

# Endbericht



Überlegungen zu Einsatzgrenzen und zur Gestaltung  
einer zukünftigen Fern- und Nahwärmeversorgung

## Untersuchung von Nah- und Fernwärmenetzen

Der Bericht wurde erstellt von /  
Das Projekt wurde bearbeitet von:

Die Verantwortung für den Inhalt  
des Berichtes liegt bei den Verfassern.

Prof. Dr.-Ing. Dieter Wolff  
Dr.-Ing. Kati Jagnow

15. Mai 2011  
(mit 1 Korrektur von 2022)

Bezugsquelle / Quellenangabe:

Wolff, D. und Jagnow, K.; Überlegungen zu Einsatzgrenzen und zur Gestaltung einer zukünftigen Fern- und Nahwärmeversorgung; Wolfenbüttel/Braunschweig; nur online unter [www.delta-q.de](http://www.delta-q.de); 2011.

## Inhalt

<b>1</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Einführung</b> .....	<b>9</b>
2.1	Eingrenzung des Bearbeitungsumfangs.....	11
2.2	Besondere Fragestellungen für den Auftraggeber.....	13
<b>3</b>	<b>Grunddaten</b> .....	<b>15</b>
3.1	Entwicklung des Wärme- und Strombedarfs der Gebäude.....	16
3.1.1	Wärmebedarf .....	17
3.1.2	Strombedarf .....	18
3.2	Biomasseverfügbarkeit und Biomassebudget .....	19
3.3	Bewertung von Wärmenetzen.....	19
3.3.1	Kennwerte .....	19
3.3.2	Netzverluste.....	20
3.3.3	Kosten von Nah- und Fernwärmenetzen.....	22
<b>4</b>	<b>Vorhandene Ansätze und Randdaten</b> .....	<b>25</b>
4.1	Generelle Überlegungen .....	25
4.2	Problematik 1: Biomassebewertung und -kosten.....	25
4.2.1	Heutige Situation .....	26
4.2.2	Pro und Contra am Beispiel .....	26
4.2.3	Lösungsvorschlag und weitere Vorgehensweise.....	27
4.3	Problematik 2: Stromgutschriftmethode und KWK-Bewertung.....	27
4.3.1	Heutige Situation .....	27
4.3.2	Stromgutschriftmethode: Entwicklung eines Dreiquadrantendiagramms .....	27
<b>5</b>	<b>Erstellung von Versorgungskonzepten</b> .....	<b>31</b>
5.1	Bewertung auf Basis einer Gesamtbilanz .....	31
5.2	Festlegung von Systemgrenzen .....	33
5.3	Festlegung von Varianten für die Versorgung.....	34
5.4	Feststellung des Gebäudebedarfs.....	36
5.4.1	Energieanalyse auf Basis von Verbrauchsdaten.....	36
5.4.2	Energiebedarfsbilanzen für den Neubau .....	38
5.4.3	Mischformen der Kennwertermittlung.....	40
5.5	Abschätzung der Verteilverluste .....	40
5.6	Kostenschätzungen.....	41
5.7	Systematische Auswertung .....	42
5.7.1	Endenergiebilanz für Wirtschaftlichkeitsbewertung .....	42
5.7.2	Endenergiebilanz für Ressourcenverbrauch .....	42
5.7.3	Wirtschaftlichkeitsbewertung.....	43
5.7.4	Primärenergie- und CO <sub>2</sub> -Bilanzen.....	43
5.8	Schlussfolgerungen .....	44

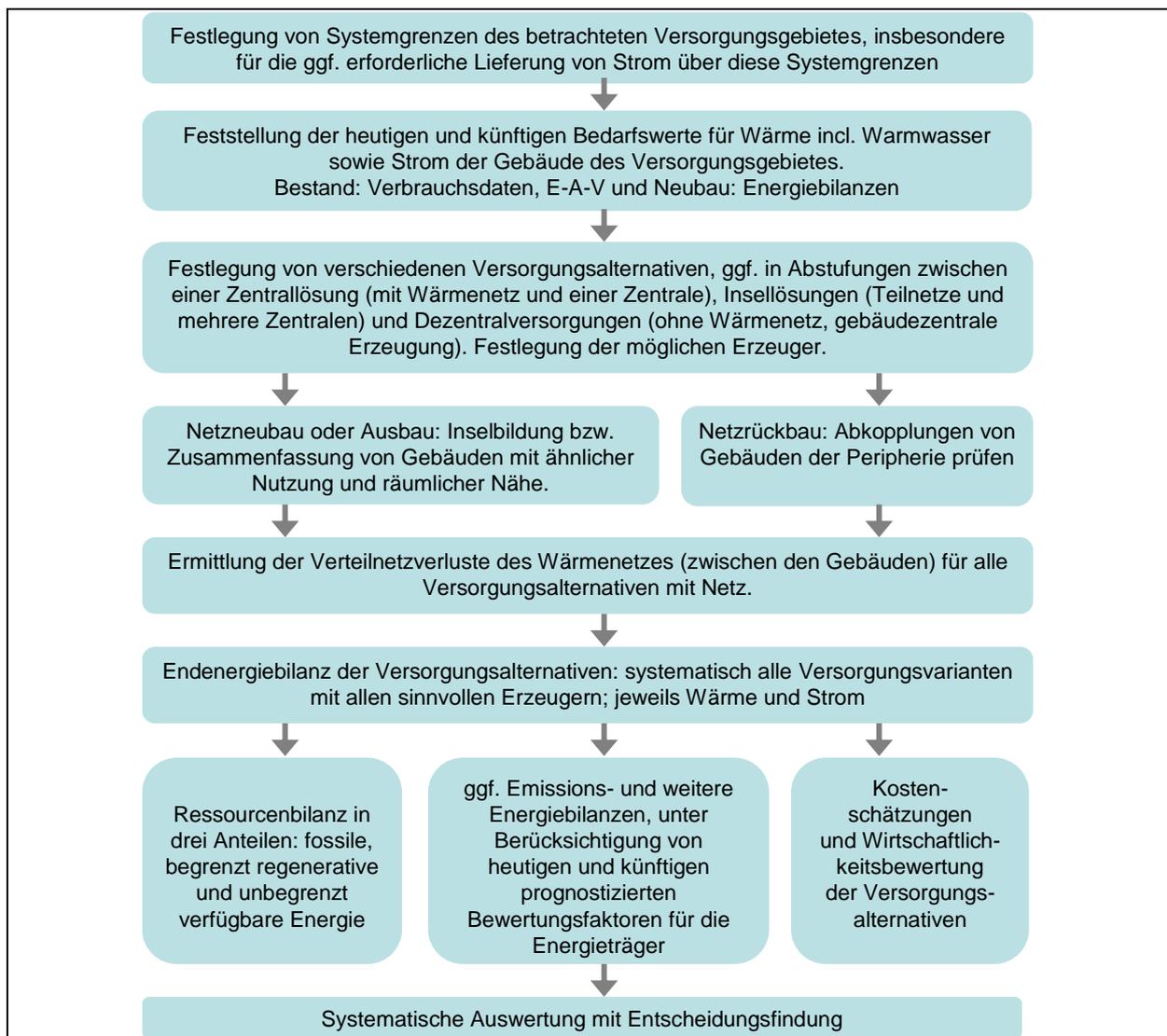
<b>6</b>	<b>Detailliert untersuchtes Versorgungsgebiet .....</b>	<b>45</b>
6.1	<b>Beschreibung der Liegenschaft.....</b>	<b>45</b>
6.2	<b>Problemstellung im konkreten Fall.....</b>	<b>49</b>
6.3	<b>Grunddatenzusammenstellung.....</b>	<b>50</b>
6.3.1	Systemgrenzen.....	50
6.3.2	Heutige Gebäudebedarfswerte .....	50
6.3.3	Künftige Gebäudebedarfswerte .....	53
6.3.4	Netzverluste.....	57
6.3.5	Annahmen zur Endenergiebilanzierung .....	59
6.3.6	Investitions- und Kapitalkosten .....	61
6.3.7	Betriebs- und Energiekosten.....	62
6.3.8	Energieträgerbewertung .....	63
6.4	<b>Systematische Auswertung .....</b>	<b>65</b>
6.4.1	Versorgungs- und Erzeugervarianten .....	65
6.4.2	Untersuchung der Peripherie .....	66
6.4.3	Untersuchung des Kerngebietes.....	76
6.4.4	Alternative Vorgehensweise für die Untersuchung der Versorgungsstruktur .....	81
6.5	<b>Konzepterstellung und Schlussfolgerungen .....</b>	<b>84</b>
6.5.1	Zeitliche Aspekte .....	84
6.5.2	Fazit und Schlussfolgerungen.....	94
<b>7</b>	<b>Weitere Versorgungsgebiete – Teilaspekte.....</b>	<b>97</b>
7.1	<b>Dorf Jühnde .....</b>	<b>97</b>
7.1.1	Untersuchter Teilaspekt .....	97
7.1.2	Kurzbeschreibung und Kennwerte des Gebietes .....	97
7.1.3	Erläuterungen und Problemlösung.....	99
7.2	<b>Siedlung Hannover "In der Rehre" .....</b>	<b>100</b>
7.2.1	Untersuchter Teilaspekt.....	100
7.2.2	Kurzbeschreibung und Kennwerte des Gebietes .....	100
7.3	<b>Stadtteil Hannover Kronsberg .....</b>	<b>102</b>
7.3.1	Untersuchter Teilaspekt .....	102
7.3.2	Kurzbeschreibung und Kennwerte des Gebietes .....	102
7.3.3	Erläuterungen und Problemlösung.....	105
7.4	<b>"Ahlumer Siedlung" in Wolfenbüttel .....</b>	<b>105</b>
7.4.1	Erläuterungen und Problemlösung.....	105
7.4.2	Untersuchte Teilaspekte .....	106
7.4.3	Kurzbeschreibung und Kennwerte des Gebietes .....	106
7.5	<b>Stadt Braunschweig .....</b>	<b>109</b>
7.6	<b>Übersicht der untersuchten Versorgungsgebiete .....</b>	<b>110</b>
<b>8</b>	<b>Ergebnisse, Empfehlungen und Forderungen .....</b>	<b>113</b>
8.1	<b>Empfehlungen zur Analyse .....</b>	<b>113</b>
8.1.1	Detaillierte Analyse von Versorgungsgebieten.....	114
8.1.2	Planungsdaten für Nah- und Fernwärmenetze.....	114
8.1.3	Absolute statt pauschale Verteilnetzverluste .....	115
8.1.4	Kombinierte Betrachtungen zu Strom und Wärme .....	116
8.1.5	Begrenzung des Einsatzes von begrenzt verfügbaren regenerativen Stoffen .....	116
8.2	<b>Erkenntnisse aus den Praxisprojekten .....</b>	<b>117</b>
8.3	<b>Verallgemeinerungen .....</b>	<b>118</b>
8.3.1	Empfehlungen .....	119
8.3.2	Übersichtsmatrix.....	120
<b>9</b>	<b>Quellen.....</b>	<b>123</b>

# 1 Zusammenfassung

Die vorliegende Studie befasst sich mit Einsatzgrenzen und der Gestaltung einer zukünftigen Fern- und Nahwärmeversorgung. Schwerpunkt liegt auf der energetischen und wirtschaftlichen Bewertung von Wärmenetzen. Die Bewertungssystematik wird zunächst theoretisch erstellt und anschließend am konkreten Beispiel angewendet. Allgemeine Schlussfolgerungen werden abgeleitet. Im Fokus der Entwicklung des Wärmenetzausbaus liegen dabei dörfliche Siedlungsstrukturen mit kleineren Wohngebäuden, wie sie typisch für Bioenergiedörfer – aber auch die klassische Heizölversorgung – sind.

## Systematische Bewertung von Projekten

Die Untersuchung von Versorgungsgebieten sollte systematisch neben der ggf. anvisierten Wärmenetzlösung auch Alternativen in Form von Versorgungsinseln oder gebäudeweiser Versorgung enthalten. Ebenso sind mehrere alternative Arten der Wärme- und Stromversorgung zu untersuchen. Es wird der in Bild 1 skizzierte Leitfaden für die Untersuchung von Projekten mit Wärmenetzen empfohlen.



**Bild 1 Leitfaden für eine systematische Analyse von Wärmenetzprojekten**

Die Wirtschaftlichkeit dürfte das wichtigste Entscheidungskriterium für eine Versorgung mit oder ohne Wärmenetz sein. Weiterhin sollten der Ressourcenverbrauch und damit die Emissionen als Entscheidungskriterien herangezogen werden. Bei der Verwendung der Primärenergie als Bewertungsmaßstab sind die politische Färbung und die derzeit anzutreffende Beliebigkeit der Berechnung von Primärenergiefaktoren zu bedenken. Letzteres gilt v. a. für die Bewertung von Nah- und Fernwärme aus Kraft-Wärme-Kopplung aber auch für begrenzt verfügbare Biomasse – v. a. für Holz und Biogas - als regenerativer Brennstoff.

Bei der Neuerrichtung, dem Ausbau oder der Verdichtung von Gebieten mit Nah- und Fernwärme müssen folgende Punkte beachtet werden:

- Wärme- und Stromeinsatz müssen bei der Erstellung von Konzepten immer gemeinsam bewertet werden, da vor dem Hintergrund der energetischen Modernisierung von Gebäuden die Grenze zwischen klassischem Haushaltsstromverbrauch und Heizenergie immer mehr verschwindet,
- bei einer Konzeptfindung sind die künftigen Bedarfswerte des Versorgungsgebietes zu Grunde zu legen, wobei drei Teilmengen zu betrachten sind: der künftige Haushaltsstrombedarf, der künftige witterungsbedingte Endenergiebedarf (Wärme, ggf. Kälte) sowie der witterungsunabhängige Bedarf (Trinkwarmwasser, ggf. Verluste gebäudeinterner Versorgungsnetze),
- für alle Energieträger muss der jeweilige Ressourceneinsatz bei der Konzeptfindung miteinander verglichen werden; dies vor dem Hintergrund der sich permanent – und auch unter politischen Einflüssen – ändernden Primärenergiefaktoren für die Energieträger, wobei die Tendenz einer Angleichung der primärenergetischen Energieträgerbewertung für Wärme- und Strommix zu erwarten ist (Primärenergiefaktoren nach heutigen Berechnungsformeln für beide Anwendungen Wärme und Strom etwa gleich 0,6 nach Energiekonzept 2050 der Bundesregierung). Auch bei der Aufstellung von Energie- und Klimaschutzkonzepten für Regionen werden zunehmend ausschließlich der Endenergieeinsatz und die damit verbundenen CO<sub>2</sub>-Emissionen betrachtet,
- die künftige Unterscheidung der Wertigkeit von Energieträgern sollte anhand der Verfügbarkeit (begrenzt oder unbegrenzt) erfolgen, d.h. in begrenzt verfügbare, klassisch fossile Stoffe (Kohle, Erdöl, Erdgas), begrenzt verfügbare biogene Brennstoffe (Holz, Biogas, Bioöl) und unbegrenzt verfügbare Energieträger (Sonne, Wind).

### **Empfehlungen für den Fernwärmeanschluss von Gebäuden mit Neubaustandard**

Hauptkriterium für eine Bewertung von Nah- und Fernwärmesystemen im Neubau und im energetisch modernisiertem Bestand ist der wohnflächenbezogene Verteilnetzverlust von maximal (10) - 15 kWh/(m<sup>2</sup>a) als möglichst nicht zu überschreitender Grenzwert bei Kraft-Wärme-Kopplung. Bei den mit neuen Fernwärmerohrsystemen nach heutigem Stand der Technik realisierbaren kleinsten Verlustwerten von ca. 150 ... 250 kWh/a je Meter Trassenlänge können hieraus in einer ersten Entscheidungsphase Schlussfolgerungen gezogen werden.

Der Netznutzungsgrad sollte bei möglichst über 90 % liegen. In allen Fällen sollte ein möglichst hoher Anteil der gelieferten Wärmeenergie (> 25 ... 50%) in Kraft-Wärme-Koppelung erzeugt werden.

Wegen des in heutigen Neubauten gesetzlich geforderten Dämmstandards ist der Einsatz von Nah- und Fernwärmesystemen nur bei ausreichend hoher Anschlussdichte (dichte Mehrfamilienhausstruktur mit typisch mehr als 20 Wohneinheiten je Gebäude) mit gleichzeitiger Kraft-Wärme-Kopplung in der Zentrale sinnvoll.

## Empfehlungen für den Gebäudebestand

Hauptkriterium für eine Bewertung von Nah- und Fernwärmesystemen mit Kraft-Wärme-Kopplung im Bestand ist ein wohnflächenbezogener Verteilnetzverlust von max. 25 ... 30 kWh/(m<sup>2</sup>a) als möglichst nicht zu überschreitender Grenzwert.

Mit alten Fernwärmerohrsystemen sind Verlustwerte von bis zu 500 kWh/a je Meter Trassenlänge üblich. Auch hieraus ergeben sich zulässige Verteilnetzverluste von maximal 88 ... 90%. Aus diesen Randbedingungen können für den Weiteranschluss oder die Abkoppelung erste Schlussfolgerungen gezogen werden. Auch hier sollte in allen Fällen ein hoher Anteil der gelieferten Wärmeenergie (> 50%) aus Kraft-Wärme-Koppelung erzeugt werden.

Der Einsatz von Nah- und Fernwärmesystemen im Gebäudebestand bei geringer Anschlussdichte ist nicht zu rechtfertigen. Dies gilt umso mehr, wenn keine KWK in der Zentrale vorgesehen ist. Auch sollte auf den Neubau eines Netzes verzichtet werden, wenn die Anschlussdichte absehbar durch energetische Gebäudemodernisierung in der Zukunft so klein wird, dass ein mit hohen Investitionen verbundener Netzaufbau sich langfristig wirtschaftlich nicht rechnet.

In bestehenden Siedlungsstrukturen mit mittlerer Anschlussdichte ist der Neuaufbau einer Nahwärmeversorgung meist nicht wirtschaftlich darstellbar. Hier werden evtl. zukünftig kleinste gebäudezentrale Einzel-BHKWs eingesetzt (stromerzeugende Heizung).

## Empfehlungsmatrix

Aus den Einzelaspekten zu Wärmenetzen bei Neubauten und Bestandsbauten, bei großstädtischen, kleinstädtischen und dörflicher Siedlungsstruktur kann eine Matrix mit Empfehlungen abgeleitet werden – nachfolgende Tabelle 2.

Die Entscheidungen bzw. Empfehlungen sind dabei abhängig von den baulichen bzw. energetischen Standards der angeschlossenen Gebäude. Die Gebäude werden wie folgt typologisiert:

Energiekennwert für Raumwärme und Warmwasser*	Beschreibung
> 180 kWh/(m <sup>2</sup> a)	Vorkriegsgebäude mit erhaltenswerten Fassade und Nachkriegsgebäude bis 1976, sofern sie nicht in den nächsten 15 Jahren modernisiert werden
120 ... 180 kWh/(m <sup>2</sup> a)	Bestandsgebäude von 1977 bis 1994, sofern sie nicht in den nächsten 15 Jahren modernisiert werden
80 ... 120 kWh/(m <sup>2</sup> a)	Neubauten ab 1995 und normal sanierte Objekte älteren Baujahrs (incl. Modernisierungen auf dieses Niveau in den nächsten 15 Jahren)
< 80 kWh/(m <sup>2</sup> a)	Neubauten ab 2009 und hochwertig sanierte Objekte älteren Baujahrs (incl. Modernisierungen auf dieses Niveau in den nächsten 15 Jahren)
nicht relevant	alle Gebäude, deren langfristiger Erhalt nicht sichergestellt ist

\* die Kennwerte gelten nicht für Gebäude mit Wärmepumpen, sondern bei Gas-, Öl-, Fernwärmeversorgung

**Tabelle 1 Einteilung der Gebäude nach Energiekennwerten**

Wichtiger Hinweis: Gebäude werden nur dann mit ihrem heutigen Energiekennwert einer der 4 Gruppen zugeordnet, wenn innerhalb der nächsten 15 Jahre keine Änderung des Energieverbrauchs aufgrund einer Modernisierung zu erwarten ist. Anderenfalls ist eine Zuordnung mit dem langfristig zu erwartenden Kennwert sinnvoller.

Daraus können abhängig vom Gebäudealter bzw. der Nutzenergieabnahme der Gebäude Empfehlungen gegeben werden für:

- die Abkopplung vom Netz
- die Beibehaltung des Anschlusses am Netz
- den Neubau eines Netzes
- die Erweiterung eines bestehenden Netzes

Siedlungsart	Energiekennwert, in kWh/m <sup>2</sup> a	Vorhandensein eines Bestandsnetzes für Nah- und Fernwärme		Vorhandensein eines Bestandsnetzes für Nah- und Fernwärme		Verlegung eines neuen Netzes für Nah- und Fernwärme incl. Erweiterung von Bestandsnetzen	
		Gebäude derzeit mit Anschluss		Gebäude derzeit ohne Anschluss			
Legende		++ + o - --	Anschluss bleibt ↓ Rückbau prüfen ↑ Rückbau empfohlen	++ + o - --	Anschluss empfohlen ↓ Anschluss prüfen ↑ Anschluss nicht empfohlen	++ + o - --	Netz empfohlen ↓ Netz prüfen ↑ Netz nicht empfohlen
Großes Versorgungsgebiet, z.B. Stadtviertel mit großen Mehrfamilienhäusern	>180	++		+		o	
	120-180	++		+		o	
	80-120	+		o		o	
	<80	+		o		o	
mittleres Versorgungsgebiet, z.B. Kleinstadt oder Siedlung mit mittelgroßen Mehrfamilienhäusern	>180	++		+		o	
	120-180	+		o		-	
	80-120	o		-		--	
	<80	o		-		--	
Kleines Versorgungsgebiet, z.B. Siedlung, Dorf mit überwiegend Ein- und Zweifamilienhäusern	>180	+		o		-	
	120-180	+		-		-	
	80-120	o		--		--	
	<80	-		--		--	
alle Versorgungsgebiete	langfristig Abriss	++		--		--	

**Tabelle 2 Bewertungsmatrix für Wärmenetze**

## 2 Einführung

Seit knapp einem Jahrzehnt wird der Ausbau von Biomasseheizkraftwerken durch das Einspeise-Gesetz, das Erneuerbare Energie-Gesetz (EEG) und seit 2009 durch das Erneuerbare-Energien-Wärme-Gesetz (EEWärmeG) gefördert und forciert. Dies betrifft in verstärktem Maße auch den Ausbau von Wärmenetzen mit einer Lebensdauer von 40 bis 80 Jahren. Dieser Ausbau ist mit hohen Investitionen verbunden.

Der Nutzen eines forcierten Ausbaus von Nah- und Fernwärmekonzepten zur Erreichung der Ziele des aktuell veröffentlichten Konzepts der Bundesregierung [Energiekonzept 2010] wird in dieser Studie in Frage gestellt. Es sollte zunächst geprüft werden, ob die gleichen Strom- und Wärmemengen nicht mit gleicher Effizienz dezentral erzeugt werden können.

Die vorliegende Studie zu Nah- und Fernwärmesystemen soll aufzeigen, in welchen Fällen ein zentrales Wärmenetz einer gebäudeweisen Einzelversorgung vorzuziehen ist.

Auf der Grundlage vorhandener Untersuchungen, die von den Gutachtern aktuell und in der Vergangenheit begleitet wurden sowie auf Basis weiterer recherchierter Projekte soll eine wirtschaftliche und energetische Bewertung von Wärmeversorgungskonzepten zur Verallgemeinerung zukünftiger Versorgungsstrategien erarbeitet werden.

Einen Schwerpunkt bilden hierbei die Verteilverluste von Nah- und Fernwärmesystemen. Zukünftig hohe energetische Standards der angeschlossenen Gebäude und ein begrenztes Biomassebudget bei zukünftigem Einsatz regenerativer Biomasseversorgung werden berücksichtigt. Bei Einsatz von KWK wird zusätzlich die heute übliche primärenergetische Bewertung nach der EnEV und in den Normen (DIN V 4701-10 und DIN V 18599) hinsichtlich ihrer Auswirkung analysiert.

Praxisergebnisse nach dem Verfahren der 2001 von den Gutachtern entwickelten Energieanalyse aus dem Verbrauch [E-A-V] und Energiebilanzkennwerte eines 2005 veröffentlichten Bewertungsschemas [IWU-NEH] sowie aus verschiedenen Studien zu Fernwärmesystemen [fiw-98], [Leitfaden Nahwärme] werden für die realistische Bewertung der Energiebilanzierung von Nah- und Fernwärmeversorgungssystemen eingesetzt.

Zu unterscheiden ist zwischen der Bewertung eines vorhandenen Netzes – und gegebenenfalls dessen Ausbau – und der Planung eines neuen Netzes. In beiden Fällen sollten die hohen Investitionen und die langfristige Festlegung auf ein Konzept (Lebensdauer von Netzen; 50 ... 70 Jahre) immer im Mittelpunkt der Entscheidungen stehen.

Weiterhin zu unterscheiden ist zwischen dem Einsatz eines Fern- oder Nahwärmenetzes in Kombination mit einem reinen Heizwerk oder mit einem Heizkraftwerk. Kurz- und mittelfristig bietet sich der Neubau eines Fernwärme- oder Nahwärmenetzes im Regelfall nur bei Einsatz von Heizkraftwerken oder in Ausnahmefällen bei Holz als "derzeit preiswertem" Energieträger an.

Bei Kraft-Wärme-Kopplung mit Wärmeführung sind die zusätzlichen Verteilverluste des Netzes gegen die zusätzliche Stromerzeugung aus der Kraft-Wärme-Kopplung abzuwägen; wirtschaftlich und hinsichtlich der mittel- und langfristigen Verfügbarkeit der eingesetzten Ressourcen, also fossile und begrenzt verfügbare regenerative Energieträger (Biomasse und begrenztes Biomassebudget).

Eine umfassende Verdichtung bzw. ein Ausbau vorhandener konventioneller Fernwärme-konzepte meist mit KWK und mit Erdgas oder Kohle als Energieträger werden in dieser Studie nicht prognostiziert. Gegen einen Ausbau spricht die sinkende Wärmeabnahmedichte bei zunehmenden Dämmstandards der Gebäude.

Der Einsatz von Nah- und Fernwärme bei Neuplanungen wird spätestens dann obsolet, wenn mit Techniken vergleichbarer Effizienz die gleichen Aufgaben auch ohne Netz – und auch mit dezentraler Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) zur gleichzeitigen Stromerzeugung – bei vergleichbarer Wirtschaftlichkeit erfüllt werden können.

Beim Betreiben größerer Energieversorgungssysteme wie Heizwerken oder Heizkraftwerken mit Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) sind Wärmenetze erforderlich. Die Vorteile dieser Systeme werden häufig in politischen Diskussionen zu zukünftigen Weichenstellungen diskutiert. Grundlage der Betrachtungen sind in der Regel Neubausiedlungen. Die erforderlichen Verteilsysteme können kostengünstig verlegt werden. Im Bestand ergeben sich andere Verhältnisse, die zu höheren Kosten führen.

Es stellt sich die Frage, ob in Niedrigenergiehäusern, die nur wenige Monate im Jahr Heizwärme benötigen, diese Technik sinnvoll eingesetzt werden kann. Aus der Gasbranche sind viele Studien bekannt, die eine Versorgung solcher Gebäude unwirtschaftlich erscheinen lassen. Aus ökologischer Sicht müssen bei der Nah- und Fernwärmeversorgung die Leitungsverluste berücksichtigt werden, deren Anteil bei geringerer Abnahme im Verhältnis zur transportierten Wärmemenge steigen.

Die detaillierte Analyse zweier aktueller Studien [Energiebalance 2009] und [Fernwärme 2007] zeigt ein aus obigen Überlegungen folgendes Paradoxon auf: der beabsichtigte Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung, aber auch großer solarthermischer Anlagen – beides mit Unterstützung von Nah- und Fernwärmesystemen – kollidiert mit der gleichzeitigen bzw. sogar vorrangigen und notwendigen Reduktion des Gebäudenutzwärmebedarfs sowie der technischen Verluste (Speicherung, Verteilung), um die langfristigen Ziele des begrenzten Ressourceneinsatzes- und der damit verbundenen CO<sub>2</sub>-Minderung zu erreichen. Je größer die Netzverluste (und auch Speicherverluste), desto sinnvoller erscheint nach derzeitig in Frage zu stellenden Förderprogrammen der Einsatz von KWK bzw. großer solarthermischer Anlagen!

Die Untersuchungen in der vorliegenden Studie führen zu dem Ergebnis der Gutachter, dass für zukünftige Strategien zur Wärme- und Stromversorgung immer Bilanzen der eingesetzten Endenergien, d. h. der Ressourcen an begrenzt verfügbaren fossilen und regenerativen (Biomasse) Energieträgern erstellt werden müssen. Diese berücksichtigen dann "quasi" als Nebenprodukt die Bilanzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen. Werden diese Bilanzen nicht erstellt, sind weitere Fehlentwicklungen der Energie- und Förderpolitik der Bundesregierung durch die derzeitige Primärenergiebewertung nach EnEV und nach EEWärmeG vorprogrammiert.

Die Ergebnisse verdeutlichen die hohe Bewertungsproblematik einer zukünftigen Energieversorgung im Wärme- und Strombereich mit fossilen und begrenzt und unbegrenzt verfügbaren erneuerbaren Energieträgern. Die derzeitig angewandte Stromgutschriftmethode für die Bewertung von Nah- und Fernwärme mit Kraft-Wärme-Kopplung nach EnEV [DIN V 18599] wird deshalb zu Recht von verschiedenen Seiten kritisiert [IWU-2002].

Auch alternative Methoden, wie die Gesamteffizienzmethode [IWU 2002], sind nach Auffassung der Autoren unbefriedigend, solange keine politische Entscheidung über die zukünftigen Stromversorgungssysteme [Energiekonzept 2010] getroffen wird.

Es handelt sich um ein iteratives Problem auf der Zeitachse und um ein iteratives Problem für die Anforderungen der Energieeinsparung, der Energieeffizienz und des Klimaschutzes (CO<sub>2</sub>-Minderung). Es ist damit "leider" ein Problem für die "politische" Entscheidung zur zukünftigen Strom- und Wärmeversorgung aus fossilen und begrenzten (Biomasse) erneuerbaren – also endlichen – und aus unendlichen Energieträgern (Solarelektrizität und Solarthermische Anlagen, Windenergie).

## 2.1 Eingrenzung des Bearbeitungsumfangs

Der Neubau von Nah- und Fernwärmenetzen sowie die Verdichtung und der Ausbau bis hin zum Anschlusszwang an vorhandene Nah- und Fernwärmesysteme im Vergleich zu dezentralen Lösungen sind Gegenstand dieser Studie.

### Ressourcenverbrauch und Wirtschaftlichkeit

Die Studie macht Vorschläge zur systematischen Erstellung von Versorgungskonzepten und zeigt dies an einem konkreten Beispiel. Es stehen dabei der Ressourcenverbrauch von Energieträgern und die Wirtschaftlichkeit im Mittelpunkt der Untersuchungen.

Dabei liegt der Fokus der Studie auf den Netzen, welche neben den konventionellen Energieträgern Kohle und Gas auch Gas/Biogas, Öl/Bioöl oder Holz oder Solarwärme als Energieträger verwenden. Hier ist über die energetische und wirtschaftliche Sinnhaftigkeit im Einzelfall zu entscheiden, siehe Bild 2.

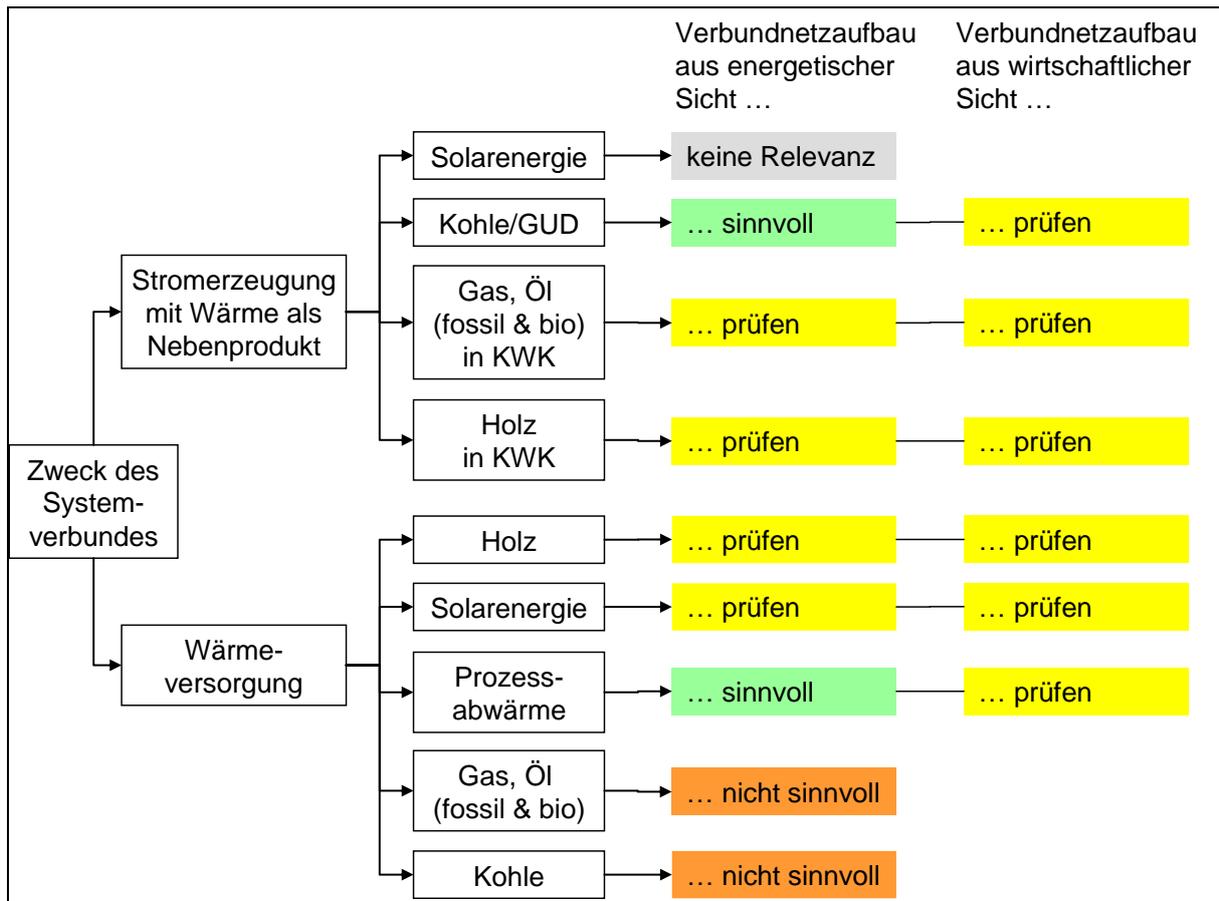
Fernwärmesysteme mit reiner Heizwärmeerzeugung konkurrieren direkt mit dezentralen Wärmeerzeugungssystemen, wenn zur energetischen Bewertung der gleiche Energieträger vorausgesetzt wird.

Die Effizienz kleinerer, dezentral eingesetzter Holz-, Öl- und Gaskessel konnte in den letzten 10 ... 15 Jahren wesentlich gesteigert werden.

- Klein-BHKWs für begrenzt verfügbare fossile und biogene Gas und Öle sind bereits verfügbar und werden weiter entwickelt
- auch für die begrenzt verfügbaren regenerativen Energieträger Holzhackschnitzel und Abfallholz werden kleinere Kesseleinheiten entwickelt.

Zentrale Heizwerke sind aus ökologischen und ökonomischen Gesichtspunkten daher nur zu rechtfertigen, wenn der Effizienzvorteil einer zentralen Wärmeerzeugung die Nachteile zusätzlicher Netzverluste gegenüber einer dezentralen Lösung übersteigt. Beim heutigen Stand der Technik – z. B. bei holzbefeuerten Kesseln – ist ein Effizienzvorteil zentraler Großkessel nur noch in Ausnahmefällen gegeben. Ein wirtschaftlicher Kompromiss sind kleine Inselheizzentralen mit konzentriert kurzen Nahwärmenetzen.

Sonderfälle liegen vor bei der Verwertung von Abwärme aus Müllverbrennungsanlagen, bei kostenloser und sowieso vorhandener Abwärme und bei Anlagen mit solarer Einspeisung.



**Bild 2** Notwendigkeit einer detaillierteren Untersuchung bei Wärmenetzprojekten

### Ressourcen- oder Primärenergiebewertung?, Umweltwirksamkeit, Reglementierung

Das Ziel der Studie ist nur am Rande die primärenergetische Bewertung von Versorgungskonzepten, da diese stark politisch geprägt ist bzw. sein kann. Gleiches gilt für die Bewertung der Umweltwirksamkeit anhand von CO<sub>2</sub>-Äquivalenten. An erster Stelle stehen die heutige und zukünftige Verfügbarkeit und der damit verbundene Kohlenstoffeinsatz. Daraus resultieren dann von selbst die zu vermeidenden CO<sub>2</sub>-Emissionen.

Die Einstufung der begrenzt verfügbaren biogenen Brennstoffe – Holz, Biogas, Bioöl – hinsichtlich ihrer Verfügbarkeit und Umweltwirksamkeit für den heutigen und zukünftigen Wärme- und Strommarkt ist umstritten. Das spiegelt sich auch in den Diskussionen um deren Ausbau im Energiemarkt wieder.

Die Studie beschränkt sich hier auf den Ressourcenverbrauch als solchen. Sie macht keine Vorschläge zur Reglementierung des Umgangs mit fossilen oder begrenzt verfügbaren Brennstoffen, z.B. im Rahmen der Energiegesetzgebung. Jedoch werden Konsequenzen der heutigen Bewertung auf die Marktentwicklung und den Ressourcenverbrauch als Randthemen angeschnitten.

## 2.2 Besondere Fragestellungen für den Auftraggeber

Als wichtige Untersuchungspunkte für den Auftraggeber wurden die Themen: Nahwärmeausbau bis hin zum Anschlusszwang städtischer Gebiete sowie Bioenergiedörfer erkannt. Tabelle 3 zeigt eine Übersicht für Untersuchungsfälle im Zusammenhang mit Wärmenetzen, die weiter unten detaillierter erläutert wird.

	Art der Gebäude	Verlegung eines neuen Netzes für Nah- und Fernwärme	Vorhandensein eines Bestandsnetzes für Nah- und Fernwärme
Großes Versorgungsgebiet, z.B. Stadtviertel, Kleinstadt	Neubauten	Errichtung komplett neuer großer Versorgungsgebiete mit der Verlegung eines neuen Fern-/Nahwärmenetzes. Kommt in der Praxis insgesamt selten vor. In städtischen Lagen ist der alternative Einsatz von gasbefeuerten Erzeugern oder Wärmepumpen häufiger zu beobachten. Hier wäre sehr kleines Interesse des Auftraggebers zu vermuten, denn der Ölmarkt wäre in diesem Gebäudesektor sowieso eher gering einzustufen.	Die Verdichtung von Anschlussgebieten – überwiegend städtische Lagen – bei denen bereits ein Wärmenetz vorhanden ist durch Lückenbebauung. Es ist zu vermuten, dass der Neubau Wärmepumpe, Holzheizung oder Ölkessel bekommen könnte, ggf. sind auch Gasnetze parallel vorhanden. Wahrscheinlich ist in diesem Fall jedoch der Anschluss an das Wärmenetz. Hier wäre ein sehr kleines Interesse des Auftraggebers zu vermuten.
	Bestandsbauten	Einbau von großen Wärmenetzen in bereits gebaute – eher städtische – Siedlungsstrukturen. Hier werden in städtischen Lagen häufig Gasnetze verdrängt, ggf. auch Ölheizungen und wenige Einzelfeuerstätten. Hier kann auch ein Anschlusszwang zur Diskussion stehen. Das Interesse des Auftraggebers wird in diesem Punkt als hoch eingestuft.	Die Verdichtung von Anschlussgebieten – überwiegend städtische Lagen – bei denen bereits ein Wärmenetz vorhanden ist, jedoch einzelne Bestandsgebäude noch nicht an dieses angeschlossen sind. In der Mehrzahl dieser Fälle haben die Gebäude vorher Gasheizung – wie für städtische Großgebiete üblich. Auch hier kann ein Anschlusszwang zur Diskussion stehen. Es ist ein mittleres Interesse des Auftraggebers zu vermuten.
Kleines Versorgungsgebiet, z.B. Siedlung, Dorf	Neubauten	Errichtung komplett neuer kleinerer Versorgungsgebiete mit der Verlegung eines neuen Nahwärmenetzes. Kommt in der Praxis häufiger vor. Insbesondere je kleiner die Verbundnetze sind. Jedoch ist der Neubaumarkt insgesamt vergleichsweise klein. Dabei ist häufig der Einsatz von Blockheizkraftwerken – auch ölbefeuerte – zu beobachten. Hier wäre ein mittleres Interesse des Auftraggebers zu vermuten.	Die Verdichtung von Anschlussgebieten – überwiegend städtische Lagen – bei denen bereits ein Wärmenetz vorhanden ist durch Lückenbebauung. Es ist zu vermuten, dass der Neubau Wärmepumpe, Holzheizung oder Ölkessel bekommen könnte, ggf. sind auch Gasnetze parallel vorhanden. Wahrscheinlich ist in diesem Fall jedoch der Anschluss an das Wärmenetz. Hier wäre ein sehr kleines Interesse des Auftraggebers zu vermuten.
	Bestandsbauten	Einbau von kleineren Wärmenetzen in bereits gebaute Siedlungsstrukturen, z.B. bei Bioenergiedörfern oder der Zusammenschluss von einzelnen Abnehmern zu Inseln. Hier werden in städtischen Lagen häufig Gasnetze verdrängt, jedoch in ländlichen Gebieten auch Ölheizungen. Andererseits sind auch bioölbetriebene Wärmenetze denkbar. Das Interesse des Auftraggebers wird in diesem Punkt als hoch eingestuft.	Die Verdichtung von Anschlussgebieten bei denen bereits ein Wärmenetz vorhanden ist, jedoch einzelne Gebäude noch nicht an dieses angeschlossen sind. Die betreffenden Gebäude haben ggf. auch Ölheizungen, vor allem im ländlichen Raum. Insgesamt ist die Anzahl der Objekte klein, daher wird ein kleineres Interesse des Auftraggebers vermutet.

Tabelle 3 Matrix für Untersuchungsfälle im Zusammenhang mit Wärmenetzen



### 3 Grunddaten

Zur Erstellung eines Fernwärmekonzeptes sind diverse Grunddaten erforderlich, insbesondere betrifft dies die Ermittlung von Energiebedarfswerten der zu versorgenden Objekte – heute und zukünftig. Darüber hinaus sind Abschätzungen zur künftigen Zusammensetzung des Wärme- und Strommarktes zu berücksichtigen, welche die Einordnung von Energiekonzepten mit Wärmenetz ermöglichen. Diese Daten werden im nachfolgenden Abschnitt zusammengestellt.

Zur besseren Bewertung von Konzepten, in welchen begrenzt verfügbare Biomasse eingesetzt wird, wird auch das Biomassebudget erläutert. Denn Biomasse spielt in Überlegungen über Netzausbauten zunehmend neben den konventionellen Wärmelieferanten eine Rolle, siehe Bild 3. Das Bild gibt eine grafische Zusammenstellung möglicher Energieträger, zentraler oder dezentraler Wärmeerzeuger sowie Verbraucher.

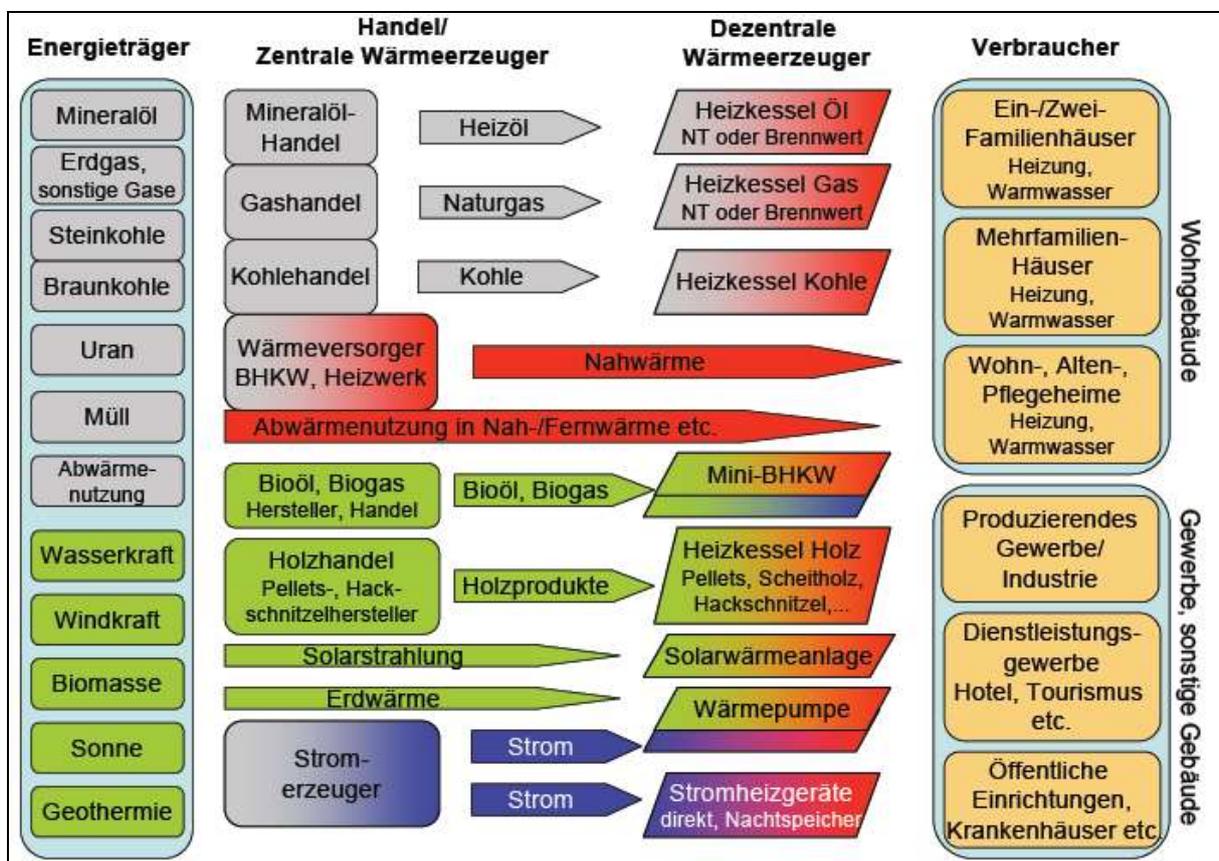


Bild 3 Übersicht Wärmemarkt [BMU]

Für die Bewertung des eigentlichen Netzes werden Angaben über Verluste und Errichtungskosten benötigt. Darüber hinaus werden auch Kennwerte und Indikatoren zur Einschätzung von Wärmenetzen vorgestellt.

### **3.1 Entwicklung des Wärme- und Strombedarfs der Gebäude**

Zur Erstellung eines Versorgungskonzeptes für ein überschaubares Versorgungsgebiet müssen dessen heutige und künftige Verbrauchsentwicklungen berücksichtigt werden. Außerdem sollte jeweils der individuelle Verbrauch mit Mittelwerten verglichen werden, um das Konzept einordnen zu können. Zunächst Kennwerte im Überblick, welche in den nachfolgenden Teilkapiteln detailliert werden.

#### **End- und Primärenergiekennwerte**

Der gesamte Endenergieverbrauch in Deutschland betrug 2009 gerundet 2500 TWh/a, der Einsatz aller Primärenergieträger zusammen (Öl, Gas, Kohle, Kernenergie, erneuerbare Energien und sonstige Energiemengen) entsprach gerundet 3750 TWh/a.

Verdeutlicht anhand von Pro-Kopf-Werten entspricht dies ca. 30 MWh (45 MWh/a) oder ca. 3000 l (4500 l) Heizöläquivalent pro Einwohner und Jahr.

#### **Wärmenetze in der Gebäudeversorgung**

Der Energieeinsatz zur Wärmebereitstellung für Gebäude beträgt heute ca. 800 - 850 TWh/a, davon etwa 5/6 für Raumwärme und 1/6 für Warmwasser. Die Netzeinspeisung aus Fernwärme (Heizwerke und Heizkraftwerke weitgehend auf Kohle- und Erdgasbasis) beträgt heute etwa 86 TWh/a anteilmäßig also etwa 10%. Prozesswärme ist hierbei nicht eingerechnet.

Der Anteil der Stromerzeugung aus dieser Fernwärme-KWK (Kraft-Wärme-Kopplung) mit 35 TWh/a wird auf etwa 6 ... 7% der Bruttostromerzeugung in Deutschland beziffert. Für eine typische konventionelle Fernwärmeerzeugung in einer Großstadt liegt das Verhältnis von Stromerzeugung zu eingespeister Fernwärme (aus KWK und Spitzenlastkesseln) mit typisch 1 zu 3 in einer ähnlichen Größenordnung.

Der Anteil der Wohnungen, die in Deutschland mit Fernwärme versorgt werden, liegt bei etwa 14%. Etwa 32% der Wohnungen in den neuen Bundesländern und 9% in den alten Bundesländern sind an ein Fernwärmenetz angeschlossen.

#### **Tendenzen**

Anschlusswerte und Liefermengen von Fernwärme sind im letzten Jahrzehnt rückläufig, weil die verbesserte Wärmedämmung der Gebäude, die teilweise hohen Fernwärmebezugskosten und die Effizienzsteigerung der Hausanlagentechnik mit konventionellen Kesseln zu einem Rückgang der Nachfrage geführt haben; dies, obwohl Netzlänge und Zahl der Übergabestationen von Fernwärmesystemen ausgebaut wurden und derzeit auch noch weiter ausgebaut werden.

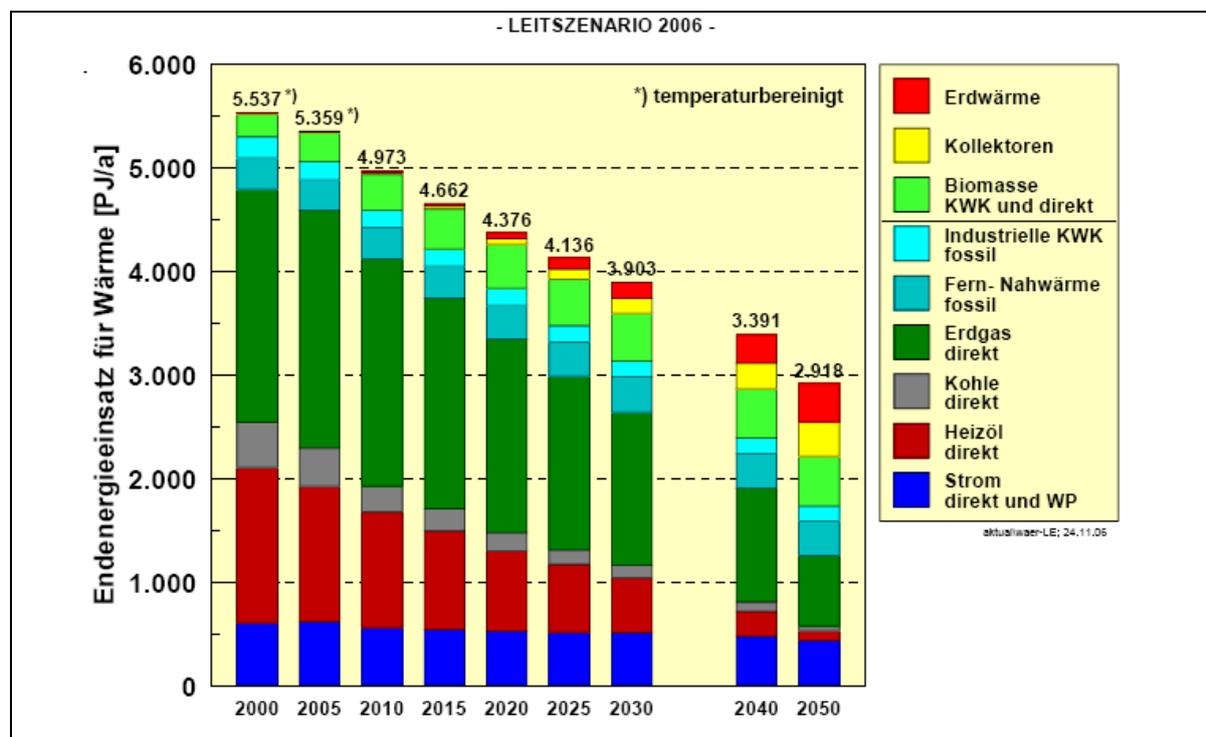
Strom wird zunehmend aus regenerativen Quellen erzeugt. Der regenerative Anteil (überwiegend unbegrenzte Quellen Windkraft, Wasserkraft und Photovoltaik, z. t. auch Biomasse) beträgt heute 18%.

### 3.1.1 Wärmebedarf

Der Wärmebedarf der Gebäude, welche versorgt werden müssen, hat entscheidende Bedeutung auf den wirtschaftlichen Bau oder Ausbau von Wärmenetzen. Insgesamt wird für den Bereich Wärme in den Szenarien des [BMU] etwa eine Halbierung der Endenergieverbrauchswerte gefordert, siehe Bild 4.

Das [Energiekonzept 2010] der Bundesregierung, veröffentlicht im September 2010, betont die Notwendigkeit einer langfristigen Sanierung des Gebäudebestands, um eine weitgehend regenerative Wärmeversorgung mit unbegrenzt (Solarenergie) und begrenzt (Biomasse) verfügbaren regenerativen Energien sicherzustellen. Der regenerative Anteil an der Wärmeversorgung soll langfristig den nicht regenerativen Anteil übersteigen.

Das prognostizierte Szenario in [Energiekonzept 2010] ist nur erfüllbar, wenn langfristig ein Mix aus Solarthermie, Biomasse (unter Beachtung eines begrenzenden Biomassebudgets) und Wärmepumpen sowie aus Teilen konventioneller fossiler Energieträger die Versorgung übernehmen. Der Einsatz von Erdgas und Heizöl liegt auch im Jahre 2050 nach dieser Prognose über dem Anteil von Biomasse. Bei einem vom [Energiekonzept 2010] prognostizierten Energieträgermix für Wärme läge der Primärenergiefaktor bei ca. 0,6.



**Bild 4 Energieträger und Zusammensetzung der Wärmebereitstellung 2000 bis 2050 [BMU]**

Bei der Sanierung des Gebäudebestands erreichbare Standards von Niedrigenergiehäusern und Gebäuden mit Passivhauskomponenten ergeben:

- einen Nutzwärmebedarf für Raumheizung von ca. 25 ... 60 kWh/(m<sup>2</sup>a),
- einen Nutzwärmebedarf für Trinkwarmwasser von 10 ... 20 kWh/(m<sup>2</sup> a)
- technische Verluste der gebäudeinternen Anlagentechnik von ca. 10 ... 25 kWh/(m<sup>2</sup>a).

Das ergibt zusammen Energiekennwerte um 45 ... 105 kWh/(m<sup>2</sup> a).

Im Bereich der Wohngebäude als hauptsächliche Abnehmer von Nah- und Fernwärme spielt zukünftig die Warmwasserbereitung als ganzjähriger Grundlastsockel die ausschlaggebende Rolle.

Zur Abschätzung der mittleren Warmwassernutzleistung sollte man sich an der Personenzahl der Abnehmer orientieren: 0,07 ... 0,2 kW bzw. 600 – 1800 kWh/a je Person (Wohnnutzung ... Hotels oder Krankenhäuser/Intensivpflegebereiche). Zusätzlich sind die gebäudeinternen Speicher- und Zirkulationsverluste in etwa der gleichen Größenordnung zu berücksichtigen.

### 3.1.2 Strombedarf

Der Ausbau von Wärmenetzen ist auch an die Entwicklung des Strombedarfs der Gebäude, mehr jedoch an die Art der Strombereitstellung gekoppelt. Je effizienter die dezentrale Stromerzeugung auf Basis von Brennstoffen und je größer der Anteil von nicht brennstoffbasierter Strombereitstellung ist, desto weniger sinnvoll ist der Betrieb von brennstoffbetriebenen Zentralstromerzeugern mit gleichzeitiger Nutzung der entstehenden Abwärme zur Nah- und Fernwärmeversorgung.

Im Bereich Stromerzeugung wird langfristig von etwa gleich bleibenden Verbrauchsmengen ausgegangen, siehe Bild 5.

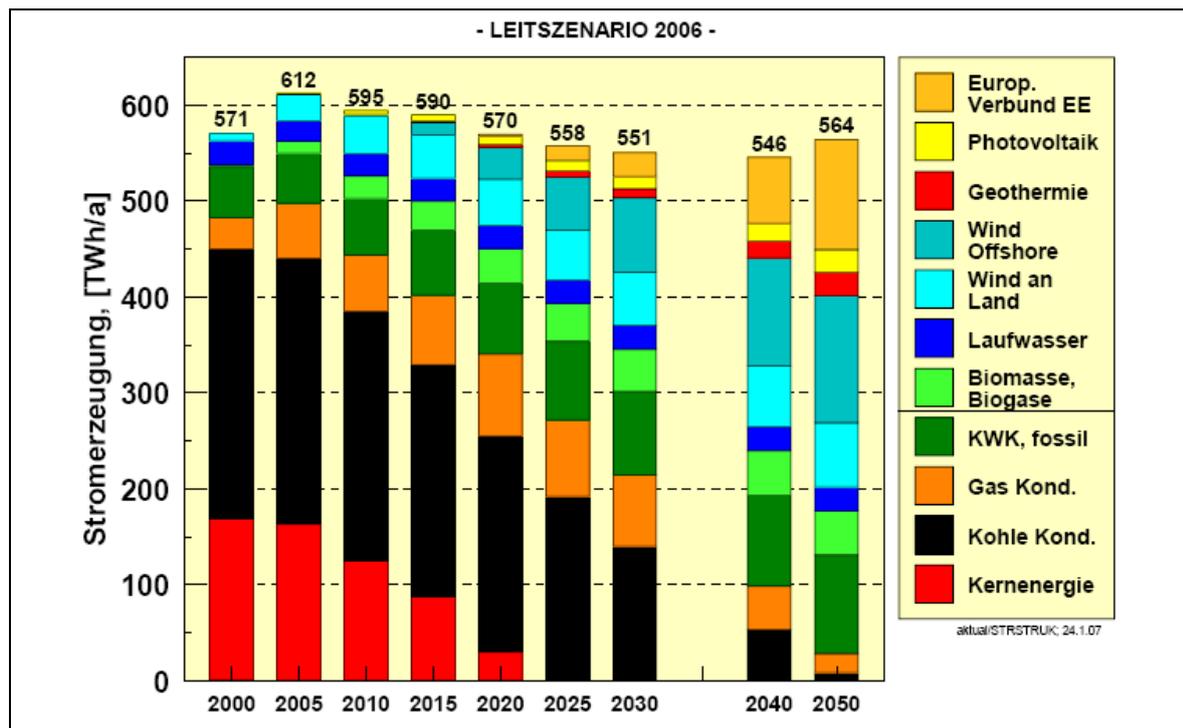


Bild 5 Energieträger und Zusammensetzung der Bruttostromerzeugung 2000 bis 2050 [BMU]

Das [Energiekonzept 2010] der Bundesregierung geht von einem regenerativen Anteil der Stromerzeugung bis 2050 von mehr als 80% aus. Der Primärenergiefaktor für Strom nach heutiger Berechnungskonvention läge dann bei 0,6, also in der gleichen Größenordnung wie der Energieträgermix für die Wärmebereitstellung.

Die Vergleichmäßigung der Wärmeabnahme im jahreszeitlichen Verlauf im Neubau und nach einer energetischen Modernisierung ist positiv für Systeme mit Kraft-Wärme-Kopplung, speziell auch für kleinere Biogas- und Bioöl-BHKWs.

## 3.2 Biomasseverfügbarkeit und Biomassebudget

Regenerative Energien sind zu unterscheiden in unbegrenzt verfügbare Energien in Form von Solarenergie (Solarelektrizität, Solarthermische Anlagen) und Windenergie sowie in begrenzt verfügbare regenerative Energieträger in Form von Biomasse (Holz und andere biogene Festbrennstoffe, Bioöl, Biogas). Wasserkraft für die Stromerzeugung ist v. a. in Deutschland begrenzt.

Bei Nutzung von Energiepflanzen, ergänzt um die Verwertung biogener Rest- und Abfallstoffe, ergibt sich ein jährliches Gesamtpotenzial der in Deutschland verfügbaren Biomasse von maximal 15 ... 18% bezogen auf den derzeitigen Endenergieverbrauch in Deutschland.

Die begrenzte Verfügbarkeit regenerativer Biomasse kann durch Einführung eines Biomassebudgets von ca. 30 ... 35 kWh/(m<sup>2</sup>a) Endenergieersatz für Wärmeanwendungen im Gebäudebereich gemäß Vorschlag von [IWU 2002] ökologisch und ökonomisch sinnvoll berücksichtigt werden.

Die Größenordnung des vorgeschlagenen Biomassebudgets entspricht dem zukünftigen mittleren Nutzenergiebedarf für Raumheizung und Warmwasser neuer Gebäude im Passivhausstandard. Für den langfristig modernisierten Gebäudebestand und Neubau kann im Mittel von 60 – 80 kWh/(m<sup>2</sup>a) als Endenergieeinsatz für Raumheizung und Warmwasser ausgegangen werden

Nach dem Energiekonzept der Bundesregierung werden bis 2050 etwa die gleiche Mengen an Endenergieeinsatz aus regenerativen und nicht regenerativen Energieträgern zur durchschnittlichen Wärmebereitstellung von Gebäuden benötigt. Die Einordnung elektrisch angetriebener Wärmepumpen wird hier nicht vorgenommen.

## 3.3 Bewertung von Wärmenetzen

Zur Einschätzung von Versorgungskonzepten mit Wärmenetzen werden deren Netzwärmeverluste und Errichtungskosten benötigt. Sofern hier keine realen Plandaten vorliegen, kann auf Erfahrungswerte zurückgegriffen werden. Das betreffende Netz muss hierfür i. d. R. zunächst mit sinnvoll gewählten Kennwerten beschrieben werden, um passende Vergleichsprojekte zu finden.

### 3.3.1 Kennwerte

Zwei wichtige Kennwerte zur Beschreibung von Anschluss- und Energieabnahmedichten sind nach [fiw-11-98] zu unterscheiden:

- Wärme(leistungs)liniendichte in MW/km:  
Anschlussleistung (im Regelfall aus der Raumheizlast der angeschlossenen Verbraucher) bezogen auf die Trassenlänge (vereinfacht halbierte Summe aus Vor- und Rücklaufleitungslängen)
- Wärme(abnahme)liniendichte in kWh/(m·a):  
gesamte Nutzwärmeabgabe für Raumheizung und Trinkwassererwärmung bezogen auf die Trassenlänge

## Wärme(leistungs)Liniendichte

In verschiedenen Quellen wird als Kriterium für die Wirtschaftlichkeit von Nahwärmenetzen eine Wärme(leistungs)liniendichte von mindestens 1,5 MW/km genannt.

Das Netz des in dieser Studie detailliert beschriebenen DBU-Projektes [Bericht 05: Nahwärme] (Kapitel 6) weist nur einen Wert von 1,4 MW/m Trassenlänge auf. Bei einer zukünftigen Modernisierung der Gebäude – in Neuerkerode und verallgemeinert in jedem Netz – verschlechtert sich der Rahmen für wirtschaftlichen Nahwärmebetrieb drastisch. Die Gebäudeheizlast wird typischerweise um den Faktor 3 ... 4 reduziert.

Mit dem Kennwert für die wirtschaftliche untere Wärme(leistungs-)liniendichte von 1,5 MW/km ergibt sich unter Annahme einer Vollbenutzungsstundenzahl von typisch 1200...2000 h/a ein unterer wirtschaftlicher Grenzwert der Wärme(abnahme)liniendichte (siehe nachfolgend) zwischen 1800 bis 3000 kWh/(m · a). Hohe Vollbenutzungsstunden bzw. Wärmelinienlängen ergeben sich für Abnehmer mit hohem Trinkwarmwasseranteil.

## Wärme(abnahme)Liniendichte

Der deutsche Bundesdurchschnitt von Fernwärmenetzen liegt bei über 4000 kWh/(m·a).

Vor der Novellierung des KWK-Gesetzes 2008 lag die förderfähige Wärme(abnahme)-Liniendichte bei 3000 kWh/(m a), nach der Novellierung bei nur noch 500 kWh/(m·a). Dieser kaum bemerkte politische Schritt führt zur Förderung von Nahwärmenetzen, wie sie verstärkt in Bioenergiedörfern eingesetzt werden [Nahwärmeversorgung DLR 2006].

So weist z. B. das Bioenergiedorf Jühnde nur eine Liniendichte von 636 kWh/(m·a), das in Kapitel 6 näher betrachtete Dorf Neuerkerode von heute 2619 kWh/(m a) auf.

### 3.3.2 Netzverluste

Die für Wirtschaftlichkeit und Energieeffizienz ausschlaggebenden Netzverluste eines Nah- oder Fernwärmenetzes sind in einem frühen Stadium der Bewertungsanalyse zu quantifizieren. Dies gilt für ein Bestandsnetz oder für die Planung eines neuen Netzes. Hierfür wird in dieser Studie der Ansatz über folgende Kenngrößen gewählt:

- spezifische (wohneinheitenbezogene) Netzlänge in Abhängigkeit von der Siedlungsstruktur in m/WE aus Untersuchungen in [Leitfaden Nahwärme]
- wohnflächenbezogene Netzverluste bezogen auf die zu beheizende Gesamtnutzfläche in Abhängigkeit von der Siedlungsstruktur in kWh/(m<sup>2</sup> a) aus Untersuchungen in [IWU-NEH]

Die Netzlänge in Abhängigkeit von der Siedlungsstruktur aus Untersuchungen in [Leitfaden Nahwärme] zeigt Tabelle 4.

Siedlungstyp	Wärmeverlust bei Spitzenlast	Wärmeverlust im Jahresmittel	spezifische Netzlänge
Einfamilienhausbebauung	4 ... 5 %	12 ... 17 %	14 ... 25 m/WE
Reihenhausbebauung	3 ... 4 %	8 ... 12 %	6 ... 14 m/WE
Mehrfamilienhausbebauung	2 ... 3 %	5 ... 9 %	2 ... 6 m/WE
AGFW-Statistik über 843 Netze		11 %	

**Tabelle 4 Netzlänge nach Siedlungsstruktur**

Nach dem Leitfaden [IWU-NEH] ergeben sich auf die Energiebezugsfläche (Wohnfläche) bezogene Netzverluste entsprechend Tabelle 5:

Siedlungstyp	Verteilverlust bezogen auf die echte beheizte Fläche, in kWh/(m <sup>2</sup> a)	
	Bandbreite	Mittelwert
Einfamilienhaussiedlung niedriger Dichte	25 ... 45	35
EFH-Siedlung hoher Dichte, Reihenhäuser	15 ... 30	25
Zeilenbebauung mittlerer Dichte (3-5 Geschosse)	5 ... 15	10
Zeilenbebauung hoher Dichte, Hochhäuser	2 ... 10	6

**Tabelle 5 Verteilverluste nach Siedlungsstruktur**

Die Verluste der Verteilung von Nah- und Fernwärmesystemen liegen nach realistischen Auswertungen bei 5 bis über 50 kWh/(m<sup>2</sup> a). Bezugsfläche ist jeweils die angeschlossene beheizte Nutzfläche. Der kleinere Wert ergibt sich für die großstädtische Fernwärmeversorgung mit hoher Anschlussdichte von älteren schlecht oder nicht gedämmten Bestandsgebäuden, der hohe Wert für Gebiete mit geringer Anschlussdichte, z. B. in Bioenergieidörfern. Ein sehr positives Beispiel stellt die Nahwärmeversorgung der Niedrigenergiehaussiedlung Hannover-Kronsberg dar. Der Verteilverlust beträgt 9 kWh/(m<sup>2</sup> a).

Zukünftige Zielwerte für Verteilverluste liegen zwischen 5 bis max. 15 kWh/(m<sup>2</sup>a). Ausnahme: Abwärme steht aus einzelnen Prozessquellen kostenlos zur Verfügung.

### Verteilungsnutzungsgrade

Verteilungsnutzungsgrade werden häufig pauschal und konstant angesetzt – mit typisch 90 %. Hierzu ist anzumerken, dass derart pauschale Nutzungsgrade – insbesondere für den heutigen Bau- oder Modernisierungszustand – nicht zielführend sind.

Beispiel: werden fernwärmeversorgte Bestandsgebäude z. B. mit einer Nutzwärmeabnahme von 200 kWh/(m<sup>2</sup>a) und Fernwärmeverteilverlusten von 40 kWh/(m<sup>2</sup>a) auf Neubauniveau mit Nutzwärmeabnahme 80 kWh/(m<sup>2</sup>a) modernisiert, bleiben die absoluten Netzverluste weitgehend konstant, während der Verteilungsnutzungsgrad von 83% im Bestand auf 67% nach der Modernisierung sinkt.

Nach [fwi-11-98] liegt die wichtigste Aufgabe bei der Planung von Nah- und Fernwärmenetzen in der Vorabschätzung der Verteilungsverluste bzw. der Verteilungsnutzungsgrade. Literaturangaben streuen sehr stark und können deshalb für eine Planung nicht herangezogen werden. Es werden daher aus der detaillierten Analyse von unterschiedlichen Netzen (Tabelle 6) Abhängigkeiten für die Wärmelinienichte abgeleitet. Die vier Beispielnetze werden zur Ableitung der Grafik in Bild 6 verwendet, zusätzlich sind die im Kapitel 6 und 7 näher untersuchten Gebiete mit eingetragen.

Name		Netz 1	Netz 2	Netz 3	Netz 4
Summe Nennwärmeleistung der Abnehmer	in MW	16,9	31,2	26	91,5
Nutzwärmeenergie	in MWh/a	18020	52000	31950	151700
Anzahl der Abnehmer	-	63	102	171	274
geschätzte Fläche des Versorgungsgebietes	in km <sup>2</sup>	0,6	1,5	2	3,5
Gesamtleitungslänge	in km	12,45	28,88	45,80	63,70
Gesamtrassenlänge	in km	6,23	14,44	22,90	31,85
Netzverluste	in MWh/a	2460	8180	8760	18450
Jahresnutzungsgrad der Verteilung	-	0,880	0,864	0,785	0,892

**Tabelle 6 Beispielhafte Nutzungsgrade von Fernwärmenetzen**

Die Zusammenführung beider von einander unabhängig geschätzten Wertesammlungen sowie die Auswertung weiterer Quellen führt zu einem typischen Netzwärmeverlust je m Trassenlänge zwischen: 250 ... 600 kWh/(m·a) bzw. zu einem Nahwärmeverlust bezogen auf die beheizte Fläche von 5 ... 50 kWh/(m²·a).

Die große Streubreite dieser Werte unterstreicht die Forderung, dass Nah- und Fernwärmeverluste nicht mit pauschalen Nutzungsgraden bewertet werden sollten.

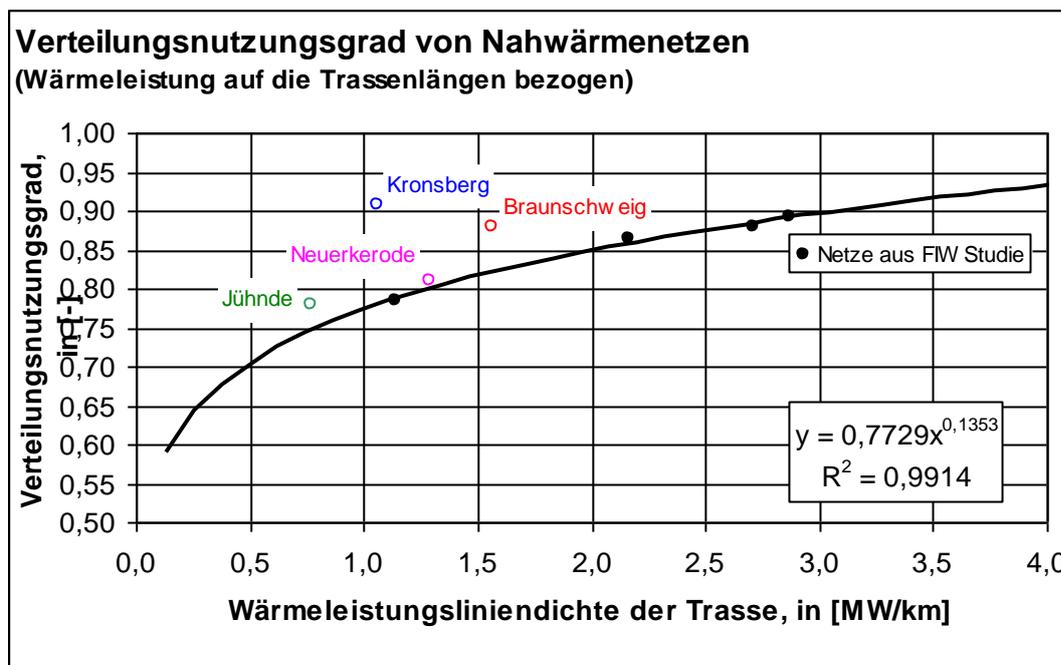


Bild 6 Verteilungsnutzungsgrad von Nahwärmenetzen nach Wärmeleistungsliniendichte

### 3.3.3 Kosten von Nah- und Fernwärmenetzen

Bei Anschluss neu erstellter Gebäude an ein bestehendes Netz bzw. beim Wechsel des Energieträgers, z. B. von Gaszentralheizung auf Fernwärmeanschluss, sind übliche dynamische Wirtschaftlichkeitsberechnungen auf Basis der Gesamtkosten (Kapitalkosten, Wartungs- und Unterhaltskosten, Energiekosten) im Vergleich der alternativen Systemlösungen zu erstellen. Investitionskostenzuschüsse und Förderprogramme sind gegebenenfalls in die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung mit einzubeziehen. Eine Wirtschaftlichkeit für die o. g. Fälle ergibt sich vielfach nur aus Subventionen durch das Fernwärmeversorgungsunternehmen (FVU).

Abschätzungen über die Investitionskosten von Nah- und Fernwärmenetzen sind in der Literatur verfügbar. Nachfolgendes Bild 7 zeigt die Baukosten für Wärmenetze in Deutschland in Abhängigkeit vom Leitungsquerschnitt nach [AGFW]. Ein pauschaler Kostenkennwert kann nicht angegeben werden, da örtliche Verhältnisse der Infrastruktur (Innenstadt, Dorf, Freiland) die Investitionskosten wesentlich bestimmen.

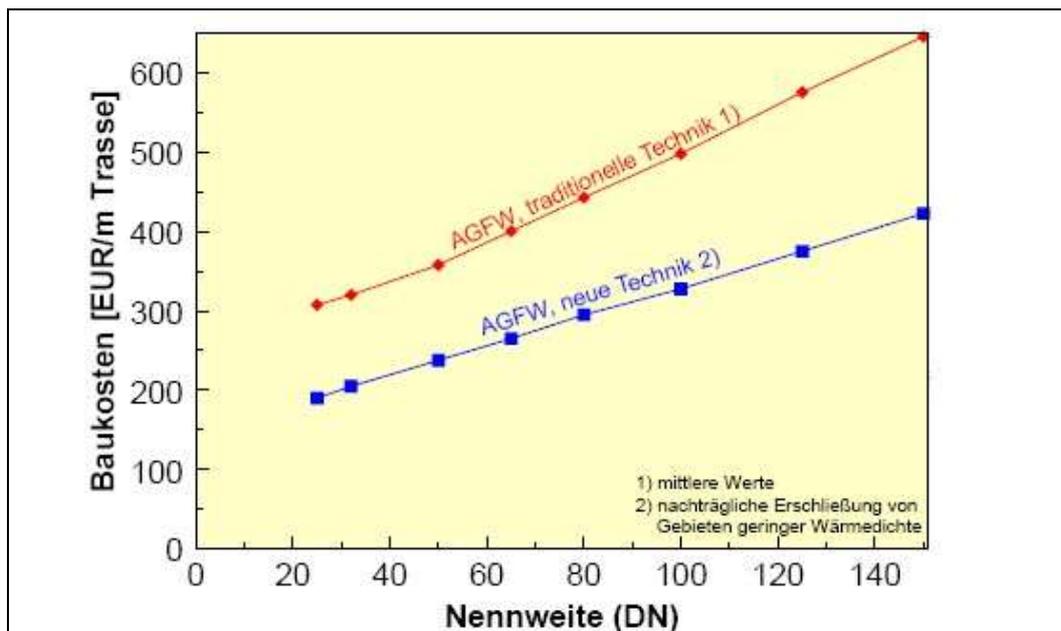


Bild 7 Baukosten für Wärmenetze [AGFW]

In der Literatur sind weitere Quellen für Kostenschätzungen vorhanden, z.B. die Auswertungen der Berliner Gesellschaft für Energiemanagement. Es sind enthalten die Kosten für Material und Verlegung, jeweils für ein Zweileitersystem. Es wird unterschieden in eine Verlegung im befestigten Gelände (städtische Lage, bereits besiedeltes Gebiet) oder im unbefestigten Gelände (Erschließung von Neubaugebieten). Der erstgenannte Kennwert ist repräsentativ für z.B. Netzverdichtungen.

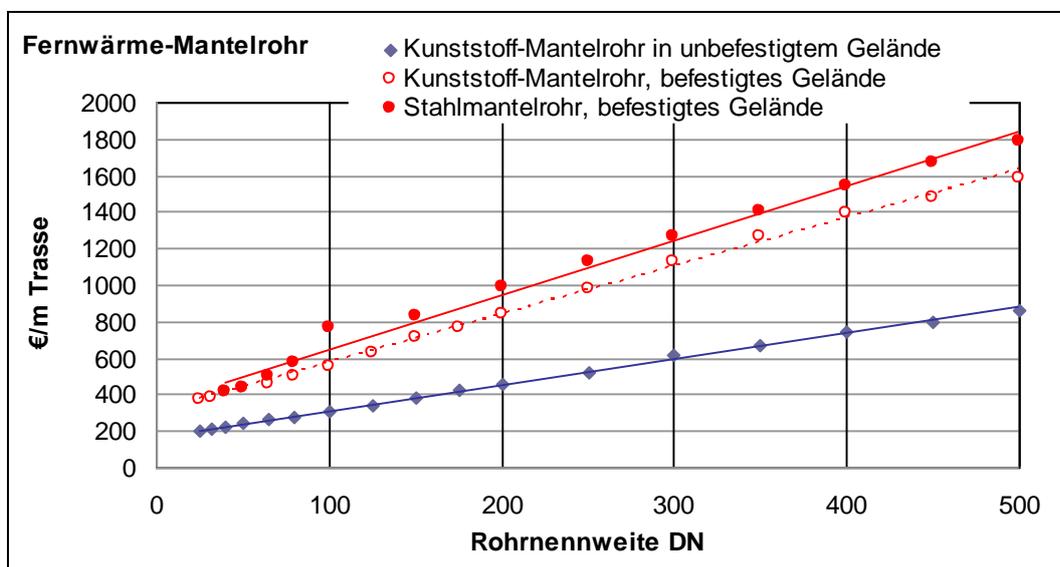


Bild 8 Baukosten für Wärmenetze [Energy-Consult]

In [Endbericht Wärmegesetz 2010] wird ein hypothetischer Vergleich der Investitionskosten für die beiden Fälle vorgestellt, dass alle deutschen Gebäude an Wärmenetze angeschlossen werden oder mit einem neuen Heizkessel ausgestattet werden, siehe Bild 10. Es wird nach Siedlungstypen unterschieden, deren Kennwerte in Bild 9 erläutert sind.

Siedlungstyp	ST II	ST IIIa	ST IIIb	ST IV
Gebäudetyp	Geb./ha	Geb./ha	Geb./ha	Geb./ha
EFH und ZFH	7,86	2,83	0,37	0,27
Kleine MFH	0,3	2,42	5,8	0
Große MFH	0	1,35	5,18	0
Kleine NWG	0,17	2,2	4,08	1,89
Mittlere NWG	0,03	0,25	0,35	0,24
Große NWG	0,03	0,17	0,25	0,18
<b>Alle Gebäude</b>	<b>8,39</b>	<b>9,22</b>	<b>16,03</b>	<b>2,58</b>

**Bild 9 Erläuterung von Siedlungstypen [Endbericht Wärmegesetz 2010]**

	Siedlungsfläche	Anzahl Gebäude	Kosten Wärmenetze (incl. Hausstation)	Vergleichskosten für Heizkessel
Siedlungstyp	1000 ha	[1000]	Mio. €	Mio. €
ST II	1656	13894	116070	91166
ST IIIa	401	3699	41099	35980
ST IIIb	93	1490	15268	15976
ST IV	308	795	12419	10565
<b>Summe</b>	<b>2459</b>	<b>19878</b>	<b>184857</b>	<b>153686</b>

**Bild 10 Investitionskosten für Wärmenetze und Heizkessel [Endbericht Wärmegesetz 2010]**

Die Investitionskosten für Wärmenetze sind für die in Bild 10 (unten) ausgewerteten knapp 20 Mio. Gebäude durchschnittlich 20% höher als die für eine Beheizung mit individuellen Heizkesseln. Nur bei den Siedlungstypen ST IIIb mit hohen Anschlussdichten und Wohnbebauung sind die Kosten für Wärmenetze etwa gleich hoch wie die Vergleichskosten für Heizkessel.

Die Studie [Endbericht Wärmegesetz 2010] führt detaillierte Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen für den Ausbau von regenerativen Nahwärmenetzen in Abhängigkeit von der zu versorgenden Siedlungsdichte durch. Sie detailliert die Kosten und bildet Kennwerte, siehe Bild 11. Die Siedlungstypen sind in Bild 9 erläutert.

	mittlere Leitungskosten	Fixkosten
Siedlungstyp	€/ha	€/Geb.
ST II	48260	2602
ST IIIa	64090	4163
ST IIIb	95420	4290
ST IV	28970	4400

**Bild 11 Spezifische Investitionskosten für Wärmenetze [Endbericht Wärmegesetz 2010]**

Die Kostensumme für die Erschließung eines Gebietes für die Fern- und Nahwärme setzen sich zusammen aus einem Kostenanteil nach der Gebietsfläche und den Kosten welche je Gebäude (für Übergabestation und Hausanschluss) anfallen.

Auf Basis dieser Kostenschätzungen lassen sich in einer ersten Grobplanungsphase die Kosten eines Nahwärmeanschlusses im Vergleich zu dezentralen Kessellösungen für verschiedene Siedlungsstrukturen abschätzen.

## 4 Vorhandene Ansätze und Randdaten

Dieses Kapitel fasst Vorüberlegungen zur Thematik der Wärmenetze zusammen. Diese betreffen insbesondere die Problematik der Biomassebewertung sowie die Stromgutschriftmethode. Es wird erläutert, welche Auswirkung der heutige Umgang mit diesen beiden Themen auf die Bewertung von Wärmenetzen hat.

### 4.1 Generelle Überlegungen

Wechselnde politische Mehrheiten und nicht erwartete Entwicklungen auf den Energiemärkten führen zu häufigen Neufestlegungen der energiepolitischen Ziele für die zukünftige Energieversorgung. Mit dem Energiekonzept 2010 der Bundesregierung wurde im September 2010 zum ersten Mal ein langfristig bis 2050 angelegtes Energiekonzept vorgestellt. Pro und Contra können – je nach "politischer Färbung" – gegeneinander abgewogen werden; es bleibt die Erkenntnis, dass sowohl fossile als auch regenerative Energieträger (Biomasse) begrenzt sind.

Demgegenüber sind die Einsatzmöglichkeiten unbegrenzt verfügbarer regenerativer Energieträger (Sonne, Wind, Wasserkraft, Geothermie) durch ihre Investitionskosten wirtschaftlich limitiert.

Für den Einsatz begrenzt verfügbarer Energieträger (fossil und regenerativ) ist die möglichst genaue Bilanzierung dieser Endenergien von ausschlaggebender Bedeutung für Entscheidungen zu alternativen Energiekonzepten für einen längeren Planungszeitraum.

Nach den Szenarien zum Energiekonzept der Bundesregierung wird auch langfristig der Anteil fossiler Energieträger an der Deckung des Endenergiebedarfs für Wärme höher liegen als der Anteil begrenzt verfügbarer Biomasse (fest – Holz, flüssig – Bioöl, gasförmig – Biogas). Es ist daher berechtigt, politisch keine Bevorzugung regenerativer begrenzt verfügbarer Energieträger (Biomasse) gegenüber begrenzt verfügbaren fossilen Energieträgern vorzunehmen. Dies gilt auch für den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung – unabhängig ob mit regenerativen oder fossilen Energieträgern – im Vergleich zu alternativen Methoden der Stromerzeugung.

Kriterium für die ökonomische und ökologische Vorteilhaftigkeit sollte immer die Gesamtbilanz der eingesetzten Energieträger für eine fest vorgegebene Nutzenergiemenge von Wärme und Strom sein. Übliche Bezüge für die Festlegung spezifischer Größen sind hierbei die Nutzfläche oder die Personenzahl. Zur Deckung dieser Nutzenergie sollte ein Minimum an begrenzt verfügbaren regenerativen und fossilen Energieträgern als Endenergie eingesetzt werden; dies sollte das verbindliche Ziel sein!

### 4.2 Problematik 1: Biomassebewertung und -kosten

Nach [IWU 2002] kann das gesamte Biomassepotenzial in Deutschland auf knapp 5% des gegenwärtigen Primärenergiebedarfs in Deutschland abgeschätzt werden, siehe Bild 12.

Eine Unterscheidung eingesetzter Endenergie im Rahmen der Gesetzgebung und in öffentlichen Förderprogrammen nach begrenzt fossilen und begrenzt regenerativen Energieträgern (Biomasse) erscheint nicht sinnvoll. Eine Begrenzung der Nutzenergien für Wärme und Strom – bezogen auf m<sup>2</sup> Nutzfläche oder auf Personenzahlen unabhängig mit welchen Energieträgern sie abgedeckt werden – erscheint notwendig.

Die Zuordnung des Biomassebudgets zum Anwendungsfall der Wärmeversorgung ist u.a. aufgrund der unsicheren Potentiale und zu berücksichtigender anderer Einsatzmöglichkeiten für die Biomasse (energetische und nicht-energetische Nutzung) nicht eindeutig möglich. Dennoch kann hier eine grobe Abschätzung zur Ermittlung eines ersten Anhaltswertes durchgeführt werden: Wenn man annimmt, dass die Hälfte des oben genannten heimischen Biomassepotentials, also ca. 100 TWh/a, für die Wärmeversorgung von Wohngebäuden zur Verfügung steht, so errechnet sich bei einer Gesamtwohnfläche in Deutschland von rund 3 Mrd m<sup>2</sup> [11] ein Budget von aufgerundet etwa 35 kWh pro m<sup>2</sup> Wohnfläche und Jahr für die Gebäude-Wärmeversorgung. Bezogen auf die in der Energieeinsparverordnung und in der DIN V 4701-10 verwendete „Gebäudenutzfläche“, die laut [3] 10-40 %, durchschnittlich also etwa 25 % größer ist als die tatsächliche Wohnfläche, ergeben sich aufgerundet ca. 30 kWh/m<sup>2</sup>a.

Bis zu einem Brennstoffbedarf von 30 kWh/m<sup>2</sup>a wäre Biomasse demnach als regenerativer Energieträger mit einem sehr kleinen Primärenergiefaktor zu bewerten ( $f_p \approx 0,1$ ). Jede Kilowattstunde Mehrbedarf würde dagegen mit ihrem vollen Energieinhalt bei der Primärenergie zu Buche schlagen ( $f_p \approx 1,1$ )<sup>11</sup>.

**Bild 12 Biomassebudget – Auszug aus [IWU – 2002]**

Auch der Ansatz von [Hauser] zeigt die Begrenzung des Potenzials der Verwertung biogener Rest- und Abfallstoffe auf max. 15% bezogen auf den Endenergieverbrauch in Deutschland.

Das Potenzial der elektrischen Energieerzeugung aus unbegrenzt verfügbaren regenerativen Energiequellen (Photovoltaik, Windenergie) wird von [Hauser] als ungleich höher eingeschätzt. Die daraus abgeleitete vorwiegend elektrische Wärmeversorgung zukünftiger Gebäude mittels Stromdirektheizung und Wärmepumpen ist hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit und der technischen Realisierbarkeit (Speicherproblem, zeitliche Differenz zwischen Angebot und Nachfrage, z. B. bei Solar- und Windenergie) kritisch zu hinterfragen und zu überprüfen.

#### **4.2.1 Heutige Situation**

Die derzeitige Bewertung der Wärmeversorgung mit regenerativen Energieträgern führt zu einer nicht akzeptablen Verschlechterung des Anforderungsniveaus an die Gebäudehülle. Dies resultiert aus dem Kompensationsprinzip auf Basis einer Primärenergiebewertung nach den derzeitigen Normen und Verordnungen. Die Primärenergiebewertung führt zu langfristigen Fehlentwicklungen bei den Gebäudestandards im Neubaubereich, aber auch bei umfassend modernisierten Gebäuden.

#### **4.2.2 Pro und Contra am Beispiel**

Die Auswertungen nach dem vom Fraunhofer Institut entwickelten Verfahren [EnEV-easy] führt z.B. für Reihenhäuser, die an einen Biomassekessel oder an Fernwärme mit sehr gutem Primärenergiefaktor angeschlossen werden, zu erlaubten U-Werten der Außenwände von 0,6 W/(m<sup>2</sup>K); ein Standard, welcher der Wärmeschutzverordnung von 1984 entspricht.

Damit würden auch im Neubau Baustandards festgeschrieben, die einen ca. dreimal so hohen Heizwärme- und Endenergiebedarf verursachen, als nach heute wirtschaftlichen Randbedingungen möglich und sinnvoll ist. Gleiches gilt für den Anschluss an Nah- und Fernwärmesysteme mit nach derzeitiger Methodik (Siehe Kapitel 4.3 Stromgutschriftmethode nach EnEV) rechnerisch sehr niedrigen Primärenergiefaktoren. Fast alle Fernwärmeversorger werben dann mit der Aussage, dass bei Anschluss an ihr Wärmenetz beim Wärmeschutz gespart werden kann.

### **4.2.3 Lösungsvorschlag und weitere Vorgehensweise**

Nur durch getrennte, technisch und wirtschaftlich realisierbare, hohe Einzelanforderungen an die Gebäudehülle und an die Anlagentechnik könnte der Problematik einer falsch interpretierten Kompensation im Rahmen der EnEV Primärenergiebewertung derzeit begegnet werden. Zusätzlich ist der Strombedarf mit in die energetische Bilanzierung einzubeziehen; dies gilt verstärkt bei zukünftig zunehmender Eigenstromerzeugung, z.B. durch Photovoltaik oder durch Einsatz dezentraler Kraft-Wärme-Kopplung (BHKW-Technologie, Stromerzeugende Heizung). Ausschlaggebend für die gesamtenergetische Bewertung ist dabei immer der Endenergieeinsatz begrenzter fossiler aber auch regenerativer Energieträger. Nur unbegrenzt verfügbare regenerative Energien (Solar, Wind, Wasser) können in einer Gesamtbilanz mit einem Bonus versehen werden.

## **4.3 Problematik 2: Stromgutschriftmethode und KWK-Bewertung**

Im Rahmen dieser Studie wurde eine Auswertung der Stromgutschriftmethode nach der EnEV durchgeführt. Die Auswertung zeigt aus Sicht der Autoren hinsichtlich des forcierten Ausbaus zentraler KWK-Wärmenetze mittel- und langfristig negative Folgen für die Umsetzung nationaler Energie- und Klimaschutzkonzepte.

### **4.3.1 Heutige Situation**

Die Bewertung der Kraft-Wärme-Kopplung – dezentral oder für Nah- und Fernwärmesysteme – hinsichtlich ihrer Primärenergie- und CO<sub>2</sub>-Bilanzierung ist heute je nach den jeweiligen Interessenslagen so unterschiedlich, dass eine einheitliche Lösung absehbar nicht zu erwarten ist. Es ist jedoch problemlos möglich, gemeinsam für die gekoppelt erzeugten Strom- und Wärmemengen den Einsatz der fossilen oder regenerativen Brennstoffenergien realistisch zu bilanzieren bzw. zu erfassen; entweder für eine geplante oder für eine im Betrieb befindliche Anlage.

Zuordnungen von primärenergetischen Gutschriften des erzeugten Stromes für die Wärme-Produktion aus KWK werden immer ein falsches und schwer nachvollziehbares Bild erzeugen, da sich die Zusammensetzung des in die Berechnungen eingehenden Strommixes zukünftig nicht vorhersehbar ändern wird. Nur die eindeutige Bilanzierung der selbst oder fremdbezogenen Energien für Wärme und Strom ermöglicht eine einigermaßen gerechte Bewertung.

### **4.3.2 Stromgutschriftmethode: Entwicklung eines Dreiquadrantendiagramms**

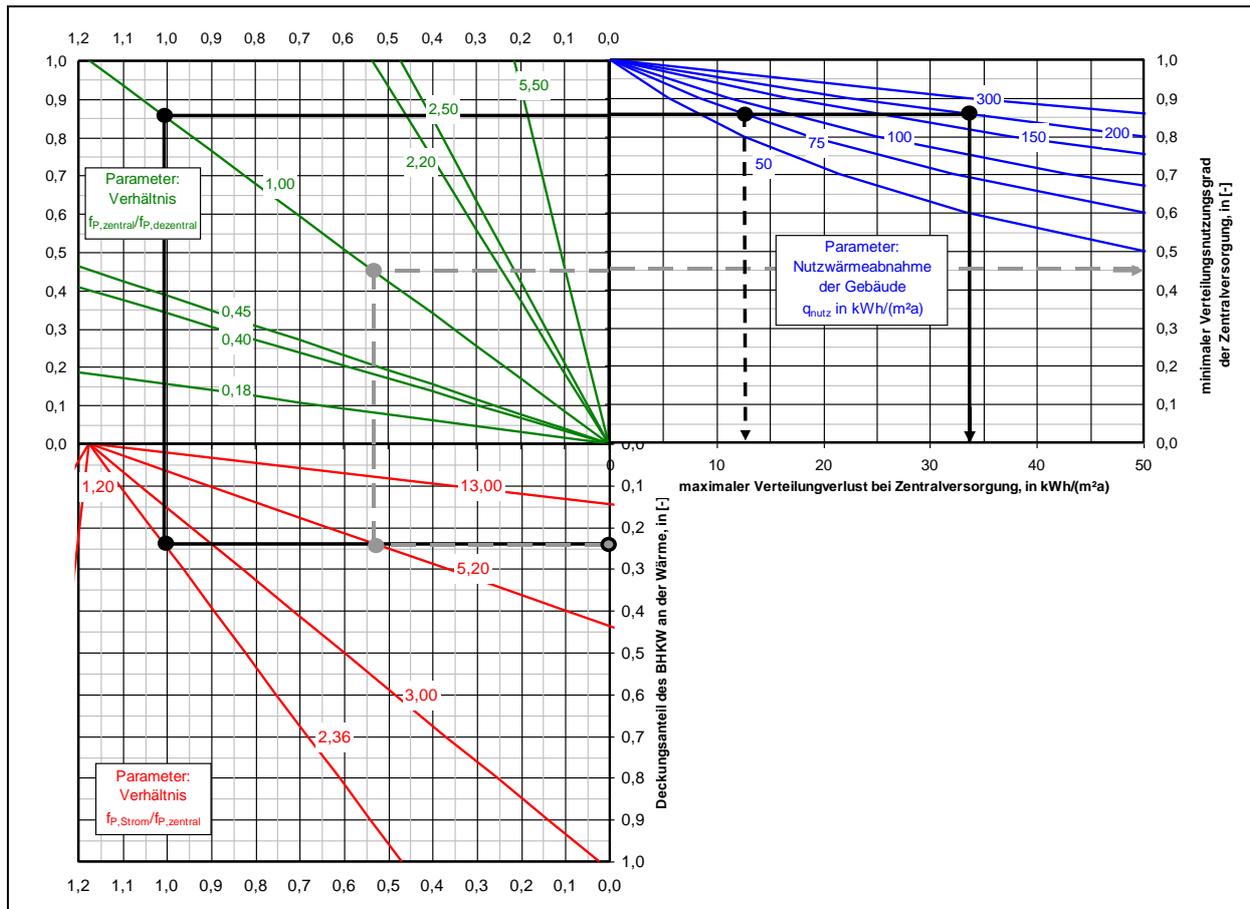
Die Berechnungsverfahren der Energieeinsparverordnung ermöglichen eine vergleichende Bewertung der Verteilverluste zentraler KWK-Wärmenetzsysteme mit gebäudeweisen Systemen ohne KWK nach der Stromgutschriftmethode für die Wärme nach [DIN V 18599], die hier als bekannt vorausgesetzt wird.

Die Bilanzgleichungen nach DIN V 18599-1 und -9 werden so umgeformt, dass das Ergebnis zulässige Netzwärmeverluste bezogen auf die zu beheizende Gesamtnutzfläche in kWh/(m<sup>2</sup>a) bzw. objektbezogene Verteilungsnutzungsgrade sind.

Diese Grenzverteilverluste in einem Wärmenetzgebiet mit KWK führen nach der Methodik der Stromgutschriftmethode zu einem gleichen Primärenergieeinsatz wie die gebäudeweise Versorgung mit Kesseln (ohne Wärmenetz) und Stromfremdbezug.

Das Arbeitsdiagramm in **Bild 13** zeigt die Ergebnisse für die maximal erlaubten Netzverluste in Abhängigkeit von den Einflussparametern:

- Deckungsanteil des BHKW an der Wärmelieferung des Wärmenetzes
- Verhältnis der Primärenergiefaktoren von elektrischer Energie und dem zentral eingesetzten Energieträger
- Verhältnis der Primärenergiefaktoren des zentral eingesetzten Energieträgers zu dem im Vergleich dezentral eingesetzten Energieträger
- Nutzwärmeabnahme der zu versorgenden Gebäude für Raumheizung (RH) und Trinkwarmwasserbereitung (TWW) in kWh/(m<sup>2</sup> a)



	Ablesebeispiel 1:	Ablesebeispiel 2:	Ablesebeispiel 3:
Nutzwärmeabnahme der Gebäude	200 kWh/(m <sup>2</sup> a)	75 kWh/(m <sup>2</sup> a)	200 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Anteil des BHKWs an der Energielieferung im Falle der Wärmenetzlösung	24 %	24 %	24 %
Energieträger für die Zentrale des Wärmenetzes oder auch für die alternativen gebäudeweisen Kessel.	Erdgas oder Heizöl (f <sub>P</sub> = 1,1)	Erdgas oder Heizöl (f <sub>P</sub> = 1,1)	Biogas oder Bioöl (f <sub>P</sub> = 0,5)
minimal erlaubter Verteilungsnutzungsgrad	86 %	86 %	45 %
maximal erlaubte Verteilungsverluste	34 kWh/(m <sup>2</sup> a)	13 kWh/(m <sup>2</sup> a)	244 kWh/(m <sup>2</sup> a)

**Bild 13** Maximal erlaubter Verteilverlust bei Versorgung über ein Nah-/Fernwärmenetz im Vergleich zu einer dezentralen Lösung

Sofern gewünscht können entweder die heutigen Faktoren oder alternativ zukünftige Änderungen der Primärenergiefaktoren zugrunde gelegt werden.

Auswertungen für das Projekt "Neuerkerode 2015" – siehe Kapitel 6 – ergeben Folgendes:

#### 1. Änderung des Baustandards (Ablesebeispiel 1 und 2 im Vergleich)

Verglichen wird die zentrale Versorgung der Beispielliegenschaft mit Wärmenetz im Vergleich zu gebäudeweise eingesetzten Erzeugern. Energieträger sind Erdgas/Heizöl für das BHKW und für den Brennwertspitzenlastkessel bei zentraler Nahwärmeversorgung bzw. auch Erdgas/Heizöl für die dezentral eingesetzten Brennwertkessel.

Mit der zusätzlichen Berücksichtigung des Stroms (Strommix Deutschland) ergibt sich für eine Nutzwärmeabnahme der Gebäude für Raumheizung und TWW von 200 kWh/(m<sup>2</sup> a) ein max. zulässiger Verteilverlust eines Nahwärmenetzes von 34 kWh/(m<sup>2</sup> a).

Werden die Gebäude energetisch auf Niedrigenergiehausstandard mit einer gebäudebezogenen Endenergieabnahme von z.B. 75 kWh/(m<sup>2</sup>a) modernisiert, vermindert sich der maximal erlaubte Verteilverlust auf 13 kWh/(m<sup>2</sup> a). Diese Forderung wird von dem vorhandenen Verteilnetz in Neuerkerode vor und nach einer Modernisierung nicht erfüllt.

#### 2. Änderung des Energieträgers (Ablesebeispiel 1 und 3 im Vergleich)

Wird anstelle Erdgas und Heizöl von einer Versorgung mit Biogas oder Bioheizöl ausgegangen und dies sowohl zentral als auch dezentral ( $f_{P,Strom} / f_{P,zentral} = 5,2$  und  $f_{P,zentral}/f_{P,dezentral} = 1$ ), erhöht sich nach der Auswertung gemäß **Bild 13** der erlaubte spezifische Verteilverlust auf beliebig hohe Werte, die im Diagramm schon nicht mehr ablesbar sind.

Gleichzeitig wird jedoch das in Kapitel 3.2 geforderte, in den Verordnungen aber bisher nicht vorgesehene zulässige Biomassebudget von 35 kWh/(m<sup>2</sup> a) drastisch überschritten.

Hier zeigt sich deutlich, dass der bereits heute geforderte und geförderte Ausbau des Einsatzes von Biomasse in KWK-Anlagen nach der Stromgutschriftmethode zur nicht kontrollierbaren Überschreitung des als sinnvoll erachteten Biomassebudgets führen kann.

Insgesamt ist die Stromgutschriftmethode als Werkzeug der Normung für die EnEV und für das EEWärmeG in Frage zu stellen. Sie bewertet die Primärenergievorteile bei Kraft-Wärme-Kopplung, v. a. bei Einsatz von Biomasse, mit so hohen Gutschriften, dass Fehlentwicklungen in der Ressourcennutzung bereits heute zu beobachten sind. Bei weiter forciertem Ausbau sind die Auswirkungen, v. a. auch durch die unterschiedlichen Subventionen, nicht mehr überschaubar.



## 5 Erstellung von Versorgungskonzepten

Dieser Abschnitt dient der Darstellung der allgemeinen Vorgehensweise, welche zur Ausarbeitung von Versorgungskonzepten – mit oder ohne Wärmenetze – empfohlen wird. Sie umfasst folgende grobe Schritte: die Festlegung von Systemgrenzen, möglichen Versorgungsalternativen, die Feststellung des heutigen und künftigen Energiebedarfs für Wärme und Strom, eine Abschätzung von Verteilverlusten, Kostenschätzungen sowie die energetische und wirtschaftliche Auswertung der Berechnungen.

Die beschriebene Vorgehensweise wird anhand eines Beispielfalls im anschließenden Kapitel 6 angewendet.

### 5.1 Bewertung auf Basis einer Gesamtbilanz

Vor der eigentlichen Beschreibung der Vorgehensweise wird in diesem Unterkapitel die Notwendigkeit der Gesamtbilanz für Wärme und Strom beschrieben.

Nach herkömmlichen Ansätzen bietet sich die Installation eines Wärmenetzes an, wenn die Effizienz einer zentralen Wärmeerzeugung und gegebenenfalls Stromerzeugung verbunden mit einem Wärmenetz als Verteilsystem höher ist als bei einer dezentralen Wärmeerzeugung ohne Netz und bei Stromfremdbezug. Die Effizienz bezieht sich auf die Wirtschaftlichkeit und/oder auf den Gesamtendenergieeinsatz bei vorgegebener Nutzwärme- und Stromabnahme.

Da die Investition in Wärmenetze eine langfristige Maßnahme ist, sind hier selbstverständlich neben den heutigen auch die langfristigen Bedarfswerte zu berücksichtigen, welche i. A. mit steigendem Modernisierungsgrad im Bereich Wärme sinken. Das gilt auch für heute neue Siedlungen.

Der Bereich Stromerzeugung und Strombedarf ist in das Gesamtbilanzierungsverfahren einzubeziehen. Wie Kapitel 3.1 ausführt, nähern sich Strom- und Wärmebedarf der Gebäude langfristig aneinander an. Das bedeutet, dass Strom anteilig sehr stark an Bedeutung gewinnen wird. Auch hier sind neben den heutigen auch die langfristigen Bedarfswerte zu berücksichtigen, wobei von sehr stabilen Kennwerten ausgegangen werden kann.

Der Vorteil der Kraft-Wärme-Kopplung ergibt sich aus heutiger Sicht aus der parallelen Strom- und Wärmeerzeugung mit höheren Wirkungsgraden als bei getrennter Erzeugung, z.B. in einem kohlebefeierten Heizkraftwerk, in einem Gas- und Dampfturbinen-Heizkraftwerk (GUD), aber auch in kleineren BHKW innerhalb der betrachteten Siedlung oder innerhalb eines Gebäudes. Mit der Größe des Stromerzeugers korreliert das potentielle Wärmeversorgungsgebiet.

Mit der zunehmenden Erzeugung von Strom ohne Verbrennungsprozesse sowie der Verknappung konventioneller Energieträger nimmt dieser Vorteil langfristig ab. Gleiches gilt für Versorgungsgebiete, deren Nutzwärmeabnahme stark sinkt, während die Stromabnahme nahezu konstant bleibt.

In jedem Fall muss in einer Gesamtbilanz geprüft werden, ob:

der Endenergieeinsatz und die Wirtschaftlichkeit für die gesamte Nutzenergieerzeugung an Wärme und Strom unter heutigen und langfristigen Randdaten bei einer Wärmenetzlösung oder bei einer Lösung ohne Wärmenetze günstiger ist.

Die Bewertung umfasst folgende Schritte, welche in Form einer Checkliste wiedergegeben werden. Die detaillierte Erläuterung erfolgt in den Kapiteln 5.2 bis 5.8.

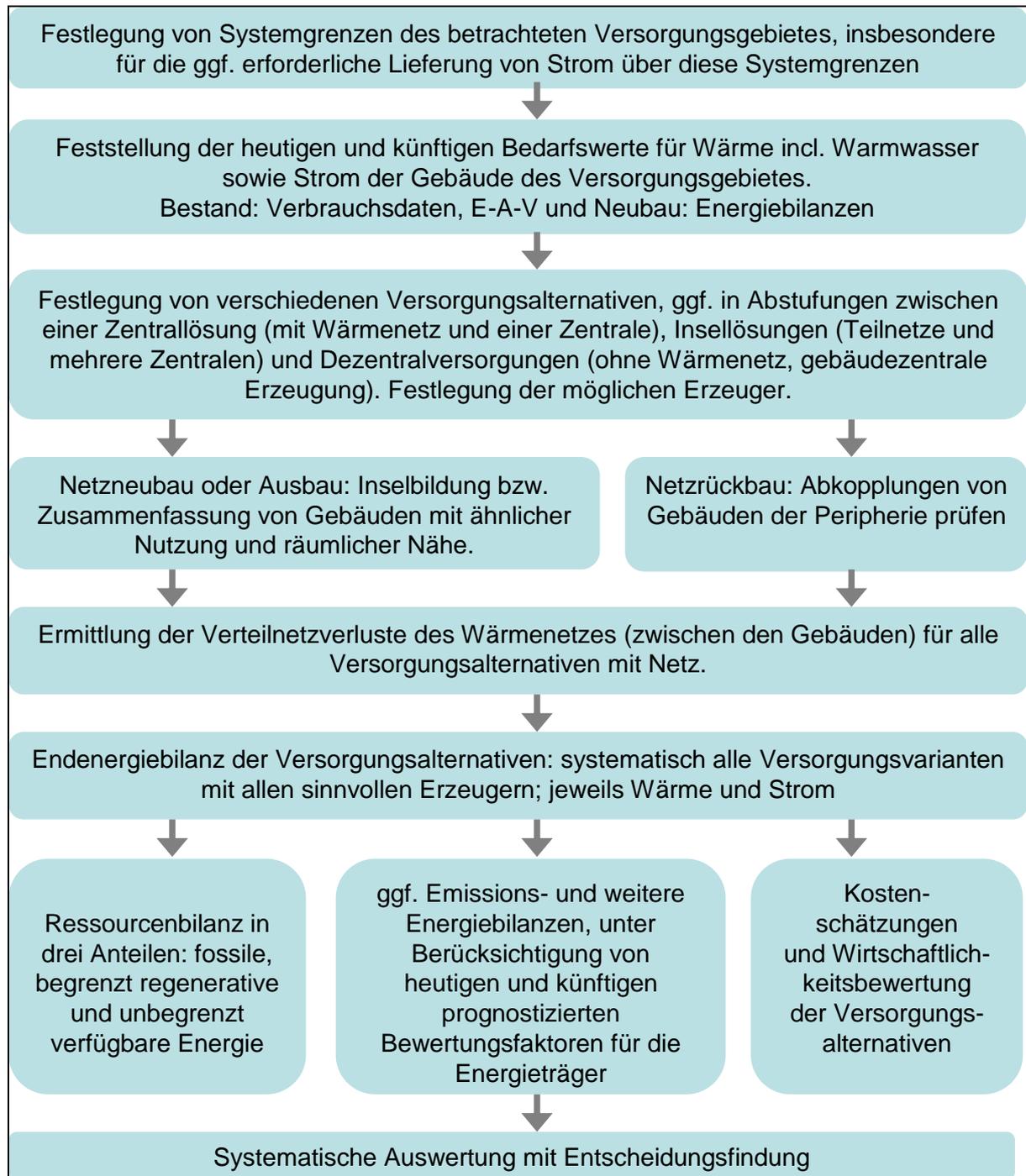


Bild 14 Ablaufplan für Netz- und Liegenschaftsanalyse

## 5.2 Festlegung von Systemgrenzen

Vor der Bewertung des Endenergieeinsatzes und der Wirtschaftlichkeit verschiedener Konzepte müssen die Systemgrenzen für die Betrachtung eindeutig festgelegt werden. Dies betrifft i. d. R. den Strom(fremd)bezug, sofern keine Stromerzeugung innerhalb des betrachteten Versorgungsgebietes vorliegt oder diese nicht ausreichend groß ist.

Bei der Untersuchung konkreter Gebiete ist die Systemgrenze rund um das zu versorgende Gebiet incl. aller Gebäude und Erzeuger zu legen. Die einzelnen Endenergien passieren diese Systemgrenze als Stoff, als Wärmestrom oder als elektrischer Strom.

### Wirtschaftlichkeitsbewertung

Die Energieströme, welche die Systemgrenze passieren, werden hinsichtlich ihrer Kosten bewertet und fließen – sofern Energiekosten zu verzeichnen sind – in die Wirtschaftlichkeitsbewertung ein, siehe Tabelle 7.

### Bewertung des Ressourcenverbrauchs

Für den Ressourcenverbrauch wird vorgeschlagen, die Endenergien in folgende drei Gruppen einzuteilen:

- fossile Endenergie,
- begrenzt verfügbare Biomasse,
- unbegrenzt verfügbare Energie

Für die über die Systemgrenzen fließenden Brennstoffe und Wärmeströme (Solarwärme, Umweltwärme, Abwärme) ist dies i. d. R. problemlos möglich. Sollten fossil/biogene Brennstoffgemische eingesetzt werden, ergibt sich eine Aufteilung der Endenergie.

Der Stromverbrauch kann diesem System nicht eindeutig zugeordnet werden. Er muss weiter aufgeteilt werden. Darüber hinaus wird der Endenergieeinsatz berechnet, welcher für die Stromerzeugung eingesetzt wurde, siehe auch Kapitel 5.7.2. Es werden folgende detaillierte Regeln für die Bewertung der einzelnen Energieträger vorgeschlagen:

Energieträger / Energiemenge	Energiefluss	Vorgehensweise bei der Bewertung unter Berücksichtigung der Systemgrenze	Relevanz der Endenergie	
			... für Ressourcenverbrauch	... für Wirtschaftlichkeit
Brennstoffe für Wärmeerzeuger und für KWK innerhalb des Versorgungsgebietes	zu	als Endenergie des Brennstoffs bewerten, Brennwertbezug	ja	ja
Solarwärme, Umweltwärme	zu	ggf. als Wärmestrom bewerten	nein	ggf.
Abwärme aus industrieller Produktion, Müllverbrennung o. ä. Prozessen, deren ursprünglicher Zweck nicht die Energieversorgung von Gebäuden ist	zu	als Wärmestrom bewerten	nein	ggf.
Strom für die allgemeine Versorgung sowie für Wärmepumpen oder andere Wärmeanwendungen	zu	als Energiestrom bewerten; mit der Endenergiemenge, die für diesen Energiestrom eingesetzt wurde bzw. wird	ja	ja
innerhalb der Systemgrenzen über das selbst genutzte Maß hinaus produzierter Strom	ab	als Energiestrom bewerten; mit der Endenergiemenge, die für diesen Energiestrom eingesetzt wurde bzw. wird	ja	ja

**Tabelle 7 Systemgrenzen und Bewertung der Energieträger**

Die Thematik von innerhalb der Systemgrenzen produzierten Überschüssen an Photovoltaikstrom oder Solarthermiewärme wird hier nicht vertieft. Investitionskosten sind jedoch in jedem Fall in die Wirtschaftlichkeitsberechnungen einzubeziehen.

### **Faktoren für die Endenergiebewertung**

Die Energieträger, d.h. Ressourcen werden hinsichtlich ihrer Verfügbarkeit und Begrenztheit bewertet. Allgemeine Systemgrenze ist die Grenze des Versorgungsgebietes, welches der Untersuchung unterzogen wird. Abweichend davon gilt bei der Bestimmung des Ressourcenverbrauchs für den über die Systemgrenzen fließenden elektrischen Strom die Endenergiemenge, welche am Ort der Stromerzeugung eingesetzt wurde.

Es sind demzufolge auch nach diesem Ansatz Faktoren festzulegen, die

- das Verhältnis zwischen Strom und den dafür eingesetzten Endenergien ausdrücken
- die Zusammensetzung des Strom aus den o. g. drei Arten der verfügbaren Ressourcen festhalten

Diese Faktoren sind zeitveränderlich. Wie im Folgenden noch für die Feststellung der Bedarfswerte empfohlen, gilt auch hier, dass Faktoren aus heutiger und künftiger (z.B. in 20 – 30 Jahren) Sicht benötigt werden.

Die heutige und künftige Zusammensetzung des Stroms kann Bild 5 auf Seite 18 oder vergleichbaren Quellen entnommen werden. Künftig nehmen der fossile Anteil ab und die beiden regenerativen Anteile zu. Die Effizienz der Kraftwerke muss mit Hilfe der Literatur abgeschätzt werden. Hinweise sind in Kapitel 6.3.8 für eine Beispielliegenschaft enthalten.

## **5.3 Festlegung von Varianten für die Versorgung**

Vor der Entscheidung über den Ausbau bzw. Aufbau von Wärmenetzen sollten vergleichsweise viele – auch alternative – Varianten der Versorgung untersucht werden. Sie betreffen einerseits die Frage, ob ein Wärmeverteilsystem (Nah-/Fernwärmetrasse) außerhalb der Gebäude überhaupt installiert wird und welche Erzeuger zum Einsatz kommen sollen. Bei vorhandenen Netzen ist auch über die Alternative vollständiger oder teilweiser Rückbau zu entscheiden; ähnlich wie im Gebäudebestand.

### **Versorgungssystem**

Für die Versorgung eines Gebietes – Dorf oder Stadtteil – können folgende Systeme untersucht werden:

- Zentralversorgung des Gebietes mit einer Zentrale (klassische Nah- und Fernwärme)
- verschiedene Stufen von semizentraler Versorgung des Gebietes mit mehreren Zentren; es werden jeweils mehrere Objekte so zusammengefasst, dass die Verteilwege (im Erdreich) möglichst kurz werden bzw. bei der semizentralen Versorgung fallen gegenüber der vollzentralen Versorgung i. d. R. lange Trassenwege ohne Abnehmer weg
- dezentrale Versorgung, d.h. Versorgung einzelner Objekte, ohne außerhalb des Gebäudes angeordnete Wärmeverteilsysteme

## Erzeugungssystem

Abhängig von der Größe der Versorgungsgebiete – Stadtviertel, Dorf, Zusammenschluss von wenigen Gebäuden oder Einzelgebäude – kommen jeweils diverse Erzeuger in Betracht.

Durch die Kombination verschiedener Größen von Versorgungsgebieten mit jeweils verschiedenen Wärmeerzeugersituationen ergibt sich eine Fülle von potentiellen Varianten.

Bei der Untersuchung eines konkreten Projekts können sicherlich nicht alle Fälle bis zur Wirtschaftlichkeitsbewertung durchgerechnet werden. Empfohlen werden die verschiedenen vollständig dezentralen Lösungen sowie mehrere vollständig zentrale Lösungen.

Hinsichtlich der diversen Zwischenlösungen unterschiedlicher Größe kann folgende Empfehlung ausgesprochen werden:

- es sollten semizentrale Lösungen untersucht werden,
- für dörfliche Strukturen (kleine Versorgungsgebiete) wenigstens eine, besser zwei Zwischenlösungen
- bei Stadtvierteln (große Versorgungsgebiete) mehr als zwei Zwischenlösungen

Eine sinnvolle semizentrale Zwischenlösung für die Versorgung mehrerer Gebäude ist beispielsweise dann gegeben, wenn ein Erzeuger erst mit dem Zusammenschluss mehrerer Objekte sinnvoll dimensioniert werden kann (Beispiel: kleinste verfügbare BHKWs). Gleiches gilt in umgekehrter Form, wenn Versorgungsgebiete größer werden als am Markt verfügbare Komponenten. Es kann dann eine sinnvolle semizentrale Zwischenlösung die letzte am Markt verfügbare Ein-Erzeuger-Anlage sein (größte verfügbare Wärmepumpen).

Wärmeerzeugung	Strombezug	gebäudeexternes Netz	typische Anwendungsfälle
reine Kesselanlagen, konventionelle Brennstoffe	Stromfremdbezug	i. d. R. ohne, da zusätzliche Netzverluste nicht durch andere energetische oder wirtschaftliche Vorteile wettgemacht werden können	eher gebäudeweise Versorgung
reine Kesselanlagen, biogene Brennstoffe	Stromfremdbezug	i. d. R. ohne oder kleine Verbundnetze, da zusätzliche Netzverluste teilweise durch stark degressive Investitionskosten gerechtfertigt sind	eher gebäudeweise Versorgung oder kleine Versorgungssysteme Typisch heute für Holz als Brennstoff
Kombinationen von KWK- und Kesselanlagen, alle Brennstoffe außer Holz	Eigenerzeugung, ggf. Restfremdbezug oder Einspeisung der Überschüsse	Einzelfallentscheidung	alle Arten / Größen von Versorgungssystemen
Kombinationen von KWK- und Kesselanlagen, Brennstoff Holz	Eigenerzeugung, ggf. Restfremdbezug oder Einspeisung der Überschüsse	i. d. R. mit Netz, da Technik für Kleinanwendungen nicht verfügbar ist	eher kleine und mittelgroße Versorgungsgebiete
Wärmepumpen	Stromfremdbezug	i. d. R. ohne, da zusätzliche Netzverluste nicht durch andere energetische oder wirtschaftliche Vorteile wettgemacht werden können	eher gebäudeweise Versorgung

**Tabelle 8 mögliche Versorgungsvarianten**

Die Ergebnisse semizentraler Zwischenlösungen werden im Vergleich zu den reinen zentralen oder dezentralen Versorgungen interpretiert. Es sollte mit einer moderaten Anzahl von Stufen eine Tendenz für die Versorgung erkennbar werden.

## 5.4 Feststellung des Gebäudebedarfs

Grundlage aller Untersuchungen ist die Feststellung des Energiebedarfs der Gebäude für Raumheizung, Trinkwarmwasserbereitung sowie für den Strombezug. Bei den Wärmeanwendungen ist der Bedarf als Summe aus Nutzenergie und den im Gebäude vorhandenen Verteilsystemen und ggf. Trinkwasserspeichern zu verstehen.

Die unmittelbar für die Wärmeversorgung zusätzlich benötigten Pufferspeicher (Heizen mit Holz, Wärmepumpen, BHKW, Solarthermie usw.) bleiben zunächst unberücksichtigt. Ihre Kosten und Wärmeverluste sind konzeptabhängig und werden zusammen mit dem Erzeuger bewertet. Auch dessen Wärmeverluste zählen nach dieser Betrachtung nicht zum Gebäudebedarf, sondern verändern sich mit den einzelnen Konzepten.

Für die konkrete Liegenschaft sollten die in Tabelle 9 genannten Energiemengen vorliegen.

Energiemenge für ...	Kennwerte aus einer Bedarfibilanz	Kennwerte aus einer Verbrauchsanalyse
Heizung	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Heizwärmebedarf</li> <li>▪ Verteilverluste im Gebäude</li> </ul>	witterungsabhängiger Verbrauch ohne Pufferspeicher und Erzeugerverluste
Trinkwarmwasser	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Nutzwärmebedarf Trinkwarmwasser</li> <li>▪ Verteil- und Speicherverluste im Gebäude</li> </ul>	witterungsunabhängiger Verbrauch ohne Pufferspeicher und Erzeugerverluste
Allgemeinstrom	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Strombedarf</li> </ul>	Stromverbrauch per Gebäudegrenze

**Tabelle 9 Energiemengen für die Bewertung der Gebäude eines Versorgungsgebietes**

Die Kennzahlen müssen für Einzelgebäude (dezentrale Versorgung) vorliegen, für die untersuchten Versorgungsinseln (semizentrale Versorgung) sowie für das Gesamtgebiet.

Da im Regelfall keine Einzeluntersuchungen (im Sinne von Einzelenergieberatungen) jedes Objektes als Basis für die systematische Bewertung von Siedlungen vorausgesetzt werden können, müssen die Energiemengen näherungsweise aus möglichst realistischen Kennwerten für den Standort bestimmt werden.

In jedem Fall ist neben dem Energiekennwert zum derzeitigen Zustand auch ein repräsentativer künftiger Bedarfswert abzuschätzen. Um die ohnehin bereits umfänglichen Rechenschritte nicht übermäßig zu vervielfachen, werden folgende Kennwerte für die Untersuchung konkreter Versorgungsgebiete empfohlen:

- der heutige Bedarf oder Verbrauch für Wärme und Strom
- ein künftiger Bedarf, welcher nach ca. 20 – 30 Jahren für das Netz zu erwarten ist (halbe Lebensdauer neuer Netze)

Die Herkunft der Daten für neue Gebäude sowie den Bestand beschreiben nachfolgende zwei Teilkapitel.

### 5.4.1 Energieanalyse auf Basis von Verbrauchsdaten

Ziel der Energieanalyse eines Bestandsgebäudes ist Kenntnis der in Tabelle 9 genannten Energiemengen: Nutzenergie des Gebäudes (Wärme, Strom) ohne Erzeugerverluste und ohne externe Wärmenetzverluste. Das gilt unabhängig vom konkreten Projektfall, ob die Gebäude derzeit bereits an ein Wärmenetz angeschlossen sind oder nicht. Die Kennwerte werden benötigt in kWh/a bzw. auf die versorgte Fläche bezogen in kWh/(m<sup>2</sup>a).

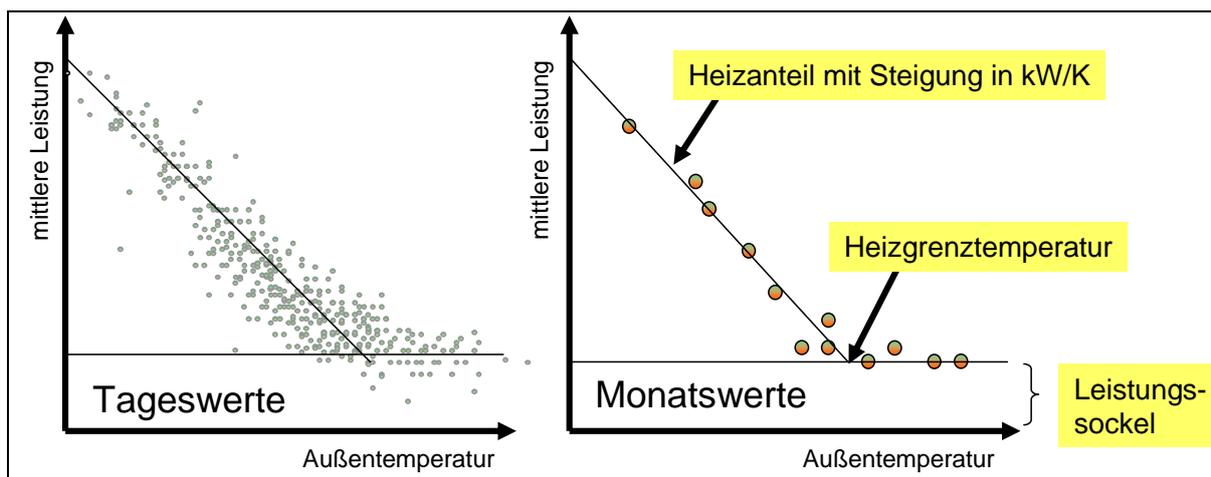
Werden ganze Gebiete untersucht, dann interessieren die Kennwerte für jedes Objekt separat, damit aus ihnen durch Summation (der Werte in kWh/a) Kennwerte für Versorgungseinsein oder Versorgungsgebiete errechnet werden können. Sollte die Beschaffung dieser Daten nicht möglich sein, sind Näherungen und Abschätzungen vorzunehmen, siehe Kapitel 5.4.3. Zunächst die Beschreibung des optimalen Falls.

### E-A-V für den Bestand

Für bestehende Netze und Abnehmer bieten sich Verbrauchsanalysen an. Im einfachsten Fall ist dies die Kenntnis eines witterungskorrigierten Verbrauchs für Wärme und Trinkwarmwasser für ein Jahr.

Deutlich aussagekräftiger ist jedoch die Energieanalyse aus dem Verbrauch (E–A–V) für die Unterscheidung in einen witterungsabhängigen veränderlichen und in einen ganzjährig witterungsunabhängigen Anteil.

Der witterungsabhängige Anteil entspricht im wesentlichen dem Jahresheizwärmeverbrauch des Gebäudes für Raumheizung zzgl. den gebäudeinternen Verteilverlusten in der Heizzeit, der witterungsunabhängige Anteil als ganzjähriger konstanter Wärmeabnahmesockel entspricht der Nutzenergie für Trinkwarmwasser und den zugehörigen technischen Verlusten der Verteilung und Speicherung für Trinkwarmwasser.



**Bild 15 Prinzip der Energieanalyse aus Verbrauch mit den ermittelbaren Kennwerten**

Die Theorie der Energieanalyse aus dem Verbrauch E-A-V ist mehrfach veröffentlicht [Verbrauchsdaten]. Die in Bild 15 beispielhaft eingetragenen Messpunkte entstehen aus Messwerten (in kWh) für Tage, Monate oder andere Intervalle, welche als mittlere Leistungen (kW) über der mittleren Außentemperatur im Messintervall aufgetragen werden.

Die Auswertung der E-A-V liefert Erkenntnisse über:

- die Heizgrenze,
- den witterungsunabhängigen Grundverbrauch (Leistungssockel), welcher auch in eine jährliche Energiemenge und damit einen Jahresanteil zurückgerechnet werden kann,
- den daraus ermittelbaren witterungsabhängigen Heizungsanteil am Verbrauch (Gesamtverbrauch minus Grundsockel),
- die Steigung (H, in kW/K) des Heizverbrauchs mit sinkender Außentemperatur, welche zur näherungsweisen Abschätzung der maximalen Heizlast herangezogen werden kann.

Optimale Zähler für die E-A-V sind Wärmemengenzähler, welche im Gebäude hinter dem dortigen Wärmeerzeuger bzw. der Zentrale angeordnet sind.

Je nach zugrunde gelegtem Messort bzw. Zähler kann die Auswertung die Wärmeverluste von Erzeugern enthalten (z. B. Auswertung von Gaszählern bei Einzelgebäuden). Sollte dies der Fall sein, sind die genannten Verluste nachträglich herauszurechnen, so dass die verbleibenden Kennwerte ein Bild über den Bedarf der Gebäude (ohne alle Erzeuger) liefern.

Hinsichtlich des Stromverbrauchs kann sicherlich eine detaillierte Energieanalyse entfallen. Die Kenntnis einer verbrauchten Jahresenergiemenge aus Zählerauswertungen ist jedoch optimal.

### **E-A-V der künftigen Bedarfswerte**

Die Bedarfswerte, mit welchen in 20 – 30 Jahren in den untersuchten Gebäuden zu rechnen ist, können selbstverständlich nur durch Annahmen ermittelt werden. Jedoch kann die E-A-V des Bestandes eine Hilfe bei der Abschätzung sein. Die Auswirkungen möglicher Modernisierungen oder anderweitiger Änderungen im Versorgungsgebiet sollten getrennt für den witterungsabhängigen und witterungsunabhängigen Verbrauchsanteil abgeschätzt werden.

Hinsichtlich der erwarteten künftigen Bedarfswerte eines konkreten Versorgungsgebietes wäre die optimale Datenbasis eine Prognose für jedes einzelne Objekt, z.B. auf Basis einer Energieberatung. Da dies in der Praxis nur im Ausnahmefall leistbar ist, können auch Erkenntnisse früherer oder vergleichbarer Modernisierungen auf den Bestand übertragen werden. Alternativ werden Kennwerte aus Leitszenarien des Bundes verwendet, siehe auch Bild 4 auf Seite 17 für Wärme und Bild 5 auf Seite 18 für Strom.

#### **5.4.2 Energiebedarfsbilanzen für den Neubau**

Für den Neubau (oder alternativ im Bestand, wenn Verbrauchsdaten fehlen) kommen Berechnungen der Wärmeenergieabnahme in Frage. Es kann hier auf die Palette der verschiedenen Energiebilanzverfahren zurückgegriffen werden, z.B. das IWU-Tool [IWU-NEH] (Siehe Bild 12) oder die [DIN V 18599].

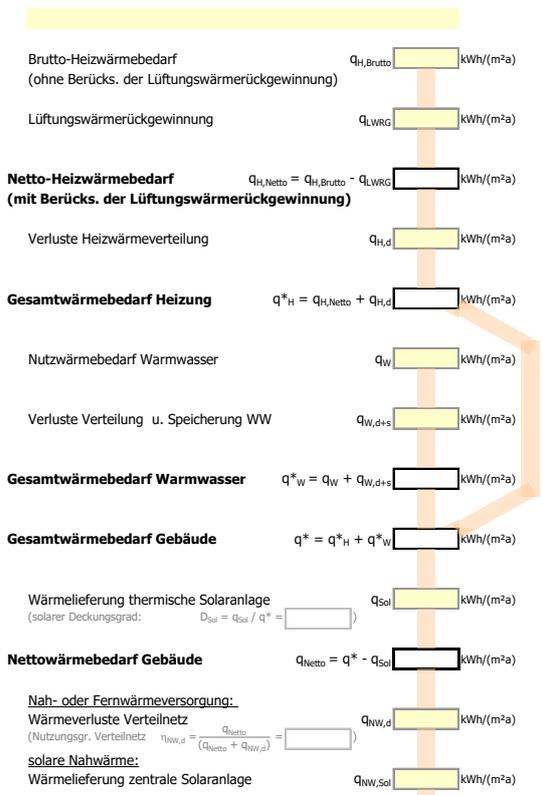
Ziel der Energiebedarfsbilanz ist ebenso wie bei Verbrauchsanalysen die Kenntnis der in Tabelle 9 genannten Energiemengen: Nutzenergie des Gebäudes (Wärme, Strom) ohne Erzeugerverluste und ohne externe Wärmenetzverluste. Die Kennwerte werden benötigt in kWh/a bzw. auf die versorgte Fläche bezogen in kWh/(m<sup>2</sup>a).

Werden ganze Gebiete untersucht, dann interessieren im optimalen Fall die Kennwerte für jedes Objekt separat, damit aus ihnen durch Summation (der Werte in kWh/a) Kennwerte für Versorgungsinseln oder Versorgungsgebiete errechnet werden können. Sollte die Beschaffung dieser Daten zu aufwendig sein, sind Näherungen und Abschätzungen vorzunehmen, siehe Kapitel 5.4.3.

#### **Künftige Kennwerte**

Auch für neue Baugebiete oder ganz allgemein für den Fall einer Bedarfsbilanz des heutigen Zustands müssen Überlegungen hinsichtlich der künftigen Entwicklung der Kennwerte angestellt werden. Die Bedarfswerte, mit welchen in 20 – 30 Jahren in den untersuchten Gebäuden zu rechnen ist, werden durch Annahmen ermittelt. Es gelten die Hinweise aus Kapitel 5.4.1 zu möglichen Arbeitshilfen bei dieser Schätzung auch hier.

**Wärmeversorgung für Niedrigenergiehäuser – Bewertungsschema Gesamtbilanz**



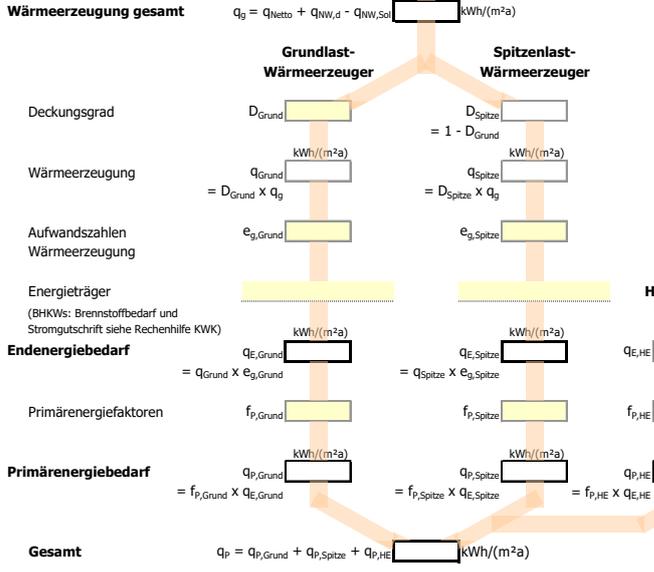
	Passivhaus	Niedrigenergiehaus	
<b>q<sub>H,Brutto</sub></b>	35 ... 45	40 ... 70	kWh/(m <sup>2</sup> a)
<b>q<sub>L,WRG</sub></b>	20 ... 30	15 ... 30	0 kWh/(m <sup>2</sup> a)
<b>q<sub>H,Netto</sub></b>	≤ 15	20 ... 70	kWh/(m <sup>2</sup> a)
<b>q<sub>H,d</sub></b>	je nach Verteilsyst. u. Dämmstandard	Anhaltswert	
	2 ... 20	10	kWh/(m <sup>2</sup> a)

	je nach Belegungsichte	Anhaltswert	
<b>q<sub>W</sub></b>	10 ... 20	15	kWh/(m <sup>2</sup> a)
	je nach Verteilsyst. u. Dämmstandard	Anhaltswert	
<b>q<sub>W,d+s</sub></b>	5 ... 15	10	kWh/(m <sup>2</sup> a)

	<b>q<sub>Sol</sub> in kWh/(m<sup>2</sup>a)</b>	
	je nach Auslegung	Anhaltswert*
*) bei Ansatz der Anhaltswerte von q <sub>W</sub> und q <sub>W,d+s</sub> Für andere Ansätze siehe Rechenhilfe Solaranlage		
Solaranlagen nur für Warmwasser	10 ... 15	12
Solaranl. für WW + Heizungsunterstützung	10 ... 30	20

	<b>q<sub>NW,d</sub> in kWh/(m<sup>2</sup>a)</b>	
	je nach Verteilsyst. u. Dämmstandard	Anhaltswert
Siedlungstyp		
Einfamilienhaussiedlung niedriger Dichte	25 ... 45	35
EFH-Siedlung hoher Dichte, Reihenhäuser	15 ... 30	25
Zellenbebauung mittlerer Dichte (3-5 Geschosse)	5 ... 15	10
Zellenbebauung hoher Dichte, Hochhäuser	2 ... 10	6

**q<sub>NW,Sol</sub>** siehe Rechenhilfe Solare Nahwärme



	<b>D<sub>Grund</sub></b>	
	je nach Auslegung	Anhaltswert*
Heizkessel als alleiniger Wärmeerzeuger	100%	100%
monoal. Wärmepumpen (Erde/Luft)	100%	100%
bivalente Wärmepumpen (Erde/Luft)	80% ... 99%	95% / 90%
Abluft-Wärmepumpen $q_{H,d} = 40$ kWh/(m <sup>2</sup> a)	80% ... 95%	90%
$q_{H,d} = 55$ kWh/(m <sup>2</sup> a)	40% ... 70%	60%
$q_{H,d} = 70$ kWh/(m <sup>2</sup> a)	30% ... 50%	40%
BHKW	30% ... 95%	-

\*) Näheres siehe Rechenhilfe

	<b>f<sub>P</sub></b>	
	Standardwert	
Erdgas		1,10
Flüssiggas		1,10
Heizöl		1,10
Strom		2,70*
Biomasse **		0,20

\*) Bei Ansatz nach DIN V 4701-10: f<sub>P</sub> = 3,0  
 \*\*) bei Ansatz eines Biomasse-Budgets  
 f<sub>P</sub> = 0,20 ... 1,20 / siehe Rechenhilfe

	<b>q<sub>E,HE</sub></b>			
	je nach Bauart und Betriebsweise	Anhaltswert		
<b>Primärenergie-Aufwandszahl des Gesamtsystems</b>				
$e_p = \frac{q_P}{q_{H,Brutto} + q_W} =$				
<b>der Wärmeerzeugung</b>	Zusätzlich zu $q_{g,Grund}$ keine Nachtabschaltung Heizungsp. keine Nachtabschaltung Zirkulation Lüftungsanlage mit Wärmerückgew. Abluftanlage thermische Solaranlage Nahwärme	Basiswert für Verteilung und Regelung	1,0 ... 3,0	2,0
		Zirkulation	+0,5 ... +1,5	+1,0
		keine Nachtabschaltung Heizungsp.	+0,3 ... +0,7	+0,5
		keine Nachtabschaltung Zirkulation	+0,3 ... +0,7	+0,5
		Lüftungsanlage mit Wärmerückgew.	+1,3 ... +4,0	+3,0
		Abluftanlage	+0,5 ... +2,0	+1,0
		thermische Solaranlage	+0,5 ... +1,5	+0,7
Nahwärme	+0,5 ... +4,0	+0,1 x q <sub>NW,d</sub>		

	<b>e<sub>g</sub></b>	
	je nach Bauart und Betriebsweise	Anhaltswert
Niedertemperaturkessel	1,05 ... 1,20	1,10
Brennwertkessel	0,98 ... 1,10	1,02
Erdeich-Wärmepumpe	0,25 ... 0,36	0,29
Luft-Wärmepumpe	0,35 ... 0,42	0,37
Abluft-Wärmepumpe	0,25 ... 0,36	0,30
BHKW*	0,00 ... 0,80	0,70
Gasmotor-Wärmepumpe	0,70 ... 0,90	0,80
elektrischer Heizstab	1,00	1,00
Holzpelletkessel	1,30 ... 1,50	1,40

\*) siehe Rechenhilfe BHKW, alternative Verfahren:  
 Stromgutschriftmethode / Gesamtenergieeffizienzmethode

alle Kennwerte bezogen auf die reale beheizte Wohnfläche

Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt – Juli 2005

**Bild 16 Beispiel für eine kennwertbezogene Bedarfsbilanz**

### 5.4.3 Mischformen der Kennwertermittlung

Nicht bei allen Projekten kann auf eine detailliert ermittelte Datenbasis in Form von Verbrauchsmessungen und E-A-V oder auf detaillierte Bedarfsbilanzen für jedes einzelne Objekt zurückgegriffen werden.

So kann es erforderlich sein, die heutigen und künftigen Bedarfswerte für die Nutzenergie der Gebäude abzuschätzen, weil:

- keine, unvollständige oder nicht die richtigen Zählerdaten vorhanden sind,
- größere Nutzungsänderungen oder spätere Zubauten/Abrisse bevorstehen,
- Zeit und Mittel nicht ausreichen, um vorab alle Gebäude einzeln zu untersuchen.

In jedem Fall ist es das Ziel, für alle Objekte die heutigen und künftigen Gebäudenutzenergien (Wärme, Strom) ohne Erzeugerverluste und ohne externe Wärmenetzverluste als Datengrundlage zu verwenden.

Im Falle von Bedarfsabschätzungen für Neubaugebiete können:

- Kennwerte von wenigen exemplarisch detailliert untersuchten Gebäude auf andere Objekte übertragen werden anhand der Kennwerte in  $\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ ],
- wobei jedoch repräsentative Typgebäude geschaffen werden sollten, deren Nutzungsranddaten realistisch ausfallen müssen.

Im Falle von Bestandsversorgungsgebieten können:

- detaillierte Verbrauchsauswertungen mit E-A-V einzelner Objekte verwendet werden, um eine realistische Aufteilung auf witterungsabhängigen und –unabhängigen Verbrauch zu bestimmen,
- fehlende Verbrauchsauswertungen für Objekte aus den vorhandenen Daten oder per Bedarfsbilanz sinnvoll ergänzt werden.

Sofern dies sinnvoll erscheint, kann auch auf grobe Typologien zurückgegriffen werden.

## 5.5 Abschätzung der Verteilverluste

Die wesentliche Aufgabe bei der Planung von Nah- und Fernwärmenetzen liegt in der Vorabschätzung der Verteilverluste. Ziel ist insgesamt eine möglichst realistische Abschätzung der Verluste in  $\text{kWh}/\text{a}$ , welche einem definierten zentralen Versorgungsgebiet oder jeder Insel mit semizentraler Versorgung zuzuordnen sind.

Es bietet sich für die Umsetzung eigener Projekte an:

- mögliche Trassenverläufe einzelner Varianten grafisch zu dokumentieren,
- die Wärmeverluste teilstreckengenau zu bestimmen oder wenigsten die jeweilige Gesamtlänge eines Wärmenetzverbundes zu ermitteln, wobei dann pauschale längenbezogene Wärmeverluste der Trasse angesetzt werden.

Auf die Verwendung von pauschalen Nutzungsgraden für Wärmeverteilnetze muss verzichtet werden, da vor allem in Gebieten mit sehr geringer Nutzwärmeabnahme der Gebäude diese Pauschalwerte kaum stimmen.

Die Berechnung der Abschätzung der Verteilverluste von Wärmenetzen kann mit den Ansätzen in Kapitel 3.3.2 erfolgen.

Die ermittelten nutzflächenbezogenen Netzverluste in kWh/(m<sup>2</sup>a) liefern einen sinnvollen Maßstab zur Bewertung der gesamten eingesetzten Endenergie im Vergleich zu den Nutzenergien für Raumwärme und für Trinkwassererwärmung sowie für die sonstigen gebäudeinternen Verluste der Speicherung und Verteilung.

## 5.6 Kostenschätzungen

Für die Wahl eines langfristig wirtschaftlichen Versorgungskonzeptes sind einerseits Investitionskosten und andererseits Betriebskosten abzuschätzen. Letztgenannte sind zeitlichen Änderungen unterworfen, die ebenfalls – möglichst realistisch – angenommen werden müssen.

### Investitionen

Für die Investitionen sind im optimalen Fall Kosten aus Angeboten zu verwenden, welche jedoch in den seltensten Fällen für alle untersuchten Varianten vorausgesetzt werden können. Alternativ bzw. ergänzend wird auf Kostendatenbanken mit Schätzformeln zurückgegriffen.

Im Einzelnen wird empfohlen, die Investitionskosten als Funktionen von folgenden Parametern abhängig zu bestimmen:

- Leitungsnetze außerhalb von Gebäuden: Zustand des Geländes (bebaut oder unbebaut), Art der Leitungen (Kunststoff, Stahl etc.), DN, Art des Mediums: Gas, Warmwasser, Heißwasser
- Erzeuger: Art (Kessel, BHKW, Wärmepumpe etc.) und Leistung
- Schornsteine: angeschlossene Leistung, Höhe, Neubau oder Sanierung
- Speicher: Art (Pufferspeicher, Trinkwasserspeicher) und Volumen
  
- Netzanschlüsse bzw. Übergabestationen: Leistung, Art (mit oder ohne Warmwasser)
- Gasanschlüsse: Leistung
- Tankanlagen: Volumen, Lage (Gebäude, Erde, Außentanks)
- Lager Räume: Grundflächen oder umbauter Raum, Umbau oder Neubau

### Betriebskosten

Hinsichtlich der Betriebskosten sind die Kosten der Energieträger und deren prognostizierten nominalen oder realen Preissteigerungen in den nächsten Jahren anzunehmen. Darüber hinaus sollten auch Wartungskosten, zumindest für die zentralen Komponenten (Erzeuger) der einzelnen Versorgungsalternativen abgeschätzt werden.

## 5.7 Systematische Auswertung

Die systematische Untersuchung eines konkreten Versorgungsgebietes kann zur Folge haben, dass sich sowohl für die Energiebilanzierung als auch die Wirtschaftlichkeitsbewertung eine große Fülle von Varianten ergibt. Zur Variation werden empfohlen:

- Bedarf der Gebäude und Bewertung der Energieträger: heute, künftig (in 20 – 30 Jahren)
- Preisentwicklung der Betriebskosten: heutige Preise (keine Preissteigerung), moderate und hohe Preissteigerung
- Art der Versorgung: zentral, semizentral in mehreren Stufen, dezentral (bezogen auf das Versorgungsgebiet, nicht auf ein Gebäude)
- Art der Erzeugung: diverse Möglichkeiten der Wärme- und Stromerzeugung

Für ein kleineres Versorgungsgebiet, z.B. ein Dorf oder eine kleine städtische Siedlung kann dies bedeuten, dass sich bereits  $2 \times 3 \times 4 \times 5 = 120$  Varianten bei der Untersuchung ergeben. Die Berechnung muss daher automatisiert werden. Darüber hinaus ist der Fokus der Auswertung jedoch auf einzelne Aspekte zu legen.

### Hinweise zur systematischen Auswertung

Bei der Auswertung kann beispielsweise zunächst nur der langfristige Gebäudebedarf (in 20 – 30 Jahren) kombiniert mit moderater (mittlerer) Preissteigerung in den Mittelpunkt gerückt werden. Dies vermindert die Variantenanzahl, beim o. g. Beispiel auf ein Sechstel.

Für die Fragestellung, ob überhaupt ein Wärmenetz eingesetzt werden sollte, dient der Vergleich der betriebswirtschaftlich günstigsten Varianten, jeweils der vollständig dezentralen mit der vollständig zentralen Versorgung.

#### 5.7.1 Endenergiebilanz für Wirtschaftlichkeitsbewertung

Die Wirtschaftlichkeitsbewertung eines Versorgungskonzeptes setzt eine Energiebilanz der Energieträger in der Form voraus, dass diese mit Energiepreisen belegt werden können.

Das bedeutet, dass alle Energieträger als Endenergie bilanziert werden in der Höhe, wie sie über die Systemgrenzen nach Kapitel 5.2 fließen:

- Brennstoffe: Endenergie per Systemgrenze
- elektrischer Strom: Strom per Systemgrenze
- Abwärmeströme: Wärmestrom per Systemgrenze
- Solarwärme, Umweltwärme: Energiebilanz kann entfallen, da diese Mengen i. d. R. kostenlos sind

#### 5.7.2 Endenergiebilanz für Ressourcenverbrauch

Der Ressourcenverbrauch eines Versorgungskonzeptes setzt ebenfalls eine Endenergiebilanz der Energieträger voraus. Jedoch wird hier von der in Kapitel 5.7.1 vorgestellten Einteilung aus wirtschaftlicher Sicht abgewichen.

Die Einteilung erfolgt, wie in Kapitel 5.2 beschrieben, nach:

- fossile Endenergie (Erdgas, Heizöl, Kohle usw.),
- begrenzt verfügbare Biomasse (Biogas, Bioöl, Biomasse),
- unbegrenzt verfügbare Energie (Solarwärme, Umweltwärme).

Zur Vereinfachung kann die unbegrenzt verfügbare Energie bis auf weiteres vernachlässigt werden. Das hat zwei Gründe: langfristig kann davon ausgegangen werden, dass es keine politischen Reglementierungen für den damit verbundenen Ressourcenverbrauch gibt. Darüber hinaus weisen auch nicht alle am Markt verfügbaren Energiebilanzverfahren diese Mengen vollständig in kWh/a aus, da sie nicht bezahlt werden

Die beiden verbleibenden Endenergien umfassen im Wesentlichen die Brennstoffe. Zur Vereinfachung während der Phase einer Projektbearbeitung können diese Mengen gemeinschaftlich angegeben werden. Jedoch sollten die beiden Anteile auch separate Beachtung finden, da davon auszugehen ist, dass es künftig (unterschiedliche) politische Reglementierungen für ihren Verbrauch geben wird.

### 5.7.3 Wirtschaftlichkeitsbewertung

Die gesamtwirtschaftliche Bewertung ist im Rahmen dieser Studie nicht verallgemeinerbar. Der nachfolgenden grundsätzlichen Beschreibung folgt die Anwendung am Beispiel der Liegenschaft "Neuerkerode" in Kapitel 6.

Die Wirtschaftlichkeitsbewertung sollte dem Schema einer üblichen dynamischen Berechnung auf Basis der Gesamtkosten (Kapitalkosten, Wartungs- und Unterhaltskosten, Energiekosten) folgen. Festzulegen sind neben den Kosten und Preissteigerungen (Kapitel 5.6):

- Betrachtungszeiträume: für die hier vorliegende Problematik werden Zeiträume von 30 ... 40 Jahren als realistisch angesehen,
- Lebensdauern der Komponenten: i. d. R. für Wärmeerzeuger zwischen 15 und 25 Jahren (je nach Größe und Art)
- Zinsen für die Finanzierung der Investitionen: langfristig realistisch werden aus heutiger Sicht Werte zwischen 3 ... 6 %/a
- der Umgang mit Investitionskostenzuschüssen und Förderprogrammen: sollten Berücksichtigung finden, jedoch wird eine alternative Berechnung ohne diese Zuschüsse empfohlen – damit festgestellt werden kann, ob nur aus Gründen der Förderung bestimmte Entscheidungen zu verzeichnen sind

Die üblichen Verfahren, welche zur wirtschaftlichen Bewertung verfügbar sind, können verwendet werden, d.h. die VDI 2067 oder das LEG-Verfahren [LEG].

### 5.7.4 Primärenergie- und CO<sub>2</sub>-Bilanzen

Ob und welcher Weise Bilanzierungen der Primärenergie und der äquivalenten CO<sub>2</sub>-Menge erfolgen, sollte im Rahmen der Projektbearbeitung entschieden werden.

In jedem Fall ist zu beachten, dass die zur Bewertung der Endenergiemengen verwendeten Faktoren (CO<sub>2</sub>-Äquivalent in kg/kWh oder Primärenergiefaktor):

- zeitveränderlich sind (Änderungen des Energieträgermixes) und somit – wie die Energiepreise auch – variable Parameter bei einer Konzepterstellung sein sollten,
- die Faktoren teilweise politisch gefärbt sind und – sofern erkennbar – Entscheidungen für eine langfristige Konzepterstellung nicht von ihnen abhängig gemacht werden sollten.

Sofern Faktoren verwendet werden, sind im Rahmen von konkreten Projekten die zugrunde gelegten Quellen offen zu legen.

## 5.8 Schlussfolgerungen

Auf Basis der systematischen Auswertung der Rechenergebnisse müssen Schlussfolgerungen gezogen werden. Ausschlaggebend für das Fazit sollten mindestens sein:

- der Ressourcenverbrauchs nach Kapitel 5.7.2
- die Gesamtwirtschaftlichkeit nach Kapitel 5.7.3

Weiterhin können in Betracht gezogen werden: CO<sub>2</sub>-Emissionen, der sich ergebende Energieträgermix (und damit die Abhängigkeit von einer oder vielen Lieferanten – Risikostreuung)).

Schlussfolgerungen lassen sich selbstverständlich nur aus konkreten Projekten ziehen, wie dies am Beispiel des Dorfes "Neuerkerode" im nachfolgenden Kapitel 6 erfolgt. Dennoch lassen sich die Erkenntnisse aus Untersuchungen anderer Versorgungsgebiete in gewissem Maße verallgemeinern, siehe Kapitel 7 und 8.

## 6 Detailliert untersuchtes Versorgungsgebiet

Anhand eines konkreten Fallbeispiels, des Dorfes "Neuerkerode", sollen die in Kapitel 5 erläuterten Vorgehensweisen für die Konzepterstellung erläutert werden.

Einer kurzen Beschreibung der Liegenschaft und der speziell gegebenen Problemstellung folgen die Zusammenstellungen der Grunddaten. Dies sind die Systemgrenzen, die heutigen und künftigen Bedarfswerte der Gebäude, Netzverluste sowie die gewählten Kostenansätze.

Die systematische Auswertung der Daten liefert für die untersuchten Versorgungs- und Erzeugungsvarianten Ergebnisse zum Ressourcenverbrauch und zur Wirtschaftlichkeit. Eine Handlungsstrategie und Empfehlung für das Dorf wird abgeleitet.

### 6.1 Beschreibung der Liegenschaft

Das Dorf Neuerkerode ist ein Ortsteil von Sickte im Landkreis Wolfenbüttel und ca. 12 km östlich von Braunschweig gelegen mit etwa 55 Wohn- und Nichtwohngebäuden, in denen Menschen mit Behinderungen leben, arbeiten und durch Pflegepersonal betreut und versorgt werden.

Träger dieser Liegenschaft ist die Evangelische Stiftung Neuerkerode. Diese Stiftung besteht seit dem Jahre 1868 und weiß sich der Förderung und Betreuung von Menschen mit geistiger Behinderung sowie auch mehrfacher Behinderung verpflichtet. Zum Stiftungsauftrag gehört ebenso die Begleitung und Pflege alter Menschen.

Von der Stiftung werden 840 Menschen mit Behinderung betreut, davon leben 700 Menschen in Neuerkerode in 70 Wohngruppen unterschiedlicher Größe.

#### Neuerkerode 2015

Im Rahmen des Projektes "Neuerkerode 2015" hat sich die Stiftung im Wesentlichen folgende Ziele gesetzt:

- Energetische Sanierung des Gebäudebestandes: durch investive Maßnahmen, Integration in die Instandhaltungs- und Investitionsplanung
- Umbau der Strom- und Wärmeversorgung mit dem Ziel von 80 ... 100 % regenerativer Versorgung
- Umsetzung nicht- bzw. geringinvestiver Energieeinsparmaßnahmen und Schulung von Mitarbeitern und Bewohnern
- Durchführung von Umweltprojekten mit den Bewohnern

Um diese Ziele erreichen zu können, wird das Projekt "Neuerkerode 2015" unter anderem von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) und der Fakultät Versorgungstechnik der Ostfalia - Hochschule für angewandte Wissenschaften unterstützt.

#### Gebäude- und Versorgungsstruktur

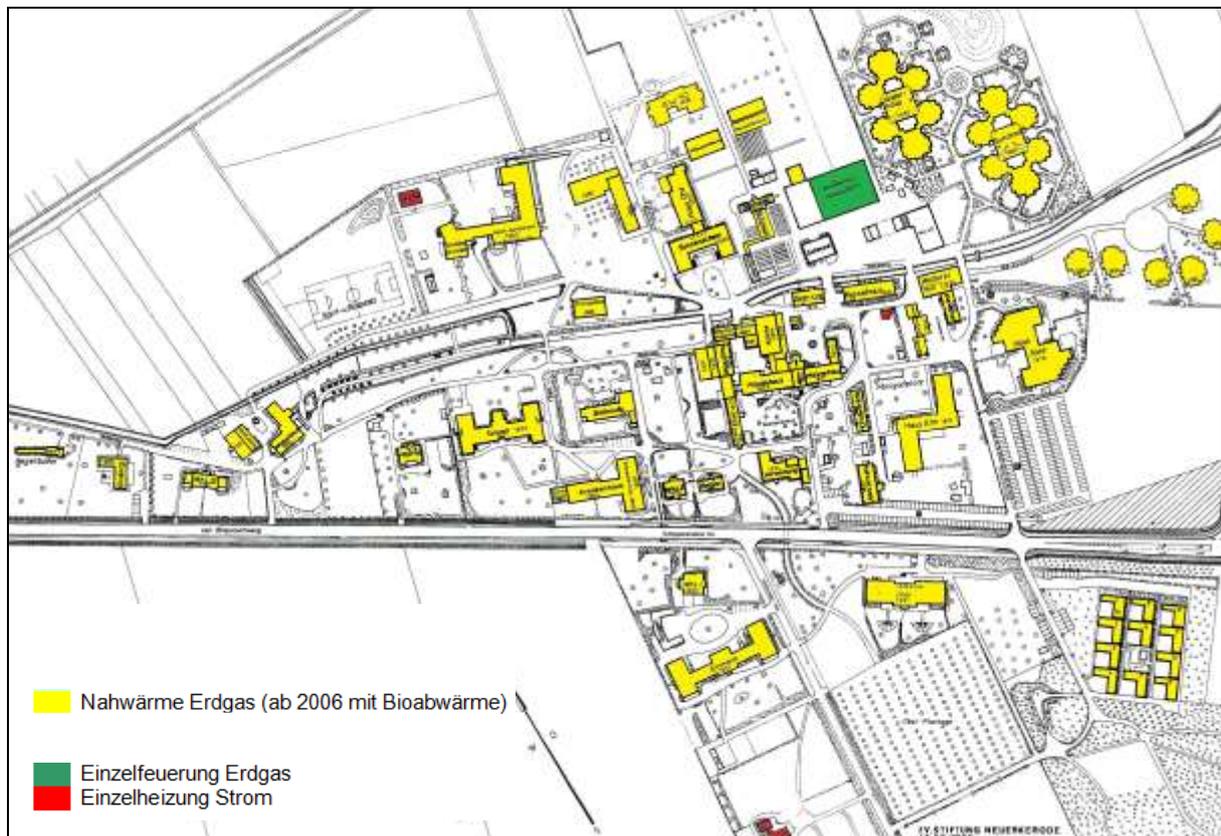
Auf dem Gelände der Stiftung befinden sich derzeit 55 Gebäude mit zusammen knapp 49.000 m<sup>2</sup> beheizter Fläche. Darüber hinaus sind etliche unbeheizte Objekte vorhanden, die hier keine weitere Rolle spielen. Die Gebäude lassen sich 8 Nutzungsgruppen und 6 Gebäuderklassen zuordnen, siehe Tabelle 10.

Nutzungsgruppe	m <sup>2</sup> beheizte Fläche	Anteil	Anzahl
A - Pflege	15708	32%	15
B - Pflege und Werkstätten	12534	26%	6
C - gemischte Pflege/Wohn/Büro/Werkstätten	8668	18%	7
D - Wohnbauten	2509	5%	3
E - Arbeits- und Werkstätten	3580	7%	6
F - Büros oder Büroähnliche	1566	3%	5
G - Verkaufseinrichtungen	490	1%	3
Z- Sonstige Gebäude	3695	8%	10
Summe	48750		

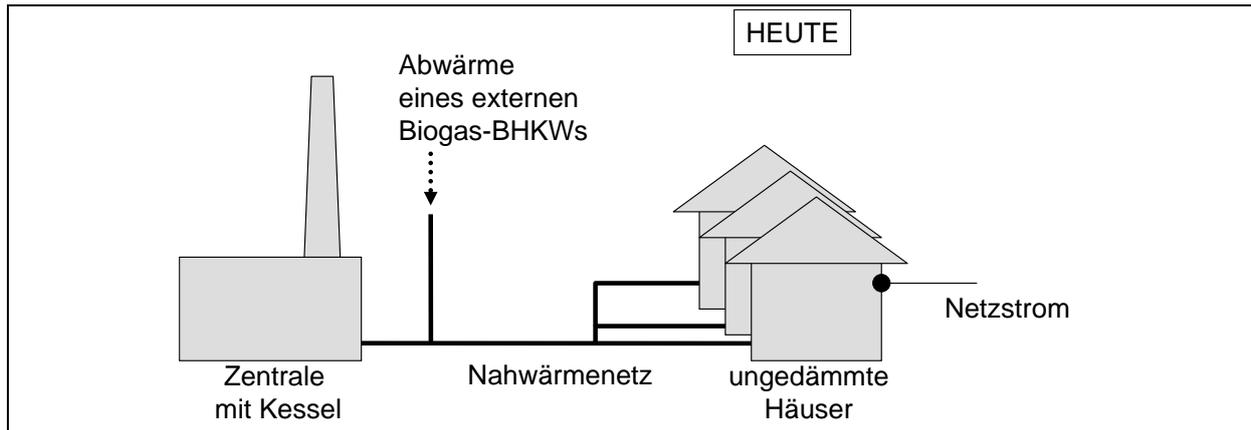
Baualtersklass	m <sup>2</sup> beheizte Fläche	Anteil	Anzahl
bis 1900	5842	12%	11
1901 bis 1945	13782	28%	11
1946 - 1968	9571	20%	10
1969 - 1977	7878	16%	10
1978 - 1994	9508	20%	8
ab 1995	2170	4%	5
	48750		

**Tabelle 10 Gebäudegrunddaten**

In Neuerkerode wurden unter dem Eindruck der 1. Ölkrise dezentrale Kohle- und Ölheizanlagen durch ein erdgasversorgtes Heizwerk (ohne KWK) mit fast vollständiger Fernwärmeversorgung aller Gebäude ersetzt, siehe Bild 17. Seit dem Jahr 2006 wird zusätzlich Abwärme aus der Biogasverstromung eines nahe gelegenen Bauernhofes eingespeist.



**Bild 17 Versorgungsstruktur um das Jahr 2010**



**Bild 18 Schema Versorgung heute**

Die Heizzentrale wird zu fast 100 % mit konventionellem Erdgas befeuert. Kleinere Mengen Heizöls werden in den vorhandenen Zweistoffbrennern verbrannt (automatische Spitzenvermeidung des Versorgers). Wenige Gebäude werden elektrisch direkt bzw. mit Erdgas beheizt.

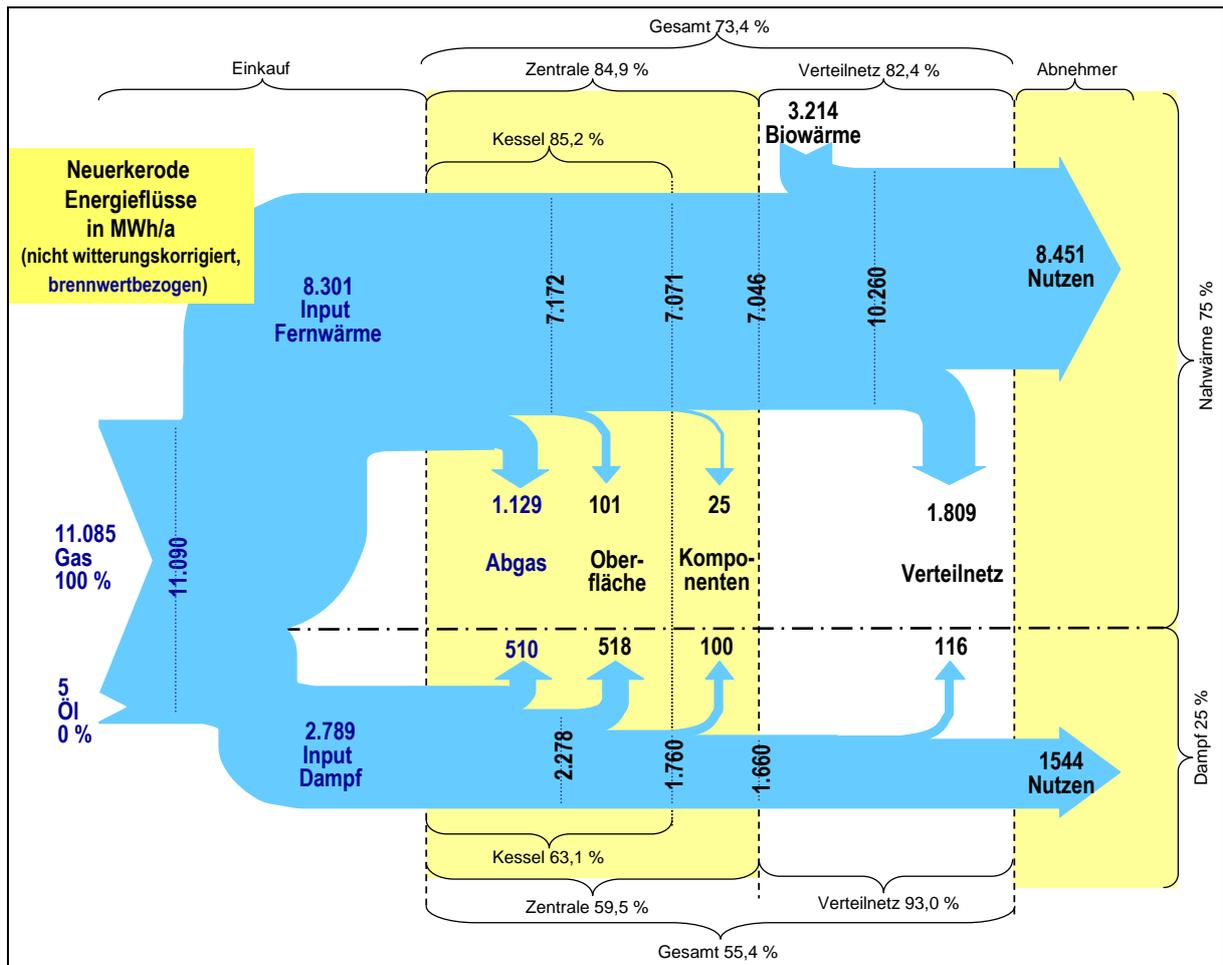
Die Gebäude selbst entstammen den Baujahren 1871 bis 2002. Sie sind insgesamt größtenteils unsaniert mit entsprechend hohem Verbrauch.

### Energiekennwerte und Energieflussbild

Einer Untersuchung der Verbrauchsdaten aus dem Jahr 2009 liefert in erster Näherung die für den Bestand geltende Energiebilanz, siehe Bild 19.

Aus der Energiebilanz sowie den weiteren Abrechnungen des Stromverbrauchs lassen sich folgende Kennwerte für die Liegenschaft (ohne Wäscherei und Küche) ableiten:

- Endenergieeinsatz für alle Medien  $Q_E = 15\,800\text{ MWh/a}$   
 $q_E = 322\text{ kWh/(m}^2\text{a)}$
- Endenergie Erdgas für Nahwärmekessel ( $H_s$ ):  $Q_{\text{Gas,NW}} = 8\,300\text{ MWh/a}$   
 $q_{\text{Gas,NW}} = 169\text{ kWh/(m}^2\text{a)}$
- Kesselverluste ( $H_s$ ):  $Q_g = 1\,250\text{ MWh/a}$   
 $q_g = 26\text{ kWh/(m}^2\text{a)}$
- Verteilverluste des Nahwärmenetzes:  $Q_d = 1\,800\text{ MWh/a}$   
 $q_d = 37\text{ kWh/(m}^2\text{a)}$
- Abwärme aus Biogas-BHKW in Nahwärme eingespeist:  $Q_{\text{Bio}} = 3\,200\text{ MWh/a}$   
 $q_{\text{Bio}} = 65\text{ kWh/(m}^2\text{a)}$
- Wärmeabnahme der Gebäude:  $Q_{\text{Nutz}} = 8\,450\text{ MWh/a}$   
 $q_{\text{Nutz}} = 172\text{ kWh/(m}^2\text{a)}$
- Jahresstromverbrauch:  $W_{\text{el}} = 1\,800\text{ MWh}_{\text{el}}/\text{a}$   
 $w_{\text{el}} = 37\text{ kWh/(m}^2\text{a)}$



**Bild 19 Gesamtbilanz Nahwärme Neuerkerode**

Nicht dargestellt sind die Verbräuche der wenigen Objekte, welche nicht an das Nahwärme-netz angeschlossen sind. Eine ebenfalls als Energieverbraucher vorhandene Dampfproduktion (für Wäscherei und Küche) ist in der Grafik enthalten, auch wenn sie im Weiteren für die Betrachtungen keine Rolle mehr spielt.

Die wöchentliche Verbrauchserfassung der Netzwärmezufuhr für die Nahwärme (ab Kessel-zentrale) und für die Gebäudewärmeabnahme durch Wärmemengenzähler in allen Gebäu-den ergibt die in Bild 20 gezeigte Energieanalyse aus dem Verbrauch (E–A–V) für die middle-ren Leistungen. Die Differenz zwischen roter und blauer Kennlinie entspricht den Kesselver-lusten, die mit abnehmender Außentemperatur nachvollziehbar ansteigen: zunehmende Brennerlaufzeiten und zunehmende Abgasverluste. Die Differenz zwischen blauer und grün-er Kennlinie entspricht den Verteilverlusten, die mit steigender Außentemperatur nicht so-fort nachvollziehbar ansteigen; dies liegt sicherlich an der erhöhten Biowärmeeinspeisung in Übergangszeiten und im Sommer. Dem Überangebot an Abwärme aus der Kraft-Wärme-Kopplung steht zeitweise keine entsprechende Abnahme in der Liegenschaft gegenüber. das Verteilnetz dient als Abwärmesenke für das Biogas-BHKW

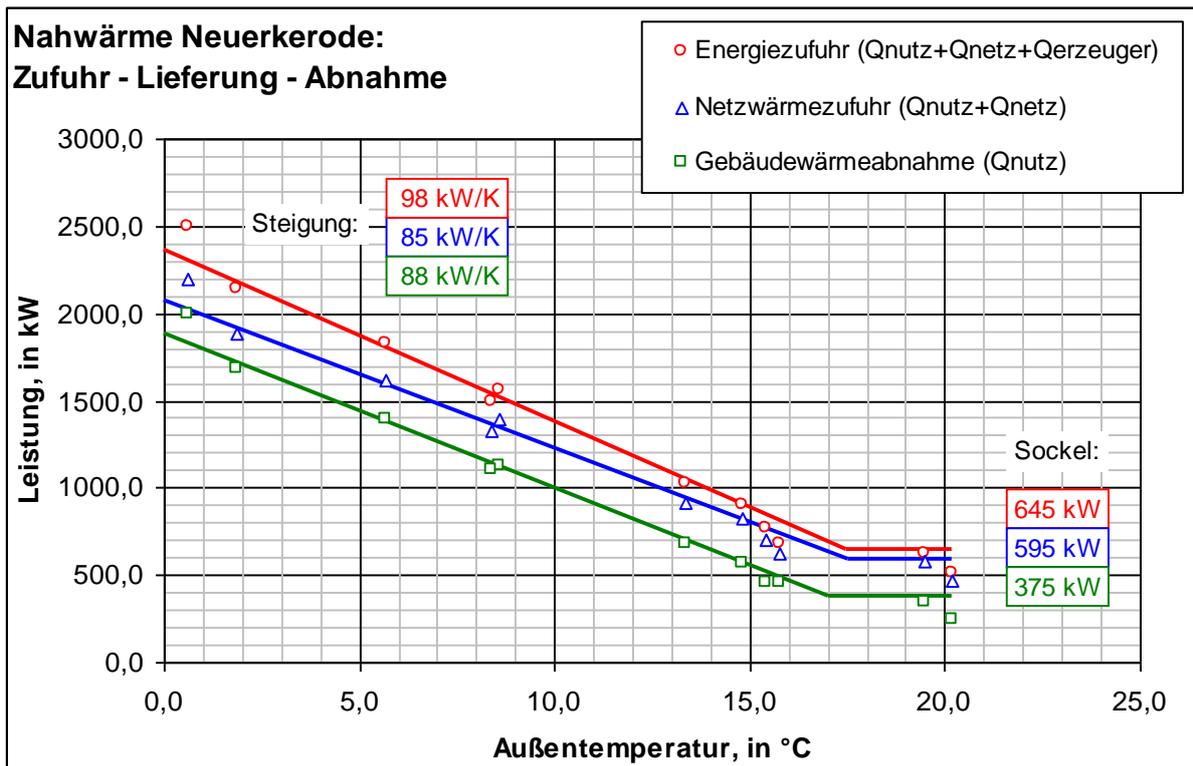


Bild 20 Energieanalyse aus dem Verbrauch

## 6.2 Problemstellung im konkreten Fall

Die Evangelische Stiftung Neuerkerode verfolgt neben der Endenergieeinsparung auch das Ziel, die Energieversorgung auf größtenteils regenerative Energien umzustellen. Der Weg dazu umfasst:

- Energieeinsparung bei Wärme durch größtenteils Modernisierung der Gebäude
- Energieeinsparung bei Wasser incl. Warmwasser sowie Strom durch größtenteils Änderung des Nutzerverhaltens
- Umstellung der Energieträger für die Versorgung

Die Aufgabenstellung bei der Untersuchung dieses Dorfes umfasste demzufolge diverse Teilaufgaben; die wichtigsten seien hier genannt:

- Auswertung der gebäudeweisen Verbrauchsdaten im Bestand (Wärme, Wasser, Strom)
- Erfassung der Wärmeverluste des vorhandenen Nahwärmenetzes und der Heizzentrale
- Abschätzung der künftigen gebäudeweisen Bedarfswerte (Wärme, Strom)
- Prüfung eines möglichen Rückbaus des Wärmeverteilnetzes für Abnehmer an der Peripherie
- Untersuchung möglicher Erzeugeralternativen für vom Netz getrennte Gebäude
- Prüfung möglicher Erzeugeralternativen für die Heizzentrale und das Restgebiet incl. Stromerzeugung

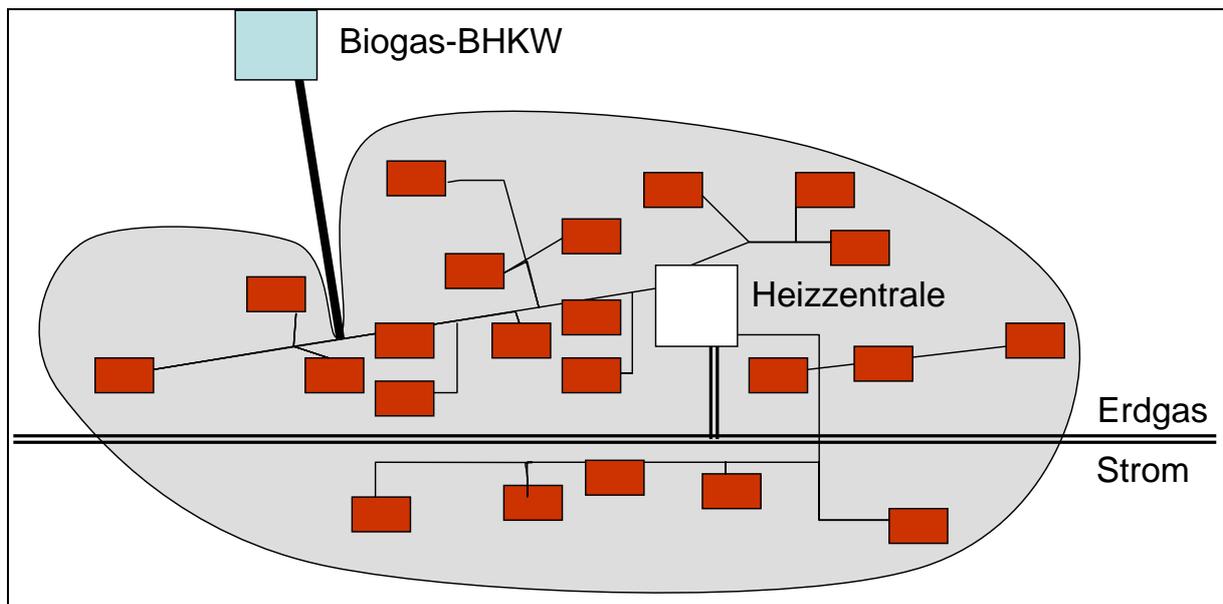
Die erste Priorität der Untersuchung gilt – seitens des Auftraggebers – der Wirtschaftlichkeit, die zweite den CO<sub>2</sub>-Kennwerten. Bei der Untersuchung werden jedoch – zusätzlich zu den Wünschen des Auftraggebers – zwei weitere Punkte beachtet: das Erreichen eines langfristig sinnvollen Energieträgermixes (Risikostreuung) und der Ressourcenverbrauch.

## 6.3 Grunddatenzusammenstellung

Die Zusammenstellung der Grunddaten für das Dorf erforderte mehrere Monate. Jedoch muss dazu angemerkt werden, dass die Daten dadurch in einer höheren Detaillierung vorliegen als für das Energiekonzept erforderlich gewesen wäre. Hier wurde bereits in Voraus-schau auf die spätere Umsetzung ein hoher Analyseaufwand betrieben.

### 6.3.1 Systemgrenzen

Hinsichtlich der für das Konzept festgelegten Systemgrenzen gibt Bild 21 Auskunft. Alle Gebäude des Dorfes liegen innerhalb der festgelegten Systemgrenzen, darüber hinaus auch das gesamte vorhandene liegenschaftseigene Nahwärmenetz und die Erzeuger der Zentrale.



**Bild 21 Systemgrenzen Neuerkerode**

Über die Systemgrenzen fließen im Bestand das Erdgas für den Betrieb der Heizzentrale, Strom für die Zentrale und alle Gebäude sowie die Abwärme aus einer Biogasverstromung. Die Systemgrenze wird an diesem Punkt so gelegt, dass der Einspeisepunkt für die Bioabwärme direkt auf der Bilanzgrenze liegt.

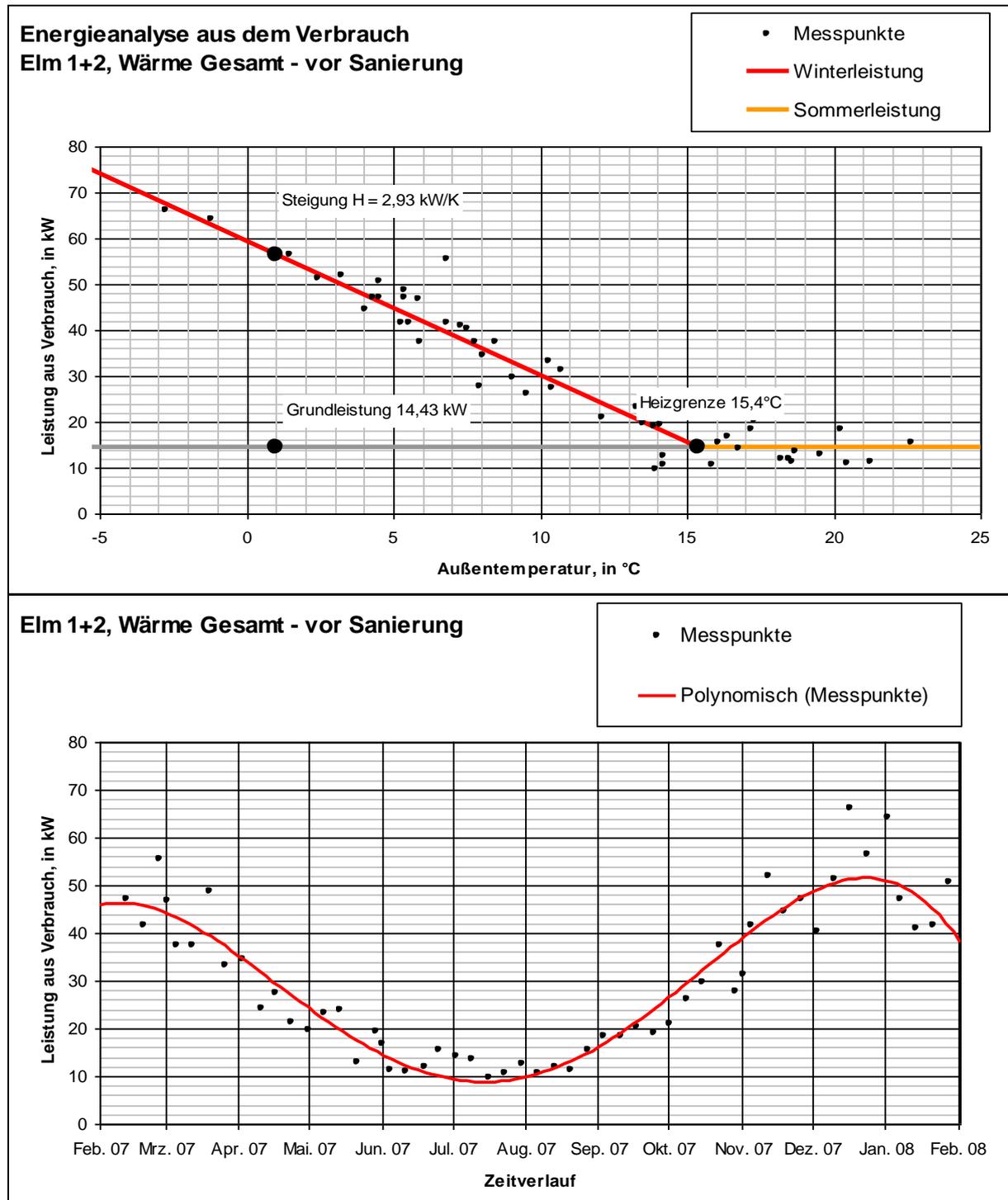
Alle Netz- und Erzeugerverluste, welche zur Biogasanlage gehören, liegen zunächst außerhalb der Systemgrenze. Diese Festlegung dient der korrekten Berechnung der Wirtschaftlichkeit, da die kostenrelevanten Zähler sich am Einspeisepunkt ins Netz befinden. Jedoch wird unabhängig davon ein Ressourcenverbrauch an Biogas – incl. der Zuleitungsnetzverluste sowie der Umwandlungsverluste berechnet.

### 6.3.2 Heutige Gebäudebedarfswerte

Die 55 Gebäude der Liegenschaft sind mit Messtechnik ausgestattet: Wärmemengen-, Strom- und Wasserzähler. Diese werden derzeit monatlich – während einer längeren Datenerfassungsphase 2007/08 wöchentlich – abgelesen.

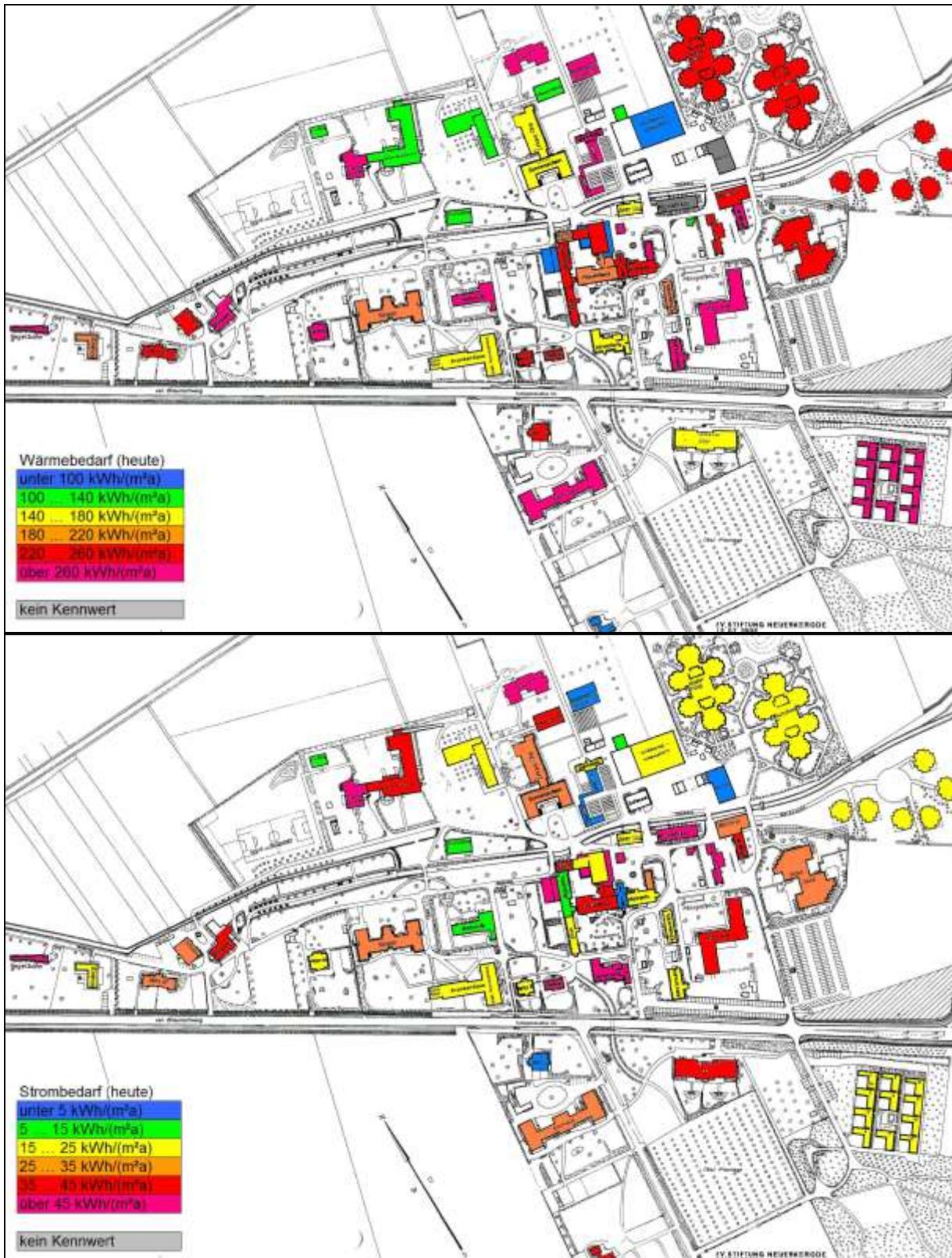
Für den Wärmeverbrauch der Gebäude lässt sich die in Kapitel 5.4.1 vorgestellte Energieanalyse aus dem Verbrauch E-A-V ableiten. Für ein ca. 1000 m<sup>2</sup> großes Pflegeheim zeigt Bild 22 (oben) die Auswertung.

Aus der Grundleistung lässt sich auf den Wärmeverbrauchsanteil der Trinkwarmwasserbereitung zurück schließen. Heizgrenze und Steigung geben Hinweise auf die maximale Heizlast. Zudem ist in Bild 22 (unten) ein ausgeprägter Jahresgang des Wärmeverbrauchs erkennbar.



**Bild 22 E-A-V und jahreszeitlicher Wärmeverbrauch eines Pflegeheims im Bestand**

Die o. g. Daten sind für alle Gebäude des Versorgungsgebietes vorhanden. Darüber hinaus wurden für alle Gebäude Bedarfsbilanzen – Wärme und Strom – im Rahmen von Einzelenergieberatungen erstellt.



**Bild 23 Bedarfsbilanz Wärme und Strom des Bestandes**

Die systematische Erfassung der Gebäude liefern auch die beheizten Flächen, Nutzerzahlen, Baujahre usw.

Als Nebenprodukt der Energiebilanzierung bzw. Verbrauchsdatenauswertung liegen für die Gebäude auch die (genäherten) Heizlasten am kältesten Tag vor. Trinkwarmwasserleistungen – mit Speicher und alternativ mit einer Frischwasserstation – wurden auf Basis der Gebäudeflächen abgeschätzt.

### Kennwerte

Die Tabelle 11 zeigt die Kennwerte für 5 Gebäude der Liegenschaft, welche dem Versorgungskonzept zugrunde gelegt wurden.

Hausname		Gartenweg Zehn	Gärtner-reicontainer	Gärtnerei Wohnhaus	Handwerkerhaus	Kaiserwald	
beheizte Fläche	m <sup>2</sup>	455	120	267	284	1628	
heute	Nutzung	Pflegenutzung für eine Wohngruppe mit schwerstbehinderten Menschen	Büro und Aufenthaltsräume für die Gärtnerei	im Erdgeschoss Werkstätten der Gärtnerei; im Obergeschoss Wohnungen	Büroräume der Bauabteilung; Umkleiden für interne und externe Handwerker; Büro der Nachtwachen	11 Wohnhäuser für Mitarbeiter der Stiftung	
	Modernisierungszustand	mittlerer Neubau	mittlerer Neubau	unsaniert	unsaniert	unsaniert	
	Heizung	über	Fernwärme	Strom	Fernwärme	Strom	Fernwärme
		Leistung, kW	49	6	41	32	241
		Energie, MWh/a	99,7	13,9	87,6	56,7	529,0
	Warmwasserbereitung	über	Fernwärme	Fernwärme	Fernwärme	Fernwärme	Fernwärme
		Leistung, kW	242	75	36	178	60
		Energie, MWh/a	31,9	0,5	5,7	1,7	73,1
Summe	Energie, MWh/a	131,6	14,4	93,3	58,5	602,1	
Maximalleistung	Leistung, kW	242	6	41	32	241	

**Tabelle 11 Auszug: heutige Gebäude- und Energiekennwerte für 5 von 55 Gebäuden**

Die Energiemengen sind für die einzelnen Gebäude auch noch weiter aufgeschlüsselt aus der Feinanalyse vorhanden, siehe Tabelle 12

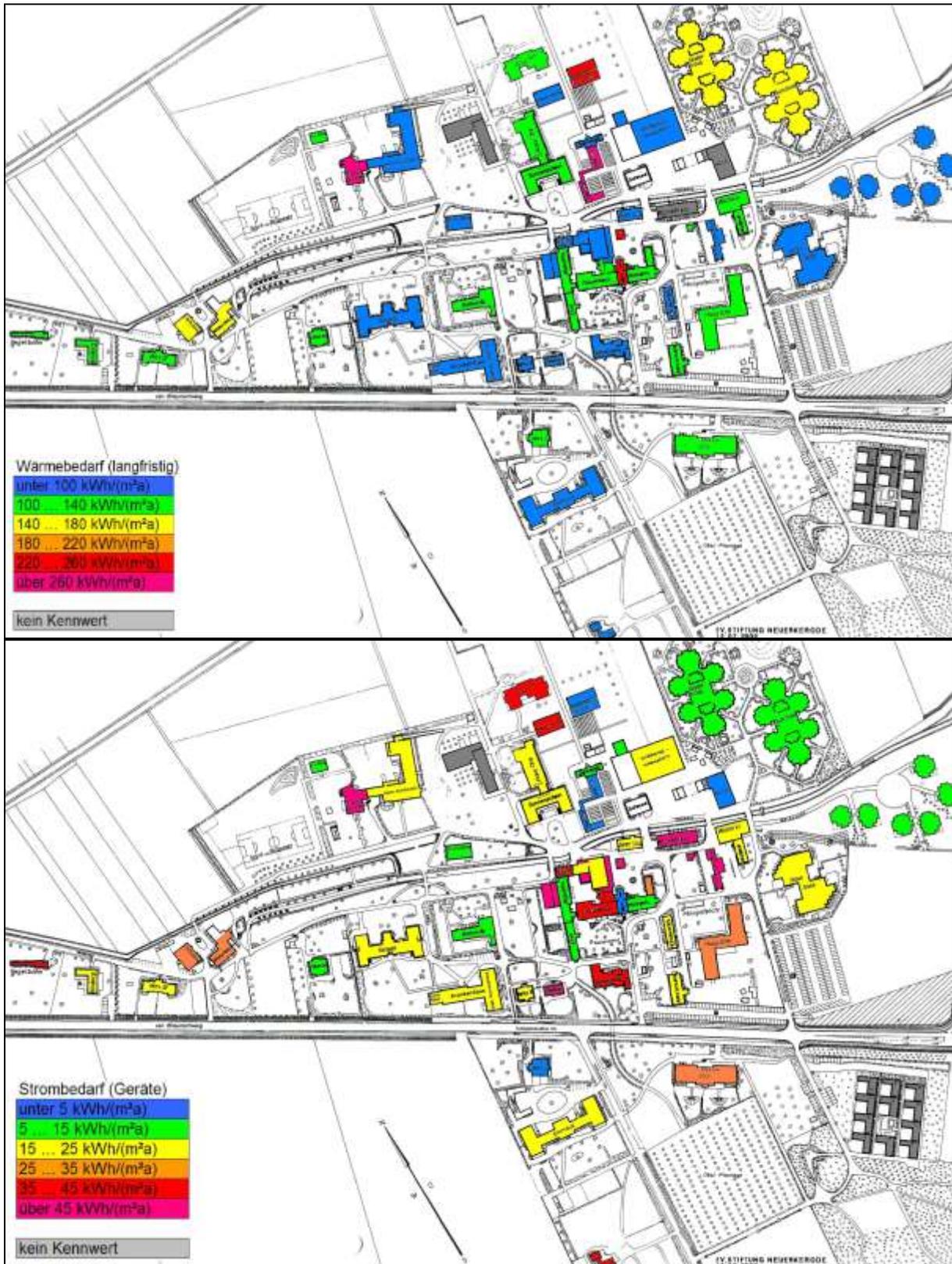
Wärme	heute	Heizung	Heizlast	kW aus IWU	18,1
			Nutzen	kWh/(m <sup>2</sup> a)	187
			Verteilung, Speicher Verlust	kWh/(m <sup>2</sup> a)	68
	TWW		Nutzen	kWh/(m <sup>2</sup> a)	30
			Verteilung, Speicher Verlust	kWh/(m <sup>2</sup> a)	2
			Rest	kWh/a	0
Strom	heute		Rest	kWh/a	6872

**Tabelle 12 Auszug: Detailenergiekennwerte für ein Gebäude im Bestand**

### 6.3.3 Künftige Gebäudebedarfswerte

Hinsichtlich der künftigen Entwicklung der Liegenschaft bzw. der Gebäude wurde ein Betrachtungszeitraum von 30 Jahren gewählt. Auf Basis der Bestandsanalyse wurde – in diesem Fall objektweise, weil die Datenbasis dies zuließ – abgeschätzt, welche Energiekennwerte langfristig erreichbar sind. Bild 24 zeigt grafisch die Energiekennwerte, welche sich aus langfristigen Betrachtungen der Gebäude ergeben.

Dazu ist anzumerken, dass in der Übersicht einzelne Gebäude nun grau markiert sind, welche im Bestand noch farbig waren: hier ist ein Abriss vorgesehen. Die Objekte, welche an gleicher Stelle errichtet werden könnten – und deren Energiekennwerte – sind nicht in der Karte eingetragen, jedoch prinzipiell erfasst.



**Bild 24 Bilanz (Wärme) und Strom nach Umsetzung mittel- und langfristiger Maßnahmen**

Auch für die modernisierten Gebäude wurden als Nebenprodukt der Energiebilanzierung die Heizlasten am kältesten Tag abgeschätzt. Gleiches gilt für die Trinkwarmwasserleistungen.

## Auswirkungen von Modernisierungen

Die Auswirkung von Modernisierungen wurde für die Übersicht in Bild 24 allein aus einer Bedarfsbilanz abgeschätzt. Jedoch lässt sich dies punktuell auch durch die E-A-V bestätigen.

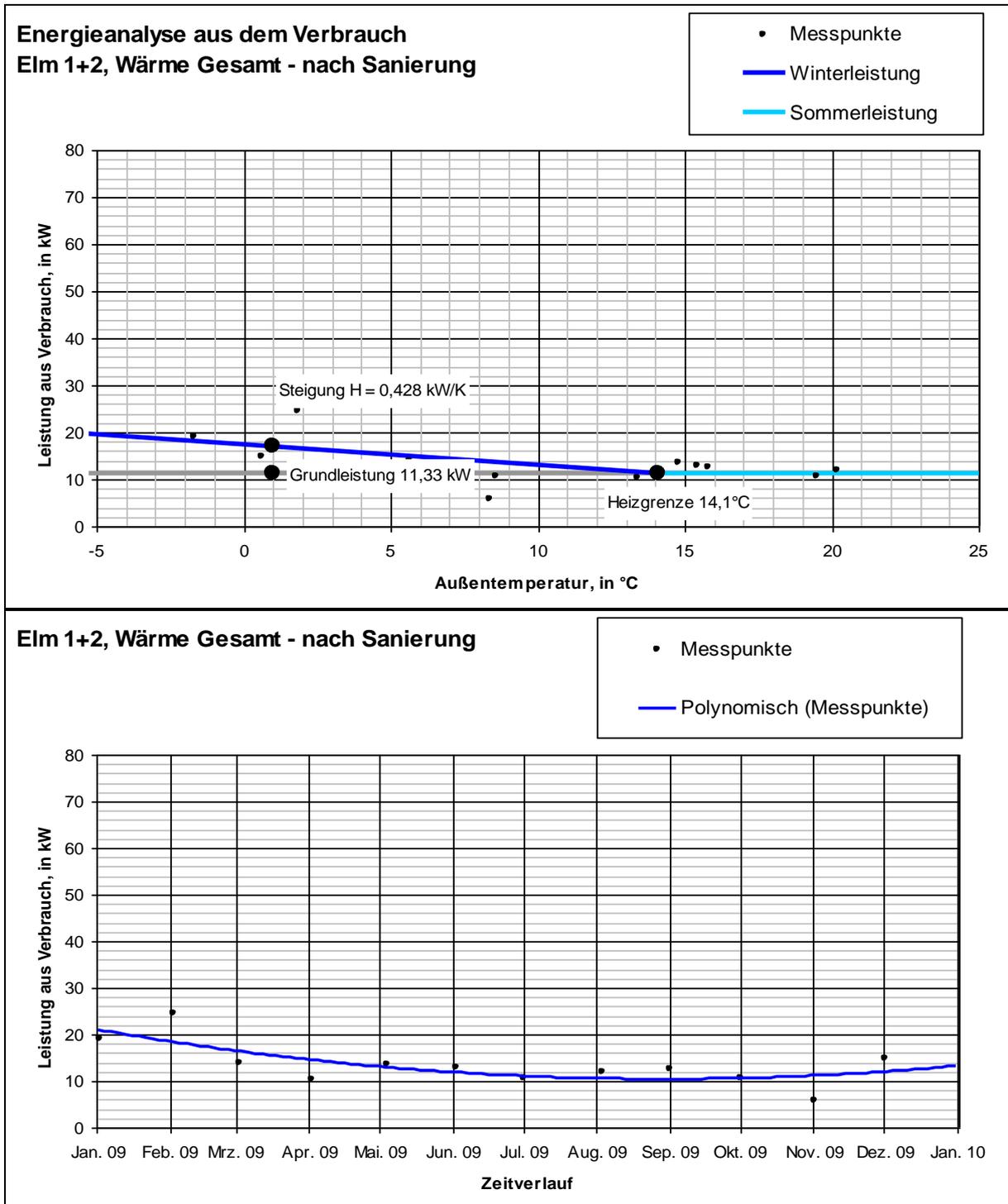


Bild 25 E-A-V und jahreszeitlicher Wärmeverbrauch eines modernisierten Pflegeheims

Für das 1000 m<sup>2</sup> große Pflegeheim aus Bild 22 liegen Vergleichsmessungen vor. Es wurde eine Modernisierung mit Passivhauskomponenten durchgeführt, wobei der Nahwärmeanschluss beibehalten wurde.. Bild 25 zeigt die neue E-A-V sowie den jahreszeitlichen Lastverlauf vor und nach der Modernisierung

Das Verhältnis der maximalen und minimalen Monatsmittelleistungen (Winter zu Sommer) konnte durch die Maßnahmen von vorher ca. 66 kW zu 10 kW auf nachher ca. 25 kW zu 10 kW reduziert werden.

Für das modernisierte Gebäude reduzierte sich die gemessene temperaturbezogene Heizlast von 2,93 kW/K auf 0,5 kW/K – um den Faktor 6 (Steigung bedeutend flacher). Jedoch ist der Warmwasseranteil praktisch konstant geblieben.

Dieses prinzipielle Verhalten von Gebäuden – speziell Pflegegebäuden – in der Modernisierung wurde auch bei der Bedarfsbilanzierung künftiger Kennwerte zugrunde gelegt.

### Kennwerte

Die Tabelle 13 zeigt die künftigen Kennwerte für 5 Gebäude der Liegenschaft, welche dem Versorgungskonzept zugrunde gelegt wurden. Auch über den künftigen Zustand gibt es detaillierte Annahmen zu den Energiekennwerten, siehe Tabelle 14.

Hausname		Gartenweg Zehn	Gärtner-reicontainer	Gärtnerei Wohnhaus	Handwerkerhaus	Kaiserwald	
künftig	Nutzung	bleibt	bleibt	bleibt	bleibt / oder Läden	Abriss und Neubau eines Pflegeheimes	
	Modernisierungszustand	hochwertig	bleibt	hochwertig	hochwertig	hochwertig	
	Heizung	über	Fernwärme	Strom	Fernwärme	Strom	Fernwärme
		Leistung, kW	22	6	16	16	98
		Energie, MWh/a	34,2	13,9	28,6	24,8	115,6
	Warmwasserbereitung	über	Fernwärme	Fernwärme	Fernwärme	Fernwärme	Fernwärme
		Leistung, kW	218	75	33	178	145
		Energie, MWh/a	24,2	0,5	4,2	1,6	77,5

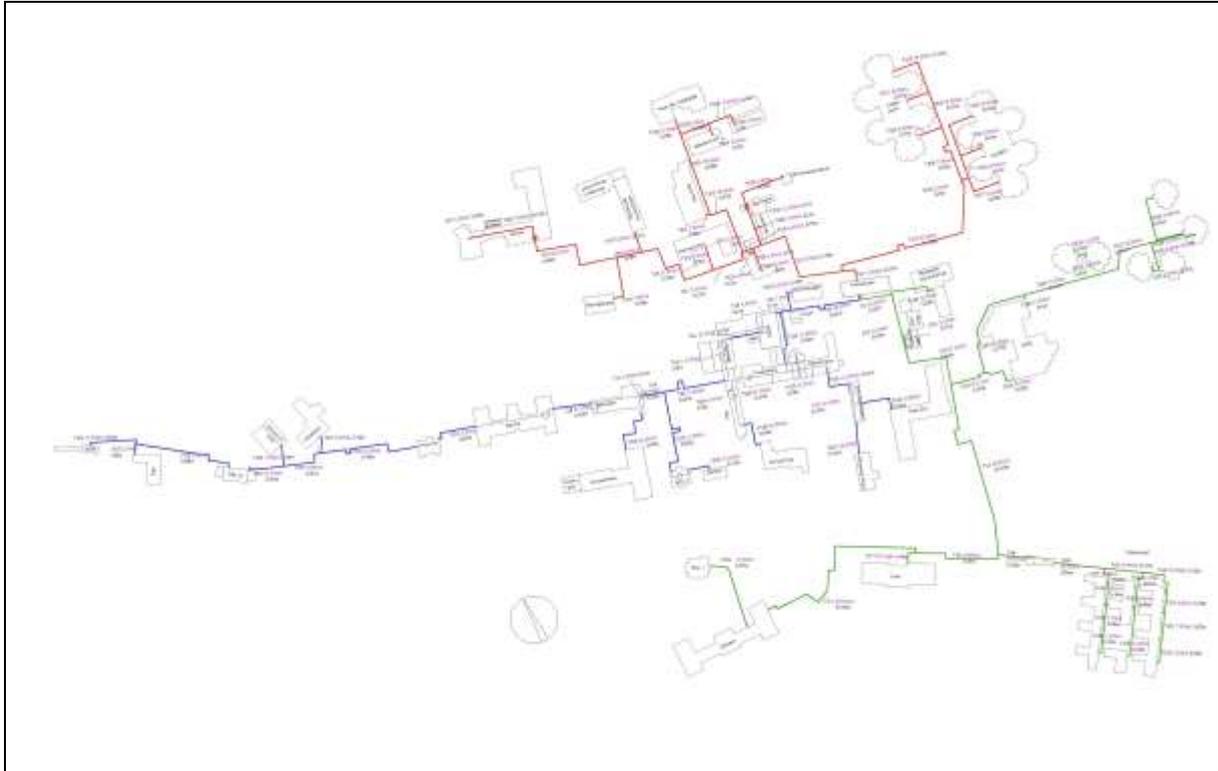
**Tabelle 13 Auszug: künftige Gebäude- und Energiekennwerte für 5 von 55 Gebäuden**

Wärme	künftig	Heizung	Heizlast	kW aus IWU	6,3
			Nutzen	kWh/(m <sup>2</sup> a)	54
			Verteilung, Speicher Verlust	kWh/(m <sup>2</sup> a)	8
		TWW	Nutzen	kWh/(m <sup>2</sup> a)	26
			Verteilung, Speicher Verlust	kWh/(m <sup>2</sup> a)	19
Strom	künftig	Hilfsenergie	kWh/a	300	
		Rest	kWh/a	6856	

**Tabelle 14 Auszug: Detailenergiekennwerte für ein Gebäude nach der Modernisierung**

### 6.3.4 Netzverluste

Die Wärmeverluste des vorhandenen, dörflichen Netzes wurden teilstreckengenau erfasst. Der Datenstand entspricht dem einer Neuplanung. Die Erkenntnisse zu den Leitungslängen, Wärmeverlusten, angeschlossenen heutigen und künftigen Leistungen sowie Energiemengen sind in Netzkarten archiviert, siehe Bild 26.



**Bild 26 Nahwärmenetzkarte**

Die Vergrößerung des westlichen Teils dieser Netzkarten – und der jeweils vorhandenen Kenngrößen – zeigen die folgenden vier Bilder. Bild 28 gibt die Kennwerte der Gebäude wieder, Bild 27 die Kennwerte des Netzes.

Die Netzkarten lassen sich verwenden, um auch Teilgebiete einer Liegenschaft und deren Netzverluste zu untersuchen, z.B. kleinere semizentrale Wärmeverbände.

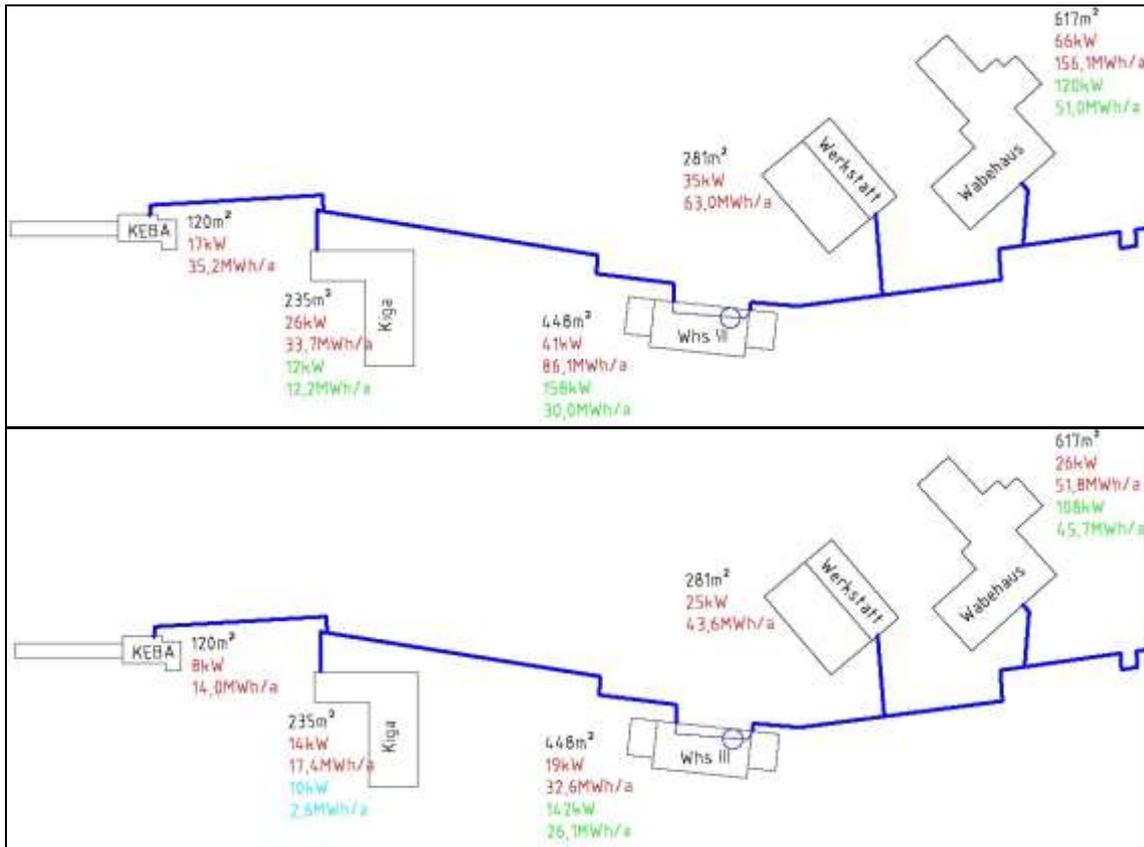


Bild 27 Auszug Netzkarte: heutige und künftige Bedarfswerte der angeschlossenen Gebäude

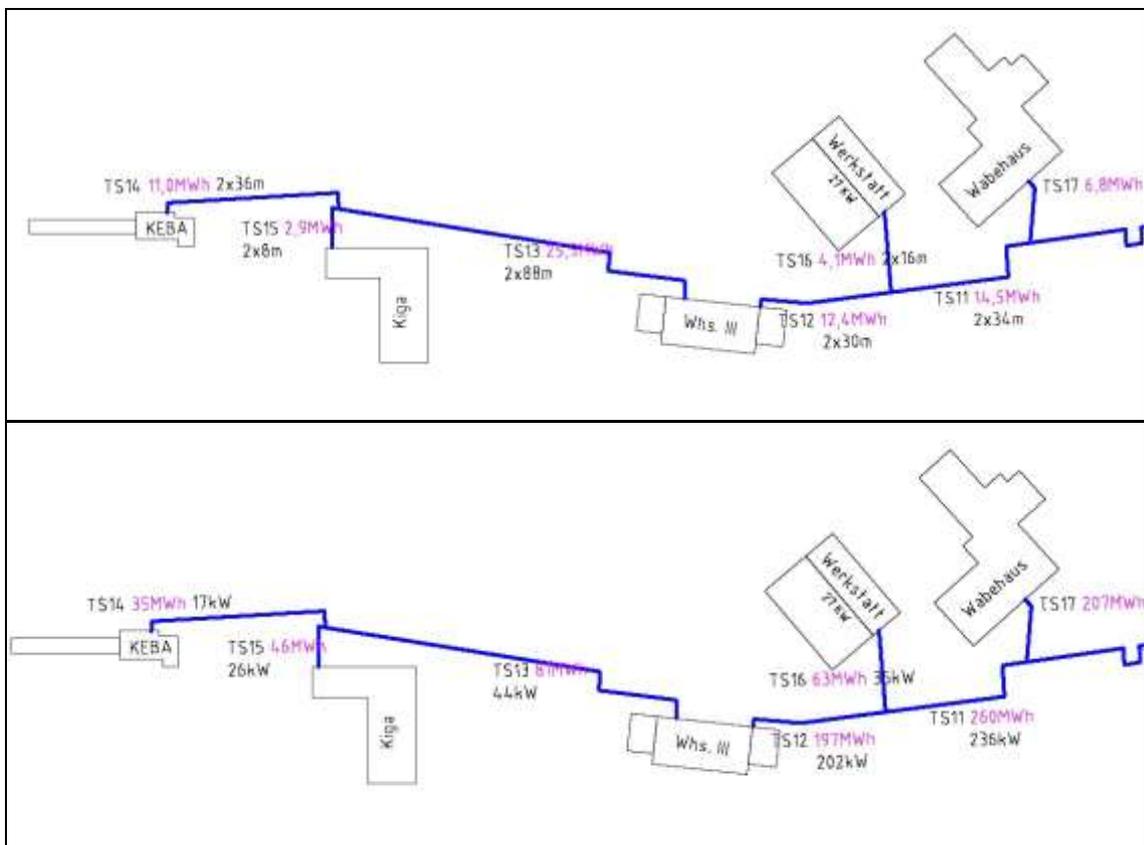


Bild 28 Auszug Netzkarten: Leitungslängen & Verluste, übertragene Leistungen & Energie

## Kennwerte

Die Tabelle 15 zeigt die Kennwerte für einige Rohrnetzteilstrecken, welche dem Versorgungskonzept zugrunde gelegt wurden.

TS:	Ungefähre Lage	Baujahr	DN	di	da	Länge	$\lambda$	U	$t_{\text{Netz}}$	$t_{\text{Umgebung}}$	$Q_{\text{Verluste}}^{\circ}$	$Q_{\text{Verluste}}$
[-]				[mm]	[mm]	[m]	[W/(mK)]	[W/(mK)]	[°C]	[°C]	[kW]	[kWh/a]
1	Küche	1973	150	168	225	62	0,035	0,76	85	10	3,52	30852
1		1973	150	168	225	62	0,035	0,76	74	10	3,01	26327
1b		1973	150	168	225	2	0,035	0,76	85	18	0,10	889
1b		1973	150	168	225	2	0,035	0,76	74	18	0,08	743
2	Küche	1973	150	168	225	7	0,035	0,76	85	10	0,40	3483
2		1973	150	168	225	7	0,035	0,76	74	10	0,34	2972
3a	Therese-heim	1973	150	168	225	4	0,035	0,76	85	12	0,22	1937
3a		1973	150	168	225	4	0,035	0,76	74	12	0,19	1645

Tabelle 15 Auszug: Verteilnetzkenwerte

### 6.3.5 Annahmen zur Endenergiebilanzierung

Neben den Bedarfswerten der Gebäude und Nutzer sowie der Netzverluste außerhalb der Gebäude werden Annahmen für die Effizienz der unterschiedlichen Erzeuger in Variantenberechnungen benötigt. Die Kenndaten der Erzeuger stellt Tabelle 16 zusammen.

Erzeugertyp	Annahmen	
Kesselnutzungsgrade		
Gaskessel, heute	85 % brennwertbezogen	94% heizwertbezogen bei Gas
Gaskessel, neu	88 % brennwertbezogen	98% heizwertbezogen bei Gas
Ölkessel	88 % brennwertbezogen	93% heizwertbezogen bei Heizöl
Holzessel	70 % brennwertbezogen	78% heizwertbezogen bei Holz
Arbeitszahlen von Wärmepumpen		
Luft-Wasser-WP	Heizbetrieb	heute
		künftig
	WW-Betrieb	
Erdreich-Wasser-WP	Heizbetrieb	heute
		künftig
	WW-Betrieb	
Gesamtnutzungsgrade von BHKWs		
Gas-BHKW	82 % brennwertbezogen	91% heizwertbezogen bei Gas
Öl-BHKW	82 % brennwertbezogen	87% heizwertbezogen bei Heizöl

Tabelle 16 Kennzahlen für Erzeuger

Für die BHKWs wird außerdem eine Stromkennzahl benötigt. Sie ergibt sich nach BHKW-Größe. Das kleinste BHKW mit 1 kW elektrischer Leistung erzeugt 2 kW Wärmeleistung (Stromkennzahl 0,5). Das größte BHKW mit 700 kW elektrischer Leistung erzeugt 1000 kW Wärmeleistung (Stromkennzahl 0,7). Dazwischen wird von einem linearen Zusammenhang ausgegangen. Die Kenngleichungen für die Stromkennzahl lauten:

- $\sigma = 0,4996 + 0,0002 \cdot [\dot{Q}_{\text{thermisch}} \text{ in kW}]$
- $\sigma = 0,4997 + 0,0003 \cdot [\dot{Q}_{\text{elektrisch}} \text{ in kW}]$

Die Wärmeleistung des BHKW muss in den einzelnen Alternativen abgeschätzt werden. Sie ergibt sich aus der zu deckenden Grundlast und einem Zuschlag für Heizung. Die Grundlast besteht aus dem Warmwassernutzen zzgl. der Wärmeverluste des Warmwassernetzes im Gebäude und ggf. der Nahwärmenetzverluste (jeweils als Dauerleistung aus der entsprechenden Energiemenge berechnet). Außerdem wird davon ausgegangen, dass das BHKW 10 % der maximalen Heizlast des Gebäudes deckt.

Als Temperaturen in den Netzen werden die Werte nach Tabelle 17 verwendet. Damit sind u. a. die besseren Arbeitszahlen von Wärmepumpen in sanierten Gebäuden erklärbar.

Warmwasser		60	°C				
Heizung Haus	heute	75	°C, V	43,9	°C, V, mittel		
		55	°C, R	37,0	°C, R, mittel 40 °C, mittel, im Hausnetz		
	künftig	60	°C, V	38,7	°C, V, mittel		
		40	°C, R	31,9	°C, R, mittel 35 °C, mittel, im Hausnetz		
Nahwärme	heute	90	°C, V	90,0	°C, V, mittel		
		70	°C, R	70,0	°C, R, mittel 80 °C, mittel, Nahwärmenetz		
	künftig	80	°C, V	80,0	°C, V, mittel		
		60	°C, R	60,0	°C, R, mittel 70 °C, mittel, Nahwärmenetz		

**Tabelle 17 Annahmen zu Netztemperaturen**

Aufgrund verringerter Temperaturen verlieren auch die bestehenden Nahwärmeleitungen künftig nur noch 86 % so viel Wärme.

Für die Abschätzung von Lagerraum- und Tankkosten wurden mit dem Auftraggeber u. a. folgende Vereinbarungen zur Frequenz des Einkaufs getroffen:

- Öl und Holz werden mindestens 3 x im Jahr gekauft und eingelagert (der Verbrauch ergibt sich aus der Energiebilanz), die maximale Lagermenge beträgt aber 50.000 Liter Öl oder 50.000 kg Holz
- die Öltankhöhe beträgt 2 m, die Holzlagerhöhe 2,5 m (das Lager- und Tankvolumen ergeben sich aus dem Verbrauch und der Tankrate)
- die Lagerraumflächen für Öltankräume sind 2 x so groß wie die Tankgrundfläche, bei Holz sind sie 2 x so groß wie die eigentliche Lagerfläche

Die Pufferspeichervolumina für Holzkessel, Wärmepumpen und BHKW ergeben sich aus der Wärmeleistung des Erzeugers nach folgenden Ansätzen:

- Holzkessel:  $V = 417 \text{ l} + 26 \text{ l} / \text{kW} \cdot \dot{Q}_{H/TWW}$
- Wärmepumpe:  $V = 73 \text{ l} + 6 \text{ l} / \text{kW} \cdot \dot{Q}_{H/TWW}$
- BHKW:  $V = 104 \text{ l} + 10 \text{ l} / \text{kW} \cdot \dot{Q}_{H/TWW}$

Bis auf weiteres sind – in Absprache mit dem Auftraggeber – keine Annahmen zur Solarthermie getroffen. Dies ist der Nutzungsstruktur geschuldet: es ergeben sich sehr hohe morgendliche Zapfspitzen, die insgesamt nur geringe Deckungsraten erwarten lassen.

Die Lösung, welche insgesamt auch ohne Solarthermie am besten ist, wird anschließend mit Solarthermie getestet. Das bewirkt, dass die Solarthermie sich "in sich" rechnen muss und nicht von der sonstigen Technik "subventioniert" wird. Solarthermie und BHKW-Technik schließen sich jedoch aus, wegen der kritischen Sommermonate. Solarthermieanlagen werden nur lokal, d.h. gebäudeweise untersucht.

### 6.3.6 Investitions- und Kapitalkosten

Hinsichtlich der Investitionen wurden Kostenfunktionen verwendet, deren Grunddaten jedoch teilweise Angeboten entstammen. Eine Zusammenstellung der wichtigsten Funktionen ist in Tabelle 18 gegeben. Die Kosten enthalten jeweils die Mehrwertsteuer (19 %), einen Planungskostenzuschlag (Planer, Architekt, Bauleiter usw.) und gelten für das Jahr 2010 für Mitteldeutschland. Sie wurden hinsichtlich des Geltungsbereichs passend zu der Liegenschaft bzw. den Gebäuden recherchiert.

Komponente	Formel	Geltungsbereich
<b>Erzeuger</b>		
Gasbrennwertkessel komplett mit Pumpe, Verrohrung usw.	$1464 \text{ €} \cdot [\dot{Q}_{H/TWW} \text{ in kW}]^{-0,4411}$	10 ... 2500 kW
Ölbrennwertkessel komplett mit Pumpe, Verrohrung usw.	$1851 \text{ €} \cdot [\dot{Q}_{H/TWW} \text{ in kW}]^{-0,4617}$	10 ... 2500 kW
Hackschnitzelkessel komplett mit Pumpe, Verrohrung usw.	$3854 \text{ €} \cdot [\dot{Q}_{H/TWW} \text{ in kW}]^{-0,4472}$	10 ... 2500 kW
Pelletkessel komplett mit Pumpe, Verrohrung usw.	$6786 \text{ €} \cdot [\dot{Q}_{H/TWW} \text{ in kW}]^{-0,6305}$	10 ... 100 kW
Gas-BHKW komplett mit Pumpe, Verrohrung usw.	$16486 \text{ €} \cdot [\dot{Q}_{H/TWW} \text{ in kW}]^{-0,5177}$	10 ... 650 kW thermisch
Öl-BHKW komplett mit Pumpe, Verrohrung usw.	$20607 \text{ €} \cdot [\dot{Q}_{H/TWW} \text{ in kW}]^{-0,5177}$	10 ... 650 kW thermisch
Erdreichwärmepumpe komplett mit Pumpe, Verrohrung usw.	$3577 \text{ €} \cdot [\dot{Q}_{H/TWW} \text{ in kW}]^{-0,4085}$	5 ... 100 kW thermisch
Außenluftwärmepumpe komplett mit Pumpe, Verrohrung usw.	$5706 \text{ €} \cdot [\dot{Q}_{H/TWW} \text{ in kW}]^{-0,4779}$	5 ... 50 kW thermisch
<b>Brennstoffzufuhr und Lager</b>		
Umbau von Räumen zu Holzlagern	$495 \text{ €} \cdot [A_{\text{Grund}} \text{ in m}^2]^{-0,2309}$	10 ... 200 m <sup>2</sup>
Neubau eines Heiz/Lagerraumes, auch für Öltankaufstellung, komplett als Rohbau	$2982 \text{ €} \cdot [A_{\text{Grund}} \text{ in m}^2]^{-0,4448}$	10 ... 200 m <sup>2</sup>
Öltankanlage, komplett mit Anschluss bis Erzeuger	$V \cdot 2,2 \text{ €/l} + 1253 \text{ €}$	750 ... 20000 Liter
Gasanschluss an Erzeuger	$\dot{Q}_{H/TWW} \cdot 18,1 \text{ €/kW} + 9043 \text{ €}$	20 ... 3000 kW
<b>Speicher und Durchlauferhitzer</b>		
indirekt beheizter TWW-Speicher, komplett mit Pumpe, Aufstellung, Anschluss an Erzeuger	$V \cdot 5,4 \text{ €/m}^3 + 4239 \text{ €}$	150 ... 1500 Liter
Frischwasserstation/zentraler DLE, komplett mit Pumpe, Aufstellung, Anschluss an Erzeuger	$\dot{Q}_{TWW} \cdot 38,4 \text{ €/kW} + 4130 \text{ €}$	20 ... 200 kW
Pufferspeicher, komplett mit Ladepumpe und Einbau	$1002 \text{ €} \cdot [V \text{ in l}]^{0,2644}$	200 ... 4000 Liter
<b>Übergabestationen</b>		
Nahwärmeanschluss ohne Warmwasserbereitung	$1165 \text{ €} \cdot [\dot{Q}_H \text{ in kW}]^{-0,6212}$	20 ... 2000 kW
Nahwärmeanschluss mit Warmwasserbereitung (ohne Speicher)	$1961 \text{ €} \cdot [\dot{Q}_{H/TWW} \text{ in kW}]^{-0,6781}$	20 ... 2000 kW
<b>Netze</b>		
Nahwärmeleitungen im bebauten Gelände aus Kunststoffmantelrohr	$L \cdot [DN \cdot 3,7 \text{ €} / (DN \cdot m) + 509 \text{ €/m}]$	DN 25 ... DN 80
Gasleitungen im bebauten Gelände	$L \cdot 398 \text{ €/m}$	DN 50 ... 100
<b>Weitere Komponenten</b>		
Schornsteinneubau, komplett	$30,2 \text{ €/kW} \cdot \dot{Q}_{H/TWW} + 2216 \text{ €}$	20 ... 2500 kW
Abgasrohr einziehen in vorhandenen Schornstein, Edelstahl	$15,1 \text{ €/kW} \cdot \dot{Q}_{H/TWW} + 1108 \text{ €}$	20 ... 2500 kW
Erdsondenverlegung bis zum Heizraum	$\dot{Q}_{H/TWW} \cdot 900 \text{ €/kW} + 1080 \text{ €}$	5 ... 100 kW thermisch
Regelung und Aufschaltung von Komponenten auf eine Leittechnik incl. Rechner	$1,8 \text{ €/m}^2 \cdot A_{EB} + 6322 \text{ €}$	100 ... 17000 m <sup>2</sup>

**Tabelle 18 Kostenfunktionen (Ausschnitt) Neuerkerode**

Für den Zins ergibt sich – in Absprache mit dem Auftraggeber – eine Annahme von 4,5 %/a. Das ergibt für die dynamische Wirtschaftlichkeitsberechnung eine jährliche Annuität von 6,1 % auf das eingesetzte Kapital.

Für die wirtschaftliche Betrachtung wurde ein Zeitraum von 30 Jahren zugrunde gelegt. Nicht alle Komponenten weisen diese Lebensdauer auf. Es wurden angesetzt:

- Netze, Speicher, Nahwärmeanschlüsse, Abgasanlagen: 30 Jahre
- Kessel: 20 Jahre
- BHKW, Wärmepumpen: 15 Jahre
- Regelung und Pumpen: 10 Jahre

Sofern die Komponenten kürzere Lebensdauern haben als 30 Jahre, wurden ihre Investitionen entsprechend anteilig mehrfach angesetzt.

### 6.3.7 Betriebs- und Energiekosten

Energiepreise wurden – in Absprache mit dem Auftraggeber – festgelegt. Die derzeit für Neuerkerode gültigen Bezugspreise der einzelnen Energieträger wurden berücksichtigt.

	Preis kWh	Brennwert	Preis Menge
Gas, brennwertbezogen	0,061 €/kWh	9,5 kWh/m <sup>3</sup>	0,580 €/m <sup>3</sup>
Heizöl, brennwertbezogen	0,063 €/kWh	10,6 kWh/l	0,668 €/l
Holz hackschnitzel, brennwertbezogen	0,028 €/kWh	4,3 kWh/kg	119 €/t
Holz pellets, brennwertbezogen	0,042 €/kWh	5,21 kWh/kg	220 €/t
Bioabwärme	0,024 €/kWh		
Strom, Allgemein	0,141 €/kWh		
Strom, Wärmepumpe	0,141 €/kWh		
Strom, Einspeisung BHKW	0,161 €/kWh		

**Tabelle 19 Festlegungen zu Energieträgerpreisen**

Hinsichtlich der Preissteigerungen der Energie wurden 3 Varianten betrachtet:

- keine Preissteigerung  $s_e = 0,00$  1/a (nominal) bzw.  $s_e = 0,000$  1/a (effektiv)
- geringe Steigerung  $s_e = 0,05$  1/a (nominal) bzw.  $s_e = 0,026$  1/a (effektiv)
- hohe Steigerung  $s_e = 0,09$  1/a (nominal) bzw.  $s_e = 0,051$  1/a (effektiv)

Der Unterschied zwischen Nominal- und Realverteuerung ergibt sich aus der Inflation. Alle Energieträger wurden gleich bewertet.

Die Betriebskosten umfassen auch die Wartung. Die angenommenen Instandhaltungssätze betragen bezogen auf die Investitionssumme:

- 3,5 %/a für Gas- und Ölkessel sowie Wärmepumpen
- 4,5 %/a für Holzkessel
- 0,5 %/a für Netze, Speicher, Lagerräume, Tanks, Anschlüsse

Lediglich für Blockheizkraftwerke wird von dem pauschalen, investitionskostenabhängigen Wartungsansatz abgewichen. Hier ergibt sich die Wartung je nach elektrischer Leistung als Zuschlag auf die erzeugte Energiemenge nach folgendem Zusammenhang:

- Wartungspreis in €-Cent/kWh:  $5,88 \cdot (\dot{Q}_{\text{Elektrisch}} \text{ in kW})^{-0,27}$

### 6.3.8 Energieträgerbewertung

Vom Auftraggeber ist eine Umweltbewertung mit CO<sub>2</sub>-Äquivalenten gewünscht. Weiterhin werden eine Primärenergiebilanz und auch der Ressourcenverbrauch berechnet. Die hierfür notwendigen Randdaten werden nachfolgend zusammengestellt.

#### Ressourcenverbrauch

Für Neuerkerode besteht der direkt berechenbare Ressourcenverbrauch aus Heizöl, Erdgas oder Holz, welches jeweils als Stoff über die festgelegte Systemgrenze fließt. Darüber hinaus wird die Abwärme der Biogasverstromung genutzt sowie Strom eingekauft bzw. zugekauft. Für die beiden zuletzt genannten Energiemengen müssen zusätzliche Annahmen getroffen werden, um die Endenergien per Schnittstelle "Systemgrenze" in einen Ressourcenverbrauch umzurechnen.

Für die Bioabwärme sind außerhalb der Systemgrenzen noch Verteilverluste des Wärmenetzes sowie die Erzeugerverluste des Biogas-BHKWs zu berücksichtigen. Hierfür werden folgenden Kennwerte – für heutigen und künftigen Zustand – verwendet:

- 180 m Trassenlänge außerhalb der Systemgrenze
- Wärmeverlust 250 kWh/m Trasse (neues Netz)
- Nutzungsgrad des Biogas-BHKWs: 82 % (brennwertbezogen)

Für den Gas- und Ölbezug wird davon ausgegangen, dass sich die Zusammensetzung des Energieträgers langfristig – durch Zumischung biogener Stoffe – ändert. Es werden folgende Kennwerte angenommen, wobei die künftige Gas- und Ölzusammensetzung anhand von Bild 4 auf Seite 17 geschätzt wurde:

- heute: 100 % fossiler Rohstoff
- künftig: 20 % fossiler und 80 % begrenzt regenerativer Rohstoff

Der Ressourcenverbrauch, der sich mit dem Strombezug verbindet, wird aus der Struktur der Bruttostromerzeugung nach Bild 5 auf S. 18 abgeleitet. Es werden die Zahlen der Jahre 2010 und 2040 als heutige und künftige Werte verwendet.

Die Werte für die Effizienzen der Stromerzeugung in Form von Aufwandszahlen wurden für die Studie "Neuerkerode" angenommen. Sie korrespondieren in etwa mit den Werten, die auch für die heutigen Primärenergiefaktorbewertungen zugrunde gelegt werden.

Art der Ressource	Herkunft nach Bild 5 auf S. 18	2010 (heute)			2040 (künftig)			
		Anteil a	Aufwandszahl e	Bewertungsfaktor (a · e)	Anteil a	Aufwandszahl e	Bewertungsfaktor (a · e)	
fossile Energien	Kernenergie, Kohle Kond., Gas Kond	0,74	2,86	2,11	0,18	2,22	0,40	0,64
	KWK fossil	0,10	1,54	0,15		0,18	1,33	
begrenzt verfügbare regenerative Energien	Biomasse, Biogase	0,04	2,00	0,08	0,08	1,54	0,12	0,12
unbegrenzt verfügbare Energien	Photovoltaik, Geothermie, Wind, Wasser	0,12	0,00	wird nicht ausgewiesen	0,56	0,00	wird nicht ausgewiesen	
Summen	alle	1,00	--	2,35	1,00	--	0,76	

**Tabelle 20 Bewertungsfaktoren für den Ressourcenverbrauch der Stromerzeugung**

Die Aufwandszahlen zur Bewertung der Effizienz der einzelnen Umwandlungsarten entsprechen folgenden Nutzungsgraden:

- Kernenergie, Kohle und Gas-Kondensationskraftwerk: heute 35 %, künftig 45 %
- fossile KWK: heute 65 %, künftig 75 %
- Biomasse und Biogas: heute 50 %, künftig 65 %

Erläuterung zum Ergebnis: es wird beispielsweise für den heutigen Strom davon ausgegangen, dass bezogen auf die nach Neuerkerode gelieferten Strommengen der Ressourcenverbrauch für fossile Energien (Gas, Öl, Kohle usw.) das 2,27-fache beträgt. Außerdem wird das 0,08-fache der gelieferten Menge in Form von Biomasse oder Biogas verbraucht. Insgesamt wird 2,35-mal mehr Endenergie in Form von Ressourcen verbraucht als in Form von Strom bezogen wird.

### Primärenergie

Zur Bewertung des Primärenergieverbrauchs werden die Energieträger an der Schnittstelle der Systemgrenze mit Primärenergiefaktoren bewertet, wie dies in vielen Bilanzverfahren üblich ist. Die heutigen Werte decken sich mit den Annahmen der Normen zur EnEV.

Als langfristige Werte wurden in Anlehnung an das Leitszenario der Bundesregierung (Kapitel 3.1) die Werte für Gas, Öl und Strom jeweils mit dem gleichen Faktor 0,6 belegt. er spiegelt bei allen drei Energieträgern wieder, dass ein gewisser regenerativer Anteil vorhanden ist.

Art des Energieträgers	heute	langfristig
Gas	1,1	0,6
Heizöl	1,1	0,6
Holz	0,2	0,2
Biowärme	0,0	0,0
Strom	2,6	0,6

**Tabelle 21 Bewertungsfaktoren für den Primärenergieverbrauch**

### CO<sub>2</sub>-Äquivalent

Die für die Primärenergie angenommen Zahlen werden auch auf das CO<sub>2</sub>-Äquivalent übertragen. Es gibt hier ebenfalls Werte für den heutigen Zustand und eine langfristige Prognose.

	heute	langfristig	
Gas	0,255	0,055	kg/kWh
Heizöl	0,330	0,055	kg/kWh
Holz	0,055	0,055	kg/kWh
Biowärme	0,000	0,000	kg/kWh
Strom	0,630	0,145	kg/kWh

**Bewertungsfaktoren für die CO<sub>2</sub>-Emissionen**

Die heutigen Werte entstammen Veröffentlichungen des Instituts für Wohnen und Umwelt. Die künftigen Faktoren wurden in Anlehnung an das Leitszenario der Bundesregierung (Kapitel 3.1) daraus abgeschätzt.

## 6.4 Systematische Auswertung

Die systematische Auswertung des Dorfes Neuerkerode liefert zunächst die Aussage, welche der am Rand der Liegenschaft gelegenen Gebäude langfristig vom Netz getrennt werden sollten. Darüber hinaus ergibt sich für den Fall der Netztrennung, welcher Erzeuger in diesen Gebäuden eingesetzt werden kann. Anschließend wird für die an der Nahwärme verbleibende Restliegenschaft ein optimaler Erzeuger gewählt, wobei die Abwärmeeinspeisung aus der heute bereits vorhandenen Biogasverstromung weiter verwendet werden soll.

Kriterien sind die Wirtschaftlichkeit (Wunsch des Auftraggebers), der Ressourcenverbrauch, ein Energieträgermix, das begrenzte Biomassebudget sowie die CO<sub>2</sub>-Emissionen (Wunsch des Auftraggebers).

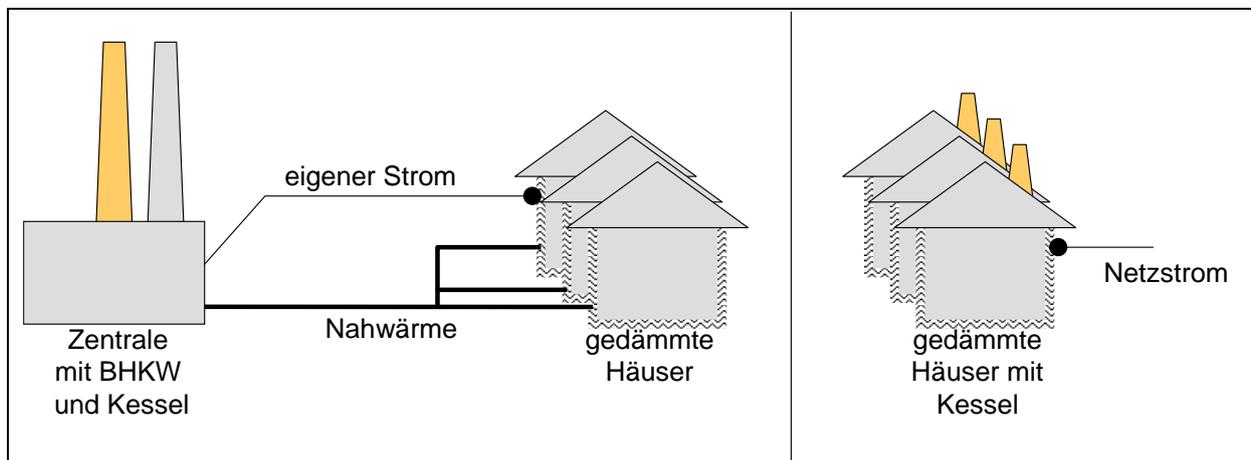
### 6.4.1 Versorgungs- und Erzeugervarianten

Als Versorgungsvarianten hinsichtlich des Aspektes "Wärmenetz" für die Peripherie kommen in Frage:

- Anschluss an die vorhandene Heizzentrale wie bisher
- Zusammenschluss von benachbart liegenden Gebäuden zu kleinen Inseln
- Einzelversorgung

Hinsichtlich der Erzeuger in den Inseln oder für Einzelgebäude werden untersucht:

- Gaskessel
- Ölkessel
- Gas-BHKW mit Gaskessel
- Öl-BHKW mit Ölkessel
- Pellets- oder Hackschnitzel-Holzessel (Wahl je nach Gebäudegröße)
- Erdreich- oder Abluftwärmepumpe (Wahl je nach Grundstücksbeschaffenheit)



**Bild 29** Künftige Versorgungsalternativen für die Peripherie - Beispiel

Für den Kern der Liegenschaft wird in jedem Fall ein Wärmeverbundnetz aufrechterhalten. Nur die Art der Erzeugung wird variiert:

- Bioabwärme + Gaskessel
- Bioabwärme + Ölkessel
- Bioabwärme + Gas-BHKW und Gaskessel
- Bioabwärme + Öl-BHKW und Ölkessel
- Bioabwärme plus Holzackschnitzelkessel

In allen Lösungen ohne BHKW kommt der Strom rechnerisch aus dem Verbundnetz, wie heute auch schon.

#### 6.4.2 Untersuchung der Peripherie

Ziel der Untersuchung der Objekte entlang der Peripherie der Liegenschaft Neuerkerode ist, die Objekte zu identifizieren, für die eine dezentrale Versorgung langfristig ökologisch und wirtschaftlich sinnvoller ist als die heutige Versorgung.

In erster Linie wird also untersucht, ob die Nahwärmeleitungen an den bzw. zu den Rändern des Dorfes hin langfristig Bestand haben. Grundlage für diese Untersuchung sind baulich modernisierte Gebäude, denn spätestens dann wird eine Nahwärmeversorgung ggf. unwirtschaftlich bzw. unökologisch, weil der Nutzenergiebedarf sehr gering ist.

Die Untersuchung einer Abkopplung von heute unmodernisierten Gebäuden vom Netz erfolgt nicht, weil die dann notwendigen autarken Wärmeerzeuger unnötig groß ausfallen würden. Außerdem sind die Verluste von Netzen eher tolerierbar, wenn der gelieferte Bedarf groß ist.

Für die in Bild 30 farbig markierten Gebäude der Liegenschaft wurde eine Dezentralisierung als Einzelgebäude oder Insel geprüft. Die Farben stehen für ggf. zu bildende Inseln.

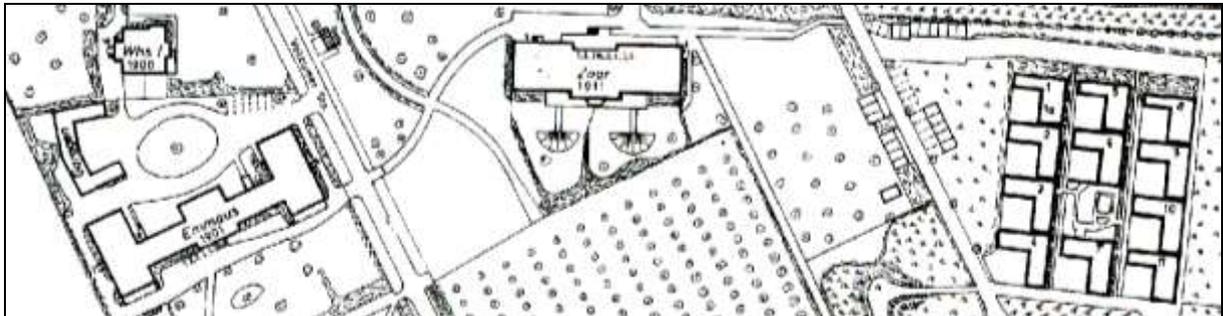


**Bild 30** Untersuchte Dezentralisierungen bzw. Inselbildungen in Neuerkerode

Anhand des in Bild 30 hellblau markierten Gebietes "Südost" wird die systematische Auswertung nachfolgend erläutert.

## Vorstellung des Beispielgebietes "Südost"

Zu dem südöstlichen Außengebiet zählen die Pflegeheime mit Werkstätten "Emmaus" und "Zoar", das "Wohnhaus I", heute ein Künstlerhaus sowie die Reihenhaussiedlung "Kaiserwald" für Mitarbeiter der Stiftung.



**Bild 31 Außenbereich Südost der Stiftung Neuerkerode**

Die Gebäude haben zusammen eine Fläche von 7964 m<sup>2</sup> sowie jährliche Energiebedarfs-  
werte von 1989 MWh/a für Heizung und Warmwasser sowie 241 MWh/a für Strom.

## Voruntersuchung zur Abspaltung des Gebietes "Südost"

Um die Wirtschaftlichkeit eines langfristigen Weiterbetriebs des südöstlichen Gebietes am Nahwärmenetz und an der Heizzentrale zu prüfen, werden zunächst drei Varianten der Versorgung untersucht: der gemeinsame Betrieb an der Zentrale wie heute, eine Insellösung und eine Einzelversorgung – siehe Bild 32



**Bild 32 Systematik für die Voruntersuchung von Netzabspaltungen, Beispielgebiet "Südost"**

Für diese drei Fälle werden Wirtschaftlichkeiten, Emissionen und Ressourcenverbrauch bestimmt und gegenüber gestellt. Es zählt der modernisierte Zustand der Gebäude.

Gesamtkosten, in €/a langfristig bei modernisierten Gebäuden	Insel Süd plus Restgebiet	Summe
Gas-Brennwert	3.106.080	3.106.080
Öl-Brennwert	3.179.426	3.179.426
Gas-BHKW	2.250.897	2.250.897
Öl-BHKW	2.366.206	2.366.206
Wärmepumpe	2.752.337	2.752.337
Holz	2.243.048	2.243.048
<b>Beste Lösung</b>	<b>2.243.048</b>	<b>2.243.048</b>

**Tabelle 22 Außengebiet "Südost" – Gesamtkosten nach einer Modernisierung – zentral**

Gesamtkosten, in €/a langfristig bei modernisierten Gebäuden	Restgebiet	Insel Süd	Summe
Gas-Brennwert	2.557.895	512.398	3.070.293
Öl-Brennwert	2.619.767	527.460	3.147.227
Gas-BHKW	1.890.156	430.407	2.320.563
Öl-BHKW	1.986.854	453.327	2.440.181
Wärmepumpe	2.275.831	456.533	2.732.364
Holz	1.847.782	389.365	2.237.146
<b>Beste Lösung</b>	<b>1.847.782</b>	<b>389.365</b>	<b>2.237.146</b>

**Tabelle 23 Außengebiet "Südost" – Gesamtkosten nach einer Modernisierung – Insel**

Gesamtkosten, in €/a langfristig bei modernisierten Gebäuden	Restgebiet	Kaiserwald	Zoar	Emmaus	Wohnhaus I	Summe
Gas-Brennwert	2.563.217	120.547	162.630	175.695	24.185	3.046.276
Öl-Brennwert	2.625.259	120.629	160.728	178.038	22.700	3.107.354
Gas-BHKW	1.891.805	111.325	149.032	158.621	25.221	2.336.004
Öl-BHKW	1.988.819	114.017	150.281	164.328	24.817	2.442.263
Wärmepumpe	2.279.085	111.341	142.329	154.530	21.159	2.708.444
Holz	1.850.825	98.985	124.517	133.736	23.023	2.231.086
<b>Beste Lösung</b>	<b>1.850.825</b>	<b>98.985</b>	<b>124.517</b>	<b>133.736</b>	<b>21.159</b>	<b>2.229.222</b>

**Tabelle 24 Außengebiet "Südost" – Gesamtkosten nach einer Modernisierung – einzeln**

Werden die Wirtschaftlichkeiten der drei Versorgungsstrategien verglichen, ist festzustellen, dass langfristig die Lösung mit einer Separierung der Gebäude wirtschaftlicher ist als der Weiterbetrieb am Netz. Die Gesamtkosten für die drei Alternativen unterscheiden sich nur geringfügig.

CO <sub>2</sub> , in t/a langfristig bei modernisier-ten Gebäuden	Insel Süd plus Restgebiet	Summe
Gas-Brennwert	2.915	2.915
Öl-Brennwert	3.510	3.510
Gas-BHKW	2.145	2.145
Öl-BHKW	3.025	3.025
Wärmepumpe	2.334	2.334
Holz	1.452	1.452
Beste Lösung	1.452	1.452

**Tabelle 25 Außengebiet "Südost" – CO<sub>2</sub>-Äquivalente nach einer Modernisierung – zentral**

CO <sub>2</sub> , in t/a langfristig bei modernisier-ten Gebäuden	Restgebiet	Insel Süd	Summe
Gas-Brennwert	2.410	451	2.861
Öl-Brennwert	2.902	540	3.442
Gas-BHKW	1.802	364	2.166
Öl-BHKW	2.522	487	3.008
Wärmepumpe	1.928	369	2.297
Holz	1.200	233	1.434
Beste Lösung	1.200	233	1.434

**Tabelle 26 Außengebiet "Südost" – CO<sub>2</sub>-Äquivalente nach einer Modernisierung – Insel**

CO <sub>2</sub> , in t/a langfristig bei modernisier-ten Gebäuden	Restgebiet	Kaiser-wald	Zoar	Emmaus	Wohn-haus I	Summe
Gas-Brennwert	2.415	78	147	162	18	2.820
Öl-Brennwert	2.909	94	172	192	22	3.389
Gas-BHKW	1.804	62	126	137	16	2.145
Öl-BHKW	2.526	85	159	177	21	2.968
Wärmepumpe	1.932	65	124	135	15	2.270
Holz	1.202	39	85	88	9	1.423
Beste Lösung	1.202	39	85	88	9	1.421

**Tabelle 27 Außengebiet "Südost" – CO<sub>2</sub>-Äquivalente nach einer Modernisierung – einzeln**

Hinsichtlich des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes der Lösungen gewinnt in der Betrachtung erwartungsgemäß die Lösung ohne Netz, also die gebäudeweise Versorgung.

Ressourcenverbrauch, in kWh/a langfristig bei modernisierten Gebäuden	Insel Süd plus Restgebiet	Summe
Gas-Brennwert	9.014.249	9.014.249
Öl-Brennwert	9.014.249	9.014.249
Gas-BHKW	10.709.995	10.709.995
Öl-BHKW	10.709.995	10.709.995
Wärmepumpe	2.815.047	2.815.047
Holz	11.294.933	11.294.933
<b>Beste Lösung</b>	<b>2.815.047</b>	<b>2.815.047</b>

**Tabelle 28 Außengebiet "Südost" – Ressourcenverbrauch nach einer Modernisierung – zentral**

Ressourcenverbrauch, in kWh/a langfristig bei modernisierten Gebäuden	Restgebiet	Insel Süd	Summe
Gas-Brennwert	7.453.226	1.363.799	8.817.025
Öl-Brennwert	7.453.226	1.363.799	8.817.025
Gas-BHKW	8.814.886	1.574.633	10.389.519
Öl-BHKW	8.814.886	1.574.633	10.389.519
Wärmepumpe	2.326.152	444.847	2.770.999
Holz	9.346.421	1.702.950	11.049.371
<b>Beste Lösung</b>	<b>2.326.152</b>	<b>444.847</b>	<b>2.770.999</b>

**Tabelle 29 Außengebiet "Südost" – Ressourcenverbrauch nach einer Modernisierung – Insel**

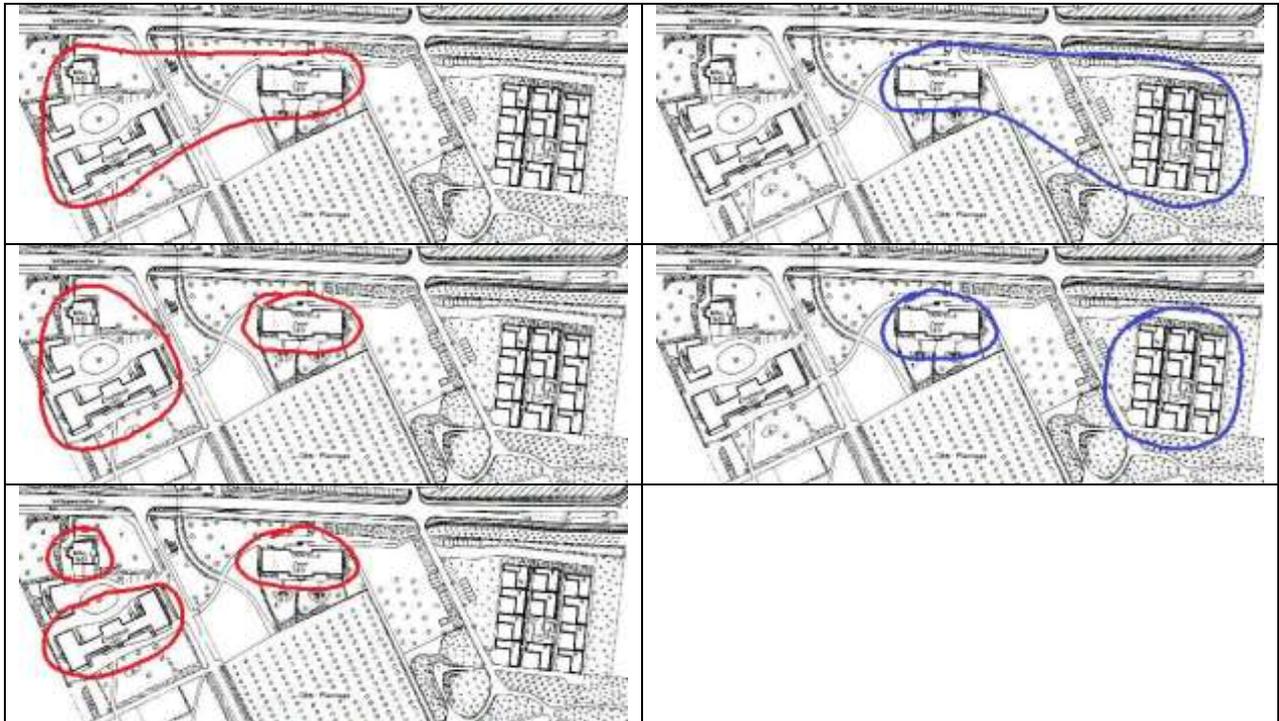
Ressourcenverbrauch, in kWh/a langfristig bei modernisierten Gebäuden	Restgebiet	Kaiserwald	Zoar	Emmaus	Wohnhaus I	Summe
Gas-Brennwert	7.453.226	243.513	409.944	473.667	56.752	8.637.103
Öl-Brennwert	7.453.226	243.513	409.944	473.667	56.752	8.637.103
Gas-BHKW	8.814.886	284.787	462.158	534.404	65.870	10.162.105
Öl-BHKW	8.814.886	284.787	462.158	534.404	65.870	10.162.105
Wärmepumpe	2.326.152	77.893	149.290	162.925	18.288	2.734.548
Holz	9.346.421	310.026	509.301	590.064	73.240	10.829.052
<b>Beste Lösung</b>	<b>2.326.152</b>	<b>77.893</b>	<b>149.290</b>	<b>162.925</b>	<b>18.288</b>	<b>2.734.548</b>

**Tabelle 30 Außengebiet "Südost" – Ressourcenverbrauch nach einer Modernisierung – einzeln**

Auch der Ressourcenverbrauch spricht für die Netztrennung des Gebietes. Die Insellösung ist besser als die Zentrallösung, die gebäudeweise Versorgung ohne Wärmenetz ist noch besser. Ob evtl. Zwischenlösungen das Optimum bilden wird nachfolgend geprüft.

## Detailuntersuchung über Versorgung und Erzeugung des Gebietes "Südost"

Es wird nachfolgend noch geprüft, ob Verbundnetze von wenigen Gebäuden besser abschneiden als eine vollständige getrennte Versorgung aller Gebäude. Ein Betrieb als "Großinsel" scheidet bereits nach den Vorbetrachtungen aus, weil die Einzelversorgung insgesamt wirtschaftlicher war.



**Bild 33 Systematik für die Detailuntersuchung der Peripherie, Beispielgebiet "Südost"**

Nach der gleichen Systematik wie vorher wird untersucht, welche der drei Lösungen für die Gebäude "Wohnhaus I", "Emmaus" und "Zoar" am besten abschneidet und welcher Erzeuger am günstigsten ist.

Gesamtkosten, in €/a langfristig bei modernisierten Gebäuden	Emmaus & Wohnhaus I & Zoar	Summe
Gas-Brennwert	374.963	374.963
Öl-Brennwert	383.220	383.220
Gas-BHKW	322.278	322.278
Öl-BHKW	336.630	336.630
Wärmepumpe	330.015	330.015
Holz	281.869	281.869
Bestandsanlage	405.757	405.757
Beste Lösung	281.869	281.869

**Tabelle 31 Emmaus/Zoar/Wohnhaus I – Gesamtkosten nach einer Modernisierung – Zusammen**

Gesamtkosten, in €/a langfristig bei modernisierten Gebäuden	Emmaus & Wohnhaus I	Zoar	Summe
Gas-Brennwert	202.396	160.252	362.649
Öl-Brennwert	205.699	160.728	366.428
Gas-BHKW	179.830	146.654	326.483
Öl-BHKW	187.008	150.281	337.290
Wärmepumpe	177.245	142.329	319.574
Holz	152.899	124.517	277.416
Beste Lösung	152.899	124.517	277.416

**Tabelle 32 Emmaus/Zoar/Wohnhaus I – Gesamtkosten nach einer Modernisierung – Insel**

Gesamtkosten, in €/a langfristig bei modernisierten Gebäuden	Emmaus	Wohnhaus I	Zoar	Summe
Gas-Brennwert	175.695	24.185	159.618	359.499
Öl-Brennwert	178.038	22.700	160.728	361.467
Gas-BHKW	158.621	25.221	146.019	329.861
Öl-BHKW	164.328	24.817	150.281	339.426
Wärmepumpe	154.530	21.159	142.329	318.018
Holz	133.736	23.023	124.517	281.275
Beste Lösung	133.736	21.159	124.517	279.412

**Tabelle 33 Emmaus/Zoar/Wohnhaus I – Gesamtkosten nach einer Modernisierung – einzeln**

Als wirtschaftlichste Lösung stellt sich hier der Betrieb von "Wohnhaus I" und "Emmaus" zusammen heraus. Das Gebäude "Zoar" wird jedoch besser separat versorgt.

CO <sub>2</sub> , in t/a langfristig bei modernisierten Gebäuden	Emmaus & Wohnhaus I & Zoar	Summe
Gas-Brennwert	350	350
Öl-Brennwert	416	416
Gas-BHKW	290	290
Öl-BHKW	380	380
Wärmepumpe	289	289
Holz	188	188
Bestandsanlage	385	385
wirtschaftlich beste Lösung	188	188
beste Lösung	188	188

**Tabelle 34 Emmaus/Zoar/Wohnhaus I – CO<sub>2</sub>-Äquivalente nach Modernisierung – Zusammen**

CO <sub>2</sub> , in t/a langfristig bei modernisierten Gebäuden	Emmaus & Wohnhaus I	Zoar	Summe
Gas-Brennwert	186	147	333
Öl-Brennwert	222	172	394
Gas-BHKW	156	126	282
Öl-BHKW	204	159	363
Wärmepumpe	154	124	278
Holz	99	85	184
wirtschaftlich beste Lösung	99	85	184
beste Lösung	99	85	184

**Tabelle 35 Emmaus/Zoar/Wohnhaus I – CO<sub>2</sub>-Äquivalente nach einer Modernisierung – Insel**

CO <sub>2</sub> , in t/a langfristig bei modernisierten Gebäuden	Emmaus	Wohnhaus I	Zoar	Summe
Gas-Brennwert	162	18	147	327
Öl-Brennwert	192	22	172	386
Gas-BHKW	137	16	126	279
Öl-BHKW	177	21	159	357
Wärmepumpe	135	15	124	274
Holz	88	9	85	182
wirtschaftlich beste Lösung	88	15	85	188
beste Lösung	88	9	85	181

**Tabelle 36 Emmaus/Zoar/Wohnhaus I – CO<sub>2</sub>-Äquivalente nach einer Modernisierung – Einzel**

Hinsichtlich der CO<sub>2</sub>-Äquivalente würde die Einzelversorgung besser abschneiden, wegen der nicht vorhandenen Netzverluste an das Erdreich.

Ressourcenverbrauch, in kWh/a langfristig bei modernisierten Gebäuden	Emmaus & Wohnhaus I & Zoar	Summe
Gas-Brennwert	1.031.277	1.031.277
Öl-Brennwert	1.031.277	1.031.277
Gas-BHKW	1.176.389	1.176.389
Öl-BHKW	1.176.389	1.176.389
Wärmepumpe	348.718	348.718
Holz	1.283.452	1.283.452
wirtschaftlich beste Lösung	1.283.452	1.283.452
beste Lösung	348.718	348.718

**Tabelle 37 Emmaus/Zoar/Wohnhaus I – Ressourcen nach Modernisierung – Zusammen**

Ressourcenverbrauch, in kWh/a langfristig bei modernisierten Gebäuden	Emmaus & Wohnhaus I	Zoar	Summe
Gas-Brennwert	553.220	409.944	963.164
Öl-Brennwert	553.220	409.944	963.164
Gas-BHKW	628.504	462.158	1.090.662
Öl-BHKW	628.504	462.158	1.090.662
Wärmepumpe	185.712	149.290	335.002
Holz	691.003	509.301	1.200.303
wirtschaftlich beste Lösung	691.003	509.301	1.200.303
beste Lösung	185.712	149.290	335.002

**Tabelle 38 Emmaus/Zoar/Wohnhaus I – Ressourcen nach einer Modernisierung – Insel**

Ressourcenverbrauch, in kWh/a langfristig bei modernisierten Gebäuden	Emmaus	Wohnhaus I	Zoar	Summe
Gas-Brennwert	473.667	56.752	409.944	940.363
Öl-Brennwert	473.667	56.752	409.944	940.363
Gas-BHKW	534.404	65.870	462.158	1.062.432
Öl-BHKW	534.404	65.870	462.158	1.062.432
Wärmepumpe	162.925	18.288	149.290	330.503
Holz	590.064	73.240	509.301	1.172.604
wirtschaftlich beste Lösung	590.064	18.288	509.301	1.117.653
beste Lösung	162.925	18.288	149.290	330.503

**Tabelle 39 Emmaus/Zoar/Wohnhaus I – Ressourcen nach einer Modernisierung – Einzeln**

Hinsichtlich des langfristig zu erwartenden Ressourcenverbrauchs schneidet die Einzelversorgung besser ab als Lösungen mit Netzverbund. Jedoch ergibt sich aus der wirtschaftlich besseren Holzversorgung ein höherer Ressourcenverbrauch als bei Wärmepumpenbetrieb.

Ohne Abdruck der Ergebnistabellen: die Untersuchung an den Gebäuden "Kaiserwald" und "Zoar" liefert die Erkenntnis, dass eine getrennte Versorgung sinnvoller ist als die gemeinsame. Aus wirtschaftlicher Sicht und aus Sicht der CO<sub>2</sub>-Emissionen schneidet die Holzheizung am besten für die Reihenhäuser am "Kaiserwald" ab. Hinsichtlich des Ressourcenverbrauchs ist das nach der Wärmepumpe nur die Zweitbeste Lösung.

## Ergebnisse der Untersuchungen zur Peripherie

Die Art der Untersuchung wurde auf alle Gebäude übertragen und Empfehlungen abgeleitet.

Die kurz- bis mittelfristigen Empfehlungen lauten: die Gebäude der Außengebiete Südost (Emmaus+Wohnhaus I, Zoar, Kaiserwald) und West (Kegelbahn, Kindergarten, Wabehaus, Tischlerei/Schlosserei, Wabeweg) sollten in erster Priorität abgekoppelt werden. Weiterhin die Gebäude des Außengebietes Nordost (Lindenplatz, Sundern) mittelfristig, wobei das geplante Gebäude Mohnmorgen nicht mehr an die Nahwärme angeschlossen wird.

Es entsteht eine Liegenschaftsversorgung gemäß Bild 36. Alle gelb markierten Objekte werden von der Zentrale her versorgt, die rot und grün markierten mit Strom und Holz in separaten Heizzentralen. Da die mit Holz versorgten Inselzentralen in der äußeren Peripherie der Stiftung liegen, ist ein Transport des Holzbrennstoffs unproblematisch.



**Bild 34 Abkopplung der Gebäude an der Peripherie – kurz- bis mittelfristig**

Zusätzlich soll mittelfristig das Pfarrhaus abgekoppelt werden und das Außengebiet Ost (Weidenweg,ASSE) separiert werden. Letzteres muss in Zukunft noch einmal mit dann geltenden Energiepreisen und Bedarfswerten der Gebäude geprüft werden. Hintergrund: für das verbleibende zusammenhängende "Kerndorf" sollte sichergestellt werden, dass eine ausreichende Grundlastwärmeabnahme zu verzeichnen ist, sofern die Bioabwärmeeinspeisung weiter verwendet werden soll.



**Bild 35 Abkopplung der Gebäude an der Peripherie – mittel- bis langfristig**

Letztlich ist ein Kerndorf mit Nahwärmeversorgung vorhanden. Etliche kleinere Gebäude werden mit Wärmepumpen versorgt. Der größere Teil der Peripherie weist Holzheizung auf. Es bleiben auch an der Peripherie kleinere Verbundnetze bestehen – vor allem, wo Leitungen noch nicht so alt sind oder Leitungswege kurz.

Bezogen auf die gesamte Liegenschaft bedeutet der Holzeinsatz in der Peripherie bereits einen Biomasseverbrauch von  $77 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ . Dies liegt bereits deutlich – Faktor zwei – über dem eigentlich in der Bundesrepublik verfügbaren Biomassebudget von  $35 \dots 40 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ .

### **6.4.3 Untersuchung des Kerngebietes**

Ausgehend von der Separierung der Außengebiete unter wirtschaftlichen Aspekten, soll in diesem Abschnitt ein optimaler Erzeuger für das verbleibende Kerngebiet gefunden werden. Dabei wird beachtet, dass die Abkopplung der Peripherie nur zeitverzögert erfolgen kann, d.h. dass das Kerngebiet in Stufen kleiner wird. Für das Kerngebiet wird davon ausgegangen, dass die Modernisierung der Gebäude hier mit deutlicher Zeitverzögerung erfolgt, da zunächst die Gebäude an der Peripherie im Fokus liegen. Das heißt, alle Wirtschaftlichkeitsberechnungen erfolgen unter heutigen und künftigen Gesichtspunkten.

Es wird nicht weiter untersucht, ob die Nahwärmeleitungen rückgebaut werden können. Ein Rückbau würde bedeuten, dass das Kerngebiet bis minimal auf Größe des Wirtschaftshofes schrumpfen könnte. Ein Gebiet dieser Größe könnte jedoch nicht die Abwärme der benachbart liegenden Biogasanlage verwenden.

Die Untersuchung des Zentralgebietes umfasst im Wesentlichen die Beantwortung der Frage, welcher zentrale Erzeuger neben der Bioabwärme eingesetzt wird: Holzkessel, Gas- oder Ölkessel ggf. unter Einbindung von Blockheizkraftwerken. Folgende Vorüberlegungen betreffen die Systemwahl für die Zentrale im Überblick:

- das Netz muss erhalten werden, damit die Bioabwärme überhaupt nutzbar ist
- die Abwärme der Biogasanlage steht allerdings nur als Grundlastwärme (zur Deckung von Netzverlusten und zur Trinkwassererwärmung mit Speichern) mit einer großen Gleichmäßigkeit zur Verfügung, kann aber keine Lastspitzen decken
- die Bioabwärme konkurriert mit einem Blockheizkraftwerk, welches prinzipiell auch nur Grundlastwärme liefern kann – BHKW-Lösungen werden daher nur die Restgrundlast decken, welche über die Bioabwärme nicht zu decken ist, nicht jedoch Spitzenlasten
- eine Holzverbrennung in der Zentrale ist insofern kritisch, da bereits in der Peripherie das Biomassebudget der Stiftung aufgebraucht wurde. Weiterhin sind Gesichtspunkte der aktuell diskutierten Beschränkungen für die Verwendung von Holz als Brennstoff zu berücksichtigen. Es sollte zukünftig nur noch Alt- und Abfallholz als Brennstoff eingesetzt werden.

### Kurz- und mittelfristige Überlegungen

Ausgangsbasis ist die zusammengeschrumpfte Kernliegenschaft nach Abkopplung der Peripherie – wie in Bild 35 dargestellt. Das Zentralgebiet ist aber noch unsaniert wie heute. Für die "Restzentralversorgung", welche kurz- und mittelfristig eintreten wird, soll der optimale Erzeuger gewählt werden. In diesem Gebiet wird das heutige Nahwärmenetz weiterbetrieben.



**Bild 36 Kerngebiet Neuerkerode kurz- bis mittelfristig**

Nach der gleichen Systematik wie bei der Peripherie werden Wirtschaftlichkeit, CO<sub>2</sub>-Emission und der Ressourcenverbrauch für verschiedene Alternativlösungen der Versorgung des Zentralgebietes berechnet.

Gesamtkosten, in €/a langfristig bei heutigen Gebäuden	Summe
Gas-Brennwert & Bioabwärme	2.634.499
Öl-Brennwert & Bioabwärme	2.686.958
Gas-BHKW & Bioabwärme	2.469.689
Öl-BHKW & Bioabwärme	2.538.188
Holz & Bioabwärme	2.056.909
Beste Lösung	2.056.909
Gewählte Lösung	2.469.689

**Tabelle 40 Gesamtkosten für das Kerngebiet – kurz- bis mittelfristig**

CO <sub>2</sub> , in t/a bei heutigen Gebäuden	Summe
Gas-Brennwert & Bioabwärme	2.190
Öl-Brennwert & Bioabwärme	2.609
Gas-BHKW & Bioabwärme	2.024
Öl-BHKW & Bioabwärme	2.519
Holz & Bioabwärme	1.169
Beste Lösung	1.169
Gewählte Lösung	2.024

**Tabelle 41 CO<sub>2</sub>-Äquivalente für das Kerngebiet – kurz- bis mittelfristig**

Die Holzfeuerung schneidet – bei den getroffenen Annahmen zu Kosten und Preisen – am besten ab. Der Einsatz eines Gas-BHKWs mit Gasspitzenlastkessel ist wirtschaftlich und auch Sicht der CO<sub>2</sub>-Emission die zweitbeste Lösung.

Ressourcenverbrauch, in kWh/a bei heutigen Gebäuden	Summe
Gas-Brennwert & Bioabwärme	11.441.531
Öl-Brennwert & Bioabwärme	11.441.531
Gas-BHKW & Bioabwärme	10.872.169
Öl-BHKW & Bioabwärme	10.872.169
Holz & Bioabwärme	11.224.821
Beste = gewählte Lösung	10.872.169

**Tabelle 42 Ressourcenverbrauch für das Kerngebiet – kurz- bis mittelfristig**

Hinsichtlich des Ressourcenverbrauchs liegen die Lösungen nah beieinander. Die Lösung mit Gas-BHKW hat jedoch einen geringfügig kleineren Ressourcenverbrauch.

Da das Biomassebudget, d.h. der Holzverbrauch innerhalb des Dorfes, bereits mit der Peripherie ausgeschöpft wird, wird für die Zentrale kein weiterer Holzkessel vorgeschlagen. Die Empfehlung für das Kerngebiet lautet:

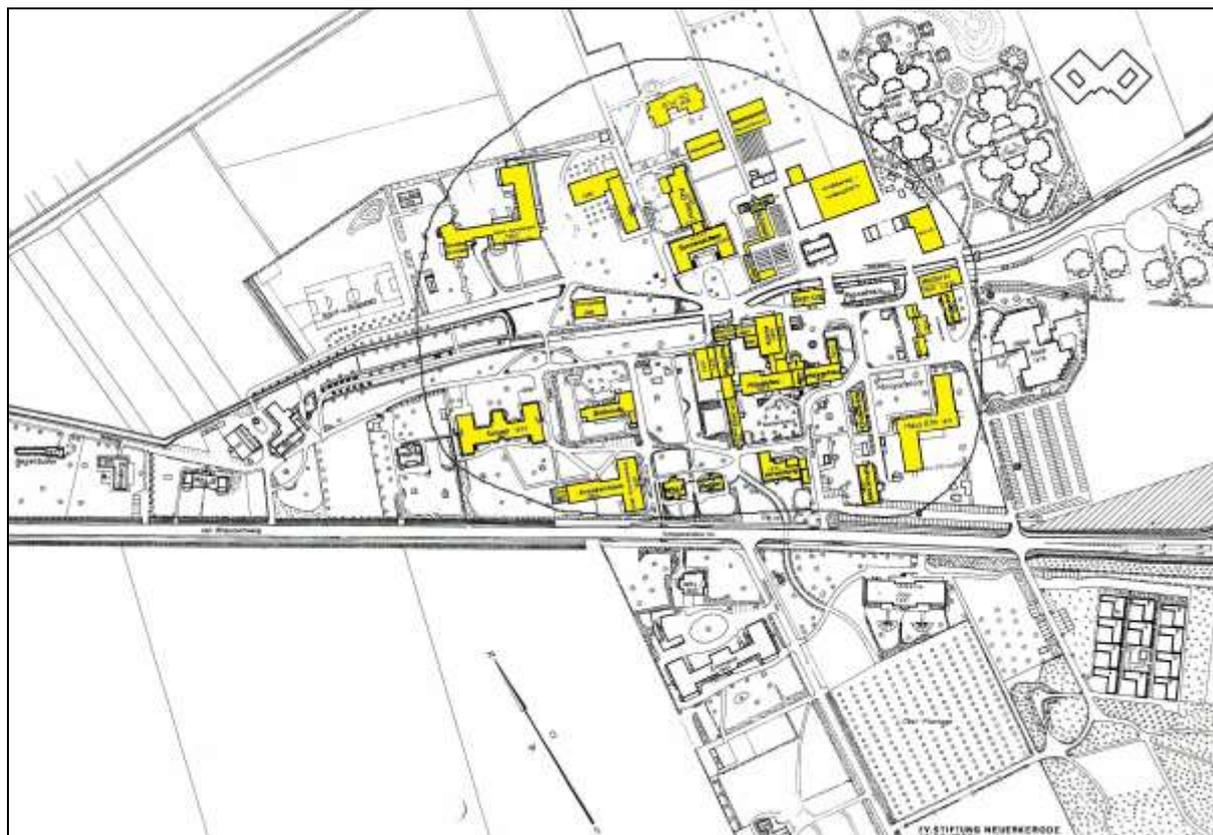
- Empfohlen wird eine Kopplung der Bioabwärme mit einem Gas-/Biogas-BHKW und Gaskessel.
- Es handelt sich um ein BHKW mit ca. 260 kW Wärmeleistung, welches zusammen mit der Biowärme (ca. 340 kW) die Grundlast deckt.
- Weiterhin wird ein 3,2 MW Gaskessel benötigt, hier könnten die vorhandenen drei Kessel (nacheinander) verwendet werden – aus Gründen der Bestandsinvestitionssicherung

Diese Maßnahme kann bereits sehr kurzfristig umgesetzt werden, da sie einerseits praktisch keine baulichen Maßnahmen erfordert (die Heizzentrale bietet den Platz) und andererseits nicht mit den Maßnahmen an der Peripherie kollidiert.

Das BHKW ist für den Zeitraum von heute bis zum Ende der ersten Abkopplungsstufe der Peripherie ("West", "Nordost" und "Südost") ausreichend groß bzw. klein bemessen, d.h. zu Anfang etwas zu klein, mit jeder Abkopplung passender. Wenn die erste Abkopplungswelle der Gebäude erfolgt ist, d.h. in perspektivisch 10 Jahren, nähert sich die Lebensdauer des BHKW seinem Ende. Das nächste BHKW kann kleiner ausfallen oder sogar entfallen.

### Mittel- und langfristige Überlegungen

Ausgangsbasis ist die Peripherie mit allen langfristig abgetrennten Gebäuden. Das Zentralgebiet ist jedoch noch unsaniert wie heute, siehe Bild 37.



**Bild 37 Kerngebiet Neuerkerode mittel- bis langfristig**

Wie zuvor werden alle Kennwerte bestimmt: Endenergie, CO<sub>2</sub>, Gesamtkosten und Ressourcenverbrauch. Es werden die gleichen Erzeugervarianten betrachtet.

Gesamtkosten, in €/a langfristig bei heutigen Gebäuden	Summe
Gas-Brennwert & Bioabwärme	2.193.020
Öl-Brennwert & Bioabwärme	2.234.933
Gas-BHKW & Bioabwärme	2.125.863
Öl-BHKW & Bioabwärme	2.178.702
Holz & Bioabwärme	1.755.686
Beste Lösung	1.755.686
Gewählte Lösung	2.125.863

**Tabelle 43 Gesamtkosten für das Kerngebiet –mittel- bis langfristig**

CO <sub>2</sub> , in t/a langfristig bei heutigen Gebäuden	Summe
Gas-Brennwert	1.690
Öl-Brennwert	2.015
Gas-BHKW	1.612
Öl-BHKW	1.979
Holz	903
Beste Lösung	903
Gewählte Lösung	1.612

**Tabelle 44 CO<sub>2</sub>-Äquivalente für das Kerngebiet – mittel- bis langfristig**

Ressourcenverbrauch, in kWh/a bei heutigen Gebäuden	Summe
Gas-Brennwert & Bioabwärme	9.813.973
Öl-Brennwert & Bioabwärme	9.813.973
Gas-BHKW & Bioabwärme	9.550.069
Öl-BHKW & Bioabwärme	9.550.069
Holz & Bioabwärme	11.224.821
Beste = gewählte Lösung	9.550.069

**Tabelle 45 Ressourcenverbrauch für das Kerngebiet – kurz- bis mittelfristig**

Mit der oben gegebenen Begründung zum Holzeinsatz wird nun ebenfalls die zweitbeste Lösung gewählt, das ist der Einsatz eines Gas-BHKWs. Solange das Kerngebiet noch nicht modernisiert ist, lohnt noch der Einsatz einer BHKWs neben der Bioabwärmeeinspeisung.

Die langfristige Empfehlung für das Kerngebiet lautet:

- Empfohlen wird eine Kopplung der Bioabwärme mit einem Gas-BHKW und Gaskessel.
- Es handelt sich um ein BHKW mit ca. 180 kW Wärmeleistung, welches zusammen mit der Biowärme (ca. 340 kW) die Grundlast deckt.
- Weiterhin wird ein 2,7 MW Gaskessel benötigt, hier könnten die vorhandenen drei Kessel (nacheinander) verwendet werden – aus Gründen der Bestandsinvestitionssicherung – oder ein neuer Kessel angeschafft.

Das zweite BHKW läuft während der Phase der zweiten Abkopplungswelle an der Peripherie und wird voraussichtlich auch einen Großteil der Zeit laufen, in der das Kerngebiet modernisiert wird. Aus heutiger Sicht könnten das die Jahre 2020 bis 2030 sein. Es ist in diesem Zeitraum ausreichend groß bzw. klein bemessen, d.h. zu Anfang etwas zu klein, mit jeder Abkopplung und Modernisierung passender.

Am Ende der Lebensdauer des zweiten BHKW wird voraussichtlich kein weiteres BHKW mehr sinnvoll sein, weil der Grundlastbedarf an Wärme dann so klein ist, dass es nicht mehr wirtschaftlich neben der Bioabwärme betrieben werden kann.

#### 6.4.4 Alternative Vorgehensweise für die Untersuchung der Versorgungsstruktur

Falls es sich um ein Gebiet gehandelt hätte, bei dem alle Freiheitsgrade für die Wahl von Versorgungsstruktur mit oder ohne Wärmenetz oder auch die Erzeuger vorgelegen hätte, wäre auch eine andere Vorgehensweise denkbar gewesen.

Das Gelände der Stiftung wird zunächst in 5 Stufen verschieden stark zergliedert: zwischen einer Variante mit fast vollständiger Dezentralisierung (gebäudeweise Versorgung) bis hin zur heute schon real vorhandenen Zentralversorgung mit Wärmenetz.

Die nachfolgenden Bilder zeigen dies, wobei die Farbgebung nur gewählt wurde, um die Gebiete abzugrenzen. Sonst haben die Farben keine Bedeutung. Jedes Gebiet bzw. jede Versorgungsinsel haben eine separate Heizzentrale.



**Bild 38 Kleinste Gruppen**

Die kleinsten Gruppen stellen den höchsten Grad der Dezentralisierung dar. Die Heizzentralen wurden so gelegt, dass es keine Wärmeverluste an das Erdreich gibt. Meist versorgt eine Zentrale nur ein Gebäude.

Bei kleinen und mittleren Inseln wurden Gebäude zusammengefasst, so dass sich geringe Nahwärmenetzverluste ergeben und sich Gebäude ähnlicher Nutzung Zentralen teilen.

Die großen Gebiete teilen das Gelände so ein, dass sich 8 Heizzentralen ergeben. Bei der Zentrallösung gibt es eine Heizzentrale.

Für jeden dieser Zusammenschlüsse von Gebäuden – einzeln bis alle – werden Energie- und Kostenkennwerte bestimmt, welche sich mit verschiedenen Erzeugungsalternativen verbinden.



**Bild 39 Kleine Inseln**



**Bild 40 Mittlere Inseln**



**Bild 41 Große Gebiete**



**Bild 42 Zentralisierung wie heute**

## 6.5 Konzepterstellung und Schlussfolgerungen

Anhand der Erkenntnisse zur Peripherie und der Versorgung des Kerngebietes lässt sich für Neuerkerode eine Abschätzung über die Versorgung im zeitlichen Verlauf treffen. Darüber hinaus geben die Teilergebnisse auch Aspekte preis, welche sich verallgemeinern lassen.

### 6.5.1 Zeitliche Aspekte

Das Energiekonzept wird über etliche Jahre umgesetzt. Eine genaue Reihenfolge der Einzelmaßnahmen kann nur für die ersten Monate und Jahre vorausgesagt werden. Je weiter Maßnahmen in der Zukunft liegen, desto ungewisser wird deren Umsetzungsreihenfolge.

An dieser Stelle soll dennoch ein mögliches Szenario für die Umsetzung des Energiekonzeptes gegeben werden. Eine mögliche detaillierte Umsetzungsreihenfolge von Einzelmaßnahmen wird dabei zusammengefasst, so dass sich 8 Zustände ergeben – vom heutigen bis zum Endzustand der Liegenschaft. Für diese Stufen werden die wichtigsten Randdaten – Energie, CO<sub>2</sub>, Kosten, Ressourcenverbrauch – nachfolgend dokumentiert.

#### Konzeptstufen

Der Ausgangszustand der Liegenschaft ist fix. Gleichmaßen die Notwendigkeit unter ökologischen und ökonomischen Gesichtspunkten etwas gegen die Netzverluste unternehmen zu müssen. Der Weg dahin ist nicht fest vorgegeben.

Der Endzustand – das heißt die aus heutiger Sicht wirtschaftlich sinnvolle Größenausdehnung des Nahwärmenetzes – ist wiederum in etwa fix. Es kann aber sein, dass wegen stärker gestiegener Energiepreise die Netzausdehnung künftig noch kleiner sein wird und man auf die Bioabwärme ganz verzichtet.

Die möglichen Stufen sollen in folgenden 8 groben Schritten zusammengefasst werden:

1. heutiger Zustand
2. Einbau eines Gas-BHKW 260 kW in die heutige Zentrale
3. Modernisierung & Abkopplung Gebiet "Nordost" mit Holzkessel
4. Modernisierung Gebiet "West" mit Holz/Strom, Trennung vom Netz
5. Modernisierung und Abkopplung Gebiet "Südost"
6. Umstrukturierungen im Zentralgebiet, z.B. Umnutzung Bücherhalle zur Wäscherei und Wäscherei zum Saal, Netzanschluss bleibt, Modernisierung der heute gasversorgten Wabehalle und Anschluss an Nahwärmenetz
7. Modernisierung Pfarrhaus sowie Gebiet "Ost" mit Wärmepumpe bzw. Holzkessel, Trennung vom Netz, gleichzeitig Einbau eines kleineren zentralen BHKWs 180 kW
8. Modernisierung restliches Kerngebiet, anschließend Rückbau BHKW ergibt den Endzustand

Für den Stufenplan mit zentralem BHKW und Holz für die Peripherie ergeben sich die in den nachfolgenden Bildern zusammengestellten Verhältnisse und Veränderungen. Bedeutsam sind hierbei die Gesamtänderungen, der Weg dahin ist – wie oben erläutert – nur ein beispielhafter.

Auf eine Zeiteinteilung der Verlaufsachse unten wurde bewusst verzichtet. Zeithorizont für den Abschluss aller Arbeiten bis Punkt 8 ist das Jahr 2035.

## Endenergie

Bei der Endenergie ist eine Gesamteinsparung von 40 % festzustellen. Das Endscenario umfasst neben dem Strom zu fast jeweils einem Drittel die Energieträger Gas, Bioabwärme und Holz zur Wärmeversorgung.

Ob der Holzanteil letztendlich tatsächlich so hoch ausfallen wird, kann heute nur vermutet werden. Relativ sicher kann die Holzversorgung für die in Kürze zur Trennung vorgesehenen Gebiete "West", "Nordost" und "Südost" empfohlen werden.

Der in Stufe 5 erreichte Holzanteil erscheint damit zumindest wahrscheinlich.

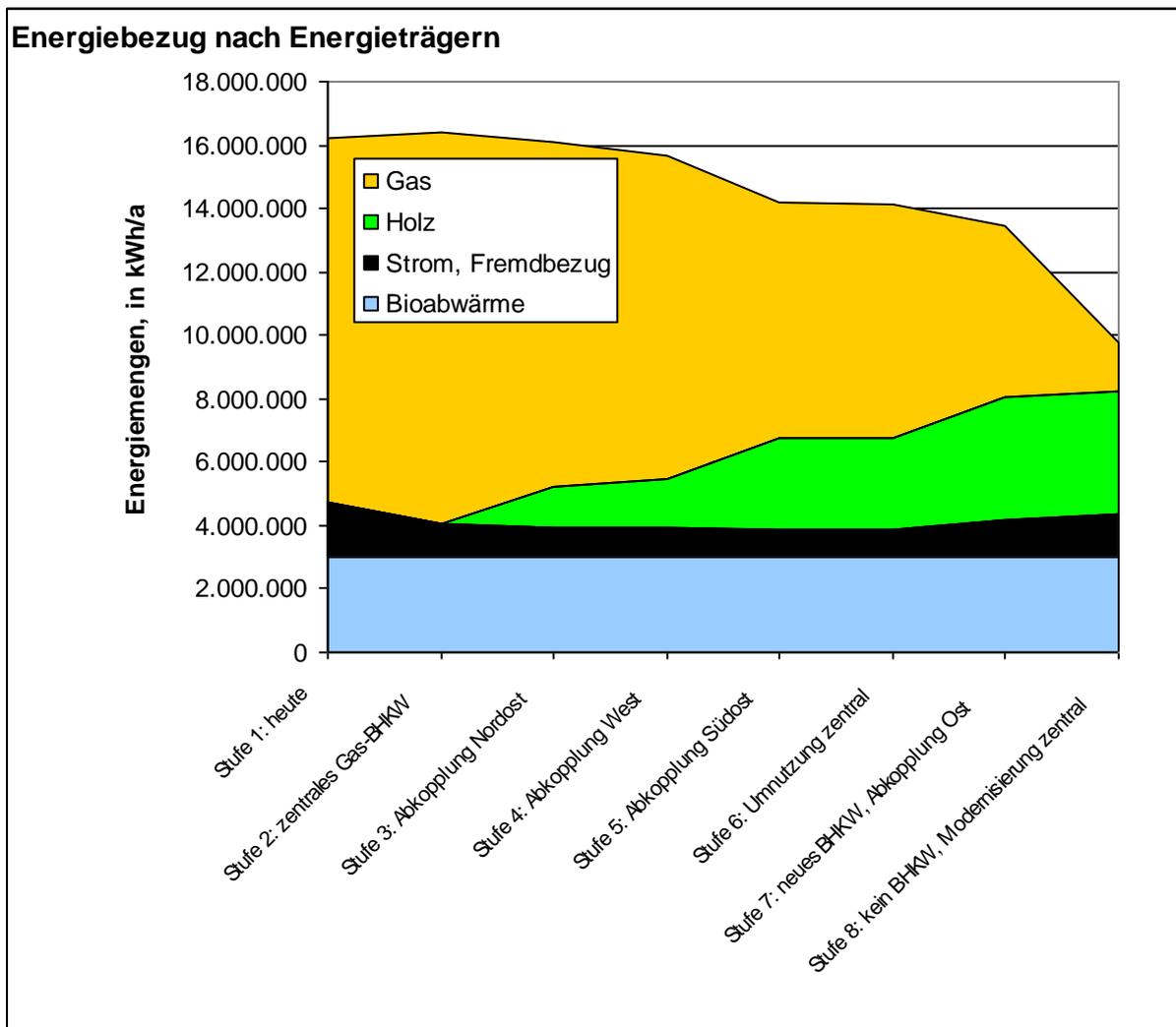


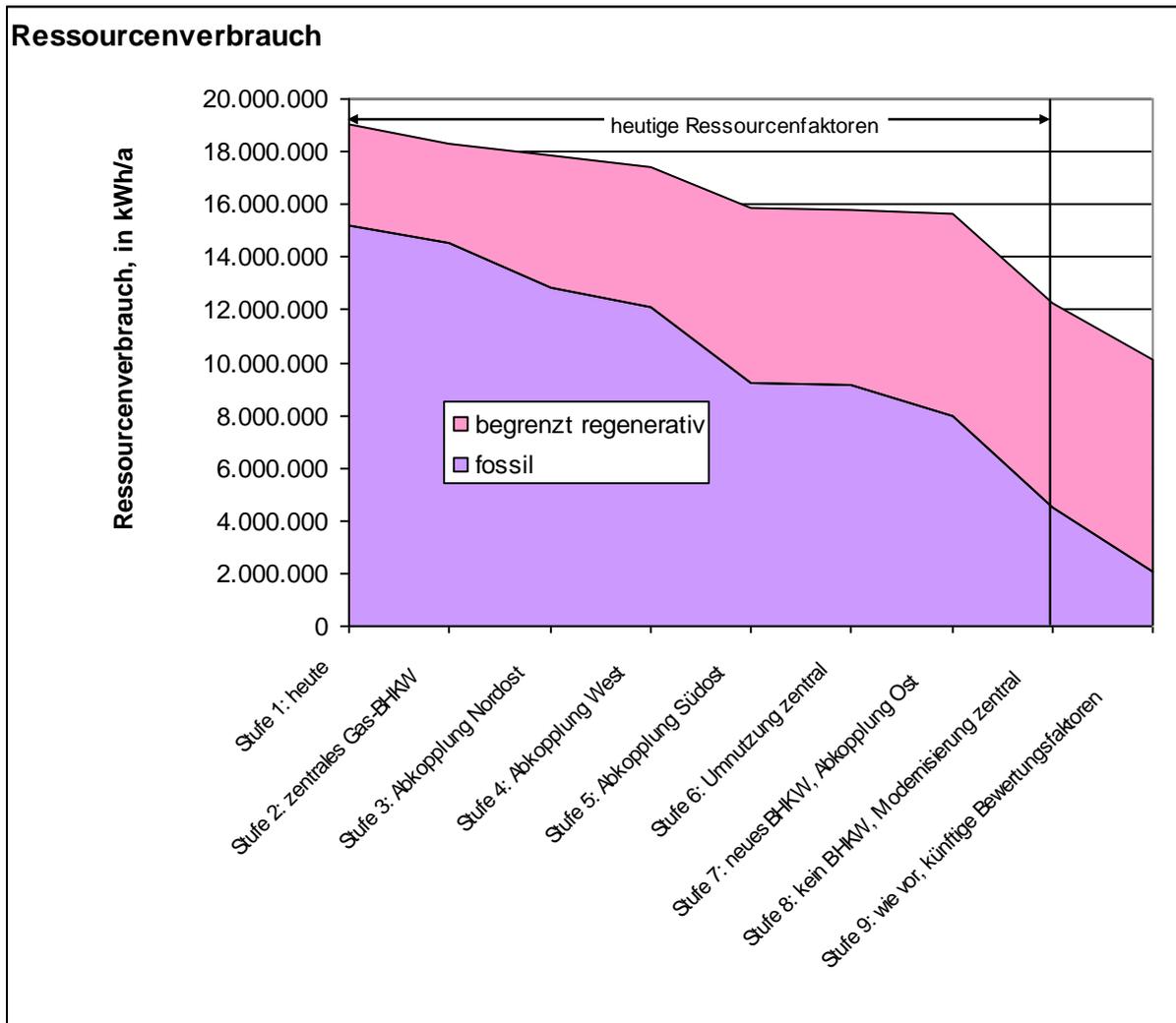
Bild 43 Mögliches Endenergieszenario

Der Gasverbrauch steigt mit der zweiten Stufe an, weil das BHKW betrieben wird. Gleichermaßen sinkt der Stromfremdbezug. Der Rückbau des BHKW in den Stufen 7 und 8 ergibt dann wieder vollständigen Netzbezug des Stroms.

## Ressourcenverbrauch

Der Ressourcenverbrauch sinkt nicht so stark wie die Endenergie, weil insgesamt mehr Holz zur Energieversorgung benötigt wird, als wenn Gas oder Öl zum Einsatz gekommen wäre.

Sofern die heutige Zusammensetzung des erzeugten Stroms und Gases unterstellt wird kann eine Reduzierung des Ressourcenverbrauchs von 64 % bezogen auf heute festgestellt werden. Die fossile Energiemenge beträgt jedoch nur noch 30 % des heutigen Wertes, dafür verdoppelt sich die begrenzt regenerative Energiemenge.



**Bild 44 Mögliches Endenergieszenario**

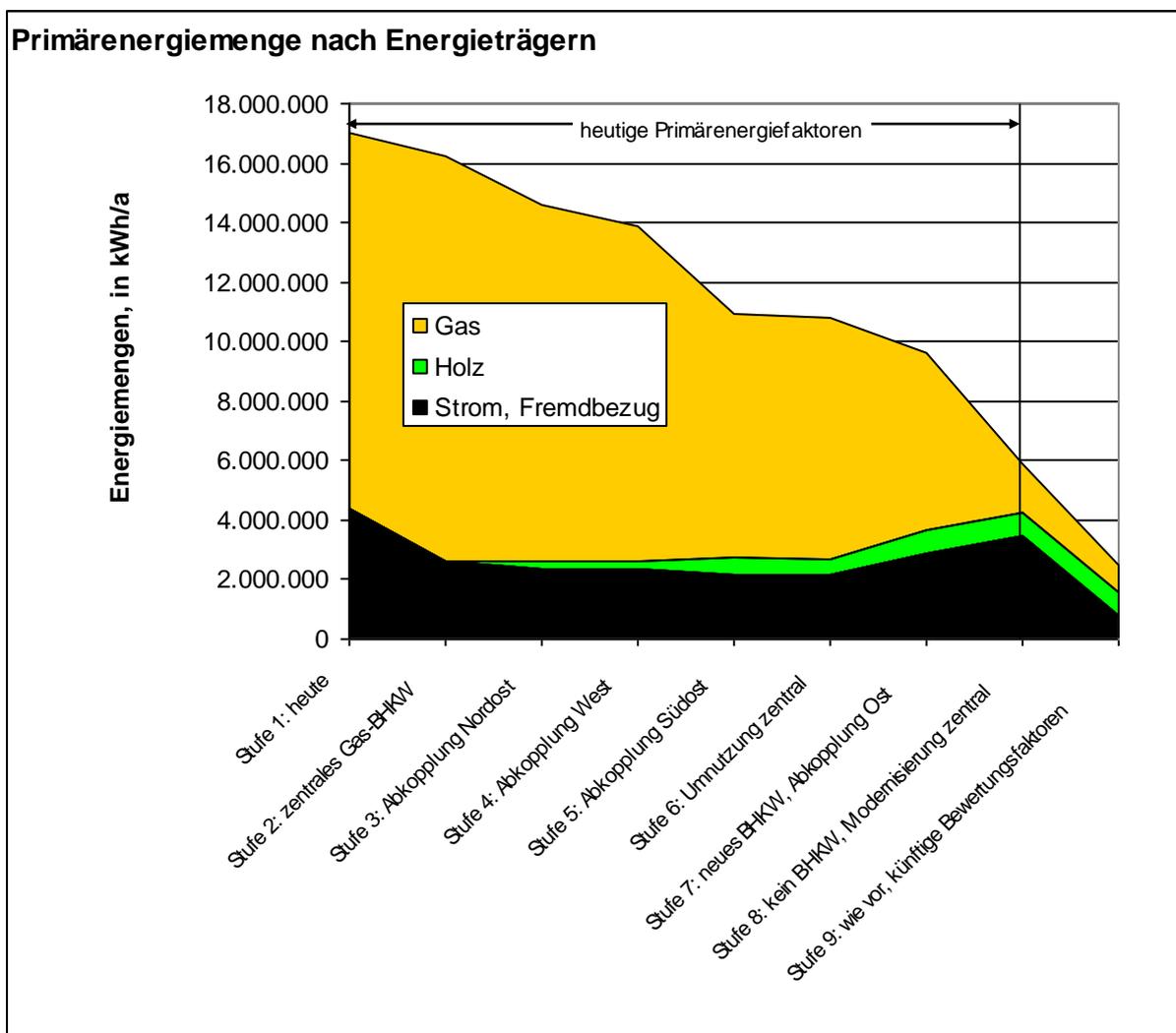
Da das Erreichen des Endzustandes der Umgestaltung der Liegenschaft in der fernerer Zukunft liegt, wurde vergleichsweise als 9. Stufe mit einer künftigen Zusammensetzung von Strom und Gas gerechnet.

Wegen eines vermuteten Biogasanteils von 20 % im Gas und auch größerer regenerativer Anteile im Strom sinkt der Gesamtressourcenverbrauch auf knapp über 50 % des heutigen Wertes.

## Primärenergie

Die Bioabwärmeeinspeisung ist primärenergetisch in dieser Studie nicht relevant. Aufgetragen sind Strom- Gas und Holzbezug. Die Primärenergienmengen sinken bis Ende der Umsetzung aller Maßnahmen um 65 % (Stufe 8) und verändern sich damit in der gleichen Größenordnung wie der Ressourcenverbrauch.

Es wurden weder der Solarthermieeinsatz in der Peripherie noch mögliche andere Strombezugsquellen – z.B. Photovoltaik – in die Bilanz einbezogen. Erfolgt dies, kann der Wert weiter vermindert werden. Dabei ist anzumerken: der Einsatz von Solarthermie innerhalb des Kerngebietes mit Nahwärme ist kritisch zu prüfen: Sobald die Grundlasterzeuger – Bioabwärmeeinspeisung sowie ein mögliches BHKW – von der Solarthermie beeinflusst werden, sinkt deren Wirtschaftlichkeit. Diese Techniken schließen sich aus, wenn ihre Leistungen in Summe zu groß werden.



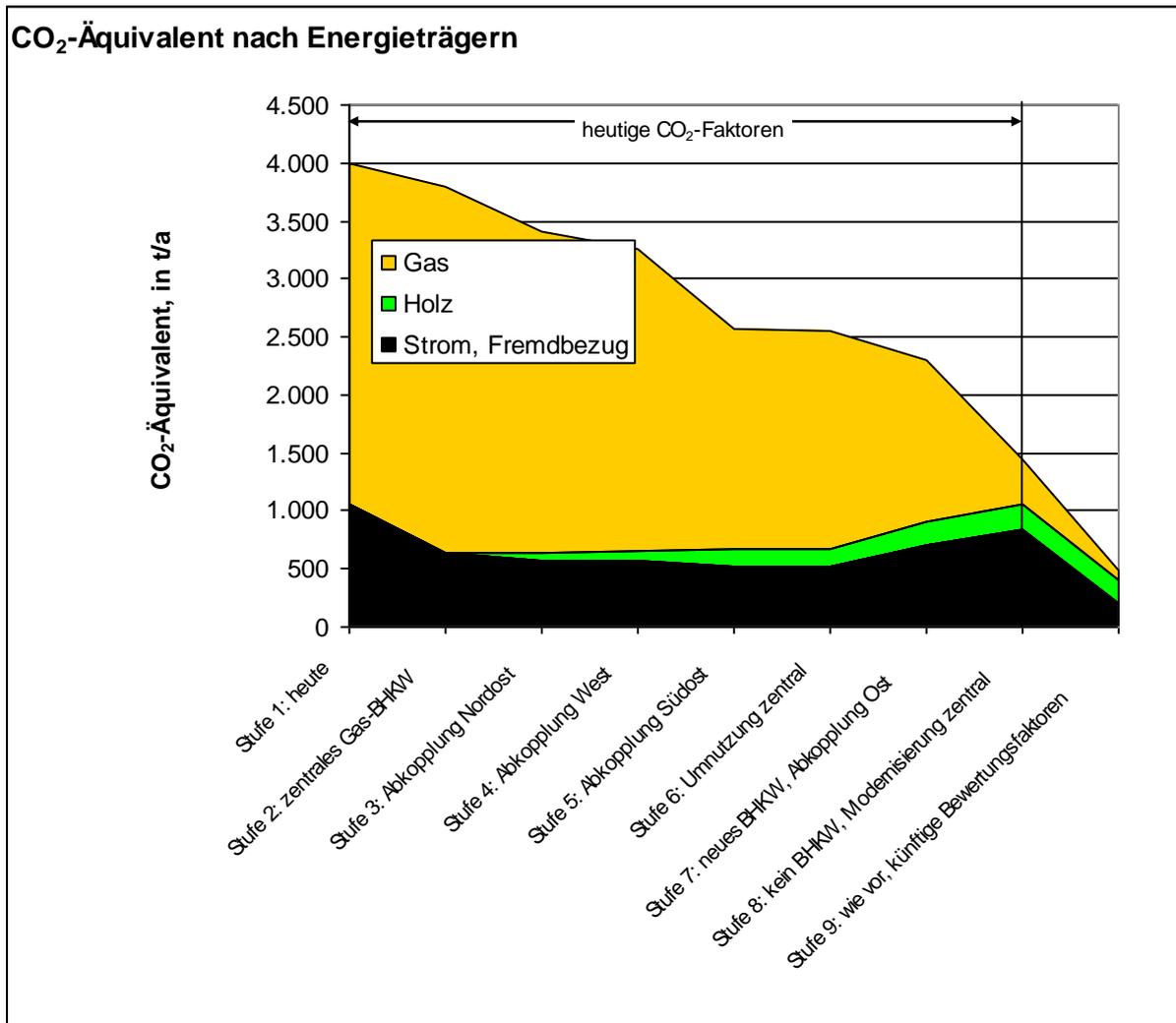
**Bild 45 Mögliches Primärenergieszenario**

Im Vergleich zum Ressourcenverbrauch stellt sich der Holzeinsatz hier sehr viel positiver dar. Die Primärenergiebewertung heutiger Art animiert dazu, die begrenzt verfügbare Ressource Holz verstärkt zu verwenden.

## CO<sub>2</sub>-Äquivalente

Für die Auswertung von CO<sub>2</sub> gilt prinzipiell Ähnliches wie für die Primärenergie zuvor. Der CO<sub>2</sub>-Ausstoß kann in Stufe 8 auf etwa 36 % des heutigen Wertes vermindert werden, wenn einerseits die Gebäude modernisiert sind und andererseits das Energiekonzept umgesetzt wird.

Der Wert beträgt unter Verwendung einer künftigen Strom- und Gaszusammensetzung sogar nur noch ca. 1/8 des heutigen Ausstoßes.



**Bild 46 Mögliches CO<sub>2</sub>-Szenario**

Der Anstieg der CO<sub>2</sub>-Menge für Strom am Ende der Betrachtungszeit ergibt sich durch den Rückbau der BHKWs.

## Energiekosten

Die Energiekostensituation wird beeinflusst von einerseits den steigenden Preisen und andererseits den Einsparbemühungen selbst.

Werden die heutigen Kosten zugrunde gelegt – ohne Preissteigerungen – ergeben alle Maßnahmen zusammen Einsparungen bei den Energiekosten von ca. 46 %.

Es ist zu erkennen, dass der BHKW-Betrieb sich nicht nachteilig auf die Kosten auswirkt. Das heißt, trotz des größeren Gasbedarfs von Stufe 2 verglichen mit Stufe 1 ergeben sich geringere Gesamtenergiekosten, weil Strom günstiger selbst produziert werden kann, solange die Abwärme gleichzeitig nutzbar ist. Diese Voraussetzung ist in Neuerkerode wegen der hohen Warmwassergrundlast besser gegeben als bei üblichen Abnehmern, wie typischen Wohngebäuden.

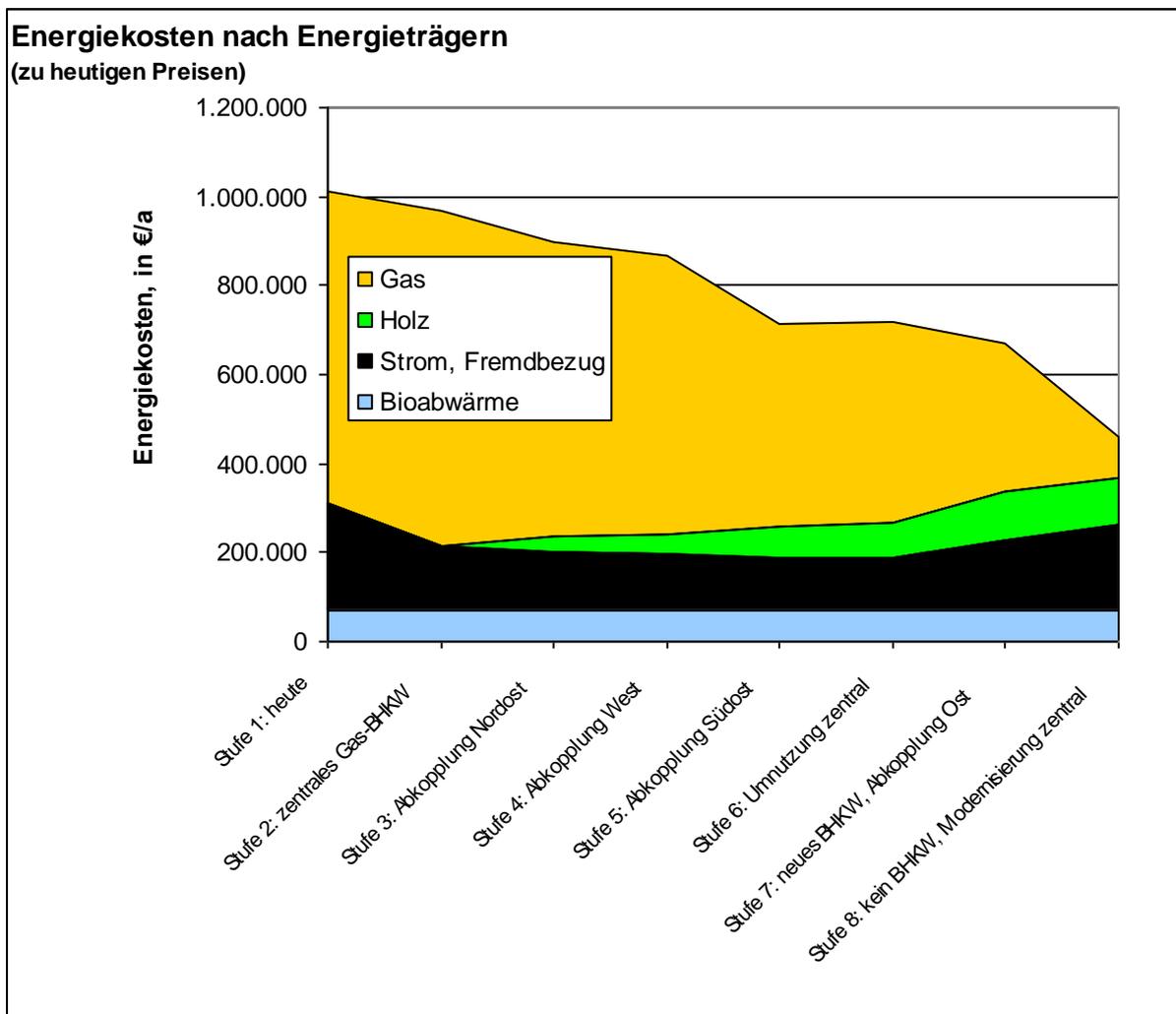
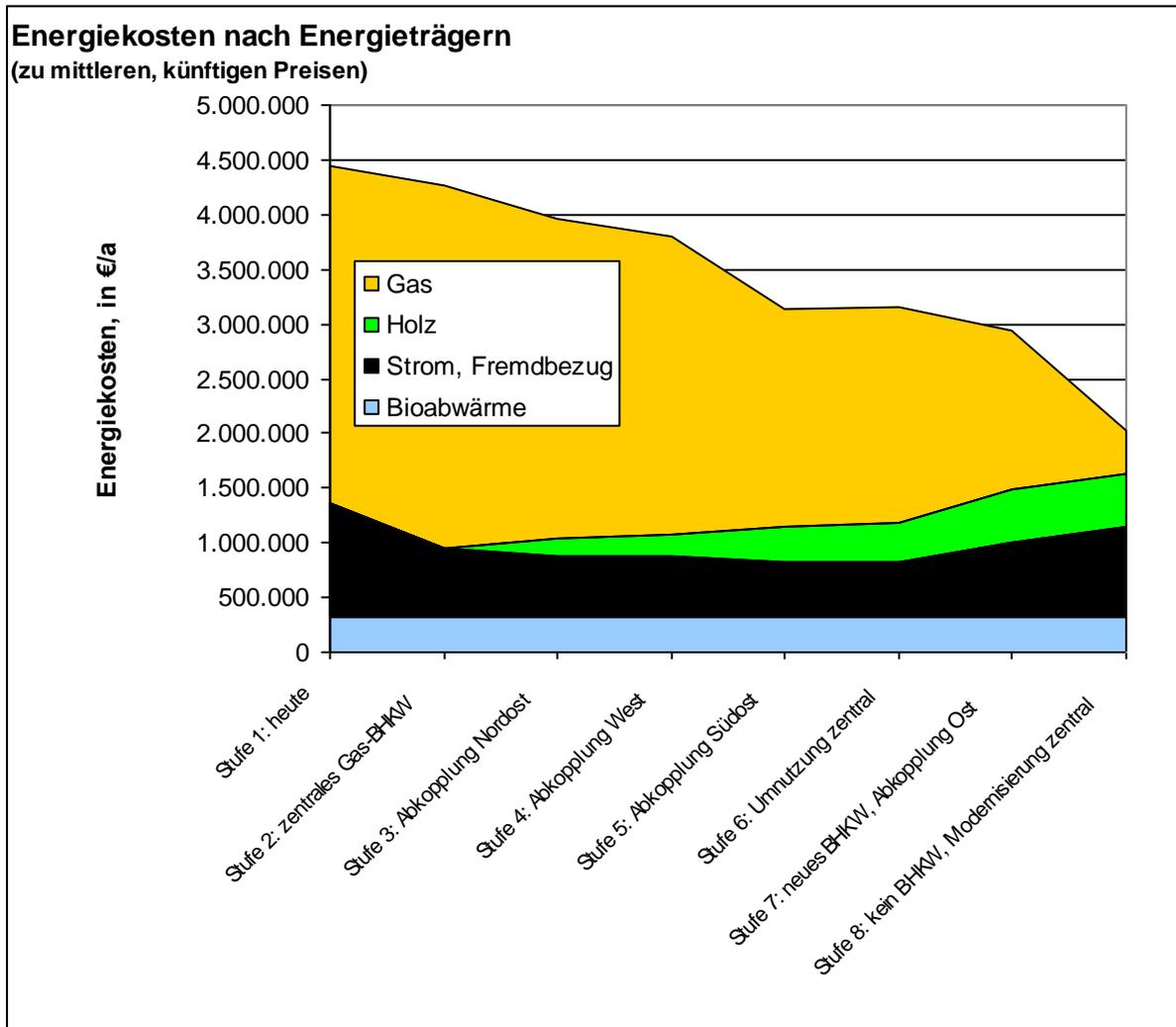


Bild 47 Mögliches Szenario der Energiekosten – heutige Preise



**Bild 48 Mögliches Szenario der Energiekosten – künftige Preise**

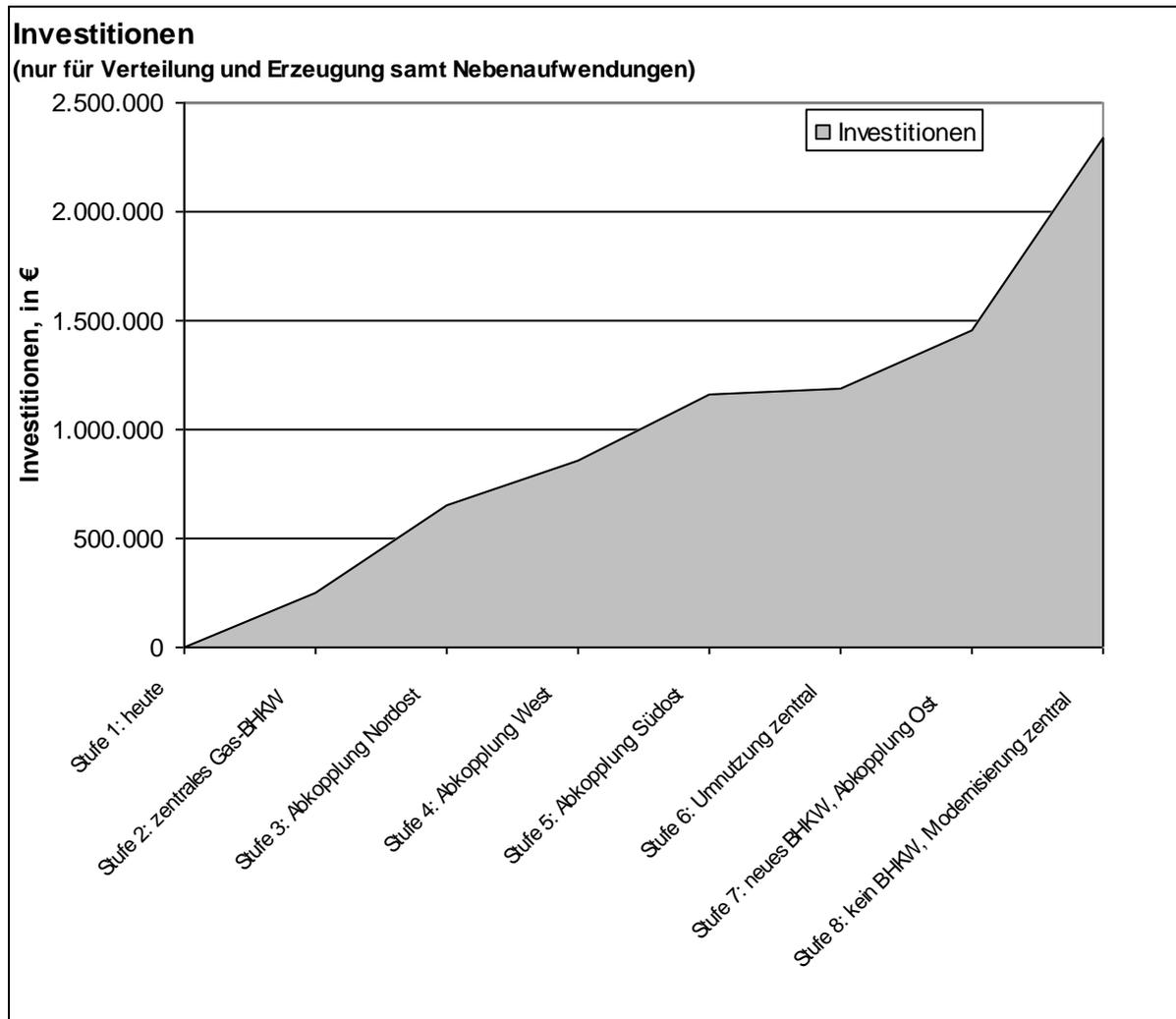
Auch bei mittleren Energiekosten – gerechnet mit einer effektiven Energiepreisverteuerung von 5,1 %/a – ergibt sich das gleiche Bild, wenn auch auf deutlich höherem Niveau.

Werden beide Bilder zusammengefügt, dann ist erkennbar, dass die jährlichen Energiekosten heute mit etwas über 1 Mio. € starten, jedoch künftig trotz aller Einsparungen bei gut 2 Mio. € enden werden.

Die Zahlen gelten für einen Zeitraum von 30 Jahren. Allerdings: würde nichts unternommen, läge das Ende bei jährlich 4,5 Mio. €.

## Investitionskosten

Die Investitionskosten für den geschilderten 8-Stufen-Plan ergeben sich aus den Kosten für die Wärmeerzeuger und Speicher, mögliche Netzbauten, neue Übergabestationen im Kerngebiet und den Zentralenbau an der Peripherie, Pumpen und die Regelung incl. Leittechnik. Es sind keine Kosten für die eigentliche Modernisierung der Gebäude dargestellt. Diese liegen um eine Größenordnung höher.

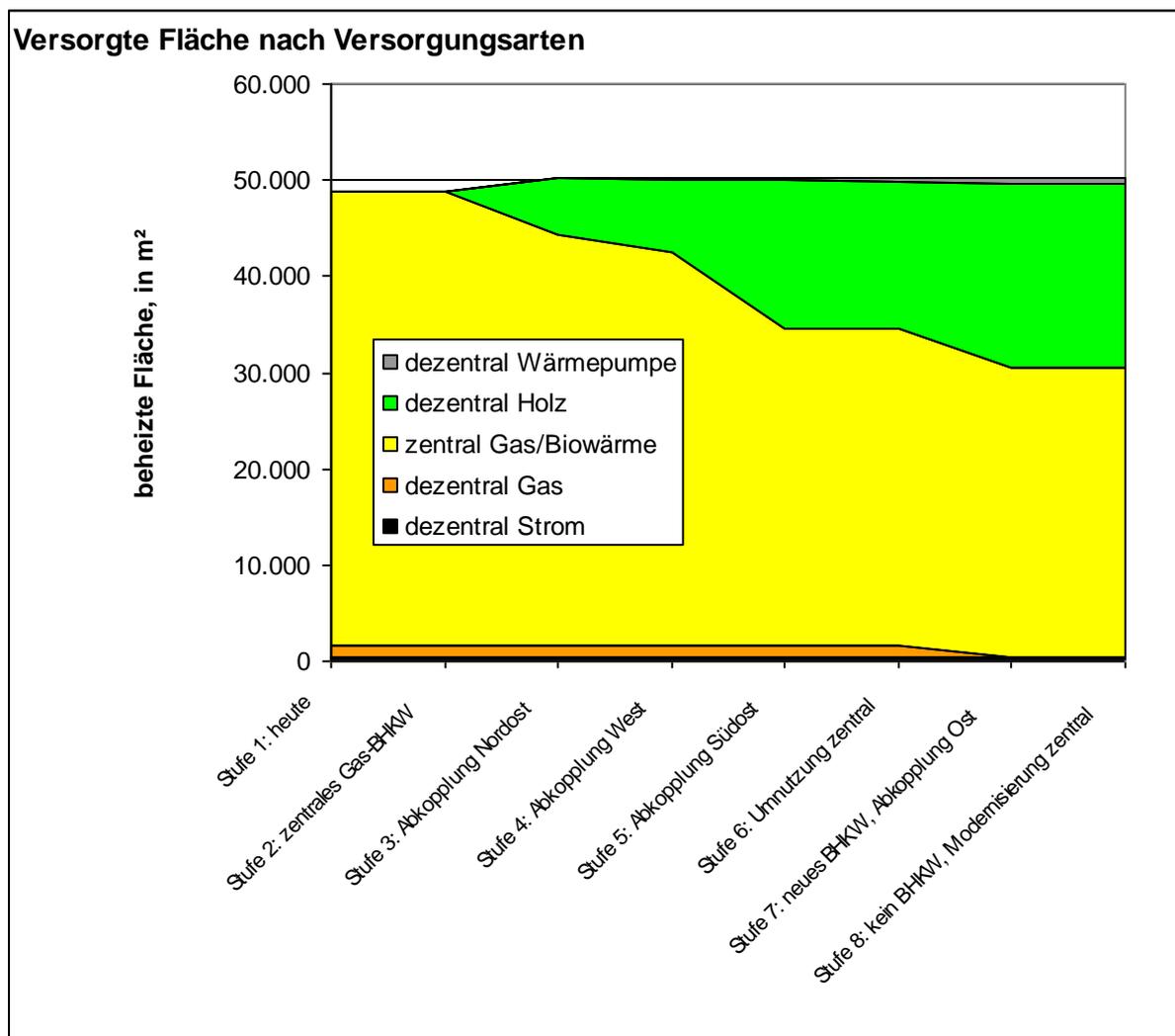


**Bild 49 Mögliches Szenario der Investitionskosten**

## Flächen

Aus Gründen der Statistik soll nachfolgende Grafik die versorgten Flächen nach Energieträgern veranschaulichen. Aus heutiger Sicht der Dinge ergibt sich ein kleiner Flächenzuwachs durch einen geplanten Pflegeheimneubau.

Insgesamt ist festzustellen, dass etwa 40 % der Fläche sich künftig in der Peripherie befinden werden und mit Holz oder Wärmepumpen dezentral beheizt werden. Die anderen 60 % der Fläche werden zentral über Gas (Kessel/BHKW) und Bioabwärme versorgt.



**Bild 50 Szenario versorgte Flächen**

Die insgesamt bis einschließlich Stufe 5 ausgewiesene mit Holz versorgte Fläche erscheint realistisch. Für die betroffenen Gebäude stehen in Kürze Entscheidungen zur Modernisierung an. Es ist wahrscheinlich, dass Holz dort jeweils der wirtschaftlichste Energieträger ist, sofern sich die Randdaten nicht grundlegend in den nächsten Wochen und Monaten ändern.

Wäre vor 40 Jahren unter dem Eindruck der 1. Ölkrise nicht die kurzfristige Entscheidung für eine Umstellung auf eine Gasheizzentrale erfolgt, würde heute sicherlich anstelle des Energieträgers Erdgas der Energieträger Heizöl eingesetzt.

## Verteilnetz

Das Verteilnetz und seine Verluste werden im Zuge der Umsetzung des vorgeschlagenen Energiekonzeptes drastisch vermindert. Mit jeder Abkopplung von Außengebieten ergibt sich ein Rückgang der Länge. Zum Schluss ermöglicht die dann erfolgte Modernisierung des Zentralgebietes noch eine Netztemperaturanpassung.

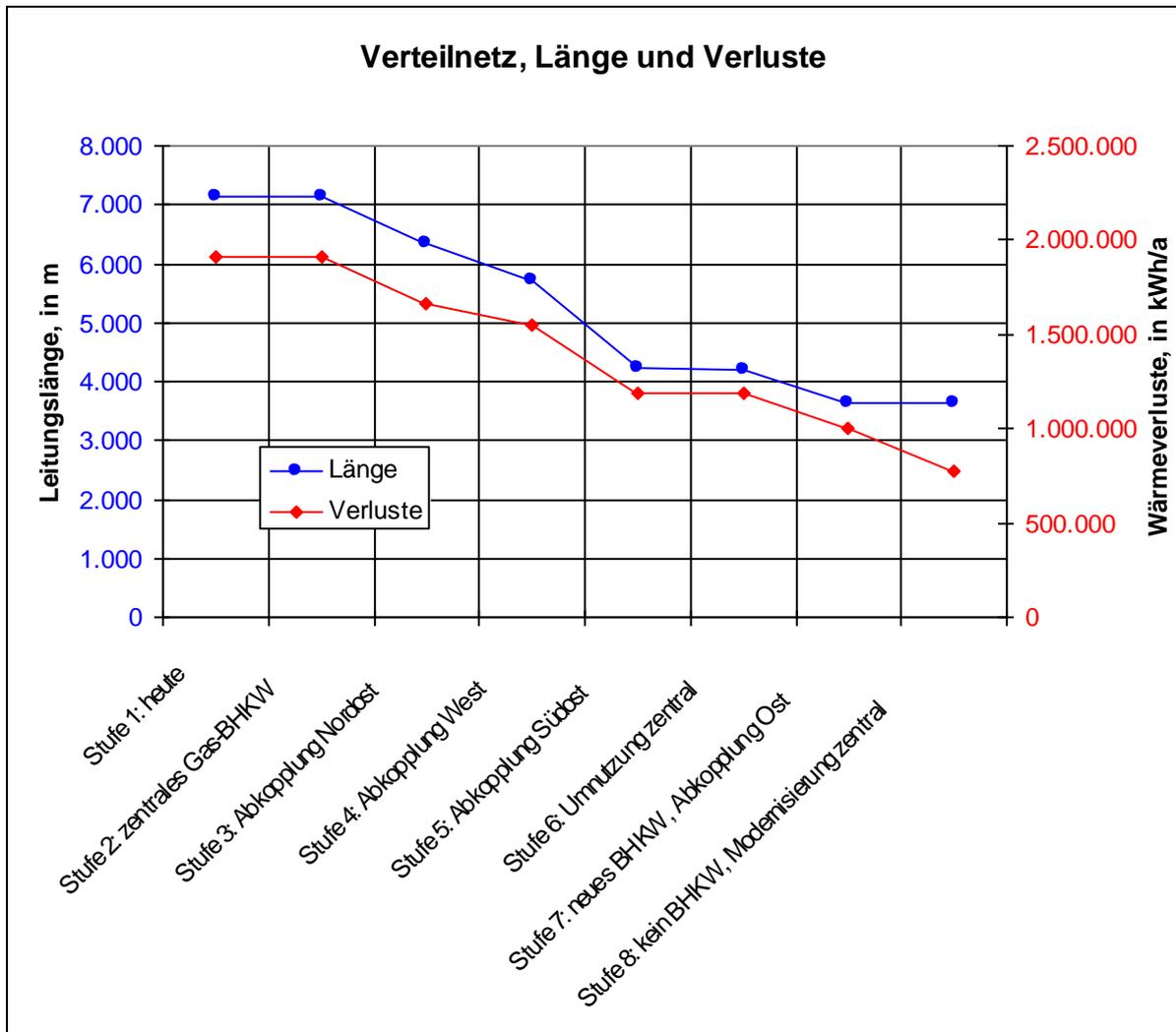


Bild 51 Szenario veränderte Nahwärmenetzstruktur

Die Netzlänge kann halbiert werden. Die Netzverluste werden um 54 % vermindert. Das Potential an eingesparten Netzverlusten liegt bei etwas über 1000 MWh/a. Das entspricht einem heutigen Gegenwert von 75.000 €/a – Gasbeheizung vorausgesetzt.

Allein diese vermiedenen Netzverluste eröffnen ein Investitionsvolumen verteilt über 30 Jahre von 1 bis 2 Mio. €, sofern die Energiepreise nicht steigen. Sonst das etwa 3 fache.

**Wenn dies bedacht wird, dann könnten allein über die Einsparungen durch vermiedene Netzverluste alle Investitionen in bessere bzw. geänderte Wärmeerzeugung und den Netzausbau aus dieser Einsparung refinanziert werden.**

### 6.5.2 Fazit und Schlussfolgerungen

Das Energiekonzept für Neuerkerode zeigt einen Weg der Dezentralisierung auf, wie durch sukzessiven Umbau der Wärmeversorgungsstruktur an der Peripherie der Liegenschaft sowie durch sinnvolle Investitionen in der Zentrale folgende Punkte erreicht werden können:

1. Eine Minderung des Ressourcenverbrauchs um etwa 50 %
2. Eine CO<sub>2</sub>-Einsparung von etwa 60 % - ohne Einrechnung von Solarthermie und ggf. zusätzlich erzeugtem regenerativ erzeugtem Strom,
3. Ein gesamtwirtschaftlicher Gebäudebetrieb durch modernisierte Objekte und erst nachfolgende Optimierung der Wärmeversorgung,
4. Eine auf mehrere Energieträger verteilte Versorgung mit daher gestreutem Risiko, welche einerseits das vorhandene Abwärmepotential der benachbarten Biogasanlage nutzt und andererseits ein Biomassebudget für Holz berücksichtigt.

Empfohlen wird bei heutigen Energieträgerkosten eine Dezentralisierung mit Wahl eines Holzkessels und Rückbau der heutigen Nahwärmeleitungen für die folgenden Gebäude: Lindenplatz, Sundern, Wabehaus, Tischlerei/Schlosserei, Wabeweg, Emmaus, Zoar, Wohnhaus I, Kaiserwald (bzw. das Ersatzgebäude an der Stelle des heutigen Kaiserwalds). Das Gebäude am Mohnmorgen soll gleich in dieser Art errichtet werden; also unter Abkoppelung vom Netz. Für die Gebäude Weidenweg undASSE soll dies künftig zumindest geprüft werden.

Wie vor, jedoch mit Wärmepumpe als dezentralem Erzeuger ergibt sich die Empfehlung für die Netzabtrennung für: die Kegelbahn, den Kindergarten, das Pfarrhaus.

Die Restgebäude verbleiben an der heutigen Zentrale, welche kurzfristig mit einem zusätzlichen Gas-/Biogas-BHKW ausgestattet werden. Wenn dieses künftig ersetzt wird, kann noch einmal ein kleineres BHKW eingesetzt werden. Hat auch dieses seine Lebensdauer erreicht, wird vermutlich kein Grundlastbedarf mehr (neben der Bioabwärmeeinspeisung) vorhanden sein, weil die Gebäudemodernisierung abgeschlossen ist.

Das wichtigste Fazit der vorliegenden Untersuchungen ist, dass es in Neuerkerode – unabhängig welche Wärmeerzeuger und Energieträger zentral eingesetzt werden – einen Rückbau des Netzes im Zuge von Gebäudemodernisierungen geben muss. Selbst bei einem derzeit sehr kostengünstigem Brennstoff wie Hackschnitzel für die Zentrale ergibt sich kein wirtschaftlicher Betrieb für die oben zur Dezentralisierung vorgeschlagenen Gebäude. Ökologisch ist der Netzbetrieb wegen der erhöhten Verluste sowieso zu vermeiden, es sei denn es wird Abwärme bei gleichzeitig möglichst geringen Verteilnetzverlusten genutzt – wie es in der Zentrale mit der Biogasabwärme der Fall ist.

Hinsichtlich der Gesamtausrichtung des Konzeptes wurde vorgeschlagen, für die Peripherie Holz und Strom und für die Zentrale Bioabwärme und Gas mit BHKW zu verwenden. Das erfordert einerseits wenige Umbauten in der Zentrale, streut die Energieträger breit zur Risikominderung und unter Beachtung des Biomassebudgets. Es ergibt geringere bis keine Netzverluste in der Peripherie und erlaubt eine optimale Nutzung der Bioabwärme. Andere und kurzfristig nicht vorhersehbare Entwicklungen können zu alternativen Lösungen führen, die in ihrer Wirtschaftlichkeit nicht weit vom nach heutigen Zahlen optimierten Ergebnis entfernt liegen.

Es gibt diverse Alternativkonzepte, die jedoch nicht jeweils alle diese Kriterien erfüllen.

Ein mögliches Alternativkonzept wäre die Verwendung von Holz, Bioabwärme und Gas in der Zentrale. Das erforderte dann jedoch in der Peripherie aus Gründen der Risikominimierung und zur Beachtung des Biomassebudgets den Einsatz von Öl oder Wärmepumpen – nicht wieder Holz. Für die Peripherie ist dies aus heutiger Sicht die zweitbeste Lösung. Für die Umbaumaßnahmen in den Heizzentralen der Peripherie ergeben sich fast vergleichbare Kosten. Allerdings ergäben sich größere Baumaßnahmen in der Zentrale, daher wurde diese Lösung aktuell nicht weiter untersucht.

## **Verallgemeinerungen**

Vor den Details zu einzelnen Gebäuden können die allgemeinen Erkenntnisse zusammengestellt werden, welche die Abkopplung von Gebäuden von der zentralen Nahwärme betreffen:

- Eine Abkopplung ist wirtschaftlich umso sinnvoller, je kleiner der Bedarf des Gebäudes im Verhältnis zu den Verteilnetzverlusten an das Erdreich ist. Daher ist die Abkopplung wirtschaftlicher, wenn die Gebäude modernisiert sind. Außerdem ist selbstverständlich der Rückbau langer Verteilleitungswege sinnvoll.
- Aus Sicht des Energiekostenniveaus ist ein Rückbau von Netzen sinnvoller, je teurer Energie ist. Daher ist der angenommene Fall: in der Zentrale und in den möglichen Inseln wird gleichermaßen (billiges) Holz verfeuert sehr konservativ gewählt. Hätte man teurere Energieträger – z.B. das heute in der Zentrale verfeuerte Gas – zugrunde gelegt, wäre für viele weitere Objekte die Empfehlung einer Separierung gefallen. Anders ausgedrückt: eine Netzabtrennung wurde nur empfohlen, wenn selbst mit dem sehr billigen Brennstoff Holz keine wirtschaftliche Betriebsweise gegeben war.
- Für die Versorgung der abgekoppelten Gebäude fiel die Wahl – nach der vom Auftraggeber festgelegten ersten Priorität – häufig auf den Energieträger Holz; hinsichtlich des Ressourcenverbrauchs wären häufiger eine Wärmepumpe oder andere Techniken mit anderen Energieträgern zum Einsatz gekommen.

Für die Zentrale konnte darüber hinaus festgestellt werden:

- wegen der ohnehin vorhandenen Bioabwärmenutzung wurde das Kerngebiet der Liegenschaft nicht weiter verkleinert, auch wenn noch weitere Gebäude wirtschaftlich hätten abgetrennt werden können
- Holz wäre auch in der Zentrale – unter derzeitiger Bewertung (Energieträgerkosten) – der wirtschaftlichste Energieträger gewesen, aber auch der mit dem höchsten Ressourcenverbrauch; Erdgas in Kombination mit einem BHKW lag in Neuerkerode wegen des vorhandenen Gasanschlusses an zweiter Stelle.



## 7 Weitere Versorgungsgebiete – Teilaspekte

Dieser Abschnitt betrachtet andere Versorgungsgebiete und die dort bearbeiteten Problemfelder der Energieversorgung mit Wärmenetzen. Tabelle 46 fasst die Aspekte inhaltlich strukturiert zusammen und gibt Hinweise auf die Unterkapitel, in denen Details besprochen werden.

	Art der Gebäude	Verlegung eines neuen Netzes für Nah- und Fernwärme	Vorhandensein eines Bestandsnetzes für Nah- und Fernwärme
Großes Versorgungsgebiet, z.B. Stadtviertel, Kleinstadt	Neubauten	Errichtung eines neuen Stadtviertels mit neuer Nahwärme, z.B. Hannover-Kronsberg, siehe Kapitel 7.3	ggf. Verdichtung durch Lückenbebauung mit neuen Einzelgebäuden und deren Netzanschluss
	Bestandsbauten	Errichtung einer neuen Nahwärme für Stadtviertel, z.B. in Wolfenbüttel, siehe Kapitel 7.4	Vorhandene Stadtviertel mit Bestandsbauten an Nahwärme.
Kleines Versorgungsgebiet, z.B. Siedlung, Dorf	Neubauten	Errichtung einer neuen Siedlung mit Nahwärme, z.B. Hannover "In der Rehre", siehe Kapitel 7.2	ggf. Verdichtung durch Lückenbebauung mit neuen Einzelgebäuden und deren Netzanschluss, siehe Kapitel 6: Beispiel Gebäude Mohnmorgen
	Bestandsbauten	Errichtung einer neuen Nahwärme in Bestandssiedlungen, z.B. Jühnde, siehe Kapitel 7.1	Vorhandene Siedlungen mit Nahwärme, z.B. Neuerkerode, siehe Kapitel 6

**Tabelle 46 Überblick der Fallunterscheidungen von Teilaspekten bei Nah- und Fernwärme**

### 7.1 Dorf Jühnde

#### 7.1.1 Untersucher Teilaspekt

Es gibt derzeit eine Vielzahl kommunaler und regionaler Energie- und Klimaschutzkonzepte [Energiebalance Endbericht 2009], die sich fast ausschließlich auf das Ziel einer weitgehend regenerativen Eigenversorgung konzentrieren. Auf die Themen Energieeinsparung und Effizienz als den ersten wichtigen Schritten der energetischen Gebäude- und Anlagenmodernisierung wird in diesen Konzepten – zu Unrecht – nur in Ausnahmefällen eingegangen.

Im hier untersuchten Beispiel des Dorfes Jühnde werden die Teilaspekte der Grundlastabnahme bei Biogasanlagen, Anschlussdichte an ein neu errichtetes Nahwärmenetz und Wirtschaftlichkeit bei kleinen Bestandsgebäuden näher beleuchtet. Ein Anschlusszwang an das vorhandene Nahwärmenetz ist in Jühnde nicht vorgesehen. Die mittlere Anschlussquote lag bei der Gründung bei ca. 40%, heute bei nahe 80%.

Die Erkenntnisse sind auf neu errichtete Wohngebäude im Niedrigenergiehaus- und Passivhausstandard übertragbar.

#### 7.1.2 Kurzbeschreibung und Kennwerte des Gebietes

Das Dorf Jühnde hat 800 Einwohner, neun landwirtschaftliche Betriebe, ca. 1300 ha landwirtschaftliche Nutzfläche und ca. 800 ha Wald. Die Energieversorgung des Bioenergiedorfs besteht aus einer Biogasanlage, einem Holzheizwerk und einem mit Heizöl befeuerten Not- bzw. Spitzenheizkessel. Ziel ist die langfristig vollständige Eigenversorgung mit Wärme und Strom. Die Investitionen lagen einschließlich der Hausübergabestationen und des Nahwärmenetzes bei 5,4 Mio. € für 140 angeschlossene Gebäude, d. h. fast 40.000 € je angeschlossenen Gebäude. Sie teilten sich wie folgt auf [Broschüre Bioenergiedörfer]:

- Biogas- und Stromproduktion: 2,9 Mio. €
- Wärmeerzeugung: 0,9 Mio. €
- Wärmeverteilung: 1,6 Mio. €

Nachfolgende Bilder zeigen schematisch den Energiemix sowie ein Datenblatt über die Anlagentechnik. Letzteres zeigt jedoch einige Unklarheiten über die tatsächliche Höhe der Nahwärmeverluste.

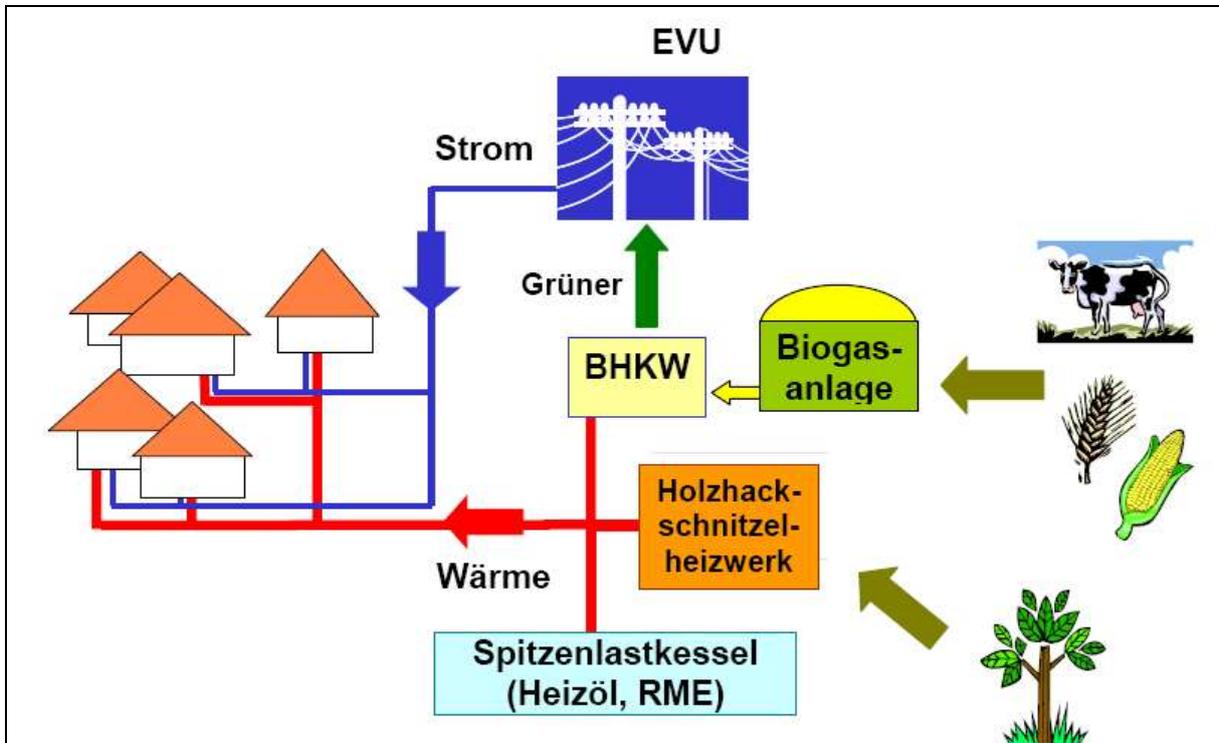


Bild 52 Energiemix in Jühnde [Ruwisch Bioenergiedörfer]

### Datenblatt Bioenergieanlage Jühnde

Biogasanlage	Biomasseheizwerk	Nahwärmenetz	Sonstiges
<p><b>Input:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>9.000 m<sup>3</sup> Gülle/a</li> <li>10.000 t NaWaRo/a (ca 200ha Anbaufläche) Weizen, Roggen Triticale, Mais, Sonnenblumen, etc</li> </ul> <p><b>Output:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>4.000.000 kWh Strom/a</li> <li>2.800.000 kWh Wärme/a</li> </ul> <p><b>Technik:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>700 kWel BHKW</li> <li>Fermenter 3.000m<sup>3</sup>, H=8m</li> <li>Zwischenlager Ø 34m V=4.800m<sup>3</sup>, H=6m</li> <li>Vorgrube 280 m<sup>3</sup></li> <li>Feststoffdosierung 1,5Tage</li> <li>Siloanlage V=7.200m<sup>3</sup></li> <li>Verweildauer ca. 60-120Tage</li> </ul>	<p><b>Input:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>1.800 srm Holz/a</li> </ul> <p><b>Output:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>1.500.000 kWh Wärme/a</li> </ul> <p><b>Technik:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>550kWth Holzofen (Treppenrostfeuerung)</li> <li>Lager 900srm Holz</li> <li>Spitzenlastkessel 1.5MW mit HEL</li> <li>Vorlagevolumen 3d</li> <li>Schornsteinhöhe 18m</li> </ul>	<p><b>Input:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>3.500.000 kWh/a</li> <li>ca 80Grad heißes Wasser ca 3,5 bar</li> </ul> <p><b>Output:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>3.200.000 kWh</li> </ul> <p><b>Technik:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>5.500m Leitung (3.500m Hauptleitung) Ø 2cm bis Ø 20cm</li> <li>Verlegetiefe 50-100cm</li> <li>direkte Hausübergabe</li> <li>Anschluss von ca. 135 Wärmekunden</li> </ul>	<p><b>Kosten</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Kosten Ca 5,2 Mio€</li> <li>Zuschuss ca 28%</li> <li>Wärmekosten 4,9Cent/KWh+ 500€ Grundgebühr/a; 1.000€Anschlussgebühr; 3 Anteile an eG à 500€</li> </ul> <p><b>Betrieb</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>1,4 direkte Arbeitsplätze</li> <li>Umsatz ca 800T€</li> <li>2/3 Strom</li> <li>1/3 Wärme</li> <li>3.300t CO<sub>2</sub> Einsparung/a</li> </ul> <p><b>Förderung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>BMVEL über FNR 1,3Mio€</li> <li>Land Niedersachsen, Landkreis Göttingen, Samtgemeinde Dransfeld, Gemeinde Jühnde</li> </ul>

Bioenergiedorf Jühnde eG / E F www.bioenergiedorf.de Stand: 15.08.2008

Bild 53 Datenblatt Versorgung Jühnde

Bei 3500 m Hauptleitung, die als Trassenlänge interpretiert wird, wären sehr viel höhere Verteilverluste zu erwarten als in Bild 53 dargestellt. Wahrscheinlich sind hier ohne Ermittlung der real abgegebenen Wärmemengen nur pauschale und dabei viel zu optimistische Verteilungsnutzungsgrade von ca. 10 % angenommen worden. Bei einer Wärmeabnahmeliniendichte von 636 kWh/(m·a) und einer geschätzten Wärmeleistungsliniendichte von 1,5 MW/3,5km = 0,43 MW/km müsste entsprechend den Auswertungen nach Bild 6 auf Seite 22 mit einem Verteilungsnutzungsgrad von ca. 70 % zu rechnen sein.

Bei Biogasanlagen ist möglichst ganzjährig eine der Biogas-BHKW-Abwärme entsprechende Abnahme durch die Verbraucher erforderlich. Das [EEWärmeG] fordert einen Mindestdeckungsanteil der Wärme aus einem hocheffizienten Biogas-BHKW von min 30%. Dies ist bei Bestandswohngebäuden kaum der Fall, da der Warmwasseranteil bei hier nur typisch 17 ... 20 % liegt. Bei Neubausiedlungen sind die Voraussetzungen für einen ganzjährig hohen Wärmeabnahmesockel durch den hohen Warmwasseranteil besser; dagegen ist die Anschlussdichte in Neubausiedlungen mit kleineren und mittleren Wohngebäuden meist viel zu gering, so dass der Anteil der Verteilnetzverluste drastisch zunimmt.

Ein zulässiger Anteil der Verteilnetzverluste von 40%, wie von einigen Befürwortern aus dem Biogas- und Holzsektor für KWK-Anwendungen gefordert, wird als zu hoch und nicht akzeptabel eingeschätzt. Er rührt sicherlich aus der oben beschriebenen Stromgutschriftmethode, die bei regenerativen Biomassebrennstoffen für KWK fast beliebig hohe Verteilnetzverluste zulässt.

### **7.1.3 Erläuterungen und Problemlösung**

Die Anschlussdichte im Dorf Jühnde ist bereits heute für die Bestandsgebäude zu gering, um einen wirtschaftlichen Betrieb zu gewährleisten. Angenommen wird, dass die Kosten für einen Anschluss an das Nahwärmenetz der Größenordnung von 5000 € eines Kesseltauschs entsprechen müsste.

Weiterhin ist für jeden Interessenten die Beteiligung an der Betreibergesellschaft gefordert: dies erzeugt Grundkosten, die bei der ursprünglichen (mehrheitlich vorhandenen) Ölversorgung nicht vorhanden waren. Demgegenüber steht ein angeblicher Gewinn durch Heizkosteneinsparung und durch eine jährlich ausgeschüttete Dividende.

Die in Bild 54 zusammengefassten und nachfolgend dargestellten Vorteile sind aus Sicht der Verfasser teilweise "aus der Luft" gegriffen und nicht belegbar.

Bei einem angesetzten jährlichen Grundbetrag von 500 €, einem Wärmepreis von 0,075 €/kWh Nahwärmebezug sowie einmaligen Umstellkosten und Anschlussgebühren von 5000 € scheidet das Konzept aus Sicht der Autoren, sobald bei einem Niedrigenergiehausstandard der aus Einmalkosten und jährlichem Grundbeitrag sich ergebende Grundpreis je kWh zu hohe Werte annimmt; und dies wäre bereits bei einem Niedrigenergiehausstandard mit vergleichbar 1000 ... 1500 l/a Heizölverbrauch als Endenergieverbrauch der Fall.

## Vorteile der Nutzung von Bioenergie

### Energieversorgung

- Versorgungssicherheit
- Unabhängigkeit

### Land- und Forstwirtschaft

- Einkommensalternative
- Stabilisierung von Erzeugerpreisen
- Regionale Vermarktung

### Wirtschaft

- Regionale Wertschöpfung
- Arbeitsplatzsicherung
- Stärkung des ländlichen Raumes

### Umwelt und Soziales

- Klimaschutz
- Zukunftssicherung für die nachfolgenden Generationen

Fazit: Es ist noch ein steiniger Weg bis zur Realisierung, aber es lohnt sich ihn zu gehen!

Bild 54 Vorteile der Nutzung von Bioenergie [Bioenergietag Thüringen 2007]

## 7.2 Siedlung Hannover "In der Rehre"

### 7.2.1 Untersucher Teilaspekt

Das Neubaugebiet "In der Rehre" ist überwiegend in Passivhausbauweise geplant worden. Die Ostfalia-Hochschule war im Jahr 2004 durch einen studentischen Wettbewerb zusammen mit der Uni Hannover partiell an dem Projekt beteiligt. Der hier untersuchte Teilaspekt liegt in der Fragestellung: "Lassen sich zukünftige Neubauten auf Passivhausniveau" energetisch und damit ressourcenschonend an Nahwärmenetze anschließen?

Die Antwort kann schon an dieser Stelle gegeben werden und ist kurz und einfach: in der Planung wurde von vornherein eine Nahwärmeversorgung ausgeschlossen. Trotzdem soll das Beispiel kurz vertieft werden.

### 7.2.2 Kurzbeschreibung und Kennwerte des Gebietes

Nachfolgend finden sich Auszüge aus der Konzeptbeschreibung zur Passivhaussiedlung "In der Rehre" in Hannover [pro Klima 2003].

"Ziel ist es, Passivhäuser zu errichten, wofür der Wärmeschutz erheblich über dem gesetzlich vorgeschriebenen liegen muss. Dies wird erreicht durch eine ca. 30 cm starke Wand- und eine ca. 40 cm starke Dachdämmung, optimierte Fensterrahmen und -gläser, optimale Luftdichtigkeit und eine Wärmerückgewinnung aus der verbrauchten Luft für die Frischluft des Hauses.

## Wärmeversorgung

Wegen der zu erwartenden lockeren Bebauung und des geringen Heizenergieverbrauches der Passivhäuser ist ein Nahwärme- oder Gasnetz für die gesamte Klimaschutzsiedlung aus ökonomischen und ökologischen Gründen nicht sinnvoll, nur die gemeinsame Versorgung einer oder mehrerer Reihenhauszeilen kann sinnvoll sein.

Die freistehenden Einfamilienhäuser werden in der Regel mit einer elektrisch betriebenen Wärmepumpe beheizt. Sie emittieren noch ca. 660 kg CO<sub>2</sub>/a, wenn sie mit dem von den Stadtwerken angebotenen "Standard"-Strommix betrieben werden. Wenn dagegen der 3,3 Cent/kWh teurere Ökostrom-Mix zum Einsatz kommt – was die Heizungskosten nur um 33 Euro/Jahr teurer machen würde - würden die Emissionen sogar auf ca. -12 kg<sup>1</sup> CO<sub>2</sub>/a gesenkt, eine attraktive Variante für ökologisch besonders Interessierte, die elektrische Wärmepumpen bisher kritisch gegenüber stehen.

Als Alternative kommen für speziell daran interessierte Hauseigentümer Holzpelletkessel in Frage, für Passiv-EFH sind erst wenige geeignete Geräte am Markt zu finden.

Bei der Reihenhausbebauung sollte angestrebt werden, für die erforderliche Zusatzheizung Wärme-Strom-kombinierte Systeme (BHKWs) mit regenerativen Kraftstoffen (Pflanzenöl oder Biogas) zu errichten. So können in der Klimabilanz sogar Gutschriften von 170 ... 1.500 kg CO<sub>2</sub>/a pro Wohneinheit erwirtschaftet werden, die zur Kompensation der Emissionen durch Haushaltsstrom und Verkehr verwendet werden können.

Pflanzenöle als Antriebsenergie stehen auf dem Markt zur Verfügung und eine Vor-Ort-Pflanzenöl-Tankstelle könnte auch zur Emissionsreduzierung im Verkehrsbereich eingesetzt werden. Bei Biogas käme evt. eine Beteiligung an dem in der Region Hannover geplanten Biomasse-Projekt in Frage, wo das erzeugte Gas in das Gasnetz eingespeist werden könnte, während eine entsprechende Menge aus dem Hannoverschen Gasnetz entnommen würde (analog zur Durchleitung von regenerativem Strom).

Nach den Erfahrungen am Kronsberg kommt der Einsatz von semizentralen BHKWs jedoch nur in Frage, wenn es gelingt ohne Nahwärmesatzung für Bau und Betrieb einen Contractor zu gewinnen. Die Wärmelieferung wäre entsprechend vertraglich (sowohl im städtebaulichen Vertrag als auch in den Grundstücksverträgen) zu regeln.

Zur Warmwasserbereitung sollten thermische Solaranlagen dienen, die mindestens 60 % des Jahresbedarfes abdecken, es sei denn, bei den Reihenhäusern kommen BHKW-Heizzentralen mit regenerativen Brennstoffen zum Einsatz. Dort verringert eine Solaranlage die regenerative Stromerzeugung und beeinträchtigt damit die Wirtschaftlichkeit und positive Umweltwirkung des BHKWs.

Eine Kaltwasservorwärmung mit den Abwässern aus Küche und Bad (ohne WC) (zurzeit noch keine Standardlösung) könnte den Energieverbrauch für die Warmwasserbereitung um 40 % verringern.

---

<sup>1</sup> durch die teilweise Verwendung von Strom aus BHKW-gekoppelten Biogasanlagen im Öko-Strom-Mix ergibt sich eine CO<sub>2</sub>-Gutschrift, die zu einem negativen Wert führt

## Haushaltsstrom

Der durchschnittliche Haushaltsstromverbrauch liegt in Deutschland bei 32 kWh/m<sup>2</sup>a für einen Haushalt ohne E-Heizung und elektrischer Warmwasserbereitung. Für einen 120 m<sup>2</sup>-Haushalt sind dies 3840 kWh/a. Durch die Verwendung der marktbesten Geräte lässt sich der Verbrauch um 50 % reduzieren. Außerdem lässt er sich durch weitere Maßnahmen verringern wie:

- Warmwasseranschluss für Wasch- und Spülmaschinen
- Gasherde statt E-Herde, die aus Flüssiggasflaschen versorgt werden (später vielleicht Biogas)
- Einbau von Trockenschränken statt Wäschetrockner

Die Ausstattung der Haushalte kann schlecht vorgegeben werden, deshalb sollte eine intensive Stromsparkampagne bereits bei den Bauinteressenten durchgeführt werden. Bei Bezug eines neuen Hauses wird oft auch eine neue Küche angeschafft, diese Chance sollte intensiv genutzt werden.

Es ist jedoch zu erwarten, dass oft noch suboptimale Altgeräte weiter verwendet und auch nicht alle Vorschläge genutzt werden, deshalb ist von einem Durchschnittsstromverbrauch pro Haushalt von 2200 kWh/a auszugehen (inkl. Strom für Haustechnik, außer Wärmepumpe). Dies entspricht den Erfahrungen in der Passivhaussiedlung am Kronsberg mit 18,1 kWh/m<sup>2</sup>a = 2172 kWh/Haushalt und daraus ergibt sich eine Treibhausgasemission von 1650 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalent, wenn das CO<sub>2</sub>-Äquivalent von 750 g/kWh für Hannover zugrunde gelegt wird."

## 7.3 Stadtteil Hannover Kronsberg

### 7.3.1 Untersucher Teilaspekt

Im Zeitraum 1999 bis 2001 wurden im Rahmen der EXPO 2000 auf dem Kronsberg in Hannover überwiegend Mehrfamilienhäuser im Niedrigenergiehaustandard (2890 Wohnungen mit 211.000 m<sup>2</sup> Wohnfläche, 6475 Einwohner) und einige Häuser im Passivhausstandard erstellt. Die Autoren waren im Rahmen mehrerer Projekte in der Planung und bei der Qualitätssicherung der anlagentechnischen Ausführung beteiligt.

Hier sollen die Teilaspekte Netzverluste, Wirtschaftlichkeit und energetische Ressourcenschonung beim Einsatz von Nahwärmesystemen in Neubausiedlungen mit hohen energetischen Standards, aber auch gleichzeitig hoher Anschlussdichte vertieft behandelt werden.

### 7.3.2 Kurzbeschreibung und Kennwerte des Gebietes

Die Mustersiedlung Hannover Kronsberg wurde von der Stadt Hannover mit dem Ziel erstellt, gegenüber üblicher Bauweise nach der Wärmeschutzverordnung 1995 etwa 45% bezogen auf den Heizenergieverbrauch und bezogen auf den Gesamtenergieverbrauch im Wohnbereich (Raumwärme, Warmwasser, Strom) 60% (mit Windkraft ca. 80%) an CO<sub>2</sub>-Emissionen einzusparen. Das Ziel wurde fast erreicht, wie Studien des [ifeu 2003] zeigen.

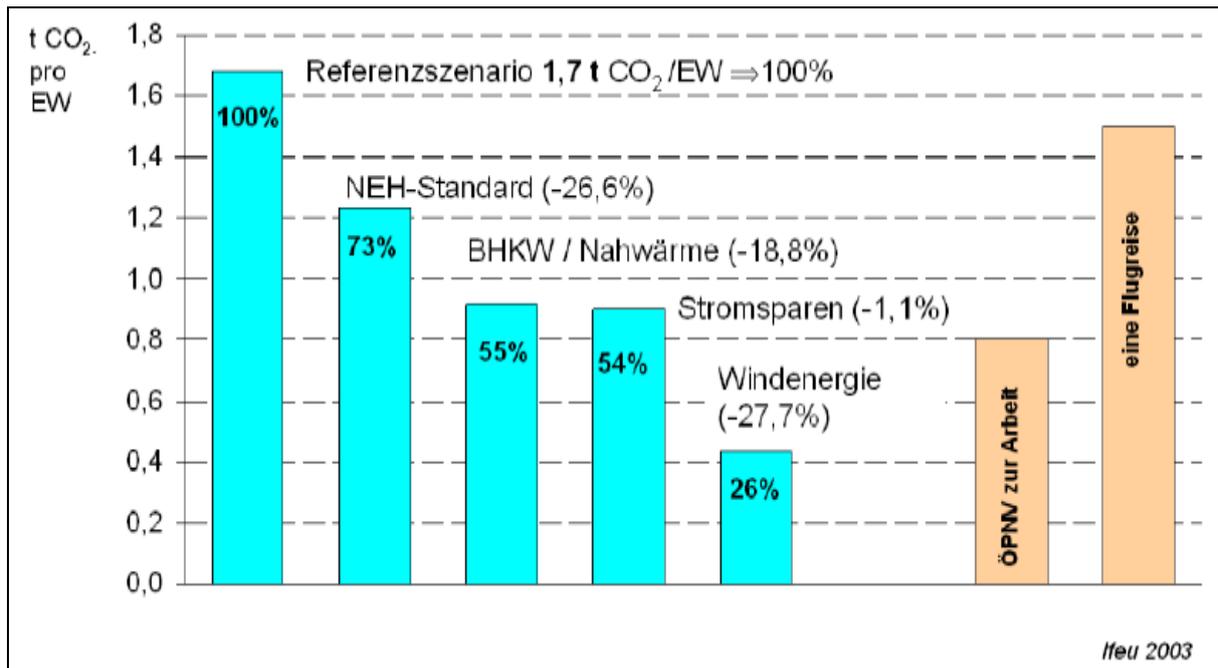


Bild 55 CO<sub>2</sub>-Minderung pro Einwohner [ifeu 2003]

Das Energiekonzept für das Neubaugebiet Hannover-Kronsberg besteht aus den drei Bausteinen:

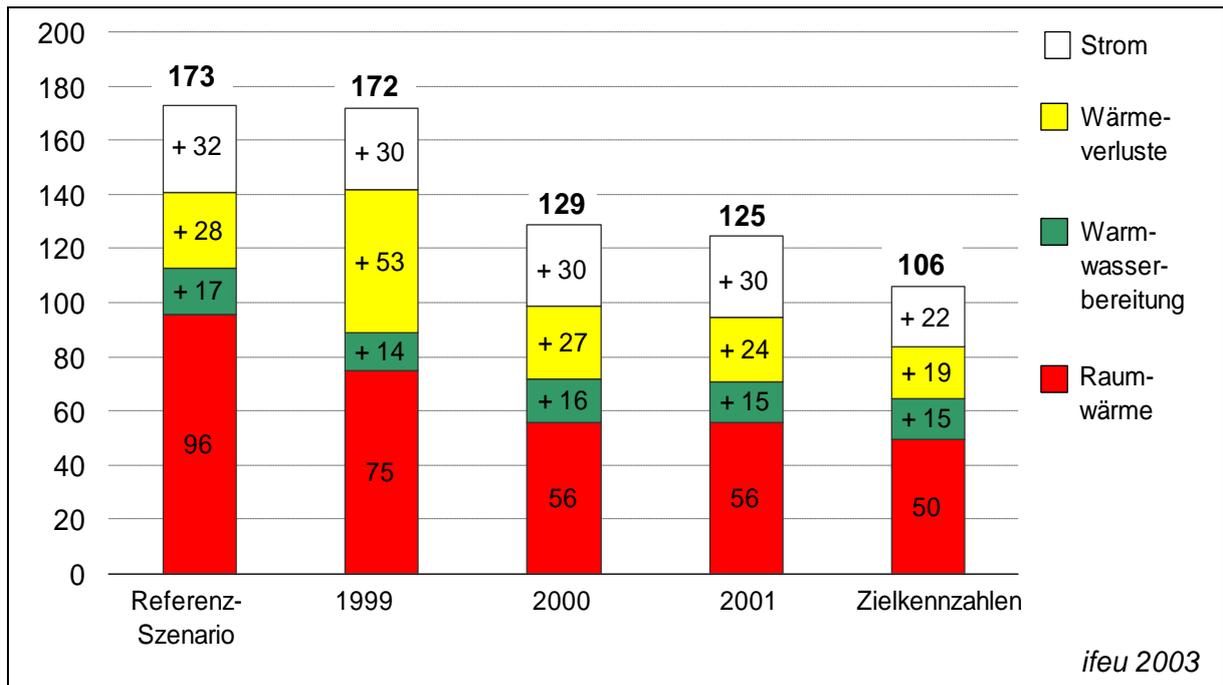
- Niedrigenergiehausbauweise mit Qualitätssicherung und Qualifizierung
- Nahwärmeversorgung mit BHKWs
- Stromsparprogramm

Die Versorgung der Gebäude erfolgt über ein Nahwärmenetz aus zwei Energiezentralen (Stadtwerke Hannover und Getec) mit Gas-BHKWs und Gas-Spitzenlastkesseln. Die nachfolgenden Kennwerte zeigen ein sehr positives Beispiel für eine ökologisch und ökonomisch sinnvolle Nahwärmeversorgung auch von Niedrigenergiehäusern mit hohem Wärmeschutzstandard.

Die Niedrigenergiehaus-Mehrfamilienhäuser weisen folgende gemessenen Nutz- und Verlustkennwerte auf [Ifeu 2003]:

- |  |                             |
|--|-----------------------------|
| ▪ Nutzwärme Raumheizung:               | 56 kWh/(m <sup>2</sup> a)   |
| ▪ Nutzwärme Trinkwarmwasser:           | 15 kWh/(m <sup>2</sup> a)   |
| ▪ Verluste Heizwärmeverteilung:        | 4,9 kWh/(m <sup>2</sup> a)  |
| ▪ Verluste Verteilung/Speicherung TWW: | 10,8 kWh/(m <sup>2</sup> a) |
| ▪ Verluste Nahwärmenetz:               | 8,6 kWh/(m <sup>2</sup> a)  |

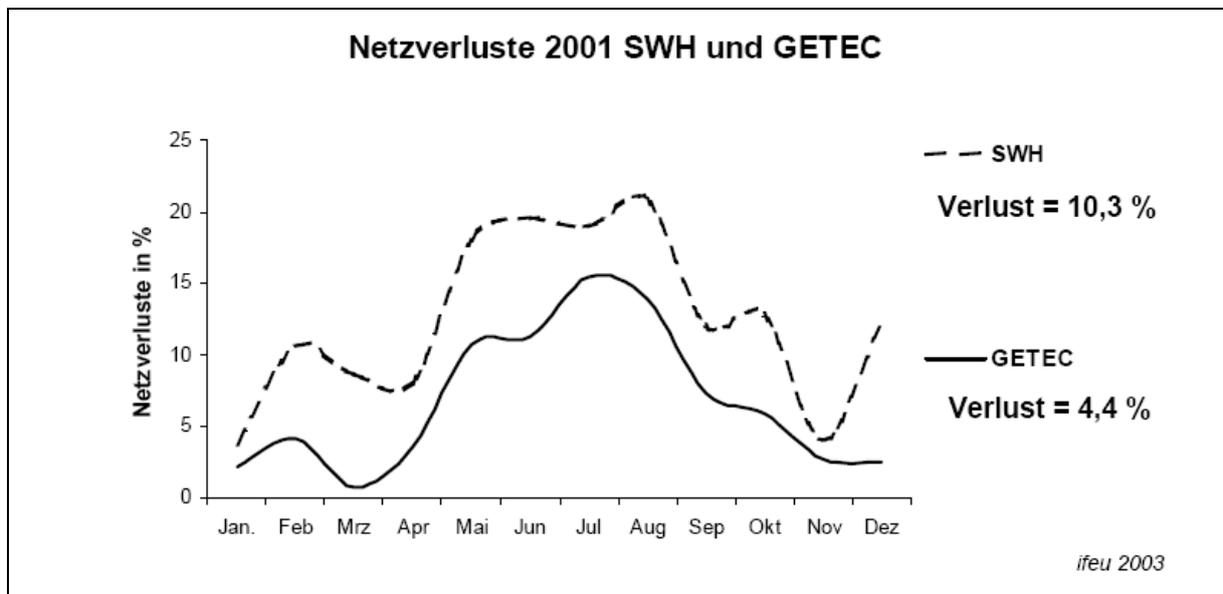
Nachfolgendes Bild 56 zeigt die Darstellung der Gesamtenergiekennzahlen für Strom, Wärmeverluste, Raumwärme und Warmwasser in den Gebäuden, jedoch ohne die Netzverluste des Nahwärmenetzes.



**Bild 56 Entwicklung der Gesamtenergiekennzahlen [ifeu 2003]**

Die Anschlussdichte ist so hoch, dass die nutzflächenbezogenen Nahwärmeverteilverluste mit 8,6 kWh/(m<sup>2</sup>a) nur etwa 25 % des auch langfristig einsetzbaren Biomassebudgets von 35 kWh/(m<sup>2</sup>a) betragen. Eine sinnvolle Grenze der nutzflächenbezogenen Nahwärmeverteilverluste wird bei Einsatz von KWK bei ca. 10 ... 15 kWh/(m<sup>2</sup>a) gesehen.

Nachfolgendes Bild 57 zeigt die über das Jahr unterschiedlichen Werte für den Verteilverlust in den Netzen der beiden Versorgungsunternehmen GETEC und Stadtwerke Hannover.



**Bild 57 Netzverluste Kronsberg 2001 [ifeu 2003]**

Die Nahwärmekosten als warme Mietnebenkosten lagen und liegen auch heute noch in vergleichbarer Höhe wie die Fernwärmekosten bei Bestandsgebäuden in der Innenstadt von Hannover. Die spezielle, nur am Kronsberg gewählte Aufteilung eigener Grund- und Arbeitspreise für den Nahwärmebezug liefert für Mieter und Eigentümer am Kronsberg keine wesentlich verminderten Heizkosten gegenüber der Versorgung in Bestandsgebäuden mit doppelt bis dreifach so hohem Wärmebedarf.

### **7.3.3 Erläuterungen und Problemlösung**

Lokale Probleme am Kronsberg: bei Recherchen zur Nahwärmeversorgung fand sich eine Internetseite, die von fünf betroffenen Eigentümern einer neu gebauten Einzelhaussiedlung am Kronsberg erstellt worden ist (<http://www.kronsberg-bauen.de/>)

Die fünf nachträglich neu erstellten Häuser sind an eine gemeinsame Übergabestation angeschlossen. Bei einer mittleren Wärmeabnahme von 12.000 kWh/a in den Einzelhäusern betragen die mittleren vom Versorger Stadtwerke Hannover bezogenen und abgerechneten Fernwärmemengen 16.320 kWh/a. Allein auf den Verteilleitungen zwischen Übergabestation und Hauseinspeisung ergeben sich also Verluste von 36% bezogen auf die Nutzwärmeabgabe bzw. auf die bezogenen und zu bezahlenden Nahwärmemengen.

Die Nahwärmekosten lagen und liegen aufgrund des hohen spezifischen Nahwärmegrundpreises höher als bei konventioneller Fernwärmeversorgung in Innenstadtgebieten. Nur bei hoher Anschlussdichte, d. h. im mehrgeschossigen Wohnbau stellen sich sowohl energetisch optimierbare als auch wirtschaftliche Rahmenbedingungen für ein Nah-/Fernwärmeversorgung ein. Ähnlich wie in Bioenergiedörfern mit Nahwärmenetzen ist bei Neuanschluss von kleineren Niedrigenergiehäusern in Gebieten von sonst hoher Abnahmedichte für den Endkunden eine Wirtschaftlichkeit nur durch eine entsprechende Tarifanpassung des Versorgungsunternehmens möglich; aber wie sollte diese aussehen? Der Grundpreis müsste vollständig entfallen, der Fernwärmearbeitspreis müsste deutlich unter dem Preis konventioneller Brennstoffe liegen.

## **7.4 "Ahlumer Siedlung" in Wolfenbüttel**

### **7.4.1 Erläuterungen und Problemlösung**

Die Wolfenbütteler Baugesellschaft (WoBau) wurde 1934 gegründet und befindet sich mehrheitlich im Eigentum kommunaler Gesellschafter. Eines der durch die WoBau verwalteten Wohngebiete ist die Ahlumer Siedlung im Nordosten von Wolfenbüttel.

Die in zwei Masterarbeiten untersuchte Wohnsiedlung der Wolfenbütteler Baugesellschaft "Ahlumer Siedlung" besteht aus insgesamt 69 Gebäuden der Baujahre zwischen 1955 bis 1973. Diese Gebäude wurden unter Berücksichtigung unterschiedlicher Kriterien in 8 Gruppen unterteilt, um Gebäude gleichen Typs zusammenzufassen. Merkmale und Unterteilung sind der nachfolgenden Tabelle 47 zu entnehmen:

Typ	Anzahl Gebäude	Eigenschaften/Merkmale	Mittlerer Verbrauch der Gruppe in kWh/m <sup>2</sup> a auf A <sub>Wohn</sub>	Mittlere Wohnfläche in m <sup>2</sup>	Gebäude
A	11	Dreierblöcke mit 3 Etagen 18 Wohneinheiten	180,1	1137,5	Kiefernweg 12 – 16
B	1	Zweierblock mit 3 Etagen 12 Wohneinheiten	173,5	828,2	Fichtendamm 14 – 16
C	5	Zweierblöcke mit 3 Etagen 12 Wohneinheiten	196,7	772,1	Lärchenweg 5 – 7
D	6	Zweierblöcke mit 3 Etagen 12 Wohneinheiten	218,9	726,1	Akazienstraße 1 – 3
E	7	Freistehende Gebäude mit 3 Etagen 6 Wohneinheiten	180,9	331,5	Wacholderweg 9
F	2	Freistehende Gebäude mit 3 Etagen 6 Wohneinheiten	138,6	387,0	Lärchenweg 9
G	1	Zweierblock mit 3 Etagen 9 Wohneinheiten	188,4	716,6	Fliederkehre 6 – 6a
H	1	Freistehendes Gebäude mit 3 Etagen 6 Wohneinheiten	216,1	505,7	Akazienstraße 9a

**Tabelle 47 Gebäudetypen im Bestand der Ahlumer Siedlung [Master Eikenloff]**

#### 7.4.2 Untersuchte Teilaspekte

Hier sollen die Teilaspekte Netzverluste, Wirtschaftlichkeit und energetische Ressourcenschonung beim nachträglichen Aufbau eines Nahwärmenetzes mit mittelgroßem BHKW in einer vorhandenen Siedlungsstruktur mit Bestandsgebäuden und mittlerer Abnahmedichte behandelt werden. Gleichzeitig können die Einflüsse der Netzdammmqualität auf das Ergebnis herausgearbeitet werden.

Ein interessanter Nebenaspekt ergab sich aus der vergleichenden Verbrauchsauswertung der Gebäude mit wohnungsweiser (Etagen-)Heizung und der bereits auf Zentralheizung umgestellten Gebäude: die Endenergiemengen waren für beide Fälle in der gleichen Größenordnung.

#### 7.4.3 Kurzbeschreibung und Kennwerte des Gebietes

Im Vordergrund der durchgeführten Studie stand die Art der Versorgung im Hinblick auf den Aufstellort des Wärmeerzeugers. Im direkten Vergleich standen die wohnungszentrale und die gebäudezentrale Aufstellung, da die WoBau bereits große Teile des Bestands von Etagenheizungen in Gebäudeheizräumen zentralisiert hat. Alternative Lösungen waren weiterhin Inselheizzentralen für zusammengestellte Gebäudegruppen und eine Siedlungsheizzentrale mit Nahwärmenetz.

Für den Vergleich der Energieverbrauchswerte zwischen wohnungs- und gebäudezentraler Wärmeversorgung ergab sich aus den Verbrauchswerten ein nahezu ausgeglichenes Verhältnis. Im untersuchten Gebiet wurden bereits 38 Gebäude von Etagenheizung auf Zentralheizung umgestellt und 31 Gebäude wiesen noch die vorangegangene Etagenheizung auf, wobei die Standorte der jeweiligen Gebäude innerhalb der Siedlung stark durchmischt waren.

Neben dem quantitativen Gleichgewicht der dezentralen und zentralen Anlagen ergab sich auch aus energetischer und finanzieller Sicht ein qualitatives Gleichgewicht. Der Endenergiebedarf beider Varianten war nahezu gleich, da sich die höheren Erzeugerverluste der Etagenheizung gegenüber den zusätzlichen Verlusten von Wärmespeicherung und Verteilung einer Zentralvariante annähernd ausglich. Folglich galt gleiches parallel für die Energiekosten. Auch die Investitions- und Wartungskosten wiesen einen ähnlichen Aufwand auf, da den Instandsetzungskosten der Gasleitung einer Etagenheizung die Neuverlegung der Zentralverrohrung für Heizung und Warmwasser gegenüberstanden.

Ein weiterer Aspekt gegen die geplanten Zentralisierungen war der Kostenpunkt aus Perspektive der Mieter, die bei Zentralisierung nahezu gleich bleibende Kosten für Endenergie zu zahlen hatten, jedoch weitere Kosten für die erforderliche Heizkostenverteilung zu entrichten hatten.

### **Untersuchung von KWK-Varianten mit BHKWs**

Im Zuge der Studien wurden Varianten mit KWK analysiert, wobei die Gebäude einzeln oder über ein Nahwärmenetz versorgt werden, das entweder aus einzelnen Inselheizkraftzentralen oder einer Siedlungsheizkraftzentrale besteht, die neben der Wärmelieferung mittels KWK auch Strom produzieren sollen.

Seitens der WoBau wurden zur weiterführenden Untersuchung die Ergebnisse aus Energieverbrauchsausweisen für jedes Gebäude bereitgestellt. Für die gesamte Ahlumer Siedlung ergibt sich ein witterungskorrigierter Endenergieverbrauch inkl. der Warmwasserbereitung von 4.918.450 kWh/a bei einer beheizten Wohnfläche von insgesamt 25.875,85 m<sup>2</sup>. Der daraus resultierende Kennwert lautet 190,1 kWh/m<sup>2</sup>a.

Da die zu erstellenden Varianten die Nutzung von Kraft-Wärme-Kopplung einbeziehen, sind die vorliegenden Verbräuche so aufzuteilen, dass die einzusetzenden BHKW auf die erforderliche Grundlast in Form der Warmwasserbereitung und ggf. Verteilverlusten des Nahwärmenetzes ausgelegt werden können.

Da bereits in einer vorangegangenen Studie belegt wurde, dass die Endenergieverbrauchswerte unabhängig vom Standort des Wärmeerzeugers annähernd gleich sind, kann die Aufteilung des Gesamtverbrauchs an Endenergie in Anteile zur Raumheizung und Warmwasserbereitung stellvertretend für alle Gebäude anhand einer allgemeinen Mittelwertbildung durchgeführt werden.

Um die Bilanz für die Errichtung eines gebäudezentralen BHKW für die gesamte Siedlung des Projekts vergleichbar zu halten, erfolgt die Berechnung auf Grundlage eines fiktiven Gebäudes anhand der bestimmten Mittelwerte, siehe Tabelle 48.

<b>Mehrfamilienhaus</b>	
Wohneinheiten:	6
Wohnfläche:	381,5 m <sup>2</sup> <sub>wohn</sub>
Nutzwärmebedarf Warmwasser:	15 kWh/m <sup>2</sup> <sub>wohn</sub> a
Nutzwärmebedarf Raumheizung:	107 kWh/m <sup>2</sup> <sub>wohn</sub> a
Verteilverluste Heizung:	15 kWh/m <sup>2</sup> <sub>wohn</sub> a
Verteil- und Speicherverluste Warmwasser:	11 kWh/m <sup>2</sup> <sub>wohn</sub> a

**Tabelle 48 Durchschnittliches Mehrfamilienhaus der Ahlumer Siedlung**

Um ein BHKW wirtschaftlich betreiben zu können, sollte eine möglichst hohe Auslastung und somit eine hohe Laufzeit vorliegen. Aus diesem Grund ist es sinnvoll, die Auslegung auf eine ganzjährig vorliegende thermische Grundlast auszurichten.

### **Gebäudeweise BHKWs**

Für ein wärmegeführtes Klein-BHKW je Gebäude wäre nur eine Wärmeleistung von 1,13 kW erforderlich. Das derzeit am Markt kleinste verfügbare Modul weist eine thermische Leistung von minimal 5,5 kW auf. Das bedeutet, dass ein wirtschaftlicher Betrieb in dieser Konstellation heute noch nicht sinnvoll ist.

### **Insel-Heizkraftwerke**

Da der Betrieb gebäudezentraler BHKW aufgrund zu geringer Grundlast ein unwirtschaftliches Resultat hervorbringen würde, liegt es nahe, die Grundlast durch einen Mehrfamilienhaus-Verbund zu erhöhen. Die günstige Anordnung der Gebäude innerhalb der Siedlung ermöglicht die Zusammenführung einzelner Cluster und den Betrieb einzelner Insel-Heizkraftwerke. Auf diese Weise entstehen 8 unterschiedlich große Inseln mit einer thermischen Leistung von zusammen 164 kW und einer elektrischen Leistung von 63 kW

Je nach Qualität der Dämmung des Verteilnetzes liegen die Verteilnetznutzungsgrade zwischen 83 und 93%, entsprechend wohnflächenbezogenen Verteilnetzverlusten zwischen 10 und über 30 kWh/(m<sup>2</sup> a).

### **Siedlungsheizkraftwerk**

Eine weitere Alternative zur Insellösung stellt die Errichtung eines Heizkraftwerkes zur Versorgung der gesamten Siedlung dar. Dabei werden die Inselübergabepunkte wie zuvor belassen und durch die neue Zentrale gespeist, da die Knotenpunkte innerhalb der zuvor gebildeten Inseln sehr günstig liegen. Für die thermische Leistung ergeben sich je nach angenommener Dämmqualität des Netzes Werte zwischen 140 und 188 kW, für die elektrische Leistung zwischen 60 und 82 kW.

Je nach Qualität der Dämmung des Verteilnetzes liegen die Verteilnetznutzungsgrade zwischen 79 und 86%, entsprechend wohnflächenbezogenen Verteilnetzverlusten zwischen 20 und über 40 kWh/(m<sup>2</sup> a).

### **Zusammenfassung – Energiebilanzen WoBau**

Nach der in den Arbeiten angewandten Stromgutschriftmethode ist aus energetischer Sicht jede Art des KWK-gestützten Nahwärmenetzes sinnvoll einsetzbar. Aus den Ergebnissen ist ersichtlich, dass die Varianten mit geringeren Netzverlusten der Nahwärme selbstverständlich zu favorisieren sind.

Allerdings zeigt der Vergleich von Varianten gleicher Dämmqualität der Nahwärmenetze, dass Insel- und Siedlungsvariante dicht bei einander liegen – das Siedlungsheizkraftwerk sogar nach der Stromgutschriftmethode besser abschneidet. In diesem Fall wurden die höheren Verluste des Nahwärmenetzes durch eine höhere Stromgutschrift kompensiert, da BHKWs mit höherer Leistung meist größere Stromkennzahlen aufweisen.

Der maßgebliche Planungsschwerpunkt liegt demzufolge in einem ausgewogenen Verhältnis von geringen Netzverlusten und einem guten Verhältnis zwischen erzeugter BHKW-Wärme und erzeugtem Strom. Allerdings birgt das bei einem noch nicht existierenden KWK-Nahwärmenetz die größte Schwierigkeit, denn je geringer die Verteilverluste des Nahwärmenetzes ausfallen, desto kleinere Grundlasten ergeben sich zur Auslegung des BHKW. Es besteht ein direkter Zusammenhang zwischen Verlusten des Nahwärmenetzes und Auswahl der zu installierenden BHKW.

### **Wirtschaftlichkeit**

Es zeigt sich, dass alle KWK-Varianten gegenüber dem Bestand mit Erneuerung der Kessel einen enormen Investitionsbedarf aufweisen, der sich durch die Einspeisung des erzeugten Stroms und etwaige Zuschüsse und Förderungen kaum decken lässt. Es zeigt sich weiter, dass zu heutigen Preiskonditionen keine Variante wirtschaftlich ist. Erst im langfristigen Mittel der kommenden 30 Jahre kann in den Varianten mit Siedlungsheizkraftwerk ein wirtschaftliches Ergebnis erzielt werden.

## **7.5 Stadt Braunschweig**

In diesem Beispiel handelt es sich um Fragen zur Erweiterung eines Fernwärmenetzes in der Stadt Braunschweig. Grund ist die Erstellung eines neuen mit Erdgas betriebenen GUD-Heizkraftwerkes, das zusätzlichen Strom des Versorgungsunternehmens BS Energy produzieren soll. Für diese seitens der Politik geförderte Stromerzeugung werden neue Anschlussnehmer in dem vorhandenen Anschlussgebiet aber auch in neuen noch nicht mit Fernwärme versorgten Gebiete gesucht.

Da der Gutachter als ehrenamtlicher Berater der Stadt Braunschweig gegenüber dem Energieversorger BS-Energy weiterhin in die aktuelle Problematik involviert ist, können derzeit aus Gründen der Vertraulichkeit noch keine inhaltlichen Daten und Ergebnisse in dieser Studie vorgestellt werden. Die Ergebnisse werden gegebenenfalls in einem gesonderten Bericht nachgereicht. Die Ergebnisse werden aber für den Auftraggeber als nicht besonders relevant von den Autoren eingeschätzt.

## 7.6 Übersicht der untersuchten Versorgungsgebiete

Nachfolgend sind die wichtigsten Plandaten für die begleiteten Projekte zusammengefasst.

	Bezeichnung der Liegenschaft		Kürzel		Neuerkerode	Kronsberg	Jühnde
Nah- und Fernwärme-konzept	Wesentlicher Energieträger	[Auswahl]	---	---	Gas, Abwärme	Gas	Biogas, Holz
	Heizkraftwerk oder Heizwerk	[Auswahl]	---	---	HW	HKW	HKW, HW
	Neubau, Verdichtung, Ausbau, Rückbau des Netzes	[Auswahl]	---	---	V, R	N	N
Ange-schlossene Gebäude	Standard (Altbau, Neubau, ...)	[Auswahl]	---	---	Altbau	NEH	Altbau
	beheizte Fläche	in m <sup>2</sup>	a	---	50000	240000	19000
	Leistung	MW	b	---	4,5	15,4	2,7
an die Gebäude gelieferte Nutzwärme	Summe	MWh/a	c	= e + f	8500	20900	3200
	auf beheizte Fläche bezogener Wert	kWh/(m <sup>2</sup> a)		= c / a	170	87	168
	Raumheizung, falls bekannt	MWh/a	e	---	7100	14900	2700
	Warmwasser, falls bekannt	MWh/a	f	---	1400	6000	500
Netzkenn-werte	Trassenlänge	km	g	---	3,5	14,5	3,5
	Leistungsliniendichte	MW/km		= b / g	1,3	1,1	0,8
	Abnahmeliniendichte	kWh/(m a)		= c / g	2400	1400	900
	Verteilverluste	MWh/a	h	---	2000	2100	900
	auf Trassenlänge bezogener Wert	kWh/(m a)		= h / g	570	140	260
	auf beheizte Fläche bezogener Wert	kWh/(m <sup>2</sup> a)		= h / a	40	9	47
	Verteilungsnutzungsgrad	%		= c / (c+h)	81%	91%	78%
Energie-zentrale	abgegebene Strommenge	MWh/a	i	---	0	11000	4000
	abgegebene Wärmemenge Gesamt	MWh/a	j	= k+l+m = c+h	10500	23000	4100
	abgegebene Wärmemenge aus KWK	MWh/a	k	---	0	16000	2500
	abgegebene Wärmemenge aus Abwärme	MWh/a	l	---	2900	0	0
	abgegebene Wärmemenge Zusatz-erzeuger	MWh/a	m	---	7600	7000	1600
	Gesamtnutzungsgrad	%	n	= (i + j) / o	88%	85%	k.A.
	Stromkennzahl (aus Energiemengen)	-		= i / k	k.A.	69%	
	Deckungsanteil KWK	%		= k / j	0%	70%	61%
	Deckungsanteil Abwärme	%		= l / j	28%	0%	0%
	Deckungsanteil Zusatzwärmee-rzeuger	%		= m / j	72%	30%	39%
	Verluste der Erzeugung Gesamt	MWh/a	o	= p - (i + j)	1400	6000	k.A.
auf beheizte Fläche bezogener Wert	kWh/(m <sup>2</sup> a)		= o / a	28	25	k.A.	
Endener-gieeinsatz	Gesamt	MWh/a	p	---	11900	40000	k.A.
	auf beheizte Fläche bezogener Wert	kWh/(m <sup>2</sup> a)		= p / a	238	167	k.A.
	Endenergie thermisch	MWh/a		= j / n	11900	27100	k.A.
	Endenergie elektrisch	MWh/a		= i / n	0	12900	k.A.
Sonstige Kennwerte	Grenzverteilverluste	kWh/(m <sup>2</sup> a)		---	k.A.	45	k.A.
	Biomassebudget	kWh/(m <sup>2</sup> a)		---	58	k.A.	k.A.

**Tabelle 49 Kenngrößen zur Bewertung von Nah- und Fernwärmenetzen (Ergänzung fehlender Werte durch eigene Schätzung)**

Anmerkung: Es wurden nur die tatsächlich ausgeführten Nah- und Fernwärmegebiete zusammengefasst, nicht die Variationen von anderweitig versorgten Gebieten. Zur Erläuterung wichtiger vergebener Kürzel dient Bild 58.

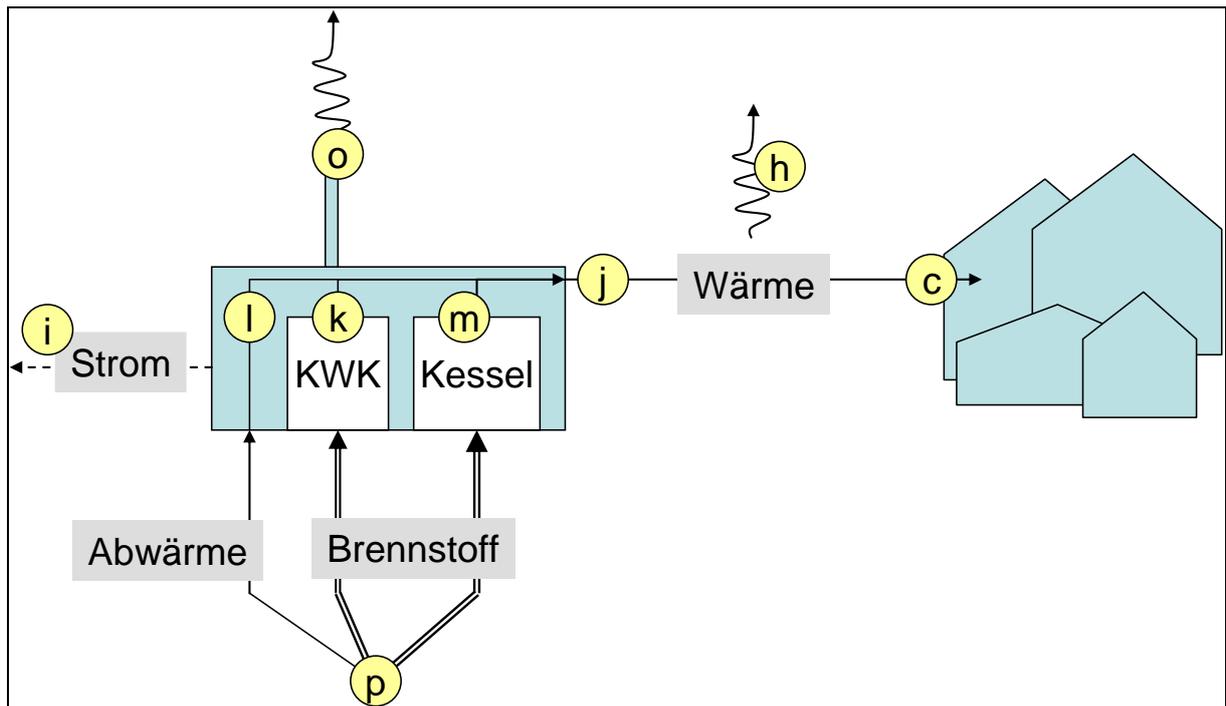


Bild 58 Erläuterung der Größen in Tabelle 49



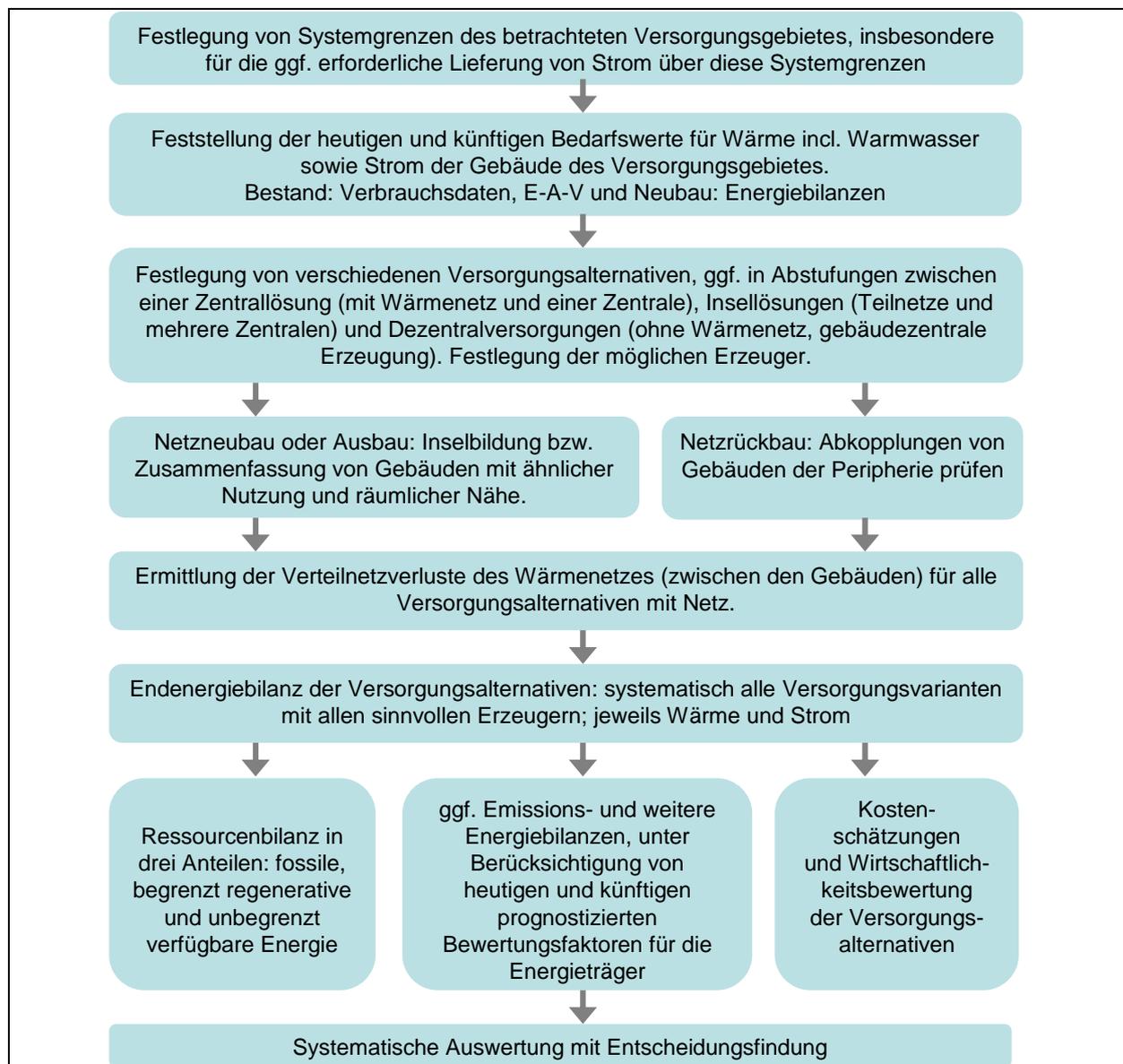
## 8 Ergebnisse, Empfehlungen und Forderungen

Aus der detaillierten Untersuchung der Liegenschaft Neuerkerode in Kapitel 6 sowie den im Kapitel 7 beschriebenen Teilaspekten anderer Wärmenetze lassen sich Erkenntnisse für andere Projekte ableiten.

Dies sind einerseits Empfehlungen zur systematischen Anwendung von Bilanzen für Projekte, bei denen es um einen Wärmenetzneubau, -ausbau oder -rückbau geht. Andererseits können auch Verallgemeinerungen für bestimmte Siedlungstypen und dort sinnvolle oder nicht empfehlenswerte Wärmenetze abgeleitet werden.

### 8.1 Empfehlungen zur Analyse

Der in Kapitel 5 theoretisch und im Kapitel 6 am Beispiel "Neuerkerode" vorgestellte Leitfaden wird für die Untersuchung von Projekten mit Wärmenetzen empfohlen.



**Bild 59 Leitfaden für eine systematische Analyse von Wärmenetzprojekten**

Die Bewertung von Projekten sollte systematisch neben der ggf. anvisierten Wärmenetzlösung auch Alternativen in Form von Versorgungsinseln oder gebäudeweiser Versorgung enthalten. Ebenso sind mehrere alternative Arten der Wärme- und Stromversorgung zu untersuchen. Die Wirtschaftlichkeit dürfte das wichtigste Entscheidungskriterium sein. Darüber hinaus sollten der Ressourcenverbrauch und damit die Emissionen als Entscheidungskriterien herangezogen werden. Bei der Verwendung der Primärenergie ist die politische Färbung und teilweise Beliebigkeit der Faktoren zu bedenken.

### **8.1.1 Detaillierte Analyse von Versorgungsgebieten**

Für die künftige Analyse von (potentiellen) Wärmeversorgungsgebieten sollten nicht nur Endenergiekennwerte, sondern detaillierte Daten vorliegen:

- Endenergie Wärme und Strom
- getrennt nach Heizung und Warmwasser
- möglichst ohne Aufwendungen für gebäudeinterne Erzeuger, d.h. als Summe aus Nutzwärme und gebäudeinternen Verteilnetzen sowie ggf. einem Trinkwarmwasserspeicher

Die Daten können mit Energiebedarfsbilanzen gewonnen werden. Für Bestandsgebäude wird die Energieanalyse aus dem Verbrauch E-A-V empfohlen. Hierbei werden aus z.B. Monats- oder Wochenmessungen Teilenergiekennwerte zum witterungsabhängigen und witterungsunabhängigen Verbrauch gewonnen. Eine internetgestützte und für jeden zugängliche Auswertung ist zusammen mit co2-online geplant.

Für die Konzepterstellung – insbesondere mit kostenintensiven Wärmenetzen – ist zu bedenken, dass künftige Energiekennwerte alternativ neben den heutigen Verbrauchswerten verwendet werden.

### **8.1.2 Planungsdaten für Nah- und Fernwärmenetze**

Für die Strukturierung von Nah- und Fernwärmesystemen bietet sich die Angabe folgender Daten an:

- Netz- oder Trassenlänge in km
- Versorgungsfläche in ha oder km<sup>2</sup>
- beheizte Fläche der Gebäude (bei Wohngebäuden: Wohnfläche)
- Zahl der Hausübergabestationen
  
- Wärmeleistungsanschlusswert in MW
- Wärmeleistungsliniendichte in MW/km (Trasse)
- mittlere Nutzleistung witterungsunabhängig in MW (Sommerleistung bzw. Sockelleistung)
- mittlerer Wärmeverlustkoeffizient in MW/K (Steigung der Winterleistung)
  
- jährliche Wärmenetzeinspeisung in MWh/a
- jährliche abgegebene Nutzwärme in MWh/a
- gelieferte Nutzwärme witterungsunabhängig in MWh/a
- gelieferte Nutzwärme witterungsabhängig in MWh/a
- trassenbezogene Wärmeabnahmeliniendichte in MWh/(a · km)
  
- Verteilverluste in MWh/a
- Verteilungsnutzungsgrad in %
  
- Anteil KWK an Jahresenergiemenge in %
- Stromerzeugung aus KWK in MWh/a

- gegebenenfalls weitere Kennwerte für die Effizienz der KWK: Stromkennzahl, Gesamtwirkungsgrad, thermischer und elektrischer Wirkungsgrad

Für einzelne dieser Kennwerte können Empfehlungen hinsichtlich ihrer einzuhaltenden Größenordnung ausgesprochen werden:

- wohnflächenbezogene Netzverluste in kWh/(m<sup>2</sup> a) Netzverluste bezogen auf die zu beheizende Gesamtnutzfläche. **Die wohnflächenbezogenen Netzverluste sollten bei Neubauten und energetisch modernisierten Bestandsbauten Werte von 10 ... 15 kWh/(m<sup>2</sup> a) nicht überschreiten.** Ausnahme: die Abwärme steht kostenlos und nicht subventioniert (Strom aus Biogas wird subventioniert) zur Verfügung
- Wärme(leistungs)liniendichte in MW/km: Anschlussleistung (im Regelfall aus der Raumheizlast der angeschlossenen Verbraucher) bezogen auf die Trassenlänge (vereinfacht halbierte Summe aus Vor- und Rücklaufleitungslängen). **Die Wärme(leistungs)liniendichte sollte mindestens 1,0 ... 1,5 MW/km betragen.**
- Wärme(abnahme)liniendichte in kWh/(m·a): gesamte Nutzwärmeabgabe für Raumheizung und Trinkwassererwärmung bezogen auf die Trassenlänge. **Die Wärme(abnahme)liniendichte sollte auch langfristig höher als 1800 kWh/(m·a) sein.**

Die Empfehlung ergibt sich in erster Linie aus wirtschaftlicher Sicht. Darüber hinaus sind Aspekte des Ressourcenverbrauchs ebenfalls berücksichtigt. Sofern die o. g. Kennwerte überschritten werden, muss davon ausgegangen werden, dass Wärmeverteilungsverluste die wirtschaftlichen Vorteile der zentralen Wärmenetzanlage aufheben. Aus Sicht des Ressourcenverbrauchs ist die Netzlänge grundsätzlich weitestgehend zu minimieren, sofern gebäudezentraler Erzeuger und Erzeuger in einem Wärmenetz annähernd gleiche Effizienz aufweisen.

Die Verteilverluste des Netzes sind zu begrenzen. Damit ist der Anwendungsbereich von Biogas-BHKWs mit Nahwärmekonzepten wesentlich eingeschränkt; meist auf Anwendungen im Nichtwohngebäudebereich oder auf den Wohngebäudebereich mit hoher Anschlussdichte.

Fern- und Nahwärmesysteme mit einem KWK-Konzept (Stromerzeugung) sollten am Nutzwärmebedarf der Abnehmer orientiert betrieben werden. Dies ist auch die Forderung der EU-Richtlinie 2004/8/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11.02.2004 (Wirkungsgradmethode).

### 8.1.3 Absolute statt pauschale Verteilnetzverluste

Der Nutzungsgrad für das Verteilnetz sollte zukünftig aus konkreten Daten bei vorhandenem Verteilnetz oder aus Plandaten für neue Netze ermittelt werden und nicht mit konstanten Werten für den Verteilungsnutzungsgrad angesetzt werden. Es ist vorgesehen und geplant, diese Forderung neu in die Normung [DIN V 18599] einzuführen.

Die daraus ermittelten nutzflächenbezogenen Wärmeverluste in kWh/(m<sup>2</sup>a) geben dann zur Bestimmung und Bewertung der gesamten zentral eingesetzten Endenergie einen sinnvollen Maßstab im Vergleich zu den Nutzenergien für Raumwärme und für Trinkwassererwärmung sowie für die sonstigen gebäudeinternen Verluste der Speicherung und Verteilung.

Dies gilt sowohl für die Bilanzierung von Fern- und Nahwärmesystemen mit reiner Heizfunktion (Heizwerke) als auch für Systeme mit Kraft-Wärme-Kopplung (KWK: Heiz-Kraft-Werke) und für die Bewertung der Stromerzeugung aus der KWK-Anlage.

#### **8.1.4 Kombinierte Betrachtungen zu Strom und Wärme**

Die Rahmenbedingungen für den derzeit politisch sehr stark geförderten Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung verändern sich schnell und teilweise drastisch zu Ungunsten von Nah-/Fernwärmeversorgung mit KWK, wenn:

1. sich durch energetische Modernisierung die Nutzwärmeabnahme vermindert
2. die primärenergetische und teilweise v. a. bei KWK beliebige Bewertung des Stroms besser wird (Prognose 2020:  $f_{PE} = 2,1$  und 2050:  $f_{PE} = 0,6$ )
3. auch dezentral zukünftig mehr Biomasse eingesetzt werden kann.

Langfristig soll in Deutschland der regenerative Anteil beim Strom sehr viel schneller und höher (77%) ausgebaut werden als bei den Energieträgern für Wärmeanwendungen (46%).

Szenarien bis 2050 ergeben dann angenähert gleiche Primärenergiefaktoren für den mittleren Strommix und für den mittleren Wärmemix von je 0,6. Fern- und Nahwärmenetze für Anlagen mit Kraft-Wärme-Koppelung ergeben vor allem dann keinen Sinn mehr, wenn kleinere dezentrale BHKWs genauso effizient Wärme und Strom produzieren können, wie mittlere und große KWK-Anlagen.

Neue wissenschaftliche Untersuchungen [DISS TU BS] zeigen sogar die theoretische Möglichkeit einer langfristig (2050) vollständig regenerativen Stromerzeugung auf; allein aus Wind- und Solarenergie ohne Einsatz von Kernenergie und ohne sonstige fossile oder Biomasse-Energieträger [DGS 08-2010]

Vor einer endgültigen Entscheidung zum Anschluss an ein Nah- oder Fernwärmenetz sind detaillierte Energiebilanzen und Wirtschaftlichkeitsrechnungen mit verschiedenen sinnvollen Systemalternativen durchzuführen.

Nur die eindeutige Bilanzierung der Vorkette verschiedener Versorgungsstrategien zur Ermittlung und Bilanzierung der Endenergien getrennt nach fossilen und regenerativen Energieanteilen – und hier unterschieden zwischen unbegrenzt solarer und begrenzt verfügbarer Biomasse-Energie – und die Bilanzierung der Energieströme im Gebäude erlauben eine durchgehende Darstellung der energetischen und der auf den Ressourceneinsatz bezogenen Zusammenhänge. Der bei KWK parallel erzeugte Strom und die hauptsächlich eingesetzten Energieträger sind immer in die Bewertung einzubeziehen.

Für mit Nah- und Fernwärmesystemen versorgte Gebäude, allgemein für alle Systeme mit Wärmeerzeugung, Kraft-Wärme-Kopplung und Stromfremdbezug sind die Mengen der eingesetzten Energieträger zur Wärme- und Stromerzeugung in eine Bilanzierung einzusetzen; unter Berücksichtigung der Anteile von unbegrenzt regenerativen, begrenzt regenerativen und konventionellen (fossilen) Energieträgern.

#### **8.1.5 Begrenzung des Einsatzes von begrenzt verfügbaren regenerativen Stoffen**

Regenerative Beiträge aus unbegrenzt verfügbaren Energien (Windkraft, Solarelektrizität, Solarthermische Anlagen) können nach Ansicht der Autoren in unbegrenzter Höhe in Energiekonzepten eingesetzt werden – Wirtschaftlichkeit vorausgesetzt. Die dabei eingesetzte Anlagentechnik (Speicher,...) darf nicht zu erhöhtem Einsatz begrenzt verfügbarer Energieträger führen.

Regenerative Beiträge aus begrenzt verfügbaren Energien (Biomasse) sind – im Bundesdurchschnitt – nur bis zur Höhe des verfügbaren Biomassebudgets einzusetzen. Es beträgt im Mittel etwa 35 kWh/(m<sup>2</sup> a) für Wärmeanwendungen.

Das trifft zwar nicht zwangsläufig auf das einzelne Konzept bzw. Projekt zu, jedoch muss der heute vielfach unreflektiert hohe Einsatz von Biomasse unbedingt vermieden werden. Das gilt insbesondere beim Einsatz von begrenzt verfügbarer Biomasse in Wärmenetzen, wo diese u. a. Netzverluste kompensiert, welche ohne das Netz gar nicht vorhanden gewesen wären.

Der budgetierte Biomasseeinsatz gilt für Wärme- und Stromanwendungen.

## 8.2 Erkenntnisse aus den Praxisprojekten

Die teilweise sehr detailliert untersuchten Versorgungsgebiete der Kapitel 6 und 7 lassen folgende Erkenntnisse zu:

Neuerkerode	dörfliche Siedlungsstruktur, sehr inhomogene Gebäudegröße (EFH bis große MFH), größtenteils unsaniert, Nahwärme in den 1970er nachträglich errichtet	Der in den 1970ern nachträglich erfolgte Nahwärmenetzbau ist aus heutiger Sicht in Frage zu stellen. Die zunehmende Modernisierung der Gebäude in den nächsten Jahren führt aus wirtschaftlicher Sicht zu einem Rückbau der Nahwärme an der Peripherie.
Kronsberg	großes städtisches Siedlungsgebiet, überwiegend mittlere und große Gebäude (MFH), Niedrigenergiegebäude, Nahwärme zusammen mit den Gebäuden ca. 2000 errichtet	Das Gebiet hat trotz Niedrigenergiestandards eine so große Energieabnahmedichte, dass der gleichzeitig mit der Errichtung erfolgte Nahwärmeeinbau auch aus heutiger Sicht noch befürwortet werden kann.
In der Rehre	kleines städtisches Siedlungsgebiet, überwiegend kleine Gebäude (EFH, Reihenhäuser), Passivhausniveau, keine Nahwärme vorhanden	Die Passivwohngebäude haben eine derart geringe Abnahmedichte, dass die Entscheidung gegen eine Nahwärme auch heute noch so gefällt werden kann.
Jühnde	dörfliche Siedlungsstruktur, überwiegend kleine Gebäude (EFH, kleine MFH), größtenteils unsaniert, Nahwärme nach 2000 nachträglich errichtet	Der nachträgliche Netzeinbau in die dörfliche Struktur ist in Frage zu stellen. Die Abnehmerdichte ist gering. Die Wirtschaftlichkeit ist nur durch Förderung gegeben.

### 8.3 Verallgemeinerungen

In Anlehnung an die Tabelle 3 "Matrix für Untersuchungsfälle im Zusammenhang mit Wärmenetzen" auf Seite 13 der vorliegenden Studie sollen Erkenntnisse zu Wärmenetzen, welche sich aus der Untersuchung von konkreten Projekten ergaben, verallgemeinert werden.

	Art der Gebäude	Verlegung eines neuen Netzes für Nah- und Fernwärme	Vorhandensein eines Bestandsnetzes für Nah- und Fernwärme
Großes Versorgungsgebiet, z.B. Stadtviertel, Kleinstadt	Neubauten	<p>Errichtung komplett neuer großer Versorgungsgebiete mit der Verlegung eines neuen Fern-/Nahwärmenetzes. Kommt in der Praxis insgesamt selten vor.</p> <p>Es ist zu untersuchen, ob in diesen Gebieten ein Wärmenetz wirtschaftlich (für alle Beteiligten) zu betreiben ist.</p>	<p>Die Verdichtung von Anschlussgebieten, bei denen bereits ein Wärmenetz vorhanden ist, durch Lückenbebauung und/oder Anschluss von Bestandsbauten ist zu empfehlen. Bedingung: Wirtschaftlichkeit für den Abnehmer muss gewährleistet sein (u. a. durch geringe einmalige Anschlusskosten sowie geringe Leistungspreise bzw. Grundgebühren)</p>
	Bestandsbauten	<p>Einbau von großen Wärmenetzen in bereits gebaute – eher städtische – Siedlungsstrukturen mit mittelgroßen und großen Mehrfamilienhäusern. Hier werden in städtischen Lagen häufig Gasnetze verdrängt, ggf. auch Ölheizungen und wenige Einzelfeuerstätten. Hier kann auch ein Anschlusszwang zur Diskussion stehen.</p> <p>Die Wahrscheinlichkeit, dass in diesen Gebieten ein Wärmenetz wirtschaftlich (für alle Beteiligten) zu betreiben ist, ist mittelhoch. Es ist unbedingt zu prüfen, ob die Gebäude langfristig modernisiert werden und damit die Anschlussdichte unter einen kritischen Grenzwert fällt.</p>	
Kleines Versorgungsgebiet, z.B. Siedlung, Dorf	Neubauten	<p>Errichtung komplett neuer kleinerer Versorgungsgebiete – mit kleineren Mehrfamilienhäusern sowie Ein/Zweifamiliengebäuden – mit Verlegung eines neuen Nahwärmenetzes. Kommt in der Praxis häufiger vor, insbesondere je kleiner die Verbundnetze sind. Dabei ist häufig der Einsatz von kleinen Blockheizkraftwerken zu beobachten.</p> <p>Die Wahrscheinlichkeit, dass in diesen Gebieten ein Wärmenetz wirtschaftlich (für alle Beteiligten) zu betreiben ist, ist eher gering. Hauptgrund: der Anteil der Verteilverluste ist sehr hoch bzw. die Anschlussdichte sehr gering, vor allem wegen der geringen Nutzenergieabnahme der neuen Gebäude.</p>	
	Bestandsbauten	<p>Einbau von kleineren Wärmenetzen in bereits gebaute Siedlungsstrukturen, z.B. bei Bioenergiedörfern oder der Zusammenschluss von einzelnen Abnehmern zu Inseln. Hier werden in städtischen Lagen häufig Gasnetze verdrängt, jedoch in ländlichen Gebieten auch Ölheizungen.</p> <p>Die Wahrscheinlichkeit, dass in diesen Gebieten ein Wärmenetz wirtschaftlich (für alle Beteiligten) zu betreiben ist, ist eher gering. Die Kosten der Errichtung eines solchen Netzes sind in der vorhandenen Infrastruktur eher hoch. Zudem ist mit langfristiger Modernisierung der Gebäude eine Verminderung der Anschlussdichte zu erwarten.</p>	

**Tabelle 50 Überblick der Fallunterscheidungen von Teilaspekten bei Nah- und Fernwärme**

Die Zusammenstellung dient der groben Einschätzung. Für den Einzelfall erscheint die detaillierte Analyse der jeweiligen Situation zweckmäßig.

### 8.3.1 Empfehlungen

#### Neubau:

Hauptkriterium für eine Bewertung von Nah- und Fernwärmesystemen im Neubau und im energetisch modernisiertem Bestand ist der wohnflächenbezogene Verteilnetzverlust von 10 - 15 kWh/(m<sup>2</sup>a) als möglichst nicht zu überschreitender Grenzwert.

Bei den mit neuen Fernwärmerohrsystemen nach heutigem Stand der Technik realisierbaren kleinsten Verlustwerten von ca. 150 ... 250 kWh/m Trassenlänge können hieraus in einer ersten Entscheidungsphase Schlussfolgerungen gezogen werden.

Der Netznutzungsgrad sollte bei möglichst über 90 % liegen (siehe Beispiel Hannover Kronsberg in Kapitel 7.3) In allen Fällen sollte ein möglichst hoher Anteil der gelieferten Wärmeenergie (> 25 ... 50%) aus Kraft-Wärme-Koppelung erzeugt werden.

Wegen des in heutigen Neubauten gesetzlich geforderten Dämmstandards ist der Einsatz von Nah- und Fernwärmesystemen nur bei ausreichend hoher Anschlussdichte (dichte Mehrfamilienhausstruktur typisch mit mehr als 20 Wohneinheiten je Gebäude) mit gleichzeitiger Kraft-Wärme-Kopplung in der Zentrale sinnvoll; eine Situation wie sie beispielsweise in Hannover Kronsberg vorliegt.

#### Bestand:

Hauptkriterium für eine Bewertung von Nah- und Fernwärmesystemen im Bestand ist ein wohnflächenbezogener Verteilnetzverlust von max. 25 ... 30 kWh/(m<sup>2</sup>a) als möglichst nicht zu überschreitender Grenzwert.

Mit alten Fernwärmerohrsystemen sind Verlustwerte von bis zu 500 kWh/m Trassenlänge üblich. Auch hieraus ergeben sich zulässige Verteilnetzverluste von max. 88 ... 90% Aus diesen Randbedingungen können für den Weiteranschluss oder die Abkoppelung erste Schlussfolgerungen gezogen werden.

Auch hier sollte in allen Fällen ein hoher Anteil der gelieferten Wärmeenergie (> 50%) aus Kraft-Wärme-Koppelung erzeugt werden

Der Einsatz von Nah- und Fernwärmesystemen im Gebäudebestand bei geringer Anschlussdichte, wie in den Beispielen Neuerkerode (Kapitel 6) und Bioenergiedorf Jühnde (Kapitel 7.1), ist nicht zu rechtfertigen. Dies gilt umso mehr, wenn keine KWK in der Zentrale vorgesehen ist.

Auch sollte auf den Neubau eines Netzes verzichtet werden, wenn die Anschlussdichte absehbar durch energetische Gebäudemodernisierung in der Zukunft so klein wird, dass ein mit hohen Investitionen verbundener Netzaufbau sich langfristig wirtschaftlich nicht rechnet.

In bestehenden Siedlungsstrukturen mit mittlerer Anschlussdichte ist der Neuaufbau einer Nahwärmeversorgung meist nicht wirtschaftlich darstellbar, wie am Beispiel der Ahlumer Siedlung in Wolfenbüttel nachgewiesen wurde (Kapitel 7.4). Hier werden evtl. zukünftig kleinste gebäudezentrale Einzel-BHKWs eingesetzt (stromerzeugende Heizung).

Die Empfehlung ergibt sich in erster Linie aus wirtschaftlicher Sicht. Sofern die o. g. Kennwerte überschritten werden, muss davon ausgegangen werden, dass Wärmeverteilverluste die wirtschaftlichen Vorteile der zentralen Wärmenetzanlage aufheben. Aus Sicht des Res-

sourcesverbrauchs ist die Netzlänge grundsätzlich weitestgehend zu minimieren, sofern gebäudezentraler Erzeuger und Erzeuger in einem Wärmenetz annähernd gleiche Effizienz haben.

### 8.3.2 Übersichtsmatrix

Aus den Einzelaspekten zu Wärmenetzen bei Neubauten und Bestandsbauten, bei großstädtischen, kleinstädtischen und dörflicher Siedlungsstruktur kann eine Matrix mit Empfehlungen abgeleitet werden – nachfolgende Tabelle 52.

Die Entscheidungen bzw. Empfehlungen sind dabei abhängig von den energetischen Standards der angeschlossenen Gebäude. Typische Kennwerte für die gebäudebezogenen Nutzenergien für Raumheizung und Warmwasser sind:

Energiekennwert für Raumwärme und Warmwasser*	Beschreibung
> 180 kWh/(m <sup>2</sup> a)	Vorkriegsgebäude mit erhaltenswerten Fassade und Nachkriegsgebäude bis 1976, sofern sie nicht in den nächsten 15 Jahren modernisiert werden
120 ... 180 kWh/(m <sup>2</sup> a)	Bestandsgebäude von 1977 bis 1994, sofern sie nicht in den nächsten 15 Jahren modernisiert werden
80 ... 120 kWh/(m <sup>2</sup> a)	Neubauten ab 1995 und normal sanierte Objekte älteren Baujahrs (incl. Modernisierungen auf dieses Niveau in den nächsten 15 Jahren)
< 80 kWh/(m <sup>2</sup> a)	Neubauten ab 2009 und hochwertig sanierte Objekte älteren Baujahrs (incl. Modernisierungen auf dieses Niveau in den nächsten 15 Jahren)
nicht relevant	alle Gebäude, deren langfristiger Erhalt nicht sichergestellt ist
* die Kennwerte gelten nicht für Gebäude mit Wärmepumpen, sondern bei Gas-, Öl-, Fernwärmeversorgung	

**Tabelle 51 Einteilung der Gebäude nach Energiekennwerten**

Wichtiger Hinweis: Gebäude werden nur dann mit ihrem heutigen Energiekennwert einer der 4 Gruppen zugeordnet, wenn innerhalb der nächsten 15 Jahre keine Änderung des Energieverbrauchs aufgrund einer Modernisierung zu erwarten ist. Anderenfalls ist eine Zuordnung mit dem langfristig zu erwartenden Kennwert sinnvoller.

Daraus können abhängig vom Gebäudealter bzw. der Nutzenergieabnahme der Gebäude Empfehlungen gegeben werden; für:

- die Abkopplung vom Netz
- die Beibehaltung des Anschlusses am Netz
- den Neubau eines Netzes
- die Erweiterung eines bestehenden Netzes

Siedlungsart	Energiekennwert, in kWh/m <sup>2</sup> a	Vorhandensein eines Bestandsnetzes für Nah- und Fernwärme		Vorhandensein eines Bestandsnetzes für Nah- und Fernwärme		Verlegung eines neuen Netzes für Nah- und Fernwärme incl. Erweiterung von Bestandsnetzen	
		Gebäude derzeit mit Anschluss		Gebäude derzeit ohne Anschluss			
Legende		++ + o - --	Anschluss bleibt ↓ Rückbau prüfen ↓ Rückbau empfohlen	++ + o - --	Anschluss empfohlen ↓ Anschluss prüfen ↓ Anschluss nicht empfohlen	++ + o - --	Netz empfohlen ↓ Netz prüfen ↓ Netz nicht empfohlen
Großes Versorgungsgebiet, z.B. Stadtviertel mit großen Mehrfamilienhäusern	>180	++		+		o	
	120-180	++		+		o	(b)
	80-120	+		o		o	
	<80	+		o		o	
mittleres Versorgungsgebiet, z.B. Kleinstadt oder Siedlung mit mittelgroßen Mehrfamilienhäusern	>180	++		+		o	
	120-180	+		o		-	
	80-120	o		-		--	
	<80	o		-		--	(c)
Kleines Versorgungsgebiet, z.B. Siedlung, Dorf mit überwiegend Ein- und Zweifamilienhäusern	>180	+	(a)	o		-	
	120-180	+	(a)	-		-	(d)
	80-120	o	(b)	--		--	(d)
	<80	-	(b)	--		--	
alle Versorgungsgebiete	langfristig Abriss	++		--		--	

**Tabelle 52 Bewertungsmatrix für Wärmenetze**

Die untersuchten Versorgungsgebiete der Kapitel 6 und 7 sind in die Tabelle eingetragen:

- (a) Neuerkerode, heutiger Zustand
- (b) Neuerkerode, langfristiger Zustand
- (c) Kronsberg
- (d) Passivhaussiedlung in der Rehre (nicht realisiert)
- (e) Jühnde



## 9 Quellen

[AGFW]	Luzsch et al; Strategien einer pluralistischen Fern- und Nahwärmeversorgung unter besonderer Berücksichtigung der Kraft-Wärme-Kopplung und der regenerativen Energien; Frankfurt/Main; 2004.
[Bericht 04: Gebäude]	Jagnow, Wolff et al; Bericht 04 "Gebäude" des Grundlagenprojektes Neuerkerode; erstellt im Rahmen des DBU-Projektes "Grundlagenprojekt im Rahmen der energetischen und ökologischen Modernisierung der Evangelischen Stiftung Neuerkerode: Bestandsaufnahme des Gebäude- und Anlagenbestandes"; Wolfenbüttel; November 2008.
[Bericht 05: Nahwärme]	Jagnow, Wolff et al; Bericht 05 "Nahwärme" des Grundlagenprojektes Neuerkerode; erstellt im Rahmen des DBU-Projektes "Grundlagenprojekt im Rahmen der energetischen und ökologischen Modernisierung der Evangelischen Stiftung Neuerkerode: Bestandsaufnahme des Gebäude- und Anlagenbestandes"; Wolfenbüttel; November 2008.
[Bericht 07: Elektroverbraucher]	Jagnow, Wolff et al; Bericht 07 "Elektroverbraucher" des Grundlagenprojektes Neuerkerode; erstellt im Rahmen des DBU-Projektes "Grundlagenprojekt im Rahmen der energetischen und ökologischen Modernisierung der Evangelischen Stiftung Neuerkerode: Bestandsaufnahme des Gebäude- und Anlagenbestandes"; Wolfenbüttel; November 2008.
[Bericht Mediengrunddaten 2009]	Jagnow, Wolff; Bericht "Mediengrunddaten 2009"; Teil des Umsetzungsprojektes Neuerkerode; intern verfügbar; Datenstand 23.07.2010.
[Bioenergietag Thüringen]	13. Thüringer Bioenergietag 2007; Schriftenreihe Landwirtschaft und Landschaftspflege; Heft 8/2008.
[BMU]	Energieszenarien 2009; Studie Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung; abgerufen unter <a href="http://www.bmu.de">www.bmu.de</a> ; Dezember 2010.
[Broschüre Bioenergiedörfer]	Ruppert et al.; Wege zum Bioenergiedorf – Leitfaden – Kassel 2008; abgerufen unter <a href="http://www.nachwachsende-rohstoffe.de">www.nachwachsende-rohstoffe.de</a> ; Januar 2011.
[DIN V 18599-1]	Energetische Bewertung von Gebäuden; Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung; Teil 1: Allgemeine Bilanzierungsverfahren, Begriffe, Zonierung und Bewertung der Energieträger; Berlin; Februar 2007.
[DIN V 18599-9]	Energetische Bewertung von Gebäuden; Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung; Teil 9: End- und Primärenergiebedarf von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen; Berlin; Februar 2007.
[DISS TU BS]	Popp, Matthias; Dissertation an der TU – Braunschweig; Juli 2010.
[DSG 08-2010]	DGS-Newsletter vom 16.08.2010; abgerufen unter <a href="http://www.dgs.de">www.dgs.de</a> ; Aug. 2010.
[E – A – V]	Wolff, D.; Energieanalyse aus dem Verbrauch in: Drei Säulen für die Optimierung des Gebäude- und Anlagenbestands; Heizungsjournal, S.33-39; 2009.
[EEWärmeG]	Erneuerbare Energien Wärmegesetz; Bundesanzeiger; September 2008.
[Energiebalance 2009]	Ifeu und Wuppertalinstitut; Energiebalance – Optimale Lösungen für erneuerbare Energien und Energieeffizienz; Heidelberg, Wuppertal; 2009.
[Energie-Consult]	Energie-Consulting; Kennziffernkatalog 2004; GfEM Gesellschaft für Energie-management; Neuhagen/ Berlin; 2004.
[Energiekonzept 2010]	Energiekonzept der Bundesregierung vom 27.09.2010; abgerufen auf den Seiten des BMU <a href="http://www.bmu.de">www.bmu.de</a> ; Oktober 2010.
[Energiekonzept Neuerkerode]	Jagnow, Wolff; Bericht "Energiekonzept Neuerkerode"; Teil des Umsetzungsprojektes Neuerkerode; intern verfügbar; Datenstand 03.08.2010.
[enev-easy]	Erhorn et al; EnEV-easy; Entwicklung eines Anforderungskatalogs an den energiesparenden Wärmeschutz von typischen Wohngebäuden zur Einhaltung der EnEV 2009 und des EEWärmeG; IBP-Bericht 150/2009; Stuttgart; 2009.

[Fernwärme 2007]	Potenziale für Nah- und Fernwärmenetze für den Klimaschutz bis zum Jahr 2020; Umweltbundesamt Dessau-Roßlau; 2007.
[fiw-98]	Engelmann, K. und Krimmling, J.; Vorausberechnung der Wärmeverluste von Fernwärmenetzen; Fernwärme international S. 16 – 20; November 1998.
[Hauser]	Lüking, R., Hauser, G.; Nachhaltige Energieversorgung von Gebäuden; Technik am Bau 10-2009; S. 62 – 66.
[ifeu 2003]	Ifeu und Wuppertalinstitut; Projektbeschreibung EXPO-Siedlung Hannover-Kronsberg; ifeu Heidelberg; 2003.
[IWU 2002]	Institut Wohnen und Umwelt; Bewertung der Wärmeerzeugung in KWK-Anlagen und Biomasse-Heizsystemen; Darmstadt; 2002.
[IWU-NEH]	Diefenbach, N. et. al.; Wärmeversorgung für Niedrigenergiehäuser; Darmstadt; 2005.
[Kurzbericht Netzkarte]	Jagnow, Wolff, Zeichner; Bericht "Nahwärmenetzkarten Neuerkerode"; Teil des Umsetzungsprojektes Neuerkerode; intern verfügbar; Datenstand 07.07.2010.
[LEG]	Heizenergie im Hochbau - Leitfaden energiebewusste Gebäudeplanung; Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Jugend, Familie und Gesundheit; Druck: Elektra/Niedernhausen; 1999.
[Leitfaden Nahwärme]	Fraunhofer-Institut; Umsicht Fernwärme-Leitfaden; Duisburg; 2008.
[Master Eikenloff]	Eikenloff, G.; Masterarbeit; unveröffentlicht; Wolfenbüttel; 2010.
[Nahwärmeversorgung DLR 2006]	Fischedieck, M. et. al.; Anforderungen an Nah- und Fernwärmenetze sowie Strategien für Marktakteure in Hinblick auf die Erreichung der Klimaziele der Bundesregierung bis zum Jahr 2020; Studie im Auftrag des UBA; Leipzig; 2006.
[pro klima 2003]	Görg, M.; Projekt Klimaschutzregion Hannover 2003; abgerufen unter <a href="http://www.proklima-hannover.de">www.proklima-hannover.de</a> ; Dezember 2010.
[Ruwisch Bioenergiedörfer]	Ruwisch; Bioenergiedörfer; Wärme- und Stromversorgung durch heimische Biomasse; abgerufen unter <a href="http://www.wege-zum-bioenergiedorf.de">www.wege-zum-bioenergiedorf.de</a> ; Januar 2010.
[Studie Hamburg 1]	Horschler, S., Wolff, D., Unverricht, M. und Jagnow, K.; Festlegung eines neuen, wirtschaftlich vertretbaren Primärenergieniveaus für die Hansestadt Hamburg; Abschlussbericht; unveröffentlicht; Hannover und Wolfenbüttel; 2003.
[Studie Hamburg 2]	Jagnow, K.; Festlegung eines neuen, wirtschaftlich vertretbaren Primärenergieniveaus für die Hansestadt Hamburg; Abschlussbericht; unveröffentlicht; Wernigerode; 2007.
[TGA-Fachplaner 2005]	Jagnow, K. Wolff D.: So wird es keinen Energiepass ohne Fehler geben. TGA Fachplaner 2005-3, S. 50 – 53.
[Verbrauchsdaten]	Jagnow, K., Wolff, D.; Auswertung von Verbrauchsdaten; 3 Teile; Gebäudeenergieberater; Nr. 04, 05 und 06/2006; Gentner, Stuttgart; 2006.
[Wolff TGA-Fachplaner 04-09]	Wolff, Dieter; EnEV 2012 sollte Pflicht sein; TGA Fachplaner 4-2009; S. 3.