weil im Schönbuch, Seetal

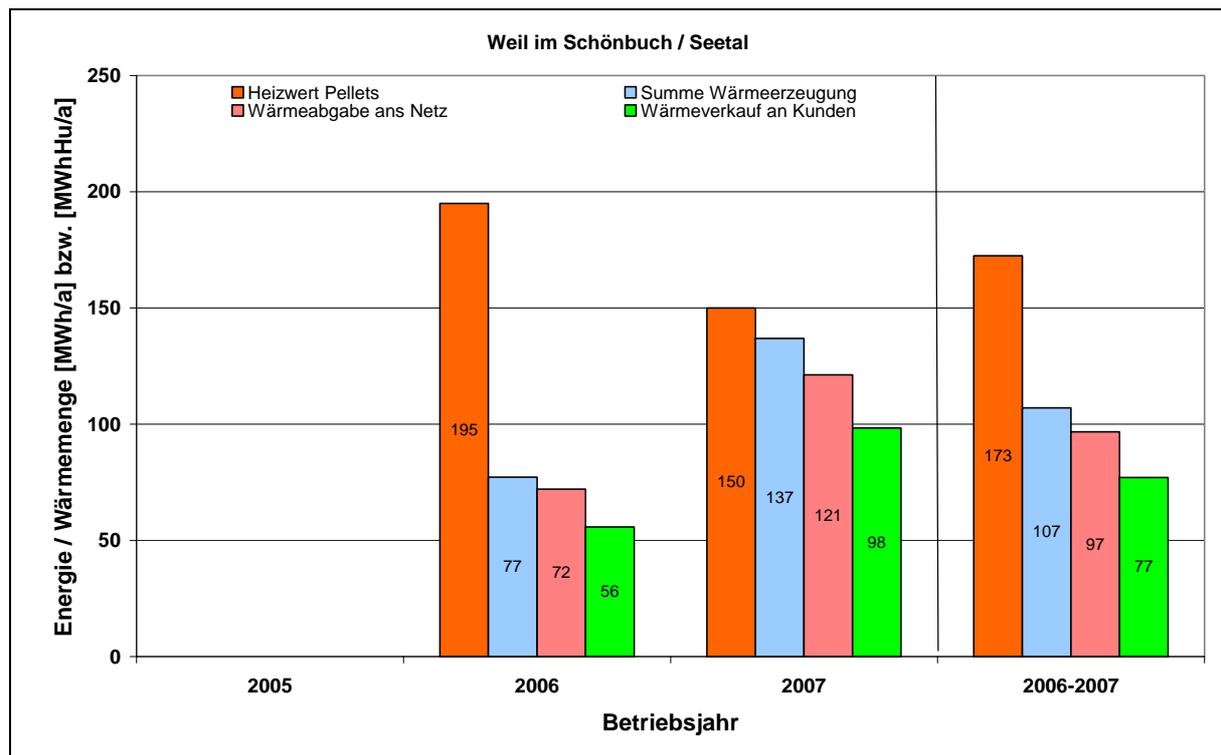


Bild 236 Energiebilanzen Weil im Schönbuch, Seetal

Die Daten von 2006 beziehen sich im Wesentlichen auf die Inbetriebnahmephase. Kontinuierlicher Betrieb fand erst im Jahre 2007 statt, so dass die Durchschnittswerte für 2006-2007 durch die Anlaufphase verfälscht werden.



Bild 237 Einbausituation Holzpelletkessel in der Heizzentrale

7.5 Gegenüberstellung der Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse für die o.g. Heizzentralen vergleichend gegenübergestellt.

Wärmeverbrauch der Gebäude

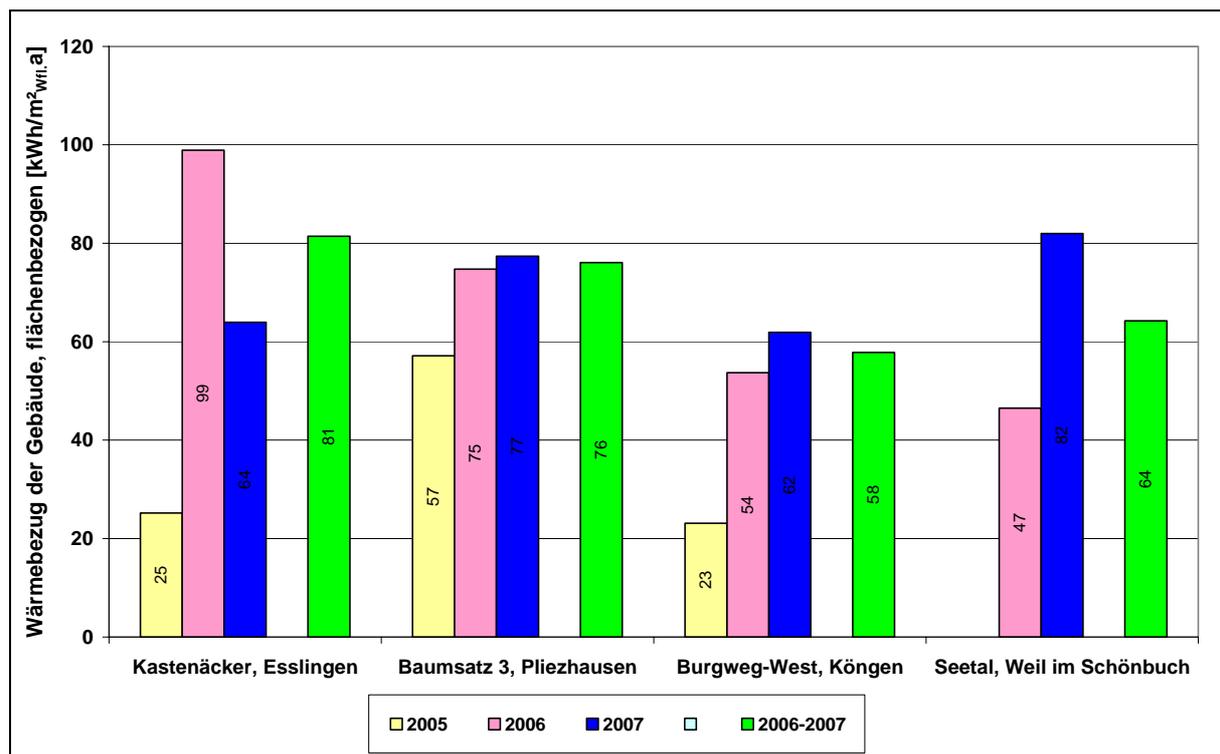


Bild 238 Übersicht Wärmeverbrauch der Gebäude

Die bezogene Wärmemengen (Heizung und WW) liegen überwiegend im Bereich von 60 bis 80 kWh/m²_{wfl.a.}. Bezogen auf die Nutzfläche A_N sind dies etwa 50 bis 70 kWh/m²_{a.}. In Studien wird hierfür üblicherweise ein Wert von 60 bis etwa 85 kWh/m²_{ANA} angesetzt. Die EnEV- Nachweise der Gebäude in den Gebieten Kastenäcker und Burgweg-West weisen Heizwärmebedarfe aus, die überwiegend im Bereich von 55 bis 65 kWh/m²_{ANA} liegen. Addiert man den Bedarf von 20 kWh/m²_{ANA} für die Brauchwasserbereitung und -verteilung, so ergeben sich Bedarfswerte von 75 bis 85 kWh/m²_{ANA}. Damit ist der Wärmeverbrauch fast durchgängig niedriger als der berechnete Bedarf.

An dieser Stelle ist anzumerken, dass das Jahr 2007, für das für alle Anlagen von einem kontinuierlichen Betrieb auszugehen ist, durch sehr milde Witterung gekennzeichnet ist.

Jahresnutzungsgrad Kessel

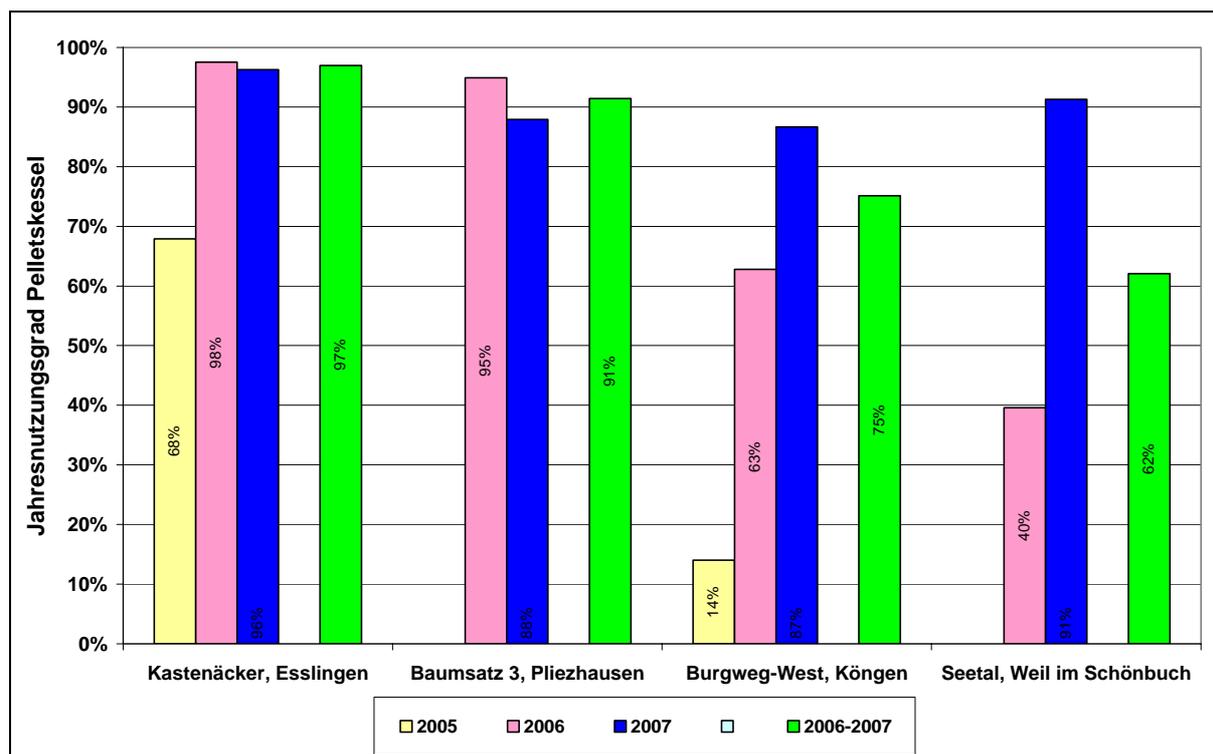


Bild 239 Übersicht Jahresnutzungsgrad der Pelletkessel

Der Jahresnutzungsgrad bildet sich aus dem Verhältnis Wärmelieferung des Kessels zum Heizwert der eingesetzten Pellets. Hier gibt es relativ große Unsicherheiten bei der Berechnung, da der Verbrauch an Pellets nicht genau erfasst wird. In den Jahren mit Normalbetrieb wurde überwiegend ein Jahresnutzungsgrad von über 85% ermittelt. Über die z.T. ungenaue Füllstands- und damit Verbrauchserfassung der Anlagen sind Ungenauigkeiten in der Ermittlung der Nutzungsgrade gegeben, die sich jedoch im Allgemeinen über einen längeren Betrachtungszeitraum ausgleichen. Insbesondere für die Anlage in Weil ergeben sich aufgrund des verkürzten Betrachtungszeitraums Ungenauigkeiten bei der Nutzungsgradermittlung, die durch die notwendige Optimierung in der Inbetriebnahmephase noch verstärkt werden.

Gesamtnutzungsgrad

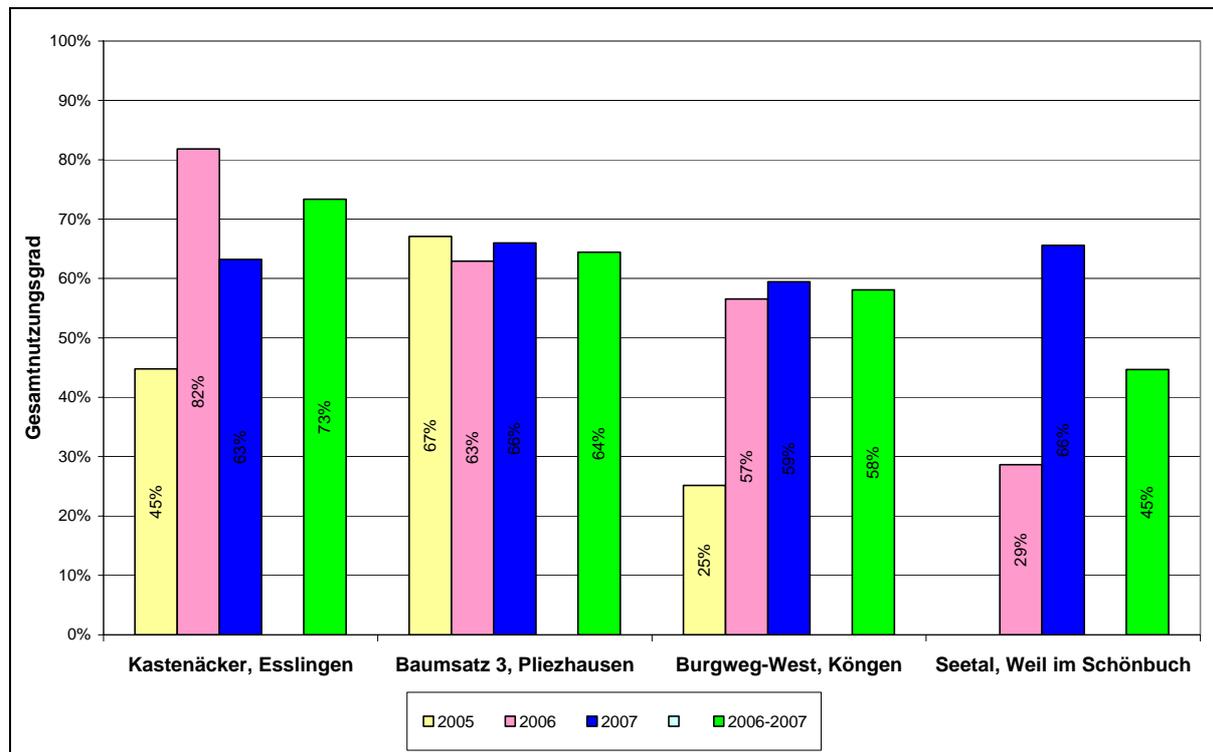


Bild 240 Übersicht Gesamtnutzungsgrad der Nahwärmeversorgungen

Der Gesamtnutzungsgrad ist das Verhältnis von gelieferter Wärme zu Brennstoffeinsatz (+ Solarertrag). Die Werte liegen überwiegend im Bereich von 60 bis 70%. Die Verluste beinhalten: die Kesselverluste, die Wärmeverluste in der Heizzentrale sowie die Netzverluste.

Netzverluste

Die Netzverluste konnten bei 2 der 4 Anlagen erfasst werden, da hier ein Zähler für die Wärmeabgabe ins Netz vorhanden war. Der Wert für die Anlage Kastenäcker wurde rechnerisch aus der Verlustleistung (siehe Bild 229) ermittelt.

Die spezifischen Verluste liegen im Mittel bei 100 bis 160 kWh/(m_{Tr}.a). Sie entsprechen damit etwa den Verlusten, die bei den Berechnungen in Studien für vergleichbare Gebiete ermittelt werden (130 bis 180 kWh/(m_{Tr}.a)), bzw. liegen teilweise noch etwas niedriger.

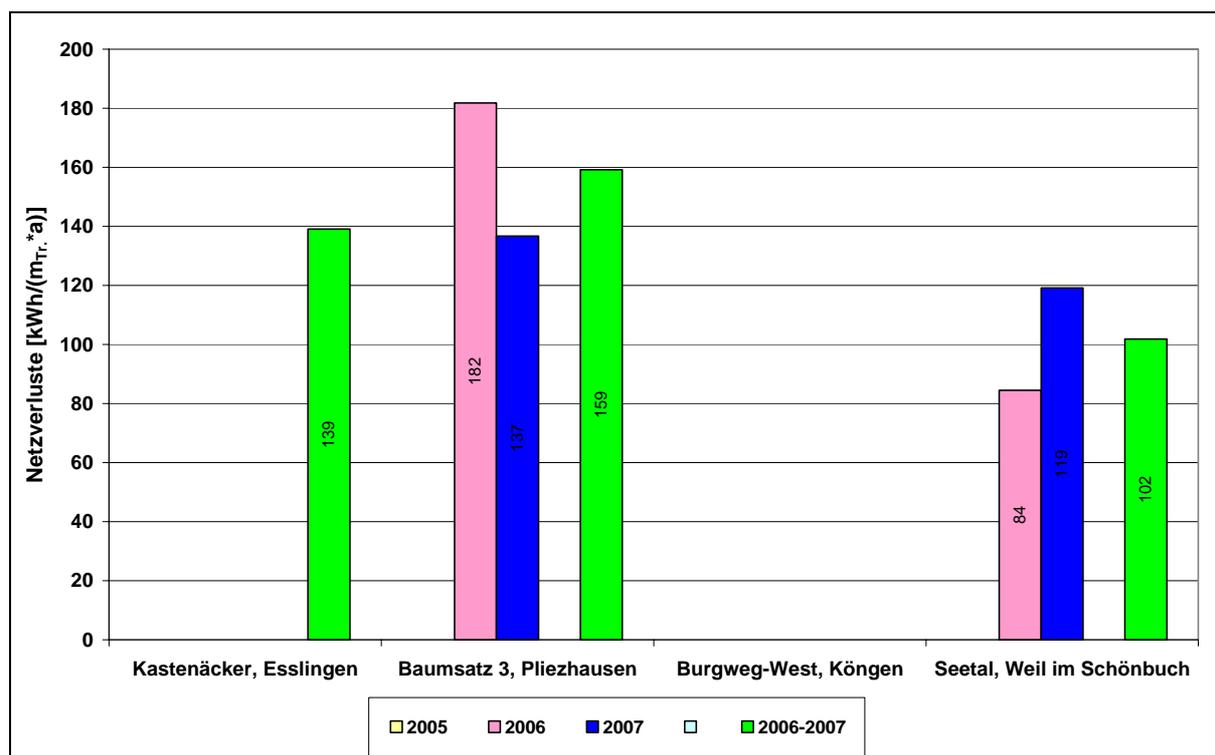


Bild 241 Übersicht jährliche Netzerluste pro m Trasse

Solarertrag / Solarer Deckungsanteil

In 3 der 4 Anlagen ist eine Solaranlage installiert. Die spezifischen Solarerträge liegen zwischen 250 und 400 kWh/m²a. Die geringsten Erträge bringt die Anlage in Esslingen Kastenäcker. Hier machen sich die zu diesem Zeitpunkt noch extrem hohen Rücklauftemperaturen negativ bemerkbar (siehe Bild 228). Die Nahwärmeversorgung in Köngen ist noch nicht vollständig ausgebaut. Dies bedeutet, dass die Solaranlage zum Zeitpunkt der Messungen eher überdimensioniert war, was in der Regel zu geringeren spezifischen Erträgen führt. In Pliezhausen dagegen wurde das Versorgungsgebiet erweitert, nicht aber die Solaranlage, so dass diese dort eher etwas zu klein ausgelegt ist. Die folgende Tabelle zeigt jeweils die Kollektorfläche und die Wohnfläche in den 3 Gebieten zum Zeitpunkt der Messungen:

	Kastenäcker, Esslingen	Baumsatz 3, Pliezhausen	Burgweg-West, Köngen
Wohnfläche	4.365 m ²	6.317 m ²	3.324 m ²
Kollektorfläche	148 m ²	140 m ²	139 m ²
Verhältnis Kollektorfläche / Wohnfläche	0,034	0,022	0,042

Tabelle 72 Kenndaten der solarthermischen Anlagen

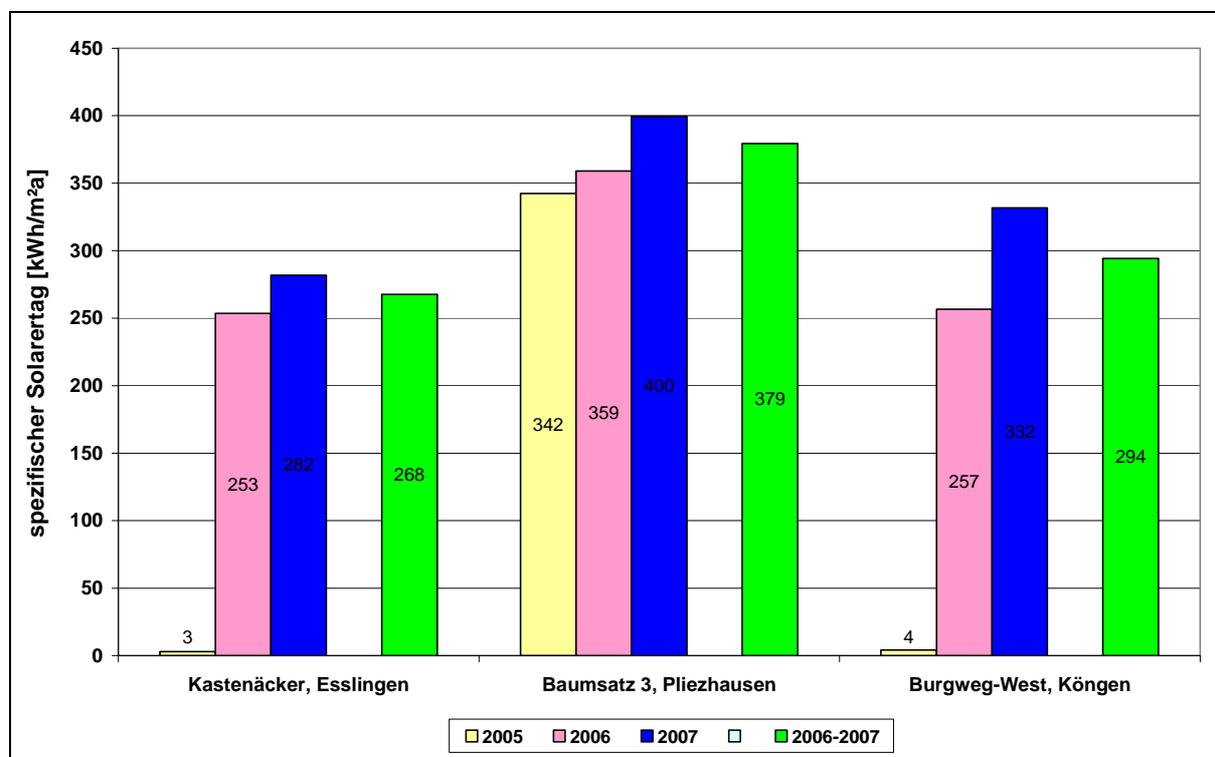


Bild 242 Übersicht spezifischer Solarertrag

Entsprechend variieren auch die jeweiligen solaren Deckungsanteile. Die Anlagen in Kastenäcker und Baumsatz 3 decken etwa 8% aus der Solaranlage, einmal wegen der geringen spezifischen Erträge, einmal wegen der relativ kleinen Anlagenauslegung. Die Anlage in Köngen erreicht wegen der o.g. Gründe einen solaren Deckungsanteil von etwa 16%. Dieser wird sich mit dem vollständigen Ausbau des Gebiets entsprechend reduzieren.

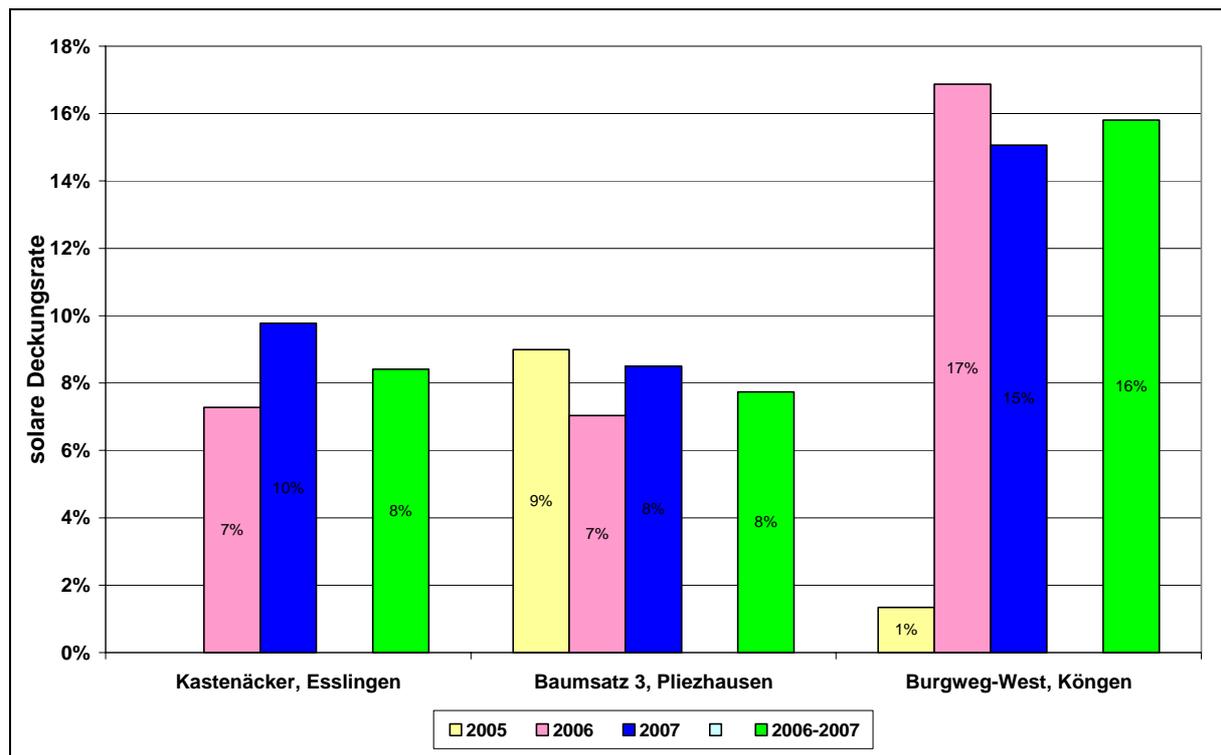


Bild 243 Übersicht solarer Deckungsanteil

7.6 Zusammenfassung / Fazit

Die bisherige Datenerfassung und Auswertung gibt dem Betreiber und Planer der Anlagen eine grobe Übersicht über das Betriebsverhalten der Wärmeversorgungsanlagen. Mit den Ergebnissen können die kritischen Anlagenteile erkannt werden, die entscheidend für die Verbesserung des Betriebsverhaltens sind.

Die Daten sind in der Regel erst nach der Anlaufphase repräsentativ. Nicht gedämmte Anlagenteile, nachträglich eingebaute Wärmemengenzähler und fehlende Einregulierung verfälschen die Energiebilanzen aus der Startphase.

Wesentliche Erkenntnisse aus dieser Auswertung sind:

- Der Wärmeverbrauch der Gebäude liegt tendenziell niedriger als die Annahmen in Studien bzw. die in den EnEV-Nachweisen berechneten Werte.
- Die Netzverluste pro m Trasse sind eher geringer als in Berechnungen ermittelt.

- Die ermittelten Jahresnutzungsgrade sind aufgrund der nicht stichtagsgenauen Ablesungen mit Ungenauigkeiten behaftet. Die nach der Startphase fast durchwegs hohen Werte lassen aber darauf schließen, dass die eingesetzten Kessel zufriedenstellend funktionieren.
- Die Solarerträge variieren bei den untersuchten Anlagen sehr stark. Die Messungen zeigen, wie entscheidend eine niedrige Netz-Rücklauftemperatur für einen hohen Solarertrag ist. Wichtig ist auch ein Speichermanagement, das v.a. in den Sommermonaten den Einsatz des Holzkessels auf ein Minimum reduziert.
- Die Messungen haben auch gezeigt, dass neben den Kesselverlusten und den Netzverlusten nicht zu vernachlässigende Verluste in der Heizzentrale entstehen (Pufferspeicher, Heizleitungen, ungedämmte Armaturen, etc.).

Das Monitoring der Wärmeversorgungsanlagen wird vom Betreiber und vom Planungsbüro weitergeführt. Ziel ist ein optimaler Betrieb der bestehenden Anlagen und die Anwendung von Erkenntnissen aus den Messungen bei der Planung von neuen CO₂-neutralen Wärmeversorgungen.

8 ERFAHRUNG UND UMSETZUNG

Neben den innerhalb der Projektlaufzeit erstellten Konzeptstudien und umgesetzten Anlagen zur CO₂- neutralen Wärmeversorgung, konnten weitere Bauvorhaben angestoßen werden. Dabei wurde bei der Erstellung der Machbarkeitsstudien der Projektansatz bei Sanierung im Bestand und bei Neubauvorhaben mit

1. Reduzierung des Energieverbrauchs der Gebäude / der Siedlung
2. Deckung des „Restenergiebedarfes“ regenerativ

konsequent umgesetzt.

Innerhalb dieses Abschnitts werden neben den Erkenntnissen und Erfahrungen aus den einzelnen Studien drei unter diesem Aspekt realisierte Anlagen in Kurzform vorgestellt.

8.1 Resümee und Erkenntnisse aus den Studien

Neben dem hohen baulichen Wärmeschutz tragen die erarbeiteten regenerativen Wärmeversorgungskonzepte (thermische Solarenergie in Kombination mit Biomasse, Geothermie oder Abwärme) deutlich zur Primärenergieeinsparung und Reduktion der CO₂- Emissionen von Gebäuden und ganzen Wohnsiedlungen bei.

Deutlich werden die Unterschiede zwischen Bestandssanierung und Neubauvorhaben, wo bereits bei der Planung Einfluss auf die Integration von Biomasseheizungen und Kollektoren genommen werden kann. Die wesentlichen Erkenntnisse und Erfahrungen aus den Studien werden nachfolgend beschrieben. Eine Erläuterung zu Nahwärmenetzen mit Erdsonden-Wärmepumpe soll das Spektrum regenerativer Versorgungskonzepte erweitern.

8.1.1 Neubau Wohnsiedlungen

Bei der städtebaulichen Planung von Wohnsiedlungen müssen mehrere Kriterien wie z.B. Familienfreundlichkeit, Verkehrsanbindung, Lärm, Vermarktbarkeit, Energieverbrauch (Wärme und Strom), usw. berücksichtigt werden. Die ganzheitliche Bewertung von Siedlungen nach dem jährlichen Wärme- und Stromverbrauch nimmt derzeit an Bedeutung zu. Bereits mit der Erstellung des Bebauungsplanes (B-Plan)

werden energetisch relevante Entscheidungen getroffen. Ziel der sog. Solarisierung von Bebauungsplänen ist die Optimierung der Gebäudeorientierung hinsichtlich der Nutzung passiv solarer Gewinne durch die transparente Fassade (Verglasungen), die Reduzierung der Verschattung durch angrenzende Bebauung (Nachbar- oder gegenüberliegendes Gebäude) und Vegetation sowie die Schaffung günstiger Voraussetzungen zur Integration von thermischen Solaranlagen.

Optimierung der Konzeptentwicklung durch Vorgaben im B-Plan

- Reduktion der Gebäudewärmeverluste durch Festlegung der Baukörper Geometrien, d.h. günstige A/Ve- Verhältnisse
- Optimierung der städtebaulichen Positionierung der Gebäude hinsichtlich Verschattung, Besonnung, Flächenverbrauch und Ausrichtung
- Verbesserung der passiven Solarenergiegewinne über Fenster oder solare Fassadensysteme (transparente Wärmedämmung)
- Festlegung bezüglich des Wärmedämmstandards (z.B. KfW60 oder 40), der Wärmedämmebene (Kellergeschoss, Dachgeschoss) und der Gebäudeform inkl. Dachform
- Schaffung von günstigen Rahmenbedingungen für die Integration von solarthermischen Anlagen
- Möglichkeit der Festlegung einer zentralen, rationellen Wärmeversorgung
- Festlegung konkreter Zielgrößen für die Anteile erneuerbarer Energie an der Wärmeversorgung
- Berücksichtigung Platzbedarf Heizzentrale, Brennstofflager und Brennstoffanlieferung (feste Biomasse)

Neben der energiegerechten Stadtplanung sollten aber auch Fragestellungen zu Personennahverkehr, Individualverkehr, Einkaufsmöglichkeiten, Freizeitgestaltung, usw. erörtert werden.

Energiekonzept Neubau Wohnsiedlung

Auf Basis eines energetisch optimierten B-Plans erfolgt die Untersuchung zukunftsorientierter Varianten der Wärmeversorgung. Eine aussagekräftige Gegenüberstellung erfordert einen Vergleich hinsichtlich der möglichen Reduzierung von Umweltbelastungen (Primärenergiebedarf oder CO₂-Emissionen) sowie hinsichtlich der damit verbundenen Kosten (Investitions- und Betriebskosten).

Neben einer Reihe von dezentralen Versorgungsoptionen sollten zentrale Wärmeversorgungsmöglichkeiten untersucht werden. Hier bietet sich ein weites Feld von technischen Möglichkeiten an, die im Vorfeld auf ein sinnvolles Maß von Vergleichsvarianten zu begrenzen sind. Dabei sollten nachfolgende Kriterien beachtet werden:

- Die Geschwindigkeit der Aufsiedlung hat Auswirkungen auf die Größe möglicher Versorgungseinheiten.
- Die Größe der Versorgungseinheiten beeinflusst mögliche Betreiberformen, d.h. zu große Einheiten eignen sich selten für die Verwaltung durch die Nutzer, zu kleine Einheiten sind für professionelle Betreiber (Contracting Unternehmen) mit zu viel Aufwand verbunden.
- Bestimmte Technologien sind nicht in allen Größen sinnvoll einsetzbar. Holzpellets sollten bis zu einem Leistungsbereich von ca. 400 kW und Holzhackschnitzel ab ca. 300 kW eingesetzt werden. Bei Blockheizkraftwerken (BHKW) ist die Einspeisevergütung für $< 50 \text{ kW}_{el}$ sowie die Förderung deutlich höher als bei größeren Anlagen.
- Grundsätzlich sind Biomasseheizungen für Grundlast und Mittellast geeignet, je nach Anlagengröße sollte die Spitzlastabdeckung über konventionelle Technik erfolgen.
- Die Integration von thermischen Solaranlagen sollte frühzeitig in der Planung berücksichtigt werden. Neben der Wahl der Dachform und der Dachneigung sollte die Zugänglichkeit der Kollektoren berücksichtigt werden, um die Wartung zu ermöglichen (Wechsel der Verglasung, Beseitigung von Leckagen), siehe Bild 244 und Bild 245.

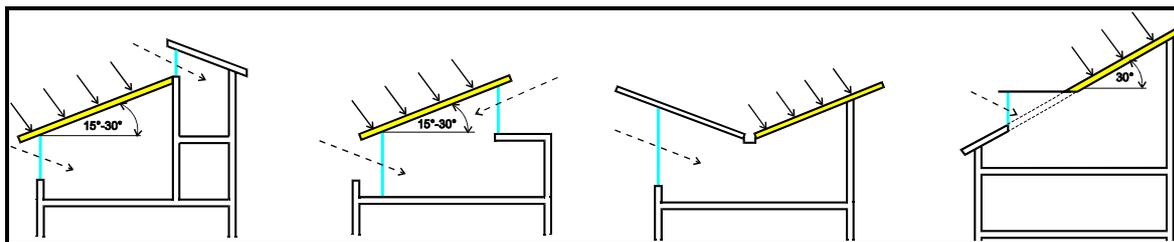


Bild 244 Mögliche Integration von Solarflächen in Steildächern



Bild 245 Beispiele für Kollektorfelder mit guter Zugänglichkeit für Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten

- Bei der Wahl und Auslegung der Hausübergabestationen (HÜST) ist unbedingt auf eine niedrige Rücklauftemperatur zu achten, denn diese ist entscheidend für den Ertrag der thermischen Solaranlage (Vergleich Kapitel 7 Low-Level-Monitoring).
- Das Nahwärmenetz sollte so verlegt werden, dass ein möglichst geringer Anteil der Leitungen unter öffentlichen Straßen verläuft. Aus Kostengründen muss darauf geachtet werden, dass Leitungen wenn möglich z.B. bei Reihenhauszeilen in den Kellern verlegt und somit Abzweigungen im Erdreich vermieden werden. Die erdreichverlegten Leitungen sollten bei kleinen Nahwärmenetzen in PEX (vernetztes Polyethylen) bei großen in KMR (Kunststoffmantelrohr) ausgeführt werden.
- Der Bauherr sollte die Rechte zur Führung der Versorgungsleitungen durch die Grundstücke / Gebäude sowie evtl. die Nutzung eines privaten Raumes als Heizraum durch Grunddienstbarkeiten frühzeitig absichern lassen.

8.1.2 Sanierung Bestandswohnsiedlungen

Bei der Planung von Sanierungsmaßnahmen im Bestand müssen andere Kriterien als bei Neubauvorhaben wie z.B. Grundrissänderung, Denkmalschutz, Sanierung im bewohnten Zustand, maximale Mieterhöhung, Vermietbarkeit, statische Belastbarkeit, usw. berücksichtigt werden. Eine ganzheitliche Bewertung der Siedlungen nach dem jährlichen Wärme- und Stromverbrauch sollte dabei ebenfalls erfolgen. Die wichtigste Grundlage ist die Erfassung des Bestands. D.h. neben Höhen-, Flächen- und Volumenangaben sollten energetische Kennwerte zur Darstellung der Ist-Situation erstellt werden.

Ziel des zu entwickelnden Sanierungskonzeptes ist die Abstimmung eines Maßnahmenpaketes aus Wärmedämmung sowie effizienter Wärmeversorgung. Die Gebäudehülle wird hinsichtlich der Wärmeverluste (Wärmedämmverbundsystem) und der Nutzung passiv solarer Gewinne durch Vergrößerung der transparenten Fassade (Verglasungen) optimiert. Entsprechende Randbedingungen zur Umsetzung sollten kritisch betrachtet werden. Hinzu kommt die eventuelle Erneuerung der haustechnischen Installation wie z.B. Heizkörper, Steigleitungen, usw.

Energiekonzept Sanierung Wohnsiedlung

Auf Basis der Bestandserfassung erfolgt die Untersuchung energieeffizienter Varianten der Wärmeversorgung. Eine aussagekräftige Gegenüberstellung erfordert einen Vergleich hinsichtlich des Energiebedarfs bei unterschiedlichen Wärmedämmstandards, der erzielbaren Reduzierung von Umweltbelastungen wie CO₂-Emissionen sowie hinsichtlich der damit verbundenen Kosten (Investitions- und Betriebskosten). Neben dezentralen Versorgungsoptionen sollten auch zentrale Wärmeversorgungsmöglichkeiten bewertet werden. Dabei ist im Vorfeld eine zweckmäßige Anzahl von Vergleichsvarianten zu definieren. Die nachfolgenden Kriterien sollten beachtet werden:

- Bei der Altbausanierung sollte der Schwerpunkt auf der energetischen Sanierung der Gebäudehülle liegen, d.h. Austausch der Fenster, Dämmung der Fassade, der Kellerdecke, der obersten Geschossdecke bzw. der Dachkonstruktion.

- Die Vergrößerung der transparenten Fassadenanteile ist eine Option die passiv solaren Gewinne zu erhöhen.
- Bei der Zielsetzung wird die Reduzierung des Energiebedarfs unterhalb der gesetzlichen Mindestanforderung (Energieeinsparverordnung – EnEV) empfohlen, da hier der bauliche Wärmeschutz mit zinsgünstigen Darlehen und Tilgungszuschüssen gefördert werden kann.
- Die entsprechenden Randbedingungen der Gebäudetechnik wie z.B. der Warmwasserbedarf, die Auslegungstemperaturen der Heizkreise, die Art der Wärmeabgabe – Heizkörper oder Fußbodenheizung, vorhandene Heizkessel etc. müssen vorher aufgenommen und im weiteren Planungsprozess berücksichtigt werden. Sind die Auslegungstemperaturen niedrig, wirkt sich dies positiv auf das thermische Solarsystem aus.
- Bei der Integration einer Wärmezentrale in den Bestand sind jeweils die Anforderungen zu prüfen. Im Kellergeschoss ist die Kapazität für eine Heizzentrale und ein Brennstofflager zu untersuchen. Auch sollte eine gewisse Raumhöhe zur Aufstellung größerer Wärmeerzeuger und -speicher vorhanden sein. Wird eine Wärmezentrale neu errichtet, sollte sie jederzeit von außen zugänglich sein. Es bieten sich folgende Alternativen an:
 - abgetrennter Raum oder Anbau an ein vorhandenes Gebäude
 - unterirdischer Anbau
 - Container
- Bei Verwendung von fester Biomasse (Holzhackschnitzel, Holzpellets) als Brennstoff, ist die Anlieferung zu berücksichtigen, d.h. eine ausreichende Zufahrtsmöglichkeit zum Brennstofflager ist zu gewährleisten. Der gewünschte Brennstoff sollte in der Region möglichst verfügbar sein.
- Thermische Solaranlagen sind in der Sanierung nicht überall einsetzbar. Die Grundvoraussetzung ist die Ausrichtung des Gebäudes, die Dachform, die Größe der Dachfläche sowie die statische Belastbarkeit der Dachkonstruktion.
- Die Kriterien zum Nahwärmenetz, zu Übergabestationen oder zu bestimmten Technologien können analog vom Neubau auf den Bestand übertragen werden.

- Das positive Image einer CO₂-neutralen Wärmeversorgung kann als ein Verkaufs- und Vermietungsargument zur Vermarktung der Immobilie herangezogen werden.

8.1.3 Nahwärme mit Erdsonden und Wärmepumpe

Ein Erdsondenfeld erschließt den Baugrund als regenerative Energiequelle. Mit Hilfe einer Wärmepumpe wird die Wärme aus dem Erdreich von etwa 4-10°C auf ein Temperaturniveau von 35-55°C gehoben. Die Entzugsleistung einer Erdsonde beträgt etwa 30-50 W/m, je nach Bodenbeschaffenheit. Da die Arbeitszahl, d.h. die Effizienz der Wärmepumpe umso höher ist, je geringer der erforderliche Temperaturhub ausfällt, sollte das Wärmeabgabesystem grundsätzlich auf eine geringe Vorlauftemperatur ausgelegt werden. In Neubauten sollte daher die Vorlauftemperatur im Auslegungspunkt nicht über 40°C liegen. Dies ist mit einer Fußbodenheizung problemlos möglich.

Vor der Bohrung von Erdsonden müssen die Untergrundverhältnisse auf ihre Eignung zum Wärmeentzug überprüft werden. In einem „Geothermal Response Test“ werden die thermischen Eigenschaften des Erdreichs ermittelt und die Kenngrößen zur Durchführung einer Ertragssimulation bestimmt. Jedes Vorhaben zur Erdwärmennutzung mittels Erdwärmesonden ist bei der zuständigen Verwaltungsbehörde anzuzeigen. Die nach Wasserrecht und Bergrecht erforderlichen Anzeige- und Genehmigungsverfahren sind für das jeweilige Bauvorhaben abzuklären.

Für den Betrieb von Wärmepumpen ist der Einsatz von mechanischer Energie für den Verdichter notwendig. In der Regel werden elektrisch betriebene Wärmepumpen eingesetzt. Das Verhältnis von gewonnener Wärme zu eingesetzter elektrischer Energie liegt dabei, je nach Temperaturniveau, bei etwa 3 bis 4.

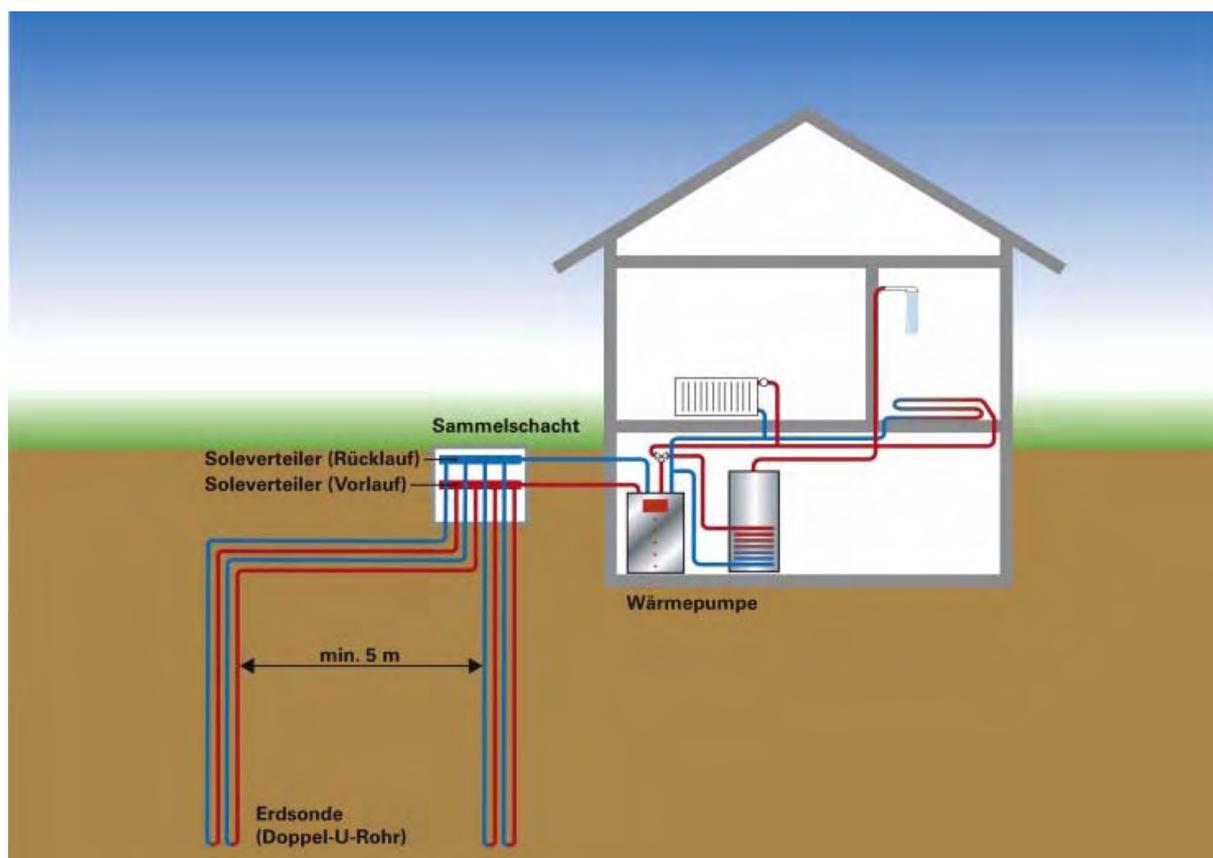


Bild 246 Schema einer Wärmepumpen-Heizung mit Erdsonden

Wärmepumpen können sehr effizient arbeiten, wenn die Heizwärme auf einem niedrigen Temperaturniveau (z.B. Fußbodenheizung mit 35-40°C) verteilt wird. In einer Nahwärmeversorgung ist jedoch ganzjährig eine Vorlauftemperatur von mindestens 65-70 °C erforderlich, damit auch das erforderliche Temperaturniveau zur Warmwasserbereitung (Speicherladesysteme) zur Verfügung steht. Übliche Kompressions-Wärmepumpen können diese Temperaturen (auch in den Sommermonaten) in der Regel nicht liefern. Die Erwärmung von 55 auf 65°C erfolgt daher z.B. durch einen Gaskessel. Dieser deckt auch die winterliche Spitzenlast ab. Ein effizienter Betrieb ist dabei aber nicht gegeben. Bei einer Warmwasserbereitung nach dem Speicherprinzip und entsprechend hohen Netztemperaturen ist der Einsatz einer Wärmepumpe in einem Nahwärmenetz daher nicht sinnvoll bzw. im Einzelfall zu prüfen.

Erfolgt aber die Warmwasserbereitung nach dem Durchflussprinzip mit Frischwasserstationen ohne hygienische Beeinträchtigung, so kann die garantierte Vorlauftemperatur des Nahwärmenetzes z.B. auf 45°C (solar unterstützte Nahwärmeversorgung Steinfurt Borghorst – 2000) oder auf 55°C (solare Nahwärme Am Ackermannbogen, München – 2006) herabgesetzt werden. Die Wärmepumpe wird dabei auf ca. 50% der Heizleistung ausgelegt, eine Deckung von ca. 70-80% des Wärmebedarfs ist möglich.

Kombination Wärmepumpe mit Erdsonden und BHKW

Im Unterschied zur eben vorgestellten Variante wird hier der Wärmebedarf von einer Wärmepumpe in Kombination mit einem Blockheizkraftwerk bereitgestellt. Die Wärmepumpe wird mit dem im BHKW erzeugten Strom betrieben. Als Wärmequelle für die Wärmepumpe dienen Erdsonden. Diese Kombination kann die erforderlichen Netztemperaturen liefern, da der obere Temperaturbereich aus der Abwärme des BHKW's abgedeckt wird. Je nach Auslegung und den vorgesehenen Betriebsbedingungen ist mit einer Arbeitszahl von etwa 1,4 zu rechnen d.h. beim Einsatz von 1 kWh Erdgas werden 1,4 kWh Wärme bereitgestellt. Diese Kombination führt in der Regel zu hohen Investitionskosten, die im Rahmen einer Wirtschaftlichkeitsberechnung zu berücksichtigen sind.

Fazit Nahwärme mit Wärmepumpe

Wärmepumpen, insbesondere elektrisch betriebene Kompressionswärmepumpen, sind für die alleinige Deckung des Wärmebedarfs in Nahwärmenetzen grundsätzlich nicht geeignet, da sie das ganzjährig erforderliche hohe Temperaturniveau nicht oder nur mit hohen Einbußen bei der Effizienz gewährleisten können. Es ist jedoch möglich durch eine entsprechende Kaskadierung der Wärmebereitstellung oder eine angepasste Auswahl von Komponenten (Art des Heizsystems, Art des Systems zur Trinkwassererwärmung) die Systemtemperaturen herabzusetzen, um so den Einsatz von Wärmepumpen zu ermöglichen.

8.2 Realisierte Anlagen aus dem F+E Projekt

Während der Projektzeit ist die Umsetzung der Machbarkeits- bzw. Konzeptstudien in die bauliche Praxis mit anschließendem Monitoring- Programm vorgesehen. Für die durchgeführten Feinanalysen konnten im Rahmen von Solarthermie2000plus Anträge zur „Vorauswahl von Objekten“ gestellt werden. Von drei eingereichten Anträgen wurden zwei positiv bewertet. Das Monitoring - Programm inkl. einer mindestens zweijährigen messtechnischen Begleitung der ausgewählten Vorhaben nach der Inbetriebnahme wird von der ZfS - Rationelle Energietechnik GmbH (www.zfs-energietechnik.de) durchgeführt.

Nachfolgend werden drei umgesetzte / teilumgesetzte Anlagen vorgestellt:

1. Hannover, Magdeburger Straße 2 und 4 (gefördert vom BMU)
2. Hannoversch Münden, Wiershäuser Weg 25 bis 41 (gefördert vom BMU)
3. Kassel, Brentanostraße 50 bis 56

8.2.1 Hannover, Magdeburger Straße 2 und 4

Ende 2005 beginnen die aufwendigen Umbauarbeiten sowie die umfangreichen haustechnischen und energetischen Sanierungsmaßnahmen der beiden Wohngebäude in Hannover. Dabei wird der Dämmstandard der Gebäudehülle deutlich verbessert (Kellerdeckendämmung 10 cm (WLG 040), Außenwanddämmung 12 cm (WLG 035), Flachdachdämmung 20 cm (WLG 040), Fenstererneuerung U-Wert 1,1 W/(m²·K)). Insgesamt entstehen Ende 2006 36 hochmoderne Wohnungen mit einer Wohnfläche zwischen 70 und 120 m². Durch die energetische Sanierung wird der Energieverbrauch zur Gebäudebeheizung von 200 kWh/m²a auf ca. 65 kWh/m²a, d.h. um ca. 70% gesenkt.



Bild 247 Links: West-Ansicht Gebäude Magdeburger Str. 2, Rechts: West-Ansicht Magdeburger Str. 4

Die Wärmeerzeugung erfolgt über einen Holzpellet- Heizkessel (150 kW) in Kombination mit einer thermischen Solaranlage mit 124 m² Aperturfläche. Das der Feuerungsanlage zugeordnete Pelletlager ist in drei nacheinander liegenden Räumen (ehemalige Mieterkeller) untergebracht (siehe Bild 248). Aufgrund des langgestreckten Raums ist die Integration einer Förderschnecke von ca. 10 m Länge zum Brennstofftransport erforderlich. Für die Zufuhr des Brennstoffs zur Schnecke wird der Boden mit einer Holzkonstruktion um ca. 40° abgescrängt. Die Längsschnecke wird als Bodenkanal ausgeführt.

Die Solaranlage wird auf einem dachüberspannenden Metalltragwerk montiert, da die Holzkonstruktion des Trockenbodens statisch nicht ausreichend belastbar ist und

der Trockenboden weiterhin genutzt werden soll. Bei Umsetzung der Kollektorreihen wurde eine Variante mit ansteigender Bauhöhe realisiert.

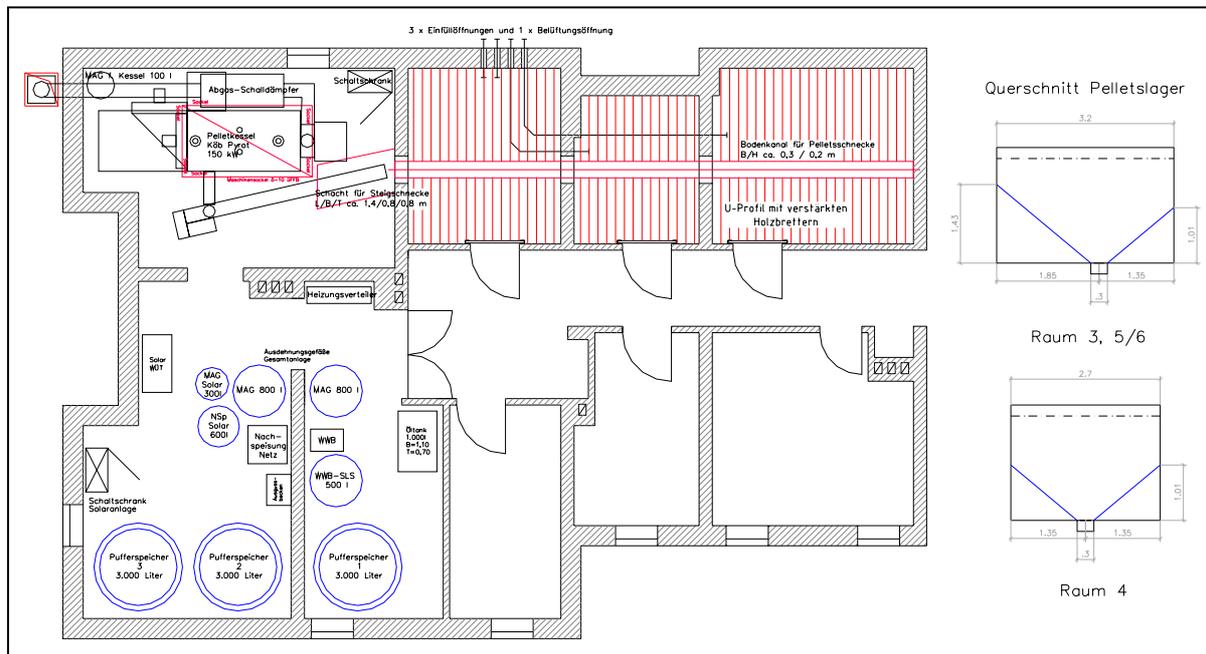


Bild 248 Ausschnitt Grundriss Kellergeschoss Mehrfamilien-Wohngebäude, Magdeburger Straße 2 und 4, Hannover

Beide Gebäude werden über eine Nahwärmeleitung miteinander verbunden und erhalten zur Warmwasserbereitung je ein Speicherladesystem. Aufgrund der räumlichen Gegebenheiten (Raumhöhe Kellergeschoss < 2,10 m) erfolgt der Einbau von drei in Reihe verschalteten, kellergeschweißten Pufferspeichern mit je 3 m³ Fassungsvermögen. Dabei entnimmt der Kesselkreislauf Wasser aus dem unteren Teil des ersten Speichers und lädt es nach Erwärmung im oberen Teil des ersten Pufferspeichers wieder ein, siehe Bild 249. Aus dem oberen Bereich des ersten Speichers (höchstes Temperaturniveau in der Speicherkaskade) wird ebenfalls das kleine Nahwärmenetz gespeist. Ein Dreiwegeventil regelt dabei die Netzvorlauftemperatur. Die Einbindung des Netzurücklaufes erfolgt je nach Temperaturniveau über ein Dreiwegeventil in den unteren Teil des ersten oder des letzten Pufferspeichers.

Die Solaranlage besteht aus 24 Kollektoren je 5,16 m² (Aperturfläche). Die Wärme der Kollektorfelder wird über eine Sammelleitung in die Heizzentrale transportiert und über einen Wärmeübertrager in den Speicherkreis eingekoppelt. Bei Bedarf kann

dann die Wärme über ein Dreiwegeventil entweder direkt in den oberen Bereich des ersten Pufferspeichers (ab 74°C) oder bei einem niedrigeren Temperaturniveau in den oberen Teil des zweiten Pufferspeichers eingebracht werden.

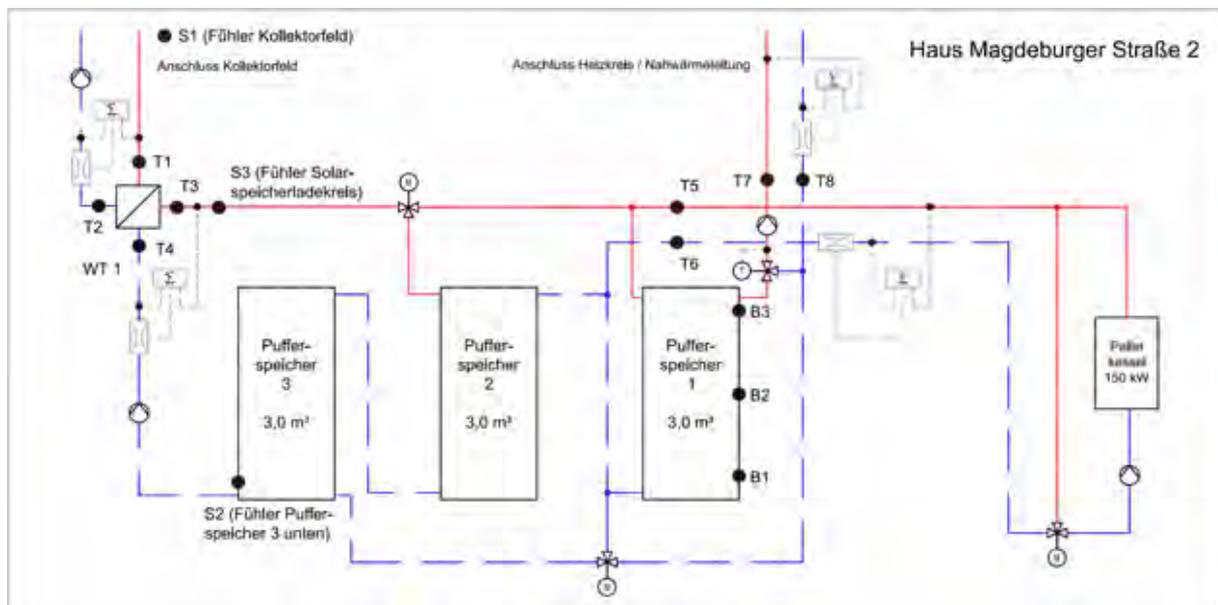


Bild 249 Vereinfachtes Hydraulikschema Anlage Hannover, Magdeburger Straße 2 und 4

Der Bau und der Betrieb der Wärmeerzeugung erfolgt über den Wärmelieferanten MSV (Mieterservice Vahrenheide GmbH). Bild 250 zeigt die Einbausituation des Kessels sowie der Pufferspeicherkaskade. Die Betriebsergebnisse und Erfahrungen aus der ersten Messperiode (01.01.2007 – 31.12.2007) der Anlage wurden auf dem 18. Symposium Thermische Solarenergie in Kloster Banz, Bad Staffelstein [Schlosser, Heuer, Kühl, Fisch, 2008] vorgestellt.



Bild 250 Holzpelletkessel, Pelletlager, Einbausituation Pufferspeicher, Ausdehnungsgefäß und Nachspeisebehälter

Das im Rahmen des Vorhabens umgesetzte und über „Solarthermie2000plus“ geförderte Versorgungskonzept der CO₂-neutralen Wärmeversorgung bestehend aus thermischer Solaranlage und Holzpelletkessel stellt einen innovativen Konzeptansatz dar. Auch unter den in der Bestandssituation gegebenen schwierigen Bedingungen (geringe lichte Höhe der Aufstellräume, keine ausreichenden Einbringöffnungen, Statikprobleme im Dachbereich) war eine erfolgreiche Umsetzung möglich, siehe Bild 251. Über die Senkung des Energieverbrauchs der Gebäude als begleitende bauliche Sanierungsmaßnahme wird der Wärmebedarf insgesamt deutlich reduziert.



Bild 251 Links: Dachaufsicht mit Kollektoranlage [Quelle: www.corona-solar.de], Rechts: Westansicht Gebäude Magdeburger Straße 2 mit Kollektorfeld



Bild 252 Luftbild Gebäude Magdeburger Straße 2 und 4 [Quelle: <http://maps.live.de>]

8.2.2 Hannoversch Münden, Wiershäuser Weg 25 – 41

In den Jahren 2005 und 2006 werden die drei Wohngebäude in Hannoversch Münden, Wiershäuser Weg 25, 29-33 und 35-41 umfangreich energetisch und haustechnisch saniert und modernisiert. Die Wohnanlage mit 49 Wohneinheiten ist Eigentum des ansässigen Gemeinnützigen Bauvereins. Die Anforderungen der Energieeinsparverordnung werden im Rahmen der Vollsanierung unterschritten und der Dämmstandard der Gebäudehülle damit deutlich verbessert (Kellerdeckendämmung 5 cm (WLG 035), Außenwanddämmung 10 cm (WLG 035), Dämmung der obersten Geschossdecke 20 cm (WLG 035), Fenstererneuerung U-Wert 1,5 W/(m²·K)). Durch die energetische Sanierung wird der Energieverbrauch der Gebäude erheblich reduziert.



Bild 253 Links: Lageplan Wiershäuser Weg, Rechts: West-Ansicht Wiershäuser Weg 29-33

Für die Erweiterung der Geschäftsräume des Bauvereins (Wiershäuser Weg 27) entsteht ein Anbau an der Rückseite des Verwaltungsgebäudes, siehe Bild 254. In das Untergeschoss werden die neue Heizzentrale und das Brennstofflager integriert. Die bereits als Nahwärme-Verbundlösung mit Holzpellet- Heizkessel (100 kW) realisierte Anlage wird im Jahr 2009 zusätzlich um eine 105 m² Solaranlage aus Vakuumröhren-Kollektoren erweitert. Die Wärmeerzeugungsanlage versorgt das Verwaltungs- und drei Wohngebäude mit Wärme. Zusätzlich stehen zwei Gas-Brennwert-Thermen (40 kW und 60 kW) zur Sicherung der Spitzenlast sowie bei Wartung des Holzpelletkessels zur Verfügung.



Bild 254 Anbau an das Verwaltungsgebäude Wiershäuser Weg 27

In den beiden großen Gebäuden Wiershäuser Weg 29-33 und 35-41 sind Pufferspeicher (je 1.000 Liter), so genannte Satelliten-Übergabestationen, eingesetzt, welche im Sommer die Teilabschaltung des Nahwärmenetzes ermöglichen und im Winter mit ihrer über das Speichervolumen gegebenen Wärmekapazität eine Leistungsreserve darstellen. Die Warmwasserbereitung erfolgt über Frischwasserstationen, d.h. nach dem Durchflussprinzip.

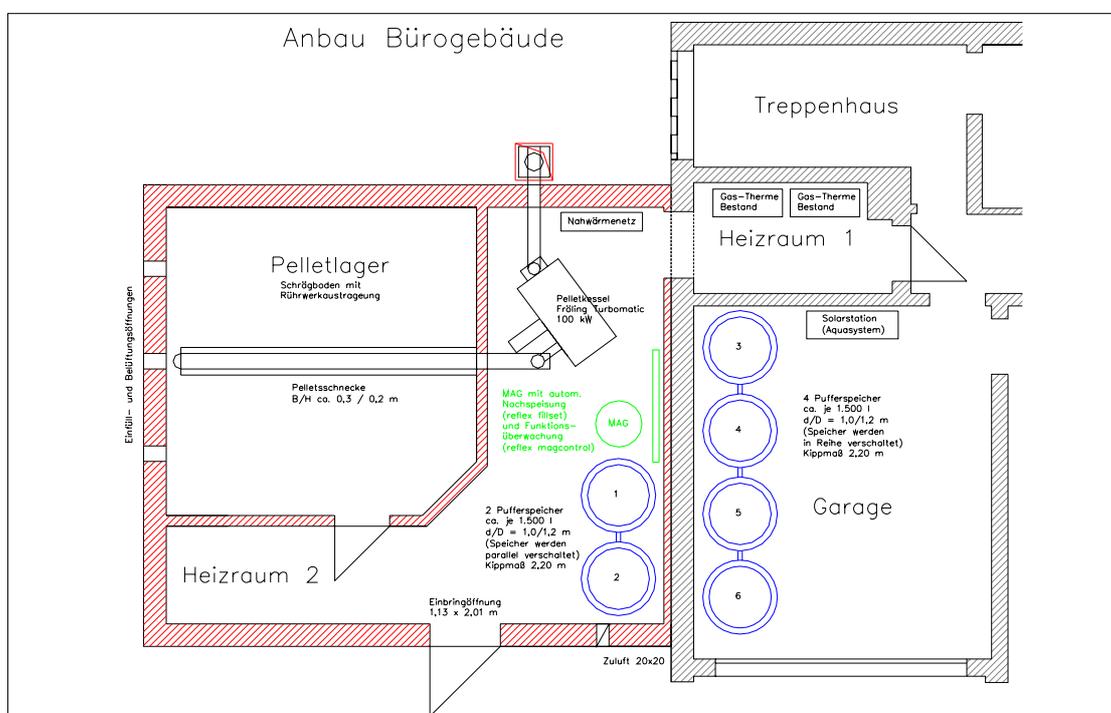


Bild 255 Ausschnitt Grundriss Kellergeschoss Verwaltungsgebäude Wiershäuser Weg 27, Hannover versch Münden

Die Solaranlage soll als AquaSystem [Paradigma, 2005] ausgeführt werden. Anstatt eines separaten Solarkreislaufes mit Frostschutzmittel wird das Heizungswasser in der Solaranlage als Wärmeträger eingesetzt, siehe Bild 256. Dieses System ist bei Kleinanlagen bereits erprobt und soll nun bei großen Anlagen eingesetzt werden, da sich hier die Kosten durch den Wegfall des Wärmeübertragers und des Frostschutzmittels reduzieren. Die gesamte Regelung der Solaranlage soll über eine frei programmierbaren Einheit realisiert werden. Auf eine Umschaltung zwischen hohem und niedrigem Speicher-Temperaturniveau kann beim Solarvorlauf verzichtet werden, da hier das so genannte „Eimer-Prinzip“ realisiert wird. Dabei regelt die Anlage auf eine vorgegebene Zieltemperatur.

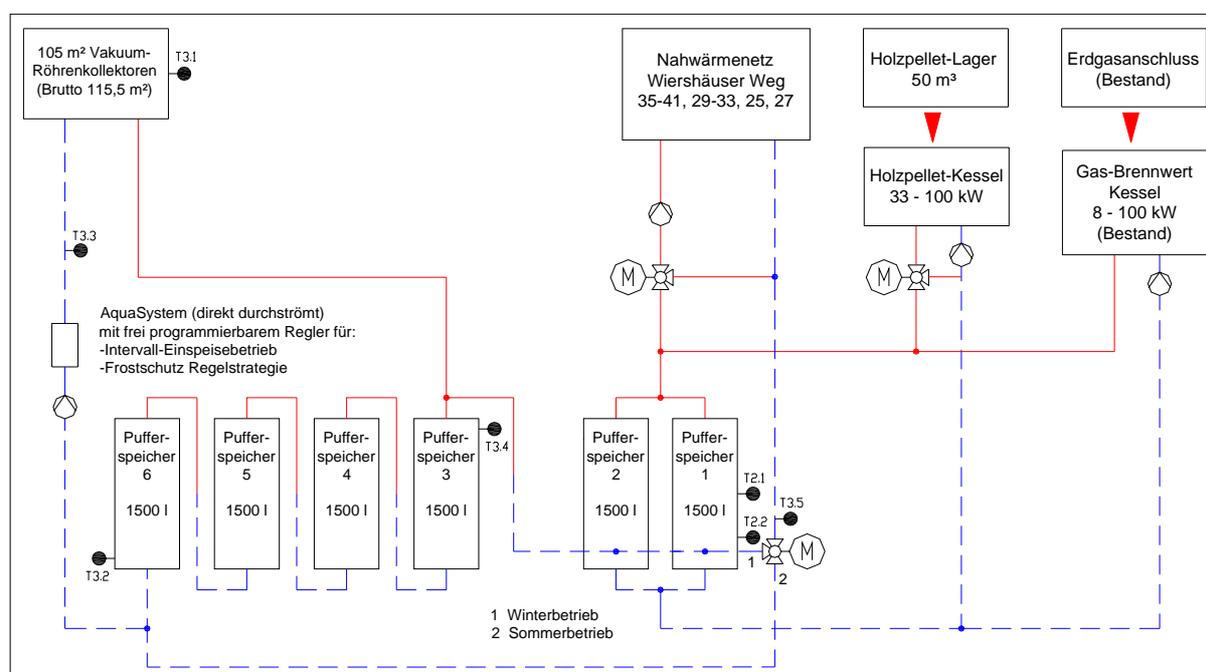


Bild 256 Vereinfachtes Hydraulikschema Anlage Hannoversch Münden, Wiershäuser Weg

Die in der Heizzentrale aufgestellten zwei Pufferspeicher (1 und 2) mit je 1.500 l sind parallel verschaltet und stehen dem Holzpelletkessel zur Verfügung. Die anderen Pufferspeicher (3, 4, 5 und 6) mit ebenfalls 1.500 l sind in Reihe verschaltet und der Solaranlage zugeordnet. Sie werden im angrenzenden Raum aufgestellt. Aus den sechs installierten Speichern ergibt sich ein maximales Speichervolumen von 9.000 Litern. Der zum Einsatz kommende Heizkessel ist in Bild 257 dargestellt. Dieser funktioniert vollautomatisch von der Zubringung über die Zündung, die Reinigung des

Kessels, den kontrollierten Kaminzug bis hin zur Entaschung. Die weiteren Vorteile dieses gewählten Kessels liegen bei der Wahl des Brennstoffs. Es können Hackgut, Späne oder Pellets verwendet werden. Nach anfänglicher Holzpellet Befeuerung soll die Anlage in Zukunft auf preiswertere, einblasbare „Kleinst- Holz hackschnitzel“ (Miniholz hackgut) umgestellt werden.



Bild 257 Holzpelletkessel, Pelletlager, Einbausituation Pufferspeicher 1 und 2

Die Installation der Solaranlage wird über „Solarthermie2000plus“ gefördert. Sie ergänzt dabei den Holzpelletkessel und stellt durch das AquaSystem ein neues innovatives Wärmeversorgungssystem dar. Die Auslagerung bzw. der Neubau der Heizzentrale stellt eine Möglichkeit für die erfolgreiche Integration bei der Sanierung im Bestand dar. Über die durch die Sanierung erzielte deutliche Senkung des Energieverbrauchs der Gebäude ist eine komplette Deckung des Heizenergiebedarfs über das CO₂-neutrale Wärmeversorgungssystem wirtschaftlich sinnvoll umsetzbar.



Bild 258 Nahwärmenetzaustritt Heizzentrale, Ausdehnungsgefäß Nahwärmenetz, Frischwasserstationen

8.2.3 Kassel, Brentanostraße 50 – 56

Die Mehrfamilienhäuser der Brentanostraße 50 - 56 in Kassel befinden sich im Besitz des Bauvereins 1894 zu Kassel. Aufgrund des baulichen Zustands und des hohen Leerstands der Bestandsgebäude werden ab 2002 der Reihe nach vier Wohnblöcke aus den 50-er Jahren abgerissen und durch neue Gebäude ersetzt. In vier Bauabschnitten sollen vier Mehrfamilien Häuser neu errichtet werden. Im ersten Bauabschnitt entstanden im Jahr 2003 28 Wohneinheiten (Brentanostraße 58 bis 64), siehe Bild 259. Im zweiten und dritten BA werden zwei Gebäude mit je 16 WE im Zeitraum 2005 bis 2009 errichtet (Brentanostraße 50 bis 56). Abgeschlossen wird die Bebauung im Jahr 2010 mit dem Bau von 21 WE (Brentanostraße 44 bis 48).



Bild 259 Links: Lageplan Brentanostraße, Rechts: Süd-Ansicht Rohbau Brentanostraße 54

Die Gebäude des zweiten und dritten Bauabschnitts werden im KfW 40 Standard ausgeführt und sollen über eine gemeinsame Heizzentrale versorgt werden. Gegenüber der gesetzlichen Anforderung (EnEV) wird hier der Transmissionswärmeverlust um mindestens 45% unterschritten sowie der Primärenergiebedarf auf 40 kWh/m²a begrenzt. Die Wärmeerzeugung erfolgt über einen Holzpellet- Heizkessel (100 kW) in Kombination mit zwei thermischen Solaranlagen mit je 52,5 m² Aperturfläche (insgesamt 105 m²). Die Heizzentrale sowie das Pelletlager sind im Kellergeschoss der Brentanostraße 54 untergebracht, in dem sich ebenfalls eine Tiefgarage befindet, siehe Bild 260. Als Wärmeübergabesystem in den Wohngebäuden verfügen alle

Räume über eine Fußbodenheizung. Die Warmwasserbereitung erfolgt über Frischwasserstationen, d.h. nach dem Durchflussprinzip.

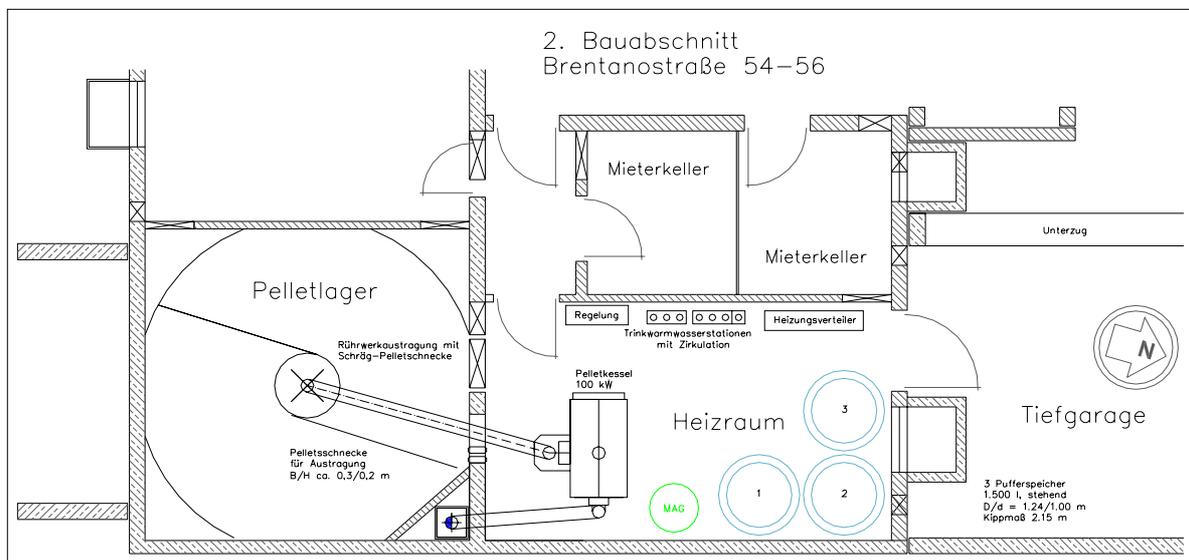


Bild 260 Ausschnitt Grundriss Kellergeschoss Brentanostraße 54, Kassel [Buchin, 2005]

Das im Rahmen des Vorhabens umgesetzte Anlagenkonzept entspricht zwar mit der thermischen Solaranlage und dem Holzpellet-Heizkessel einer CO₂-neutralen Wärmeversorgung, jedoch hinsichtlich der Anlagenauslegung nicht den Vorgaben des Fördermittelgebers. Das vom IGS hinsichtlich Kollektoranordnung und Auslegung bzw. Verschaltung erarbeitete Anlagenkonzept wurde nicht umgesetzt.

Bei Planung und Umsetzung der Anlage wurden Vorgaben des Herstellers zugrunde gelegt. Die Pufferspeicher sind in der ausgeführten Anlage vergleichsweise großzügig dimensioniert. Die hydraulische Verschaltung orientiert sich in erster Linie an die zeitliche Umsetzung des Bauvorhabens und nicht an die thermischen Erfordernisse des Anlagensystems. Die Verschaltung ist in Bild 261 dargestellt.

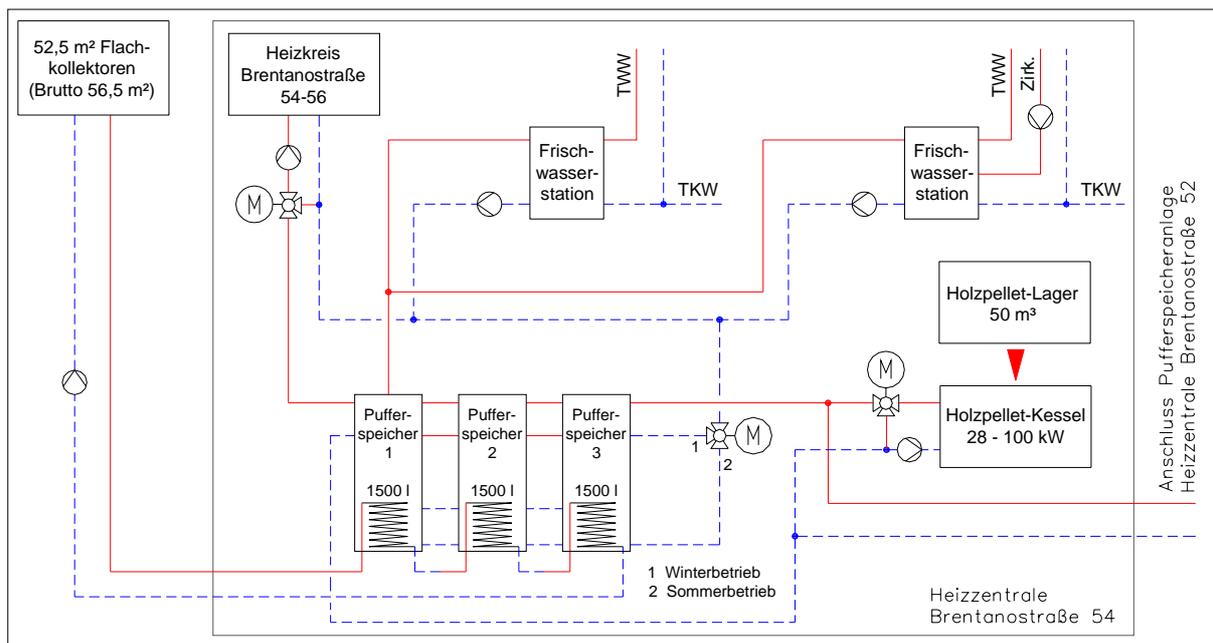


Bild 261 Vereinfachtes Hydraulikschema Anlage Brentanostraße in Kassel (Ausführung Schüco)

Auch bei der Anordnung der thermischen Solaranlage wurden Nachteile bzgl. Verschattung in Kauf genommen. Über die auf dem Pultdach in Bild 263 dargestellten Flachdachaufständerungen sind keine ausreichenden Kollektorerträge zu erreichen. Auch aus diesem Grund konnte keine Förderung der Anlage erfolgen. Bild 264 zeigt den von KWB gelieferten Holzpelletkessel sowie die Pufferspeicher mit innen liegendem Wärmeübertrager.



Bild 262 Kollektoranlage auf dem nach Norden geneigten Pultdach Brentanostraße 54-56

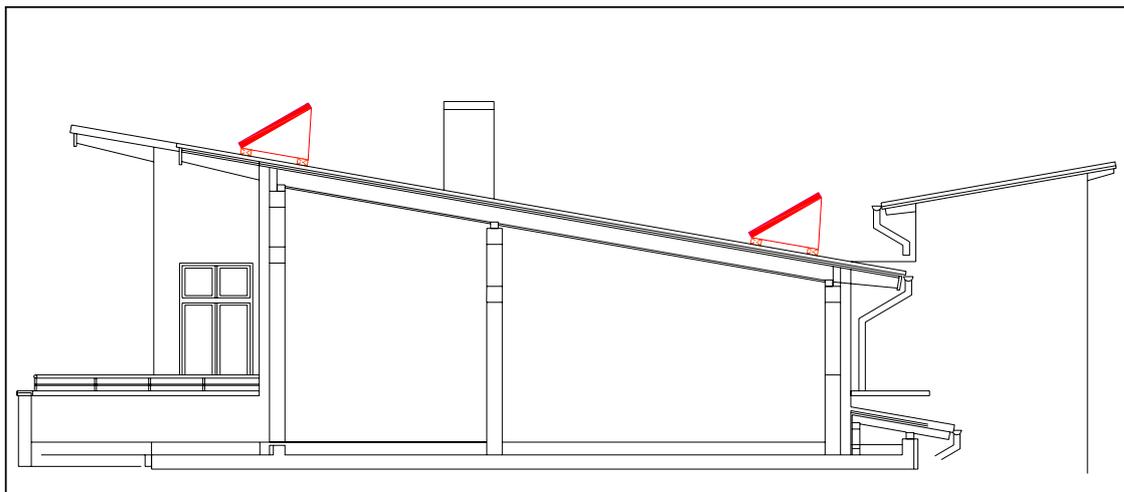


Bild 263 Ausschnitt Grundriss Kellergeschoss Brentanostraße 54, Kassel [Buchin, 2005]



Bild 264 Einbausituation Holzpelletkessel und Pufferspeicherkaskade Heizzentrale Brentanostr.



Bild 265 Luftbild Gebäude Brentanostraße 54/56, 58/60 sowie 62/64 [Quelle: <http://maps.live.de>]

9 ANLAGEN

9.1 Veröffentlichungen

Die Ergebnisse des Projekts wurden entsprechend dem Bearbeitungsfortschritt bereits veröffentlicht. Weitere Veröffentlichungen sind geplant.

Erfolgte Veröffentlichungen / Präsentationen

2005

- Oktober 2005 Solares Bauen; Sonderheft der Sonnenenergie; S.34-37
Artikel "Wärme ohne CO₂";
Dipl.-Ing. Mathias Schlosser, Dr.-Ing. Lars Kühl,
Prof. Dr.-Ing. Norbert Fisch
- 24.11 - 25.11.2005 OTTI: 14. Symposium Bioenergie - Festbrennstoffe,
Flüssigkraftstoffe, Biogas – Kloster Banz, Bad
Staffelstein;
Posterpräsentation „CO₂- neutrale Wärmeversorgung
von Wohnsiedlungen“; Tagungsband;
Dr.-Ing. Lars Kühl, Dipl.-Ing. Mathias Schlosser

2006

- 18.01 - 19.01.2006 CLEAN ENERGY POWER 2006 – Berlin;
2. Expertenforum - Energetische Sanierung;
Vortrag „CO₂- neutrale Wärmeversorgung - Beispiele aus
dem Wohnungsbau“; Tagungsband;
Dipl.-Ing. Mathias Schlosser
- 31.01 - 01.02.2006 1. Fachtagung – VDI-Tage der Gebäudetechnik
Heizungs- und Raumluftechnik – Leonberg bei Stuttgart;
Vortrag „Solarunterstützte Wärmeversorgung für
Niedrigenergie-Wohngebäude und –Siedlungen“;
Tagungsband VDI-Berichte 1921 (ISBN 3-18-091921-3)
Prof. Dr.-Ing. Norbert Fisch, Dr.-Ing. Lars Kühl, Dipl.-Ing.
Mathias Schlosser, Dipl.-Ing. Michael Bodmann

- 21.02. - 25.02.2006 Solar Energy 2006 - Tagung für Architekten und Ingenieure – Berlin
Vortrag „CO₂- neutrale Wärmeversorgung für Wohnsiedlungen“;
Dr.-Ing. Lars Kühl
- 31.03. - 02.04.2006 ENERGY TECH 2006 – Hannover-Langenhagen;
Vortrag „CO₂- neutrale Wärmeversorgung für Wohnsiedlungen“;
Dr.-Ing. Lars Kühl
- 05.04.2006 ISTA Fachtagung
Energetische Sanierung – ein Weg für kalkulierbare Heizkosten – Quedlinburg;
Vortrag „CO₂- neutrale Wärmeversorgung – Beispiele aus dem Wohnungsbau“;
Dipl.-Ing. Mathias Schlosser
- 17.05. - 19.05.2006 OTTI: 16. Symposium Thermische Solarenergie – Kloster Banz, Bad Staffelstein;
Posterpräsentation „CO₂- neutrale Wärmeversorgung für Wohnsiedlungen“; Tagungsband;
Dr.-Ing. Lars Kühl, Dipl.-Ing. Mathias Schlosser
- 20.10.2006 TRNSYS Usertag 2006 – Stuttgart
Vortrag „Praxisorientierte Anwendungen von Systemsimulationen“; Tagungsband;
Dipl.-Ing. Mathias Schlosser
- 02.11. - 03.11.2006 PTJ-Statusseminar "Thermische Energiespeicherung" – Freiburg
Posterpräsentation „CO₂- neutrale Wärmeversorgung für Wohnsiedlungen – von der Studie in die Praxis“;
Tagungsband;
Dipl.-Ing. Mathias Schlosser

- 23.11.2006 Stadt und Energie – Nichtfossile Energiekonzepte –
 Institut für Städtebau Berlin
 Vortrag „Aktuelle Ergebnisse – Forschungsprojekt CO₂-
 neutrale Wärmeversorgung für Siedlungen“;
 Prof. Dr.-Ing. Norbert Fisch
- November 2006 HLH, Organ der VDI-Gesellschaft Technische
 Gebäudeausrüstung, 11/2006, S.59-63
 Artikel "CO₂- neutrale Wärmeversorgung für
 Wohnsiedlungen - Teil 1"
 Prof. Dr.-Ing. M. Norbert Fisch, Dr.-Ing. Lars Kühl
 Dipl.-Ing. Mathias Schlosser, Dipl.-Ing.(FH) Mike Heuer
- Dezember 2006 HLH, Organ der VDI-Gesellschaft Technische
 Gebäudeausrüstung, 12/2006, S.60-63
 Artikel "CO₂- neutrale Wärmeversorgung für
 Wohnsiedlungen - Teil 2"
 Prof. Dr.-Ing. M. Norbert Fisch, Dr.-Ing. Lars Kühl
 Dipl.-Ing. Mathias Schlosser, Dipl.-Ing.(FH) Mike Heuer
- 2007**
- 09.05. - 11.05.2007 OTTI: 17.Symposium Thermische Solarenergie –
 Kloster Banz, Bad Staffelstein;
 Posterpräsentation "Integration des Gebäudemodells
 in die Ertragssimulation großer direkt durchströmter
 Solaranlagen"; Tagungsband;
 Dipl.-Ing. Mathias Schlosser
- 12.09.2007 ASEW - Infotag „Heizen und Kühlen aus erneuerbaren
 Energien / Kraft-Wärme-Kopplung“ – Kassel;
 Vortrag „CO₂- neutrale Wärmeversorgung für
 Siedlungen“; Tagungsunterlagen;
 Dipl.-Ing. Mathias Schlosser

04.10. - 05.10.2007 Statusseminar – Effiziente Fernwärmenutzung
für LowEx- Gebäude – Berlin
Vortrag „Solarunterstützte Wärmeverteilung –
Chance oder Risiko?“
Dr.-Ing. Lars Kühl

2008

11.03. - 15.03.2008 Sun and Sense – 7. Europäische Konferenz Solar-
energie in Architektur und Stadtplanung – Berlin
Vortrag „Solartechnik in Architektur und Stadtplanung –
die größten Solarsiedlungen Deutschlands“
Prof. Dr.-Ing. Norbert Fisch

23.04. - 25.04.2008 OTTI: 18. Symposium Thermische Solarenergie –
Kloster Banz, Bad Staffelstein;
Posterpräsentation „CO₂- neutrale Wärmeversorgung
Hannover – Magdeburger Straße 2 und 4“; Tagungsband
Dipl.-Ing. Mathias Schlosser

November 2008 PTJ Forschungsjahrbuch 2007 / 2008
„Erneuerbare Energien“
Beitrag „CO₂- neutrale Wärmeversorgung von
Wohnsiedlungen“
Dipl.-Ing. Mathias Schlosser
www.forschungsjahrbuch.de

Geplante Veröffentlichungen / Präsentationen

Die folgenden Veröffentlichungen sind für das Jahr 2009 geplant:

2009

06.05. - 09.05.2008 OTTI: 19. Symposium Thermische Solarenergie –
Kloster Banz, Bad Staffelstein;
Vortrag „CO₂- neutrale Wärmeversorgung für
Wohnsiedlungen“; Tagungsband
Dipl.-Ing. Mathias Schlosser

9.2 Begriffe und Abkürzungen

Es werden Festlegungen und Erläuterungen für im Projekt verwendete Fachbegriffe dargestellt, um eine einheitliche Nomenklatur zu gewährleisten.

Energie

- Primärenenergie: Energie von Energieträgern, die noch keiner Umwandlung unterworfen wurden (Anfang der Prozesskette).
- Primärenergiefaktoren: Empirisch ermittelte Kennwerte für die Umrechnung von (gemessenen) Endenergiemengen in Primärenergiemengen.
- Endenergie: Energie nach der Gewinnung, Aufbereitung und Umwandlung von Primärenergieträgern, z.B. Erdgas, elektrische Energie und Fernwärme.
- Nutzenergie: Energie, die am Ende einer Umwandlungskette dem Verbraucher für unterschiedliche Anwendungen zur Verfügung steht (z.B. Licht, Wärme oder mechanische Energie).
- Endenergiebedarf: Energie nach der Gewinnung, Aufbereitung und Umwandlung von Primärenergieträgern, z.B. Erdgas, elektrische Energie und Fernwärme. Mit „Energiebedarf“ werden Energie- bzw. Stoffmengen bezeichnet, die zur Erreichung von Sollwerten notwendig sind (z.B. nach rechnerischer Ermittlung entsprechend der Wärmeschutzverordnung). Der Bedarf ist immer ein Rechenwert, kein Messwert.
- Endenergieverbrauch: Mit „Verbrauch“ werden Energie- bzw. Stoffmengen bezeichnet, die im Betrachtungszeitraum tatsächlich umgewandelt wurden, z.B. die vom Energieversorger gelieferten Gas- oder Strommengen (Messwerte).

Flächen und Volumen

In Projekt werden die Begriffe der DIN 277 und einige abgeleitete Flächen verwendet. Als Bezugsgrößen der Kennwerte für Energie und Kosten werden vorwiegend folgende Größen verwendet:

- BRI: „Der Brutto-Rauminhalt ist der Rauminhalt des Baukörpers, der nach unten von der Unterfläche der konstruktiven Bauwerkssohle und im übrigen von den äußeren Begrenzungsflächen des Bauwerks umschlossen wird“.
- BRI_b: Der beheizte Brutto-Rauminhalt ist der Rauminhalt des Baukörpers abzüglich aller nicht beheizten oder nur temperierten Räume.
- Ve: Ve bezeichnet das beheizte Gebäudevolumen, das nach den Vorgaben und Regeln der EnEV ermittelt wurde.
- A_N: A_N bezeichnet die normierte Gebäudenutzfläche, die nach den Vorgaben und Regeln der EnEV rechnerisch ermittelt wurde.
- A: A bezeichnet die gesamte Wärme übertragende Hüllfläche eines Gebäudes, die nach den Vorgaben und Regeln der EnEV ermittelt wurde.
- BGF: „Die Brutto-Grundfläche ist die Summe der Grundflächen aller Grundrissebenen eines Bauwerkes.“
- NGF: „Die Netto-Grundfläche ist die Summe der nutzbaren, zwischen den aufgehenden Bauteilen befindlichen Grundflächen aller Grundrissebenen eines Bauwerkes“.
- NGF_r: Die beheizte (reduzierte) Nettogrundfläche ist die NGF abzüglich aller nicht beheizten oder nur temperierten Flächen, in der Regel Tiefgaragen, Atrien und Doppelfassaden.
- Wfl: Die Wohnfläche bezeichnet die Summe der anrechenbaren Grundflächen der Räume, die ausschließlich zu einer Wohnung gehören. Zur Wohnfläche gehört nicht die Grundfläche von sog. Zubehörräumen wie Keller oder Dachräume.

Umrechnungen

BGF	A _N	NGF	Wfi
1	0,95	0,9	0,80

Gebäude

In Projekt werden verschiedene Abkürzungen für Gebäudetypen verwendet:

EFH:	Einfamilienhaus
MFH:	Mehrfamilienhaus
DH:	Doppelhaus
RH:	Reihenhaus
PH:	Passivhaus
NEH:	Niedrigenergiehaus

9.3 Quellen und Literatur zum Projekt

[BDEW, 2008] BDEW: Energie-Info, Endenergieverbrauch in Deutschland 2007, Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft, Reinhardtstr. 32, D-10117 Berlin, www.bdew.de, Dezember 2008

[Buchin, 2005] Buchin, Jürgen (Architekt): Architektenpläne - Ausführungsplanung Brentanostraße 50-56, Dipl.-Ing. Jürgen Buchin Planungsgesellschaft mbH, Lange Str. 80, 34131 Kassel, Oktober 2005

- [C.A.R.M.E.N., 2008] C.A.R.M.E.N. e.V. – Centrales- Agrar-Rohstoff-Marketing- und Entwicklungs-Netzwerk, Schulgasse 18, D-94315 Straubing, <http://www.carmen-ev.de>
Energiepreisentwicklung in Deutschland
- [DeStatis, 2007] Statistisches Bundesamt, Verbraucherpreisindex für Deutschland, Gustav-Stresemann-Ring 11, D-65189 Wiesbaden, www.destatis.de, Januar 2007
- [DIN V 18599-1, 2007] Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN): DIN V 18599-1: 2007-02: Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung - Teil 1: Allgemeine Bilanzierungsverfahren, Begriffe, Zonierung und Bewertung der Energieträger. Berlin: Beuth
- [DIN V 4108-6, 2003] Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN): DIN V 4108: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs, Juni 2003
- [DIN V 4701-10, 2003] Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN): DIN 4701: Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen - Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung, August 2003
- [EEWärmeG, 2008] Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (Erneuerbare-Energien-WärmeGesetz – EEWärmeG), Bundesgesetzblatt Jahrgang 2008 Teil I Nr. 36, Bonn, 18. August 2008

- [EN 832, 2003] DIN EN 832: Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Berechnung des Heizenergiebedarfs - Wohngebäude, Juni 2003
- [EnEV, 2004] EnEV 2004 – Energieeinsparverordnung: Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden, Bundesgesetzblatt Jahrgang 2004 Teil I Nr. 64, Bonn, 7. Dezember 2004
- [EnEV, 2007] EnEV 2007 – Energieeinsparverordnung: Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Wohngebäuden, Bundesgesetzblatt Jahrgang 2007 Teil I Nr. 34, Bonn, 26. Juli 2007
- [GET, 2005] Götz, Johann: Anlagenbeschreibung „Verwertung nachwachsender Rohstoffe nach dem Konzept Prof. Scheffer“, GET project GmbH & Co. KG, Russeer Weg 149a, 24109 Kiel, www.getproject.de, 2005
- [HMWVL, 2004] Energiesparinformationen 9: "Kontrollierte Wohnungslüftung". Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung (Hrsg.), Referat Öffentlichkeitsarbeit, Postfach 3129, D-65021 Wiesbaden, www.impulsprogramm.de, 2004
- [innovaTec, 2005] Emde, Karl: Planungsunterlagen Wiershäuser Weg, innovaTec Energiesysteme GmbH Teichstr. 6, 37133 Friedland, www.innovaTec-web.de, 2005

- [IWU, 2005] Institut für Wohnen und Umwelt, Darmstadt; Forschungsbericht „Entwicklung eines vereinfachten, statistisch abgesicherten Verfahrens zur Erhebung von Gebäudedaten für die Erstellung des Energieprofils von Gebäuden“ (Kurztitel: „Kurzverfahren Energieprofil“), Annastrasse 15, 64285 Darmstadt, www.iwu.de, 2005
- [IWU, 2006] Großklos, Marc: Bericht „Kumulierter Energieaufwand und CO₂- Emissionsfaktoren verschiedener Energieträger und –versorgungen“, Institut für Wohnen und Umwelt, Annastrasse 15, D-64285 Darmstadt, www.iwu.de, 2006
- [Knauf, 2007] Produktdatenblatt Fassadendämmplatte 035 WDV, Knauf Dämmstoffe, Waldliesborner Straße 1, D-59329 Wadersloh, www.knauf-daemmstoffe.de, Januar 2007
- [LBK, 2005] Schröder, Olaf: Planungsunterlagen Projekt Magdeburger Str. 2 und 4 Hannover; Lindener Baukontor, Lichtenbergplatz 5, D-30449 Hannover, www.lindener-baukontor.de, 2005
- [Lenz, 2007] Lenz, V.: Einsatzmöglichkeiten und Wirtschaftlichkeit von Bioheizanlagen in Haushalten, Institut für Energetik und Umwelt (IE) Leipzig, Torgauer Str. 116, D-04347 Leipzig, www.ie-leipzig.de, 2007

- [Nitsch, 2008] Nitsch, J.: "Leitstudie 2008" Weiterentwicklung der „Ausbaustrategie Erneuerbare Energien“ vor dem Hintergrund der aktuellen Klimaschutzziele Deutschlands und Europas, Hrsg.: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Alexanderstraße 3, D-10178 Berlin-Mitte, www.bmu.de, Oktober 2008
- [Ostrowski, 2004] Ostrowski, C.: "Modernisierung eines Mehrfamilienhauses zum Passiv- oder Niedrigenergiehaus unter Beachtung der Wirtschaftlichkeit." Abschlussarbeit des „Weiterbildenden Studiums Energie und Umwelt, Universität Kassel, Kassel 2005 (nicht veröffentlicht).
- [Paradigma, 2005] Paradigma, Firmeninformation zum AquaSystem, Paradigma Energie- und Umwelttechnik GmbH & Co. KG, Ettlinger Straße 30, D-76307 Karlsbad, 2005
- [ProBas, 2000] Webportal „Prozessorientierte Basisdaten für Umweltmanagement-Instrumente“, www.probas.umweltbundesamt.de
Umweltbundesamt und Öko-Institut, 2000
- [PROGNOS, 2005] Schulz et. al.: EWI/Prognos-Studie. Die Entwicklung der Energiemärkte bis zum Jahr 2030. Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (Hrsg.), Referat Öffentlichkeitsarbeit, Scharnhorststr. 34-37, D-10115 Berlin, www.bmwi.de, Mai 2005
- [Schlosser, Kühl, 2006] Schlosser, M.; Heuer M.; Kühl L.; Fisch, M. N.: Praxisorientierte Anwendung von Systemsimulationen. In: TRNSYS User Tag, Tagungsband. Stuttgart, 2006

- [Schlosser, Heuer, Kühl, Schlosser, M.; Heuer M.; Kühl L.; Fisch, M. N.: CO₂-Fisch, 2006] neutrale Wärmeversorgung für Wohnsiedlungen – von der Studie in die Praxis. In: Statusseminar Thermische Energiespeicherung, Tagungsband. Freiburg, 2006
- [Schlosser, Fisch, 2007] Schlosser, M.; Fisch, M. N.: Integration des Gebäude-modells in die Ertragssimulation großer direkt- durchströmter Solaranlagen. In: OTTI, 17. Symposium Thermische Solarenergie, Tagungsband S. 272 – 274. Kloster Banz in Bad Staffelstein, 2007
- [Schlosser, Heuer, Kühl, Schlosser, M.; Heuer M.; Kühl L.; Fisch, M. N.: CO₂-Fisch, 2008] neutrale Wärmeversorgung Hannover – Magdeburger Straße 2 und 4. In: OTTI, 18. Symposium Thermische Solarenergie, Tagungsband, Kloster Banz in Bad Staffelstein, 2008
- [SIC GmbH, 2006] Schlosser, Gerd: Revisionsunterlagen Wärmeversorgung Jocketa sowie Grundrisse der 16 Gebäude in Jocketa, SCHLOSSER Ingenieur Consult GmbH – Ingenieurbüro für Energie- und Wärmewirtschaft, Heizung - Lüftung - Klima - Sanitär, Syrauer Straße 4, 08525 Plauen, www.ib-schlosser.de, 2000
- [Schmitz et al, 2006] Schmitz/Krings/Dahlhaus/Meisel, Baukosten 2006, Band 1, Modernisierung \ Instandsetzung \ Umnutzung \ Sanierung, Verlag für Wirtschaft und Verwaltung Hubert Wingen, Essen, 18. überarbeitete Auflage, ISBN 3802805496, 2006

- [Steube, 2004] Steube, J.: Energieausweis gem. EnEV 2004: Neubau von 2 Mehrfamilienwohnhäusern, Brentanostr. 54-56. Büro für Architektur und Energieberatung, 2004.
- [T *SOL 4.2, 2005] Dynamisches Simulationsprogramm zur Auslegung und Optimierung von thermischen Solaranlagen, Dr. Valentin EnergieSoftware GmbH, Stralauer Platz 34, 10243 Berlin, www.valentin.de, 2005
- [TRNSYS 15, 2000] TRaNsient SYstem Simulation program, version 15
Programm zur instationären Systemsimulation von Gebäuden und Anlagen; entwickelt 1975 an der Universität von Wisconsin
Vertrieb in Deutschland über Transsolar Energietechnik GmbH, Curiestraße 2, 70563 Stuttgart
www.transsolar.com, 2000
- [Vajen, Jordan, 2003] Vajen, K.; Jordan, U.: DHWcalc – Werkzeug zur Generierung von Trinkwasser-Zapfprofilen auf statistischer Basis – Version 1.10; Das Programm ist kostenlos im Download-Bereich unter folgender Internetadresse erhältlich: <http://www.uni-kassel.de/~solar>, 2003
- [VDI 2067, 2000] VDI 2067, Blatt 1: „Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen: Grundlagen und Kostenberechnung“, September 2000