

Konzeptstudie zur energetisch effizienten Versorgung einer Kleinstadt

Wärmerversorgungsalternativen für die Stadt Wolfhagen unter besonderer
Berücksichtigung von Kraft-Wärme-Kopplung und Wärmepumpen

Bachelorthesis zur Erlangung des akademischen Grades
Bachelor of Sciences in Environmental Engineering

Name: Michel Völker

[REDACTED] [REDACTED]
[REDACTED] [REDACTED]
[REDACTED] [REDACTED]
[REDACTED] [REDACTED]
[REDACTED] [REDACTED]

Hochschule: HAW-Hamburg

Fakultät: Life Sciences

Department: Umwelttechnik

Betreuer: Prof. Dr. Heiner Kühle

Dipl.-Ing. Christina Sager

eingereicht am 25.Oktober 2012

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Bachelorthesis selbstständig und nur mit den angegebenen Hilfsmitteln verfasst habe. Alle Passagen, die ich wörtlich aus der Literatur oder aus anderen Quellen wie z.B. Internetseiten übernommen habe, habe ich deutlich als Zitat mit Angabe der Quelle kenntlich gemacht.

Hamburg, den 25. Oktober 2012

MICHEL VÖLKER

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	IV
Vorwort	VII
Abbildungsverzeichnis	VII
Tabellenverzeichnis	VIII
Abkürzungsverzeichnis	IX
Abstract	1
1 Einleitung	2
2 Rahmenbedingung und Vorgehen	4
2.1 Vorgehensweise	4
2.1.1 Förderung von Nahwärmenetzen durch die Kreditanstalt für Wiederaufbau	6
2.1.2 Förderung von KWK-Anlagen nach dem KWKG	7
2.1.3 Förderung von Wärmepumpen durch die Bafa	8
3 Analyse Ausgangslage	9
3.1 Die Stadt Wolfhagen	9
3.2 Bestimmung des Versorgungsbedarfes	9
3.2.1 Baualterklassen	11
3.2.2 Ermittlung der Gebäudetypen	13
3.2.3 Ermittlung und Charakteristik der in Wolfhagen vorkom- menden Siedlungstypen	15
3.2.4 Siedlungstypbezogene Wärmebedarfssituation	23
4 Entwicklung Energieversorgungskonzepte	26
4.1 Aufbau, Auslegung und Kosten Peripherie	26
4.1.1 Kosten Nahwärmenetz	27
4.1.2 spezifische Pumparbeit	29
4.1.3 Abschätzung der Wärmeverteilkosten	30
4.2 Konzeptionierung der Versorgungsanlagen	34
4.2.1 Investitionskosten Blockheizkraftwerk	34
4.2.2 Investitionskosten Wärmepumpe	36

4.3	Vergleich mit herkömmlicher Erzeugung	40
4.3.1	Ökonomischer Vergleich	40
4.3.2	Ökologischer Vergleich	48
5	Fazit und Ausblick	52
	Literaturverzeichnis	58

Vorwort

Ich bedanke mich bei Herrn Prof. Dr. Heiner Kühle für die Betreuung meiner Arbeit, das entgegengebrachte Vertrauen und die jederzeit gegebene Beistand durch Rat und Tat. Die gewährten Freiheiten ermöglichten ein selbstständiges und interessantes Arbeiten.

Gleichfalls möchte ich mich bei Frau Dipl. Ing. Chrsitina Sager bedanken, für die Möglichkeit meine Arbeit in diesem hochspannenden Thema schreiben zu können und den jederzeit anregenden, offenen und freundlichen Gedankenaustausch.

Mein besonderer Dank gilt meiner Familie, deren uneingeschränkter Unterstützung ich mir während meines gesamten Studiums sicher sein konnte.

Abbildungsverzeichnis

3.1	Verteilung der Gebäude nach unterschiedlichen Altersklassen . .	11
3.2	Verteilung der unterschiedlichen Gebäudetypen in Wolfhagen . .	14
3.3	Basisbausteine der Siedlungstypen	15
3.4	Beispiel für den Siedlungstyp 2 in Wolfhagen	17
3.5	Beispiel für den Siedlungstyp 4 in Wolfhagen	19
3.6	Beispiel für den Siedlungstyp 5a in Wolfhagen	20
3.7	Beispiel für den Siedlungstyp 9 in Wolfhagen	22
3.8	Durchschnittlichen Wärmebedarf je Gebäude	23
3.9	Wärmebedarfsdichten der Siedlungstypen	25
4.1	Abhängig der Baukosten vom Nenndurchmesser	28
4.2	Netzformen Wärmeverteilung	29
4.3	Spezifischer Richtpreis für Erdgas Kraft-Wärme-Kopplungs Anlagen	35
4.4	Spezifischer Richtpreis für Biogas Kraft-Wärme-Kopplungs Anlagen	35
4.5	Gerätekosten und Kosten für die Wärmequellenerschließung . .	37
4.6	Arbeitszahlen von Erdreich Wärmepumpen für verschiedene Zeitperioden	38
4.7	Arbeitszahlen von Erdreich Wärmepumpen für die Zeiträume Juli 2007 bis Juni 2010 sowie Juli 2009 bis Juni 2010	39
4.8	Arbeitszahlen von Luft-Wärmepumpen für verschiedene Zeitperioden	39
4.9	Arbeitszahlen von Luft Wärmepumpen für die Zeiträume Juli 2007 bis Juni 2010 sowie Juli 2009 bis Juni 2010	40
4.10	Vergleich der Versorgungskonzepte im ST2 ohne Förderung . .	42
4.11	Vergleich der Versorgungskonzepte im ST2 mit Förderung	43
4.12	Vergleich der Versorgungskonzepte im ST4 ohne Förderung . .	44
4.13	Vergleich der Versorgungskonzepte im ST4 mit Förderung	45
4.14	Vergleich der Versorgungskonzepte im ST5 ohne Förderung . .	46
4.15	Vergleich der Versorgungskonzepte im ST5 mit Förderung	47
4.16	Vergleich der Versorgungskonzepte im ST9 ohne Förderung . .	48
4.17	Vergleich der Versorgungskonzepte im ST9 mit Förderung	49
4.18	Ökologischer Vergleich der Versorgungsvarianten	51

Tabellenverzeichnis

2.1	Varianten der Wärmepumpen und Ölkessel	4
2.2	Varianten der KWK-Anlagen	5
2.3	Übersicht Förderstufen des MAP für Wärmepumpen	8
3.1	Beschreibung der Baualterklassen	12
3.2	Gebäudematrix für den Jahresheizwärmebedarf pro m^2 Nutzfläche in $[kWh/m^2]$	13
3.3	Erweiterte Siedlungstypen	16
3.4	Charakteristik Siedlungstyp 2	18
3.5	Charakteristik Siedlungstyp 4	19
3.6	Charakteristik Siedlungstyp 5a	21
3.7	Charakteristik Siedlungstyp 9	22
3.8	Siedlungstypbezogene Wärmebedarfssituation	24
4.1	Abschätzung der Wärmeverteilungskosten nach Siedlungstyp	31
4.2	Übersicht der Versorgungskosten im Siedlungstyp 2	42
4.3	Übersicht der Versorgungskosten im Siedlungstyp 4	45
4.4	Übersicht der Versorgungskosten im Siedlungstyp 5	47
4.5	Übersicht der Versorgungskosten im Siedlungstyp 9	49
4.6	spezifische Emissionsfaktoren verschiedener Brennstoffe	50

Abkürzungsverzeichnis

ALK	Automatisierte Liegenschaftskarte
ASUE	Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e. V.
Bafa	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
BHKW	Blockheizkraftwerk
COP	coefficient of performance
DN	Nennweite
EnEV	Energieeinsparverordnung
GEMIS	Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme
HKW	Heizkraftwerk
Hu	Unterer Heizwert
ISE	Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme
JAZ	Jahresarbeitszahl
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
KWKG	Kraft Wärme Kopplungs Gesetz
MAP	Marktanreizprogram
ST	Siedlungstypen
VDI	Verein Deutscher Ingenieure

Zusammenfassung

Die vorgelegte Arbeit hat zum Ziel für eine mittlere Kleinstadt das ökonomisch und ökologisch sinnvollste Wärmeversorgungssystem darzustellen. Im ersten Teil der Arbeit wird der Versorgungsaufgabe analysiert, dafür wird die Stadt in klassische Siedlungstypen eingeteilt.

Nachfolgend werden Parameter für die Wärmeversorgung mittels eines Wärmenetzes entwickelt. Es werden sowohl die Verlege- als auch die Betriebskosten für jeden der 9 Siedlungstypen ausgewiesen. Auf dieser Basis wurden 9 Anlagenkonzepte verschiedener Größe von Kraft-Wärme-Kopplung und Wärmepumpen, mit einem Referenzsystem auf Ölbrennerbasis verglichen. Die Anlagenkonzepte werden anschließend auf ökonomische und ökologische Gesichtspunkte untersucht.

Der Vergleich erlaubt eine Empfehlung über die optimalen Versorgungslösung für die verschiedenen Siedlungstypen.

1 Einleitung

Der wachsende Energiebedarf bei begrenzten natürlichen Ressourcen stellt die Menschheit vor die Herausforderung, Energie möglichst effizient und umweltfreundlich zu nutzen. Die rationelle Verwendung begrenzter Energieressourcen und die Minderung von Klima- und Umweltbelastungen mittels effizienter, sicherer und kostengünstiger Energiebereitstellung werden wesentliche Handlungsaspekte der kommenden Jahrzehnte darstellen.

In diesem Kontext hat ein Konsortium bestehend aus der Stadt Wolfhagen, den Stadtwerken Wolfhagen, dem Fraunhofer-Institut für Bauphysik, dem Zentrum für Umweltbewusstes Bauen e.V., dem deENet e.V. und dem ENERGIE 2000 e.V. das ehrgeizige und mehrfach prämierte Projekt „Wolfhagen 100% Erneuerbare Energie“ aufgelegt. Dieses Projekt hat zum Ziel, mögliche Entwicklungen für eine nachhaltige Energieversorgung in städtischen Gebieten unter Berücksichtigung verschiedener energietechnisch relevanter Optionen aufzuzeigen, zu analysieren und umzusetzen. Die Arbeitsschwerpunkte gliedern sich in die drei Bereiche Gebäudesanierung, Elektro-Mobilität und Optimierung der Energieversorgungsstrukturen. Im Hinblick auf die Energieversorgungsstrukturen werden besonders die Aspekte Monitoring des Energiesystems und die Vernetzung der Energieversorgung untersucht.

Ansatzpunkte zur Umsetzung einer nachhaltigen Energieversorgung sind die Steigerung der Energieproduktivität und -effizienz, die verstärkte Nutzung erneuerbarer Energien und die Erweiterung der dezentralen installierten KWK (Kraft-Wärme-Kopplung).

Auch Wärmenetze werden eine immer wichtigere Rolle im Kontext von Klimaschutz und Energieeffizienz spielen. So ist der verstärkte Einsatz effizienter Energietechniken sowohl zur Erreichung von Klimaschutzzielen als auch zur Etablierung einer nachhaltigen Energieversorgung unabdingbar. Dem Ausbau von Nahwärmenetzen ist speziell in Kombination mit Anlagen zur Kraft-Wärme-Kopplung sowie der gesteigerten Nutzung regenerativer Nahwärme zukünftig eine zentrale Bedeutung beizumessen.

Ziel der vorgelegten Arbeit ist es verschiedene Konzepte zur Versorgung der verschiedenen Siedlungstypen gegenüberzustellen und auf ihre Durchführbarkeit zu überprüfen. Besonderes Augenmerk wird auf die Anwendung von KWK-Anlagen, unter Berücksichtigung des Aufbaues eines Wärmenetzes, und die Anwendung von Wärmepumpen gelegt.

1 Einleitung

Als primäres Entscheidungskriterium wird die Wirtschaftlichkeit der einzelnen Energieversorgungsanlagen herangezogen. Die Wirtschaftlichkeit ist entscheidend durch die Auswahl der Energieerzeugungsanlage geprägt. Hinzu kommt, dass durch die gestiegenen ökologischen Anforderungen die zu erwartenden Emissionen der Energieerzeugungsanlagen bereits in der Phase der Systemauswahl größte Bedeutung gewinnt. Um eine aussagefähige und belastbare Entscheidungsgrundlagen zu erhalten, wird ein Energiekonzept angefertigt, das alle die Erzeugung und Verteilung der Energie beeinflussenden Größen erfasst. Hierbei wird eine Gegenüberstellung der technisch sinnvollen Systemvarianten in ökonomischer und ökologischer Sicht durchgeführt.

Die Kernstadt Wolfhagens wird dafür in 4 Stadtteile aufgeteilt und bezüglich der vorherrschenden Wärmesituation analysiert. Auf Basis der Bedarfsanalyse werden spezifische Kosten für den Aufbau und Betrieb eines Wärmenetzes ermittelt. Im nächsten Schritt werden 3 verschiedene Größen von KWK-Anlagen ($50kW_{el}$, $100kW_{el}$, $200kW_{el}$) mit je zwei unterschiedlichen Brennstoffarten (Erd- und Biogas), zwei Arten von Wärmepumpen (Sole-/Wasser und Wasser-/Wasser) mit jeweils ($12kW_{th}$, $38,4kW_{th}$, $60kW_{th}$) mit einem Referenzsystem Ölniedertemperaturkessel ökonomisch und ökologisch verglichen. Zur Auswahl und Dimensionierung technisch sinnvoller Energieversorgungsvarianten erfolgt ausgehend von den Auslegungsgrundlagen und der Festlegung der Bedarfswerte zunächst der Vergleich der technisch denkbaren Versorgungsvarianten. Anhand dieses Vergleiches wird für jeden Siedlungstyp eine Versorgungsvariante empfohlen.

2 Rahmenbedingung und Vorgehen

2.1 Vorgehensweise

Die Darstellung eines Energieversorgungskonzeptes verlangt eine detaillierte Analyse der Ausgangslage. Dafür wird die Kernstadt Wolfhagens in vier ST (Siedlungstypen) eingeteilt. Die Einteilung erfolgt in die Historische Altstadt ST9, eine jünger Einfamilienhaussiedlung im Westen ST2, eine ältere Einfamilienhaussiedlung im Nordosten ST 2, Reihenhäuser ST4 und niedere Blockbebauung mit Mehrfamilienhäusern ST5a. Darauf aufbauend wird der Wärmebedarf über eine Gebäudealter Typisierung nach nach [Roth 1980] ermittelt. Durch die Verknüpfung beider Kennwerte lässt sich eine Siedlungsflächenspezifische Wärmeverbrauchsdichte ermitteln. Die Wärmeverbrauchsdichte erlaubt es Aussagen über die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen für den Aufbau eines Wärmenetzes treffen zu können.

Für die ökonomisch Beurteilung werden die aktuellen Wärmegestehungskosten des Referenzsystemes (Niedertemperatur Ölheizkessel) berechnet und mit den Wärmegestehungskosten von KWK-Anlagen und Wärmepumpen unter Berücksichtigung der aktuellen Fördersituation verglichen. Tabelle 2.1 stellt die verglichenen Varianten der Wärmepumpen und die Varianten der Niedertemperaturölkessel zusammen. Die Wärmegestehungskosten setzt sich zusammen aus Fixkosten für die Investition der Erzeugeranlage und des Verteilnetzes und den variablen Kosten für Brennstoff und den Betrieb des Verteilnetzes. Um einen wirtschaftlichen Betrieb, bzw. einen Anreiz für den Ausbau dezentraler KWK-Anlagen zu schaffen dürfen die Kosten maximal die der Wärmegestehungskosten der Referenzanlage betragen.

Variante		Öl-Nieder-Temperaturkessel			Sole-Wasser-Wärmepumpe			Luft-Wasser-Wärmepumpen		
		EFH	KMH	GMH	EFH	KMH	GMH	EFH	KMH	GMH
Thermische Leistung	[kW]	12	38,4	60	12	38,4	60	12	38,4	60
JAZ					3,88	3,88	3,88	2,88	2,88	2,88
Wirkungsgrad (therm.)		0,88	0,88	0,88						
Jahresnutzungsgrad		0,85	0,85	0,85						
Variable Betriebskosten	[€/MWh]	105,88	105,88	105,88	47,6	47,6	47,6	64,13	64,13	64,13
Fixe Betriebskosten	[€/a]	885,79	1488,1	2328	697,56	1204,7	1605,5	907,94	1558,99	2104
Fixe Betriebskosten	[€/MWh]	14,76	7,75	7,76	11,63	6,27	5,35	15,13	8,12	7,01
spezifische Investition	[€/kW]	1600	840	841	630	340	290	820	440	380
spezifische CO ₂ -Emissionen	[kg/MWh]	315,01	315,01	315,01	144,07	144,07	144,07	194,1	194,1	194,1

Tab. 2.1: Varianten der Wärmepumpen und Ölkessel

eigene Darstellung Quellen: [Platt u. a. 2010], [Miara u. a. 2011], GEMIS

2 Rahmenbedingung und Vorgehen

Tabelle 2.2 stellt die Varianten der betrachteten KWK-Anlagen zusammen.

Variante		BHKW Erdgas 50 kW	BHKW Erdgas 100 kW	BHKW Erdgas 200 kW	BHKW Biogas 50 kW	BHKW Biogas 100 kW	BHKW Biogas 200 kW
Elektrische Leistung		50	100	200	50	100	200
Nutzungsdauer	[a]	16	16	16	16	16	16
Instandhaltungskosten	[€/MWh]	1,33	1,21	1,1	2,63	1,89	1,35
Fixe Betriebskosten	[€/(kW*a)]	278	228	188	291	241	200
el Wirkungsgrad		0,38	0,38	0,38	0,37	0,37	0,37
them. Wirkungsgrad		0,49	0,49	0,52	0,47	0,47	0,49
Stromkennziffer		0,78	0,78	0,73	0,79	0,79	0,76
spezifische Investition	[€/kW _{el}]	1497	1259	811	2088	1329	914
spezifische CO ₂ -Emissionen	[kg/MWh _{th}]	-1066	522,49	522,49	547,11	547,11	547,11

Tab. 2.2: Varianten der KWK-Anlagen

eigen Darstellung Quelle: [Arthkamp u. a. 2011], GEMIS

Die aktuelle Fördersituation wird nach KWKG (Kraft Wärme Kopplungs Gesetz), MAP (Marktanreizprogramm) Förderbereich Wärmepumpen und der Förderung für den Ausbau von Nahwärmenetzen der KfW (Kreditanstalt für Wiederaufbau) werden in der Wirtschaftlichkeitsanalyse mit berücksichtigt. Die Förderungen der einzelnen Programme sieht aktuell wie folgt aus.

2.1.1 Förderung von Nahwärmenetzen durch die Kreditanstalt für Wiederaufbau

Die KfW fördert den Ausbau von Nahwärmenetzen. Die Förderung der ist an folgende Bedingungen geknüpft.

- Der Neu- oder Ausbau des Netzes wurde erst ab dem 1. Januar 2009 begonnen.
- Das Netz muss bis spätestens zum 31. Dezember 2020 in Betrieb genommen werden.
- Entweder:
 - muss bei der Inbetriebnahme des Netzes die Wärme aus KWK-Anlagen mehr als 50% betragen und für den geplanten Endausbau des Netzes eine entsprechende Einspeisung von mindestens 60 Prozent prognostiziert werden, oder alternativ
 - muss für die Versorgung des Netzbereichs, für den die Förderung beantragt wurde, mindestens ein Anteil von 60 Prozent Wärme aus KWK-Anlagen innerhalb von 24 Monaten ab Aufnahme des Dauerbetriebs nachgewiesen werden, d. h. tatsächlich erreicht worden sein.
- Die Wärmeleitung muss über die Grundstücksgrenze (Flurstück), auf dem die KWK-Anlage steht, hinausgehen.
- Es muss die Möglichkeit des Anschlusses einer unbestimmten Anzahl von Abnehmern bestehen (öffentliches Netz).
- An das Netz muss mindestens ein Abnehmer angeschlossen sein, der nicht der Eigentümer oder der Betreiber der in das Netz einspeisenden KW(K)K-Anlage ist. ¹

Fördersatz:

- Mittlerer Nenndurchmesser kleiner DN 100: Bei Projekten mit einem mittleren DN-Wert bis einschließlich DN 100 beträgt der Zuschlag 100 Euro je laufender Meter der neu verlegten Leitung, höchstens jedoch 40 Prozent der ansatzfähigen Investitionskosten und maximal 10 Millionen Euro je Projekt.
- Mittlerer Nenndurchmesser größer DN 100: Bei Projekten ab einem mittleren DN-Wert von mehr als DN 100 beträgt der Zuschlag immer 30 Prozent der ansatzfähigen Investitionskosten, maximal jedoch 10 Millionen Euro je Projekt.

¹Quelle: http://www.bafa.de/bafa/de/energie/kraft_waerme_kopplung/waerme_und_kaeltenetze/zulassungsvoraussetzungen/index.html

2.1.2 Förderung von KWK-Anlagen nach dem KWKG

Ziel des KWKG ist es den KWK-Anteil an der Gesamtnettostromerzeugung von derzeit 15,4% bis zum Jahr 2020 zu auf 25% zu erhöhen. Förderfähig im Sinne des KWKG sind folgende Konstellationen.

- Betreiber kleiner KWK-Anlagen mit einer elektrischen Leistung bis 50kW werden mit einem Zuschlag in Höhe von 5,41 Cent pro Kilowattstunde für einen Zeitraum von zehn Jahren oder für die Dauer von 30.000 Vollbenutzungsstunden vergütet
- Betreiber kleiner KWK-Anlagen mit einer elektrischen Leistung von mehr als 50kW erhalten für den Leistungsanteil bis 50 Kilowatt einen Zuschlag in Höhe von 5,41 Cent pro Kilowattstunde, für den Leistungsanteil zwischen 50 und 250 Kilowatt einen Zuschlag in Höhe von 4 Cent pro Kilowattstunde und für den Leistungsanteil über 250 Kilowatt einen Zuschlag von 2,4 Cent pro Kilowattstunde, für die Dauer von 30.000 Vollbenutzungsstunden
- Betreiber sehr kleiner KWK-Anlagen sowie Betreiber von Brennstoffzellen mit einer elektrischen Leistung von bis zu 2kW können sich auf Antrag vom Netzbetreiber vorab eine pauschalierte Zahlung der Zuschläge für die Erzeugung von KWK-Strom für die Dauer von 30.000 Vollbenutzungsstunden auszahlen lassen
- Betreiber von hocheffizienten Neuanlagen haben ab Aufnahme des Dauerbetriebs einen Anspruch auf Zahlung eines Zuschlags für KWK-Strom für 30.000 Vollbenutzungsstunden. Dieser Zuschlag beträgt für den Leistungsanteil bis 50 Kilowatt 5,41 Cent pro Kilowattstunde, für den Leistungsanteil zwischen 50 und 250 Kilowatt 4 Cent pro Kilowattstunde, für den Leistungsanteil von 250 Kilowatt bis 2 Megawatt 2,4 Cent pro Kilowattstunde und für den Leistungsanteil über 2 Megawatt 1,8 Cent pro Kilowattstunde
- Betreiber von modernisierten hocheffizienten KWK-Anlagen mit einer elektrischen Leistung bis 50kW haben Anspruch auf Zahlung eines Zuschlags in Höhe von 5,41 Cent pro Kilowattstunde wahlweise für die Dauer von fünf Jahren oder für die Dauer von 15.000 Vollbenutzungsstunden; die Dauer beträgt wahlweise zehn Jahre oder 30.000 Vollbenutzungsstunden, wenn die Kosten der Erneuerung mindestens 50 Prozent der Kosten für die Neuerrichtung der KWK-Anlage betragen

2 Rahmenbedingung und Vorgehen

2.1.3 Förderung von Wärmepumpen durch die Bafa

Das Bafa (Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle) fördert im Rahmen des MAP Förderbereich Wärmepumpen. Wärmepumpen werden nur im Gebäudebestand gefördert. Ausnahme sind Wärmepumpenanlagen zur Bereitstellung von Prozesswärme. Als Gebäudebestand gilt was vor dem 01.01.2009 eine Bauanzeige erstattet oder ein Bauantrag gestellt wurde und in welchem vor dem 01.01.2009 ein Heizungssystem installiert wurde. Es muss sich um ein mit dem Gebäude fest verbundenes Heizungssystem handeln, das den Gesamtjahreswärmebedarf des Gebäudes oder Gebäudeteils abdeckt. Mobile Heizgeräte stellen kein Heizungssystem im Sinne der Förderrichtlinien dar.

Der Kombinationsbonus und der Effizienzbonus können zusätzlich zur Basisförderung gewährt werden und sind miteinander kumulierbar.

- Die zusätzliche Förderung bemisst sich an dem Anteil der Nennwärmeleistung der 10 kW übersteigt. Die Gesamtförderung beträgt:

$$2.800 \text{ €} + ((\text{Nennwärmeleistung} - 10) * 120 \text{ €})$$

- Die zusätzliche Förderung bemisst sich an dem Anteil der Nennwärmeleistung der 10 kW übersteigt. Die Gesamtförderung beträgt:

$$2.800 \text{ €} + ((\text{Nennwärmeleistung} - 10) * 100 \text{ €})$$

- Zusätzlich zur Basisförderung kann der Kombinationsbonus gewährt werden, wenn gleichzeitig eine förderfähige thermische Solaranlage oder eine Anlage zur solaren Warmwasserbereitung installiert wurde.

Tabelle 2.3 stellt eine Übersicht über die Basis-, Bonusförderung des MAP für Wärmepumpen zusammen. (Stand 15.08.2012)

Maßnahme	Förderung		Basisförderung im Gebäudebestand	Kombinationsbonus ¹⁾ förderfähige Solaranlage solare Warmwasserberreit.	Effizienzbonus ²⁾
	Leistung	Betrag			
Elektrisch betriebene Luft/Wasser-Wärmepumpe JAZ ≥ 3,5	bis 20 kW	pauschal 1.300 €	zusätzlich 500 € ³⁾ für Wärmepumpen mit neu errichtetem Pufferspeicher mit mind. 30 l/kW	500 €	0,5 × Basisförderung
	20 kW bis 100 kW	pauschal 1.600 €			
Wasser/Wasser- oder Sole/Wasser-Wärmepumpe gasbetrieben: JAZ ≥ 1,3 elektrisch betrieben: JAZ ≥ 3,8, in Nichtwohngebäuden: JAZ ≥ 4,0 oder Gasbetriebene Luft/Wasser-Wärmepumpe JAZ ≥ 1,3	bis 10 kW	pauschal 2.800 €			
	10 kW bis 20 kW	2.800 € + 120 € je kW (ab 10 kW) ¹⁾			
	20 kW bis 22 kW	pauschal 4.000 €			
	22 kW bis 100 kW	2.800 € + 100 € je kW (ab 10 kW) ²⁾			

Tab. 2.3: Übersicht Förderstufen des MAP für Wärmepumpen

Quelle: Bafa

3 Analyse Ausgangslage

3.1 Die Stadt Wolfhagen

Die Stadt Wolfhagen liegt im nordhessischen Landkreis Kassel. Sie ist gegliedert in einen historischen Fachwerkkern und 11 weiteren Stadtteile die sich als dörflich geprägte Gebiete rund um den Stadtkern erstrecken. Die Gemarkungsfläche der gesamten Stadt beträgt etwa 112km² wobei 12% bebaute Flächen, 54% landwirtschaftlich genutzte Flächen und 34% Waldflächen sind.¹

Die Einwohnerzahl beträgt ca. 13.804 Einwohner, davon leben etwa 7.674 Einwohner in der Kernstadt.¹ Für die Bevölkerungsentwicklung wird nach der Genehmigungsvorlage des Regionalplans Nordhessen 2009 ein Rückgang der Gesamtbevölkerung auf 13.040 Einwohner im Jahr 2020 erwartet. Die Bertelsmann-Stiftung prognostiziert einen Rückgang der Bevölkerung auf 12.438 Einwohner im Jahr 2025.[Sager u. Schmidt 2009] Zur abnehmenden Bevölkerungszahl wird auch ein weiteres Ansteigen des Durchschnittsalters vorhergesagt. Daher empfiehlt die Bertelsmann-Stiftung Städten wie Wolfhagen eine Anpassung der sozialen und technischen Infrastruktur an den zukünftigen Bedarf. Weiter wird darauf hingewiesen, dass besonders die Nutzung von lokalen Potenzialen und der Einsatz von Erneuerbaren Energien den Schlüssel zur Überwindung dieser Strukturellen Probleme darstellen kann.

Als einer der ersten Kommunen überhaupt kaufte Wolfhagen das Stromnetz von der Im Rahmen des Wettbewerbes „Energieeffiziente Stadt“ des Bundesministerium für Bildung und Forschung hat die Stadt Wolfhagen die 3. Runde erreicht.

3.2 Bestimmung des Versorgungsbedarfes

Grundlage für die Konzeptions eines Wärmeversorgungskonzeptes stellt die Analyse der mit Wärme zu versorgenden Struktur dar. Das Potenzial für ein Nahwärmenetz ist im wesentlichen durch den zu versorgenden Siedlungstyp und den zu erwartenden Wärmeverbrauchswert der Gebäude dieses Siedlungstypes gekennzeichnet. Der Wärmeverbrauchswert für die Gebäude wird durch

¹Quelle:www.wolfhagen.de/de/rathaus/zahlen_fakten/rund_um_wolfhagen.php?navanchor=1110037

3 Analyse Ausgangslage

den Gebäudetyp, Alter des Gebäudes und Zustand der Gebäudehülle bestimmt. Die Ermittlung des Nahwärmepotenziales ist somit abhängig von gebäudespezifischen Verbrauchsdaten.

Die detaillierte Bestimmung des Potenzials großflächiger leitungsgebundener Wärmerversorgung setzt die Berücksichtigung der räumlichen Verteilung der vorhandenen Siedlungsstrukturen voraus. [Blesl 2001] Die Bewertung, in welchem Umfang bauliche Strukturen für eine leitungsgebundene Wärmeversorgung geeignet sind, wird dabei in hohem Maße von siedlungstypologischen Voraussetzungen, bspw. Art, Lage, Straßenverlauf und Anzahl Kreuzungen geprägt. [Eikmeier u. a. 2011].

Der Zusammenhang zwischen Bau- bzw. Siedlungsstruktur und Wärmeverteilungssystemen wird erstmals von [Roth 1980] beschrieben. Winkens [1994] adaptiert diese Arbeiten und charakterisiert verschiedene Siedlungstypen mit spezifischen Kosten der Wärmeverteilungssysteme. Dazu leitet er auf Basis kartographischer Verfahren verschiedenartige Bebauungstypen ab. Für diese werden anhand detaillierter Vor-Ort-Erhebungen idealtypische Kennwerte hinsichtlich des bestehenden und zukünftigen Wärmebedarfs und der Kosten für die Energieverteilung, differenziert nach unterschiedlichen Energieerzeugungssystemen, ausgewiesen. An diesen Ausgangszustand wird eine jährliche Minderungsrate von 0,8% nach [Sager u. Schmidt 2009, S.10] angelegt.

Grundsätzlich ist dieses Vorgehen nur eine erste Einschätzung zur Durchführbarkeit und stellt grob die Potenziale für die verschiedenen Siedlungstypen dar. Bei positivem Ergebnis muss unbedingt eine detaillierte Analyse und Planung am konkreten Objekt durchgeführt werden. Die Konzeption eines nachbarschaftlichen Versorgungssystems setzt die Kenntnis über die Energiebedarfscharakteristik der Anschlußwerte voraus. Da in dieser Arbeit eine Vorplanung der technisch-ökonomischen Machbarkeit durchgeführt wird ist eine Annäherung des Wärmebedarfs über das Siedlungstypverfahren ausreichend. Bei dieser Annäherung werden der realen Bebauung Gebäudestrukturen sowie Siedlungsstrukturen zugeordnet. Das Siedlungstypverfahren erlaubt es die geographischen Gegebenheiten wie Wärmedichten oder Liniendichten der Unterverteilung eines Gebietes erfassen zu können. Durch [Roth 1980] wurde der Zusammenhang zwischen Siedlungsstruktur und Wärmeverteilungskosten nachgewiesen. Diese Grundlage wurde durch [Winkens 1994] ausgebaut und der Nachweis geführt, dass die Wärmeverteilungskosten sehr stark von der Siedlungsstruktur abhängig sind. Tabelle 3.3 zeigt eine Einteilung in die unterschiedlichen Siedlungstypen und die dazugehörigen Merkmale.

Um das Siedlungstypverfahren systematisch durchzugehen werden zunächst Siedlungsstrukturen nach [Winkens 1994] erfasst. Anschließend wird der Gebäudetypus und die Altersstruktur der Kommune gebäudescharf eingeteilt. Darauf aufbauend wird für jedes Gebäude ein spezifischer Wärmebedarf über die

3 Analyse Ausgangslage

Kennwerte aus Tabelle 3.2 ermittelt. Anhand der Siedlungsstruktur und der gebäudespezifischen Wärmebedarfe wird nach [Gregorzewski u. a. 2001] die Modifizierte Siedlungstypmethode angewandt um die flächenspezifischen Wärmeverbrauchswerte zu erhalten.

3.2.1 Baualterklassen

Den Wohngebäuden wurden Baualterklassen nach Bauabschnitten der vorliegenden Bebauungspläne zugeordnet. Tabelle 3.1 zeigt eine Übersicht der allgemein anerkannten Baualterklassen mit Beschreibung der zum Baujahr aktuellen Richtlinien und Normen. Es wurden die Baualterklassen nach [Gregorzewski u. a. 2001] aufgestellt und mit der Beschreibung nach [Welage u. a. 2007] ergänzt.

Die Verteilung der Altersklassen in Wolfhagen ist in Abb.3.1 dargestellt. Deutlich wird, dass sich drei Siedlungsgebiete von Ein- und Zweifamilienhäusern nach Alter unterscheiden lassen.



Abb. 3.1: Verteilung der Gebäude nach unterschiedlichen Altersklassen

Quelle:eigen Darstellung Daten: [Negash 2009]

Das älteste Siedlungsgebiet bildet die historische Altstadt im Zentrum Wolfhagens. In diesem Gebiet befinden sich Ein- und Zweifamilienhäuser und kleine Mehrfamilienhäuser.

3 Analyse Ausgangslage

Baualterklasse	Baujahr	Beschreibung
I	vor 1918	Hier sind zwei unterschiedliche Baukonstruktionstypen zu unterscheiden. - Bis 1850 und noch darüber hinaus, war der handwerklich geprägte Fachwerkbau üblich, mit entsprechender statischer Überdimensionierung, da nicht nach Normen, sondern nach Erfahrung gebaut wurde. - Mit Einsetzen der Industrialisierung ab ca. 1850 und der beginnenden Normung wird der Mauerwerksbau dominierend, teilweise mit Sichtmauerwerk, aber auch mit Luftschichten und Vorsatzschalen (Gründerzeit).
II	1918 - 1948	Die zunehmende Industrialisierung führt zur Einführung materialsparender Konstruktionen, hinzu kommen weitere Entwicklungen bei den Baustoffen.
III	1949 - 1957	Weiterentwicklungen bei den Baustoffen, Veränderungen der Baukonstruktionen und die Weiterentwicklung der Normen. Gleichzeitig zwingt die Nachkriegszeit zu vereinfachten Bauweisen, um durch den Wiederaufbau für billigen und schnell zu errichtenden Wohnbau zu sorgen. Vorherrschend ist eine material- und kostensparende Bauweise.
IV	1958 - 1968	Auslaufen der staatlichen Förderungen für den Wiederaufbau. Dadurch erfolgt ein verändertes Siedlungskonzept und damit einhergehend veränderte Bauformen, die ersten Hochhaussiedlungen entstehen.
V	1969 - 1978	Neue industrielle Baukonstruktionen, wie Sandwichkonstruktionen, Verbundbauweisen und Fertighauskonstruktionen, erobern den Markt. 1972 wurde im Gebiet der ehemaligen DDR die Wohnungsbauserie 70 (WBS 70) eingeführt. Mit Beginn der 70er Jahre wurde der Eigenheimbau in vorgefertigter Bauweise angeboten
VI	1979 - 1983	Umsetzung der ersten Wärmeschutzverordnung sowie der DIN 4108, auch als Folge der Ölpreiskrise. In die in der ehemaligen DDR gültige Vorschrift TGL 28706, wurden 1982 wärmetechnische Verbesserungen aufgenommen, die als Rationalisierungsstufe II auch in den Montagebau übernommen wurde.
VII	1984 - 1994	Umsetzung der zweiten Wärmeschutzverordnung. Beginn der Einführung des Niedrigenergiehaus-Standards seit Beginn der 90er. Weitere wärmetechnische Verbesserung im Gebiet der ehemaligen DDR (WBS70 Rationalisierungsstufe III).
VIII	1995 - 2001	Umsetzung der dritten Wärmeschutzverordnung.
IX	ab 2002	Einführung der Energieeinsparverordnung.

Tab. 3.1: Beschreibung der Baualterklassen

Quelle:[Gregorzewski u. a. 2001, S.26]; [Welage u. a. 2007, S.157 f.]

3 Analyse Ausgangslage

Das flächenmäßig größte Siedlungsgebiet liegt westlich der Altstadt diese Gebiet lässt sich in vier Bauabschnitte einteilen. Die erste Besiedelung entstand in den Jahren von 1958 - 1968. Der nächste und größte Bauabschnitt folgt in den Jahren 1969 - 1978 in nördlicher Richtung. Dieser Bauabschnitt stellt den größten Zuwachs an Ein- und Zweifamilienhäusern dar. Der nächste Bauabschnitt folgte in den Jahren 1979 bis 1983 ebenfalls in nördlicher Richtung. Eine letzte Erweiterung erfolgte ab dem Jahr 1995.

Das zweitgrößte Siedlungsgebiet liegt südöstlich der Altstadt. Diese Gebiet lässt sich in zwei Bauabschnitte zwischen 1958 bis 1968 und 1969 bis 1978 einteilen.

Nordöstlich der Altstadt befindet sich das kleinste und zugleich auch älteste Siedlungsgebiet. Es lässt sich grob in zwei Bauabschnitte unterteilen. Zum einen von 1949 bis 1968 und von 1979 bis 1983.

3.2.2 Ermittlung der Gebäudetypen

Ziel der Gebäudetypologie ist eine gebäudescharfe Wärmebedarfsermittlung aufgrund der Informationen über die Gebäudegrundfläche und die Zahl der Geschosse bzw. des Gebäudevolumens. Anschließend kann der Wärmebedarf aufgrund von Zuordnungen zu Gebäudetypen und Altersklassen (siehe 3.2 ermittelt werden.

	Einfamilienhaus	Reihendoppelhaus	Kleines Mehrfamilienhaus (bis 6 WE)	Großes Mehrfamilienhaus (bis 12 WE)	Hochhaus/Blockbau
Baujahr					
bis 1918	212,0		180,0	187,1	-
1918-48	204,7	178,3	167,5	184,9	-
1949-57	260,3	212,9	139,3	169,5	-
1958-68	163,5	202,3	190,9	141,2	112,6
1969-78	170,2	191,8	169,1	152,7	117,3
1979-83	165,5	171,4	125,2	115,8	-
1984-94	135,7	129,1	101,4	95,1	-
ab 1995	101,3	89,2	93,7	72,8	

Tab. 3.2: Gebäudematrix für den Jahresheizwärmebedarf pro m^2 Nutzfläche in $[kWh/m^2]$

Quelle:[Gregorzewski u. a. 2001, S.28]

Die Gebäudetypologie wurde in einer vorangegangenen Studie durch [Negash 2009] erhoben. Diese Daten werden als Grundlage genutzt, zusammengefasst

3 Analyse Ausgangslage

und im Hinblick auf ein Wärmeversorgungskonzept analysiert. Für die Gebäudetypologie wurden zunächst ältere Karten und eine ALK (Automatisierte Liegenschaftskarte) als Ausgangsbasis verwendet. Anhand der vorliegenden Karten wurden Begehungen mit einhergehender Bestandsaufnahme vorgenommen. Es wurden der - Siedlungstyp, die - Baualterklasse und die - Geschößzahl erfasst. Die erhaltenen Daten wurden in GIS eingearbeitet und mit der Information bezüglich der Nutzungsart in Wohngebäude und Nichtwohngebäude eingeteilt. Diese Unterteilung erlaubt es nicht wärmerelevante Objekte wie Garagen oder Nebengebäude auszufiltern.

Die Einteilung wurde in [Negash 2009] erarbeitet. Abbildung 3.2 zeigt die räumliche Verteilung der einzelnen Gebäudetypen in der Stadt Wolfhagen. Die Ein- und Zweifamilienhäuser haben mit 85% den größten Flächenanteil aller Wohngebäude. Mehrfamilienhäuser (14%) und Reihenhäuser (1%) bilden den kleineren Teil. Gerade für die Gebiete mit Mehrfamilienhäusern können im Anschluß interessante Möglichkeiten für Nahwärmeversorgungsnetze entstehen, da hier eine recht hohe Wärmeverbrauchsichte vorliegt und die einzelnen WE zumeist zentral im Gebäude versorgt werden. Dies könnte eine hohe Anschlussrate hervorrufen.

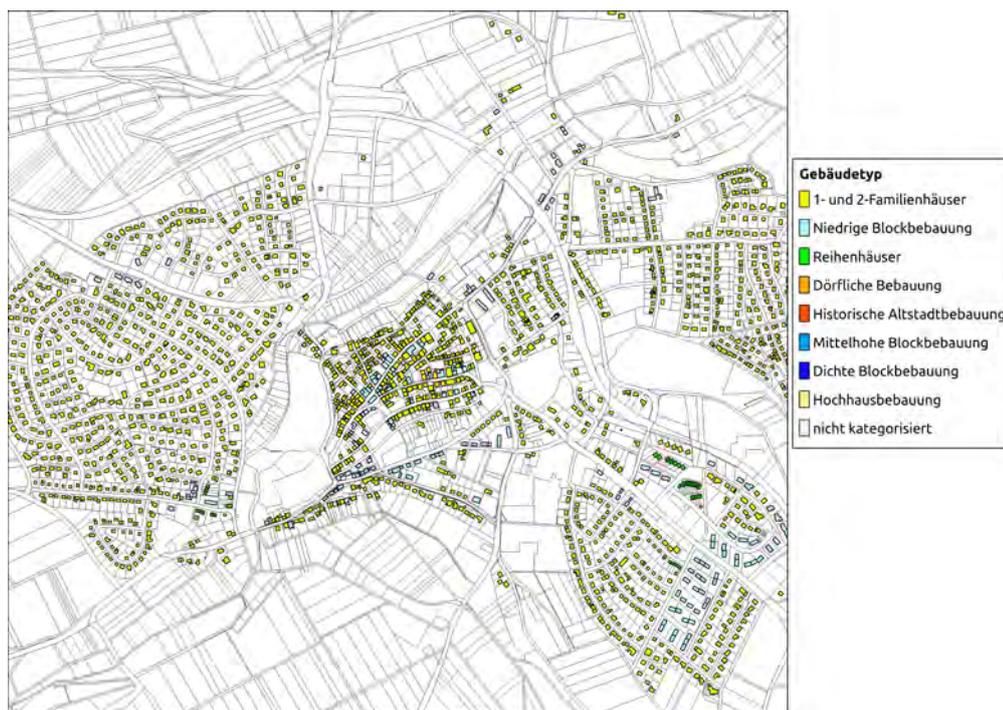


Abb. 3.2: Verteilung der unterschiedlichen Gebäudetypen in Wolfhagen

Quelle:eigen Darstellung Daten: [Negash 2009]

3.2.3 Ermittlung und Charakteristik der in Wolfhagen vorkommenden Siedlungstypen

Wie bereits aufgezeigt, können mit Hilfe der Siedlungstypmethode (vgl. 3.3) Stadtgebiete oder allgemein bebaute Flächen in Siedlungstypen bzw. Teilgebiete mit gleichen charakteristischen Merkmalen unterteilt werden. Durch [Gregorzewski u. a. 2001] wurde nachgewiesen, dass Siedlungstypen in ihrer Zusammensetzung recht homogen sind. Dies ermöglicht die Entwicklung von flächen-spezifischen Wärmedichten für einzelne Gebiete und andere Angaben wie durchschnittlicher Abstand zwischen Gebäude und Straße bzw. durchschnittlicher Abstand zwischen parallelen Straßen und Kreuzungen. Daraus ergibt sich für die in der Stadt Wolfhagen vorkommenden Siedlungstypen folgende Charakteristika.

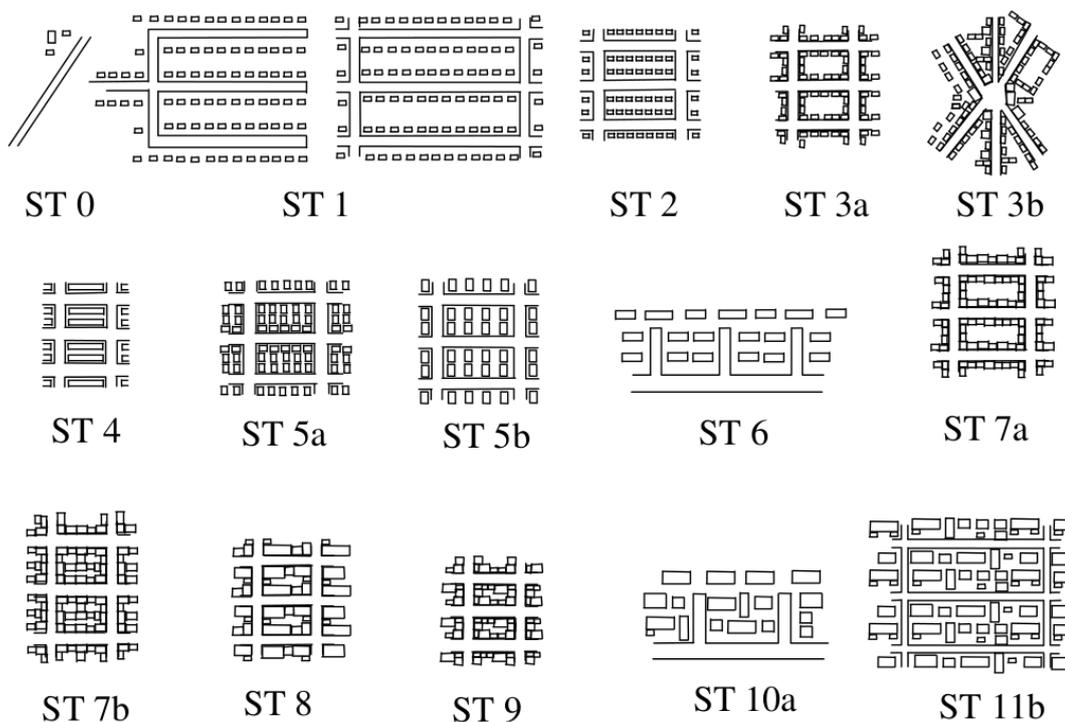


Abb. 3.3: Basisbausteine der Siedlungstypen

Quelle:[Gregorzewski u. a. 2001, S.152]

3 Analyse Ausgangslage

Siedlungstyp	Bezeichnung des Siedlungstyp	Merkmale
ST 0	Freistehende Einzelgebäude	Einzelgebäude oder Gebäudekomplexe in Wald- oder landwirtschaftlicher Nutzfläche bzw. größerer Entfernung zu anderer Bebauung
ST 1 ¹⁾²⁾	Lockere offene Bebauung (Streusiedlung)	lockere unregelmäßige Bebauung, vor allem an Stadträndern und langgezogenen Straßendörfern
ST 2 ¹⁾²⁾	Einfamilienhäuser- und Doppelhäusersiedlung	Vorortgemeinde, häufig mit dichtem geometrisch angelegten Erschließungsnetz
ST 3a ¹⁾²⁾	Städtischer Dorfkern	Dorfkernstruktur ohne Zentrum, die in Mittelstädten oder in Teilorten von Großstädten erhalten sind
ST 3b ¹⁾²⁾	Ländlicher Dorfkern	Dorfkern im ländlichen Raum oder in kleinen Eingemeindungen von Städten
ST 4 ¹⁾²⁾	Reihenhäuser	Reihenhaussiedlung engmaschig geometrisch erschlossen
ST 5a ¹⁾²⁾	Siedlung kleiner Mehrfamilienhäuser	kleine Mehrfamilienhäuser, häufig mit dichtem geometrisch angelegten Erschließungsnetz, (entstanden Mitte 1980)
ST 5b	Zeilenbebauung mit kleinen und großen Mehrfamilienhäusern	überwiegend mittelgroße Wohnbebauung, relativ geringer Gebäudeabstand, Erschließungsnetz relativ grobmaschig
ST 6 ¹⁾²⁾	Zeilenbebauung mit großen Mehrfamilienhäusern oder Hochhäusern	große Mehrfamilienhäuser/Hochhäuser, gekennzeichnet durch große Gebäudeabstände
ST 7a ¹⁾²⁾	Blockbebauung niedriger Dichte	meist nur in Großstädten, oft Stadtrandbebauung, regelmäßiges Straßennetz
ST 7b ¹⁾²⁾	Blockbebauung hoher Dichte	meist nur in Großstädten, oft Stadtrandbebauung, regelmäßiges Straßennetz mit überbauten Innenhöfen
ST 8 ¹⁾²⁾	Citybebauung	Citybebauung, meist aus der Zeit der Jahrhundertwende, mit überbauten Innenhöfen
ST 9 ¹⁾²⁾	Historische Altstadt	mittelalterlicher Stadtkern, hohe Dichte, geschlossene Bebauung, verwinkelte Straßen
ST 10a ¹⁾²⁾	Öffentliche Sonderbauten (groß)	große Einzelbauten, ungewöhnliche Grundrißformen, meistens freistehend, oft in Großstädten (z. B. Krankenhäuser, Universität)
ST 10b	Öffentliche Sonderbauten (klein)	kleinere Einzelbauten (Schulen, Kindergärten, Stadtverwaltung); Grundfläche
ST 11a ¹⁾²⁾	Industriebauten	Industriebauten mit unregelmäßigen Grundrissen und Prozeßwärmebedarf
ST 11b	Gewerbliche Sonderbauten/ Dienstleistungsbauten	Industriebauten mit unregelmäßigen Grundrissen ohne Prozeßwärmebedarf
ST 12	Sonstige Versorgungsgebiete	meist Einzelgebäude in Stadtrandlage mit zugehöriger großer Sonderfläche (z. B. Sportgelände oder Gärtnerei)

¹⁾ Siedlungstyp vgl. /Winkens 1994/ (identische Numerierung)

²⁾ Siedlungstyp vgl. /Roth 1980/ (Numerierung um eins kleiner)

Tab. 3.3: Erweiterte Siedlungstypen

Quelle:[Gregorzewski u. a. 2001, S.26]

3 Analyse Ausgangslage

Siedlungstyp 2 - Einfamilien- und Doppelhaussiedlung

Die Einfamilienhaussiedlung repräsentiert überwiegend Wohngebiete, die an Stadträndern und in Vorortgemeinden gelegen ist. Der Siedlungstyp ist mit einem dichten regelmäßigen Straßennetz erschlossen.

Die freistehenden Einfamilienhäuser sind mit 1,5 bis 2,5 Geschossen gebaut. Die Bandweite der Gebäudegröße ist aufgrund der unterschiedlichen Bauzeiten relativ groß. Sie reicht von sehr kleinen Arbeiterwohnhäusern der 30er Jahre bis zu großvolumigen Villen und kleinen Mehrfamilienhäusern. Der durchschnittliche Trassenanschlußwert liegt mit $2735 \text{ kWh}/(a * m_{Trasse})$ deutlich unter deutschem Durchschnitt von $4050 \text{ kWh}/(a * m_{Trasse})$. Abbildung 3.4 zeigt die Verteilung des Siedlungstypes 2 in der Stadt Wolfhagen. Tabelle 3.4 stellt die wichtigsten Charakteristika des Siedlungstypes zusammen.



Abb. 3.4: Beispiel für den Siedlungstyp 2 in Wolfhagen

3 Analyse Ausgangslage

Gebäudemerkmale	<ul style="list-style-type: none"> - Gebäudetypen - Baualter - Gebäudegrundfläche - ØGebäudegrundfläche - Abst. zwischen den Geb. und Str. - ØAbst. zwischen den Geb. und Str. - Geb. pro km² incl. gewerbl. Fläche 	EFH, ZFH ab 1932 79 – 229 m ² 136,4 m ² 2,8 – 18 m 7,2 m 1143
Wärmebedarf	<ul style="list-style-type: none"> - ØWärmebedarf je Geb. in MWh/a - Wärmebedarfsdichte in GWh/(km²*a) - ØAnschlußwert je Gebäude in kW - Vollbenutzungsstunden in h/a - Beitrag zur Höchstlast am Wärmentz 	38,0 43,43 24,4 1557 18
Straßenmerkmale	<ul style="list-style-type: none"> - Abst. zwischen parallelen Straßen - ØAbst. zw. den parallelen Str. - Abstand zwischen den Kreuzungen - ØAbst. zwischen den Kreuzungen - Gesamtlänge der Straßen - Unterverteilnetzlänge m/Gebäude - Unterverteilnetzlänge m/km² 	29 – 145 m 74,7 m 65 – 605 m 165,4 m 21.839 m 14 15879

Tab. 3.4: Charakteristik Siedlungstyp 2

Quelle:[Schaumann u. Schmitz 2010], [Roth 1980]

Siedlungstyp 4 - Reihenhäuser

Der Siedlungstyp 4 ist geprägt durch „Reihenhäuser“. Dieser befindet sich meist in Vororten und an Stadträndern und steht sehr häufig in Verbindung mit Siedlungstyp 2.

Das Gebiet ist engmaschig geometrisch durch Straßen erschlossen. Die Häuserzeilen sind dicht und überwiegend parallel angeordnet. Abbildung 3.5 zeigt die Verteilung des Siedlungstypes 4 in der Stadt Wolfhagen. Tabelle 3.5 stellt die wichtigsten Charakteristika des Siedlungstypes zusammen.

3 Analyse Ausgangslage



Abb. 3.5: Beispiel für den Siedlungstyp 4 in Wolfhagen

Gebäudemerkmale	<ul style="list-style-type: none"> - Gebäudetypen - Baualter - Gebäudegrundfläche - \emptysetGebäudegrundfläche - Abst. zwischen den Geb. und Str. - \emptysetAbst. zwischen den Geb. und Str. - Geb. pro km² incl. gewerbl. Fläche 	RDH ab 1970 80 – 110 m ² 90 m ² 3 – 21 m 8,6 m 1813
Wärmebedarf	<ul style="list-style-type: none"> - \emptysetWärmebedarf je Geb. in MWh/a - Wärmebedarfsdichte in GWh/(km²*a) - \emptysetAnschlußwert je Gebäude in kW - Vollbenutzungsstunden in h/a - Beitrag zur Höchstlast am Wärmentz 	25,2 45,69 18,4 1370 11,6
Straßenmerkmale	<ul style="list-style-type: none"> - Abst. zwischen parallelen Straßen - \emptysetAbst. zw. den parallelen Str. - Abstand zwischen den Kreuzungen - \emptysetAbst. zwischen den Kreuzungen - Gesamtlänge der Straßen - Unterverteilnetzlänge m/Gebäude - Unterverteilnetzlänge m/km² 	38 – 97 m 62,5 m 49 – 176 m 101,9 m 30380 m 6 10522

Tab. 3.5: Charakteristik Siedlungstyp 4

Quelle:[Schaumann u. Schmitz 2010], [Roth 1980]

3 Analyse Ausgangslage

Siedlungstyp 5a - Siedlung kleiner Mehrfamilienhäuser

Der Siedlungstyp 5a ist gekennzeichnet durch Zeilenbebauung mit kleineren Mehrfamilienhäusern. Diese entstanden zum großen Teil in der Nachkriegszeit. Die Wohnblocks des Siedlungstypes 5a sind grobmaschig erschlossen. Sie befinden sich vorwiegend am Stadtrand von Groß- und Mittelstädten.

Die großen Mehrfamilienhäuser sind 3- bis 5-geschossige Wohnbauten, die als 2-, 3- und 4-Spänner angeordnet sind. Abbildung 3.6 zeigt die Verteilung des Siedlungstypes 5a in der Stadt Wolfhagen. Tabelle 3.6 stellt die wichtigsten Charakteristika des Siedlungstypes zusammen.



Abb. 3.6: Beispiel für den Siedlungstyp 5a in Wolfhagen

3 Analyse Ausgangslage

Gebäudemerkmale	<ul style="list-style-type: none"> - Gebäudetypen - Baualter - Gebäudegrundfläche - ØGebäudegrundfläche - Abst. zwischen den Geb. und Str. - ØAbst. zwischen den Geb. und Str. - Geb. pro km² incl. gewerbl. Fläche 	KMH ab 1980 130 – 350 m ² 224 m ² 4 – 15 m 7 m 689
Wärmebedarf	<ul style="list-style-type: none"> - ØWärmebedarf je Geb. in MWh/a - Wärmebedarfsdichte in GWh/(km²*a) - ØAnschlußwert je Gebäude in kW - Vollbenutzungsstunden in h/a - Beitrag zur Höchstlast am Wärmentz 	94,2 64,9 61,2 1539 38,4
Straßenmerkmale	<ul style="list-style-type: none"> - Abst. zwischen parallelen Straßen - ØAbst. zw. den parallelen Str. - Abstand zwischen den Kreuzungen - ØAbst. zwischen den Kreuzungen - Gesamtlänge der Straßen - Unterverteilnetzlänge m/Gebäude - Unterverteilnetzlänge m/km² 	27 – 98 m 87,5 m 70 – 261 m 130,8 m 27564 m 12 8000

Tab. 3.6: Charakteristik Siedlungstyp 5a

Quelle:[Schaumann u. Schmitz 2010], [Roth 1980]

Siedlungstyp 9 - Historische Altstadt

Siedlungstyp 9 entspricht dem mittelalterlichen Stadtkern. Dieser ist durch die geschlossene Bebauung mit verhältnismäßig hohen 3,5-geschossigen Gebäuden gekennzeichnet.

Typisch ist ein verwinkeltes Erschließungsnetz von Straßen und Gassen mit öffentlichen Plätzen. Abbildung 3.7 zeigt die Verteilung des Siedlungstypes 9 in der Stadt Wolfhagen. Tabelle 3.7 stellt die wichtigsten Charakteristika des Siedlungstypes zusammen.

3 Analyse Ausgangslage



Abb. 3.7: Beispiel für den Siedlungstyp 9 in Wolfhagen

Gebäudemerkmale	<ul style="list-style-type: none"> - Gebäudetypen - Baualter - Gebäudegrundfläche - \emptysetGebäudegrundfläche - Abst. zwischen den Geb. und Str. - \emptysetAbst. zwischen den Geb. und Str. - Geb. pro km² incl. gewerbl. Fläche 	EFH,ZFH,KMH bis 1918 66 – 2340 m ² 166 m ² 0 – 30 m 3 m 3252
Wärmebedarf	<ul style="list-style-type: none"> - \emptysetWärmebedarf je Geb. in MWh/a - Wärmebedarfsdichte in GWh/(km²*a) - \emptysetAnschlußwert je Gebäude in kW - Vollbenutzungsstunden in h/a - Beitrag zur Höchstlast am Wärmentz 	48,9 159,02 36,8 1329 21,9
Straßenmerkmale	<ul style="list-style-type: none"> - Abst. zwischen parallelen Straßen - \emptysetAbst. zw. den parallelen Str. - Abstand zwischen den Kreuzungen - \emptysetAbst. zwischen den Kreuzungen - Gesamtlänge der Straßen - Unterverteilnetzlänge m/Gebäude - Unterverteilnetzlänge m/km² 	15 – 125 m 51,1 m 36 – 235 m 93,6 m 28062 m 6 18314

Tab. 3.7: Charakteristik Siedlungstyp 9

Quelle:[Schaumann u. Schmitz 2010], [Roth 1980]

3.2.4 Siedlungstypbezogene Wärmebedarfssituation

Tabelle 3.8 stellt die Wärmebedarfssituation nach [Roth 1980] für den Urzustand zusammen. Für den aktuellen Zustand wurde nach [Sager u. Schmidt 2009] ein jährliche Effizienzrate von 0,8% angelegt. Die Wärmebedarfssituation bildet die Basis für die spätere Abschätzung der Wärmeverteilungskosten (siehe Tabell 4.1).

Abbildung 3.8 zeigt den durchschnittlichen Wärmebedarf je Gebäude und die Abnahme des Wertes durch die Effizienzmaßnahmen. Auffällig ist der hohe Wert des Siedlungstypes 6. Dieser ist auf die recht hohe Wohnfläche pro Gebäude zurück zu führen.

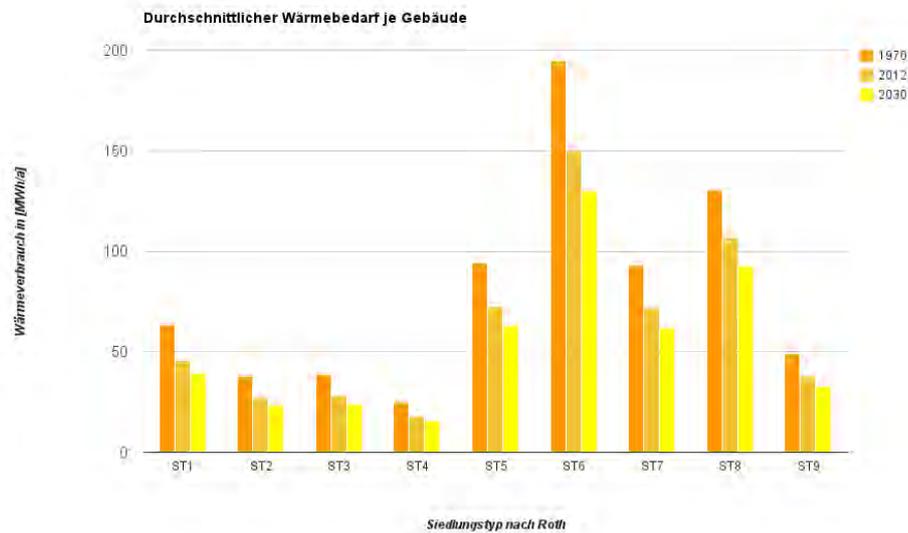


Abb. 3.8: Durchschnittlichen Wärmebedarf je Gebäude

Die Abbildung 3.9 zeigt die Wärmebedarfsdichten der einzelnen Siedlungstypen. Auffällig ist hier der geringe Wert für ST1 und der hohe Wert für ST8 und ST9. Dies ist durch die einerseits lockere und weit verteilte Bebauung (ST2) bzw. stark verdichtete (ST8 und ST9) Bauweise zurück zu führen. Auf die Auswirkungen dieser Bebauung auf die Wärmeverteilungskosten wird in 4.1 eingegangen.

3 Analyse Ausgangslage

Siedlungstyp gemäß U. Roth	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 Gebäude/km² incl. beh. gewerb	138	1143	1089	1813	689	536	1004	1506	3252
bei Anschlußgrad i. Endausbau	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	138	1143	1089	1813	689	536	1004	1506	3252
2 Unterverteilnetzlänge									
m/Gebäude	72	14	12	6	12	12	15	13	6
pro km² in m	9936	16002	13068	10878	8268	6432	15060	19578	19512
3 Urzustand (ungedämmter Zustand lt. Roth)									
durchschn. Wärmebedarf je Gebäude in MWh/a	63,5	38,0	38,9	25,2	94,2	194,7	93,2	130,6	48,9
Wärmebed.-Dichte (100%) in GWh/(km²*a)	8,76	43,43	42,36	45,69	64,9	104,36	93,57	196,68	159,02
Wärmebed.-Dichte (100%) in GWh/(km²*a)	8,76	43,43	42,36	45,69	64,9	104,36	93,57	196,68	159,02
4 durchschn. Anschlußwert je Gebäude (kW)	39,3	24,4	25,3	18,4	61,2	119,6	56,8	92	36,8
Vollbenutzungsstunden (h/a)	1616	1557	1538	1370	1539	1628	1641	1420	1329
Beitrag zur Höchstlast des Wärmenetzes	30,7	18,1	18,7	11,6	38,6	75,3	38,6	55,2	22,1
5 Gleichzeitig.-F. Bei etwa 100% Anschluß	0,78	0,74	0,74	0,63	0,63	0,63	0,68	0,60	0,60
6 Aktueller Zustand (nach gewiss. Dämmmaßnahmen)									
Minderungs-F. Bezogen auf Anschluß.-W. (2012)	0,72	0,72	0,72	0,72	0,77	0,77	0,77	0,82	0,77
durchschn. Anschlußwert je Gebäude (kW)	28,3	17,6	18,2	13,2	47,1	92,1	43,7	75,4	28,3
Beitrag zur Höchstlast des Wärmenetzes	22,1	13,0	13,5	8,3	29,7	58,0	29,7	45,3	17,0
durchschn. Wärmebedarf je Gebäude in MWh/a	45,7	27,4	28,0	18,1	72,5	149,9	71,8	107,1	37,7
Wärmebed.-Dichte (100%) in GWh/(km²*a)	6,3	31,3	30,5	32,9	50,0	80,4	72,1	161,3	122,4
7 Zustand in 2020 (bei jährlich 0,8% Effizienzsteigerung durch Dämmmaßnahmen)									
Minderungs-F. Bezogen auf Anschluß.-W. (2012)	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94
durchschn. Anschlußwert je Gebäude (kW)	26,5	16,5	17,1	12,4	44,2	86,4	41,0	70,7	26,6
Beitrag zur Höchstlast des Wärmenetzes	26,5	16,5	17,1	12,4	44,2	86,4	41,0	70,7	26,6
durchschn. Wärmebedarf je Gebäude in MWh/a	42,9	25,7	26,3	17,0	68,0	140,6	67,3	100,4	35,3
Wärmebed.-Dichte (100%) in GWh/(km²*a)	5,9	29,3	28,6	30,8	46,9	75,4	67,6	151,2	114,8
8 Zustand in 2030 (bei jährlich 0,8% Effizienzsteigerung durch Dämmmaßnahmen)									
Minderungs-F. Bezogen auf Anschluß.-W. (2012)	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87
durchschn. Anschlußwert je Gebäude (kW)	24,5	15,2	15,8	11,5	40,8	79,7	37,8	65,3	24,5
Beitrag zur Höchstlast des Wärmenetzes	19,1	11,3	11,7	7,2	25,7	50,2	25,7	39,2	14,7
durchschn. Wärmebedarf je Gebäude in MWh/a	39,6	23,7	24,2	15,7	62,8	129,7	62,1	92,7	32,6
Wärmebed.-Dichte (100%) in GWh/(km²*a)	5,5	27,1	26,4	28,5	43,2	69,5	62,4	139,6	106,0
9 Höchstl.-Wärmedichte in MW/km² 2012	3,0	14,9	14,7	15,1	20,5	31,1	29,9	68,2	55,3
Wärmedichte in MW/km² 2012	3,9	20,1	19,8	24,0	32,5	49,4	43,9	113,6	92,1
10 Höchstl.-Wärmedichte in MW/km² 2020	2,9	13,9	13,8	14,2	19,2	29,2	28,0	63,9	51,8
Wärmedichte in MW/km² 2020	3,7	18,8	18,6	22,5	30,4	46,3	41,2	106,5	86,4
11 Höchstl.-Wärmedichte in MW/km² 2030	2,6	12,9	12,7	13,1	17,7	26,9	25,8	59,0	47,8
Wärmedichte in MW/km² 2030	3,4	17,4	17,2	20,8	28,1	42,7	38,0	98,3	79,7
12 Netto Siedlungsfläche in Wolfhagen [km²]	1,080			0,017	0,111				0,140
Wärmebarf (2012) [GWh/a]	33,77			0,56	5,55				17,14
Wärmebarf (2020) [GWh/a]	31,67			0,52	5,2				16,08
Wärmebarf (2030) [GWh/a]	29,23			0,48	4,8				14,84
13 Höchstlast [MW] 2012	16,05			0,26	2,27				7,74
Höchstlast [MW] 2020	15,05			0,24	2,13				7,26
Höchstlast [MW] 2030	13,89			0,22	1,96				6,7

Tab. 3.8: Siedlungstypbezogene Wärmebedarfssituation

Quelle:[Roth 1980], eigene Weiterverarbeitung

3 Analyse Ausgangslage

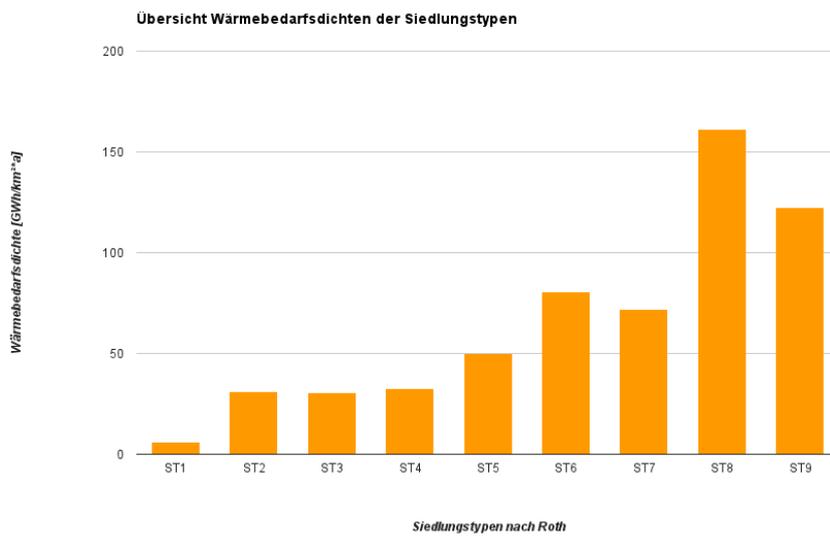


Abb. 3.9: Wärmebedarfsdichten der Siedlungstypen

4 Entwicklung Energieversorgungskonzepte

Für die 4 Stadtteile werden jeweils die spezifischen Kosten für den Aufbau und Betrieb eines Wärmenetzes ermittelt. Im nächsten Schritt werden 3 verschiedene Größen von KWK-Anlagen ($50kW_{el}$, $100kW_{el}$, $200kW_{el}$) mit je zwei unterschiedlichen Brennstoffarten (Erd- und Biogas), zwei Arten von Wärmepumpen (Sole-/Wasser und Wasser-/Wasser) mit jeweils ($12kW_{th}$, $38,4kW_{th}$, $60kW_{th}$) und als Referenzsystem Ölniedertemperaturkessel ökonomisch und ökologisch verglichen. Zur Auswahl und Dimensionierung technisch sinnvoller Energieversorgungsvarianten erfolgt ausgehend von den Auslegungsgrundlagen und der Festlegung der Bedarfswerte zunächst die Aufstellung der technisch denkbaren Versorgungsvarianten. In einer ersten Bewertung werden anhand von Überschlagsrechnungen die technisch sinnvoll realisierbaren Varianten ausgewählt. Für die Versorgung durch KWK-Anlagen ist es notwendig ein Nahwärmenetz zu konstruieren. Nachfolgend werden die Kosten für ein solches Netz in den unterschiedlichen Siedlungstypen dargestellt. Die Ergebnisse fließen in die Vollkostenrechnung der Ökonomischen Betrachtung ein.

4.1 Aufbau, Auslegung und Kosten Peripherie

Unter dem Begriff Nahwärme werden im allgemeinen Sprachgebrauch kleinere Wärmeverteilungsnetze zusammengefaßt, die typischerweise maximale Vorlauftemperaturen von $90^{\circ}C$ und einen maximalen Druck von $5Bar$ nicht überschreiten. Es handelt sich um zentrale Wärmeversorgungslösungen, die den Anschluss weniger Einzelobjekte bis hin zu Siedlungen enthalten. Die Abgrenzung zur Fernwärmeversorgung, die sich auf die Versorgung großer Stadtgebiete aus Heizkraftwerken bezieht, geht aus der Literatur nicht klar hervor und wird nicht einheitlich gehandhabt. Daher wird in dieser Arbeit durchgängig der Begriff Nahwärme gewählt.

Die Vermutung, dass höhere Wärmedichten stets vorteilhaft sind, berücksichtigt nicht die zur Erschließung dieses Potenzials notwendigen Verteilungskosten. So bedingen zum Beispiel Siedlungsstrukturen mit höheren Wärmedichten in der Regel auch höhere Kosten hinsichtlich der Leitungsverlegung [Eikmeier u. Schulz 2004]. Für die Kostenberechnung wird deshalb der Aufwand für die Erschließung des vorhandenen Wärmebedarfs berechnet. Dazu werden zunächst die infrastrukturellen Kosten einer Nahwärmebereitstellung aufsummiert: dies

4 Entwicklung Energieversorgungskonzepte

umfasst Kosten für das Nahwärmenetz, für die Anschlussleitungen zu den einzelnen Gebäuden sowie für die Hausübergabestationen.

4.1.1 Kosten Nahwärmenetz

Die Kosten eines Nahwärmenetzes und damit die Konkurrenzfähigkeit gegenüber anderen Wärmeversorgungssystemen ist in erheblichem Maße von den Anschluß- bzw. Verteilkosten der Wärme abhängig. Diese Wärmeverteil- und Anschlußkosten variieren stark in Abhängigkeit der Versorgungsaufgabe und der vorhandenen Infrastruktur z. B. Straßenverlauf oder Bebauungsstruktur.

In erster Linie sind die Anschlußkosten von der Länge der Trasse und der zu transportierenden Wärmemenge abhängig, da diese direkt mit der DN (Nennweite) der zu verlegenden Wärmeleitung korreliert. Der mittlere Durchmesser der Leitungen hängt von der Größe des zu versorgenden Gebietes und damit von der thermischen Leistung der Heizzentrale sowie von der mittleren Größe und dem Wärmebedarf der angeschlossenen Gebäude ab. Ersteres bestimmt den Durchmesser der Hauptleitungen in der Nähe der Heizzentrale, letzteres den Durchmesser der Hausanschlussleitungen. Zusätzlich beeinflussen die strukturellen örtlichen Gegebenheiten die Kosten. In Stadtzentren ist das Verlegen von Wärmeleitungen wesentlich kostenintensiver als in ländlichen Gebieten, da einerseits die Dichte bereits vorhandener Leitungen und Kabel sehr hoch und eine Verlegung zusätzlicher Leitung wesentlich komplexer ist. Zum anderen ist auch der Straßenaufbruch bzw. der anschließende -aufbau bedeutend aufwändiger. Vergleiche zwischen Kostenauswertungen im MAP [Esch u. a. 2011], in dessen Rahmen überwiegend Wärmenetze im ländlichen Raum gefördert wurden, und Erfahrungen von Ingenieurbüros mit der bisher in Deutschland üblichen Verlegung in städtischen Gebieten zeigen jedoch, dass der Einfluss der örtlichen Gegebenheiten auf die Baukosten deutlich größer ist als der Einfluss einer größeren Nennweite. Der Zusammenhang zwischen DN und Verlegekosten ist in Abbildung 4.1 dargestellt. Auffällig sind die geringen Kosten im ländlichen Raum und die geringen Kosten in Finnland, wo die Wärmedichten deutlich niedriger sind als bei der in Deutschland üblichen Fernwärmeerschließung im städtischen Raum. Die geringen Kosten in skandinavischen Ländern (z.B. Dänemark und Finnland) erklären sich zum Teil dadurch, dass dort der Anteil von Fernwärme auch in Gebieten außerhalb der Stadtzentren recht hoch ist.

4 Entwicklung Energieversorgungskonzepte

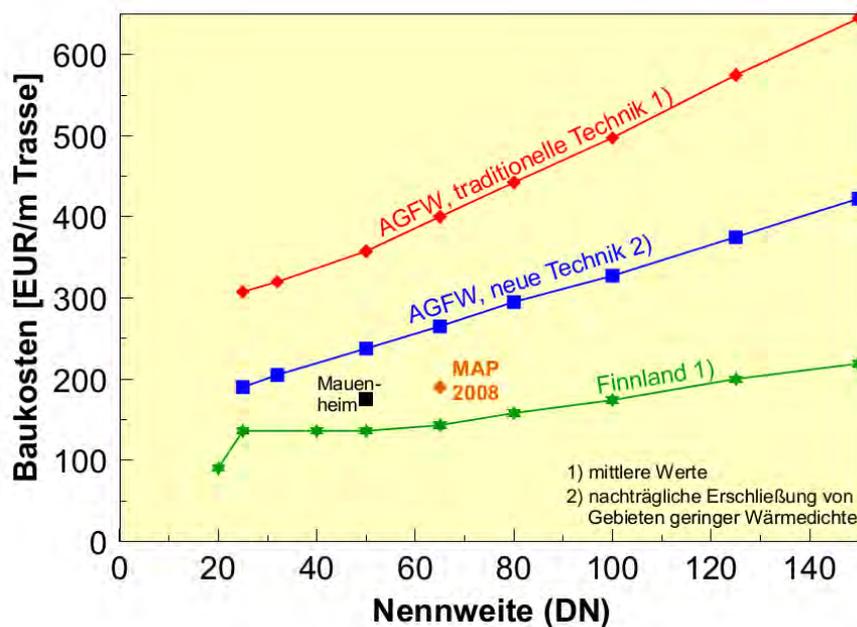


Abb. 4.1: Abhängig der Baukosten vom Nenndurchmesser

Quelle: [Esch u. a. 2011, S.44]

Ein weiterer Kostenfaktor für die Verlegung ist der systemische Aufbau des Netzes. Im Allgemeinen unterscheidet man für die Verteilung von Wärme drei Netzsysteme. Diese sind:

- **Strahlennetz:** Beim Strahlennetz verästeln sich die von der Wärmeerzeugungsanlage abgehenden Leitungen wie bei einem Baum. Den günstigen Baukosten steht der Nachteil gegenüber, daß bei Rohrbruch, Reparaturarbeiten etc. alle unterhalb der Schadstelle liegende Verbraucher nicht mehr versorgt werden können.
- **Ringnetz:** Das Ringnetz besteht aus einem Ring von dem einzelne Strahlensysteme abgehen. Durch die Ringform können mehrere Erzeugeranlagen eingebunden werden. Da die meisten Kunden über zwei Leitungswege zu erreichen sind, wirken sich Störungen häufig nur auf ein Teilgebiet aus. Die Versorgungssicherheit wird erhöht.
- **Vermaschtes Netz:** Das vermaschte Netz ist eine verbesserte Form des Ringnetzes, bei dem parallele Verbindungsleitungen an den Ring angeschlossen werden. Die Versorgungssicherheit ist damit am größten.

Das Netzsystem ist meistens von der Größe, dem Versorgungsgrad eines Gebietes und der Einbindung von Wärmeerzeugern abhängig. Strahlennetze und Ringnetze werden daher hauptsächlich für die Nahwärmeversorgung eingesetzt. Die Struktur des Netzes wird durch die städtebaulichen Gegebenheiten z.

4 Entwicklung Energieversorgungskonzepte

B. Straßenführung oder die räumliche Anordnung der Häuser beeinflusst. Abbildung 4.2 stellt die üblichen Verlegearten bildlich dar.

Für die Stadt Wolfhagen wird ein Ringnetz präferiert, dies ist zwar kosten-trächtiger, ermöglicht aber die spätere Einbindung weiterer Wärmerezeuger (auch regenerativer) an verschiedenen Netzpunkten. Außerdem ist es leicht erweiterbar und bietet, durch den Ringschluß eine hohe Versorgungssicherheit.

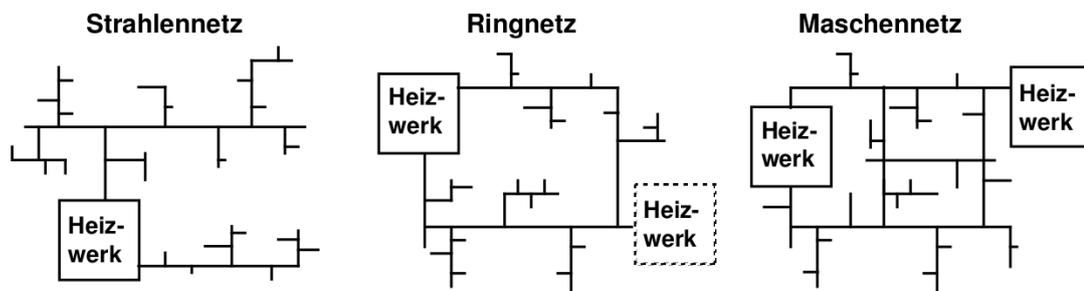


Abb. 4.2: Netzformen Wärmeverteilung

Quelle:[Dötsch u. a. 1998, S.39]

Um der Zur Parametrisierung der Baukosten wurde in der Potenzialanalyse [Esch u. a. 2011] ein Potenzansatz entwickelt. Dieser Potenzansatz bildet die deutlich höheren Verlegekosten von Wärmeleitungen in verdichteten Siedlungsstrukturen im Gegensatz zu weniger verdichteten Strukturen ab. Für die Ermittlung der Basiskosten wurde dieser Potenzansatz in folgender Form angewandt:

$$\text{Baukosten}[\text{€/m}] = 180\text{€/m} * (q_{Trasse}/600\text{kWh}/(\text{m} * \text{a}))^{0,4}$$

Für diesen Ansatz wurden die Kosten und der Wärmeabsatz des Bioenergiedorfes Mauenheim als Ausgangswerte verwendet. Der im jeweiligen Versorgungsgebiet erreichbare Wärmeabsatz q_{Trasse} ist dabei abhängig vom vorhandenen Wärmebedarf.

4.1.2 spezifische Pumparbeit

Ein ebenso wichtiger Kostenfaktor für den Betrieb eines Nahwärmenetzes ist die zur Verteilung nötige Pumparbeit. Die spezifische Pumparbeit [$\text{kWh}_{el}/\text{MWh}_{th}$] fließt in die Wärmeverteilungskostenberechnung unter Punkt 10 ein (siehe Tabell 4.1). Aus der spezifischen Pumparbeit wird ein Aufschlag, nach aktuellem Strompreis, für die variablen Kosten ermittelt. Die Zahlenformel für die Pumparbeit wird aus den Formeln für die Pumpleistung ($P = \Delta p/\eta$) und Wasservolumenstrom ($V = Q_H/(\rho c \Delta t)$) hergeleitet.

4 Entwicklung Energieversorgungskonzepte

Für die Pumpenleistung ergibt sich daraus:

$$P_P = \frac{10^5}{\rho * c * \eta} * Q_H * \frac{\Delta p}{\Delta t} = 35,43 * Q_H * \frac{\Delta p}{\Delta t} [kW]$$

Für die spezifische Pumparbeit:

$$w_p = 35,43 * \frac{t_P}{t_H} * \frac{\Delta p}{\Delta t} [kW H_{el} / MWh_{th}]$$

Hier bedeuten:

Q_H ... Netzhöchstlast in *MW*

ρ ... Wasserdichte (960 kg/m^3)

c ... spezifische Wärme des Wassers ($4,2 \text{ kJ}/(\text{kg} * \text{K})$)

η ... Pumpenwirkungsgrad (eingesetzt 0,7)

t_P ... Benutzungsdauer der Pumpenleistung (4.500 h/a)

t_H ... Benutzungsdauer der Netzhöchstlast in *h/a*

Δp ... Druckerhöhung der Pumpe (6 Bar)

Δt ... Temperaturspreizung in *K*

4.1.3 Abschätzung der Wärmeverteilkosten

Für die Abschätzung des Wärmeverteilkosten wurde ein Excel-Tool mit oben genannten Parameteransätzen erarbeitet. Die Ergebnisse der Abschätzung der Wärmeverteilkosten für verschieden Siedlungstypen stellt Tabelle 4.1 zusammen. Für die Berechnung wurde ein Zinssatz von 5% und eine Lebensdauer für das Wärmenetz von 30 Jahren bei einem Anschlussgrad von 100% angenommen. Das Tool ermöglicht eine dynamische Berechnung z.B. für einen anderen Zinssatz, Lebensdauer oder Anschlussgrad des Netzes.

4 Entwicklung Energieversorgungskonzepte

Siedlungstyp gemäß U. Roth	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 Wärmedichte (2012) in MW/km²	3,9	20,1	19,8	24,0	32,5	49,4	43,9	113,6	92,1
Wärmedichte (2012) nach Anschlussgrad in MW/km ²	3,9	20,1	19,8	24,0	32,5	49,4	43,9	113,6	92,1
2 Jahreswärmebedarf (2012) in GWh/(km²*a)	6,31	31,27	30,5	32,9	49,98	80,36	72,05	161,28	122,45
Jahreswärmebedarf (2012) nach Anschlussgrad in GWh/(km ² *a)	6,31	31,27	30,5	32,9	49,98	80,36	72,05	161,28	122,45
3 Kosten Wärmetrasse pro m in €	Baukosten [€/m] = 180 € * (qTrasse / 600 kWh / (m * a)) ^ 0,4								
Vollanschluss	184	289	310	344	453	606	413	513	460
bei 100% Anschlussgrad	184	289	310	344	453	606	413	513	460
4 Inv.-Kosten für die Unterverteilung In T€/km²	1830	4619	4050	3739	3749	3900	6220	10049	8982
Inv.-Kosten für die Unterverteilung In T€/km ² bei 100% Anschlussgrad	1830	4619	4050	3739	3749	3900	6220	10049	8982
spez. Inv.-Kosten für die Untervert. In T€/MW-Höchstlast	469	230	204	156	115	79	142	88	97
spez. Inv.-Kosten für die Untervert. in T€/MW-Höchstlast bei 100% Anschlussgrad	469	230	204	156	115	79	142	88	97
5 Inv.-Kosten für Hausanschlüsse:									
Anschlusslänge in m		8,0	6,0	8,0	10,0	15,0	10,0	8,0	6
Anschlüsse/km ² Endausbau	138	1143	1089	1813	689	536	1004	1506	3252
Anschlüsse/km ² bei 100% Anschlussgrad	138	1143	1089	1813	689	536	1004	1506	3252
spez. Investitionskosten (€/m)		275	275	275	400	400	400	400	400
Inv.-Kosten für Anschl.(T€/km ²)		2515	1797	3989	2756	3216	4016	4819	7805
Inv.-Kosten für Anschl. nach Anschlussgrad 100% in (T€/km ²)		2515	1797	3989	2756	3216	4016	4819	7805
6 spez. Inv.-Kosten für die Anschlussleitung In T€/MW-Höchstlast (2012)	169	122	264	135	103	134	71	141	141
spez. Inv.-Kosten für die Anschlussleitung In T€/MW-Höchstlast bei 100% Anschlussgrad	169	122	264	135	103	134	71	141	141
spez. Inv.-Kosten für die Untervert. u. d. Anschlussleitung in T€/MW-Höchstlast	399	327	419	250	182	276	159	239	239
spez. Inv.-Kosten für die Untervert. u. d. Anschlussleitung In T€/MW-Höchstlast bei 100% Anschlussgrad	399	327	419	250	182	276	159	239	239
7 Wärmeverluste im Unterverteilnetz:	1,115*200^(-0,2)*(Q/T)^(0,4)								
Unterverteilnetzlänge (m/km ²)	9936	16002	13068	10878	8268	6432	15060	19578	19512
Mittlere Durchm. bei Vollanschl. Und Temp.-Spreiz.70 K (mm)	110,3	207,9	206,9	209,4	236,2	279,3	274,8	382,3	351,6
Länge Anschlussleitung Endausbau (m/km ²)	9144,0	6534,0	14504,0	6890,0	8040,0	10040,0	12048,0	19512,0	19512,0
Längeanschlussleitung 100% Anschlussgrad (m/km ²)	9144,0	6534,0	14504,0	6890,0	8040,0	10040,0	12048,0	19512,0	19512,0
spez. Wärmeverluste in W/m									
VL des UV-Netzes	13,2	15,2	15,2	15,6	16,3	17,2	16,9	15,6	17,0
RL des UV-Netzes	7,6	8,8	8,8	9,1	9,5	10,0	9,9	9,0	9,9
VL der HA-Leitung	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7
RL der HA-Leitung	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1
Summe der Wärmeverluste Endausbau (kW/km ²)	537,7	423,4	512,4	329,1	310,0	572,3	684,0	852,7	852,7
Summe der Wärmeverluste bei 100% Anschlussgrad (kW/km ²)	537,7	423,4	512,4	329,1	310,0	572,3	684,0	852,7	852,7
8 Summe der Wärmeverluste bei gleit. Fahrw. Und 100% Anschlussgrad (MWh/(km²*a))	3215	2598	3020	1930	1905	3453	4029	4916	4916
Summe der Wärmeverluste bei gleit. Fahrw. und 100% Anschlussgrad (MWh/(km ² *a))	3215	2598	3020	1930	1905	3453	4029	4916	4916
Transportverlust als Anteil der verteilten Wärme Endausbau	10,28%	8,52%	9,18%	3,86%	2,37%	4,79%	2,50%	4,01%	4,01%
9 Einzuspeisende Wärme im Endausbau (GWh/(km²*a))	34	32	35	51	81	74	162	125	125
Einzuspeisende Wärme bei 100% Anschlussgrad (GWh/(km ² *a))	34	32	35	51	81	74	162	125	125
10 Pumpstromverbrauch	wp= 35,43*(tp/th)^(dp/dt)								
Pumpstrom im Endausbau (kWh/MWh _m)	8	9	9	10	9	8	8	10	10
Pumpstrom bei 100% Anschlussgrad	8	9	9	10	9	8	8	10	10
11 Verteilkosten pro Wärmeinheit									
Annuität in €/MWh	Zinsen: 5 %		Lebensdauer: 30 Jahre						
bezogen auf den Endausbau	18,78	20,16	22,36	29,5	39,44	26,87	33,39	29,95	29,95
bezogen auf 100% Anschlussgrad	18,78	20,16	22,36	29,5	39,44	26,87	33,39	29,95	29,95
Unterverteilung (T€/a)	300	263	243	244	254	405	654	584	584
Unterverteilung bei 100% Anschlussgrad (T€/a)	300	263	243	244	254	405	654	584	584
Hausanschlüsse (T€/a)	164	117	259	179	209	261	313	508	508
Hausanschlüsse bei 100% Anschlussgrad (T€/a)	164	117	259	179	209	261	313	508	508
Pumpstation und Strom (€/MWh)	3,25	3,29	3,69	3,29	3,11	3,08	3,56	3,80	3,80
für Verw. Vertrieb (€/MWh)	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
12 Abgezinst spez. Wärmeverteilungskosten (€/MWh)	24,04	25,46	28,08	34,79	44,55	31,96	38,96	35,78	35,78
Abgezinst spez. Wärmeverteilungskosten bei 100% Anschlussgrad (€/MWh)	24,04	25,46	28,08	34,79	44,55	31,96	38,96	35,78	35,78

Tab. 4.1: Abschätzung der Wärmeverteilungskosten nach Siedlungstyp

Siedlungstyp 2

Für den ST2 wird für das Jahr 2012 eine spezifische Wärmebedarfsdichte von $20 \text{ MW}/\text{km}^2$ errechnet. Bei einer Nettosiedlungsfläche¹ von $1,08 \text{ km}^2$ [Negash 2009] ergibt sich für den Wärmebedarf ein Wert von $33,77 \text{ GWh}/\text{a}$ für das Jahr 2012. Bei einer angelegten Effizienzrate von 0,8% ergibt sich ein Wärmebedarf von $31,67 \text{ GWh}/\text{a}$ bzw. von $29,23 \text{ GWh}/\text{a}$ für 2020 bzw. 2030. Damit hätte das Nahwärmenetz für das Jahr 2012 eine prognostizierte Höchstlast von $16,05 \text{ MW}$ diese fällt für das Jahr 2020 auf $15,05 \text{ MW}$ und für 2030 auf $13,89 \text{ MW}$.

Die spezifischen Kosten für die Unterverteilung würden aktuell 230.000 €/MW -Höchstlast betragen. Die Kosten für die Hausanschlüsse wurden mit $2.515.000 \text{ €/km}^2$ veranschlagt. Für die Anschlussleitung selber wurden spezifische Kosten von 169.000 €/MW -Höchstlast berechnet.

Damit ergibt sich für den Aufbau eines Wärmenetzes im ST2, bei einer Nettosiedlungsfläche von $1,08 \text{ km}^2$, für die Anschlussleitung $2.712.000 \text{ €}$, für die Unterverteilung $3.692.000 \text{ €}$ und für die Hausanschlüsse $2.716.000 \text{ €}$. Die Gesamtinvestition würde $9,12 \text{ Mio. €}$ betragen.

Bei einem Zinssatz von 5% und einer Lebensdauer von 30 Jahren würden sich abgezinste spezifische Wärmeverteilungskosten von $24,04 \text{ €/MWh}$ ergeben. Dabei wurden die Pumpstromkosten mit $3,25 \text{ €/MWh}$ berechnet und für Verwaltung und Vertrieb Kosten von 2 €/MWh veranschlagt.

Siedlungstyp 4

Für den ST4 wird für das Jahr 2012 eine spezifische Wärmebedarfsdichte von $24 \text{ MW}/\text{km}^2$ errechnet. Bei einer Nettosiedlungsfläche von $0,017 \text{ km}^2$ [Negash 2009] ergibt sich für den Wärmebedarf ein Wert von $0,56 \text{ GWh}/\text{a}$ für das Jahr 2012. Bei einer angelegten Effizienzrate von 0,8% ergibt sich ein Wärmebedarf von $0,52 \text{ GWh}/\text{a}$ bzw. von $0,48 \text{ GWh}/\text{a}$ für 2020 bzw. 2030. Damit hätte das Nahwärmenetz für das Jahr 2012 eine prognostizierte Höchstlast von $0,26 \text{ MW}$ diese fällt für das Jahr 2020 auf $0,24 \text{ MW}$ und für 2030 auf $0,22 \text{ MW}$.

Die spezifischen Kosten für die Unterverteilung würden aktuell 156.000 €/MW -Höchstlast betragen. Die Kosten für die Hausanschlüsse wurden mit $3.989.000 \text{ €/km}^2$ veranschlagt. Für die Anschlussleitung selber wurden spezifische Kosten von 264.000 €/MW -Höchstlast berechnet.

Damit ergibt sich für den Aufbau eines Wärmenetzes im ST4, bei einer Nettosiedlungsfläche von $0,017 \text{ km}^2$, für die Anschlussleitung 68.000 € , für die

¹Die Nettosiedlungsfläche ist der Teil des Nettobaulandes, der für Wohnungen bestimmt ist bzw. mit Wohngebäuden bebaut ist.

4 Entwicklung Energieversorgungskonzepte

Unterverteilung 40.000 € und für die Hausanschlüsse 68.000 €. Die Gesamtinvestition würde 176.000 € betragen.

Bei einem Zinssatz von 5% und einer Lebensdauer von 30 Jahren würden sich abgezinste spezifische Wärmeverteilungskosten von 28,08 €/MWh ergeben. Dabei wurden die Pumpstromkosten mit 3,69 €/MWh berechnet und für Verwaltung und Vertrieb Kosten von 2 €/MWh veranschlagt.

Siedlungstyp 5

Für den ST5 wird für das Jahr 2012 eine spezifische Wärmebedarfsdichte von 32,5 MW/km² errechnet. Bei einer Nettosiedlungsfläche von 0,111 km² [Negash 2009] ergibt sich für den Wärmebedarf ein Wert von 5,55 GWh/a für das Jahr 2012. Bei einer angelegten Effizienzrate von 0,8% ergibt sich ein Wärmebedarf von 5,2 GWh/a bzw. von 4,8 GWh/a für 2020 bzw. 2030. Damit hätte das Nahwärmenetz für das Jahr 2012 eine prognostizierte Höchstlast von 2,7 MW diese fällt für das Jahr 2020 auf 2,13 MW und für 2030 auf 1,96 MW.

Die spezifischen Kosten für die Unterverteilung würden aktuell 115.000 €/MW-Höchstlast betragen. Die Kosten für die Hausanschlüsse wurden mit 2.756.000 €/km² veranschlagt. Für die Anschlussleitung selber wurden spezifische Kosten von 135.000 €/MW-Höchstlast berechnet.

Damit ergibt sich für den Aufbau eines Wärmenetzes im ST5, bei einer Nettosiedlungsfläche von 0,111 km², für die Anschlussleitung 306.000 €, für die Unterverteilung 262.000 € und für die Hausanschlüsse 306.000 €. Die Gesamtinvestition würde 874.000 € betragen.

Bei einem Zinssatz von 5% und einer Lebensdauer von 30 Jahren würden sich abgezinste spezifische Wärmeverteilungskosten von 34,79 €/MWh ergeben. Dabei wurden die Pumpstromkosten mit 3,29 €/MWh berechnet und für Verwaltung und Vertrieb Kosten von 2 €/MWh veranschlagt.

Siedlungstyp 9

Für den ST9 wird für das Jahr 2012 eine spezifische Wärmebedarfsdichte von 92,1 MW/km² errechnet. Bei einer Nettosiedlungsfläche von 0,14 km² [Negash 2009] ergibt sich für den Wärmebedarf ein Wert von 17,14 GWh/a für das Jahr 2012. Bei einer angelegten Effizienzrate von 0,8% ergibt sich ein Wärmebedarf von 16,08 GWh/a bzw. von 14,84 GWh/a für 2020 bzw. 2030. Damit hätte das Nahwärmenetz für das Jahr 2012 eine prognostizierte Höchstlast von 7,74 MW diese fällt für das Jahr 2020 auf 7,26 MW und für 2030 auf 6,7 MW.

4 Entwicklung Energieversorgungskonzepte

Die spezifischen Kosten für die Unterverteilung würden aktuell 97.000 €/MW-Höchstlast betragen. Die Kosten für die Hausanschlüsse wurden mit 7.805.000 €/km² veranschlagt. Für die Anschlussleitung selber wurden spezifische Kosten von 141.000 €/MW-Höchstlast berechnet.

Damit ergibt sich für den Aufbau eines Wärmenetzes im ST5, bei einer Nettosiedlungsfläche von 0,14 km², für die Anschlussleitung 1.093.000 €, für die Unterverteilung 754.000 € und für die Hausanschlüsse 1.93.000 €. Die Gesamtinvestition würde 2,94 Mio. € betragen.

Bei einem Zinssatz von 5% und einer Lebensdauer von 30 Jahren würden sich abgezinste spezifische Wärmeverteilungskosten von 35,79 €/MWh ergeben. Dabei wurden die Pumpstromkosten mit 3,80 €/MWh berechnet und für Verwaltung und Vertrieb Kosten von 2 €/MWh veranschlagt.

4.2 Konzeptionierung der Versorgungsanlagen

Wärmeerzeugungssysteme werden, nach [VDI 2012], für eine Nutzungsdauer von 15 bis 25 Jahren ausgelegt. Für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wird eine Nutzungsdauer von 16 Jahren und eine Vollbenutzungsdauer von 5000h/a veranschlagt.

4.2.1 Investitionskosten Blockheizkraftwerk

Ein BHKW (Blockheizkraftwerk) ist ein kleineres HKW (Heizkraftwerk), welches für die Bedarfsdeckung in einem räumlich begrenzten Versorgungsgebiet ausgelegt ist. Üblicherweise besteht ein BHKW aus einer Kombination von Verbrennungsmotor. Anstelle der VM können auch kleine Gasturbinen, Mikrogasturbinen oder Brennstoffzellen eingesetzt werden. AGFW [2011] KWK

KWK-Anlagen zeichnen sich durch eine besonders rationelle Energieumwandlung aus. Bei der Erzeugung von mechanischer Energie durch Verbrennung entsteht ein großes Wärmepotential, welches z.B. bei der Stromerzeugung in konventionellen Großkraftwerken häufig ungenutzt an die Umgebung abgegeben wird. In diesen Fällen ist dann zusätzlich Primärenergie zur Deckung des Wärmebedarfs erforderlich.

Fahrweise einer KWK-Anlage Wärmegeführt Stromgeführt hier Wärmegeführt und parallel an Stromnetz.

Für die Investitionskosten der verschiedenen KWK-Anlagen werden die Marktdaten aus dem aktuellen ASUE Bericht 2011 [Arthkamp u. a. 2011] zugrundegelegt.

4 Entwicklung Energieversorgungskonzepte

Abbildung 4.3 zeigt die Regressionskurve des spezifischen Richtpreises für Erdgas Kraft-Wärme-Kopplungs Anlagen.

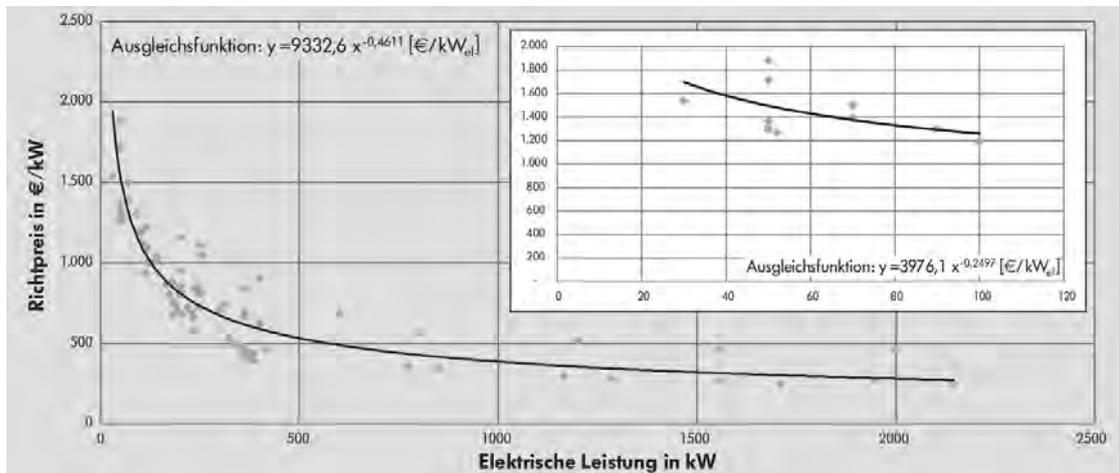


Abb. 4.3: Spezifischer Richtpreis für Erdgas Kraft-Wärme-Kopplungs Anlagen

Quelle:[Arthkamp u. a. 2011, S.12]

Abbildung 4.4 zeigt die Regressionskurve des spezifischen Richtpreises für Biogas Kraft-Wärme-Kopplungs Anlagen.

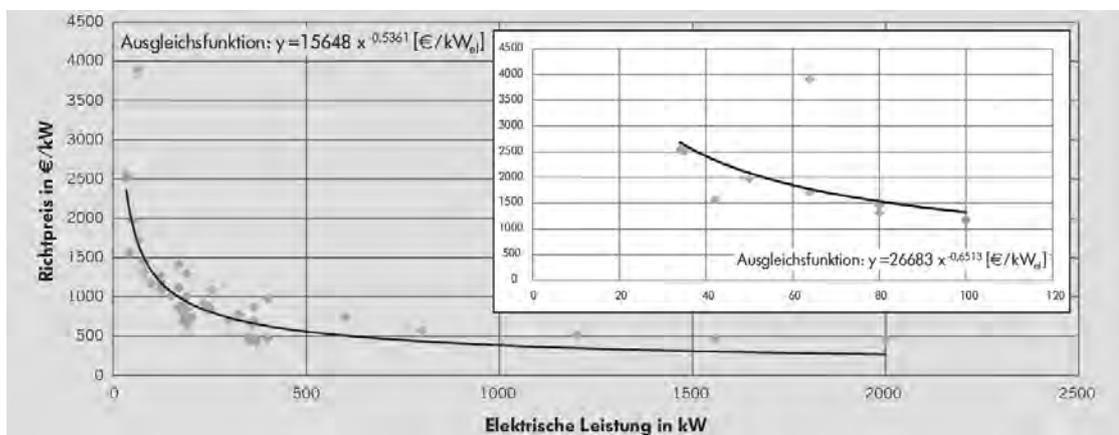


Abb. 4.4: Spezifischer Richtpreis für Biogas Kraft-Wärme-Kopplungs Anlagen

Quelle:[Arthkamp u. a. 2011, S.12]

4.2.2 Investitionskosten Wärmepumpe

Ausschlaggebend für die Investitionskosten einer Wärmepumpenanlage sind zum einen der Gerätepreis, der abhängig von der Heizleistung der Anlage ist, und zum anderen die Kosten für die Wärmequellenerschließung. Für Sole-Wasser-Wärmepumpen fallen Kosten für die Bohrung und das Verlegen der Erdsonden an. Neben der Bauausführung durch einen zertifizierten Fachbetrieb werden in der Regel noch entsprechende Genehmigungen oder Gutachten für die Erdbohrungen bzw. für die Nutzung des Grundwassers benötigt. Die Kosten für die Wärmequellenerschließung machen somit bei der Nutzung dieser Wärmequellen einen großen Anteil der Gesamt Investitionskosten aus. Bei der Installation einer Wärmepumpenheizung fallen in der Regel noch weitere Kosten an, z.B. für die Installation eines Pufferspeichers oder Trinkwasserspeichers, für Umwälzpumpen, Ventile, Heizungsrohre sowie deren Montage. [Platt u. a. 2010, S.54]

Ein Vergleich der Investitionskosten mit dem Gerätepreis zeigt den hohen Kostenanteil für die Wärmequellenerschließung bei erdgekoppelten Anlagen. Während bei den Luft-Wasser-Wärmepumpen der Gerätepreis 80 bis 85 Prozent der Investitionskosten ausmacht, liegt der Gerätepreisanteil bei den erdgekoppelten Anlagen je nach Gebäudeart bei rund 50 bis 60 Prozent der Investitionskosten. Die übrigen 40 bis 50 Prozent der Investitionskosten machen bei diesem Anlagentyp die Kosten für die Wärmequellenerschließung sowie für die weiteren Installations- und Montagearbeiten auf Wärmesenkenseite aus (siehe Abb. 4.5). [Platt u. a. 2010, S.57]

Jahresarbeitszahl

Ein weitere wichtiger Faktor für die wirtschaftliche, ökologische und energetische Bewertung einer Wärmepumpe stellt die Jahresarbeitszahl dar. Für die Berechnung der JAZ (Jahresarbeitszahl) und zur Bewertung der Effizienz von Wärmepumpenanlagen wird die Leistungszahl COP (coefficient of performance) herangezogen. Diese wird nach DIN 255 bzw. DIN 14511 ermittelt. In der Praxis ist die JAZ gebräuchlicher als die COP, da diese Verhältnis der in einem Jahr erzeugten Energie für Heizung und Warmwasser zu der aufgewandten elektrischen Energie für den Verdichter und die Hilfsenergien darstellt. Für die verwendeten JAZ wird auf die Auswertung eines Feldtestes des ISE (Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme) [Miara u. a. 2011] zurückgegriffen. In dieser Auswertung wurden die Hilfsenergie für die Solepumpe/Ventilator, die Steuerung und Regelung sowie die elektrische Zusatzheizung berücksichtigt.

4 Entwicklung Energieversorgungskonzepte

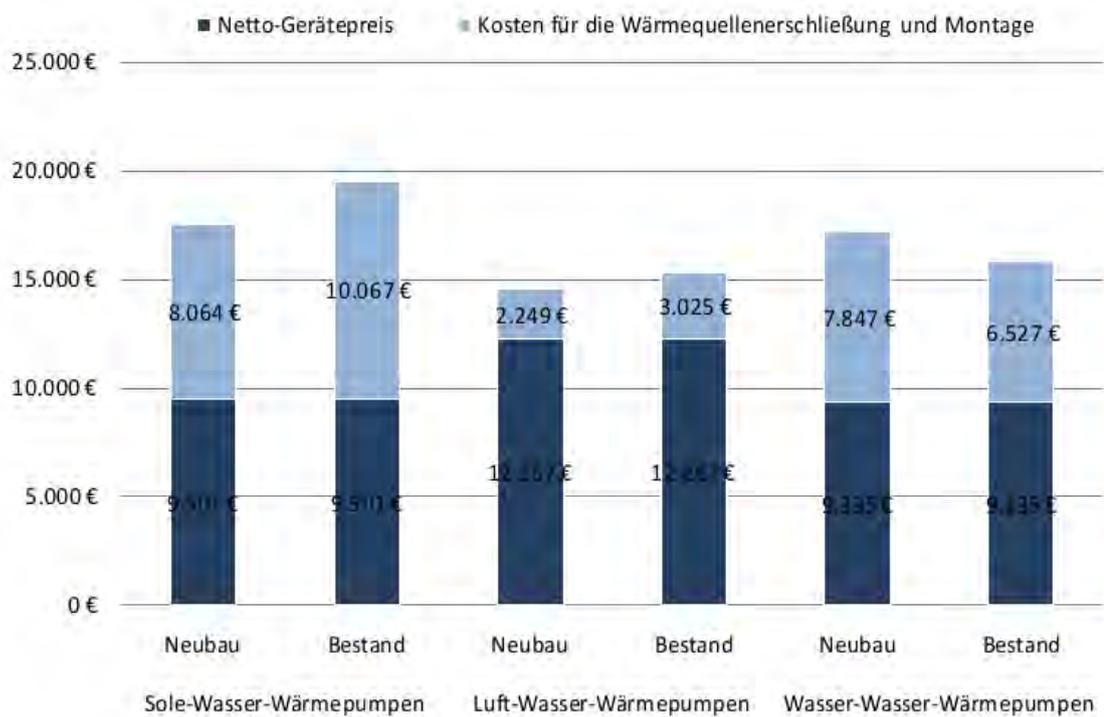


Abb. 4.5: Gerätekosten und Kosten für die Wärmequellenerschließung

Quelle:[Platt u. a. 2010, S.57]

Arbeitszahl Erdreich/Wasser Wärmepumpen

Das Bild 4.6 veranschaulicht den Verlauf der monatlichen sowie jährlichen Arbeitszahlen von Erdreich-Wärmepumpen und zeigt ferner die Effizienz über den kompletten Betrachtungszeitraum von Juli 2007 bis Juni 2010. Die Monatsarbeitszahlen und die Gesamtarbeitszahl werden in grünen, die Jahresarbeitszahlen in grauen Balken dargestellt. Die Jahresarbeitszahlen beziehen sich jeweils auf einen Zeitraum von Juli bis Juni. Die Zahlen auf den Balken entsprechen der Anzahl der jeweils ausgewerteten Wärmepumpen. Die Aufteilung der monatlich bereitgestellten thermischen Energie, getrennt in Energie für Heizwärme und Trinkwarmwasser, wird mittels rot-blauen Balken (absolut) und Kreisen (relativ) dargestellt. Über den gesamten Projektzeitraum erreichen die Erdreich-Wärmepumpen eine mittlere Arbeitszahl von 3,88. Mit dieser Effizienz wurde in den drei Jahren thermische Energie bereitgestellt, die zu 82% für Heizwärme und zu 18% für die Trinkwassererwärmung genutzt wurde. Die Anzahl der in der Auswertung berücksichtigten Wärmepumpen stieg von zehn zu Beginn der Untersuchung auf maximal 56 Anlagen an.

Das Bild 4.7 stellt die Bandbreite der von einzelnen Anlagen erreichten Arbeitszahlen dar. Das Balkendiagramm veranschaulicht die Effizienzwerte der 56 Erdreich-Wärmepumpen für den Gesamtzeitraum sowie die jeweilige Jah-

4 Entwicklung Energieversorgungskonzepte

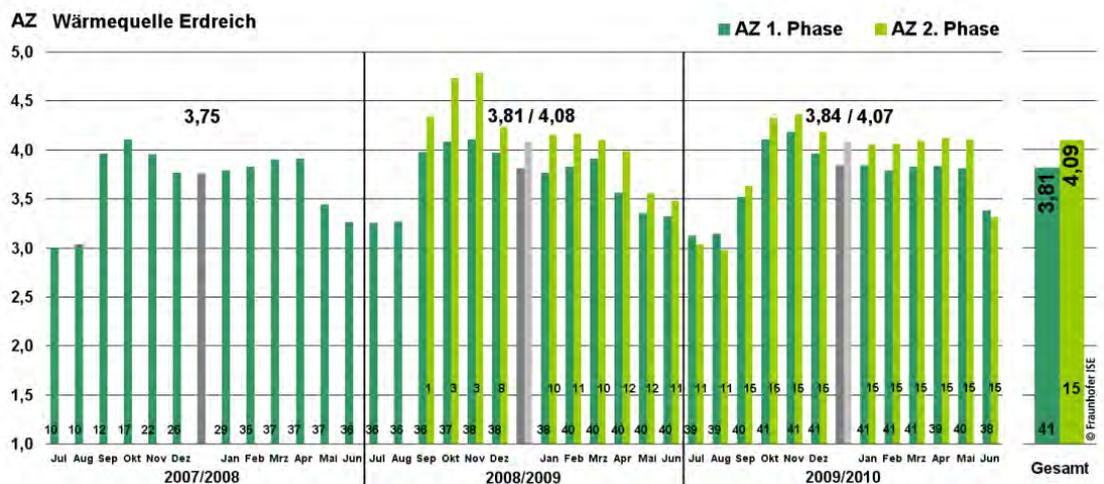


Abb. 4.6: Arbeitszahlen von Erdreich Wärmepumpen für verschiedene Zeitperioden

Quelle:[Miara u. a. 2011]

resarbeitszahl für das letzte Auswertungsjahr. Mit dieser Auswahl soll einerseits die Präsentation der Gesamteffizienz der einzelnen Anlagen, ohne Beachtung derer individuellen Betriebszeiten, sowie andererseits eine jahresgenaue Bilanzierung gewährleistet werden. In den Arbeitszahlmittelwert von 3,88 fließen Einzelwerte zwischen 3,1 und 5,1 ein, dargestellt als hellgrüne Balken im Diagramm.

Luft/Wasser-Wärmepumpen

Aufgrund ihrer Nachteile hinsichtlich der Wärmequelle haben Luft-Wärmepumpen zwangsläufig geringere Arbeitszahlen als Erdreich- und Wasser-Wärmepumpen. Das Diagramm in Bild 4.8 stellt die entsprechende Auswertung für Luft-Wärmepumpen dar. Der Aufbau der Grafik ist analog zur Grafik in Bild 4.6 und wurde zu Beginn des Abschnittes 4.2.2 erklärt.

Das Balkendiagramm Bild 4.9 stellt die Effizienzen der einzelnen Luft-Wärmepumpen dar. In hellem grün werden dabei die Gesamtarbeitszahlen für den Auswertungszeitraum dargestellt. In dunklem grün sind die Jahresarbeitszahlen für das letzte Jahr der Auswertung zu sehen.

Der Mittelwert von 2,8 bildet den Median der ausgewerteten Wärmepumpen Mittelwert der kleinste Wert wurde mit 2,3 und der höchste mit 3,4 gemessen.

4 Entwicklung Energieversorgungskonzepte

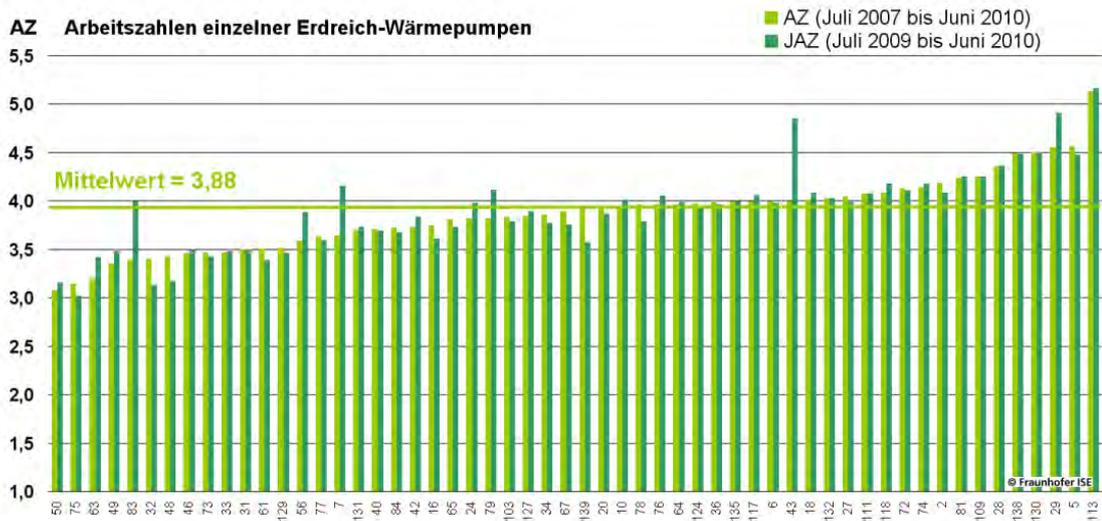


Abb. 4.7: Arbeitszahlen von Erdreich Wärmepumpen für die Zeiträume Juli 2007 bis Juni 2010 sowie Juli 2009 bis Juni 2010

Quelle:[Miara u. a. 2011]

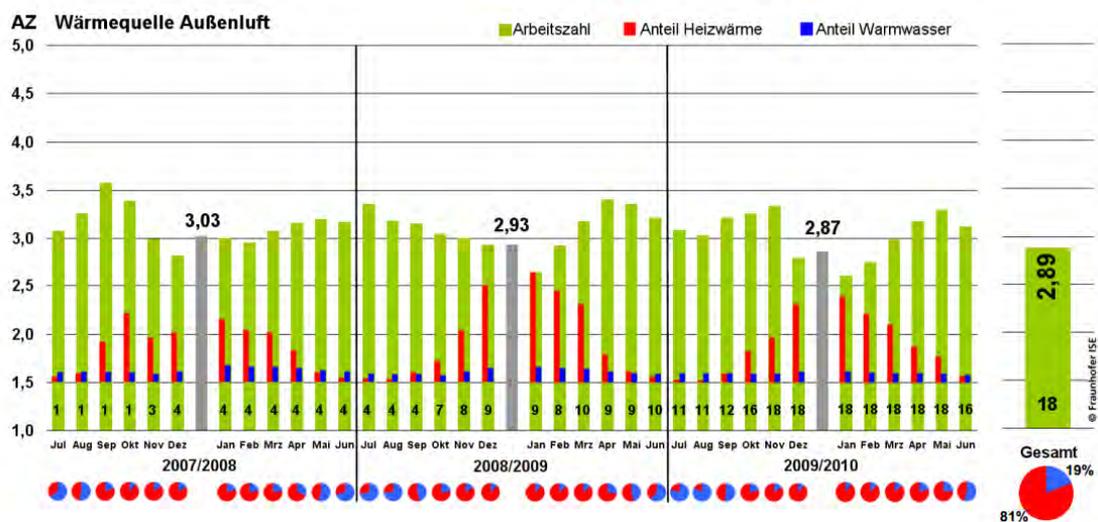


Abb. 4.8: Arbeitszahlen von Luft-Wärmepumpen für verschiedene Zeitperioden

Quelle:[Miara u. a. 2011]

4 Entwicklung Energieversorgungskonzepte

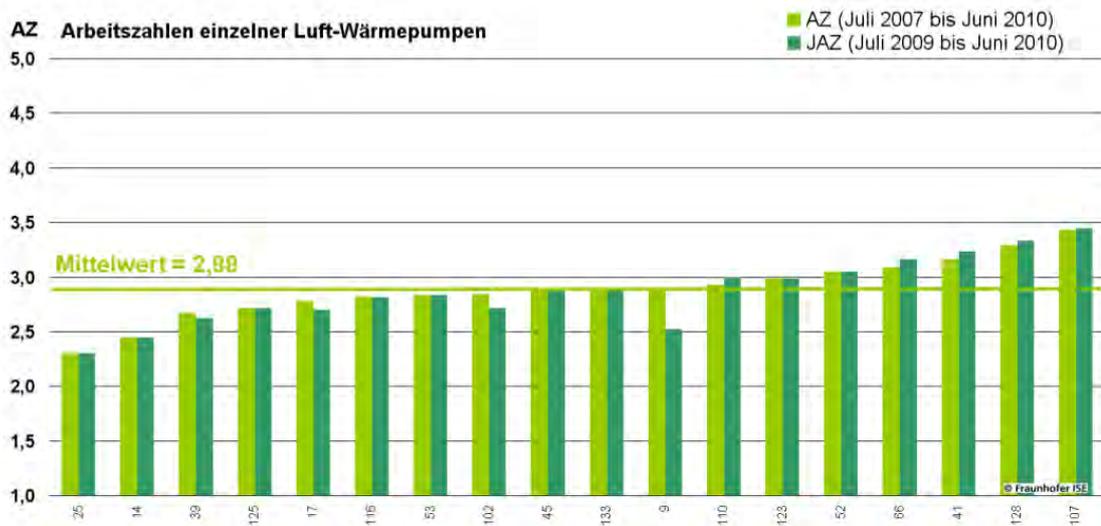


Abb. 4.9: Arbeitszahlen von Luft Wärmepumpen für die Zeiträume Juli 2007 bis Juni 2010 sowie Juli 2009 bis Juni 2010
Quelle:[Miara u. a. 2011]

4.3 Vergleich mit herkömmlicher Erzeugung

4.3.1 Ökonomischer Vergleich

Für die ökonomische Bilanz ist ein Vollkostenansatz eine geeignete Möglichkeit, mit der Kostenunterschiede zwischen den verschiedenen räumlichen Strukturen für unterschiedliche Wärmetechnologien aufgezeigt werden können. Dieser Vollkostenansatz zielt darauf ab, alle Kostengruppen zu erfassen, ohne dabei finanzielle Förderungsmöglichkeiten zu berücksichtigen. Es wird eine Annäherung an eine volkswirtschaftliche Sichtweise vorgenommen. Die Vollkostenrechnung lehnt sich an das in der Richtlinie [VDI 2012] des VDI (Verein Deutscher Ingenieure) beschriebene Vorgehen an. Alle berücksichtigten Kosten (Kapitalgebundene, Betriebsgebundene, Verbrauchsgebundene und Sonstige) werden mit Hilfe der jährlichen Kostensteigerungen vor den Berechnungsvorgängen auf das aktuelle Preisniveau (2012) umgerechnet. Zur Ermittlung der Kosten wird die Annuitätenmethode verwendet. Diese dynamische Methode der Kostenrechnung transformiert Zahlungen, die an unterschiedlichen Zeitpunkten anfallen, in durchschnittliche jährliche Werte. Dies beinhaltet einmalige Zahlungen (etwa die Investitionskosten für Erzeugung und Verteilung) oder periodische Zahlungen (beispielsweise jährliche Zahlungen mit veränderlichen Beträgen). Bei allen Investitionen wird ein jährlicher Zinssatz von 5% zu Grunde gelegt. Die Berechnung erfolgt durch Multiplikation des jeweiligen Kostenbestandteils mit dem Annuitätenfaktor a , der wie folgt hergeleitet wird:

4 Entwicklung Energieversorgungskonzepte

$$a = \frac{i(1+i)^T}{(1+i)^T - 1}$$

i = kalkulatorischer Zinssatz

T = kalkulatorische Betrachtungszeitraum

Die Wirtschaftlichkeitsrechnung erfolgt wärmeseitig, sie basiert auf einer dynamischen Rechnung für die technische Lebensdauer der KWK-Anlagen und Netze unter Berücksichtigung der aktuell geltenden Fördersituation.

$$\begin{array}{l} \text{Anlegbarer Fernwärmepreis} \\ - \text{Wärmeerzeugungskosten} \\ - \text{Wärmeverteilungskosten} \\ \hline = \mathbf{x} \text{ €/MWh} \end{array}$$

Ziel der ökonomischen Analyse ist es, mit dieser Herleitung die folgenden ökonomischen Indikatoren zu berechnen, an Hand derer die Siedlungsformen und Versorgungstechnologien anschließend bewertet werden können:

Indikator 1: Durchschnittliche jährliche Kosten in €/ [WE * a]

Indikator 2: Spezifische Wärmebereitstellungskosten in €/MWh

Die angelegten Faktoren für die Primärenergiepreise beziehen sich auf die Angaben aus GEMIS 4.7. Der aktuelle Heizölpreis von liegt bei etwa 94€/100l. Dies entspricht bei einem Hu (Unterer Heizwert) von 0,01057 MWh/l einem Preis von 89 €/MWh. Der Gaspreis beträgt aktuell etwa 46 €/MWh. Der zugrundegelegte Strompreis beträgt 37,20 €/MWh und der aktuelle KWK-Index² 43,52 €/MWh. Diese Werte sind wirtschaftlichen Parameter für den Vergleich der Wirtschaftlichkeit der verschiedenen Konzepte.

Ökonomischer Vergleich ST2

Für den Siedlungstyp 2 wurde das Referenzsystem mit 12kW und spezifischen Investitionskosten von 1.600€/MWh angenommen (vgl. Tabelle 2.1 Diagramm 4.10 zeigt den Kostenvergleich [€/MWh] für die verschiedenen Versorgungsvarianten. Es wird deutlich, dass nur die 200 kW Erdgas KWK-Anlage mit dem Referenzsystem konkurrieren kann. Dies ist durch die sehr hohen Investitionskosten kleinerer Anlagen zu erklären. Zudem kommen hier noch die Verteilungskosten des Netzes hinzu, die bei dem Siedlungstyp 2 mit 24,04 € recht gering gegenüber den weiteren Siedlungstypen ausfallen. Die Betrachteten Wärmepumpen sind dagegen alle mehr als Konkurrenzfähig.

4 Entwicklung Energieversorgungskonzepte

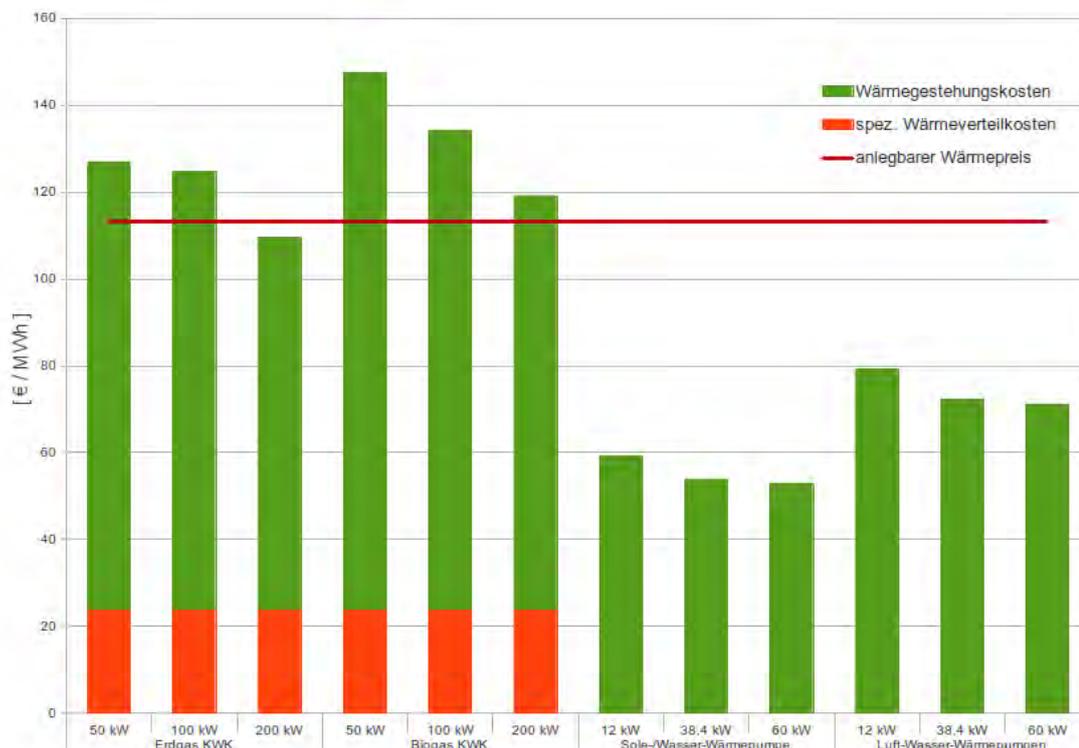


Abb. 4.10: Vergleich der Versorgungskonzepte im ST2 ohne Förderung

Quelle: eigene Darstellung

2010		Erdgas KWK			Biogas KWK			Sole-/Wasser-Wärmepumpe			Luft-/Wasser-Wärmepumpen		
elk. Leistung [kW]		50 kW	100 kW	200 kW	50 kW	100 kW	200 kW	12 kW	38,4 kW	60 kW	12 kW	38,4 kW	60 kW
Ölpreis 2010	66,96												
anlegbarer Wärmepreis [€]		113,23	113,23	113,23	113,23	113,23	113,23	113,23	113,23	113,23	113,23	113,23	113,23
spez. Wärmeverteilungskosten [€/MWh]		24,04	24,04	24,04	24,04	24,04	24,04						
Wärmegestehungskosten mit Boni [€/MWh]		93,96	91,79	78,9	109,2	95,95	83,47						
Wärmegestehungskosten [€/MWh]		102,84	100,67	85,48	123,39	110,14	95,06	59,23	53,88	52,95	79,26	72,25	71,14
Summe ohne Boni		126,88	124,71	109,52	147,44	134,18	119,1						
Summe mit Boni		118,01	115,84	102,94	133,24	119,99	107,51						

2020		Erdgas KWK			Biogas KWK			Sole-/Wasser-Wärmepumpe			Luft-/Wasser-Wärmepumpen		
elk. Leistung [kW]		50 kW	100 kW	200 kW	50 kW	100 kW	200 kW	12 kW	38,4 kW	60 kW	12 kW	38,4 kW	60 kW
Ölpreis 2020	77,76												
anlegbarer Wärmepreis [€]		126,73	126,73	126,73	126,73	126,73	126,73	126,73	126,73	126,73	126,73	126,73	126,73
spez. Wärmeverteilungskosten [€/MWh]		24,04	24,04	24,04	24,04	24,04	24,04						
Wärmegestehungskosten mit Boni [€/MWh]		109,05	106,88	93,12	107,86	94,61	82,21						
Wärmegestehungskosten [€/MWh]		117,92	115,75	99,7	122,05	108,8	93,8	67,16	61,81	60,89	89,96	82,94	81,84
Summe ohne Boni		141,97	139,8	123,74	146,1	132,84	117,84						
Summe mit Boni		133,09	130,92	117,16	131,9	118,65	106,25						

2030		Erdgas KWK			Biogas KWK			Sole-/Wasser-Wärmepumpe			Luft-/Wasser-Wärmepumpen		
elk. Leistung [kW]		50 kW	100 kW	200 kW	50 kW	100 kW	200 kW	12 kW	38,4 kW	60 kW	12 kW	38,4 kW	60 kW
Ölpreis 2030	84,6												
anlegbarer Wärmepreis [€]		135,28	135,28	135,28	135,28	135,28	135,28	135,28	135,28	135,28	135,28	135,28	135,28
spez. Wärmeverteilungskosten [€/MWh]		24,04	24,04	24,04	24,04	24,04	24,04						
Wärmegestehungskosten mit Boni [€/MWh]		120,74	118,57	104,14	100,69	87,44	75,46						
Wärmegestehungskosten [€/MWh]		129,61	127,44	110,71	114,89	101,63	87,05	75,1	69,75	68,82	100,64	93,63	92,52
Summe ohne Boni		153,66	151,49	134,76	138,93	125,68	111,09						
Summe mit Boni		144,78	142,62	128,18	124,74	111,48	99,5						

Tab. 4.2: Übersicht der Versorgungskosten im Siedlungstyp 2

Quelle: eigene Darstellung

4 Entwicklung Energieversorgungskonzepte

Tabelle 4.2 stellt die Ergebnisse für den Siedlungstyp 2 nocheinmal zusammen.

Diagramm 4.11 zeigt die Wärmekosten der untersuchten Varianten mit Einbezug der Förderung, auch hier bleiben die kleinen KWK-Anlagen teurer als das Referenzsystem. Das lässt darauf schließen, dass die Förderung nicht ausreichend ist.

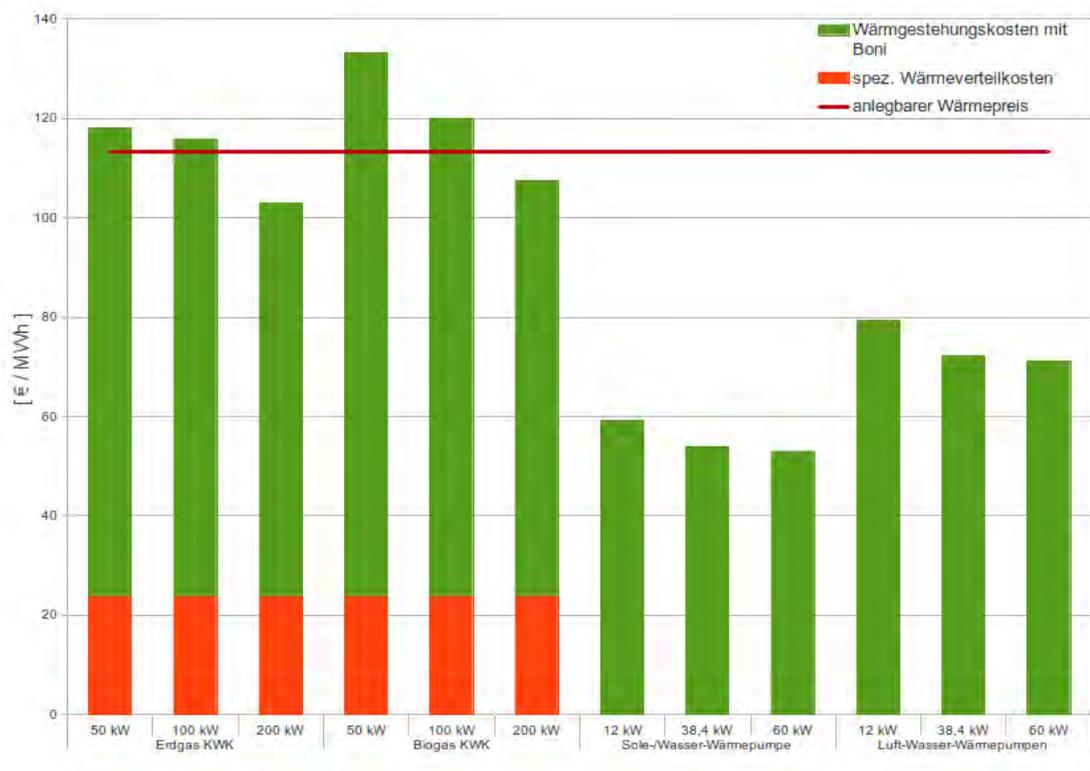


Abb. 4.11: Vergleich der Versorgungskonzepte im ST2 mit Förderung

Quelle: eigene Darstellung

²Mittelwert der täglichen Phelix-Base-Preise vorangegangenen Quartal

Ökonomischer Vergleich ST4

Für den Siedlungstyp 4 ergibt sich ein ähnliches Bild wie für Siedlungstyp 2. Diagramm 4.12 zeigt die Wärmegestehkosten der einzelnen Varianten. Hier liegt nun auch die größte untersuchte KWK-Anlage über dem veranschlagten Wärmepreis für das Referenzsystem, welches hier mit 60kW thermisch und spezifischen Investitionskosten von $841\text{€}/\text{kW}$ angenommen wurde. Auch bei diesem Siedlungstyp sind sowohl Sole-/Wasser-Wärmepumpe als auch Luft-Wasser-Wärmepumpen den anderen Versorgungssystemen vor zu ziehen.

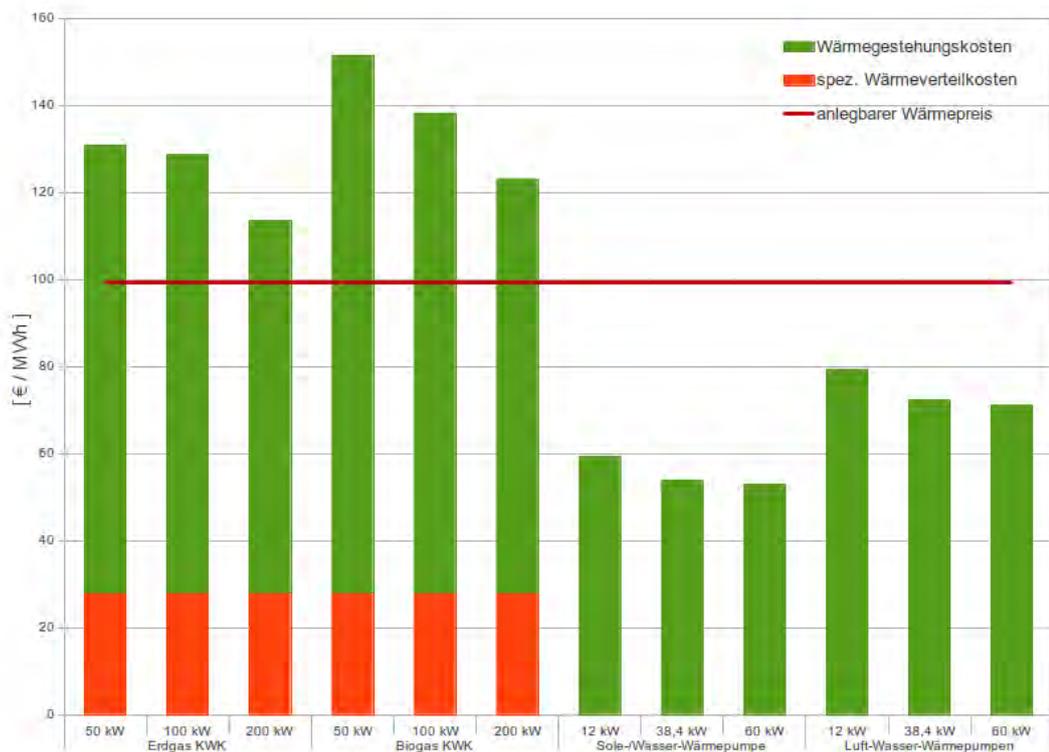


Abb. 4.12: Vergleich der Versorgungskonzepte im ST4 ohne Förderung

Quelle: eigene Darstellung

Tabelle 4.3 stellt die Ergebnisse für diesen Siedlungstyp nochmals zusammen.

In Diagramm sind wieder die Wärmekosten aller Erzeugungsanlagen dargestellt. Bemerkenswert ist, dass die KWK-Anlagen trotz Förderung wesentlich teurer sind als die Wärmepumpen und auch nicht konkurrenzfähig gegenüber dem Referenzsystem sind.

4 Entwicklung Energieversorgungskonzepte

2010		Erdgas			Biogas			Sole-/Wasser-Wärmepumpe			Luft-Wasser-Wärmepumpen					
		50 kW	100 kW	200 kW	50 kW	100 kW	200 kW	12 kW	38,4 kW	60 kW	12 kW	38,4 kW	60 kW			
elk. Leistung [kW]		66,96														
Ölpreis 2010		66,96														
anlegbarer Wärmepreis [€]		99,22	99,22	99,22	99,22	99,22	99,22	99,22	99,22	99,22	99,22	99,22	99,22	99,22	99,22	99,22
spez. Wärmeverteilungskosten [€/MWh]		28,08	28,08	28,08	28,08	28,08	28,08	28,08	28,08	28,08	28,08	28,08	28,08	28,08	28,08	28,08
Wärmegestehungskosten mit Boni [€/MWh]		93,96	91,79	78,9	109,2	95,95	83,47									
Wärmegestehungskosten [€/MWh]		102,84	100,67	85,48	123,39	110,14	95,06									
Summe ohne Boni		130,92	128,75	113,56	151,47	138,22	123,14									
Summe mit Boni		122,04	119,87	106,98	137,28	124,03	111,55									

2020		Erdgas			Biogas			Sole-/Wasser-Wärmepumpe			Luft-Wasser-Wärmepumpen					
		50 kW	100 kW	200 kW	50 kW	100 kW	200 kW	12 kW	38,4 kW	60 kW	12 kW	38,4 kW	60 kW			
elk. Leistung [kW]		77,76														
Ölpreis 2020		77,76														
anlegbarer Wärmepreis [€]		112,72	112,72	112,72	112,72	112,72	112,72	112,72	112,72	112,72	112,72	112,72	112,72	112,72	112,72	112,72
spez. Wärmeverteilungskosten [€/MWh]		28,08	28,08	28,08	28,08	28,08	28,08	28,08	28,08	28,08	28,08	28,08	28,08	28,08	28,08	28,08
Wärmegestehungskosten mit Boni [€/MWh]		109,05	106,88	93,12	107,86	94,61	82,21									
Wärmegestehungskosten [€/MWh]		117,92	115,75	99,7	122,05	108,8	93,8									
Summe ohne Boni		146	143,83	127,78	150,13	136,88	121,88									
Summe mit Boni		137,13	134,96	121,2	135,94	122,69	110,29									

2030		Erdgas			Biogas			Sole-/Wasser-Wärmepumpe			Luft-Wasser-Wärmepumpen					
		50 kW	100 kW	200 kW	50 kW	100 kW	200 kW	12 kW	38,4 kW	60 kW	12 kW	38,4 kW	60 kW			
elk. Leistung [kW]		84,6														
Ölpreis 2030		84,6														
anlegbarer Wärmepreis [€]		121,27	121,27	121,27	121,27	121,27	121,27	121,27	121,27	121,27	121,27	121,27	121,27	121,27	121,27	121,27
spez. Wärmeverteilungskosten [€/MWh]		28,08	28,08	28,08	28,08	28,08	28,08	28,08	28,08	28,08	28,08	28,08	28,08	28,08	28,08	28,08
Wärmegestehungskosten mit Boni [€/MWh]		120,74	118,57	104,14	100,69	87,44	75,46									
Wärmegestehungskosten [€/MWh]		129,61	127,44	110,71	114,89	101,63	87,05									
Summe ohne Boni		157,69	155,52	138,79	142,97	129,71	115,13									
Summe mit Boni		148,82	146,65	132,22	128,77	115,52	103,54									

Tab. 4.3: Übersicht der Versorgungskosten im Siedlungstyp 4

Quelle: eigene Darstellung

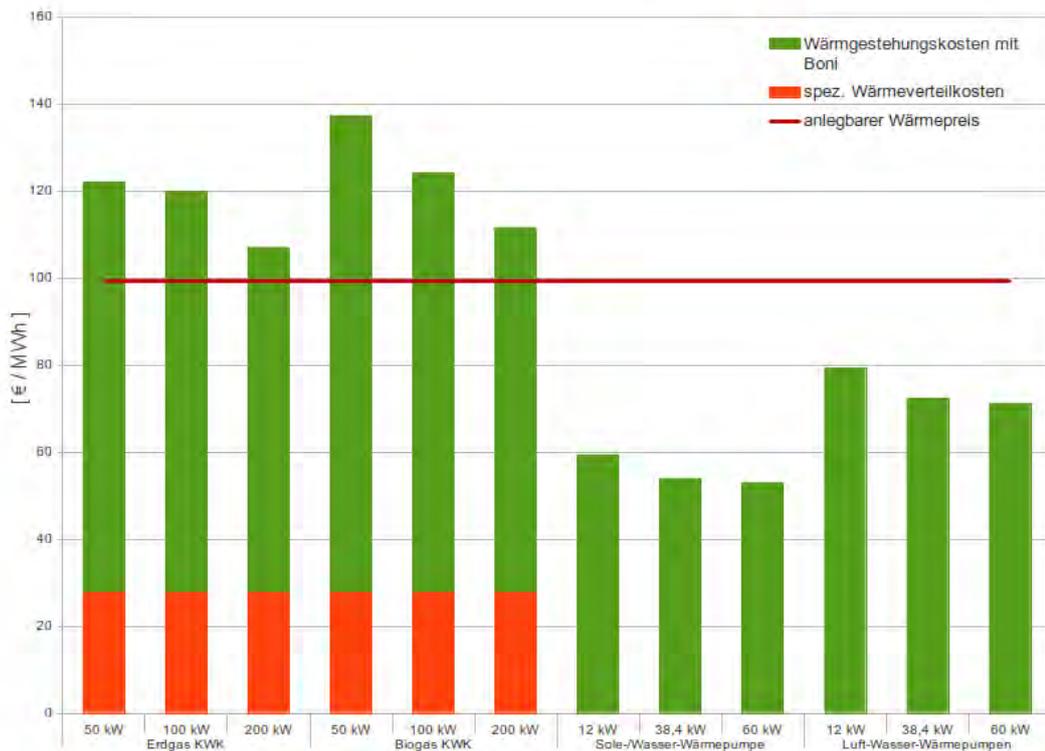


Abb. 1.13: Vergleich der Versorgungskonzepte im ST4 mit Förderung

Quelle: eigene Darstellung

Ökonomischer Vergleich ST5a

Noch trastischer fällt der Vergleich für Siedlungstyp 5 aus. Diagramm 4.14 stellt wieder die gesamten Versorgungsanlagen gegeneinander. Die günstigste Erzeugung gelingt wieder durch große Sole-Wasser-Wärmepumpen. Die teure Erzeugung der KWK-Anlagen lässt sich auch zum Teil auf die Verteilkosten für diesen Siedlungstyp erklären der hier mit 34,79 €um mehr als 10 €mehr beträgt als beim Siedlungstyp 2. Das Referenzsystem wurde bei hier mit 38,4kW thermisch mit spezifischen Investitionskosten von 840 €angenommen.

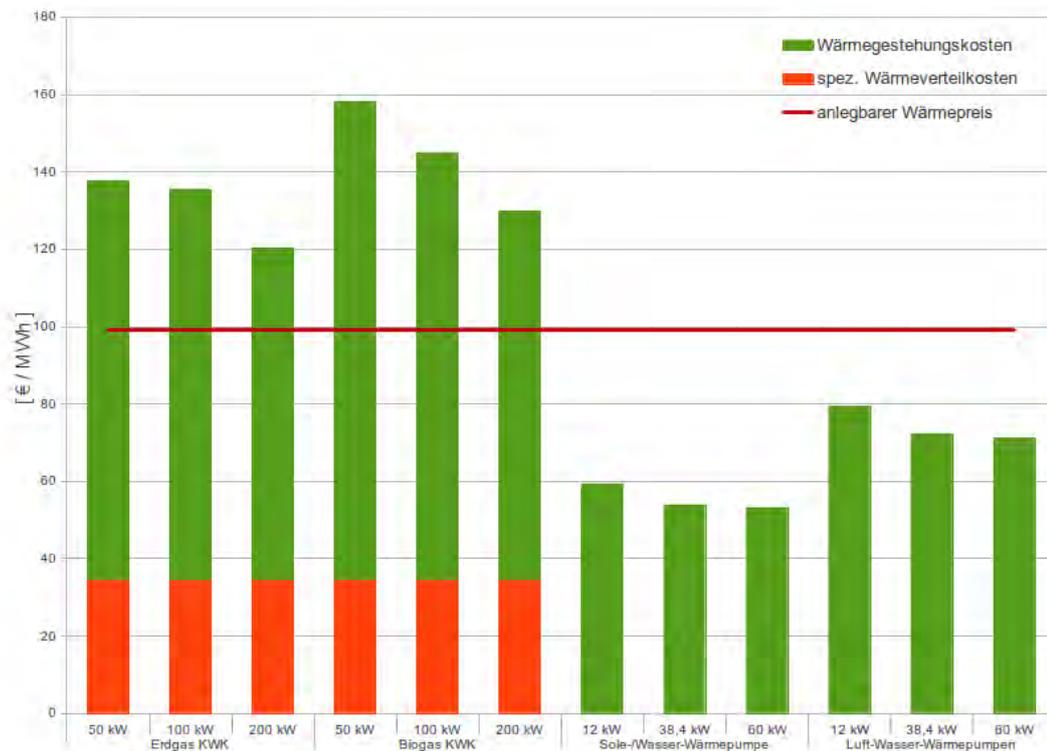


Abb. 4.14: Vergleich der Versorgungskonzepte im ST5 ohne Förderung

Quelle: eigene Darstellung

Table refTabST5 stellt wieder die wichtigsten Ergebnisse der Auswertung für diesen Siedlungstyp zusammen.

Wie Diagramm 4.15 zeigt sind die KWK-Anlagen trotz Förderung nicht konkurrenzfähig gegenüber den Vergleichssystemen. Die günstigste Erzeugungsanlage ist auch hier die Sole-Wasser-Wärmepumpe mit 60kW thermisch.

4 Entwicklung Energieversorgungskonzepte

2010		Erdgas			Biogas			Sole-/Wasser-Wärmepumpe			Luft-Wasser-Wärmepumpen			
		50 kW	100 kW	200 kW	50 kW	100 kW	200 kW	12 kW	38,4 kW	60 kW	12 kW	38,4 kW	60 kW	
elk. Leistung [kW]	66,96													
Ölpreis 2010														
anlegbarer Wärmepreis [€]		99,2	99,2	99,2	99,2	99,2	99,2	99,2	99,2	99,2	99,2	99,2	99,2	99,2
spez. Wärmeverteilungskosten [€/MWh]		34,79	34,79	34,79	34,79	34,79	34,79	34,79	34,79	34,79	34,79	34,79	34,79	34,79
Wärmegestehungskosten mit Boni [€/MWh]		93,96	91,79	78,9	109,2	95,95	83,47							
Wärmegestehungskosten [€/MWh]		102,84	100,67	85,48	123,39	110,14	95,06	59,23	53,88	52,95	79,26	72,25	71,14	
Summe ohne Boni		137,63	135,46	120,27	158,18	144,93	129,85							
Summe mit Boni	128,75	126,58	113,69	143,99	130,74	118,26								

2020		Erdgas			Biogas			Sole-/Wasser-Wärmepumpe			Luft-Wasser-Wärmepumpen			
		50 kW	100 kW	200 kW	50 kW	100 kW	200 kW	12 kW	38,4 kW	60 kW	12 kW	38,4 kW	60 kW	
elk. Leistung [kW]	77,76													
Ölpreis 2020														
anlegbarer Wärmepreis [€]		112,7	112,7	112,7	112,7	112,7	112,7	112,7	112,7	112,7	112,7	112,7	112,7	112,7
spez. Wärmeverteilungskosten [€/MWh]		34,79	34,79	34,79	34,79	34,79	34,79	34,79	34,79	34,79	34,79	34,79	34,79	34,79
Wärmegestehungskosten mit Boni [€/MWh]		109,05	106,88	93,12	107,86	94,61	82,21							
Wärmegestehungskosten [€/MWh]		117,92	115,75	99,7	122,05	108,8	93,8	67,16	61,81	60,89	89,96	82,94	81,84	
Summe ohne Boni		152,71	150,54	134,49	156,84	143,59	128,59							
Summe mit Boni	143,84	141,67	127,91	142,65	129,4	117								

2030		Erdgas			Biogas			Sole-/Wasser-Wärmepumpe			Luft-Wasser-Wärmepumpen			
		50 kW	100 kW	200 kW	50 kW	100 kW	200 kW	12 kW	38,4 kW	60 kW	12 kW	38,4 kW	60 kW	
elk. Leistung [kW]	84,6													
Ölpreis 2030														
anlegbarer Wärmepreis [€]		121,25	121,25	121,25	121,25	121,25	121,25	121,25	121,25	121,25	121,25	121,25	121,25	121,25
spez. Wärmeverteilungskosten [€/MWh]		34,79	34,79	34,79	34,79	34,79	34,79	34,79	34,79	34,79	34,79	34,79	34,79	34,79
Wärmegestehungskosten mit Boni [€/MWh]		120,74	118,57	104,14	100,69	87,44	75,46							
Wärmegestehungskosten [€/MWh]		129,61	127,44	110,71	114,89	101,63	87,05	75,1	69,75	68,82	100,64	93,63	92,52	
Summe ohne Boni		164,4	162,23	145,5	149,68	136,42	121,84							
Summe mit Boni	155,53	153,36	138,93	135,49	122,23	110,25								

Tab. 4.4: Übersicht der Versorgungskosten im Siedlungstyp 5

Quelle: eigene Darstellung

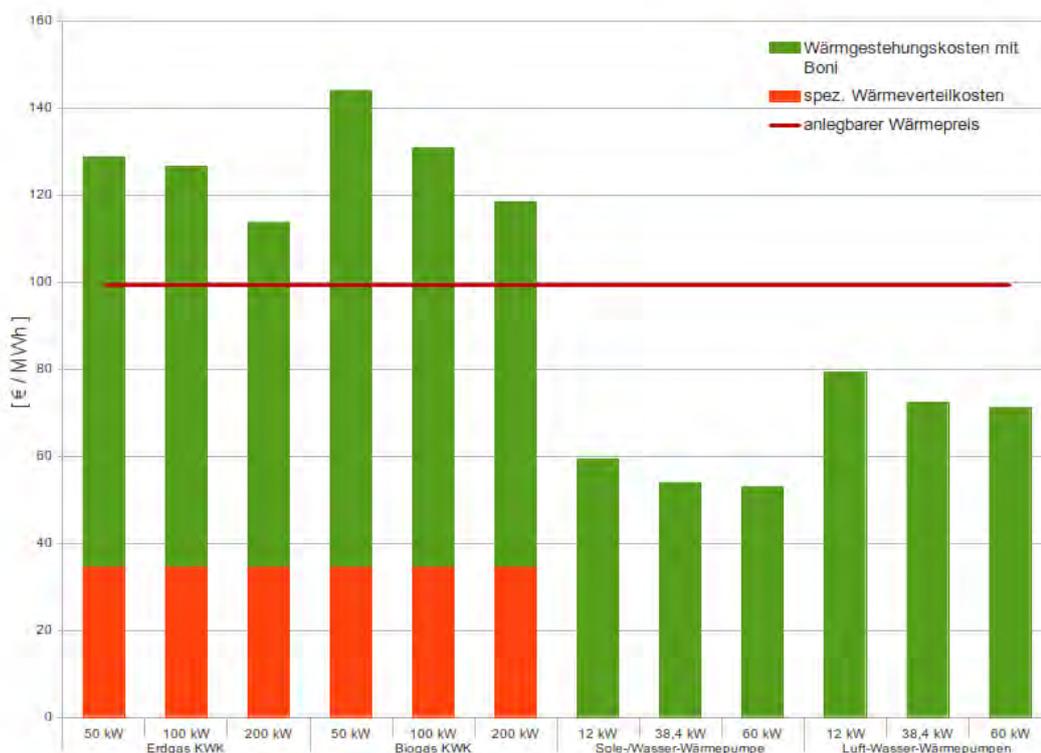


Abb. 4.15: Vergleich der Versorgungskonzepte im ST5 mit Förderung

Quelle: eigene Darstellung

Ökonomischer Vergleich ST9

Bei Siedlungstyp 9 sind die Wärmeverteilungskosten mit 35,78 €/MWh einen €teurer als bei Siedlungstyp 5. Auch hier sind die KWK-Anlagen ohne Förderung nicht konkurrenzfähig wie Diagramm 4.16 zeigt. Erst durch die Förderung nach KWKG kommt die Erdgas betriebene Anlage mit 200kW in den Kostenbereich des Referenzsystemes. Dies wird in Diagramm 4.17 deutlich. Für diesen Siedlungstyp wurde das Referenzsystem mit 36,8kW thermisch und spezifischen Investitionskosten von 1.095 € veranschlagt. Am günstigsten ist auch für diesen Siedlungstyp die größte Sole-Wasser-Wärmepumpe.

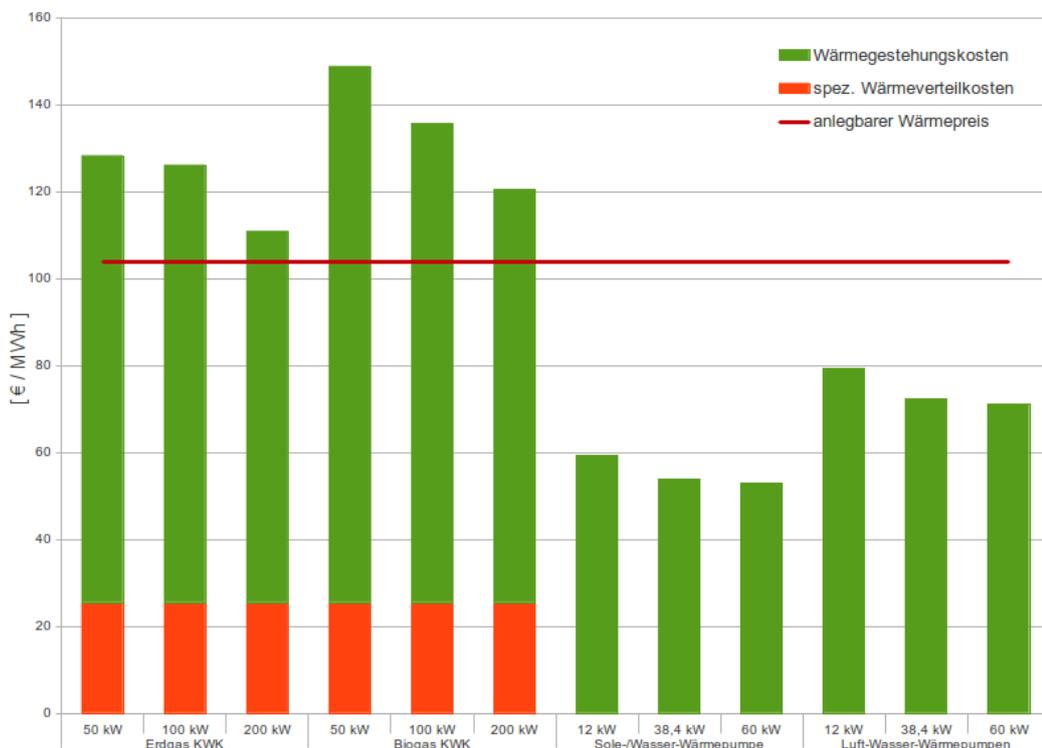


Abb. 4.16: Vergleich der Versorgungskonzepte im ST9 ohne Förderung

Quelle: eigene Darstellung

Tabelle 4.5 stellt die wichtigsten Ergebnisse der Untersuchung zusammen.

4.3.2 Ökologischer Vergleich

Für die ökologische Bewertung von Energiesystemen bietet sich die Betrachtung der spezifischen Emissionswerte an. Im Hinblick auf die Emissionen erfolgt eine Bewertung der CO₂-Emissionen bzw. die Angabe der Kohlendioxid

4 Entwicklung Energieversorgungskonzepte

2010		Erdgas			Biogas			Sole-/Wasser-Wärmepumpe			Luft-Wasser-Wärmepumpen		
		50 kW	100 kW	200 kW	50 kW	100 kW	200 kW	12 kW	38,4 kW	60 kW	12 kW	38,4 kW	60 kW
elk. Leistung [kW]	66,96												
Ölpreis 2010													
anlegbarer Wärmepreis [€]		103,88	103,88	103,88	103,88	103,88	103,88	103,88	103,88	103,88	103,88	103,88	103,88
spez. Wärmeverteilungskosten [€/MWh]		25,46	25,46	25,46	25,46	25,46	25,46						
Wärmegestehungskosten mit Boni [€/MWh]		93,96	91,79	78,9	109,2	95,95	83,47						
Wärmegestehungskosten [€/MWh]		102,84	100,67	85,48	123,39	110,14	95,06						
Summe ohne Boni		128,3	126,13	110,94	148,85	135,6	120,52						
Summe mit Boni		119,42	117,25	104,36	134,66	121,41	108,93	59,23	53,88	52,95	79,26	72,25	71,14

2020		Erdgas			Biogas			Sole-/Wasser-Wärmepumpe			Luft-Wasser-Wärmepumpen		
		50 kW	100 kW	200 kW	50 kW	100 kW	200 kW	12 kW	38,4 kW	60 kW	12 kW	38,4 kW	60 kW
elk. Leistung [kW]	77,76												
Ölpreis 2020													
anlegbarer Wärmepreis [€]		117,38	117,38	117,38	117,38	117,38	117,38	117,38	117,38	117,38	117,38	117,38	117,38
spez. Wärmeverteilungskosten [€/MWh]		25,46	25,46	25,46	25,46	25,46	25,46						
Wärmegestehungskosten mit Boni [€/MWh]		109,05	106,88	93,12	107,86	94,61	82,21						
Wärmegestehungskosten [€/MWh]		117,92	115,75	99,7	122,05	108,8	93,8	67,16	61,81	60,89	89,96	82,94	81,84
Summe ohne Boni		143,38	141,21	125,16	147,51	134,26	119,26						
Summe mit Boni		134,51	132,34	118,58	133,32	120,07	107,67						

2030		Erdgas			Biogas			Sole-/Wasser-Wärmepumpe			Luft-Wasser-Wärmepumpen		
		50 kW	100 kW	200 kW	50 kW	100 kW	200 kW	12 kW	38,4 kW	60 kW	12 kW	38,4 kW	60 kW
elk. Leistung [kW]	84,6												
Ölpreis 2030													
anlegbarer Wärmepreis [€]		125,93	125,93	125,93	125,93	125,93	125,93	125,93	125,93	125,93	125,93	125,93	125,93
spez. Wärmeverteilungskosten [€/MWh]		25,46	25,46	25,46	25,46	25,46	25,46						
Wärmegestehungskosten mit Boni [€/MWh]		120,74	118,57	104,14	100,69	87,44	75,46						
Wärmegestehungskosten [€/MWh]		129,61	127,44	110,71	114,89	101,63	87,05	75,1	69,75	68,82	100,64	93,63	92,52
Summe ohne Boni		155,07	152,9	136,17	140,35	127,09	112,51						
Summe mit Boni		146,2	144,03	129,6	126,15	112,9	100,92						

Tab. 4.5: Übersicht der Versorgungskosten im Siedlungstyp 9

Quelle: eigene Darstellung

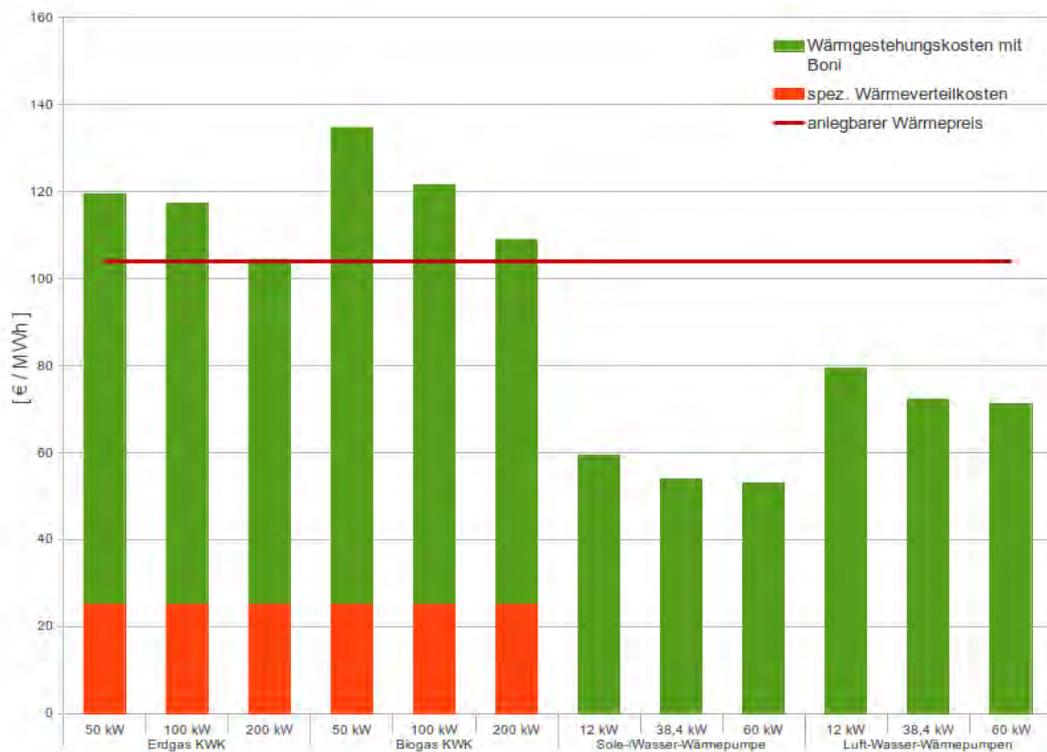


Abb. 4.17: Vergleich der Versorgungskonzepte im ST9 mit Förderung

Quelle: eigene Darstellung

4 Entwicklung Energieversorgungskonzepte

äquivalenten Emissionen. Die Ermittlung der von den verschiedenen Energieerzeugungssystemen im speziellen Einzelfall abgegebenen Jahresschadstoffmengen sagt alleine noch wenig über die Umweltqualität der Systeme aus, da die von den Schadstoffen ausgehende Schadenswirkung hierbei unberücksichtigt bleibt. Eine Ermittlung des von den einzelnen Schadstoffen ausgehenden Gefährdungspotentials ist mit vertretbarem Aufwand derzeit nicht möglich. Eine Bewertung der Versorgungssysteme wird daher nur über den Vergleich der zu erwartenden Emissionswerte. Ein Werkzeug zur Ermittlung von Treibhausgasemissionen und entsprechenden Gutschriften stellt das vom Ökoinstitut Darmstadt entwickelte GEMIS (Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme) dar. Tabelle 4.6 stellt die daraus entnommenen Emissionsfaktoren noch einmal zusammen.

Emissionsfaktor CO₂	
Erdgas	198,55 [kg/MWh]
Biogas aufbereitet	202,43 [kg/MWh]
Öl-leicht	267,76 [kg/MWh]
Strommix	559 [kg/MWh]

Tab. 4.6: spezifische Emissionsfaktoren verschiedener Brennstoffe

Quelle: GEMIS 4.7 (2010)

Für die Aufteilung der bei der Verbrennung eines Brennstoffs in einer KWK-Anlage entstandenen CO₂-Emissionen auf die Koppelprodukte Strom und Wärme bestehen prinzipiell drei Möglichkeiten:

1. Strom-Restwert-Methode

Dabei zieht man von den errechneten CO₂-Emissionen der Anlage eine Gutschrift für die Wärmeerzeugung ab, die alternativ zum Betrieb der KWK-Anlage bei der Erzeugung der gleichen Wärmemenge in einem Heizkessel entstehen würde. Der CO₂-Minderungseffekt der KWK-Anlage kommt dabei ausschließlich der Stromerzeugung zugute, d.h. es ergeben sich niedrige CO₂-Emissionen pro kWh_{el}

2. Wärme-Restwert-Methode

Dabei wird von den errechneten CO₂-Emissionen der Anlage eine Stromgutschrift abgezogen, und zwar in Höhe der CO₂-Emissionen der Stromerzeugung, die durch die KWK-Anlage substituiert werden. Der CO₂-Minderungseffekt der KWK-Anlage kommt dabei vollständig der Wärmeerzeugung zugute.

3. Aufteilung der CO₂-Emissionen auf die beiden Koppelprodukte Strom und Wärme

Dabei werden die CO₂-Emissionen z.B. proportional im Verhältnis der erzeugten Kilowattstunden an Strom und Wärme aufgeteilt. In Betracht

4 Entwicklung Energieversorgungskonzepte

kommt auch ein Aufteilungsschlüssel, der die unterschiedliche thermodynamische Wertigkeit von Strom und Wärme berücksichtigt.

Durch die wärmeorientierte Konzipierung der Anlagen, kommt das Wärme-Restwert-Modell zum Einsatz. Bei der Betrachtung der Gesamtemissionen wird eine Gutschrift die der Emissionen einer gleich hohen konventionellen Stromerzeugung entspricht abgezogen. Bei der Bemessung der Stromgutschrift man davon ausgegangen, dass der durch die KWK-Anlage erzeugte Strom die entsprechende Strommenge aus anderen Kraftwerken substituiert.

Tabelle 4.18 zeigt die Ökologische Gegenüberstellung der untersuchten Versorgungskonzepte. Die gekoppelte Erzeugung weist gegen über der getrennten Erzeugung von Wärme und Strom einen negativen Wert auf. Dies resultiert aus dem recht hohen CO₂ Emissionsfaktor für den Strommix in Deutschland. Dieser liegt bei knapp 600 $[kg/MWh]$. Für den Fall, dass die Wärmepumpen mit regenerativem Strom betrieben werden, würde die spezifische Emission der Wärmepumpen 0 $[kg/MWh]$ betragen.

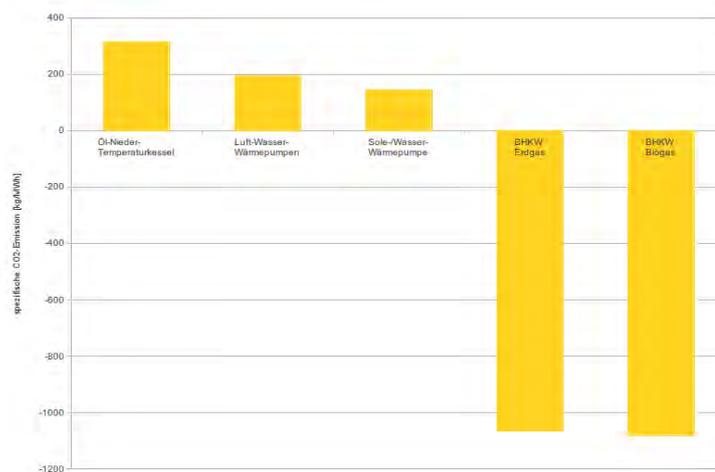


Abb. 4.18: Ökologischer Vergleich der Versorgungsvarianten

Quelle: eigene Darstellung

5 Fazit und Ausblick

Ergebniss der Untersuchung ist, dass die Versorgung mit Wärmepumpen wirtschaftlich am sinnvollsten ist. Aus ökologischer Sicht ist der Betrieb eines Nahwärmenetzes bzw. der Einsatz von KWK-Anlagen.

Darüber hinaus konnte gezeigt werden, dass die ausgewählten Größen für KWK-Anlagen (50kW , 100kW , 200kW) im Verbund zu einem Nahwärmentz und unter aktuellen Bedingungen, zum derzeit gängigen System wirtschaftlich nicht konkurrenzfähig sind. Selbst unter Berücksichtigung der aktuellen Förderrichtlinien waren die Kosten für Aufbau und Betrieb wesentlich größer als für die Vergleichssysteme. Dies lässt sich hauptsächlich auf die hohen Investitionskosten, besonders von kleinen KWK-Anlagen zurückführen. Größere Anlagen sollten kosten günstiger zu betreiben sein. So konnte die größte KWK-Anlage aus der Untesuchung (200kW) im Siedlungstyp 2 den angelegten Wärmerzeugungspreis des Vergleichssystemes unterbieten. Die Ausertung [Arthkamp u. a. 2011] legt nahe, dass rentable KWK-Anlagen im Verbund mit Nahwärmentzen größer 500kW sein sollten.

In der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für eine einzelne KWK-Anlage muss aber auf jeden Fall die Möglichkeit der Stromvermarktung im Rahmen eines virtuellen Kraftwerkes bei den Erlösen mit berücksichtigt werden. Für eine KWK-Anlage könnten sich durch die Bereitstellung von positiver Minutenreserve deutliche Mehrerlöse für den ins Netz gespeisten Strom ergeben. Hierdurch könnte die Gesamtwirtschaftlichkeit dieser Anlagen deutlich gesteigert werden.

Ein weiteres wichtiges Ergebnis dieser Untersuchung ist die Erarbeitung siedlungstypspezifischer Parameter für den Aufbau und Betrieb eines Nahwärmentzes, diese können analog auf weiter Stadtteile Wolfhagens übertragen werden. Außerdem konnte gezeigt werden, dass die Kosten für ein Wärmenetz mit zunehmender Dichte der Bebauung drastisch steigen. Trotz allem sind die Kosten für ein Wärmenetz moderat und spiegeln nur einen der Bruchteile Kosten für der Wärmeversorgung wieder. Darüber hinaus bieten Nahwärmenetze die notwendige Infrastruktur, um erneuerbare Energien und Effizienztechnologien in großem Maßstab in die Wärmeversorgung zu integrieren. Ein großer Teil des Potenzials der erneuerbaren Energien wird sich ohne eine starke Zunahme der mit Nahwärme versorgten Siedlungsgebiete nicht nutzen lassen. Dies gilt besondere für die Energiequellen Biomasse und solarthermische Kollektoren. Bei landwirtschaftlichen Biogasanlagen z.B. kann die beim Betrieb des Biogas-BHKW's anfallende Wärme nur zu einem Teil vor Ort genutzt werden der weit größere Teil der anfallenden Wärme benötigt weitere Wärmesenken.

5 Fazit und Ausblick

Größere Solarthermische Potenziale, wie sie in der Masterarbeit [Hensel 2010] für die Stadt Wolfhagen aufgezeigt wurden, können mit sehr großen außerhalb der Gebäude befindlichen Speichern erschlossen werden. Dabei könnte z.B. das Erdreich als kostengünstiges Wärmespeichermedium genutzt werden. Ein großer, zentraler Speicher ist kostengünstiger als viele kleine dezentrale Solarspeicher. Darüber hinaus kühlen große Speicher wesentlich langsamer ab. Dies ermöglicht die Speicherung der Solarenwärme aus dem Sommer bis in die Wintermonate. Sinnvoll einsetzbar sind die großen Speicher aber nur, wenn eine hinreichend große Anzahl von Verbrauchern über ein Nahwärmenetz zusammengefasst und angeschlossen wird. Im Hinblick auf die optimale Integration der Erneuerbaren Energien in das Gesamtenergieversorgungssystem ist es zielführend Wärmenetze und Wärmespeicher weiter auszubauen, da sich die Grenzen zwischen Wärme- und Stromversorgung zunehmend auflösen und sich sogar gegenseitig ergänzen werden. Ein forcierter Ausbau von Wärmenetzen und -speichern dient gleichzeitig der besseren Integration Erneuerbarer Energien in das elektrische System und ist im Sinne eines insgesamt weiter steigenden Anteils Erneuerbarer Energien an der Energieversorgung hilfreich. [Esch u. a. 2011, vgl.] Der Ausbau benötigt aber viel Zeit und muss daher schon beim Zuschnitt heutiger Lenkungsinstrumente berücksichtigt werden.

Wichtig für das Gelingen eines Nahwärmenetzes ist die Bereitschaft der "Kunden" an solch einem Netz zu partizipieren unabdingbar. Ein Anreiz kann einerseits durch die Sinnhaftigkeit einer ökologischen sauberen und energetisch effizienten Erzeugung sein. Ein wesentlich stärkeres Kriterium wird aber die Gestaltung des Wärmepreises einnehmen. Im weiteren Schritt sollte die Chance für eine Bürgerbeteiligung überprüft werden. Eventuell im Zusammenschluss zu einer Energiegenossenschaft oder Genussrechten an den Stadtwerken oder anderer Betreibergesellschaften.

Literaturverzeichnis

AGFW 2011

AGFW: *Zertifizierung von KWK-Anlagen Ermittlung des KWK-Stromes: AGFW- Arbeitsblatt FW 308.* http://www.agfw.de/index.php?eID=tx_nawsecuredl&u=0&file=fileadmin/agfw/content/service/fw_308/FW_308_A_1107.pdf&t=1349816691&hash=feda20618f8f57e0e1e362a9e43f955e655cfb30. Version:2011

Arthkamp u. a. 2011

ARTHKAMP, J. ; NOWAK, W. ; KAHLERT, J. ; FAY, P.: *BHKW-Kenndaten: Module, Anbieter, Kosten / ASUE Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V. Frankfurt, 2011. – Forschungsbericht*

AVBFernwärme 2010

AVBFERNWÄRME, e.V.: *Verordnung über Allgemeine Bedingungen für die Versorgung mit Fernwärme.* 2010

Bill u. Fritsch 1997

BILL, R. ; FRITSCH, D.: *Grundlagen der Geo-Informationssysteme.* Bd. 1: Hardware, Software und Daten. Heidelberg : Herbert Wichmann Verlag, 1997

Blesl 2001

BLESL, M.: *Räumlich hoch aufgelöste Modellierung leitungsgebundener Energieversorgungssysteme zur Deckung des Niedertemperaturwärmebedarfs.* Stuttgart, Suttgart: Fakultät Energietechnik, Diss., 2001

Born u. a. 2003

BORN, R. ; DIEFENBACH, N. ; LOGA, T.: *Energieeinsparung durch Verbesserung des Wärmeschutzes und Modernisierung der Heizungsanlage für 31 Musterhäuser der Gebäudetypologie / Institut für Wohnen und Umwelt.* Version: 2003. http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/klima_altbau/GebTyp_Impulsprogramm_Hessen_22_01_2003.pdf. Darmstadt, 2003. – Forschungsbericht

Böhnisch u. a. 2006

BÖHNISCH, H. ; DEUSCHLE, J. ; NAST, M. ; DR. PFENNING, U.: *Nahwärmeversorgung und Erneuerbare Energien im Gebäudebestand: Initiierung von Pilotprojekten in Baden-Württemberg, Hemmnisanalyse und*

Untersuchung der Einsatzbereiche / ZSW, SOWI, DLR. Stuttgart, 2006. – Forschungsbericht

CIB 2012

CIB: *Energieliefer Contracting*. http://www.stmi.bayern.de/imperia/md/content/stmi/bauen/hochbau/programme/cib_leitfaden/leitfaden_teil_elc_mai2012.zip. Version:2012

Dassau u. a. 2004

DASSAU, O. ; DOBIAS, M. ; ERSTS, P. ; GHISLA, A. ; HOLL, S. ; HORNING, N. ; HOMANN, M. ; KOY, K. ; LUTHMAN, L. ; MACHO, W. ; FARMER, C. ; MITCHELL, T. ; SHERMAN, G. ; SHUTTON, T. ; WILLIS, D.: *Quantum GIS - Benutzerhandbuch*. 2004 <http://www.qgis.org/de/dokumentation/>

Diefenbach u. a. 2002

DIEFENBACH, N. ; LOGA, T. ; BORN, R. ; GROSSKLOS, M. ; HERBERT, C.: Energetische Kenngrößen für Heizungsanlagen im Bestand / Institut für Wohnen und Umwelt. Version:2002. http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/werkzeuge/IWU_Anlagenkennwerte_Bestand.pdf. Darmstadt, 2002. – Forschungsbericht

Dr. Hartmann u. a. 2007

DR. HARTMANN, H. ; REISINGER, K. ; THUNEKE, K. ; HÖLDRICH, A. ; ROSSMANN, P.: *Handbuch Bio-Energie Kleinanlagen*. Güstrow : Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V., 2007 http://www.tfz.bayern.de/sonstiges/17745/handbuch_komplett.pdf

Dr.-Ing. Fishedick 2006

DR.-ING. FISCHEDICK, M.: Anforderungen an Nah- und Fernwärmenetze sowie Strategien für Marktakteure in Hinblick auf die Erreichung der Klimaschutzziele der Bundesregierung bis zum Jahr 2020 / Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH; DLR-Institut für Technische Thermodynamik; Institut für Energetik und Umwelt, Leipzig. Wuppertal, 2006. – Forschungsbericht

Dötsch u. a. 1998

DÖTSCH, C. ; TASCHENBERGER, J. ; INGO, S.: *UMSICHT - Leitfaden Nahwärme*. Oberhausen : Fraunhofer IRB Verlag, 1998

Ebel u. a. 1990

EBEL, W. ; EIKE, W. ; FEIST, W.: *Energieeinsparpotential im Gebäudebestand*. Darmstadt : Institut Wohnen und Umwelt, 1990

Ebel u. a. 1995

EBEL, W. ; EIKE-HENNIG, W. ; FEIST, W.: *Einsparungen beim Heizwärmebedarf: ein Schlüssel zum Klimaproblem*. Darmstadt : Institut Wohnen und Umwelt, 1995

Eikmeier u. a. 2011

EIKMEIER, B. ; KLOBASA, M. ; TORO, F. ; MENZLER, G.: *Potenzialerhebung von Kraft-Wärme-Kopplung in Nordrhein-Westfalen*. Bremen : Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, 2011

Eikmeier u. Schulz 2004

EIKMEIER, B. ; SCHULZ, W.: *Digitale Wärmekarte Deutschlands Aufbereitung, Konvertierung und Ergänzung von Gebäude- und Siedlungsdaten durch ein auf Statistiken und örtlichen Daten beruhendes Verfahren – Methodische Vorgehensweise und Ergebnisse*. Bremen, 2004

Esch u. a. 2011

ESCH, T. ; TAUBENBÖCK, H. ; GEISS, C. ; SCHILLINGS, C. ; NAST, M. ; METZ, A. ; HELDENS, W. ; KEIL, M.: *Potenzialanalyse zum Aufbau von Wärmenetzen unter Auswertung siedlungsstruktureller Merkmale / Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. Oberpfaffenhofen, 2011. – Forschungsbericht*

Gregorzewski u. a. 2001

GREGORZEWSKI, A. ; NEUFFER, H. ; WITTERHOLD, F.-G. ; PFAFFENBERGER, W.: *Strategien und Technologien einer pluralistischen Fern- und Nahwärmeversorgung in einem liberalisierten Energiemarkt unter besonderer Berücksichtigung der Kraft-Wärme-Kopplung und regenerativer Energien / Arbeitsgemeinschaft Fernwärme e.V. Frankfurt, 2001. – Forschungsbericht*

Gülec u. a. 1994

GÜLEC, T. ; KOLMETZ, S. ; ROUVEL, L.: *IKARUS Teilprojekt 5. Bd. 5-22: Energieeinsparpotential im Gebäudebestand durch Maßnahmen an der Gebäudehülle*. Jülich, 1994

Hensel 2010

HENSEL, M.: *Abbildung eines kommunalen Energiesystems auf einer GIS Plattform*. Kassel, 2010

Miara u. a. 2011

MIARA, M. ; GÜNTHER, D. ; KRAMER, T. ; OLTERS DORF, T. ; WALPER, J.: *Wärmepumpen Effizienz: Messtechnische Untersuchung von Wärmepumpenanlagen zur Analyse und Bewertung der Effizienz im realen Betrieb*. Freiburg : Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme, 2011

Mitchell 2008

MITCHELL, T.: *Web Mapping Illustrated: Using Open Source GIS Toolkits*. O'Reilly Media, 2008

Negash 2009

NEGASH, D.: *Gebäudetypologie der Stadt Wolfhagen und Dach-*

flächenpotentiale für die Solarenergienutzung unter Anwendung von Arc-GIS. Kassel, 2009

Platt u. a. 2010

PLATT, M. ; EXNER, S. ; BRACKE, R.: Analyse des deutschen Wärmepumpenmarktes: Bestandsaufnahme und Trends / Geothermie Zentrum. Bochum, 2010. – Forschungsbericht

Roth 1980

ROTH, U.: Wechselwirkungen zwischen der Siedlungsstruktur und Wärmeversorgungssystemen / „Raumordnung“ des Bundesministers für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau. Bonn, 1980 (06.044). – Forschungsbericht

Sager u. Schmidt 2009

SAGER, C. ; SCHMIDT, D.: *Wolfhagen 100% EE: Entwicklung einer nachhaltigen Energieversorgung für die Stadt Wolfhagen.* Kassel : Fraunhofer Institut für Bauphysik, 2009

Schaumann u. Schmitz 2010

SCHAUMANN, G. ; SCHMITZ, K. W.: *Kraft-Wärme-Kopplung.* 4., vollst. bearb. u. erw. Aufl. Springer Berlin Heidelberg, 2010 (VDI-Buch). – ISBN 3642014240

Schulz u. a. 1995

SCHULZ, W. ; TRAUBE, K. ; SALMEN, H.-U.: *Ermittlung und Verifizierung der Potenziale und Kosten der Treibhausgasminderung durch Kraft-Wärme-Kopplung zur Fern- und Nahwärmeversorgung im Bereich Siedlungs-KWK.* Bremen, 1995

VDI 2008

VDI: *4608 Blatt 2: Energiesysteme - Kraft-Wärme-Kopplung - Allokation und Bewertung.* 2008

VDI 2012

VDI: *2067: Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen.* 2012

Welage u. a. 2007

WELAGE, A. ; GRAMLICH, T. ; PAULS, B. ; PAULS, S. ; PAWLICZEK, I. ; SCHEMLICH, R.: *Energieausweis – Das große Kompendium: Grundlagen – Erstellung – Haftung.* 1. Wiesbaden : Friedr. Vieweg & Sohn Verlag, 2007

Winkens 1994

WINKENS, H.-P.: *Fernwärmespeicherung, -transport und -verteilung.* Jülich, 1994 (IKARUS Teilprojekt 4)

Verband für Wärmelieferung 2012

WÄRMELIEFERUNG, e.V. Verband f.: *Leitfaden für die Ausschreibung*

Literaturverzeichnis

von *Energieliefer-Contracting*. <http://www.energiecontracting.de/3-praxishilfen/ausschreibung/ausschreibungsleitfaden-vorcheck.php>. Version: 2012