

Machbarkeitsstudie Nahwärme „Wohnen im Rheinpark“ Bingen

Auftraggeber: Ministerium für Umwelt und Forsten Rheinland-Pfalz
Projektnummer: 1232
Datum: 13.02.2006

Transferstelle Bingen · Berlinstr. 109 · 55411 Bingen · www.tsb-energie.de

Dipl.-Ing. (FH) Jörg Wirtz

Tel: 06721 / 409 229

Fax: 06721 / 409 129

wirtz@tsb-energie.de

Dipl.-Ing. (FH) cand. Barbara Schmidt-Sercander

Tel: 06721 / 409 228

Fax: 06721 / 409 184

schmidt-sercander@tsb-energie.de

im

Institut für Innovation, Transfer und Beratung GmbH · Berlinstraße 107a · 55411 Bingen am Rhein

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Wärmebedarf	4
3	Dezentrale Wärmeversorgung	5
3.1	Energiebilanz der dezentralen Wärmeversorgung	5
3.2	Kohlendioxid-Emissionsbilanz der dezentralen Wärmeversorgung	5
3.3	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der dezentralen Wärmeversorgung	6
4	Holz-Nahwärmeversorgung	8
4.1	Heizzentrale mit Biomassekessel	8
4.2	Standort der Heizzentrale	12
4.3	Wärmebedarf	13
4.4	Energiebilanz	14
4.5	Kohlendioxid-Emissionsbilanz	15
4.6	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	16
5	Kalte Nahwärme	20
5.1	Dezentrale Wärmepumpe und „Kalte Fernwärme“	20
5.2	Wärmequellen.....	22
5.3	Wärmebedarf	24
5.4	Energiebilanz	25
5.5	Kohlendioxid-Emissionsbilanz	26
5.6	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	27
6	Vergleich dezentrale und zentrale Wärmeversorgung	30
6.1	Vergleich der Kohlendioxid-Emissionen.....	30
6.2	Vergleich Wirtschaftlichkeit	32
7	Sensitivitätsbetrachtung	34
8	Solarenergetische Nutzung.....	38
8.1	Flächenverfügbarkeit	38
8.2	Solarthermie	38
8.3	Photovoltaik	40
9	Zusammenfassung.....	43
10	Abbildungs- und Tabellenverzeichnis.....	45

1 Einleitung

Im Rahmen der Landesgartenschau, die 2008 in Bingen stattfindet, gestaltet die Entwicklungsgesellschaft Bingen am Rhein GmbH (EGB) das Hafenkerngebiet der Stadt Bingen um. Das Gelände soll nach Beendigung der Ausstellungszeit, während der es die Zeit- und Themengärten beinhalten wird, als hochwertiges Wohngebiet mit Rheinblick dienen.

Bereits zur Landesgartenschau wird das rund drei Hektar große Gebiet voraussichtlich erschlossen und drei der geplanten Stadtvillen mit je sechs Wohnungen errichtet. Nach Abschluss der Veranstaltung soll das Gebiet zwischen Hafen und Hindenburganlage mit insgesamt 25 Villen bebaut werden.

Anhand der bisherigen Planungen wird im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Forsten (MUF) durch die Transferstelle für rationelle und regenerative Energienutzung Bingen (TSB) eine Machbarkeitsstudie für eine Nahwärmeversorgung des Wohngebietes „Im Rheinpark“ erstellt.

Dabei werden zunächst exemplarisch an einem Gebäude für die geplanten Stadtvillen der Heizwärmebedarf sowie die -leistung für unterschiedliche Wärmedämmstandards aufgezeigt.

Die Machbarkeitsstudie umfasst des weiteren eine technische, wirtschaftliche und ökologische Beurteilung der Einsatzmöglichkeiten eines „Kalten Nahwärmenetzes“, bei dem das Rhein- oder Brunnenwasser durch eine Wärmepumpe zur Wärmeversorgung nutzbar gemacht wird, im Vergleich zu einer konventionellen Einzelversorgung mit Erdgas. Als weitere Varianten werden die Wärmeversorgungen durch ein Holzhackschnitzel- bzw. ein Holzpelletsheizwerk bewertet.

In einem Vergleich werden die verschiedenen Varianten der Wärmeversorgung gegenübergestellt. Dieser Variantenvergleich umfasst eine Energiebilanz mit Werten zu den umgesetzten Energie- sowie Brennstoffmengen. Es schließt sich eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung an, bei der die Gesamtkosten und die Wärmepreise aufgrund der Investitions-, Betriebs- und Verbrauchskosten ermittelt werden. Auch eine Sensitivitätsbetrachtung bezüglich der Erdgas-, Holzhackschnitzel und Holzpelletspreise ist enthalten.

Für alle untersuchten Varianten wird entsprechend eine Emissionsbetrachtung vorgenommen, anhand derer die ökologischen Vorteile des jeweiligen Systems erkennbar werden.

Zusätzlich wird in dieser Studie die Einsatzmöglichkeit der Solarthermie und die Eignung der Dachflächen für Photovoltaik überprüft.

2 Wärmebedarf

Zukünftig werden sich in den Stadtvillen des neuen Wohngebietes im Rheinpark schätzungsweise durchschnittlich sechs Wohneinheiten pro Haus befinden. Somit ergeben sich bei einer Anzahl von 25 Gebäuden 150 Wohneinheiten.

Wie hoch der Wärmebedarf eines Hauses ist, hängt sehr stark von den Baustoffen, den Stärken der Dämmstoffe sowie der Anlagentechnik des Hauses ab.

Den weiteren Berechnungen wird folgender Wärmebedarf eines Niedrigenergiehauses (NEH) zu Grunde gelegt.

BWW-Wärmebedarf pro Gebäude	10.950 kWh _{th} /a
Heizungswärmebedarf pro Gebäude	52.050 kWh _{th} /a
Gesamtwärmebedarf pro Gebäude	63.000 kWh _{th} /a
Heizleistung pro Gebäude	35 kW _{th}
Vollbenutzungsstunden	1.800 h/a
beheizte Fläche pro Gebäude	915 m ²
spez. Heizwärmebedarf	56,9 kWh _{th} /(m ² *a)
spez. BWW-Wärmebedarf	12,0 kWh _{th} /(m ² *a)
spez. Heizleistung	38,3 W _{th} /m ²
gebäudetypische Werte	
spez. Heizwärmebedarf NEH	< 55 kWh _{th} /(m ² a) ¹

Tabelle 2-1 Wärmebedarf einer Stadtvilla

Für die 25 Stadtvillen zusammengefasst, ergibt sich folgender Wärmebedarf:

Brauchwarmwasserbedarf	273.750 kWh _{th} /a
Heizungswärmebedarf	1.301.250 kWh _{th} /a
Gesamtwärmebedarf	1.575.000 kWh _{th} /a
Heizleistung	875 kW _{th}

Tabelle 2-2 Gesamtwärmebedarf Hafenkerngebiet

¹ Ministerium der Finanzen (RLP); Bauen und Wohnen – Niedrigenergiehäuser; 4. überarbeitete Auflage, Februar 2002

3 Dezentrale Wärmeversorgung

Als Basisvariante zum Vergleich mit der zentralen Wärmeversorgung durch ein Kaltes Nahwärmenetz sowie durch ein Nahwärmenetz mit Holzhackschnitzel- bzw. Holzpelletszentrale, wird zunächst die Möglichkeit der herkömmlichen dezentralen Wärmeversorgung durch Erdgasheizungen näher betrachtet.

3.1 Energiebilanz der dezentralen Wärmeversorgung

In der Basisvariante werden erdgasbefeuerte Brennwertkessel für alle Objekte betrachtet. Die Energiebilanz stellt sich wie folgt dar:

Gebäude	Wärmebedarf kWh _{th} /a	Jahresnutzungsgrad %	Erdgasbedarf	
			kWh _{HU} /a	kWh _{HO} /a
25 Stadtvillen	1.575.000	92	1.712.000	1.883.000

Tabelle 3-1 Energiebilanz Basisvariante

3.2 Kohlendioxid-Emissionsbilanz der dezentralen Wärmeversorgung

Die ökologische Bewertung der Wärmeversorgung erfolgt anhand der Kohlendioxid-Emissionen. Dazu wird aus der eingesetzten Brennstoffmenge und der spezifischen CO₂-Emission nach GEMIS¹ bezogen auf den unteren Heizwert des eingesetzten Brennstoffs der jährliche Kohlendioxid-Ausstoß berechnet.

Für Erdgas beträgt die spezifische CO₂-Emission 253,6 g CO₂/kWh_{HU} und für Strom 641,3 g CO₂/kWh_{el}.

Gebäude	Erdgasverbrauch kWh _{HU} /a	Stromverbrauch kWh _{el} /a	CO ₂ -Emission
			t CO ₂ /a
25 Stadtvillen	1.712.000	15.750	444

Tabelle 3-2 Kohlendioxid-Emissionsbilanz Basisvariante

¹ Öko-Institut; Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS) Version 4.2

3.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der dezentralen Wärmeversorgung

In der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden die Jahreskosten und die Wärmepreise der Basisvariante anhand von Kapital-, Verbrauchs- und Betriebskosten in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 2067 berechnet. Der Wärmepreis gibt das Verhältnis der Jahreskosten in Bezug auf den Jahreswärmebedarf wieder.

Zur Ermittlung der Kapitalkosten werden für die Heizungsanlagen überschlägige Investitionskosten zu Grunde gelegt.

Für die neu zu errichtenden Häuser wurden aktuelle Strom- und Erdgaspreise für Privatkunden bei der RWE erfragt, in deren Versorgungsgebiet sich die zukünftige Wohnbausiedlung befindet. Zur Ermittlung der Wartungs- und Instandhaltungskosten werden Investitionen für die Heizkessel nach spezifischen Kennziffern herangezogen.

Rahmenbedingungen

Bestimmung kapitalgebundene Kosten

Zinssatz 4 %

	Abschreibungsdauer Jahre
Gasbrennwertgeräte	12
Baukostenzuschuss Erdgas	40
Montage	15
Planung, Unvorhergesehenes	15

Tabelle 3-3 Abschreibungsdauer nach VDI 2067

Bestimmung verbrauchsgebundene Kosten:

Arbeitspreis Erdgas (RWE Januar 2006) 5,39 Ct/kWh_{Ho} (ohne MwSt.)

Grundpreis Erdgas (RWE Januar 2006) 36 €/a (ohne MwSt.)

Arbeitspreis Strom (RWE Januar 2006) 14,81 Ct/kWh_{el} (ohne MwSt.)

Bestimmung betriebsgebundene Kosten:

Wartung / Instandhaltung

Gasbrennwertgeräte 2,5 % der Investition (Heizanlage)

Personalkosten 30 €/h (ohne MwSt.)

Investitionen der dezentralen Heizanlagen

	25 Stadtvillen	
Heizleistung Erdgaskessel	875 (25*35)	kW _{th}
Maschinentechnik Gasbrennwertgeräte und Speicher mit Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme	204.200	€
Bautechnik Baukostenzuschuss Erdgas	58.000	€
Planung, Unvorhergesehenes Planung, Unvorhergesehenes (15%)	39.300	€
Gesamtinvestition	301.500	€

Tabelle 3-5 Investitionen Basisvariante inkl. MwSt.

Die Investitionskosten werden überschlägig ermittelt, um die dezentrale Wärmeversorgung mit den Heizzentralen vergleichen zu können.

Für die Basisvariante ergeben sich folgende jährliche Kapital-, Verbrauchs- und Betriebskosten.

Gebäude	Kapitalkosten €/a	Verbrauchskosten €/a	Betriebskosten €/a	Jahreskosten €/a	Wärmepreis Ct/kWh _{th}
25 Stadtvillen	27.910	121.480	22.140	171.530	10,9

Tabelle 3-6 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung Basisvariante inkl. MwSt.

4 Holz-Nahwärmeversorgung

Im Folgenden werden zwei Möglichkeiten der Holz-Nahwärmeversorgung betrachtet und auf ihre Wirtschaftlichkeit hin geprüft.

Als erste Variante wird die Holz-Nahwärmeversorgung auf Basis von Holzpellets und als zweite Variante auf Basis von Holzhackschnitzeln untersucht.

Es resultieren die folgenden Varianten:

Variante 1	Holzpellets-Heizzentrale
Variante 2	Holzhackschnitzel-Heizzentrale

Es werden Niedertemperatur-Erdgaskessel als Spitzenlastkessel in der Konzeption der Holz-Nahwärmeversorgungen berücksichtigt. Informationen zu Biomassekesseln und der zugehörigen Technik können aus dem folgenden Kapitel entnommen werden.

4.1 Heizzentrale mit Biomassekessel

Holzhackschnitzel

Aus Waldrestholz (Schwachholz aus Schlagabraum, Durchforstung) oder aus unbehandeltem Industrierestholz werden mit speziellen Hackmaschinen Holzhackschnitzel in etwa Streichholzschachtelgröße hergestellt. Durch die Schütffähigkeit der Holzhackschnitzel sind deren Transport, die Lagerung und die automatische Beschickung der Feuerungsanlage problemlos. Aufgrund dessen ist ein kontinuierlicher Betrieb eines Biomassekessels ohne großen Bedienaufwand gewährleistet.

Das Lager der Holzhackschnitzel wird nach dem gewählten Austragungssystem, der Brennstofffeuchte und der zu lagernden Menge bestimmt. Außerdem sind die örtlichen Gegebenheiten für die Anforderungen an das Lager zu berücksichtigen. Neben Silos (z. B. Fahr- bzw. Tunnelsilo) und Bunker kann der Brennstoff im Gebäude gelagert werden. Alternativ dazu können die Holzhackschnitzel in Container geliefert werden.

Unterschiedliche Austragungssysteme transportieren die Holzhackschnitzel aus dem Lager zur Brennstoffzuführung des Biomassekessels. Zur automatischen Austragung werden Schubböden, Teleskoppräsen oder Austragungsschnecken eingesetzt. Diese beschicken die Förderschnecke, die auch als Dosierschnecke bezeichnet wird, da mit ihr die Kesselleistung geregelt werden kann, oder einen Kratzkettenförderer zum Kessel. Das Brennstofflager sollte sich möglichst nahe an der Kesselanlage befinden, um eine geringe Länge der Transportschnecken zu benötigen. Dadurch kann die Gefahr des Zusetzens der Förderschnecke durch die Holzhackschnitzel vermieden werden.



Abbildung 4-1 Biomassekessel mit Schubbodenaustragung (Quelle: Fa. Schmid Ag, CH-Eschlikon)

Die Dosierschnecke oder der Hydraulikzylinder fördert die Holzhackschnitzel in den Brennraum, wo sie unter Luftzufuhr während der Verbrennung zunächst Holzgas bilden.

Unter Zugabe von Sekundärluft verbrennt das Holzgas, und die dabei erzeugte Wärme wird über Wärmetauscher an das Heizmedium Wasser abgegeben. Eine Rostfeuerung ermöglicht eine Vortrocknung von Holzhackschnitzel mit einer etwas höheren Restfeuchte, indem der zugeführte Brennstoff von den Brenngasen, die über den Rost geführt werden, getrocknet wird.

Holzpellets

Die Holzpellets werden vor allem aus industriell und gewerblich anfallenden Holzstäuben oder -spänen gefertigt. Sie besitzen einen Durchmesser von 5 bis 20 mm und eine Länge von etwa 10 bis 30 mm. Als Bindemittel wirkt das im Holz enthaltene Lignin und ggf. Speisestärke. In der DIN 51731 sind die Qualitätskriterien der Holzpellets festgelegt, so dass ihr Heizwert mindestens $4,9 \text{ kWh}_{\text{BS}}/\text{kg}$ betragen muss. Außerdem muss das Schüttgewicht $650 \text{ kg}/\text{Sm}^3$ aufweisen und die Holzfeuchte darf 10 % nicht überschreiten. Ein Schüttkubikmeter weist einen Energieinhalt von mindestens 3.185 kWh auf. Aufgrund ihres hohen Energieinhalts benötigen sie daher im Vergleich zu Holzhackschnitzel ein wesentlich geringeres Lagervolumen. Weitergehende Qualitätsanforderungen werden durch das DINplus-Zertifikat und die österreichische Norm M 7135 sichergestellt.

Die Holzpellets werden im Silowagen angeliefert und mit einem Schlauch ins Lager eingeblasen. Das Holzpelletslager sollte sich direkt neben dem Heizungsraum befinden, um lange Transportwege zu vermeiden. Als Lager kann ein Raum des zu beheizenden Gebäudes, ein Erdbunker, ein Container oder ein Silo eingesetzt werden.

Für Lagermengen bis zu 15 t eines festen Brennstoffs bestehen keine Anforderungen an Wände, Decken, Türen und Nutzen nach der Feuerungsanlagenverordnung. Ab 15 t sind die Lager nach baurechtlichen Vorgaben der Feuerungsanlagenverordnung auszuführen.

Unterschiedliche Austragungssysteme abhängig vom Holzpelletslager transportieren die Holzpellets aus dem Lager zur Brennstoffzuführung des Biomassekessels. Zur automatischen Austragung werden Austragungsschnecken, Rührfederaustragung und Pendelschnecken eingesetzt.

Diese beschicken die Förderschnecke, die auch als Dosierschnecke bezeichnet wird, da mit ihr die Kesselleistung geregelt werden kann, zum Kessel. Das Brennstofflager sollte sich möglichst nahe an der Kesselanlage befinden, um eine geringe Länge der Transportschnecken zu benötigen.

Die Dosierschnecke oder Hydraulikzylinder fördert die Holzpellets in die Brennstoffmulde, wo sie unter Luftzufuhr während der Verbrennung zunächst Holzgas bilden. Unter Zugabe von Sekundärluft verbrennt das Holzgas, und die dabei erzeugte Wärme wird über Wärmetauscher an das Heizmedium Wasser abgegeben.

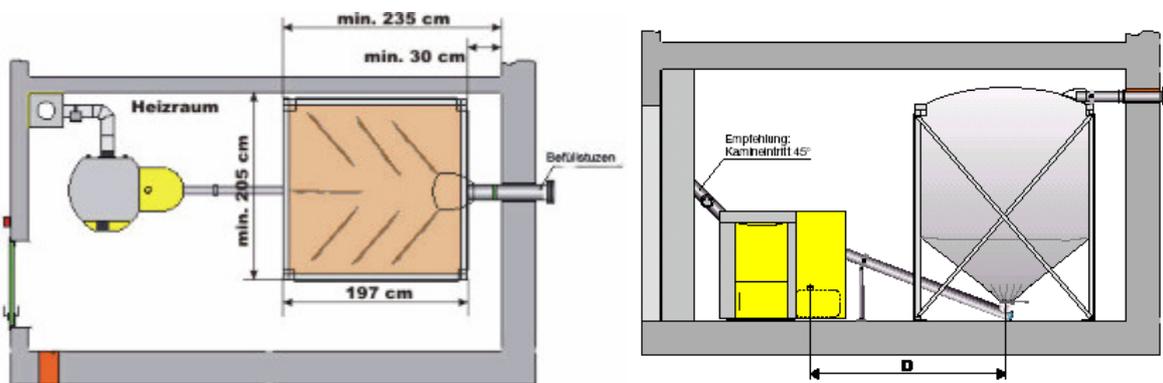


Abbildung 4-2 Gewebesilo Holzpellets (Quelle: Soltec)

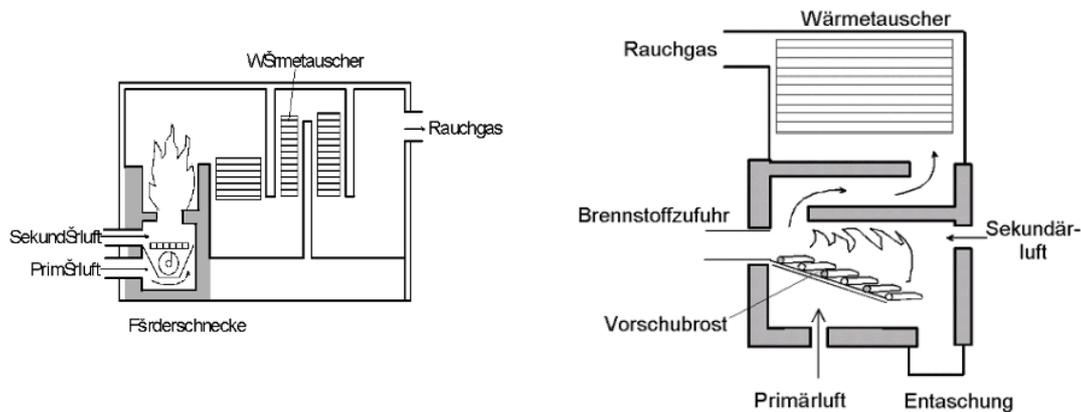


Abbildung 4-3 Unterschubfeuerung und Rostfeuerung
(Quelle: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.)

Biomassekessel

Moderne Holzfeuerungsanlagen sind mit einer Leistungsregelung zur Anpassung der Wärme-
produktion auf den benötigten Wärmebedarf ausgestattet. Außerdem ist eine Verbrennungs-
regelung notwendig, die durch Minimierung der Emissionen von unverbrannten Gasen eine
Wirkungsgraderhöhung der Feuerungsanlage ermöglicht.

Die Staubabscheidung erfolgt je nach Leistungsgröße des Kessels mit einen oder mehreren
Zyklonen. Zur Rauchgasreinigung bei Anlagen mit einer Kesselleistung ab etwa 500 kW_{th}
werden zusätzlich Gewebe-, Elektrofilter oder eine Rauchgaskondensation eingesetzt.

Da die Kesselleistung der Biomassekessel zwischen 30 % und 100 % seiner Nennleistung
regelbar ist, kann eine Teillast kleiner als 30 % der Nennleistung mit einem Pufferspeicher
abgedeckt werden. Dadurch reduziert sich die sonst notwendige Schalthäufigkeit, und die
Holzfeuerungsanlage wird effizienter genutzt.

In der Regel wird ein Biomassekessel bivalent mit einem konventionellen Heizkessel betrie-
ben, um eine Notversorgung zu gewährleisten und die Investitionskosten möglichst niedrig zu
halten. Der Biomassekessel wird zur Abdeckung einer Grund- und Mittellast mit 20 bis 40 %
der Gesamtwärmeleistung ausgelegt, der dann 70 bis 85 % des Wärmebedarfs abdeckt,
während ein erdgas- oder heizölbefuertes Kessel als Spitzenlastkessel eingesetzt wird. Weil
die derzeit installierten Heizkessel mit Erdgas befeuert werden, werden diese als Spitzenlast-
kessel beibehalten.

Bis zu einer Leistungsgröße von etwa 400 kW_{th} wird ein Holzpelletkessel auch monovalent
betrieben. Aus Gründen der Versorgungssicherheit wird der Biomassekessel in der Regel mit
einem zusätzlichen, aufschwenkbaren Ölbrenner ausgestattet.

Zur Abrechnung sind für die beiden Gebäude Wärmemengenzähler zu installieren.



Abbildung 4-4 Biomassekessel mit Unterschubfeuerung (Quelle: Fa. Schmid AG, CH-Eschlikon)

Die Auslegung der zu bevorratenden Biomasse wird für einen fünf- bis zehntägigen Volllastbetrieb des Biomassekessels ausgelegt. Die Dimensionierung wird innerhalb der Energiebilanz durchgeführt.

4.2 Standort der Heizzentrale

Um Wärmeverluste durch lange Leitungswege zu vermeiden, sollten sich die Heizzentrale und das Holzhackschnitzel- bzw. Holzpelletslager direkt neben der Heizzentrale befinden. Als Standort der Heizzentrale mit dem Biomassekessel für eine gemeinsame Versorgung der Stadtvillen betrachtet die Studie zentral gelegene Garagen in der Kolonnade.

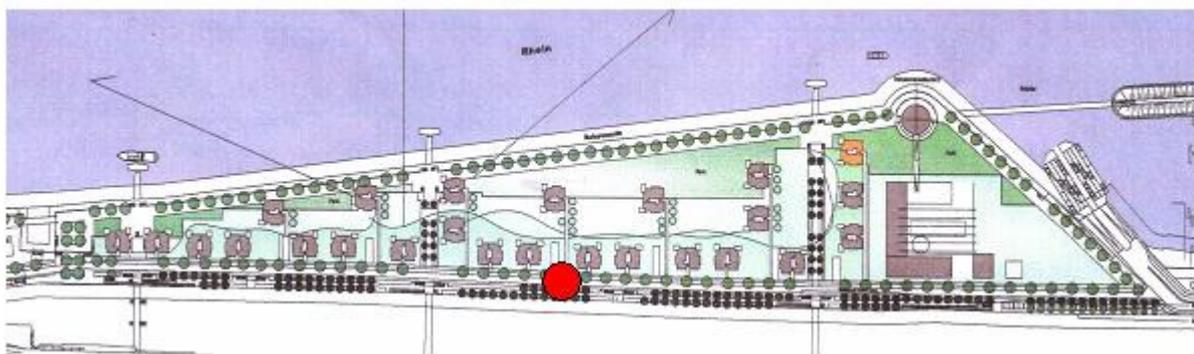


Abbildung 4-5 Standort Heizzentrale

4.3 Wärmebedarf

Zur Auslegung der Heizzentralen in Nahwärmenetzen werden der Wärmebedarf und die notwendige Wärmeleistung ermittelt. Außerdem sind die Verluste durch die Nahwärmeleitungen zu berücksichtigen. Den folgenden Berechnungen wurde ein möglicher Verlauf der Nahwärmeleitungen zu Grunde gelegt der in Abbildung 4-4 eingezeichnet ist. Bei der Umsetzung des Projektes muss eine detaillierte Planung der Rohrleitungsführung stattfinden.

Folgendes Nahwärmenetz wird systematisch den Varianten 1 und 2 zu Grunde gelegt:

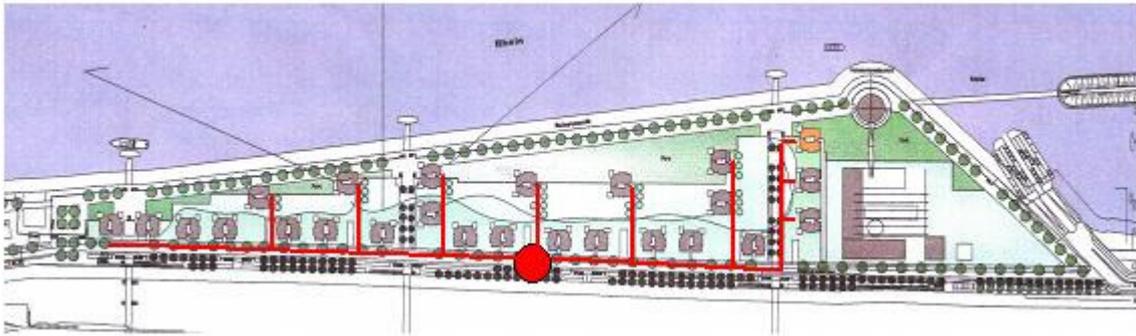


Abbildung 4-6 Lageplan mit Holz-Nahwärmenetz

Außer den Nahwärmeverlusten wird ein Gleichzeitigkeitsfaktor berücksichtigt, der eine Aussage darüber trifft wie viele der Verbraucher voraussichtlich parallel in Betrieb sind.

Für die Varianten 1 und 2 ergeben sich folgender Wärmebedarf und folgende Wärmeleistung:

	Wärmeleistung kW _{th}	Wärmebedarf kWh _{th} /a
25 Stadtvillen	875	1.575.000
Nahwärmeverluste	21	105.000
Summe gemeinsame Wärmeversorgung	896	1.680.000
Gleichzeitigkeitsfaktor	0,9	
Auslegung Heizzentrale	806	1.680.000

Tabelle 4-1 Wärmebedarf Holz-Nahwärme

Zur Abdeckung des Wärmebedarfs der Varianten 1 und 2 werden je ein Biomassekessel mit 300 kW_{th} und ein Erdgaskessel mit 500 kW_{th} als Spitzenlastkessel betrachtet.

4.4 Energiebilanz

Die Energiebilanz der beiden Holz-Nahwärmeversorgungsvarianten ist in der folgenden Tabelle aufgeführt.

		Variante 1	Variante 2
		Holzpellets	HHS
Wärmebedarf mit Nahwärmeverlusten	kWh _{th} /a	1.680.000	1.680.000
Wärmeleistung	kW _{th}	800	800
Nennleistung Biomassekessel	kW _{th}	300	300
Nennleistung Erdgaskessel	kW _{th}	500	500
Gesamtnennleistung	kW _{th}	800	800
Deckungsgrad Leistung Biomassekessel	%	37,5	37,5
Deckungsgrad Wärme Biomassekessel	%	85	85
Wärmeerzeugung Biomassekessel	kWh _{th} /a	1.428.000	1.428.000
Wärmeerzeugung Erdgaskessel	kWh _{th} /a	252.000	252.000
Jahresnutzungsgrad Biomassekessel	%	85	80
Jahresnutzungsgrad Erdgaskessel	%	92	92
Brennstoffbedarf Biomasse	kWh _{Hu} /a	1.575.000	1.673.400
Brennstoffbedarf Erdgas	kWh _{Hu} /a	256.800	256.800
Heizwert Holzpellets	kWh _{Hu} /kg	4,9	
Heizwert Holzhackschnitzel	kWh _{Hu} /Sm ³		800
Heizwert Erdgas	kWh _{Ho} /kWh _{Hu}	1,1	1,1
Brennstoffmenge Biomasse	Sm ³ /a	490	2.090
	t/a	320	
Brennstoffmenge Erdgas	kWh _{Ho} /a	282.000	282.000

Tabelle 4-2 Energiebilanz Holz-Nahwärmeversorgung

Ziel bei der Auslegung eines Biomassekessels ist es, 85 % des Wärmebedarfes durch den Holzkessel abzudecken. Die Leistungsauslegung erfolgt anhand einer geordneten Jahresdauerlinie. Dabei kann ermittelt werden, dass mit einer Leistung von etwa 1/3 der Spitzenlast 85 % des Wärmebedarfes abgedeckt werden können. Der Kessel kann dann überwiegend im Volllastbereich gefahren werden.

Die Lagergröße für Holzpelletsheizungen (größer 100 kW_{th} Nennwärmeleistung) wird auf die maximale Liefermenge eines LKW dimensioniert. Für die Variante 1 ergibt sich eine Lagergröße von etwa 70 m³, um ca. 50 Sm³ Holzpellets lagern zu können. Für die Heizzentrale mit Lager müsste also der Platz von 3 Garagen zur Verfügung gestellt werden. Somit wären für die Variante mit Holzpellets jährlich 10 Befüllungen des Brennstofflagers notwendig.

Für die Dimensionierung des Holzhackschnitzellagers wird von einem fünf- bis zehntägigen Volllastbetrieb des Kessels ausgegangen. Die Variante 2 kann mit einer Lagergröße von rund 140 m³ etwa 100 Sm³ bevorraten und damit einen zehntägigen Volllastbetrieb mit Holzhackschnitzeln abdecken. Die Heizzentrale mit Lager würde also den Platz von vier Garagen einnehmen. Bei der Variante mit Holzhackschnitzel wären jährlich 20 Befüllungen des Brennstofflagers notwendig.

Das Füllvolumen des Lagers beträgt dabei jeweils nur ca. 75 % der Lagergröße, da sich bei der Befüllung Schüttkegel ausbilden und so keine vollständige Füllung des Lagers erreicht werden kann.

4.5 Kohlendioxid-Emissionsbilanz

Eine ökologische Bewertung der Holz-Nahwärmeversorgung erfolgt ebenfalls mithilfe einer Kohlendioxid-Emissionsbilanz. Dazu wird aus der eingesetzten Brennstoffmenge und der spezifischen CO₂-Emission nach GEMIS bezogen auf den unteren Heizwert des eingesetzten Brennstoffs der jährliche Kohlendioxid-Ausstoß berechnet.

Unter Anrechnung der CO₂-Neutralität der Biomasse Holz und unter der Berücksichtigung der zur Herstellung sowie Transport der Holzhackschnitzel bzw. Holzpellets benötigten Energie ergibt sich für die Holzhackschnitzel eine spezifische CO₂-Emission von 33,8 g CO₂/kWh_{Out}, für Holzpellets von 33,7 g CO₂/kWh_{Out}. Die spezifische CO₂-Emission von Erdgas beträgt 253,6 g CO₂/kWh_{Hu}, die spezifische CO₂-Emission von Strom beträgt 641,3 g CO₂/kWh_{el}.

		Variante 1	Variante 2
		Holzpellets	HHS
Wärmeerzeugung Holzpellet-Kessel	kWh _{Out} /a	1.428.000	
Wärmeerzeugung Holzhackschnitzel-Kessel	kWh _{Out} /a		1.428.000
Brennstoffbedarf Erdgas	kWh _{Hu} /a	256.8000	256.800
Hilfsenergiebedarf Strom	kWh _{el} /a	31.080	31.080
spez. CO ₂ -Emission Holzpellets	g CO ₂ /kWh _{Out}	33,8	
spez. CO ₂ -Emission Holzhackschnitzel	g CO ₂ /kWh _{Out}		33,7
spez. CO ₂ -Emission Erdgas	g CO ₂ /kWh _{Hu}	253,6	253,6
spez. CO ₂ -Emission Strom	g CO ₂ /kWh _{el}	641,3	641,3
CO ₂ -Emission	t CO ₂ /a	142	142

Tabelle 4-3 Kohlendioxid-Emissionsbilanz Holz-Nahwärmeversorgung

4.6 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

In der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden die Jahreskosten und die Wärmepreise der beiden Anlagenvarianten anhand von Kapital-, Verbrauchs- und Betriebskosten in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 2067 berechnet. Der Wärmepreis gibt das Verhältnis der Jahreskosten in Bezug auf den Jahreswärmebedarf wieder.

Nach dem Marktanreizprogramm „Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien vom 26. November 2003 Bundesanzeiger Nr. 234 ausgegeben am 13. Dezember 2003“ kann für automatisch beschickte Biomasseanlagen mit einer Nennwärmeleistung von mehr als 100 kW_{th} ein Teilschulderlass von 60 € je kW_{th} (maximal 275.000 €) sowie für die Nahwärmeleitung bei einer Wärmeabnahme von mehr als 1,5 MWh_{th}/(m*a) ein Teilschulderlass von 50 € je m Rohrlänge (maximal 600.000 €) beantragt werden. Antragsberechtigt sind seit dem 01.01.2004 auch Kommunen und kommunale Betriebe.

Außerdem besteht die Möglichkeit, einen zinsgünstigen Kredit bei der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) nach dem KfW-Infrastrukturprogramm Sonderfonds „Wachstumsimpulse“ für die Realisierung des Nahwärmeverbunds auf Basis vom Brennstoff Holz zu beantragen. Ein nominaler Zinssatz beträgt 4 %, der für die ersten zehn Jahre fest ist. Danach werden neue Konditionen vereinbart. Die Laufzeit beträgt maximal 20 Jahre mit maximal drei tilgungsfreien Anlaufjahren.

Rahmenbedingungen

Bestimmung kapitalgebundene Kosten:

Zinssatz 4 % (KfW-Infrastrukturprogramm)

	Abschreibungsdauer
	Jahre
Kessel	20
Speicher	40
Gasbrenner	12
Schalldämmung	20
Regeltechnik	20
Wärmedämmung	20
Verrohrung	40
Schornstein	50
Nahwärmenetz	40
Baukostenzuschuss Erdas	40
Hausübergabestationen	30
Montage	15
Planung, Unvorhergesehenes	15

Tabelle 4-4 Abschreibungsdauer nach VDI 2067

Bestimmung verbrauchsgebundene Kosten:

spezifischer Holzpelletpreis	135 €/t (ohne MwSt.)
spezifischer Holzhackschnitzelpreis	15 €/Sm ³ (ohne MwSt.)
Arbeitspreis Erdgas (RWE Januar 2006)	5,39 Ct/kWh _{Ho} (ohne MwSt.)
Grundpreis Erdgas (RWE Januar 2006)	36 €/a (ohne MwSt.)
Arbeitspreis Strom (RWE Januar 2006)	14,81 Ct/kWh _{el} (ohne MwSt.)

Bestimmung betriebsgebundene Kosten:

	Wartung / Instandhaltung % der Investition
Biomassekessel	3
Erdgaskessel	2
Speicher	1
Erdgasbrenner	12
Schalldämmung	2,5
Regeltechnik	1
Wärmedämmung	1
Verrohrung	1
Nahwärmenetz	1
Hausübergabestationen	1

Tabelle 4-5 Wartung / Instandhaltung nach VDI 2067

Personalkosten 30 €/h (ohne MwSt.)

Investition der Heizzentralen:

		Variante 1	Variante 2
		Holzpellets	HHS
Heizleistung Biomassekessel	kW _{th}	300	300
Heizleistung Erdgaskessel	kW _{th}	500	500
Maschinentechnik:			
Biomassekessel und Pufferspeicher mit Brennstofftransport und Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme	€	114.600	134.800
Erdgas-Niedertemperaturkessel mit Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme	€	87.700	87.700
Versorgungsleitungen			
Nahwärmenetz	€	407.400	407.400
Baukostenzuschuss Erdgas	€	3.500	3.500
Bautechnik			
Heizhaus, Biomasselager	€	19.100	31.900
Hausanschlusskosten	€	169.700	169.700
Planung, Unvorhergesehenes			
Planung, Unvorhergesehenes (15%)	€	120.300	125.300
Gesamtinvestition	€	922.300	960.300
Teilschulderlass Biomassekessel	€	18.000	18.000
Teilschulderlass Nahwärmeleitung	€	103.200	103.200
Gesamtinvestition mit Teilschulderlass	€	801.100	839.100

Tabelle 4-6 Investitionen Holz-Nahwärmeversorgung

Um einen Teilschulderlass für die Nahwärmeleitung beantragen zu können, muss die spezifische Wärmeabnahme nach dem Marktanreizprogramm über der Mindestvorgabe von 1,5 MWh_{th}/(m*a) liegen. Ca. 1.032 m der Nahwärmetrasse erfüllen die Mindestvorgabe und sind damit förderfähig.

Die folgende Tabelle stellt die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für die Wärmeversorgungsvarianten mit einer Biomasseheizzentrale dar.

		Variante 1 Holzpellets	Variante 2 HHS
Wärmeleistung Biomassekessel	kW_{th}	300	300
Wärmeleistung Erdgaskessel	kW_{th}	500	500
Investition	€	922.300	960.300
Investition inkl. Teilschulderlass	€	801.100	839.100
Kapitalkosten	€	56.770	59.330
Kapitalkosten inkl. Teilschulderlass	€	49.080	46.680
Verbrauchskosten	€	70.100	57.590
Betriebskosten	€	12.250	13.040
Jahreskosten	€	139.120	129.960
Jahreskosten inkl. Teilschulderlass	€	131.430	117.310
Jahreswärmebedarf ohne Nahwärmeverluste	$\text{kWh}_{\text{th}}/\text{a}$	1.575.000	1.575.000
Wärmepreis	Ct/kWh_{th}	8,8	8,3
Wärmepreis inkl. Teilschulderlass	Ct/kWh_{th}	8,3	7,4

Tabelle 4-7 Wirtschaftlichkeit Holz-Nahwärmeversorgung (inkl. MwSt.)

Die Nahwärmeversorgung mit Holz hackschnitzeln erweist sich trotz höheren Investitions- und damit Kapitalkosten wirtschaftlicher als die Nahwärmeversorgung mit Holzpellets, da die Brennstoffkosten mit 8,3 Ct/ kWh_{th} für die Holz hackschnitzel im Vergleich zu 7,4 Ct/ kWh_{th} für die Holzpellets wesentlich niedriger liegen.

5 Kalte Nahwärme

Im Folgenden werden Möglichkeiten der Kalten Nahwärmeversorgung betrachtet und auf ihre Umsetzbarkeit und Wirtschaftlichkeit hin geprüft.

Der Einsatz elektrisch betriebener Wärmepumpen wird mit dem Einsatz erdgasbetriebener Wärmepumpen verglichen. Zusätzlich erfolgt eine Gegenüberstellung der Direktentnahme von Rheinwasser zu einem Brunnensystem.

Es resultieren die folgenden Varianten:

Variante 3	Elektro-Wärmepumpen mit Rheinwasser
Variante 4	Elektro-Wärmepumpen mit Brunnenwasser
Variante 5	Erdgas-Wärmepumpen mit Rheinwasser
Variante 6	Erdgas-Wärmepumpen mit Brunnenwasser

Informationen zu Kalter Nahwärme, Wärmepumpen und der zugehörigen Technik können aus dem folgenden Kapitel entnommen werden.

5.1 Dezentrale Wärmepumpe und „Kalte Fernwärme“

Durch Wärmepumpen kann Wärme auf einem niedrigen Temperaturniveau in nutzbare Heizenergie umgewandelt werden. Als Wärmequelle kann das Erdreich, Wasser und auch Luft dienen. Dabei sollte die Wärmequelle ein möglichst hohes Temperaturniveau sowie ganzjährige Verfügbarkeit bereitstellen.

Der Wärmequelle wird in der Wärmepumpe durch ein Arbeitsmittel, das bereits bei niedrigen Temperaturen (-30 °C ..- 50 °C) und geringem Druck verdampft, Wärme entzogen. Das nach der Wärmeaufnahme gasförmige Arbeitsmittel wird anschließend in einem Verdichter komprimiert und durch den höheren Druck auf eine höhere Temperatur gebracht. Danach wird das Arbeitsmittel wieder verflüssigt und die dabei freiwerdende Wärme geht auf einen Wärmeträger (z.B. Heizungswasser) über. Wenn das Arbeitsmittel wieder entspannt ist, geht es wieder in den Verdampfer, um erneut Umgebungswärme aufzunehmen.

Damit mit der Wärmepumpe eine möglichst hohe Leistungszahl erreicht wird, d.h. das möglichst wenig hochwertige Energie wie z.B. Strom oder Erdgas am Kompressor zugeführt werden muss, muss die zu überbrückende Wärmedifferenz möglichst gering gehalten werden. Die Wärmequelle sollte also ein möglichst hohes Temperaturniveau zur Verfügung stellen und das Wärmeverteilsystem sollte ein möglichst niedriges Temperaturniveau benötigen, was z.B. Fußboden- oder Wandflächenheizung mit 35 °C Vorlauftemperatur erfüllt.

Bei der Brauchwassererwärmung erreicht eine Wärmepumpe nur eine geringe Leistungszahl, da bei der Wärmeabgabe ein höheres Temperaturniveau von $45\text{..}60\text{ °C}$ benötigt wird.

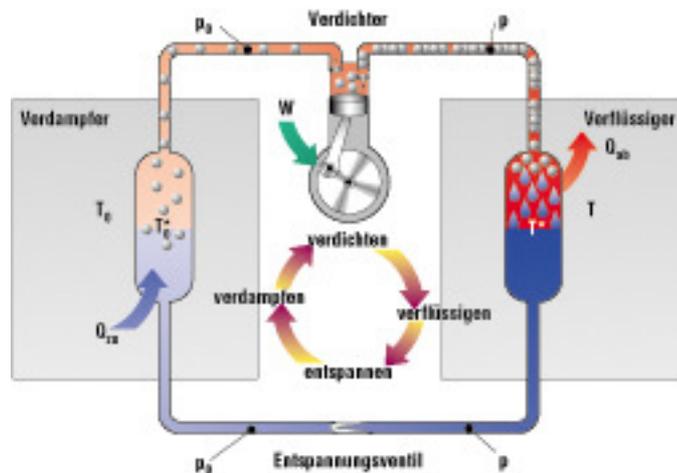


Abbildung 5-1 Prinzip Wärmepumpe (Quelle: <http://www.waermepumpe-bwp.de>)

Bei der Kalten Nahwärme wird Heizwasser auf einem niedrigen Temperaturniveau (z.B. Grundwasser mit ca. 10°C) durch ein Rohrnetz zu den Gebäuden geführt. Mit Wärmepumpen in den einzelnen Gebäuden erfolgt die Wärmeversorgung. Der Vorteil der „Kalten Nahwärme“ liegt darin, dass die Leitungen des Kalten Nahwärmenetzes ungedämmt verlegt werden können. Das Erdreich weist ungefähr das gleiche Temperaturniveau auf wie die Wärmequelle und somit treten keine Nahwärmeverluste auf. Durch die fehlende Dämmung ergeben sich geringere Investitionskosten für das Netz als bei einem herkömmlichen Nahwärmenetz. Mit „Kalter Nahwärme“ wird z. B. das Neubaugebiet „Stiegelpotte“ in Spenge (Nordrhein-Westfalen) oder auch die Solarsiedlung am „Ohrberg“ (Niedersachsen) versorgt. Als Wärmequelle dient dort die Abwärme aus dem Industriegebiet mit einer Temperatur von ca. 20°C. Dezentrale Wärmepumpen in den Wohnhäusern versorgen die Heizsysteme auf einem Temperaturniveau von 30..55°C mit Wärme.

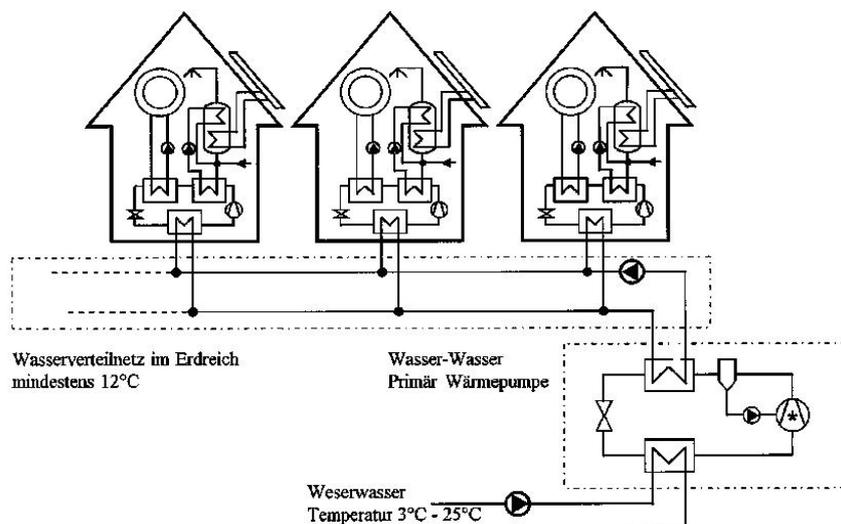


Abbildung 5-2 Systemskizze der „Kalten Nahwärme“ in Ohrberg

5.2 Wärmequellen

Oberflächenwasser als Wärmequelle

Bei Oberflächengewässern wie dem Rhein treten stark schwankende Temperaturen im Jahresverlauf auf, wodurch im Winter wesentlich höhere Volumenströme benötigt werden, um die gleiche Wärmeleistung zu erzielen wie bei Grundwasser.

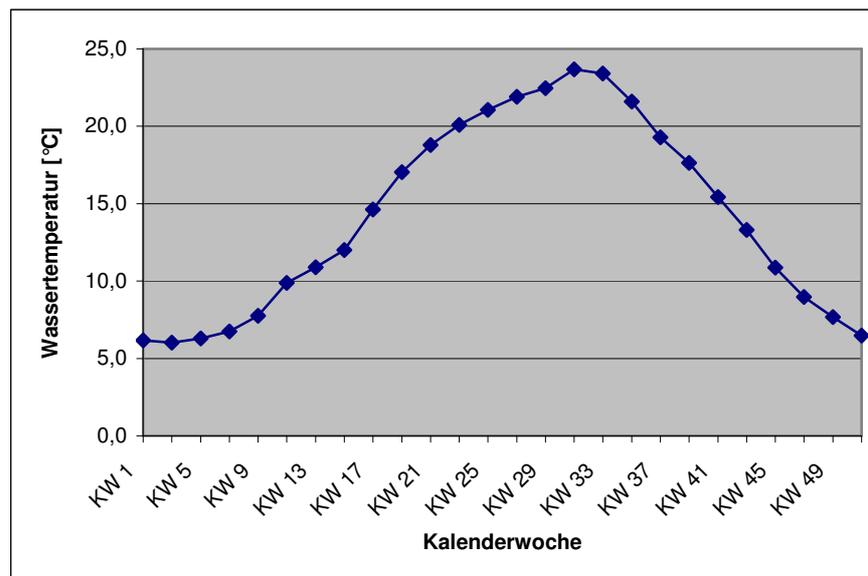


Abbildung 5-3 Jahresgang der Wassertemperatur des Rheins (Mittelwert 1989-2003)
(Quelle <http://had.bafg.de/iksr-zt>)

Für den Betrieb der Wärmepumpen wird eine Mindesttemperaturdifferenz der Wärmequelle von 5..7 K benötigt, um das Betriebsmittel zu verdampfen. Die niedrigste gemessene Temperatur des Rheinwasser seit 1989 liegt jedoch nur bei 3°C und so kann dem Wasser nicht mehr die benötigte Wärmemenge entzogen werden, ohne dass das Wasser in den Leitungen gefriert und die Wärmeversorgung zum Stillstand kommt. Damit das Rheinwasser dennoch als einzige Wärmequelle dienen und auf den bivalent-alternativen Betrieb, bei dem neben den Wärmepumpen auch Brennwertgeräte in den Häusern installiert sind, verzichtet werden kann, muss ein Hilfskreislauf zwischengeschaltet werden. Dabei handelt es sich um mit Sole gefüllte Edelstahl- bzw. Cortinstahlrohre, die ins Wasser entlang der Kaimauer eingebracht werden.

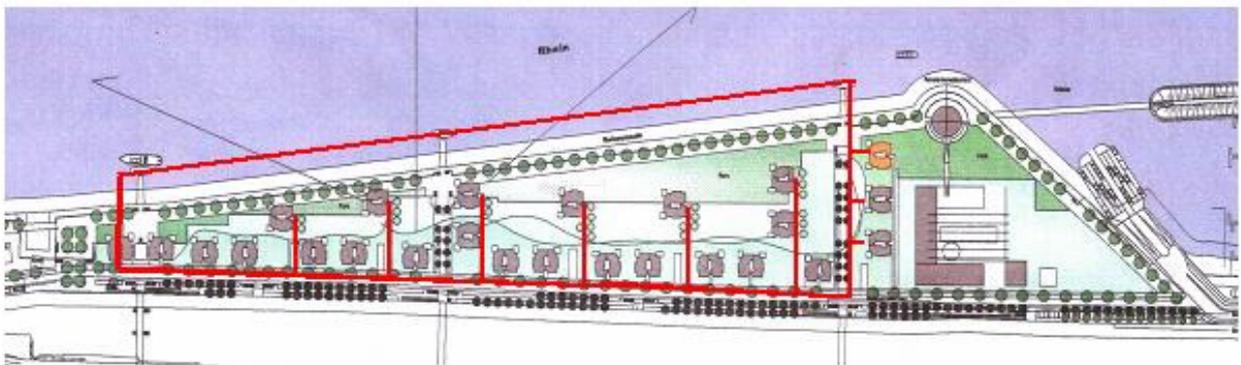


Abbildung 5-4 Lageplan mit Wärmetauscher im Rhein und Kaltem Nahwärmenetz

Grundwasser als Wärmequelle

Grundwasser stellt mit einer gleichmäßigen Temperatur, die im Lauf eines Jahres nur zwischen 8..12°C schwankt, die günstigste Wärmequelle für eine Wärmepumpe dar. Das Wasser wird durch einen Förderbrunnen gewonnen und durch einen in ca. 10..15 m Abstand liegenden Schluckbrunnen wieder in den Untergrund eingebracht.

Der Grundwasserspiegel im Hafengebiet Bingen korrespondiert mit dem Wasserspiegel im Rhein. Der Mittelwasserstand des Rheins ist mit ca. 78 m ü.NN anzusetzen. Der Grundwasserstand ist also entsprechend am häufigsten bei ca. 78 bis 79 m ü.NN zu finden. Bei ca. 76 m ü. NN trifft man eventuell auf einen Tonschieferhorizont, der als weitgehend undurchlässig anzusehen ist (Auskunft von Herrn Herzner, Binger Stadtwerke). Sinkt der Wasserstand des Rheins unter den Tonschieferhorizont, so kann nicht vorausgesagt werden, ob noch ausreichend Grundwasser, das vom Rochusberg Richtung Rhein fließt, für die Wärmeversorgung zur Verfügung steht.

Durch einen Pumpversuch muss also abgesichert werden, ob der Tonschieferhorizont an dieser Stelle in der Höhe vorhanden ist bzw. ob bei Absinken des Wasserstandes des Rheins unter den Tonschieferhorizont ausreichend Grundwasser aus Richtung Rochusberg nachfließt, um die Wärmeversorgung abzusichern. Falls der Tonschieferhorizont eine Mächtigkeit von 5 m nicht überschreitet, kann auch Grundwasser unterhalb des Tonschieferhorizonts entnommen werden, worüber auch nur eine Probebohrung Aufschluss geben kann.

Falls ein Pumpversuch ergibt, dass das Grundwasser nur eine unzureichende Versorgungssicherheit garantiert, könnte anstatt des Grundwassers Erdreich mittels Erdsonden als Wärmequelle nutzbar gemacht werden.

Wird Grundwasser als Wärmequelle realisiert, so muss eine Genehmigung für die Grundwassernutzung eingeholt werden.

Brunnenbohrungen werden an drei Stellen des Hafengebietes vorgeschlagen. Dabei kann der Brunnen im Osten des Gebietes, bei den Häusern, die bereits zur Landesgartenschau errichtet werden als Probebohrung dienen.

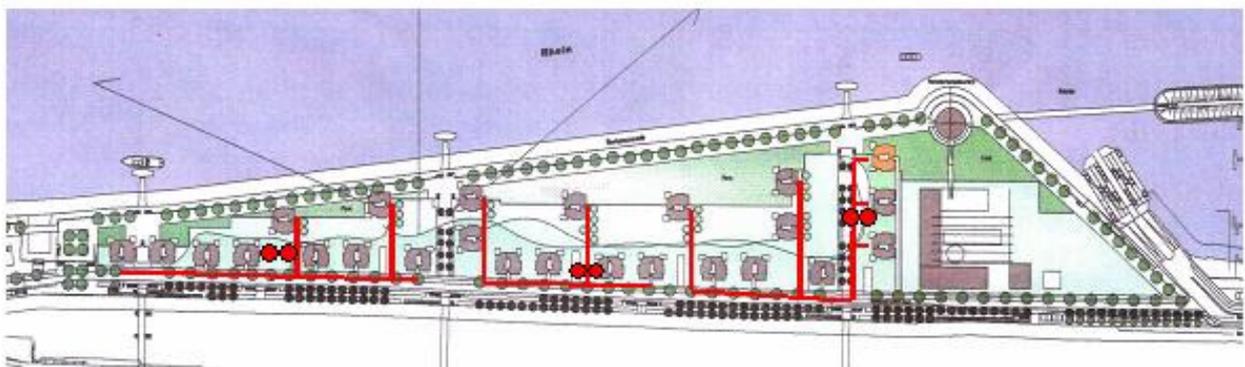


Abbildung 5-5 Lageplan mit Brunnen und Kalten Nahwärmenetzen

5.3 Wärmebedarf

Den folgenden Berechnungen wurde ein möglicher Verlauf der Nahwärmeleitungen zu Grunde gelegt, der in den Abbildungen 5-3 und 5-5 eingezeichnet ist. Bei der Umsetzung des Projektes muss eine detaillierte Planung der Rohrleitungsführung stattfinden.

Für die Variante 3 bis 6 ergibt sich folgender Wärmebedarf und folgende Wärmeleistung:

	Wärmebedarf kWh _{th} /a	Wärmeleistung kW _{th}
25 Stadtvillen	1.575.000	875

Tabelle 5-1 Wärmebedarf Kalte Nahwärme

Zur Abdeckung des Wärmebedarfs der Varianten 3 und 4 wird pro Haus eine Elektro-Wärmepumpen mit 35 kW_{th} betrachtet, während es sich bei den Varianten 5 und 6 um Erdgas-Wärmepumpen handelt.

Als Wärmequelle für die Wärmepumpen dient in Variante 3 und 5 der Rhein, während für die Varianten 4 und 6 von je drei erfolgreichen Brunnenbohrungen ausgegangen wird, die ausreichend Wasser zur Verfügung stellen.

5.4 Energiebilanz

Die Energiebilanz der kalten Nahwärmeversorgungsvarianten ist in der folgenden Tabelle aufgeführt.

Bei einem Mehrfamilienhaus der vorliegenden Größe muss das Trinkwasser die ganze Zeit auf 60 °C gehalten werden und einmal täglich auf über 60 °C erwärmt werden, damit Legionellenbildung vermieden wird (DVGW Arbeitsblatt W 551). Damit die Wärmepumpe dennoch gute Arbeitszahlen erreicht, wird hier von einem 2-Speicher-System ausgegangen. Die Brauchwassererwärmung kann durch eine Solaranlage unterstützt werden.

		Variante 3	Variante 4	Variante 5	Variante 6
		Elektro-WP Rheinwasser	Elektro-WP Grundwasser	Erdgas-WP Rheinwasser	Erdgas-WP Grundwasser
Wärmebedarf BWW (60 °C)	kWh _{th} /a	273.750	273.750	273.750	273.750
Wärmebedarf Heizung (35 °C)	kWh _{th} /a	1.301.250	1.301.250	1.301.250	1.301.250
Gesamtwärmebedarf	kWh _{th} /a	1.575.000	1.575.000	1.575.000	1.575.000
Wärmeleistung	kW _{th}	875	875	875	875
Nennleistung Wärmepumpen	kW _{th}	(25*35) 875	(25*35) 875	(25*35) 875	(25*35) 875
JAZ im Heizungsbetrieb		6,34	5,92	2,20	2,00
JAZ im BWW-Betrieb		3,62	3,26	1,55	1,50
Antriebsenergie Elektro-WP	kWh _{el} /a	281.000	304.000		
Brennstoffbedarf Erdgas-WP	kWh _{H_u} /a			768.100	833.100
Brennstoffbedarf Erdgas-WP	kWh _{H_o} /a			845.000	916.000

Tabelle 5-2 Energiebilanz Kalte Nahwärme

Die Jahresarbeitszahl einer Wärmepumpe kennzeichnet das Verhältnis der benötigten Heizwärme pro Jahr zur zugeführten Antriebsenergie. Eine Jahresarbeitszahl von 5,9 bedeutet beispielsweise, dass innerhalb eines Jahres aus einer Einheit Antriebsenergie und 4,9 Einheiten kostenloser Umweltenergie 5,9 Einheiten Heizwärme bereitgestellt werden.

Die Jahresarbeitszahlen für die Brauchwassererwärmung sind niedriger als die Jahresarbeitszahlen für die Erwärmung des Heizungswassers, da für die Brauchwassererwärmung ein höheres Temperaturniveau benötigt wird wie für die Heizung.

Für die Erdgas-Wärmepumpen ist die Jahresarbeitszahl sehr niedrig, da es sich dabei um eine Absorptionswärmepumpe handelt (Fa. Robur, GAHP-W). Das Gerät ist das einzige auf dem Markt verfügbare Gerät, das sich für die Anwendung eignet. Absorptionswärmepumpen arbeiten mit niedrigeren Arbeitszahlen als Kompressionswärmepumpen, da sich anstelle des Kompressors ein Lösungsmittelkreislauf befindet. Das gasförmige Kältemittel wird unter Wärmeabgabe in einem Absorber von dem Lösungsmittel aufgenommen und anschließend in einem Austreiber unter Wärmezufuhr wieder von dem Lösungsmittel getrennt. Danach gelangt das Kältemittel wie üblich zum Kondensator. Es bleibt zu prüfen, ob sich die Wärmepumpe von Robur für die gleichzeitige Heizungs- und Trinkwassererwärmung eignet.

5.5 Kohlendioxid-Emissionsbilanz

Eine ökologische Bewertung der zentralen Wärmeversorgung erfolgt mithilfe einer Kohlendioxid-Emissionsbilanz. Dazu wird aus der eingesetzten Brennstoffmenge bzw. der benötigten elektrischen Energie mit der spezifischen CO₂-Äquivalent-Emission nach GEMIS der jährliche Kohlendioxid-Ausstoß berechnet.

Die spezifische CO₂-Emission von Erdgas beträgt 253,6 g CO₂/kWh_{Hu} und die spezifische CO₂-Emission von Strom beträgt 641,3 g CO₂-kWh_{el}.

		Variante 3	Variante 4	Variante 5	Variante 6
		Elektro-WP	Elektro-WP	Erdgas-WP	Erdgas-WP
		Rheinwasser	Grundwasser	Rheinwasser	Grundwasser
Antriebsenergie Elektro-WP	kWh _{el} /a	281.000	304.000		
Brennstoffbedarf Erdgas-WP	kWh _{Hu} /a			768.100	833.100
Hilfsenergiebedarf Strom	kWh _{el} /a	31.500	31.500	31.500	31.500
spez. CO ₂ -Emission Strom	g CO ₂ /kWh _{Hu}	641,3	641,3	641,3	641,3
spez. CO ₂ -Emission Erdgas	g CO ₂ /kWh _{Hu}	253,6	253,6	253,6	253,6
CO₂-Emission	t CO₂/a	201	215	215	232

Tabelle 5-3 Kohlendioxid-Emissionsbilanz Kalte Nahwärme

5.6 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

In der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden die Jahreskosten und die Wärmepreise der beiden Anlagenvarianten anhand von Kapital-, Verbrauchs- und Betriebskosten in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 2067 berechnet. Der Wärmepreis gibt das Verhältnis der Jahreskosten in Bezug auf den Jahreswärmebedarf wieder.

Es besteht die Möglichkeit, einen zinsgünstigen Kredit bei der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) nach dem KfW-Infrastrukturprogramm Sonderfonds „Wachstumsimpulse“ für die Realisierung des Kalten Nahwärmeverbunds zu beantragen. Ein nominaler Zinssatz beträgt 4 %, der für die ersten zehn Jahre fest ist. Danach werden neue Konditionen vereinbart. Die Laufzeit beträgt maximal 20 Jahre mit maximal drei tilgungsfreien Anlaufjahren.

Rahmenbedingungen

Bestimmung kapitalgebundene Kosten:

Zinssatz 4 % (KfW-Infrastrukturprogramm)

	Abschreibungsdauer Jahre
Elektro-Wärmepumpe	20
Erdgas-Wärmepumpe	15
Speicher	40
Wärmetauscher	12
Brunnen	50
Nahwärmenetz	40
Baukostenzuschuss Erdgas	40
Montage	15
Planung, Unvorhergesehenes	15

Abbildung 5-6 Abschreibungsdauer nach VDI 2067

Bestimmung verbrauchsgebundene Kosten:

Arbeitspreis Erdgas (RWE Januar 2006)	5,39 Ct/kWh _{H₀} (ohne MwSt.)
Grundpreis Erdgas (RWE Januar 2006)	36 €/a (ohne MwSt.)
Arbeitspreis Strom (RWE Januar 2006)	14,81 Ct/kWh _{el} (ohne MwSt.)
Arbeitspreis WP-Strom (RWE Januar 2006)	10,41 Ct/kWh _{el} (ohne MwSt.)

Bestimmung betriebsgebundene Kosten:

	Wartung / Instandhaltung % der Investition
Elektro-Wärmepumpe	4
Erdgas-Wärmepumpe	4,5
Durchlauferhitzer	1
Speicher	1
Brunnen	0,5
Wärmetauscher	2
Nahwärmenetz	1

Tabelle 5-4 Wartung / Instandhaltung nach VDI 2067

Personalkosten 30 €/h (ohne MwSt.)

Investition der Heizzentralen:

		Variante 3 Elektro-WP Rheinwasser	Variante 4 Elektro-WP Grundwasser	Variante 5 Erdgas-WP Rheinwasser	Variante 6 Erdgas-WP Grundwasser
Heizleistung Wärmepumpen	kW _{th}	(25*35) 875	(25*35) 875	(25*35) 875	(25*35) 875
Maschinentechnik:					
Wärmepumpen und Speicher	€	772.000	772.000	794.400	794.400
Versorgungsnetze					
Nahwärmenetz	€	127.300	188.500	127.300	188.500
Bautechnik					
Brunnen	€		243.600		243.600
Wärmetauscher	€	974.400		974.400	
Baukostenzuschuss Erdgas	€			58.000	58.000
Planung, Unvorhergesehenes					
Planung, Unvorhergesehenes (15 %)	€	281.100	180.600	293.100	192.700
Gesamtinvestition	€	2.154.800	1.384.700	2.247.200	1.477.200
Förderung (durch RWE)	€	12.500	12.500	12.500	12.500
Gesamtinvestition inkl. Förderung	€	2.142.300	1.372.200	2.234.700	1.464.700

Tabelle 5-5 Investitionen Kalte Nahwärme

Die folgende Tabelle stellt die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für die kalten Nahwärmeversorgungsvarianten dar.

		Variante 3 Elektro-WP Rheinwasser	Variante 4 Elektro-WP Grundwasser	Variante 5 Erdgas-WP Rheinwasser	Variante 6 Erdgas-WP Grundwasser
Wärmeleistung WP	kW _{th}	(25*35) 875	(25*35) 875	(25*35) 875	(25*35) 875
Investition	€	2.154.800	1.384.700	2.247.200	1.477.200
Investition inkl. Förderung	€	2.142.300	1.372.200	2.234.700	1.464.700
Kapitalkosten	€/a	190.680	92.250	206.190	107.770
Kapitalkosten inkl. Förderung	€/a	189.610	91.180	204.880	106.460
Verbrauchskosten	€/a	39.350	42.130	59.300	63.730
Betriebskosten	€/a	62.690	48.670	83.980	69.980
Jahreskosten.	€/a	292.720	183.050	349.470	241.480
Jahreskosten inkl. Förderung	€/a	291.650	181.980	348.160	240.170
Jahreswärmebedarf	kWh _{th} /a	1.575.000	1.575.000	1.575.000	1.575.000
Wärmepreis.	Ct/kWh _{th}	18,6	11,6	22,2	15,3
Wärmepreis inkl. Förderung	Ct/kWh _{th}	18,5	11,6	22,1	15,2

Tabelle 5-6 Wirtschaftlichkeit Kalte Nahwärme (inkl. MwSt.)

Die Wärmeversorgung mit der „Kalten Nahwärme“ mit Wärmepumpenn ist unwirtschaftlicher als die dezentrale Wärmeversorgung und die Wärmeversorgung mit einem Holz-Nahwärmenetz.

6 Vergleich dezentrale und zentrale Wärmeversorgung

Um die zentrale Wärmeversorgung mit Biomasse-Heizzentrale, die Kalten Nahwärmenetze mit Wärmepumpen und die Einzelversorgung vergleichen zu können, werden alle Varianten gegenübergestellt.

6.1 Vergleich der Kohlendioxid-Emissionen

Die folgende Tabelle fasst die Ergebnisse der dezentralen und zentralen Wärmeversorgungen zur Kohlendioxid-Emission zusammen.

		Basisvariante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Variante 6
		Erdgas dezentral	Holzpellets zentral	HHS zentral	Elektro-WP Rheinwasser	Elektro-WP Grundwasser	Erdgas-WP Rheinwasser	Erdgas-WP Grundwasser
Brennstoffbedarf Biomasse-Kessel	kWh _{Out} /a		1.428.000	1.428.000				
Brennstoffbedarf Erdgas	kWh _{HU} /a	1.712.000	256.800	256.800			768.100	833.100
Strombedarf	kWh _{el} /a				281.100	303.500		
Hilfsenergiebedarf Strom	kWh _{el} /a	15.750	31.080	31.080	31.500	31.500	31.500	31.500
spez. CO ₂ -Emission Holzackschnitzel	g CO ₂ /kWh _{Out}			33,8				
spez. CO ₂ -Emission Holzpellets	g CO ₂ /kWh _{Out}		33,7					
spez. CO ₂ -Emission Erdgas	g CO ₂ /kWh _{HU}	253,6	253,6	253,6			253,6	253,6
spez. CO ₂ -Emission Strom	g CO ₂ /kWh _{HU}	641,3	641,3	641,3	641,3	641,3	641,3	641,3
CO ₂ -Emission	t CO ₂ /a	444	142	142	201	215	215	232
Einsparung im Vergleich zur dezentralen Erdgasversorgung	%		68%	68%	55%	52%	52%	48%

Tabelle 6-1 Vergleich Kohlendioxid-Emissionen

Durch die erdgasbetriebenen Wärmepumpen werden ca. 50 % der CO₂-Emissionen eingespart, während durch die Wärmeversorgung mit einer Biomasse-Heizzentrale 68 % der CO₂-Emissionen eingespart werden, was im folgenden Diagramm noch einmal anschaulich dargestellt ist.

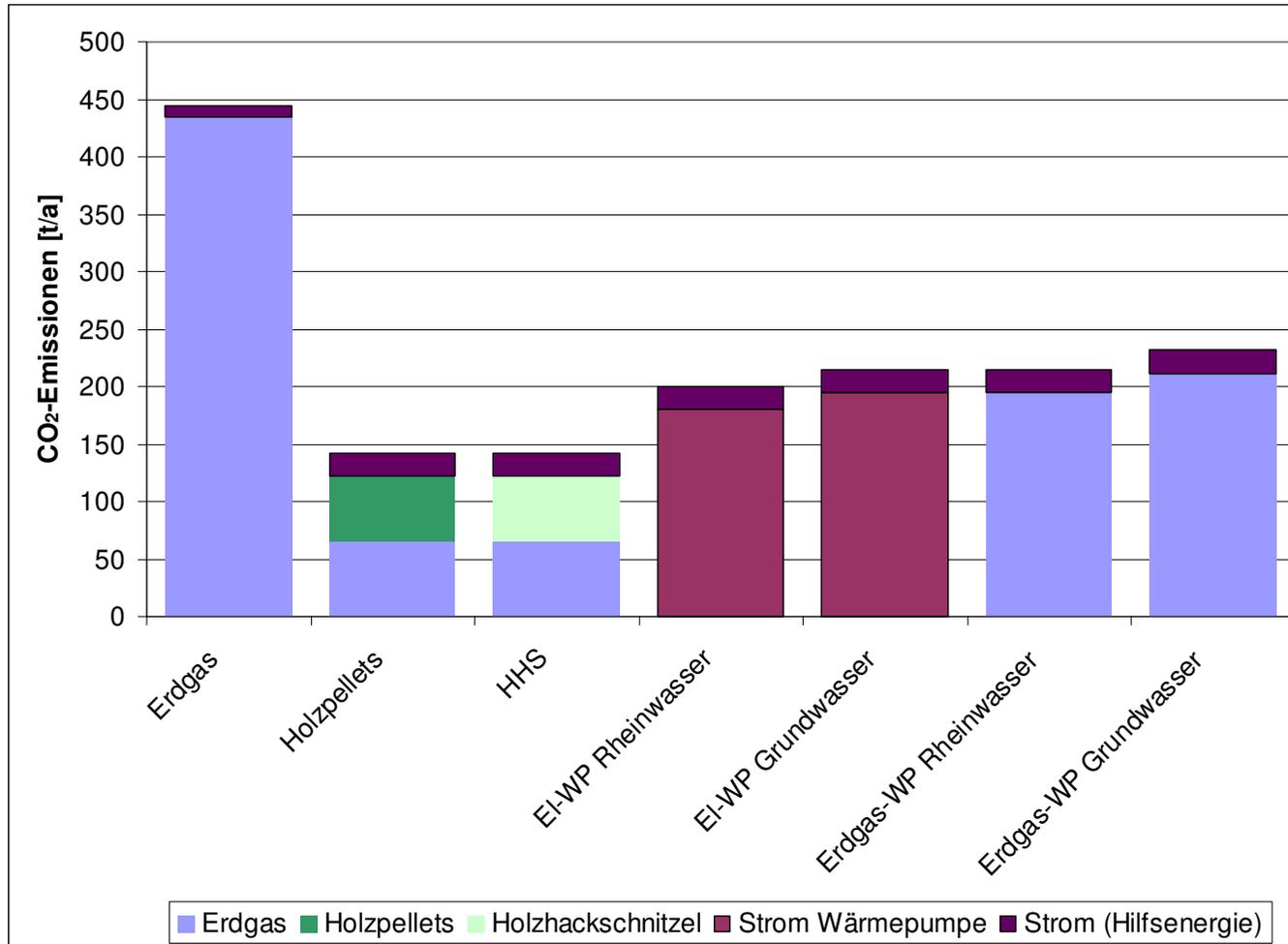


Tabelle 6-2 Vergleich Kohlendioxid-Emissionen

6.2 Vergleich Wirtschaftlichkeit

Die Daten zur Wirtschaftlichkeit der dezentralen und zentralen Wärmeversorgung sind im Folgenden einer Tabelle aufgeführt:

		Basisvariante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Variante 6
		Erdgas dezentral	Holzpellets zentral	HHS zentral	Elektro-WP Rheinwasser	Elektro-WP Grundwasser	Erdgas-WP Rheinwasser	Erdgas-WP Grundwasser
Investition	€	301.500	922.300	960.300	2.154.800	1.384.700	2.247.200	1.477.200
inkl. Teilschulderlass	€		801.100	839.100	2.142.300	1.372.200	2.234.700	1.464.700
Kapitalkosten	€/a	27.910	56.770	59.330	190.680	92.250	206.190	107.770
inkl. Teilschulderlass	€/a		49.080	46.680	189.610	91.180	204.880	106.460
Verbrauchskosten	€/a	121.480	70.100	57.590	39.350	42.130	59.300	63.730
Betriebskosten	€/a	22.140	12.250	13.040	62.690	48.670	83.980	69.980
Jahreskosten	€/a	171.530	139.120	129.960	292.720	183.050	349.470	241.480
inkl. Teilschulderlass	€/a		131.430	117.310	291.650	181.980	348.160	240.170
Jahreswärmebedarf	kWh _{th} /a	1.575.000	1.575.000	1.575.000	1.575.000	1.575.000	1.575.000	1.575.000
Wärmepreis	Ct/kWh_{th}	10,9	8,8	8,3	18,6	11,6	22,2	15,3
inkl. Teilschulderlass	Ct/kWh_{th}		8,3	7,4	18,5	11,6	22,1	15,2

Tabelle 6-3 Vergleich Wirtschaftlichkeit

Der günstigste Preis von 7,4 Ct/kWh_{th} ergibt sich für das Nahwärmenetz mit Holzackschnitzeln als Brennstoff, gefolgt von dem Nahwärmenetz mit Holzpellets. Die kalten Nahwärmenetze sind mit Wärmepreisen von 11,6 bis 22,1 Ct/kWh_{th} am unwirtschaftlichsten.

Das folgende Diagramm stellt die Jahreskosten für die betrachteten Varianten dar, die sich aus den Kapital-, Verbrauchs- und Betriebskosten zusammensetzen.

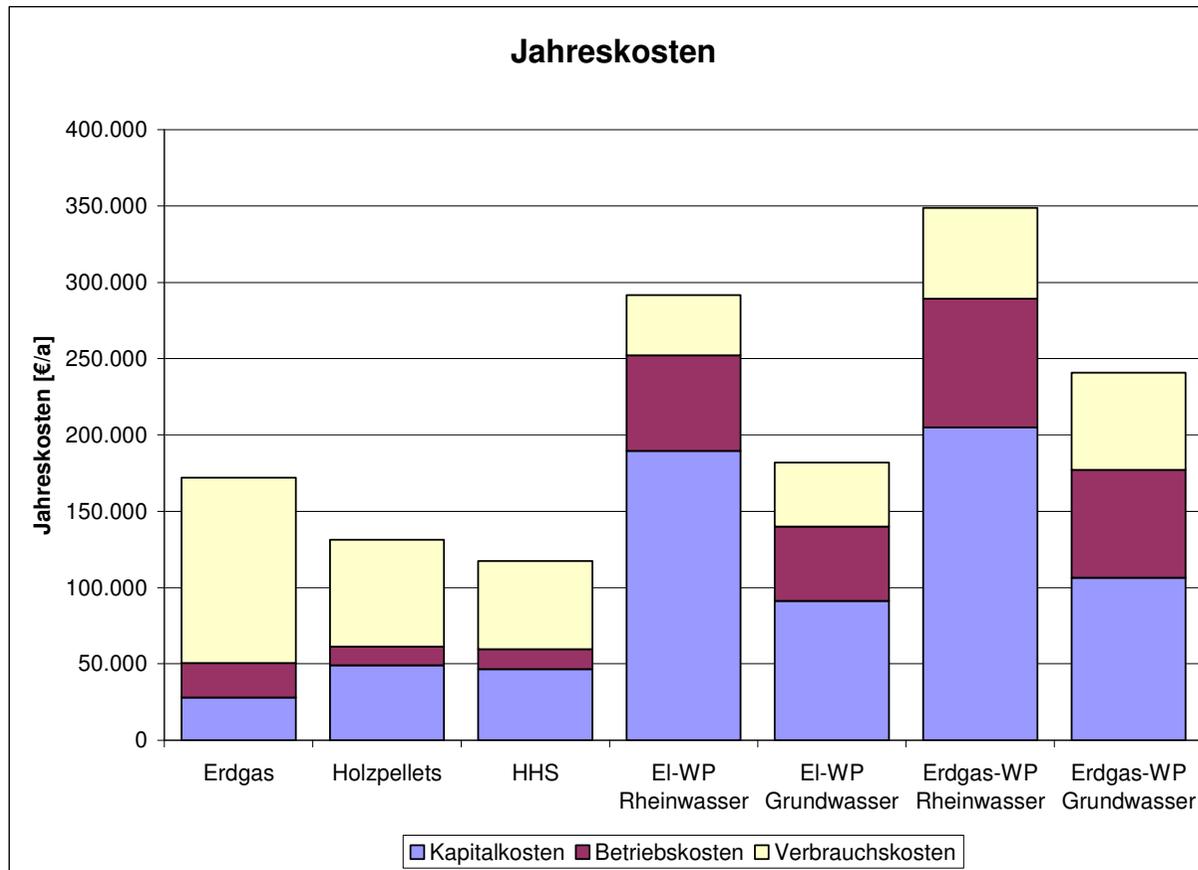


Abbildung 6-1 Vergleich Jahreskosten der Wärmeversorgungsvarianten

Die Abbildung verdeutlicht die Ergebnisse aus der Wirtschaftlichkeitsberechnung.

7 Sensitivitätsbetrachtung

Die Brennstoffpreise nehmen einen verhältnismäßig großen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit der verschiedenen Varianten. Um eine Einschätzung der Wirtschaftlichkeit auch für höhere bzw. niedrigere Brennstoffpreise als die in den Rahmenbedingungen zu Grunde gelegten Preise zu ermöglichen, wird eine Sensitivitätsbetrachtung hinsichtlich der Brennstoffpreise durchgeführt.

Variiert werden der Erdgas-, der Holzpellets-, der Holz hackschnitzel- und der Wärmepumpentarif ohne MwSt. in einer Spanne von -50 % bis +100 %. Daraus ergeben sich folgende Preise:

Änderung des Brennstoffpreises	Arbeitspreis Erdgas €/a	Erdgaspreis Ct/kWh _{H₀}	Holzpellet-Preis €/t	HHS-Preis €/t	Wärmepumpentarif Ct/kWh _{el}
-50 %	18,00	2,70	67,50	30,00	5,21
-40 %	21,60	3,23	81,00	36,00	6,25
-30 %	25,20	3,77	94,50	42,00	7,29
-20 %	28,80	4,31	108,00	48,00	8,33
-10 %	32,40	4,85	121,50	54,00	9,37
0 %	36,00	5,39	135,00	60,00	10,41
10 %	39,60	5,93	148,50	66,00	11,45
20 %	43,20	6,47	162,00	72,00	12,49
30 %	46,80	7,01	175,50	78,00	13,53
40 %	50,40	7,55	189,00	84,00	14,57
50 %	54,00	8,09	202,50	90,00	15,62
60 %	57,60	8,62	216,00	96,00	16,66
70 %	61,20	9,16	229,50	102,00	17,70
80 %	64,80	9,70	243,00	108,00	18,74
90 %	68,40	10,24	256,50	114,00	19,78
100 %	72,00	10,78	270,00	120,00	20,82

Tabelle 7-1 Variation der Brennstoffpreise

Die Ergebnisse der Sensitivitätsbetrachtung sind in Diagrammen dargestellt. Dazu ist der Wärmepreis jeder Variante für die entsprechende Änderung des Brennstoffpreises aufgetragen.

Das erste Diagramm bildet die Wärmepreise abhängig von einem variablen Erdgaspreis ab.

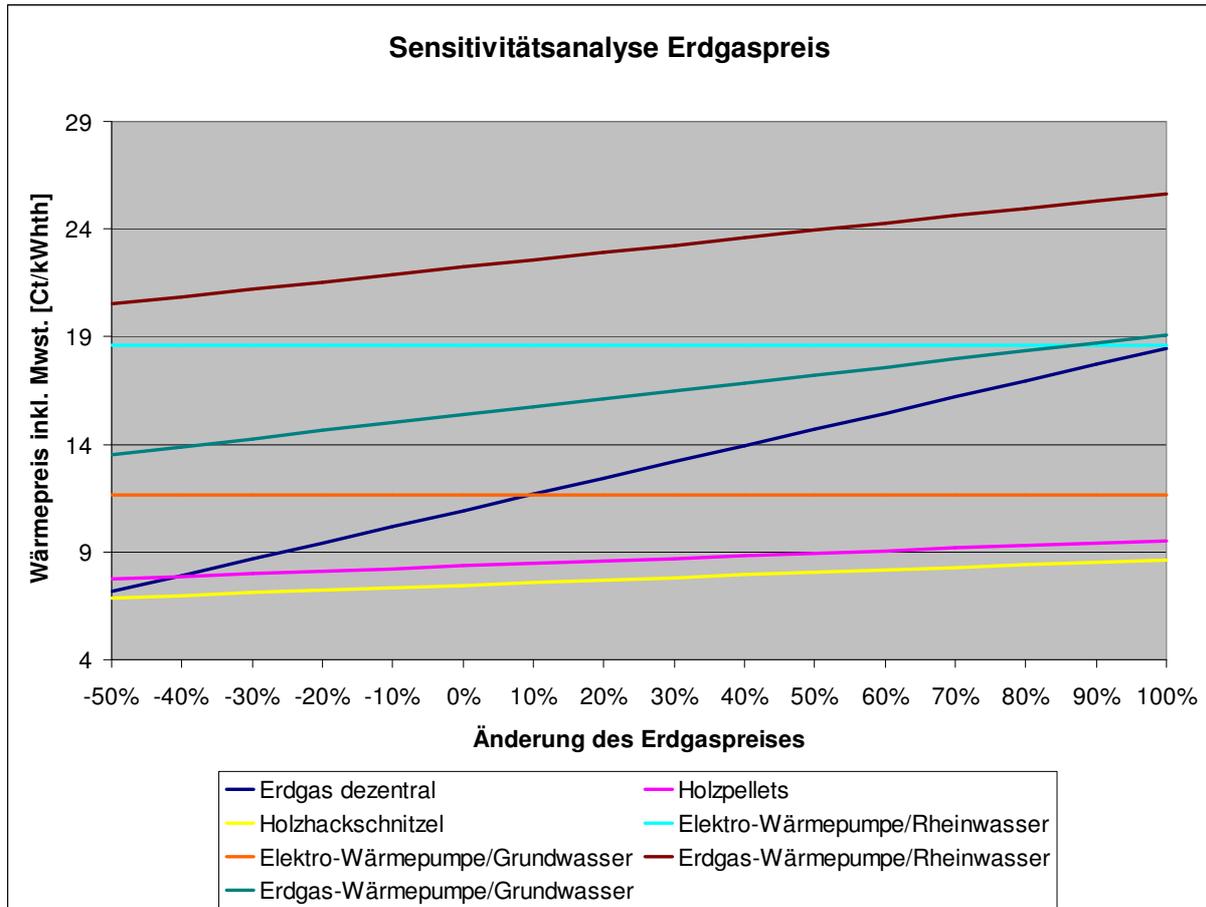


Abbildung 7-1 Wärmepreise abhängig vom Erdgaspreis

Die dezentrale Wärmeversorgung mit Gasbrennwertgeräten wird durch eine Änderung des Erdgaspreises am stärksten beeinflusst. Bei einer Steigerung des Erdgaspreises um 10 % wird die Basisvariante unwirtschaftlicher als das Kalte Nahwärmenetz mit Elektro-Wärmepumpen und Grundwasser als Wärmequelle. Auch bei einem starken Anstieg des Erdgaspreises erweist die dezentrale Wärmeversorgung günstiger als die anderen Kalten Nahwärmenetze.

Die Differenz zu den Biomasse-Nahwärmenetzen vergrößert sich mit steigendem Erdgaspreis.

Im Folgenden ist die Abhängigkeit der Wärmepreise von der Änderung des Biomassepreises dargestellt:

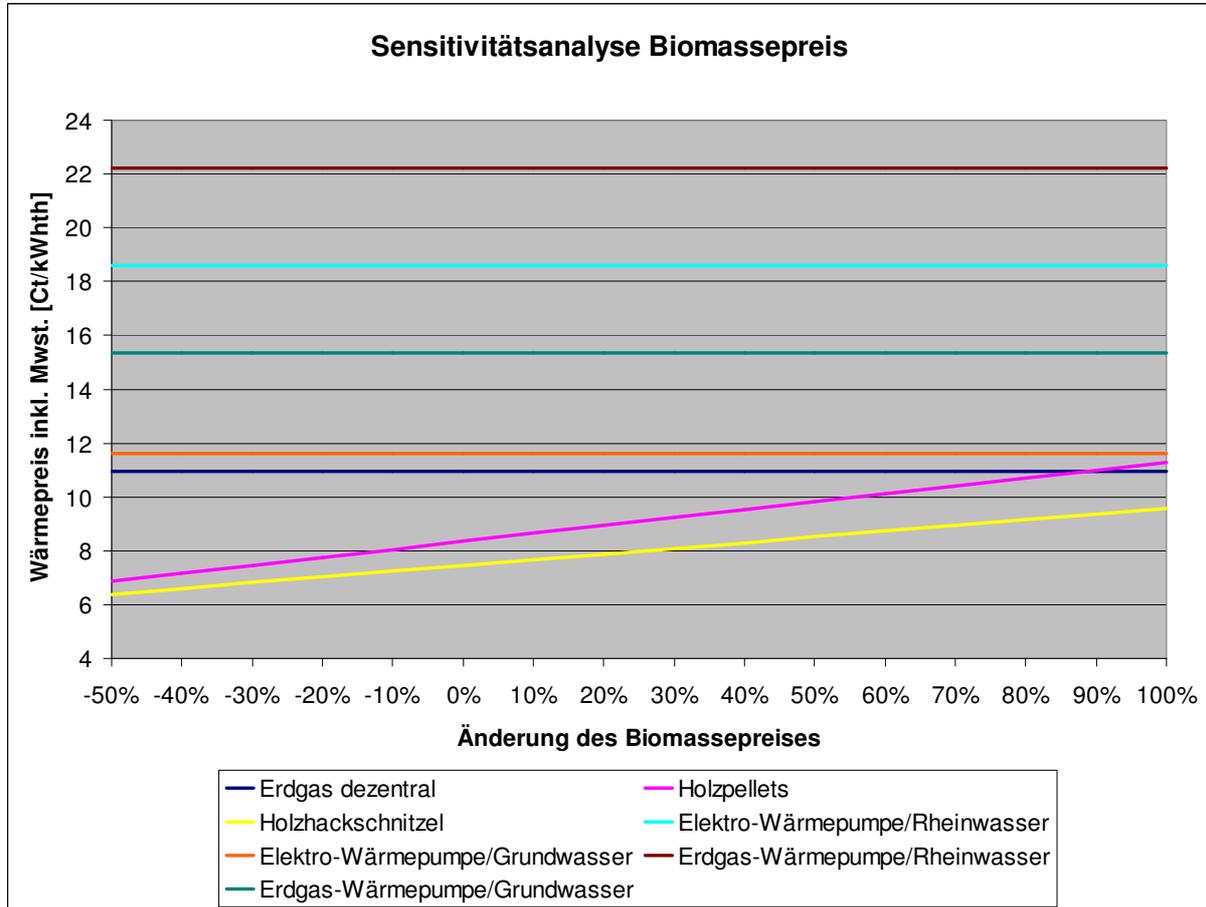


Abbildung 7-2 Wärmepreis abhängig vom Biomassepreis

Auch bei einem Anstieg um 90 % des Biomassepreises sind die Nahwärmenetze auf Basis von Holz noch günstiger als die anderen Varianten.

Das nächste Diagramm stellt den Wärmepreis abhängig vom Wärmepumpentarif dar:

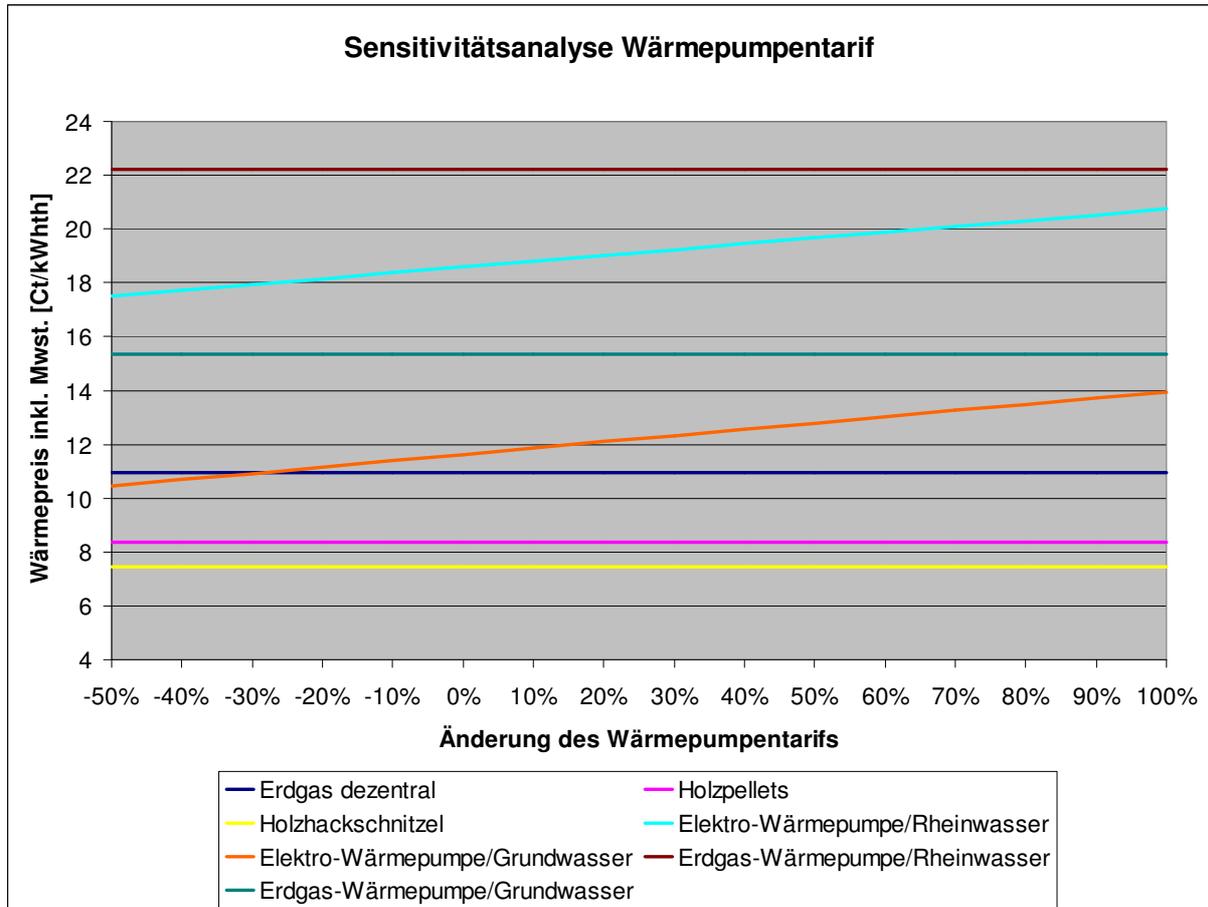


Abbildung 7-3 Wärmepreis abhängig vom Wärmepumpentarif

Steigt der Wärmepumpentarif an, so werden die Kalten Nahwärmenetze mit Elektro-Wärmepumpen im Vergleich zu den anderen Wärmepumpen unwirtschaftlicher.

8 Solarenergetische Nutzung

8.1 Flächenverfügbarkeit

Es besteht die Möglichkeit Solarkollektoren oder Photovoltaikmodule in der Südfassade zu integrieren oder eine Anlage auf dem Flachdach aufzuständern.

An der Fassade bieten sich zwei große zusammenhängende Flächen zur Installation von Kollektoren oder Modulen an: die Fläche 1 westlich des Erkers mit 2,80 m x 12,40 m und die Fläche 2 östlich des Erkers mit 3 m x 9 m. Insgesamt stehen an der Fassade also ca. 60 m² zur Verfügung.

Auf dem Flachdach des Gebäudes steht eine Fläche von ca. 52 m² zur Verfügung, die nicht als Dachterrasse genutzt wird. Damit bei einer Aufständering Verschattungen vermieden werden, muss zwischen den Reihen ausreichend Abstand eingehalten werden und so kann je nach Höhe der Module oder Kollektoren mit einer effektiven Absorberfläche von ca. 50 m² gerechnet werden.

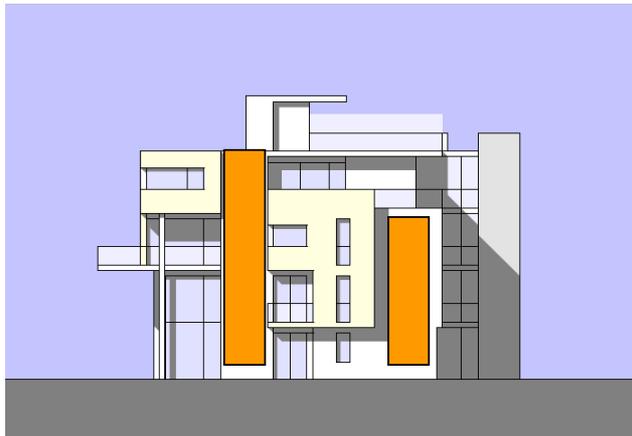


Abbildung 8-2 Südfassade einer Stadtvilla mit verfügbaren Flächen zur solarenergetischen Nutzung

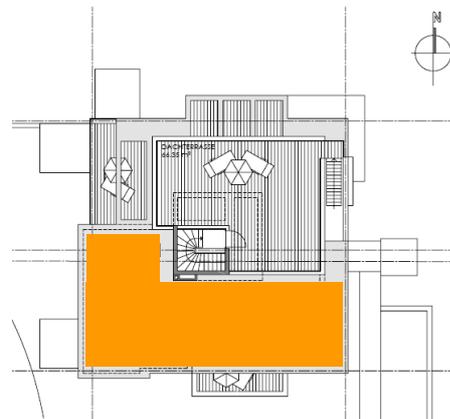


Abbildung 8-1 Dach einer Stadtvilla mit verfügbarer Fläche zur solarenergetischen Nutzung

8.2 Solarthermie

Um den Primärenergiebedarf des Hauses zu senken, wie es bei der Variation des Wärmebedarfs bereits dargestellt wurde, kann eine solarthermische Anlage installiert werden.

Je nach Größe der Anlage dient diese nur der Brauchwarmwassererwärmung (BWW) oder steht auch zur Unterstützung der Heizung zur Verfügung.

Mit dem Solarberechnungsprogramm GetSolar wurden mögliche Anlagen mit Speichern dimensioniert und deren Deckungsrate und Kollektorsertrag ermittelt. Anhand einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wurde der erzielte Wärmepreis überschlägig berechnet, wobei von einer Substitution der in Brennwertgeräten erzeugten Wärme ausgegangen wurde.

		BWW Flachdach	BWW Fassade	Heizung Flachdach	Heizung Fassade
Kollektorfläche	m ²	20	28	38	50
Speicher	l	1.200	1.200	2.600+1.200	2.600+1.200
Deckungsrate BWW	%	60,8	55,2	58,1	50,6
spez. Kollektor-Jahresertrag	kWh/m ²	352	226	294	197
Solarertrag	kWh/a	7.034	6.341	11.182	9.850
Investition	€	13.100	19.000	28.400	38.200
Förderung	€	2.100	2.940	5.130	6.750
Investition mit Förderung	€	11.000	16.100	23.300	31.500
Kapitalkosten	€/a	900	1.350	1.900	2.630
Kapitalkosten mit Förderung	€/a	750	1.140	1.510	2.130
Gutschrift eingespartes Erdgas	€/a	400	360	640	570
Jahresgesamtkosten.	€/a	610	1.150	1.510	2.390
Jahresgesamtkosten mit Förderung	€/a	460	940	1.120	1.890
Wärmepreis	Ct/kWh	8,7	18,1	13,5	24,3
Wärmepreis mit Förderung	Ct/kWh	6,5	14,8	10,0	19,2

Tabelle 8-1 Wirtschaftlichkeit solarthermische Anlage

Am günstigsten erweist sich die solarthermische Anlage zur Brauchwassererwärmung auf dem Dach des Gebäudes. Mit 6,5 Ct/kWh_{th} wird ein niedrigerer Wärmepreis erreicht als bei allen bisher betrachteten Varianten. Der Wärmepreis der heizungsunterstützenden Anlage auf dem Dach des Gebäudes liegt ebenfalls noch im Bereich der anderen Versorgungsvarianten. Doch der Wärmepreis der an den Fassaden integrierten Anlagen ist nahezu doppelt so hoch wie der Wärmepreis, den die auf dem Dach installierten Kollektoren liefern, da durch den Neigungswinkel von 90° ein wesentlich schlechterer Kollektorertrag erreicht wird. Die Fassadenanlagen können nicht mit den anderen Versorgungsvarianten konkurrieren.

8.3 Photovoltaik

Bei der Installation einer Photovoltaikanlage kann auf 10 m² ca. 1 kW_{Peak} Leistung installiert werden. Der Ertrag einer südausgerichteten Anlage beträgt rund 750..850 kWh_{el} je kW_{Peak}, in Süddeutschland können unter optimalen Bedingung über 900 kWh_{el} je kW_{Peak} geerntet werden.

An der Fassade des Gebäudes (Wandflächen) kann also eine Photovoltaikanlage mit einer Leistung von ca. 6 kW_{Peak} installiert werden. Da sich die Module jedoch in einem Neigungswinkel von 90° installiert sind, wird nur ca. 65 % des maximalen Ertrags erreicht. Mit der Fassadenanlage können also ca. 3.315 kWh_{el}/a erzeugt werden.

Eine weitere Möglichkeit für die Installation einer Photovoltaikanlage an die Südfassade des Gebäudes stellt die Integration photovoltaischer Zellen in die Glasflächen der Südfassade dar, die jedoch ein architektonisches Stilelement darstellt und hier nicht näher wirtschaftlich betrachtet wird.

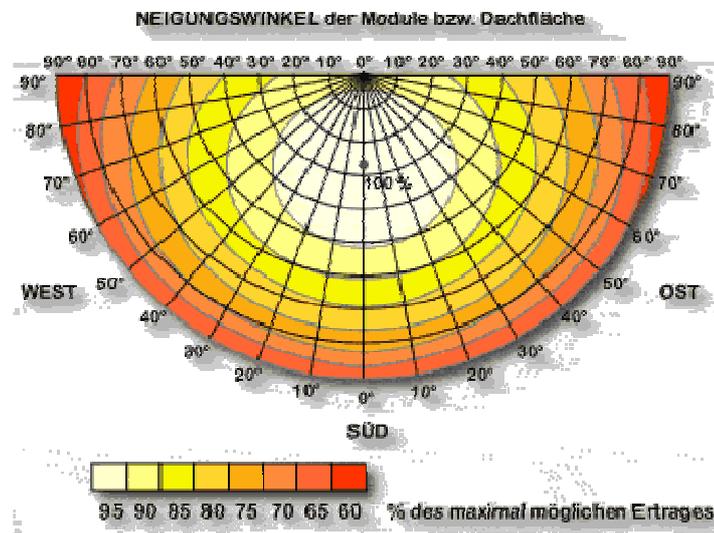


Abbildung 8-3 Anlagenertrag in Abhängigkeit von Ausrichtung und Aufstellwinkel des Solargenerators

(Quelle: CD Solarenergie)

Auf dem Dach einer Stadtvilla kann eine Anlage mit einer Leistung von ca. 5 kW_{Peak} realisiert werden, ohne dass Verschattungsprobleme auftreten. Damit kann in Bingen ein Jahresertrag von ca. 4.250 kWh_{el} erreicht werden.

Der erzeugte Strom der Anlagen wird nach dem Erneuerbaren-Energien-Gesetz (EEG) vergütet. Für die Gebäude, die bereits im Jahr 2007 errichtet werden, damit sie als Demonstrationsobjekte für die Landesgartenschau dienen, bedeutet das im ersten Jahr eine Einspeisevergütung von 49,21 Ct/kWh_{el} für die Anlage auf dem Dach und von 54,21 Ct/kWh_{el} für die Anlage an der Fassade. Für die Stadtvillen, die erst nach der Landesgartenschau errichtet werden, ergibt sich je nach dem Inbetriebnahmejahr der Photovoltaikanlage eine andere Einspeisevergütung. Für jedes Jahr später, in dem sie gebaut werden, ergibt sich eine Senkung der Einspeisevergütung von 5 %.

Bei einer wirtschaftlichen Betrachtung der Anlagen wird davon ausgegangen, dass die Finanzierung ohne Eigenmittel nur mit einem zinsgünstigen Darlehen der KfW durchgeführt wird und die Anlage im Jahr 2007 errichtet wird. Der Zinssatz beträgt 3,5..4,0 % und die Laufzeit des Darlehens 20 Jahre. Die Amortisation gestaltet sich also folgendermaßen:

		Fassadenanlage	Flachdachanlage
Leistung	kW _{Peak}	6	5
Ertrag	kWh _{el} /a	3.315	4.250
Investitionskosten	€	29.400	24.500
Einspeisevergütung	€/a	1.500	2.090
Amortisationsdauer	a	>20	20

Tabelle 8-2 Wirtschaftlichkeit Photovoltaikanlage

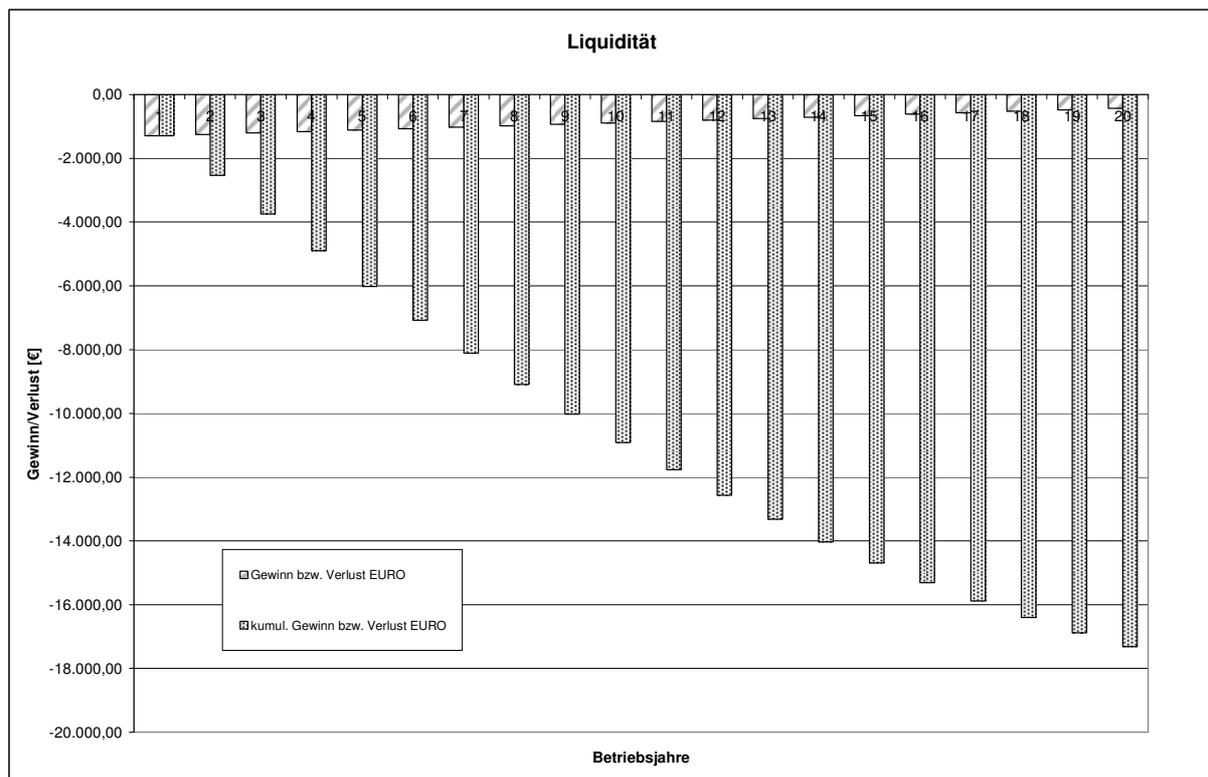


Abbildung 8-4 Liquidität Fassaden-Photovoltaikanlage

Die Anlage an der Südwand des Gebäudes wird sich auch nach 20 Jahren ohne Einsatz von Eigenkapital noch nicht amortisiert haben und die Fläche an der Fassade sollte aus wirtschaftlicher Sicht nicht mit Photovoltaikmodulen besetzt werden.

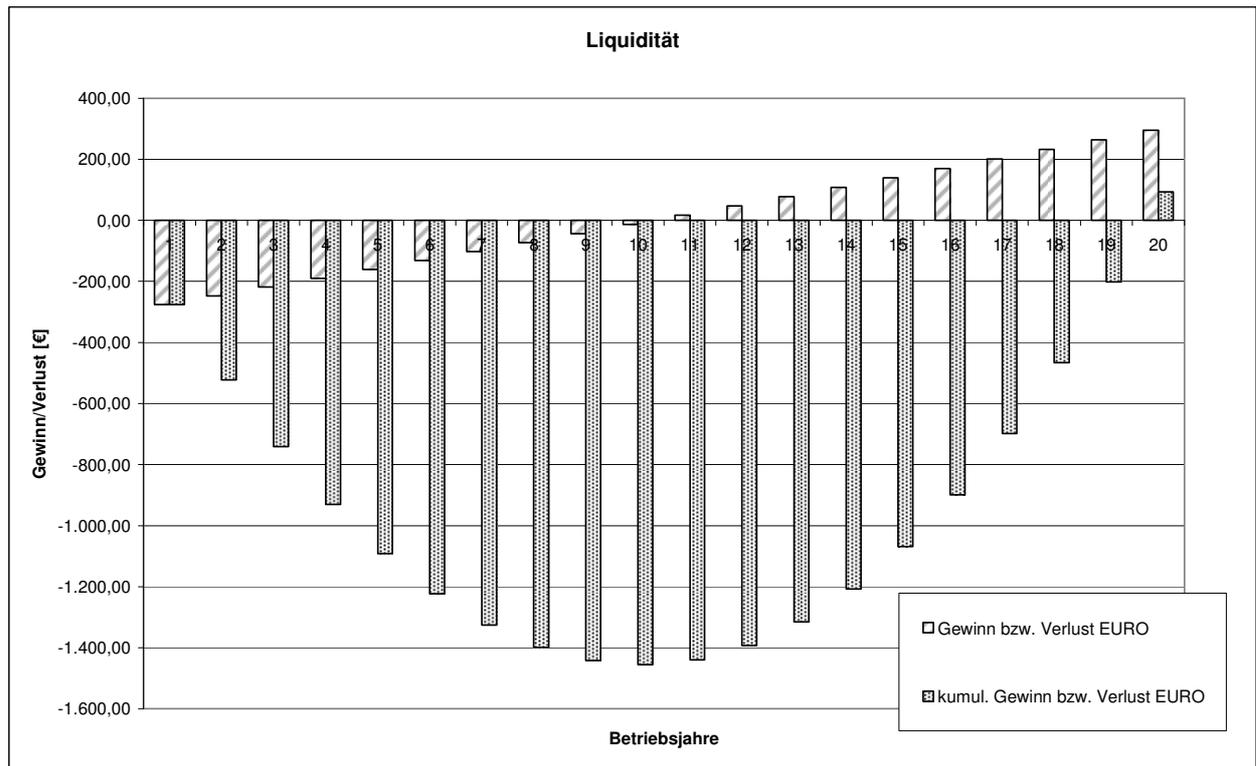


Abbildung 8-5 Liquidität Flachdach-Photovoltaikanlage

Eine Photovoltaikanlage auf dem Flachdach einer der Stadtvillen wirft nach 10 Jahren bereits den ersten Gewinn ab und hat sich nach 20 Jahren amortisiert.

9 Zusammenfassung

Die Machbarkeitsstudie zur Nahwärmeversorgung des Wohngebietes „Im Rheinpark“ in Bingen untersuchte im Vergleich zur Einzelversorgung mit Gasbrennwertgeräten eine zentrale Nahwärmeversorgung auf Basis von Holzpellets oder Holzhackschnitzeln als Brennstoff und Kalte Nahwärmenetze mit Elektro- oder Erdgaswärmepumpen und Rhein- oder Grundwasser als Wärmequelle.

Dabei wurde für den Wärmebedarf von 25 Stadtvillen mit je 6 Wohnungen in Niedrigenergiehausbauweise ausgegangen.

Anhand des festgelegten Wärmebedarfs wurde eine Energie- und Kohlendioxidemissionsbilanz aufgestellt. Zur Bewertung der Heizzentralen und der Kalten Nahwärmenetze im Vergleich zur Einzelversorgung wurden die Gebäude, für die eine gemeinsame Wärmeversorgung untersucht wurde, zu einer Basisvariante zusammengefasst.

Die Kohlendioxid-Emissionsbilanz ergab, dass durch die Wärmepumpen ca. 50 % der CO₂-Emissionen und durch die Holz-Nahwärmenetze ca. 70 % der CO₂-Emissionen eingespart werden.

Die Wirtschaftlichkeitsberechnung ermittelte die Jahreskosten aus den Kapital-, Verbrauchs- und Betriebskosten. Für alle Varianten wurden überschlägige Investitionskosten zu Grunde gelegt.

In der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung sind für die Wärmeversorgungsvarianten Wärmepreise angegeben, die sich aus den Jahreskosten bezogen auf den Wärmebedarf berechnen.

Die Nahwärmenetze auf Basis von Biomasse erweisen sich mit Wärmepreisen von 7,4 Ct/kWh_{th} mit Holzhackschnitzeln und 8,3 Ct/kWh_{th} mit Holzpellets am wirtschaftlichsten. Allerdings muss für diese beiden Varianten die komplette Investition bereits vorab erfolgen. Da zur Landesgartenschau nur 4 der geplanten Gebäude errichtet werden, können die Kosten erst sehr spät auf die Verbraucher umgelegt werden. Die Kalten Nahwärmenetze weisen mit 11,6 bis 22,1 Ct/kWh_{th} die höchsten Wärmepreise auf. Die dezentrale Versorgung mit Erdgasbrennwertgeräten erreicht einen Wärmepreis von 10,9 Ct/kWh_{th}.

Um den Einfluss der Veränderung der Brennstoffpreise auf die Wirtschaftlichkeit zu ermitteln, wurde eine Sensitivätsbetrachtung für Erdgas-, Biomassepreis und Wärmepumpentarif durchgeführt.

Bei einer Steigerung des Erdgaspreises um 10 % wird die Basisvariante unwirtschaftlicher als das Kalte Nahwärmenetz mit Elektro-Wärmepumpen und Grundwasser als Wärmequelle. Auch bei einem Anstieg um 90 % des Biomassepreises sind die Nahwärmenetze auf Basis von Holz noch günstiger als die anderen Varianten. Steigt der Wärmepumpentarif an, so werden die Kalten Nahwärmenetze mit Elektro-Wärmepumpen im Vergleich zu den anderen Wärmepumpen unwirtschaftlicher.

Nach der Untersuchung der Wirtschaftlichkeit einer solarthermischen oder einer Photovoltaikanlage auf den verfügbaren Fassaden- und Dachflächen erweist sich nur die Installation einer Anlage auf dem Dach als wirtschaftlich. Eine Photovoltaikanlage kann jedoch als architektonisches Stilelement ohne Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit am Aufzugschacht installiert werden.

Fazit:

Aus ökologischer Sicht stellen sich beide Nahwärmevarianten auf Basis der Holzbrennstoffe als auch die Kalten Nahwärmenetze sinnvoll dar.

Die wirtschaftlichsten Alternativen sind die Nahwärmenetze auf Basis von Biomasse insbesondere mit Holzhackschnitzeln als Brennstoff. Ein möglicher Betreiber der Anlage profitiert jedoch erst nach der Landesgartenschau von der Investition, wenn alle Gebäude errichtet sind. Am günstigsten erscheint deshalb die Umsetzung der dezentralen Wärmeversorgung mit Gasbrennwertgeräten in Kombination mit Solaranlagen.

10 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 4-1 Biomassekessel mit Schubbodenaustragung (Quelle: Fa. Schmid Ag, CH-Eschlikon).....	9
Abbildung 4-2 Gewebesilo Holzpellets (Quelle: Soltec)	10
Abbildung 4-3 Unterschubfeuerung und Rostfeuerung (Quelle: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.).....	11
Abbildung 4-4 Biomassekessel mit Unterschubfeuerung (Quelle: Fa. Schmid AG, CH-Eschlikon).....	12
Abbildung 4-5 Standort Heizzentrale	12
Abbildung 4-6 Lageplan mit Holz-Nahwärmenetz	13
Abbildung 5-1 Prinzip Wärmepumpe (Quelle: http://www.waermepumpe-bwp.de)	21
Abbildung 5-2 Systemskizze der „Kalten Nahwärme“ in Ohrberg	21
Abbildung 5-3 Jahresgang der Wassertemperatur des Rheins (Mittelwert 1989-2003) (Quelle http://had.bafg.de/iksr-zt)	22
Abbildung 5-4 Lageplan mit Wärmetauscher im Rhein und Kaltem Nahwärmenetz.....	22
Abbildung 5-5 Lageplan mit Brunnen und Kalten Nahwärmenetzen	23
Abbildung 5-6 Abschreibungsdauer nach VDI 2067	27
Abbildung 6-1 Vergleich Jahreskosten der Wärmeversorgungsvarianten	33
Abbildung 7-1 Wärmepreise abhängig vom Erdgaspreis	35
Abbildung 7-2 Wärmepreis abhängig vom Biomassepreis.....	36
Abbildung 7-3 Wärmepreis abhängig vom Wärmepumpetarif	37
Abbildung 8-1 Dach einer Stadtvilla mit verfügbarer Fläche zur solarenergetischen Nutzung. 38	
Abbildung 8-2 Südfassade einer Stadtvilla mit verfügbaren Flächen zur solarenergetischen Nutzung	38
Abbildung 8-3 Anlagenertrag in Abhängigkeit von Ausrichtung und Aufstellwinkel des Solargenerators	40
Abbildung 8-4 Liquidität Fassaden-Photovoltaikanlage	41
Abbildung 8-5 Liquidität Flachdach-Photovoltaikanlage.....	42

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1 Wärmebedarf einer Stadtvilla.....	4
Tabelle 2-3 Gesamtwärmebedarf Hafenkerngebiet	4
Tabelle 3-1 Energiebilanz Basisvariante.....	5
Tabelle 3-2 Kohlendioxid-Emissionsbilanz Basisvariante	5
Tabelle 3-3 Abschreibungsdauer nach VDI 2067.....	6
Tabelle 4-1 Wärmebedarf Holz-Nahwärme.....	13
Tabelle 4-2 Energiebilanz Holz-Nahwärmeversorgung.....	14
Tabelle 4-3 Kohlendioxid-Emissionsbilanz Holz-Nahwärmeversorgung.....	15
Tabelle 4-4 Abschreibungsdauer nach VDI 2067.....	16
Tabelle 4-5 Wartung / Instandhaltung nach VDI 2067	17
Tabelle 4-6 Investitionen Holz-Nahwärmeversorgung	18
Tabelle 4-7 Wirtschaftlichkeit Holz-Nahwärmeversorgung (inkl. MwSt.)	19
Tabelle 5-1 Wärmebedarf Kalte Nahwärme.....	24
Tabelle 5-2 Energiebilanz Kalte Nahwärme.....	25
Tabelle 5-3 Kohlendioxid-Emissionsbilanz Kalte Nahwärme	26
Tabelle 5-4 Wartung / Instandhaltung nach VDI 2067	28
Tabelle 5-5 Investitionen Kalte Nahwärme	28
Tabelle 5-6 Wirtschaftlichkeit Kalte Nahwärme (inkl. MwSt.)	29
Tabelle 6-1 Vergleich Kohlendioxid-Emissionen.....	30
Tabelle 6-2 Vergleich Kohlendioxid-Emissionen.....	31
Tabelle 6-3 Vergleich Wirtschaftlichkeit.....	32
Tabelle 7-1 Variation der Brennstoffpreise.....	34
Tabelle 8-1 Wirtschaftlichkeit solarthermische Anlage.....	39
Tabelle 8-2 Wirtschaftlichkeit Photovoltaikanlage.....	41