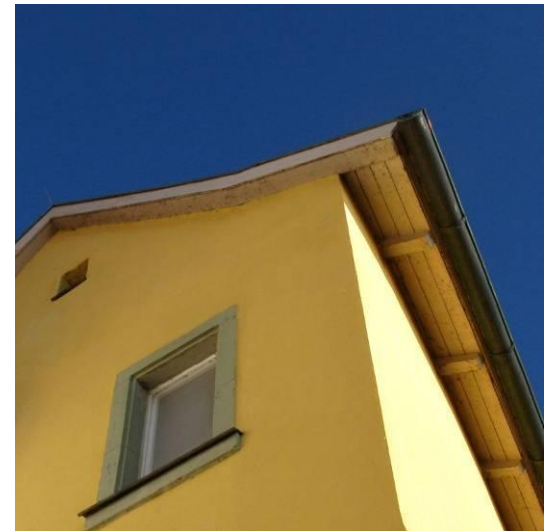




Leitungsgebundene Wärmeversorgung im ländlichen Raum

Handbuch zur Entscheidungsunterstützung - Fernwärme in der Fläche



Auftraggeber /

Projektleiter:



Fernwärmeversorgung
Niederrhein GmbH

Dipl.-Ing.,
Dipl.-Wirt.-Ing.
Markus Manderfeld

Kleiststraße 3
46539 Dinslaken
Tel.: 02064 605-0

m.manderfeld
@fernwaerme-
niederrhein.de

Fördergeber:



Projektträger Jülich

Wissenschaftlicher
Bearbeiter
Jürgen Gehrmann

Leo-Brandt-Straße
D-52425 Jülich

Förderungsnummer:
0327400C

Bearbeiter:



Fraunhofer Institut für
Umwelt-, Sicherheits- und
Energietechnik UMSICHT

Dipl.-Ing. Andrej Jentsch
Dipl.-Umw. Astrid Pohlig
Dr.-Ing. Christian Dötsch

Osterfelder Str. 3
46047 Oberhausen
Tel.: 0208 / 8598 – 0

andrej.jentsch
@umsicht.fraunhofer.de

Bearbeiter:



GEF Ingenieur AG

Dipl.-Phys. Kerstin Bohn
Dr. Stephan Richter

Ferdinand-Porsche-Str. 4a
69181 Leimen
Tel.: 06224 / 9713-0

gefing-ag@gef.de

15.07.2008

Inhaltsverzeichnis

Seite

| | | |
|-----|---|----|
| 1 | Einleitung | 4 |
| 1.1 | Aufbau dieses Handbuchs..... | 5 |
| 2 | Gesamtsystem – Fernwärme in der Fläche | 6 |
| 2.1 | Ökonomische Bewertung der Optionen für den Neubau einer leitungsgebundenen Wärmeversorgung | 6 |
| 2.2 | Ökologische Bewertung der Optionen für den Neubau von leitungsgebundenen Wärmeversorgungssystemen . | 12 |
| 2.3 | Wirtschaftlichkeit der leitungsgebundenen Wärmeversorgung bei Nutzung von Abwärme | 14 |
| 3 | Auswahl des Grundlastwärmeerzeugers | 17 |
| 3.1 | Ökonomische Bewertung der Optionen für den Neubau von Grundlastwärmeerzeugern..... | 17 |
| 3.2 | Sensitivität der Warmegestehungskosten gegenüber Änderungen beim Brennstoffpreis | 20 |
| 3.3 | Geeignete Abwärmequellen zur Nutzung in leitungsgebundenen Wärmeversorgungssystemen | 25 |
| 4 | Kosten für Rohrleitungen und Netzbau | 29 |
| 4.1 | Zusammenfassung | 29 |
| 4.2 | Kostenvergleich - Rohrmaterial | 34 |
| 4.3 | Kosten - Netzbau | 43 |
| 5 | Anschlussysteme | 45 |
| 5.1 | Zusammenfassung | 45 |
| 6 | Identifikation Fernwärme-geeigneter ländlicher Gemeinden | 47 |

| | | |
|-------|---|----|
| 6.1 | Abschätzung des Wärmebedarfs mittels Literaturdaten. | 48 |
| 6.2 | Wärmebedarfsschätzung | 54 |
| 7 | Praxisbeispiele | 58 |
| 7.1 | Grundsatzplanung „Linnich“ | 58 |
| 7.1.1 | Überschlägige Ermittlung des Wärmebedarfs..... | 59 |
| 7.1.2 | Auswahl der Wärmequelle..... | 60 |
| 7.1.3 | Ermittlung der WGK für die Erzeugung..... | 65 |
| 7.1.4 | Festlegung der Versorgungstrasse..... | 66 |
| 7.1.5 | Übersicht über die angeschlossenen Verbraucher..... | 69 |
| 7.1.6 | Ermittlung der gesamten Wärmegestellungskosten aus Erzeugung, Netz und Kundenstationen..... | 70 |
| 7.1.7 | Fazit | 72 |
| 7.2 | Grundsatzplanung „Rheinberg“ | 73 |
| 7.2.1 | Überschlägige Wärmebedarfsermittlung | 73 |
| 7.2.2 | Auswahl der Wärmequelle..... | 75 |
| 7.2.3 | Ermittlung des potentiellen Wärmebedarfs..... | 76 |
| 7.2.4 | Festlegung der Versorgungstrasse..... | 77 |
| 7.2.5 | Zusammenfassung der Wärmegestellungskosten..... | 79 |
| 7.2.6 | Fazit | 82 |
| 8 | Schlussbetrachtung..... | 83 |
| | Anlagen | 85 |

| | |
|--|-----|
| Anlage 3.1 – Investitionskosten für Wärmeerzeugung mit entsprechenden Literaturverweisen | 85 |
| Anlage 3.2 – Daten zur Berechnung des spezifischen Biogaspreises | 87 |
| Anlage 3.3 – spezifische Brennstoffpreise 2006 | 88 |
| Anlage 3.4 – Übersicht über Stromvergütung nach EEG | 89 |
| Anlage 3.5 – Übersicht über die Förderungen von Erdgas-Blockheizkraftwerken nach KWKG | 91 |
| Anlage 3.6 – Übersicht über Brennstoffsteuern nach Energiesteuergesetz | 92 |
| Anlage 4.1 – Spezifische Netzbaukosten bis DN 150 | 93 |
| Anlage 5.1 – Daten zu verschiedenen Hausanschlussystemen | 94 |
| Anlage 7.1 – Abwärmeleistung der SIG Combiblock GmbH in Linnich..... | 95 |
| Anlage 7.2 - Bestimmung der Investitionskosten für einen Fernwärmespeicher in Linnich..... | 96 |
| Anlage 7.3 – Übersicht über potentielle Fernwärmeabnehmer in Linnich..... | 97 |
| Anlage 7.4 – Investitionen in das Wärmenetz in Linnich..... | 99 |
| Anlage 7.5 – Anschlusspezifikationen für öffentliche Gebäude in Rheinberg | 100 |
| Anlage 7.6 – Anschlusskosten für ausgewählte Wohngebiete in Rheinberg..... | 101 |
| Anlage 7.7 – Investitionen in ein Wärmenetz in Rheinberg | 102 |
| Literaturliste | 103 |

1 Einleitung

Der ländliche Raum bietet aufgrund seiner Merkmale besondere Rahmenbedingungen für den Aufbau einer leitungsgebundenen Wärmeversorgung. Der infrastrukturelle Ausbaugrad – in Städten typischerweise hoch – ist im ländlichen Raum niedrig und kann deshalb zu einer signifikanten Reduktion der spezifischen Tiefbaukosten führen, da insbesondere die Wiederherstellung der Oberflächenversiegelung die Kosten für die Netzverlegung in die Höhe treibt und im ländlichen Raum teilweise eine Verlegung der Leitungen in unbefestigtem Grund möglich ist.

Im Zusammenhang mit einer Wärmeversorgung auf Basis nachwachsender Rohstoffen kommt der leitungsgebundenen Wärmeversorgung im ländlichen Raum besondere Bedeutung zu, da sie die Nutzung regional verfügbarer Ressourcen sehr energieeffizient ermöglicht.

Die Analyse zur Ausdehnung der leitungsgebundenen Wärmeversorgung auf Gebiete mit mittlerer bis geringer Wärmebedarfsdichte konzentriert sich auf die vergleichende Darstellung der Wirtschaftlichkeit der verschiedenen Netzmodule (Erzeuger, Transport- und Verteilnetz, Hausstationen). Als Basisdaten für die Investitionskosten wurden Mittelwerte aus Literaturangaben oder Angaben aus Herstellerangeboten (siehe *Anhang 3.1*) verwendet. Die Grundlage für die Berücksichtigung variabler Kosten bilden Brennstoffpreise für das Jahr 2006. Da sich zum Zeitpunkt der Drucklegung 2008 die Brennstoffpreise gegenüber 2006 wesentlich erhöht haben und weitere Preiserhöhungen bei den Brennstoffkosten zu erwarten sind, sollten für eine aktuelle Abschätzung der zu erwartenden Wärmegestehungskosten aktuelle Brennstoffpreise herangezogen werden. Der Einfluss aktueller Kostendaten, kann entweder durch Einsetzen der Daten in die entsprechenden Exceltabellen erfolgen oder bei Bezug auf Daten aus *Anhang 3.3*. können mithilfe von *Abbildung 3.2* und *3.3* die sich aktuell ergebenden Wärmegestehungskostenanteile abgeschätzt werden.

Alle im Handbuch aufgeführten Kostendaten sind als Richtwerte zu betrachten. Sie können gut für die Abschätzung der Größenordnungen entstehender Kosten verwendet werden, sollten jedoch nicht für verbindliche Aussagen zu einem spezifischen Fall eingesetzt werden.

Die Kostendaten für Rohrleitungen und Hausstationen basieren ebenso auf Mittelwerten, jedoch wurden hier Angaben verschiedener Hersteller anstatt von Daten aus der Literatur verwendet. Die Wärmegestehungskostenangaben in diesem Handbuch sind mit einer Ungenauigkeit von mindestens 1 ct/kWh_{th} behaftet. Schon allein aufgrund regionaler Schwankungsbreiten und starker zeitlicher Änderungsgradienten wesentlicher Kostenanteile sind projektscharfe Betrachtungen im Einzelfall stets obligatorisch.

Quellen für wichtige Berechnungsgrundlagen der hier dargestellten Grundsatzbetrachtungen sind in den *Anlagen 3.1 bis 5.1* dargestellt. Die den im Handbuch dargestellten Ergebnisse zugrundeliegenden Berechnungen sind als Microsoft-Excel-Tabellen auf einer CD beigelegt. Damit soll es dem Leser ermöglicht werden, die betrachteten Systeme auch unter modifizierten Randbedingungen, z.B. mit veränderten Kostendaten, miteinander zu vergleichen. Auf dieser CD befindet sich auch eine digitale Version des Handbuchs.

1.1 Aufbau dieses Handbuchs

Die Wirtschaftlichkeit der leitungsgebundenen Wärmeerzeugung lässt sich besonders gut mit einem Vergleich der Wärmegegostehungskosten frei Anschluss Wärmekunde beurteilen. Dabei setzen sich diese aus den spezifischen Kostenanteilen für Erzeugung, Netz und Hausanschluss zusammen. Der Begriff Wärmegegostehungskosten wird im Kontext des Handbuchs synonym mit dem Begriff Wärmebereitstellungskosten verwendet. Die dargestellten Kosten sind dabei unabhängig vom anlegbaren Wärmepreis zu sehen, da dieser sich an den Kosten für eine dezentrale Wärmeversorgung orientiert.

Im Folgenden sind die Resultate des Vergleiches der verschiedenen Versorgungsoptionen in Grafiken dargestellt. Direkt im Anschluss an diese Schaubilder fassen kurze Erläuterungen deren zentrale Aussagen zusammen.

2 Gesamtsystem – Fernwärme in der Fläche

2.1 Ökonomische Bewertung der Optionen für den Neubau einer leitungsgebundenen Wärmeversorgung

Die Untersuchungen haben ergeben, dass eine leitungsgebundene Wärmeversorgung im ländlichen Raum nicht nur ökologisch, sondern auch ökonomisch attraktiver sein kann, als der Einsatz von dezentralen Erdgas-Brennwertkesseln. Diese Schlussfolgerung gilt insbesondere unter der Annahme eines kostengünstigen Netzaufbaus aus flexiblen, vorisolierten Kunststoffmediumrohren für Rohre bis zu einem Durchmesser bis DN 150, welche von vielen Herstellern für Fernwärmerohre angeboten werden. Weiterhin sollte die Verwendung von innovativen Pufferspeichersystemen, zum Anschluss der Objekte geprüft werden. Durch dezentrale Speicherung des Fernwärmewassers, können bei Einsatz dieser Technologie Lastspitzen gesenkt und so im laufenden Betrieb Kosten gespart werden. Die jeweils günstigsten Verteilungs- und Hausanschlussoptionen werden in *Kapitel 4 und 5* entsprechend als solche identifiziert und dargestellt.

Den größten Einfluss auf die Wärmegestehungskosten des Gesamtsystems haben die Grundlastwärmeerzeuger, d.h. Wärmeerzeuger die den Großteil der benötigten Wärme bereitstellen, jedoch leistungsmäßig nur einen Bruchteil der maximal benötigten Leistung direkt abdecken können. Durch den Einsatz von Speichern im Fernwärmenetz kann die Eignung des Grundlastwärmeerzeugers zur Lastspitzenabdeckung erhöht werden. Die wirtschaftlich attraktivsten leitungsgebundenen Wärmeversorgungssysteme für den ländlichen Raum für den Versorgungsfall eines einfaches Beispielnetzes von 3 MW (siehe *Abbildung 2.1*) ergeben sich, wenn als Spitzenlast- und Reserveerzeuger ein Heizöl-Kessel eingesetzt wird, sowie einheitlich Kunststoffmediumrohre für das Verteilnetz und Pufferspeichersysteme für den Hausanschluss verwendet werden. In *Abbildung 2.2* sind die wirtschaftlich attraktivsten leitungsgebundenen Wärmeversorgungssysteme für den betrachteten Beispielfall geordnet nach dem eingesetzten Grundlastwärmeerzeuger gegenübergestellt. In *Tabelle 2.1* sind die den Berechnungen zugrunde gelegten Annahmen dargestellt.

Unter der Annahme, dass für alle betrachteten Versorgungsoptionen Netz, Spitzenlastkessel und Anschlussysteme einheitlich gewählt werden, ergibt sich für ein Netz aus flexiblen, vorisolierten Kunststoffmediumrohren¹, einen Heizöl-Spitzenlastkessel und den Anschluss der Objekte mittels innovativer Speichersysteme entsprechend den getroffenen Annahmen ein Wärmegestehungskostenanteil von weniger als 3 ct/kWh_{th}. Diese verhältnismäßig niedrigen Kosten werden durch Einsparungen aufgrund der Verwendung innovativer Speichersysteme, die Verlegung flexibler Leitungen in teilweise unbedecktem Boden ohne feste Oberfläche, sowie durch Verwendung von Rohren geringen Durchmessers erreicht.

Bei der Einordnung der dargestellten Ergebnisse ist zu beachten, dass nur marktverfügbare und potenziell wirtschaftliche Technologien verglichen wurden. So wurden beispielsweise Solarthermie mit saisonalen Wärmespeichern und Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen mit Dampfturbinen aufgrund ihrer vergleichsweise hohen spezifischen Investitionskosten für den betrachteten Leistungsbereich von 0,5 – 5 MW nicht betrachtet, während Technologien wie Kraft-Wärme-Kopplung mit Mini-Gasturbinen oder tiefe Erdwärmesonden mit Wärmepumpen nicht in den Vergleich mit einbezogen wurden, da noch nicht ausreichend belastbare Daten verfügbar waren.

Von mehr als 100 untersuchten Systemen zur leitungsgebundenen Wärmeversorgung sind in *Abbildung 2.2* die sechs mit den niedrigsten Wärmegestehungskosten dargestellt. Zusätzlich sind zum Vergleich die Wärmegestehungskosten eines dezentralen Erdgas-Brennwertkessels für den Einzelhaushalt, als Alternative zu einer leitungsgebundenen Wärmeversorgung aufgetragen. Es wurde bei der Berechnung berücksichtigt, dass in Fernwärmenetzen Wärmeverluste durch die Wärmeverteilung auftreten. Die Netzverluste wurden mit 20 % angesetzt, was der oberen Grenze der Erfahrungswerte aus vorhandenen Nahwärmenetzen entspricht.

Skaleneffekte machen es möglich, dass große Anlagen zur leitungsgebundenen Wärmeversorgung, trotz Mehrkosten für das Leitungssystem und aufwändigere Technik spezifisch günstiger sein können als kleine Anlagen für die Eigenheimversorgung, wie zum Beispiel ein Erdgas-Brennwertkessel. Beispielhaft für Skaleneffekte sind die folgenden drei Effekte:

¹ Bei Verwendung von Kunststoffrohren (PMR) ist zu beachten, dass aufgrund des trotz Sauerstoffsperre geringfügig in das Fernheizwasser diffundierenden Sauerstoffs unedle Metalle langfristig einer Korrosionsbeanspruchung ausgesetzt sind. Es empfiehlt sich daher, insbesondere bei Fernwärmenetzen in welchen nur kleinere Metallteile in der Kombination mit PEX / PB-1 Rohren eingesetzt werden, diese immer in Edelstahl auszuführen [Rühling, 2006]. Netze in welchen größere Anteile von Kunststoffmantelrohren mit Stahlmediumrohr (KMR) zusammen mit PMR verbaut werden, sind als weniger problematisch zu betrachten, da sich das korrosive Potenzial des gelösten Sauerstoffs in diesem Fall auf eine große Oberfläche verteilt und somit nur geringe Korrosionsbelastungen für die einzelnen Teile entstehen.

1. spezifische Kostendegression bei größeren Anlagen (leistungsbezogen)
2. Effizienzerhöhung des Erzeugers
3. Preisvorteile bei Brennstoff- und Material- und Dienstleistungsbeschaffung

Bei der Betrachtung von *Abbildung 2.1* ist zu beachten, dass Förderprogramme, welche in einigen Fällen die Investitionskosten für erneuerbare Energien senken, aufgrund ihrer regional unterschiedlichen Ausprägung nicht berücksichtigt wurden. Existieren also Förderprogramme für den Aufbau von leitungsgebundenen Wärmenetzen oder von Wärmeerzeugern auf der Basis regenerativer Energien, sollte die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung mit geänderten Randbedingungen durchgeführt werden. Mithilfe der auf der CD beigefügten Tabelle „WGK-Anteil_Grundlastwaermeerzeuger_mit_Steuern_LA50.xls“ kann die Auswirkung der Förderung auf den Anteil der Wärmegestehungskosten des Grundlastwärmeerzeugers abgeschätzt werden.

Tabelle 2.1:
Annahmen als
Grundlage für
den Vergleich der
Wirtschaft-
lichkeit
verschiedener
Optionen der
leitungs-
gebundenen
Wärme-
versorgung

| | | | |
|---|--------|-------|---|
| Amortisationszeiträume der Komponenten entsprechend den Angaben für die rechnerische Nutzungsdauer gemäß VDI 2067-1. Ebenso Wartungs- und Instandhaltungskosten für die verschiedenen Komponenten gemäß VDI 2067-1 [VDI, 2000]. | | | |
| Kalkulatorischer Zinssatz | 6,5 | % / a | inklusive Inflation (aktuelle Zinssätze können abweichen) |
| Vollbenutzungsstunden (Systemhöchstlast) | 1900 | h / a | |
| Leistungsanteil des Grundlastwärmeerzeugers an der Systemhöchstlast | 50 | % | Dieser Leistungsanteil wurde entsprechend einer beispielhaften Jahresdauerlinie gewählt, um mehr als 90 % der benötigten Wärme aus dem Grundlastwärmeerzeuger bereitzustellen. |
| Arbeitsanteil der Grundlast an der gesamten erzeugten Arbeit | ca. 94 | % | abgelesen aus beispielhafter Jahresdauerlinie ² . |
| Vollbenutzungsstunden des Grundlastwärmeerzeugers | 3700 | h / a | (Alle im Folgenden verglichenen Grundlastwärmeerzeuger speisen für diese Zeit Wärme in das Fernwärmenetz ein.) |
| Vollbenutzungsstunden Grundlast Heizkraftwerke | 7500 | h / a | Für den Fall, dass die spezifische Stromvergütung höher ist als die spezifischen Brennstoffkosten werden Heizkraftwerke (HKWs) die auch rentabel im Kondensationsbetrieb eingesetzt werden können, diese Zeit pro Jahr betrieben. |

² Die Annahme eines Arbeitsanteils von mehr als 80 % für Heizwerke setzt voraus, dass entweder das Heizwerk ein sehr gutes Teillastverhalten zeigt, da ein hoher Arbeitsanteil des Grundlastwärmeerzeugers meist zu einer Erhöhung des Einsatzes im Teillastbetrieb führt. Eine Alternative ist der Einsatz von Speichern welcher bei hohem Arbeitsanteil des Grundlastwärmeerzeugers zu einer Verminderung des Einsatzes im Teillastbetrieb führt. Die Annahme wurde aus Gründen der Vergleichbarkeit für alle Typen von Wärmeerzeugern getroffen.

| | | | |
|---|------|--|--|
| Amortisationszeiträume der Komponenten entsprechend den Angaben für die rechnerische Nutzungsdauer gemäß VDI 2067-1. Ebenso Wartungs- und Instandhaltungskosten für die verschiedenen Komponenten gemäß VDI 2067-1 [VDI, 2000]. | | | |
| lineare Wärmeleistungsdichte | 0,7 | $\text{kW}_{\text{Erz}} / \text{m}_{\text{Tra}}$ | |
| durchschnittliche Anschlussleistung der Objekte | 22 | kW | |
| Gleichzeitigkeitsfaktor für 85 Objekte | 0,65 | | |
| EEG Vergütung aktuell für | 2008 | | Degression entsprechend EEG für 2008 berücksichtigt, da Veröffentlichung des Handbuchs 2008 zu erwarten war. |
| Gesetzeslage – Deutschland | 2007 | | (gültig insbesondere für Energiesteuer, EEG und KWKModG) |

Tabelle 2.1: Annahmen als Grundlage für den Vergleich der Wirtschaftlichkeit verschiedener Optionen der leitungsgebundenen Wärmeversorgung

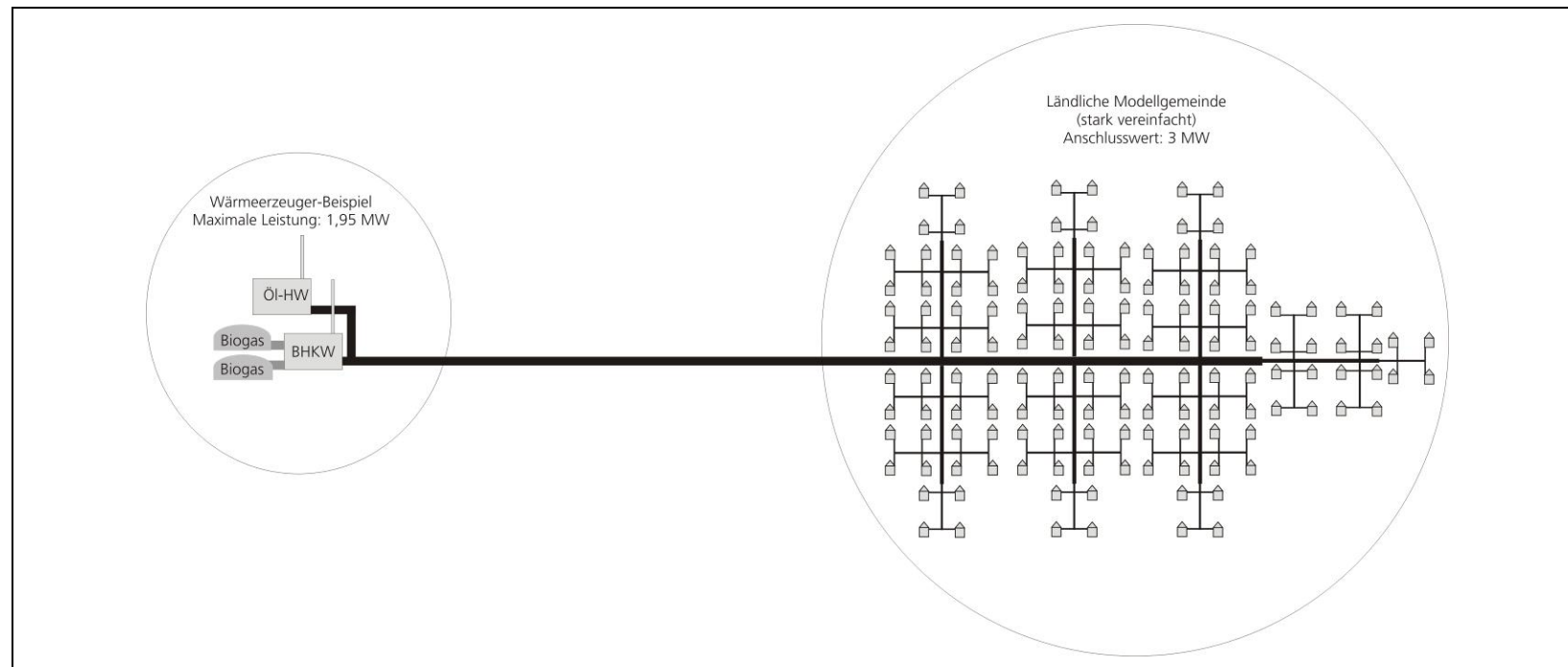
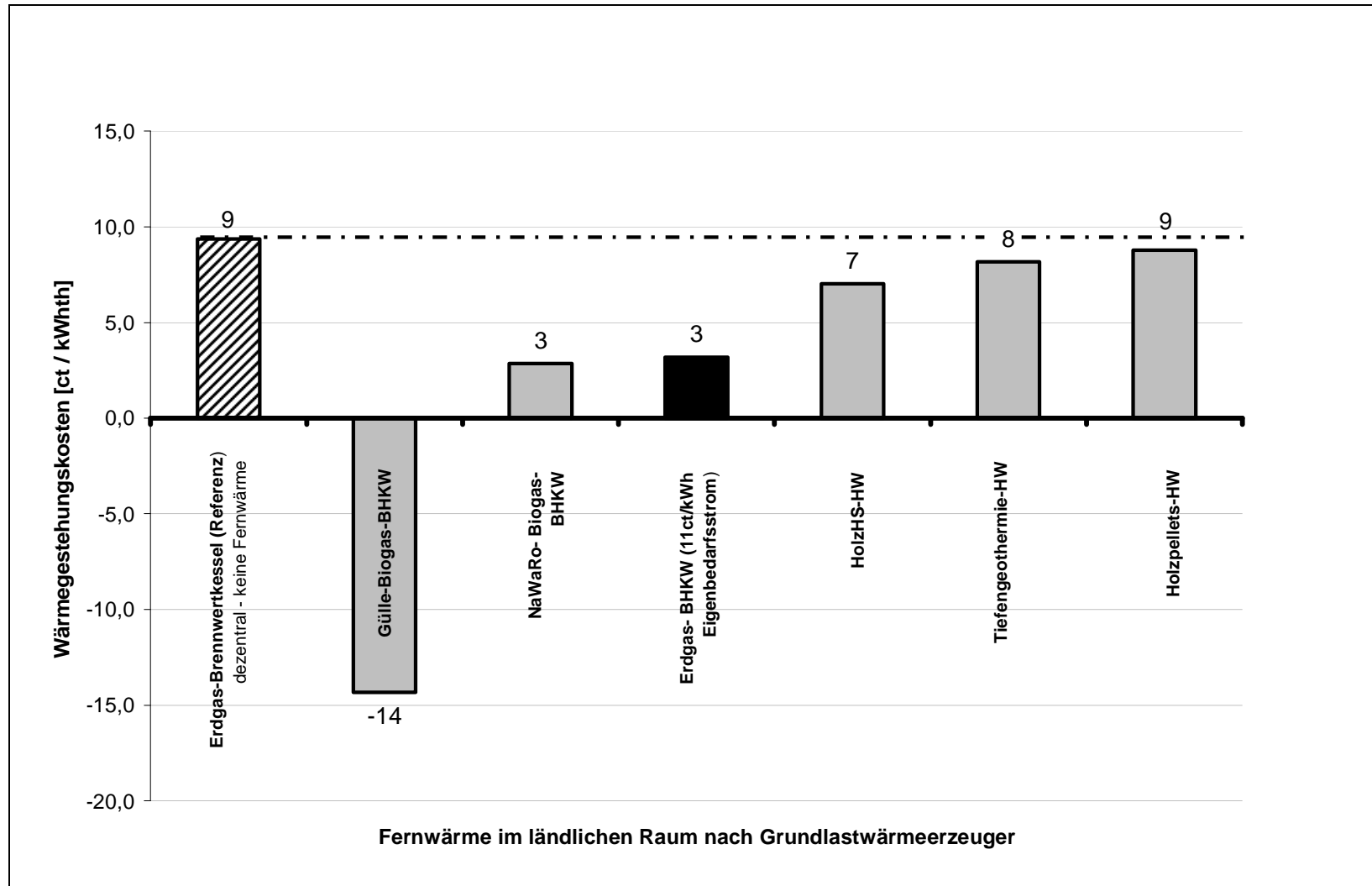


Abbildung 2.1: 3 MW Beispielnetz zur Bewertung der zu erwartenden Wärmegestehungskosten für leitungsgebundene Wärmeversorgung im ländlichen Raum

Abbildung 2.2:
Wärme-
gestehungs-
kosten frei
Kundenanlage
der wirtschaftlich
attraktivsten
Optionen zur
leitungs-
gebunden
Wärme-
versorgung^{3,4} im
ländlichen Raum



³ Grundlastwärmeerzeuger mit PB/PEX-Netz und innovativen Hausstationen mit Pufferspeicher, daher ohne Spitzenlastkessel

⁴ Amortisation nach VDI 2067-1

Für eine wirtschaftliche Versorgung kommen für die Erzeugung der Grundlast bei Neubau des kompletten Systems insbesondere Bio- und Erdgas-Blockheizkraftwerke (BHKW) in Frage. Das Gülle-Biogas-BHKW ist hier aufgrund des kostenlosen Brennstoffs die mit Abstand attraktivste Option. Diese Technologie erfordert jedoch, dass Gülle und Abfallmengen in der benötigten Größenordnung regional verfügbar sind. Die negativen Wärmegegestehungskosten kommen durch die Anrechnung der Stromerlöse zustande. Bei dieser Art der Verrechnung wird davon ausgegangen, dass die zentrale Aufgabe der zu bauenden Anlage die Wärmeversorgung sein soll, was die Wärme zum zentralen Produkt macht. Stromerlöse aus dem Verkauf von Strom aus Kraft-Wärme-Kopplung werden nach Umrechnung über die entsprechenden Wirkungsgrade der Wärmeproduktion gutgeschrieben. Dadurch dass die Gutschrift höher sein kann, als die Brutto-Wärmegegestehungskosten welche sich aus der Umrechnung der fixen und variablen Kosten auf die Wärmeproduktion ergeben, kann ein negativer Wert für den Wärmegegestehungskostenanteil des Grundlastwärmeerzeugers entstehen. Ein negativer Wert bedeutet hier, dass die Anlage auch ohne Wärmeverkauf wirtschaftlich betrieben werden kann.

NaWaRo-Biogas-BHKWs können zurzeit die wirtschaftlichste Alternative zur Wärmeerzeugung bei Verwendung von erneuerbaren „nicht-Abfall“ Rohstoffen sein. Die Wirtschaftlichkeit dieser Anlagen begründet sich durch die Einspeisevergütung für Strom nach EEG [BMJ, 2005].

Es ist anzumerken, dass aufgrund der Preissteigerungen im Jahr 2007 für Investitions- und Brennstoffkosten von NaWaRo-Biogas-BHKWs (d.h. die Biogas-Anlage und ein nachgeschaltetes BHKW), eine mit Maissilage beschickte Anlage voraussichtlich ohne Wärmeverkauf nicht mehr wirtschaftlich betrieben werden kann [Kabasci, 2007]. Eine Schätzung der Wärmegegestehungskosten für NaWaRo-Biogasanlagen in der Leistungsklasse 0,5 MW – 5 MW für Ende 2007 beläuft sich auf 3 ct/kWh_{th} frei Netz. Was zu Gesamtwärmegegestehungskosten frei Kunde von ca. 7 ct/kWh_{th} führen würde Erdgas-BHKWs sind im Gegensatz zu den Biogas-BHKWs nur dann eine attraktive Option zur Wärmeerzeugung, wenn der Anlagenbetreiber den Strom zu mindestens 11 ct/kWh_{el} verrechnen oder verkaufen kann, zum Beispiel als Eigenbedarfsstrom. In diesem Fall lässt sich mit dieser konventionellen und erprobten Technologie Wärme zu ökonomisch attraktiven Konditionen erzeugen. Eine derartige Verrechnung, bietet sich insbesondere für große öffentliche Einrichtungen mit hohem Wärme- und Strombedarf an, wie beispielsweise Krankenhäuser oder Hallenbäder.

Es wird erkennbar, dass neben den drei genannten BHKWs, bei denen die hohe Stromvergütung zu einer starken Absenkung der Wärmegegestehungskosten führt, auch Heizwerke wirtschaftlich interessante Alternativen zu einer individuellen Versorgung mittels Erdgas-Brennwertkessel bieten.

Der Einsatz von Holz-Hack-Schnitzel-Heizwerken (HolzHS-HW) senkt die Wärmegegestehungskosten bei Grundlast-Wärmeerzeugung durch ein Heizwerk auf ein Minimum. Das im günstigen Fall nur wenig unwirtschaftlichere Tiefengeothermie-Heizwerk bringt für Verbraucher und Betreiber den Vorteil der Unabhängigkeit von

Brennstoffpreisschwankungen mit sich, unterliegt jedoch wesentlichen anwendungsbegrenzenden Faktoren. Besonders erwähnenswert sind dabei die Abhängigkeit von den geologischen Gegebenheiten, wie Produktivität und Tiefe der Lagerstätte, sowie die hohen Anfangsinvestitionen [TSB, 2002].

Zentral aufgestellte Holzpellets-Heizwerke sind nicht wesentlich kostengünstiger zu betreiben als individuell aufgestellte Erdgas-Brennwertkessel. Insbesondere aufgrund der Netzverluste kann auch die Effizienz des Gesamtsystems kleiner sein kann, als die von vor Ort installierten Holzpelett-Kesseln. Der Vorteil größerer Anlagen ist jedoch die Möglichkeit zur Feinstaubfilterung, welche erst bei größeren Anlagen wirtschaftlich tragbar wird.

Ebenso wirtschaftlich wie ein HolzHS-HW wäre ein HolzHS-ORC-BHKW. Da es jedoch bei höheren Investkosten und gleichem Brennstoff zum Zeitpunkt der Betrachtung nicht wesentlich wirtschaftlicher war als das einfache Heizwerk für den gleichen Brennstoff, erscheint diese Investitionsalternative in der Praxis nicht so attraktiv, wie das weniger komplexe Holz-HS Heizwerk. Es wurde daher nicht mit in die Darstellung in *Abbildung 2.2* aufgenommen.

2.2 Ökologische Bewertung der Optionen für den Neubau von leitungsgebundenen Wärmeversorgungssystemen

Abbildung 2.3 stellt die Primärenergiefaktoren für die verschiedenen Optionen der leitungsgebundenen Wärmeversorgung geordnet nach Grundlastwärmeerzeugern vergleichend dar. Der in DIN 4701-1 [DIN, 2001] definierte Primärenergiefaktor ist ein leicht verständliches Maß für den Einsatz fossiler Rohstoffe zur Erzeugung einer Einheit Wärme. Bei der Berechnung wird berücksichtigt, dass Wärme auch als Abwärme aus Stromerzeugungsprozessen anfällt. Die Produktion von Strom im Wärmeerzeuger wird daher als Bonus auf den Primärenergiefaktor der Wärme angerechnet. Der Primärenergiefaktor ist eine weit verbreitete ökologische Bewertungsmethode, welcher eine besonders einfache Berechnungsvorschrift zugrunde liegt. Die Einfachheit der Methode bedingt dabei eine Vereinfachung der Aussage, so kann der Primärenergiefaktor nicht als Maß für den spezifischen Treibhausgasausstoß angesehen werden, da er den unterschiedlichen Kohlenstoffgehalt der verschiedenen Brennstoffe nicht berücksichtigt. Ebenso ist eine Bewertung von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen mittels PEF nicht unproblematisch. Wenn der Primärenergiefaktor gemäß der verwendeten Formel aus der DIN 4701-10 unter Null sinkt, wird er gleich Null gesetzt. Diese Rechenvorschrift führt dazu, dass es für den PEF aus DIN 4701-10 keinen Unterschied macht, ob Erdgas oder Biogas verbrannt wird. Der real natürlich sehr viel geringere Verbrauch fossiler Primärenergie durch Biogas-BHKWs im Vergleich zum Erdgas-BHKWs wird hier daher nicht richtig abgebildet. Die in *Abbildung 2.3* dargestellten Ergebnisse sind als eine verhältnismäßig

grobe Bewertung zu betrachten, welche ausschließlich eine erste Abschätzung der Umweltfreundlichkeit der verschiedenen Anlagen liefern kann.

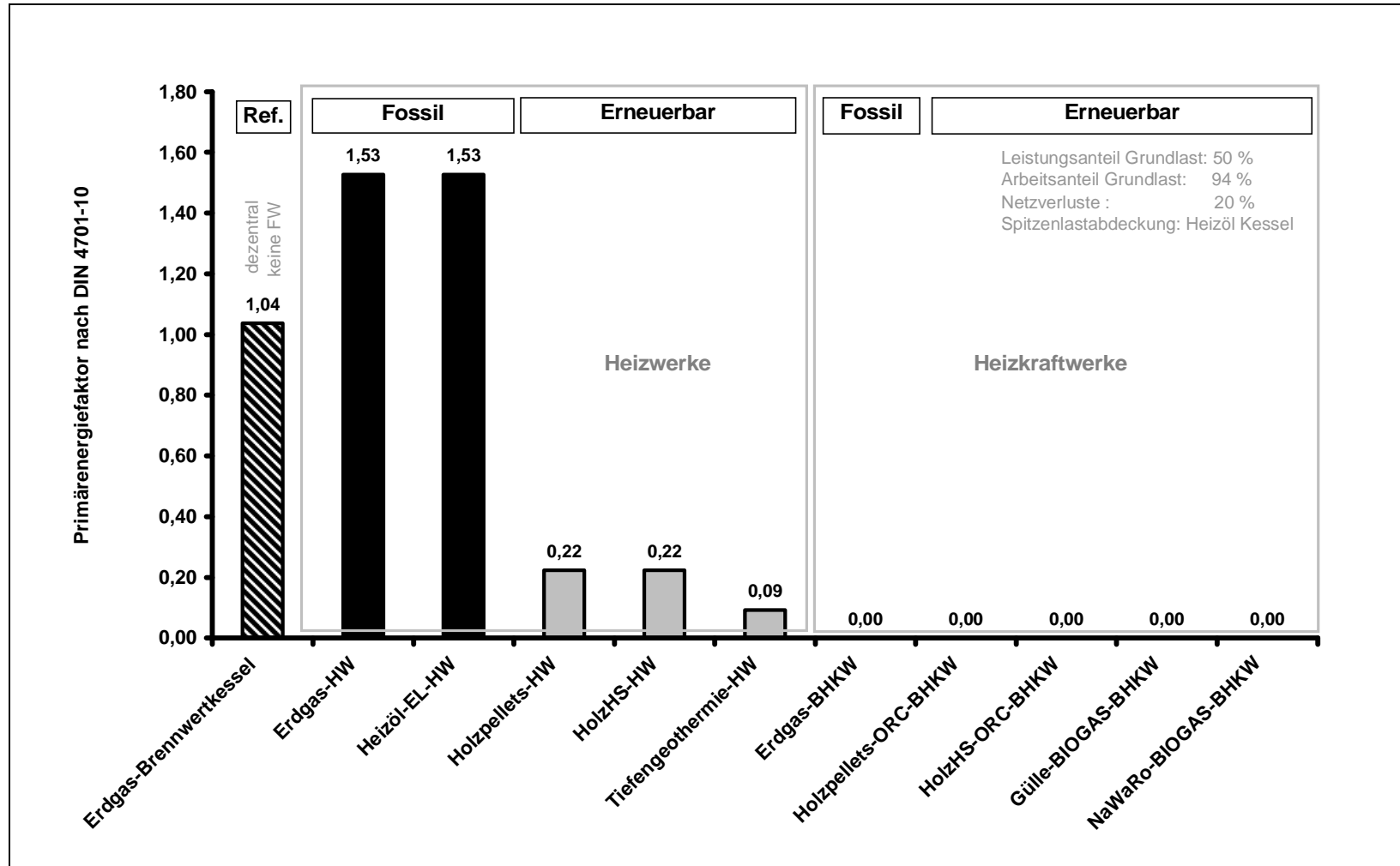


Abbildung 2.3 :
Primärenergiefaktoren nach
DIN 4701-10 für
Fernwärmenetz⁵
nach
Grundlastwärme
erzeuger

⁵ Grundlastwärmeerzeuger, Heizöl-EL-Spitzenlastkessel und Netz

Abbildung 2.3 zeigt deutlich, dass Anlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung rechnerisch keine fossilen Rohstoffe zur Bereitstellung der Wärme verbrauchen. Dies erklärt sich mit der Gutschrift von 3 Einheiten Primärenergie pro Einheit erzeugtem Strom. Dieser Faktor basiert auf der Annahme eines durchschnittlichen Kondensationskraftwerk-Nutzungsgrades von 33 %. Eine Veränderung dieser Annahme hin zu einem höheren durchschnittlichen Kraftwerkswirkungsgrad ist aktuell in der Diskussion und kann dazu führen, dass insbesondere die Primärenergiefaktoren der Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen mit Einsatz fossiler Brennstoffe (wie die der Erdgas-BHKWs) als höher bewertet werden könnten.

Auffällig ist die Tatsache, dass auch Systeme mit regenerativ befeuerten Heizwerken einen Primärenergiefaktor größer Null haben. Grund dafür sind vor allem der Einfluss des fossilen Spitzenlastkessels und die fehlende Kompensation dieses Einflusses durch Gutschriften aus der Stromerzeugung.

Insgesamt ist festzustellen, dass die betrachteten Gas-BHKWs bei entsprechend hoher Verrechnung des erzeugten Stroms (>11 ct/kWh) nicht nur die wirtschaftlichste Option der Wärmebereitstellung darstellen, sondern auch ökologisch, gemessen am Primärenergiefaktor, zu den besten Alternativen zählen. Die leitungsgebundene Wärmeversorgung mit fossil befeuerten Fern-Heizwerken als Grundlastwärmeerzeuger hat aufgrund der berücksichtigten Netzverluste von 20 % einen höheren Primärenergiefaktor als die individuelle Versorgung über Erdgas-Brennwertkessel⁶.

2.3 Wirtschaftlichkeit der leitungsgebundenen Wärmeversorgung bei Nutzung von Abwärme

Abwärme bezeichnet Wärme, welche in technischen Anlagen als Abfallprodukt erzeugt wird und über Kühleinrichtung an die Umwelt abgegeben werden muss, wenn keine Anlage zur Wärmenutzung angeschlossen ist. Im ländlichen Raum ist insbesondere Abwärme aus thermischer Abfallbehandlung, sowie aus bereits existierenden Anlagen zur Stromerzeugung aus Biomasse interessant. Industrieabwärme ist häufig aufgrund des niedrigen Preisniveaus von Interesse, da aber die aus der Industrie zur Verfügung gestellte Leistung meist nicht abgesichert werden kann, ist zusätzlich die Installation von Reserve-Wärmeerzeugern zur Sicherung der Versorgung notwendig. Die Eignung verschiedener Abwärmequellen zur Versorgung eines leitungsgebundenen Wärmenetzes ist in *Abbildung 3.6* aufgeführt.

⁶ Zentrale Kesselanlagen weisen im allgemeinen höhere Jahresnutzungsgrade und bessere Abgaswerte als gleichartige Einzelheizungen auf, daher führen die Netzverluste nicht in jedem Fall tatsächlich zu höheren Primärenergiefaktoren und somit höheren Emissionen der zentralen Versorgungsanlagen.

Bei der Betrachtung der Wirtschaftlichkeit der leitungsgebundenen Wärmeversorgung bei Nutzung von Abwärme wurde ein vereinfachter Ansatz gewählt. Hier geht es weniger um den Vergleich verschiedener Erzeugersysteme, sondern um den Einfluss, den verschiedene Wärmebedarfskurven, Abwärmepreise, Abwärmeverfügbarkeiten sowie Netz- und Anschlusskosten auf die zu erwartenden Wärmegestehungskosten haben. Die Berechnung basiert auf Annahmen entsprechend *Tabelle 2.1*.

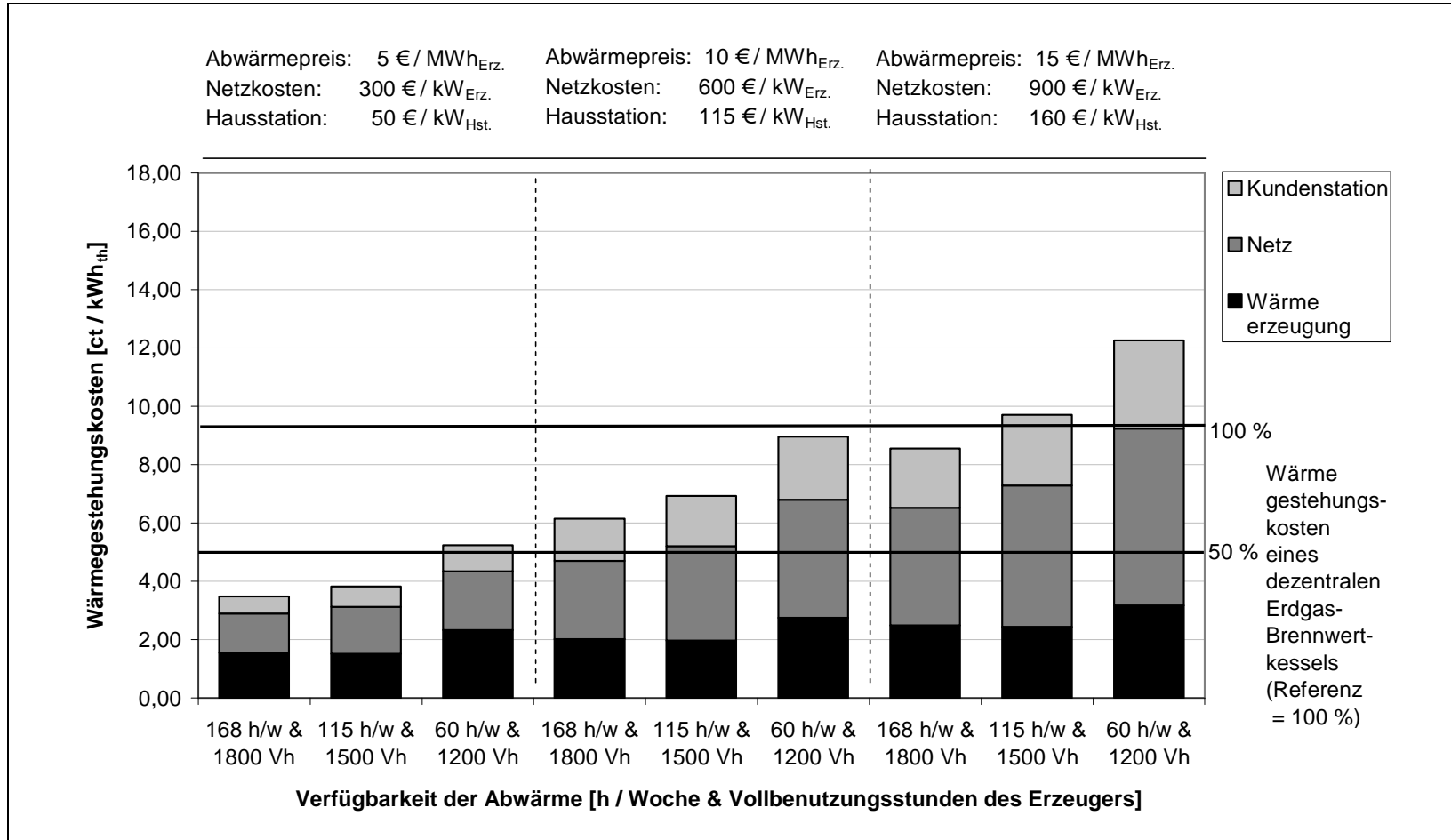


Abbildung 2.4 :
Wärmegestehungskosten frei
Kunde bei
Verwendung von
Abwärmequellen^{7,8}

⁷ Leistungsanteil der Abwärme am Spitzenlastbedarf von 50 %

⁸ Beispiel eines Netzes mit 3 MW Anschlussleistung, 0,975 MW Spitzenlast und 0,975 MW Abwärme

Abbildung 2.4 zeigt exemplarisch zu erwartende Wärmegestehungskosten bei einem Leistungsanteil der Abwärme von 50 %. Eine Variation des Abwärmepreises von 5 auf 15 €/MWh_{th} hat erkennbar wenig Einfluss auf die zu erwartenden Wärmegestehungskosten, da diese stark von den Brennstoffkosten für den Spitzenlastbetrieb abhängen. Somit fällt aufgrund der Abwärmenutzung die Grundlastherzeugung als Kostenanteil weitgehend weg, daher spielen die anderen Kostenanteile eine relativ größere Rolle. Weiterhin ist zu erwarten, dass bei Abwärmepreisen von bis zu 15 €/MWh_{Erzeugung}, Netzkosten von bis zu 900 €/kW_{Erzeugung}, Kosten für den Anschluss von bis zu 115 €/kW_{Anschluss} sowie eine 24 stündige Verfügbarkeit der Abwärme (168 h/Woche) eine leitungsgebundene Wärmeversorgung im Vergleich zu einem individuellen Erdgas-Brennwertkessel wahrscheinlich wirtschaftlich vorteilhafter ist.

3 Auswahl des Grundlastwärmeerzeugers

3.1 Ökonomische Bewertung der Optionen für den Neubau von Grundlastwärmeerzeugern

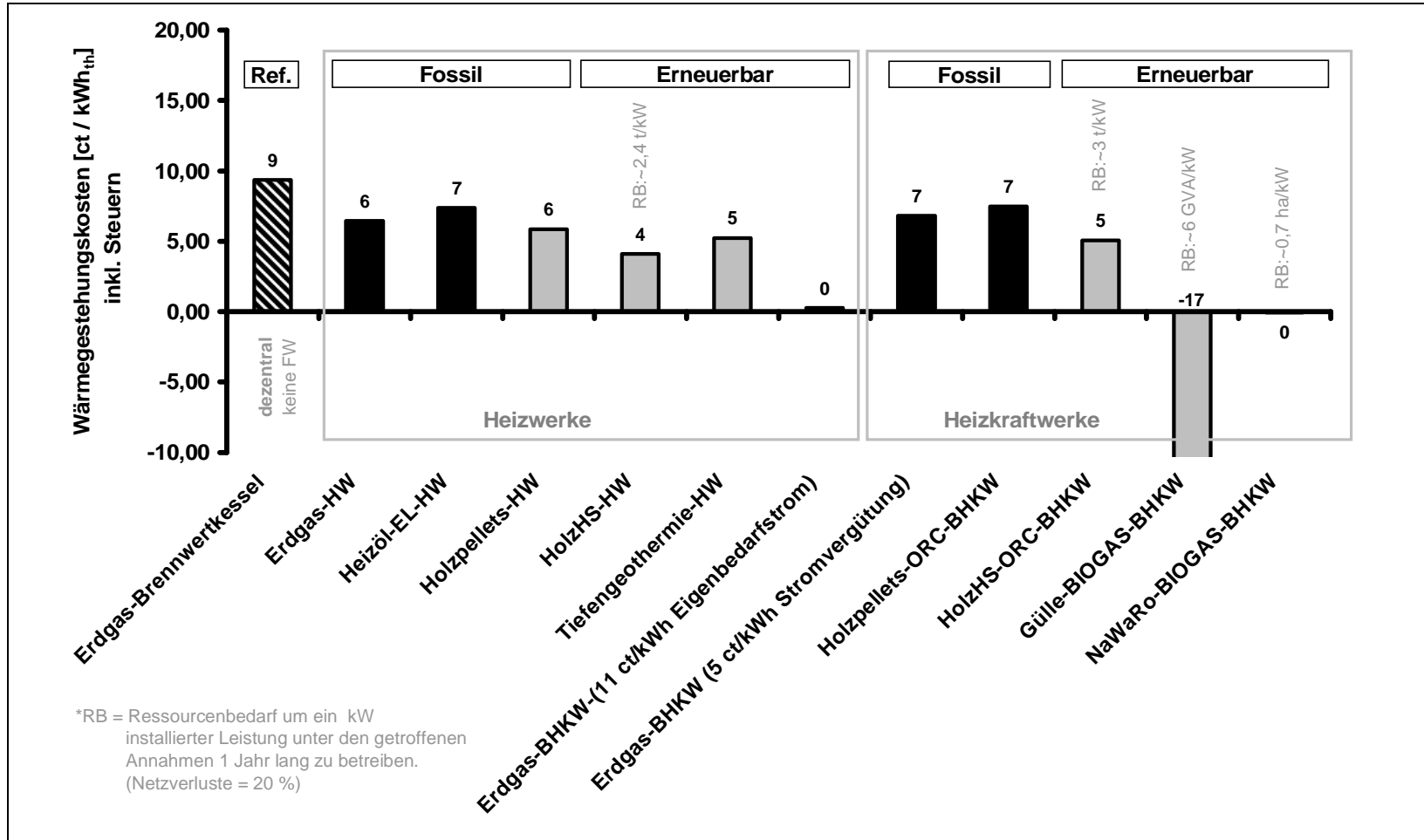
Die folgenden Darstellungen ergeben sich aus Berechnungen der Wärmegestehungskosten basierend auf mittleren spezifischen Investitionskosten der verschiedenen Wärmeerzeuger für die Leistungsklasse 0,5 – 5 MW. Die Degression der spezifischen Kosten in diesem Leistungsbereich ist im Verhältnis zu der Varianz der Angaben zu den Investitionskosten (siehe *Anhang 3.1*) gering und kann aus diesem Grund vernachlässigt werden.

Die Angaben für den dezentralen Erdgas-Brennwertkessel beziehen sich auf die Leistungsklasse 10 – 32 kW. Es wird von den bereits in *Tabelle 2.1* dargestellten Annahmen ausgegangen. Die zugrundeliegenden Investitionskostendaten sind allgemein zugänglicher Literatur entnommen und in *Anhang 3.1* zusammengefasst. Da die Berechnungen alle auf Mittelwerten basieren, sollten die im Folgenden dargestellten Ergebnisse stets nur als Richtwerte betrachtet werden.

In allen folgenden Abbildungen dieses Kapitels sind Technologien, in denen fossile Primärenergieträger eingesetzt werden, schwarz gekennzeichnet. Wärmeerzeuger, die erneuerbare Primärenergiequellen nutzen, sind grau dargestellt.

Abbildung 3.1 stellt die verschiedenen Grundlastwärmeerzeuger anhand der spezifischen Wärmegestehungskosten gegenüber. Zusätzlich wird bei erneuerbaren Primärenergieträgern regionaler Produktion, die Größenordnung der jährlich benötigten Ressourcen angegeben. Dies begründet sich in der Annahme, dass eine Errichtung der entsprechenden Energiewandlungsanlage nur sinnvoll ist, wenn eine ausreichende Menge an Rohstoffen in der Region zur Verfügung steht. Die Angabe GVA bedeutet dabei Großvieheinheit und entspricht in etwa 1 Rind, 10 Schweinen oder 250 Hühnern. Die Einheit ha bezieht sich auf eine ausschließlich für den Energiepflanzenanbau genutzte Fläche in der Größe von x ha welche notwendig ist, um den Brennstoffbedarf zur Verfügung zu stellen. Bei Holz als Brennstoff wird die jährlich benötigte Menge an Holz trockenmasse als Gewicht angegeben.

Abbildung 3.1 :
Spezifische
Wärme-
gestehungs-
kostenanteile
verschiedener
Grundlastwärme-
erzeuger⁹ frei
Netz¹⁰



⁹ Leistungsanteil 50 %

¹⁰ d.h. ohne Spitzenlast-Wärmeerzeuger, Netz und Hausstation

Der wirtschaftlich attraktivste Grundlastwärmeerzeuger ist das Gülle-Biogas-BHKW. Zu beachten ist bei dieser Option, dass die Gülle von etwa 6 Großvieheinheiten benötigt wird, um 1 kW Anlagenleistung über das Jahr für 7500 h zu gewährleisten. Wärme wird in diesem Fall nur nach Bedarf verkauft und in Zeiten geringen Wärmebedarfs mittels Kühleinrichtungen an die Umgebung abgegeben.

Wie bereits bei der Diskussion von *Abbildung 2.2* erwähnt, steht bei der Betrachtung einer leitungsgebundenen Wärmeversorgung die „Wärme“ im Fokus, so dass Stromerlöse unter Einbeziehung des thermischen, elektrischen und des Gesamtwirkungsgrades sowie der Vollbenutzungsstunden in einen Bonus auf die Wärmeabgabe umgerechnet werden. Dadurch sind auch negative Wärmeabgabekosten möglich. Deren praktische Aussage besteht darin, dass unter den angenommenen Randbedingungen ein Wärmeverkauf für einen wirtschaftlichen Anlagenbetrieb nicht zwingend notwendig ist. Die Wirtschaftlichkeit von Anlagen mit negativen Wärmeabgabekosten wäre auch im reinen Kraftwerksbetrieb gegeben. Würde beispielsweise das Gülle-Biogas-Blockheizkraftwerk als Grundlastwärmeerzeuger gewählt, sind die mittleren Wärmeabgabekosten für die Erzeugung der Grundlast negativ, somit amortisiert sich die Anlage unter den gemachten Annahmen auch ohne Wärmeverkauf¹¹. Bei Anlagen mit nahezu neutralen Wärmeabgabekosten wie beispielsweise beim NaWaRo-Biogas-BHKW sowie beim Erdgas-BHKW mit Eigenstromversorgung, ist davon auszugehen, dass diese Anlagen langfristig nur bei Anschluss an ein leitungsgebundenes Wärmeversorgungssystem wirtschaftlich zu betreiben sind. Insbesondere vor dem Hintergrund steigender Preise für nachwachsende Rohstoffe (NaWaRo) und der Debatte um Primärenergieeffizienz sollte daher jede stromerzeugende Anlage im ländlichen Raum im Hinblick auf die Anschlussmöglichkeit an ein Wärmenetz untersucht werden.

¹¹ In einigen Fällen kann die Nutzung der Abwärme die Kosten für die Wärmeabgabe, beispielsweise durch Rückkühlwerke, ersparen oder vermindern. In diesem Fall müssten die Kosten für die Ersparnis in der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für den Betrieb ohne Wärmeabkopplung berücksichtigt werden

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die ökonomisch attraktivsten Wärmeerzeuger die Biogas-BHKWs, Erdgas-BHKWs bei Eigenstromversorgung mit ausreichend hohem Verrechnungssatz sowie Holz-Hackschnitzel-Heizwerke auch in Kombination mit einem ORC-Prozess¹² sind. Eine weitere vielversprechende Technologie ist die Tiefengeothermie, die jedoch besonders standortabhängig ist und signifikant höhere Anfangsinvestitionen erfordert als konventionelle Heizwerke.

Zu einem tieferen Verständnis der in *Abbildung 3.1* dargestellten Ergebnisse sollen die *Abbildungen 3.2* und *3.3* beitragen. Daten mit den entsprechenden Literaturverweisen und Berechnungsgrundlagen sind in den *Anlagen 3.1 – 3.3* zusammengefasst und werden auf der beigelegten CD zur Verfügung gestellt.

3.2 Sensitivität der Wärmegestehungskosten gegenüber Änderungen beim Brennstoffpreis

Ein wichtiges Entscheidungskriterium für die Auswahl eines Wärmeerzeugers ist die Stabilität der Wärmegestehungskosten gegenüber Veränderungen beim Brennstoffpreis. Um diesen Einflussfaktor zu bewerten, sind in den *Abbildungen 3.2* und *3.3* Sensitivitätsanalysen einmal für Heizwerke und einmal für Heizkraftwerke dargestellt.

¹² ORC ist in diesem Fall die Abkürzung für „Organic Rankine Cycle“. Es handelt sich dabei um einen Dampfkraftprozess, in welchem das Arbeitsmittel ein organisches Fluid ist. Der Prozess kann zur Stromerzeugung aus Mitteltemperatur-Abgaswärme genutzt werden. Er kann einen Wirkungsgrad von ca. 18 – 20 % erreichen.

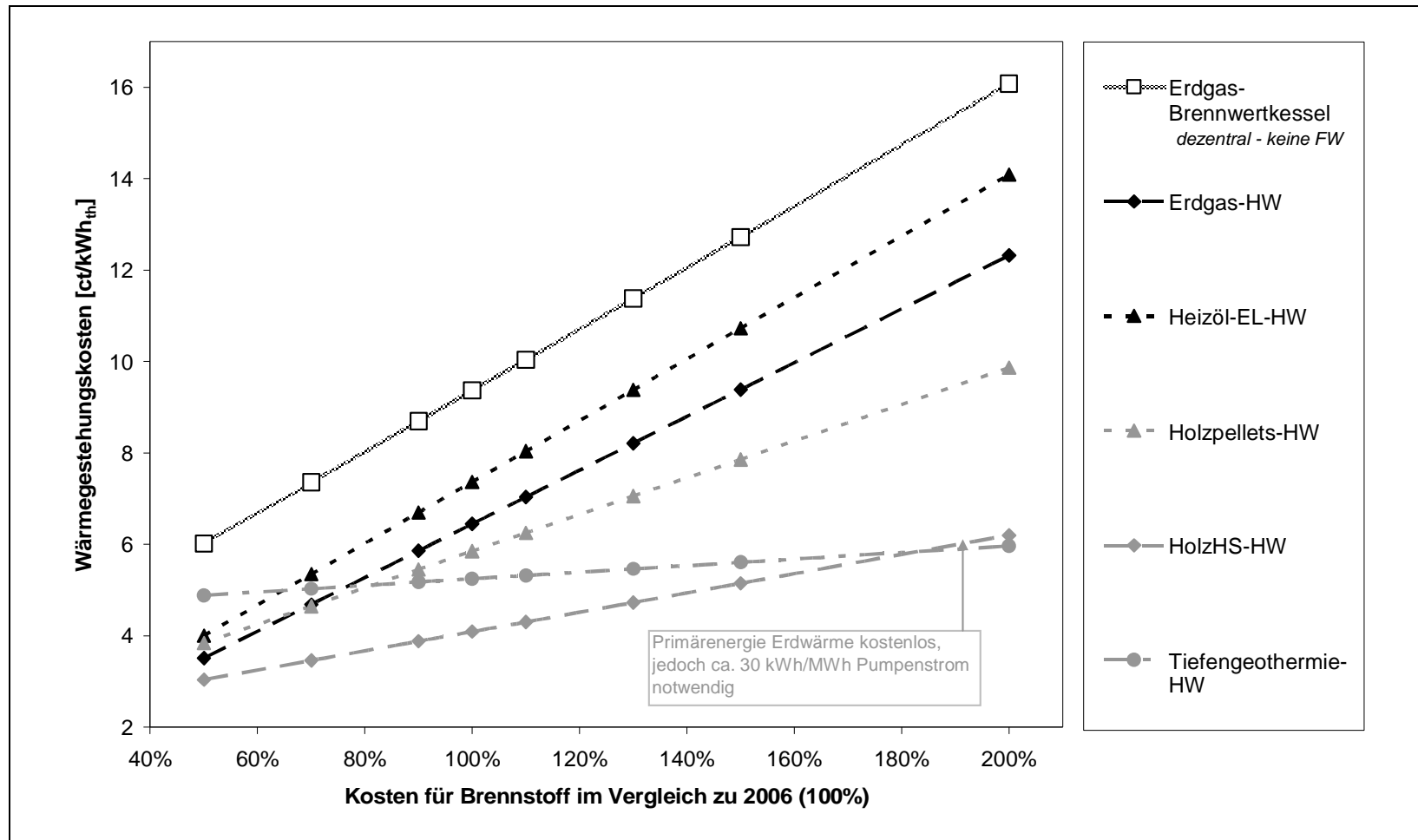
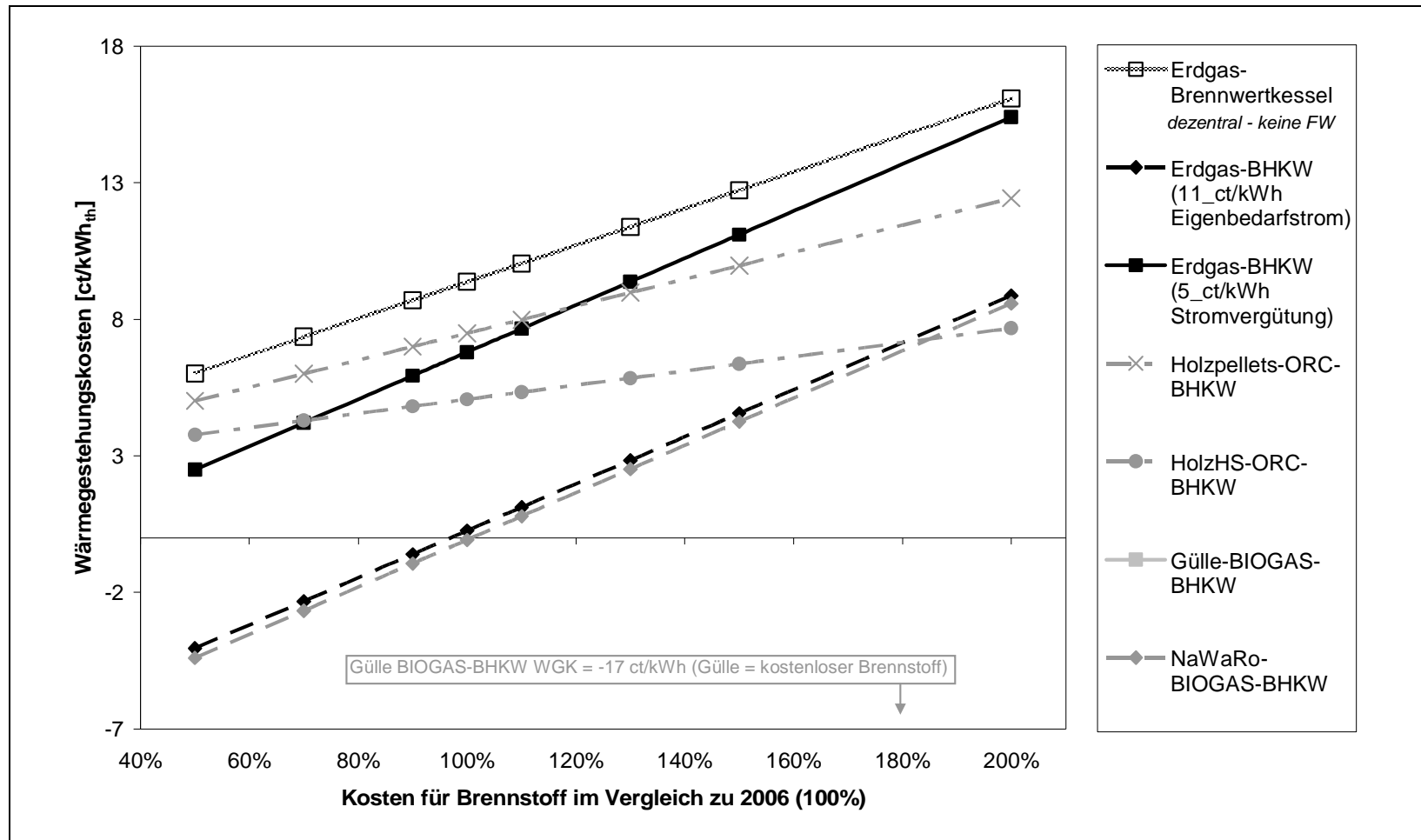


Abbildung 3.2 :
Veränderung der
mittleren
Wärme-
gestehungs-
kostenanteile für
Heizwerke¹³
(0,5 – 5 MW) frei
Netz und die
Referenz: Erdgas-
Brennwertkessel
(32 kW) in
Abhängigkeit
von den
Brennstoff-
preisen¹⁴

¹³ Nur Grundlastwärmeerzeuger ohne Netz und Hausstationen

¹⁴ 100 % = 2006

Abbildung 3.3 :
Veränderung der
mittleren Wärme-
gestehungs-
kostenanteile für
Heizkraftwerke¹⁵
(0,5 – 5 MW) frei
Netz und die
Referenz: Erdgas-
brennwertkessel
(32 kW) in
Abhängigkeit von
den Brennstoff-
preisen¹⁶



¹⁵ Nur Grundlastwärmeerzeuger ohne Netz und Hausstationen

¹⁶ 100 % = 2006

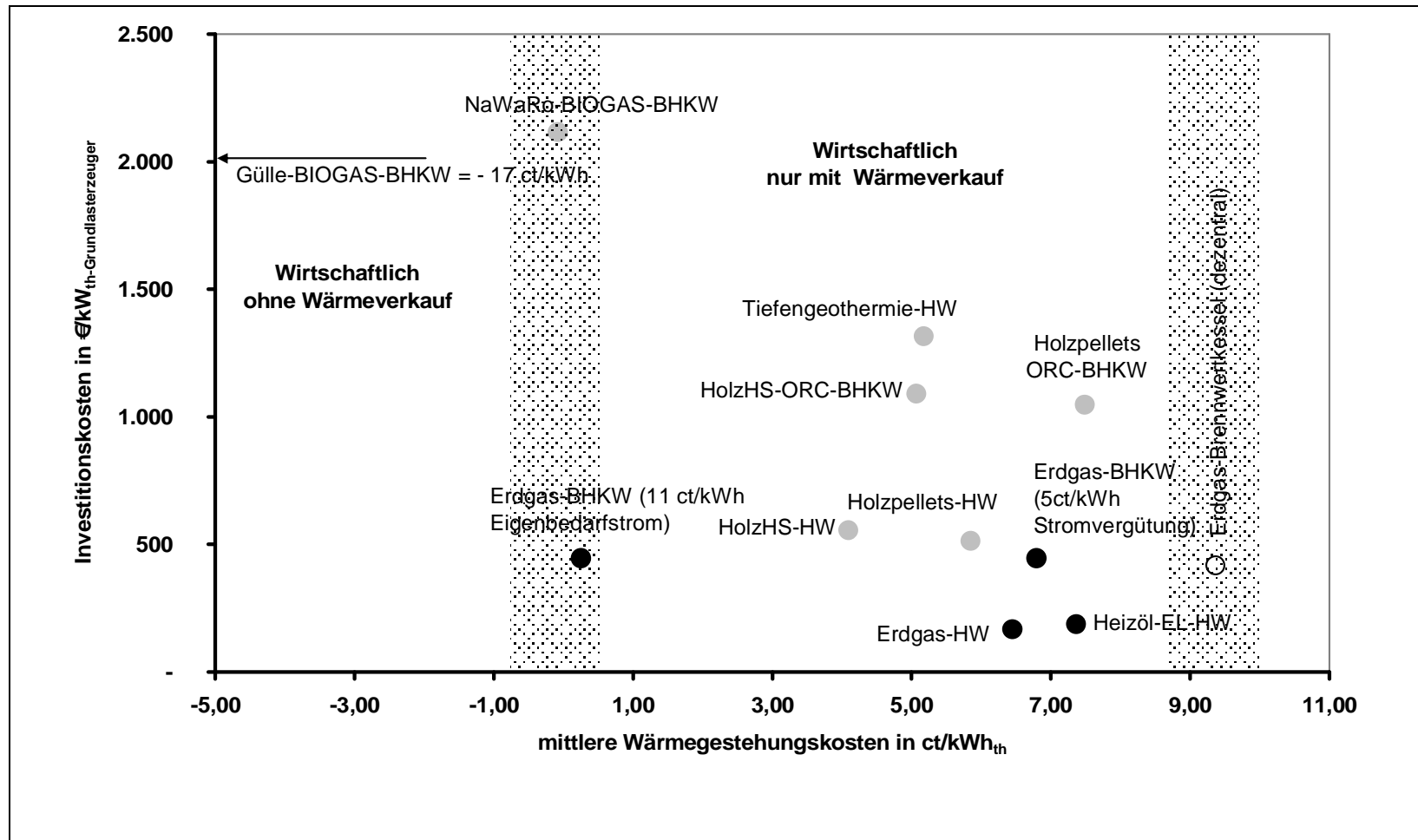
In *Abbildung 3.3* wird deutlich, dass die Wärmegestehungskosten von Heizkraftwerken besonders sensitiv auf Preisveränderungen der Brennstoffe reagieren. Dies begründet sich in der Annahme stabiler Stromvergütungen auch bei veränderlichen Brennstoffpreisen¹⁷. Da die Stromvergütungen als Bonus auf die Wärmegestehungskosten angerechnet werden, bleibt dieser Bonus auch bei Veränderung der Brennstoffpreise konstant.

Ein Teil von 18 – 35 % des Gesamtnutzungsgrades eines Heizkraftwerks von 80 – 90 % ist auf den Strom bezogen, so dass sich für diese Wärmeerzeuger ein verhältnismäßig geringer thermischer Nutzungsgrad von 45 – 72 % ergibt. Dieser geringe thermische Nutzungsgrad führt bei konstanter Stromvergütung, welche für Biogasanlagen durch das EEG festgelegt wird, zu der dargestellten hohen Sensitivität der HKW-Wärmegestehungskosten.

Die Einordnung der verschiedenen Wärmeerzeuger in ein Investitionskosten – Wärmegestehungskosten Diagramm ist in *Abbildung 3.4* dargestellt. Dabei wird ersichtlich, dass niedrige Wärmegestehungskosten oftmals mit hohen spezifischen Investitionskosten einhergehen. Im Hinblick auf geringe Sensibilität gegenüber Brennstoffpreiserhöhungen sind von den in *Abbildung 3.4* dargestellten Grundlastwärmeerzeugern, insbesondere die mit kostenloser Primärenergie versorgten interessant, also das Gülle-Biogas-BHKW und das Tiefengeothermie-Heizwerk. Ebenso interessant ist das Holz-Hackschnitzel-Heizwerk, welches aufgrund seines erprobten Aufbaus, der verhältnismäßig geringen Investitionskosten sowie der geringen Sensitivität gegenüber Brennstoffpreisänderungen eine interessante Versorgungsoption für walddreiche Gebiete darstellt.

¹⁷ Die Stromvergütung für die erneuerbaren Energien wird entsprechend EEG ausgezahlt und ist daher nicht abhängig von den Brennstoffkosten. Stabile Stromvergütungen wurden auch für Erdgas-BHKWs angenommen, da aufgrund des Strommixes nicht davon ausgegangen werden kann, dass die Strompreise im selben Maße und zum selben Zeitpunkt steigen wie die Preise für Erdgas.

Abbildung 3.4.:
Spezifische
mittlere
Investitions- und
Wärme-
gestehungs-
kostenanteile
verschiedener
Grundlastwärme
erzeuger frei
Netz, d.h. ^{18,19}
ohne Netz und
Hausstationen



¹⁸ Leistungsbereich: 0,5 – 5 MW

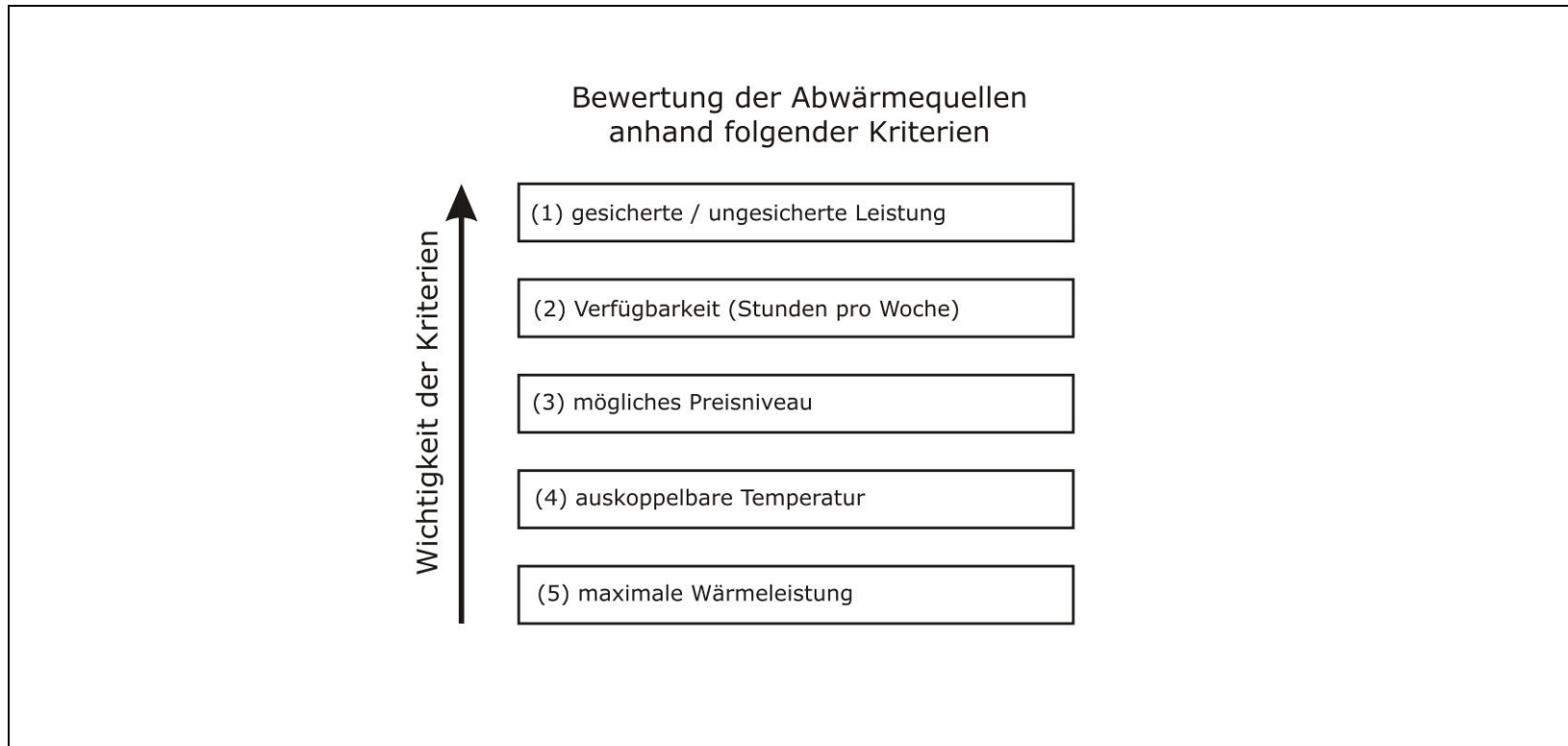
¹⁹ Leistungsanteil der Grundlast: 50 %

3.3 Geeignete Abwärmequellen zur Nutzung in leitungsgebundenen Wärmeversorgungssystemen

In *Abbildung 2.4* wurde deutlich gemacht, dass die Nutzung von Abwärme bei Deckung eines hohen Leistungsanteils wirtschaftlicher sein kann, als ein individueller Erdgas-Brennwertkessel. Im Folgenden wird nun dargelegt, bei welchen Abwärmequellen eine hohe Eignung für die Abwärmenutzung mittels einer leitungsgebundenen Wärmeversorgung vorliegt. In *Abbildung 3.5* ist die Prioritätensetzung des angewendeten Punktbewertungsverfahrens dargestellt. Dabei wurden jeweils Punkte für den Grad der Erfüllung der verschiedenen Kriterien vergeben und diese Punkte wurden anschließend mit der Gewichtung multipliziert. So ergibt sich beispielsweise für eine vollständig gesicherte Leistung ein Wert von 4 Punkten (bei vier Bewertungsstufen). Da dieses Kriterium das wichtigste von 5 Kriterien insgesamt ist, ergeben sich 20 Punkte als Bewertung einer gesicherten Leistung. Die Punktebewertung für die einzelnen Kriterien wird abschließend addiert, so dass man zu einem spezifischen Punktwert für jede Abwärmequelle kommt. Wird dieser nun ins Verhältnis mit der maximal möglichen Punktezahl gesetzt, erhält man einen relativen Wert, welcher die Eignung einer Abwärmequelle für die Abwärmeauskopplung quantifiziert. Es sollten folgende Minimal Kriterien für die Nutzung einer Abwärmequelle erfüllt werden:

- mehr als 70°C Quelltemperatur
- mehr als 10% des Netz-Grundlastbedarfes in MWh
- möglichst bekannte Leistungsabgabe, möglichst synchron zum Netzwärmebedarf

Abbildung 3.5:
Prioritäten-
setzung bei der
Bewertung der
Abwärmequellen



Die in *Abbildung 3.5* gezeigten Kriterien werden auf verschiedene Abwärmequellen angewandt und führen zu den in *Abbildung 3.6* dargestellten Ergebnissen. Hierbei wird auch die Abwärme aus einer regenerativen Stromerzeugung und aus Kondensationskraftwerken mit aufgeführt, welche für die Abwärmenutzung zu Heizkraftwerken umgebaut werden müssten.

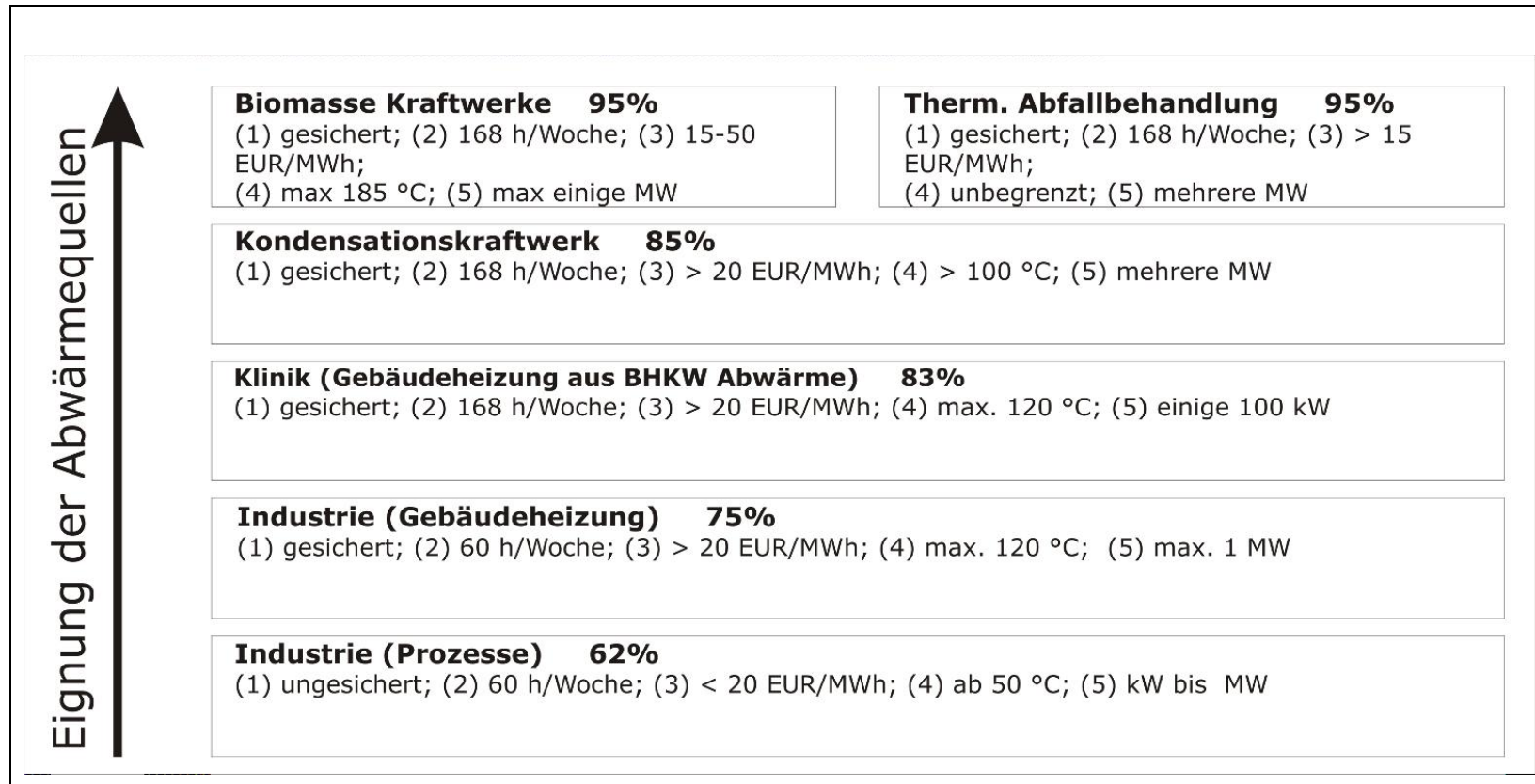


Abbildung 3.6: Eignung verschiedener Abwärmequellen als Grundlastwärmerzeuger²⁰

²⁰ Abwärme aus Kliniken: bezieht sich auf Abwärme aus Überkapazitäten bei den KWK-Erzeugungsanlagen in Kliniken

Es wird offensichtlich, dass insbesondere Kraftwerksabwärme und Abwärme aus thermischer Abfallbehandlung prädestiniert ist, um als Grundlastversorgung für ein Nahwärmenetz genutzt zu werden. Auch die Nutzung von Überkapazitäten in Krankenhäusern erscheint als interessante Alternative, so diese denn in größerem Maße vorhanden ist. Prozessabwärme aus der Industrie ist nur mäßig attraktiv, wenn sie nicht gesichert zur Verfügung steht. Mit Vorhaltung geeigneter Ersatzwärmeerzeuger kann diese günstige Abwärmequelle ggf. dennoch wirtschaftlich erschlossen werden.

Insgesamt ist festzustellen, dass neben Kraftwerken und thermischer Abfallbehandlung auch größere öffentliche Anlagen im Falle von Überkapazitäten bei der Wärmeerzeugung aus BHKWs attraktive Abwärmequellen darstellen. Solche Überkapazitäten können zum Beispiel nach Durchführung einer verbesserten Gebäudedämmung entstehen. Der Anschluss eines neuen Netzes an eine Anlage mit Überkapazität macht oft Sinn, da die Investitionskosten bei ausreichender räumlicher Nähe geringer sind als bei Aufbau einer separaten Anlage. Es müssen jedoch auch die eingesetzten Brennstoffe und die Wirkungsgrade der vorhandenen und möglicher neuer Anlagen verglichen werden, um zur wirtschaftlich optimalen Erzeugung zu kommen.

4 Kosten für Rohrleitungen und Netzbau

4.1 Zusammenfassung

In *Abbildung 4.1* werden die Wärmegestehungskostenanteile verschiedener Netzalternativen für ein beispielhaftes Netz mit 3 MW Anschlussleistung (siehe *Abbildung 2.1*) einander gegenübergestellt. Dabei wurden die Kostenanteile für Material und Netzbau berücksichtigt. Für ca. 140 Wohneinheiten wurde ein Gleichzeitigkeitsfaktor, also das Verhältnis von Höchstlast zu Anschlussleistung, von 0,65 [Winter et al. 2001] angenommen. Dieser Faktor stellt das Verhältnis zwischen Erzeugerkapazität und Anschlussleistung dar, welches vorwiegend durch die zunehmende zeitliche Streuung des Trinkwarmwasserbedarfs mit zunehmender Netzgröße bestimmt wird. Für die Auslegung einer leitungsgebundenen Wärmeversorgung müssen den lokalen Gegebenheiten angepasste Gleichzeitigkeitsfaktoren berücksichtigt werden, insbesondere um eine Überdimensionierung und damit eine unnötige Erhöhung der Netzverluste sowie der Investitionskosten zu vermeiden. Vor allem die Anzahl der versorgten Wohneinheiten, sowie die klimatischen Gegebenheiten beeinflussen den Gleichzeitigkeitsfaktor. Bei der Leitungsdimensionierung sind in realen Netzen zusätzlich zu den durch den Gleichzeitigkeitsfaktor bestimmten Größen auch die Netzausbauplanungen zu berücksichtigen, welche den Einsatz von Rohren höheren Durchmessers notwendig machen kann.

Abbildung 4.1 :
Wärme-
gestehungs-
kostenanteil
eines 3 MW
Beispielnetzes²¹
im ländlichen
Raum

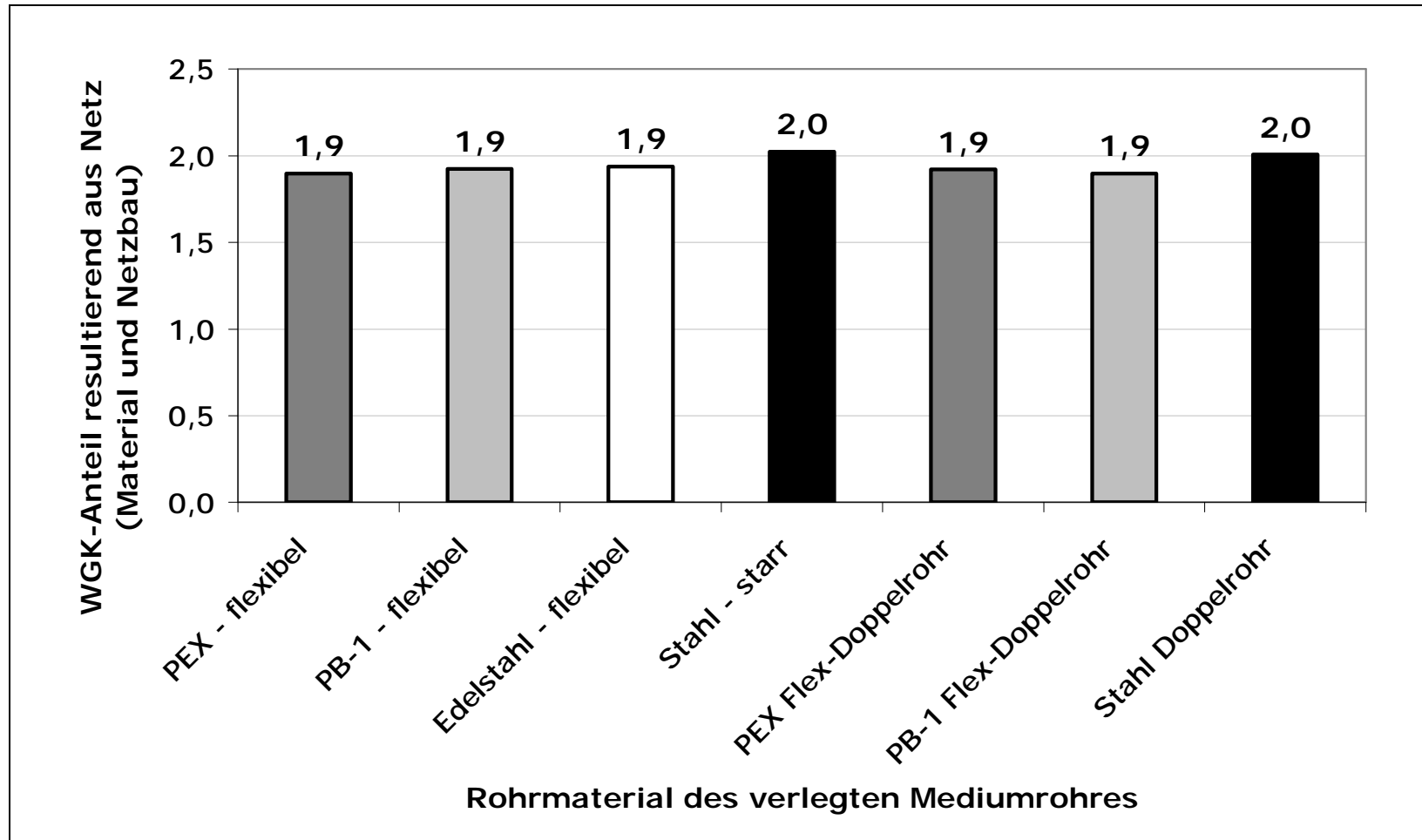
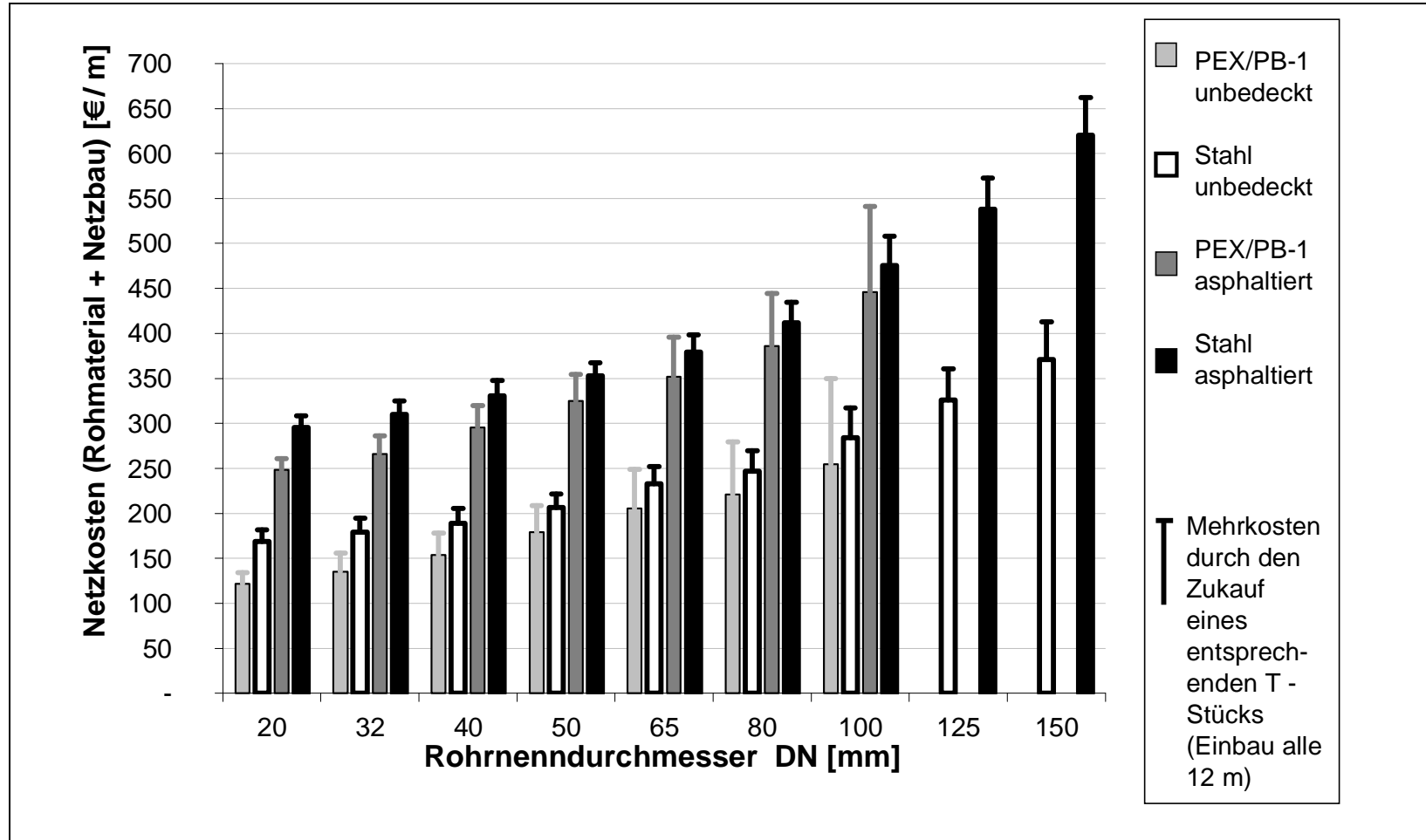


Abbildung 4.1 zeigt, dass für den Einsatz im dargestellten Modellfernwärmenetz (Abbildung 2.1) flexible, vorisolierte Rohrsysteme gegenüber konventionellen, starren Systemen im Bereich der Nahwärme konkurrenzfähig sind. Die Kostenvorteile sind mit ca. 5 % allerdings nur gering ausgeprägt und insgesamt nicht ausreichend, um eine eindeutige Empfehlung geben zu können.

²¹ Ohne Erzeuger und Hausstation bei einer rechnerischen Nutzungsdauer des Netzes nach VDI 2067-1 von 40 Jahren und Betriebskosten von 1% der Investkosten pro Jahr.

Auch die Verwendung von vorisolierten, flexiblen Edelstahlrohren für Nennweiten bis DN 50 im Verbund mit KMR kann ähnlich günstig sein, wie die ausschließliche Verwendung konventioneller Stahl-Kunststoffmantelrohre (KMR). Diese Tatsache lässt sich durch den überproportional starken Einfluss der Tiefbaukosten auf die gesamten Netzkosten begründen. Die Kosten für die Verlegung in unbefestigtem Gelände sind für den Nennweitenbereich bis DN 150 meist um einen Faktor 3 höher als die entsprechenden Materialkosten. Die Verlegung flexibler Rohre ist aufgrund der Selbstkompensationseigenschaften des Materials und der Möglichkeit auch von der Geraden abweichende Streckenabschnitte ohne Sonderbauteile und Verbindungselemente verlegen zu können, um ca. ein Drittel günstiger als die Verlegung starrer Leitungen in unbefestigtem Gelände. Die Kosten für die Wiederherstellung der Oberfläche sind meist etwa doppelt so hoch wie die für das entsprechende Rohrmaterial und sind für die Verlegung starrer und flexibler Systeme als gleich hoch angenommen worden. In *Abbildung 4.2* sind die durchschnittlichen spezifischen Investitionskosten für Netze aus Leitungen mit Kunststoffmediumrohren, beziehungsweise aus Stahl für die Verlegung in unbedecktem, sowie asphaltiertem Boden gegenübergestellt.

Abbildung 4.2:
Mittlere
spezifische
Investitions-
kosten für Netze



Es wird offensichtlich, dass Kunststoffmediumrohre insbesondere bei kleinen Durchmessern bis DN50 Preisvorteile mit sich bringen, während Netze aus KMR (Stahl) mit zunehmendem Rohrenddurchmesser wirtschaftlich attraktiver werden. Letzteres ist sicherlich auch ein Grund warum vorisolierte Kunststoffmediumrohre von einigen Herstellern nur bis DN 100 angeboten werden. Vor allem im Bereich kleiner Rohrdurchmesser ohne Abzweige (Hausanschlussleitungen) kann der Einsatz von Kunststoffmediumrohren jedoch zu deutlichen Kostenvorteilen von über 25% (für diesen Leitungstyp) führen.

Der Einsatz von Doppelrohren anstatt von zwei Einzelrohren für diese Hausanschlussleitungen ist zudem empfehlenswert. Obwohl bei der Verwendung von Doppelrohrsystem der höhere Preis der Form- und Verbindungsstücke zu berücksichtigen ist, sind diese, wie in *Abbildung 4.5* dargestellt, ähnlich günstig wie ein vergleichbares Paar Einzelrohre. Doppelrohre haben jedoch einen geringeren spezifischen Wärmeverlust im Vergleich zu zwei Einzelrohren und benötigen weniger Grabenaushub.

Netze bei denen die Hauptverteilungen aus KMR und die Hausanschlussleitungen aus PMR (mit Sauerstoffdiffusionssperre) bestehen, stellen insbesondere in Fällen bei denen Nenndurchmesser größer DN 150 für die Verteilungen notwendig sind, eine interessante Alternative dar. Sie verbinden die Kostenvorteile von KMR im Bereich von Leitungen größeren Durchmessers mit der einfachen, flexiblen Verlegung welche die Kostenvorteile der flexiblen Kunststoffmediumrohre im Durchmesserbereich unter DN65 begründet.

Insgesamt wird deutlich, dass im Gegensatz zur landläufigen Meinung die Netze nicht unbedingt ein Problem für die Wirtschaftlichkeit des leitungsgebundenen Wärmeversorgungssystems im ländlichen Raum darstellen müssen. Mit einem Beitrag von 1,9 - 2 ct/kWh_{th} zu den Gesamtwärmegestehungskosten bei einer rechnerischen Nutzungsdauer von 40 Jahren und jährlichen Instandhaltungskosten von 1 % nach VDI 2067-1, sind die zu erwartenden Wärmegestehungskosten im für das Modellnetz, verhältnismäßig gering. Legt man eine Amortisationszeit von 15 Jahren und Instandhaltungskosten von jährlich 4 % zugrunde, erhöht sich der Anteil der Wärmegestehungskosten für das betrachtete Beispielnetz auf 3,4 - 3,6 ct/kWh_{th}. Die Berechnungen sind auf der beiliegenden CD zu finden. Es bleibt natürlich eine unternehmensstrategische Aufgabe, den Netzaufbau und dafür einzusetzende Investitionsmittel und den Wärmeabsatz des Netzes beim Netzaufbau einigermaßen synchron zu führen, da sonst erheblich verlängerte Amortisationszeiten nicht vermeidbar sind.

Umgerechnet mit der linearen Wärmeleistungsdichte von 0,7 kW_{Erzeuger}/m auf die installierte Leistung von 1,95 MW entsprechen die durchschnittlichen Netzkosten des Modellnetzes etwa 280 – 300 €/kW_{Anschluss} beziehungsweise 440 – 470 €/kW_{Erzeuger} oder bei einem Leistungsanteil des Grundlastwärmeerzeugers von 50 % 880 – 960 €/kW_{Grundlastwärmeerzeuger}. Damit liegen sie im unteren Bereich der Kosten, welche für die Berechnung der Wärmegestehungskosten aus Abwärme angesetzt wurden (siehe *Abbildung 2.4*).

Im Folgenden soll auf die grundlegenden Annahmen und Daten eingegangen werden, aus denen das vorliegende Ergebnis resultiert. In *Tabelle 4.1* sind die für die Berechnung zugrunde gelegten Annahmen dargestellt. Sie gelten zusätzlich zu den in *Tabelle 2.1* aufgeführten.

4.2 Kostenvergleich - Rohrmaterial

Tabelle 4.1:
Annahmen als
Grundlage für
den Vergleich der
Wirtschaft-
lichkeit verschie-
dener Optionen
der leitungs-
gebundenen
Wärme-
versorgung

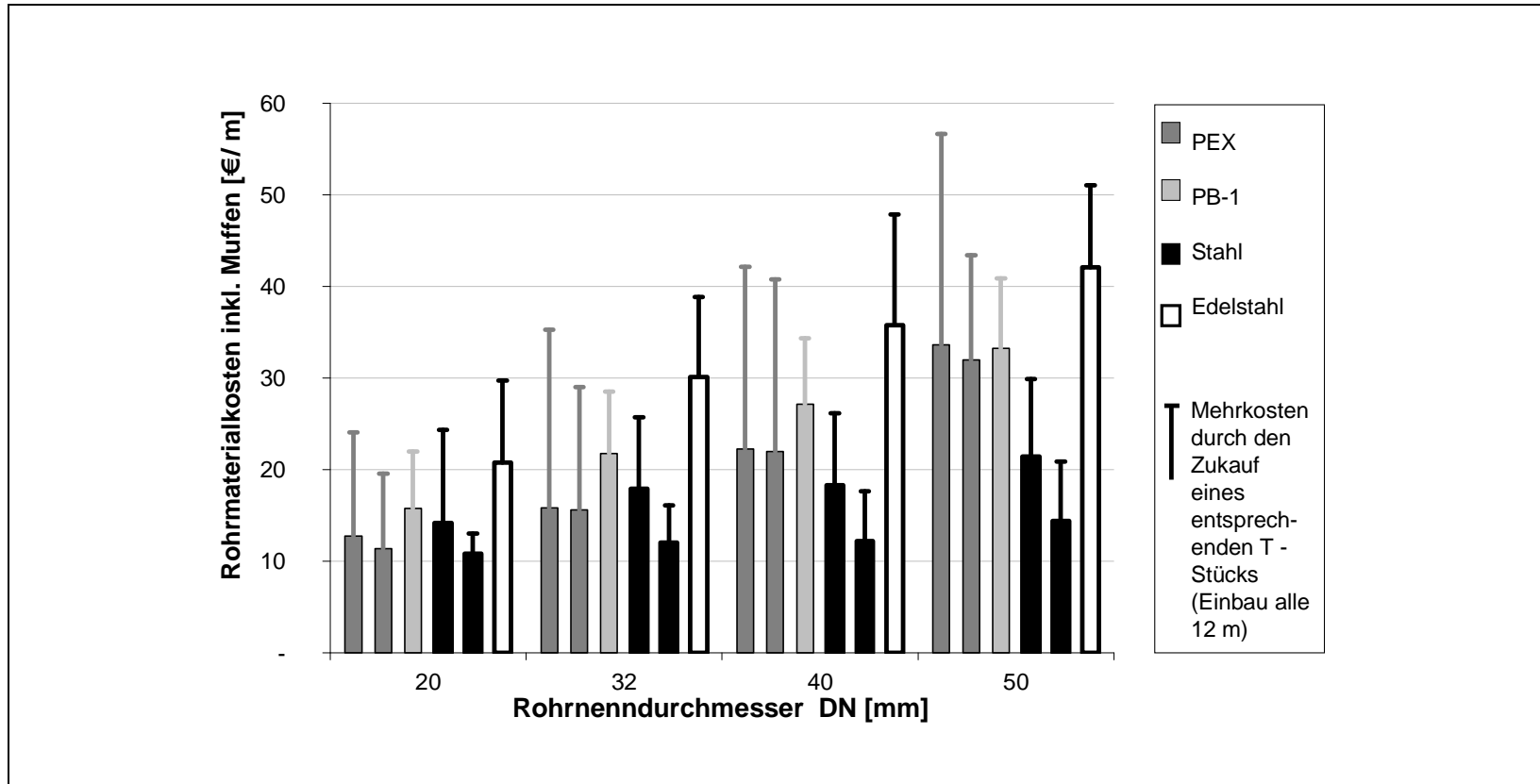
| | | | |
|--|------|---------------------------|---|
| rechnerische Nutzungsdauer nach VDI 2067 | 40 | a | |
| Anschlussleistung | 3 | MW _{th} | |
| Gesamte Erzeugerleistung unter Berücksichtigung des Gleichzeitigkeitsfaktors | 1,95 | MW _{th} | |
| Durchschnittliche Anschlussleistung eines Hauses (Durchschnitt über alle vorhandenen Siedlungstypen) | 22 | kW _{th} | Angabe aus [Winkens, 1999] Normaussentemperatur von -12 °C |
| Lineare Wärmeleistungsdichte | 0,7 | kW _{Erzeuger} /m | entspricht ca. 1,1 kW _{Anschluss} /m |
| Netzlänge | 2786 | m | siehe Abbildung 2.1 |
| Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf (Auslegungswert) | 25 | K | |
| Maximale Strömungsgeschwindigkeit im Rohr (Auslegungswert) | 1,5 | m / s | |
| Durchschnittliche Länge einer Hausanschlussleitung | 10 | m | |
| Länge der Hauptleitung vom Grundlastwärmeerzeuger | 500 | m | |

| Werkstoff | Firma | Ausrüstung mit Leckwarndraht | Diffusionsperre vorhanden | Art der Diffusionssperre | T _{max} (°C) | T _{max} Dauerbetrieb (°C) | P _{max} (bar) | Flexibel | Ausführung Mantelrohr | Dämmmaterial |
|---------------|---------|------------------------------|---------------------------|---|-----------------------|------------------------------------|------------------------|----------|-----------------------|--|
| PE-Xa-Rohr | Firma E | | ja | EVOH (organische Sperrschicht) | 95 | k.A. | 6 | ja | PE-HD Mantelrohr | geschlossen-zelliger PE-Schaum |
| PE-Xa-Rohr | Firma A | | ja | E/Val (rot gefärbte, organische Sperrschicht) | 95 | 80 | 6 | ja | PE-LD Mantelrohr | PCKW-freie PUR-Schaumdämmung |
| PE-Xa-Rohr | Firma C | ja | ja | EVOH (organische Sperrschicht) | 95 | k.A. | 6 | - | PE-HD Mantelrohr | semiflexibler Polyurethan-Hartschaum |
| PB-1-Rohr | Firma F | | ja | (organische Sperrschicht) | 95 | 80 | 8 | ja | PE-HD Mantelrohr | Polyolefin, geschlossenzellig, wasserdicht |
| Kupfer | Firma E | | Keine Sperre notwendig | Kupfer | 250 | k.A. | k.A. | ja | PE-HD Mantelrohr | Steinwolle |
| Edelstahl | Firma B | | Keine Sperre notwendig | Edelstahl | 250 | k.A. | k.A. | ja | PE-HD Mantelrohr | Steinwolle |
| Edelstahl | Firma B | ja | Keine Sperre notwendig | Edelstahl | 150 | min.120 | 25 | ja | Edelstahl-Wellrohr | Flexibler PUR-Hartschaum |
| Stahl (ST-37) | Firma D | (ja) | Keine Sperre notwendig | Stahl | 142 | min.120 | 25 | - | PE-HD Mantelrohr | FCKW-freie PUR-Schaumdämmung |
| Stahl (ST-37) | Firma B | ja | Keine Sperre notwendig | Stahl | 140 | min.120 | 25 | - | PE-HD Mantelrohr | Polyurethan-Hartschaum |
| Stahl (ST-37) | Firma C | ja | Keine Sperre notwendig | Stahl | 140 | min.120 | k.A. | - | PE-HD Mantelrohr | Polyurethan-Hartschaum |
| Stahl (ST-37) | Firma D | (ja) | Keine Sperre notwendig | Stahl | 142 | min.120 | 25 | ja | PE-HD Mantelrohr | FCKW-freie PUR-Schaumdämmung |

Tabelle 4.2: Eigenschaften der verglichenen Rohrleitungssysteme

Tabelle 4.2 stellt die wichtigsten Rohreigenschaften der verglichenen Systeme dar. Deutlich wird, dass sich die Betriebsparameter stark unterscheiden, bis zu welchen die verschiedenen Systeme betrieben werden können. Insbesondere die Druck- und Temperaturresistenz der PMR²² liegt signifikant unter denen der KMR²³. Die PMR stellen also nur für den Fall eine Alternative zu den KMR dar, dass das Netz bei Drücken von bis zu 8 bar (beim Einsatz von Polybuten) und Dauerbetriebstemperaturen unterhalb von 80 °C betrieben wird. Eine Einhaltung dieser Parametergrenzen ist in Nahwärmenetzen im ländlichen Raum realistisch möglich, weshalb alle dargestellten Rohrmaterialien für diesen Einsatz geeignet erscheinen.

Abbildung 4.2:
Angebotspreise
für vorisolierte
Rohre mit
verschiedenen
Mediumrohr-
materialien, inkl.
Muffen, ohne
Verlegung und
Montage
bis DN 50²⁴



²² PMR – flexible vorisolierte Kunststoffmediumrohre

²³ KMR – Kunststoffmantelrohr als Oberbegriff für vorisolierte Rohre mit Stahlmediumrohr

²⁴ Preise aus Angeboten für Bestellmengen: 6000 m bis DN 40 und 3000m DN 50

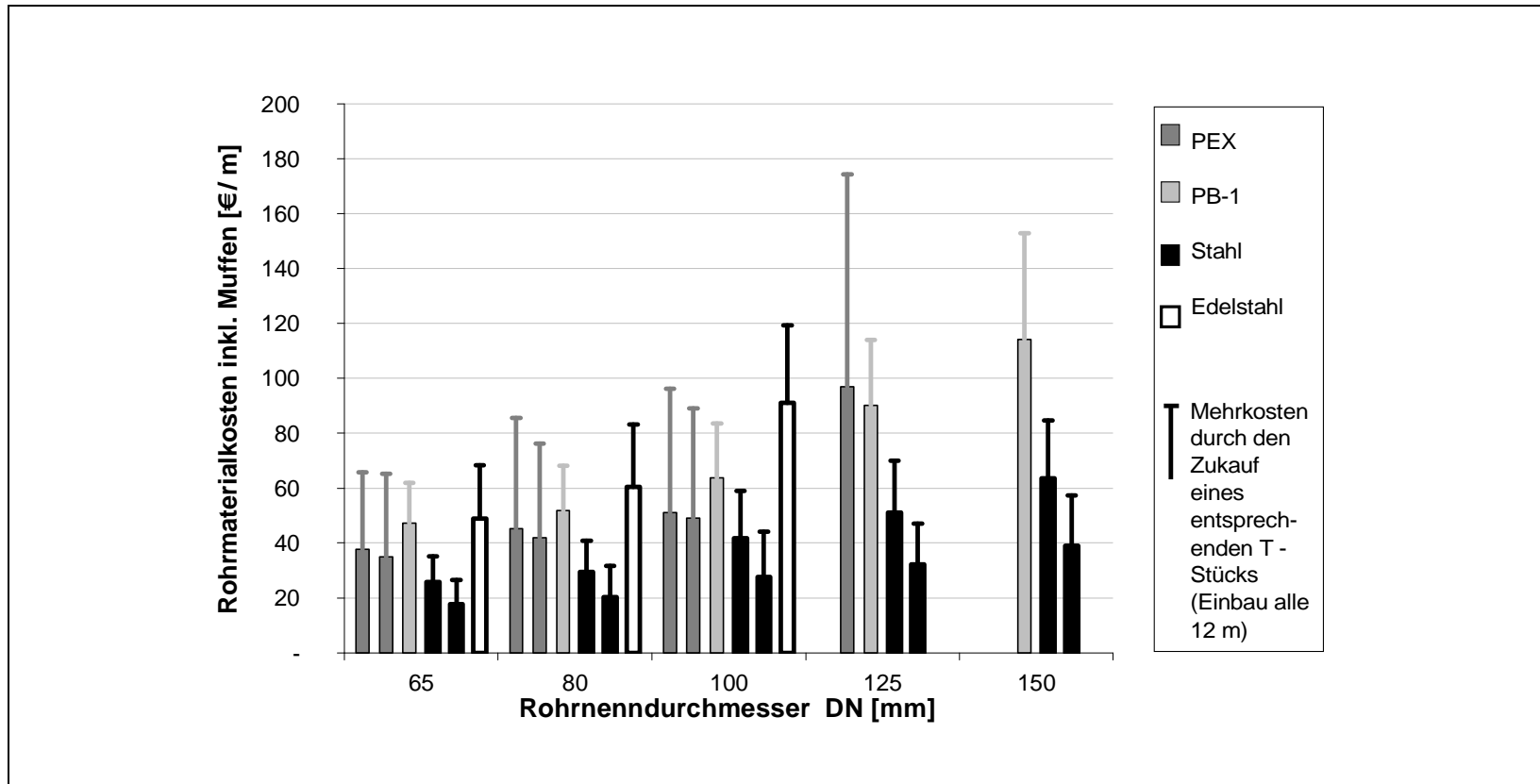


Abbildung 4.3: Angebotspreise für vorisolierte Rohre mit verschiedenen Mediumrohrmaterialien, inkl. Muffen, ohne Verlegung und Montage von DN 65 bis DN 150²⁵

²⁵ Preise aus Angeboten für Bestellmengen: 3000 m bis DN 80 und 1000m ab DN 100

Die *Abbildungen 4.2* und *4.3* zeigen Rohrmaterialekosten entsprechend den von Herstellern eingeholten Angeboten für verschiedene vorisolierte Rohrsysteme unterschieden nach dem Material des Mediumrohres. Die angefragten Angebotsmengen waren: 6000 m bis DN 50, 3000 m bis DN 80 und 1000 m für die Rohre von DN 100 bis DN 150. Die Angaben der Hersteller wurden mittels einer Sekundärquelle [GfEM & E.C., 2004] auf ihre Plausibilität hin geprüft.

Da PEX und Stahlrohre von einer größeren Herstelleranzahl angeboten werden, wurden jeweils zwei Hersteller dieser Rohrtypen befragt, um in *Abbildung 4.2* und *4.3* auch Preisunterschiede verschiedener Herstellern zu berücksichtigen.

Die in der Grafik aufgesetzten Balken ermöglichen es, den Einfluss der zusätzlich erforderlichen T-Stücke auf die spezifischen Kosten zu identifizieren. Dabei zeigt sich, dass sowohl mit als auch ohne die Berücksichtigung des Einbaus der T-Stücke alle 12 m starre Stahl-KMR als Rohrmaterial die günstigste Alternative darstellen. Wobei es hier herstellerabhängig durchaus signifikante Unterschiede gibt.

Rohre mit Mediumrohren aus vernetztem Polyethylen (PEX) sind ohne Berücksichtigung, der durch T-Stücke entstehenden Mehrkosten günstiger als die mit Polybuten-Mediumrohr (PB-1). Werden für einen Streckenabschnitt jedoch T-Stücke benötigt, so werden PB-1-Rohre aufgrund ihrer günstigen Formstücke im Vergleich zu den PEX-Rohren mit steigendem Nenndurchmesser zunehmend attraktiver. PB-1-Rohre haben PEX-Rohren gegenüber den Vorteil, dass sie direkt miteinander verschweißt werden können und somit der Einsatz von Muffen entfallen kann [PBPSA, 2007]. Als teuerste Variante stellen sich in diesem Vergleich Edelstahl-Flexrohre dar, welche jedoch die Vorteile der anderen Systeme in sich vereinen. Sie sind hochgradig temperaturbeständig wie die Stahl-KMR, dabei jedoch gleichzeitig flexibel und selbstkompensierend wie die Kunststoff-PMR. Für Netze, die mit hohen Temperaturen betrieben werden sollen und bei denen eine flexible Verlegung von Vorteil ist, stellt dieses Rohrmaterial daher durchaus eine interessante Alternative dar.

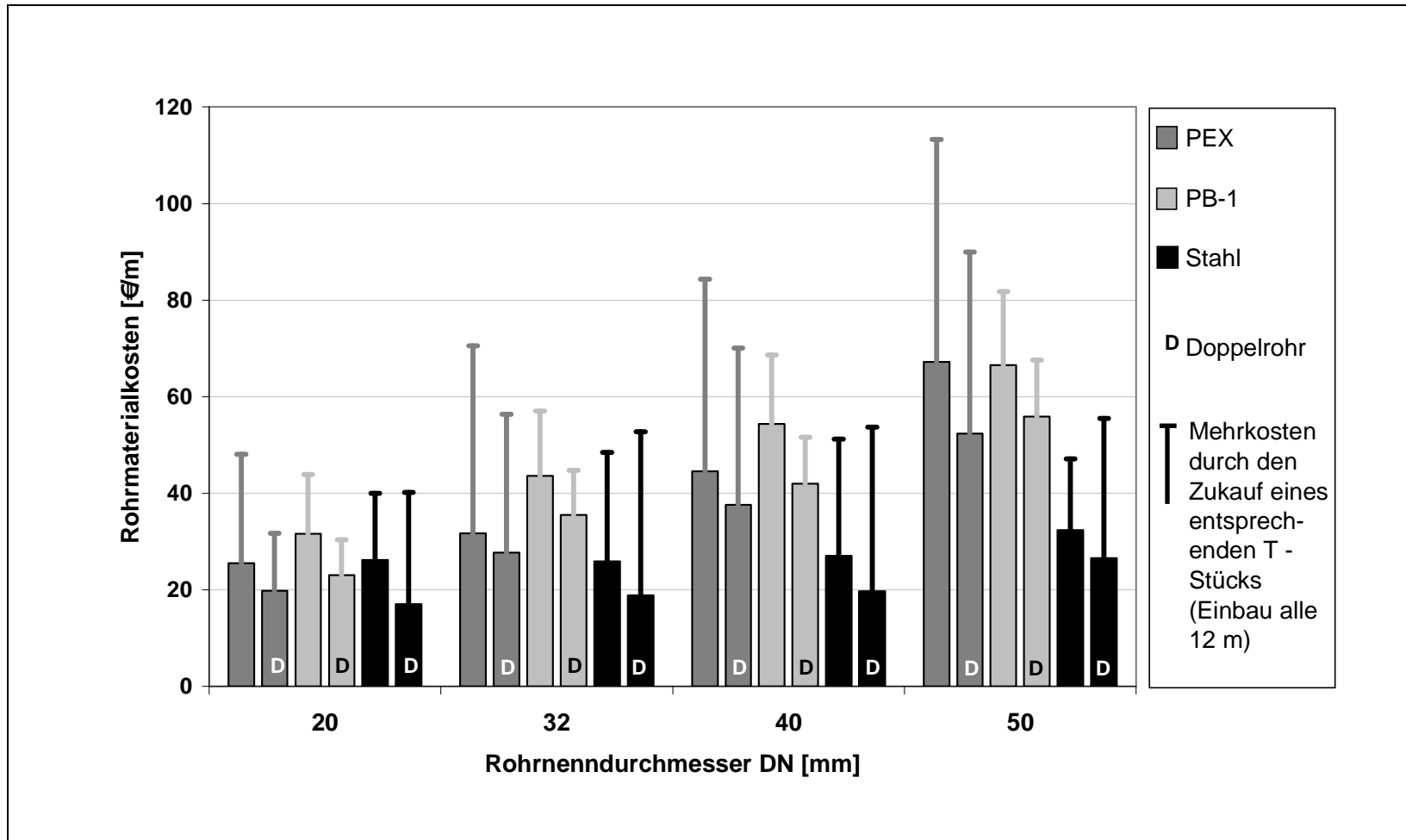


Abbildung 4.4: Preisvergleich²⁶ Rohrmaterial für Doppelrohre und je 2 Einzelrohre bis DN 50.

²⁶ Preise aus Angeboten für Bestellmengen: 6000 m bis DN 40 und 3000m DN 50

In *Abbildung 4.4.* sind die Ergebnisse eines Vergleichs von Doppelrohrsystemen mit jeweils 2 Einzelleitungen dargestellt. Es wird deutlich, dass Doppelrohre ohne die Berücksichtigung der Kosten für T- Stücke immer günstiger sind, als zwei Einzelleitungen aus dem entsprechenden Material. Berücksichtigt man anteilig die Kosten für die entsprechenden T-Stücke, wird insbesondere bei Stahl-KMR deutlich, dass in diesem Fall der Kostenvorteil der Verwendung von Doppelrohrsystemen verloren geht.

Doppelrohre eignen sich daher insbesondere für die Verwendung als Hausanschlussleitung. Bei dünnen Leitungen ist der spezifische Wärmeverlust aufgrund der großen Oberfläche pro Rohrvolumen besonders hoch. Doppelrohrsysteme könnten somit zur Absenkung der Netzwärmeverluste beitragen, da sie die spezifische Mantelrohroberfläche pro Volumen senken.

Aufgrund der Standardisierung der Anfrage an die Rohrhersteller sind auch bei den Doppelrohren bis DN 50 Preise für 6000 m angefragt worden. Da ein Doppelrohr jedoch Vor- und Rücklauf enthält, ist davon auszugehen, dass bei einer praktischen Umsetzung die Kostenvorteile der Doppelrohrsysteme nicht ganz so deutlich ausgeprägt sind wie oben dargestellt.

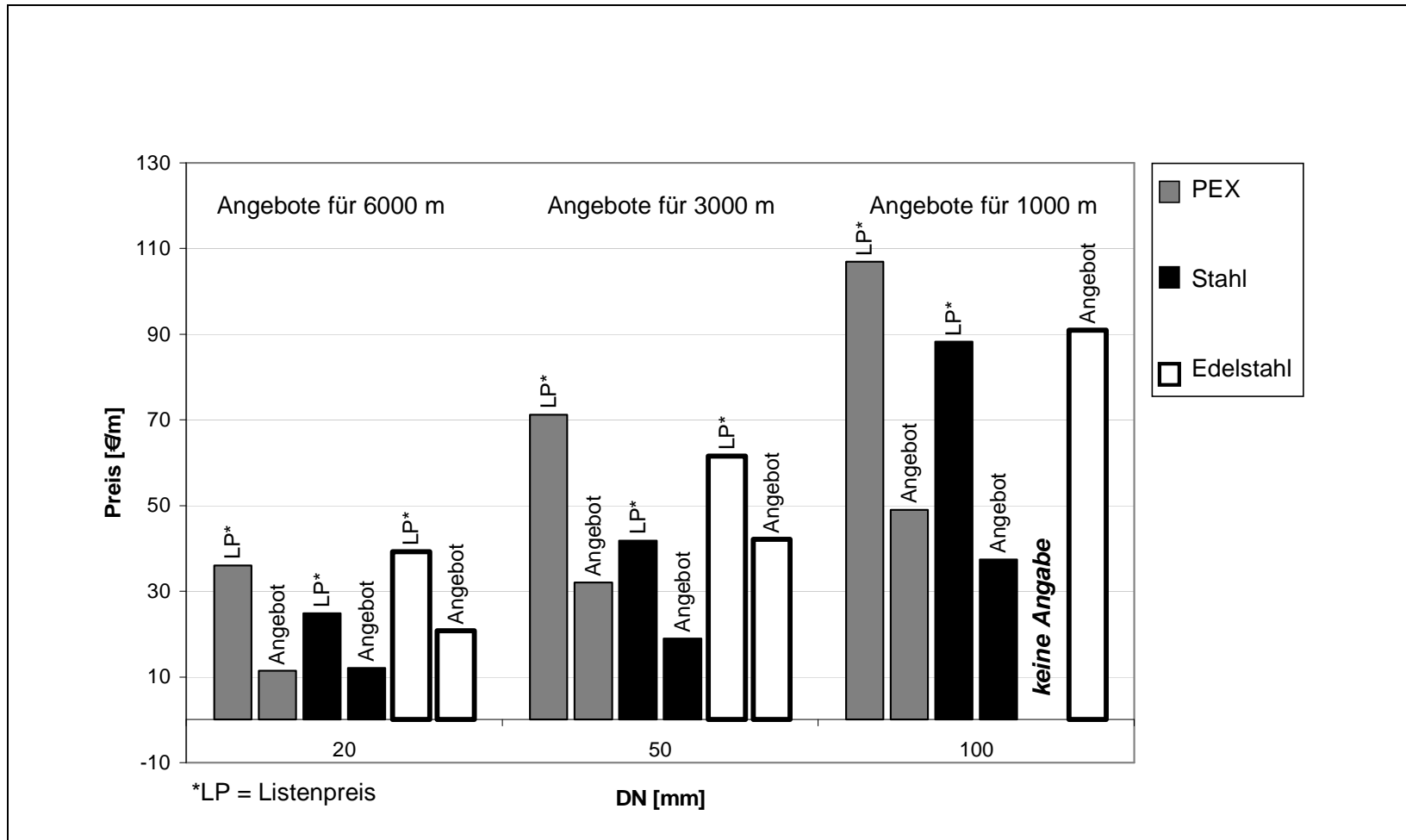


Abbildung 4.5: Vergleich von Angebots- und Listenpreisen²⁷

²⁷ inklusive Muffen, ohne Verlegung und Montage

Abbildung 4.5 soll verdeutlichen, wie stark sich Angebots- und Listenpreise der Hersteller unterscheiden. Exemplarisch für Hersteller, welche Preislisten herausgeben, wurde der Vergleich hier nur für drei verschiedene Rohrmaterialien durchgeführt. Festzustellen bleibt, dass die Angebotspreise mehr als 50 % unter den Listenpreisen liegen können. Eine Abschätzung der Netzkosten basierend auf Listenpreisangaben ist daher nicht sinnvoll. Sinnvoller ist folgendes Vorgehen:

1. Holen Sie für alle Angebote ein (Paketpreise), für Tiefbau und Rohrbauteile (gehen Sie nicht nach Preislisten)
2. Vergleichen Sie die Angebotspreise mit den Angaben im FWF-Handbuch unter Berücksichtigung der Teuerungsrate, um einen ersten Eindruck der Attraktivität der Angebote zu erhalten
3. Fragen Sie unterschiedliche Hersteller und Lieferanten an verschiedenen Orten und zu verschiedenen Zeiten an
4. Fragen Sie wenn möglich lokale Erfahrungen ab.
5. Führen Sie ihre Wirtschaftlichkeitsbetrachtung basierend auf den gewonnenen Erkenntnissen fort.

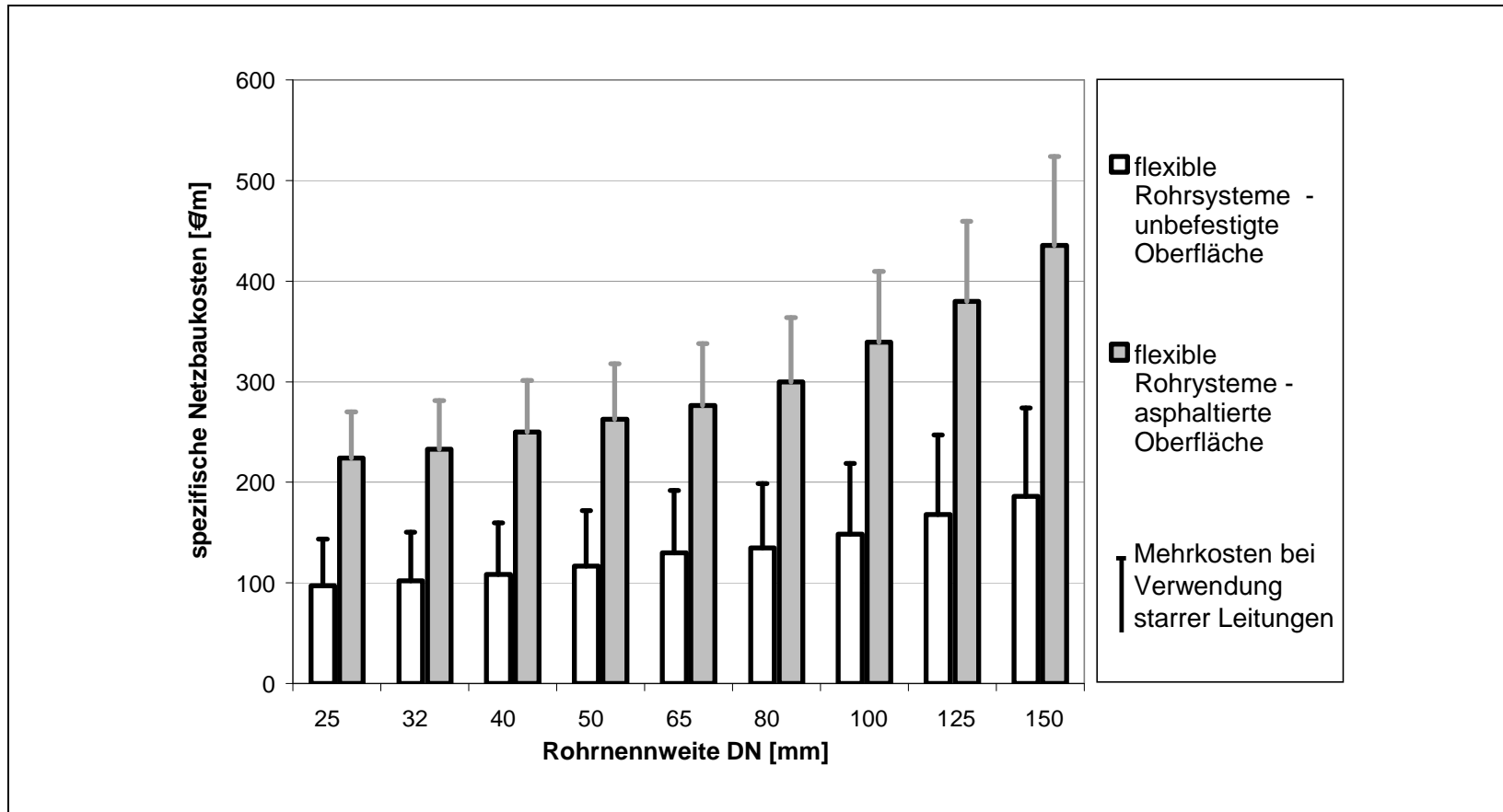


Abbildung 4.6: Durchschnittliche Netzbaukosten²⁸ flexibler Leitungen und Mehrkosten bei der Verwendung starrer Leitungen.

²⁸ Beinhaltet Rohr- und Tiefbau ohne Rohrmaterial. Angaben für 2004.

Nach der detaillierten Darstellung der Kosten für die verschiedenen Rohrmaterialien, werden in *Abbildung 4.6* Mittelwerte für die Netzbaukosten gezeigt. Die Netzbaukosten beinhalten Kosten für den Rohrbau, den Tiefbau und die Wiederherstellung der Oberfläche. Besonders deutlich wird in dieser Abbildung, dass die Oberflächenwiederherstellung einer Asphaltierung in der Regel mehr kostet, als der gesamte Netzbau bei Verlegung flexibler Rohre unter unbefestigter Oberfläche.

Im ländlichen Raum sollte also vorrangig darauf geachtet werden, die Leitungen möglichst in Gebieten mit unbefestigter Oberfläche zu verlegen, da dadurch ein hohes Kosteneinsparpotenzial erzielt werden kann. Im Vergleich von *Abbildung 4.6* mit *Abbildung 4.2* zeigt sich, dass bei durchschnittlichen Rohrmaterialkosten für DN 50 von weniger als 100 €/m die entsprechenden Netzbaukosten bei 120 bis 180 €/m für eine Verlegung unter unbefestigter Oberfläche liegen und gar bei 280 bis 320 €/m für die Verlegung unter einer asphaltierten Oberfläche. Im Vergleich zu den Rohrmaterialkosten dominieren daher die Netzbaukosten klar. Dies führt dazu, dass eine Einsparung von 32 % der Netzbaukosten für unbefestigte Oberflächen bei der Verwendung von flexiblen Systemen, die teilweise höheren Kosten der flexiblen Leitungssysteme kompensieren kann und somit zu einer besseren Wirtschaftlichkeit der flexiblen Systeme im Vergleich zu den konventionellen starren KMR Leitungen führen kann.

5 Anschlussysteme

5.1 Zusammenfassung

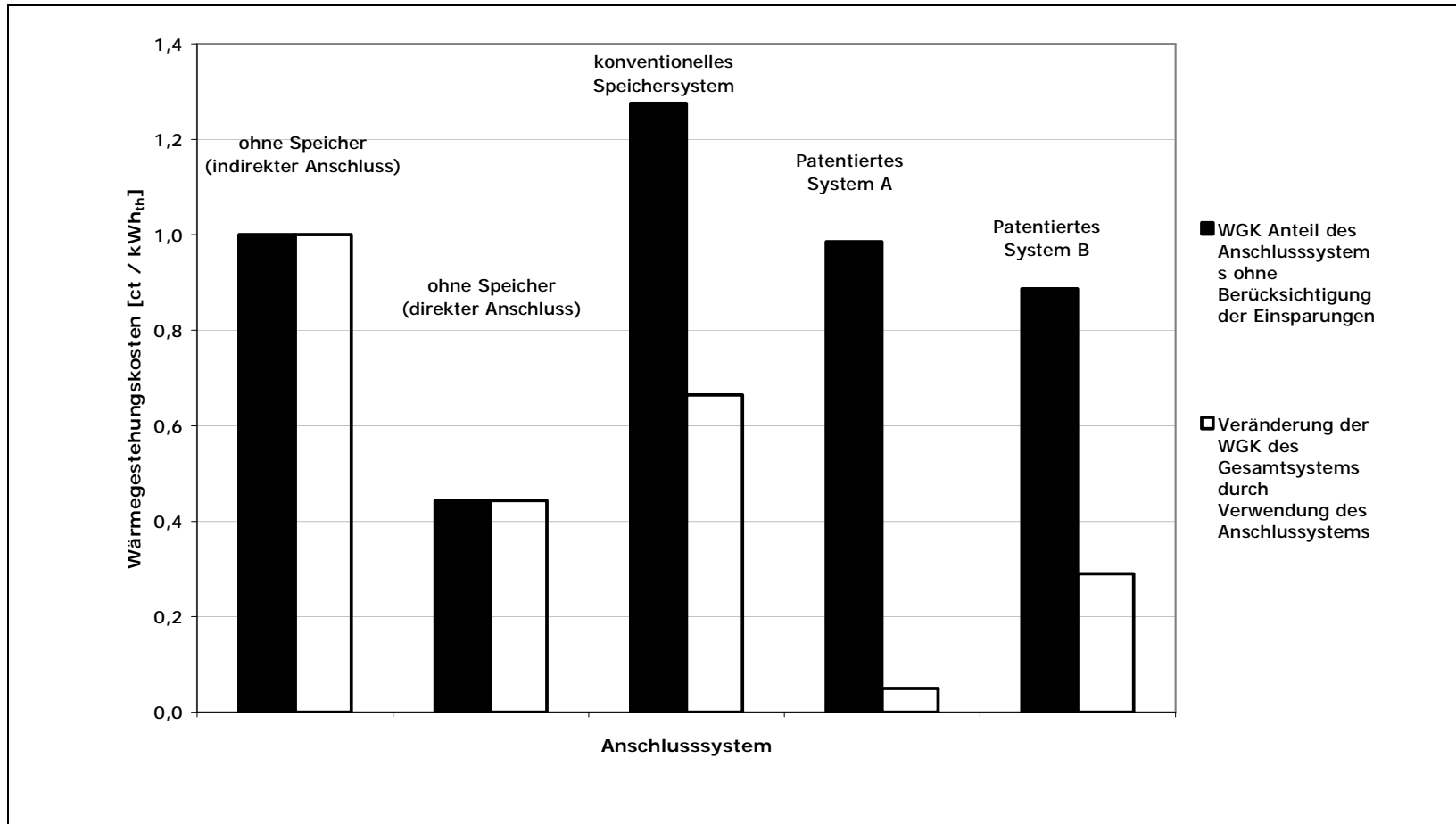


Abbildung 5.1: Wärmegestehungskostenanteil aus Hausanschlusssystemen. Brutto und unter Berücksichtigung der erzielten Einsparungen²⁹.

²⁹ Einsparungen bei patentierten Systemen = Richtwerte von Herstellern

Abbildung 5.1 zeigt einen Vergleich des Wärmegestehungskostenanteils verschiedener Systeme zum Anschluss des Kunden an das Nahwärmenetz. Es wird dabei deutlich, dass Pufferspeicher-Hausanschlussysteme, welche Fernwärme- oder Heizungswasser dezentral speichern, um Lastspitzen lokal abdecken zu können, deutliche Kostenvorteile im Vergleich zu konventionellen indirekten Kompaktstationen mit sich bringen können. Die patentierten Hausanschlussysteme unterscheiden sich dabei meist durch eine ausgeklügelte, an das jeweilige System angepasste Regelungstechnik vom konventionellen Pufferspeicher-Hausanschlussystem, welches aus Pufferspeicher und indirekter Hausstation besteht. Bei den exemplarisch gewählten patentierten Systemen werden zusätzlich mehrere Verbraucher in einem Mini-Sekundärnetz zusammengefasst, welches nur über einen großen Wärmetauscher (z.B. 200 kW) mit dem primären Fernwärmenetz verbunden ist. Die Kostenvorteile der Pufferspeicher-Hausanschlussysteme werden größtenteils im laufenden Betrieb erzeugt, denn die sich aus den Investitionskosten ergebenden Bruttowärmegestehungskosten für den Hausanschluss mit Pufferspeicher sind mit $200 \text{ €/kW}_{\text{Anschluss}}$ im besten Fall ähnlich denen eines konventionellen indirekten Anschlusses, für die konventionellen Systeme sogar noch höher. Die bei der Berechnung der Nettowärmegestehungskosten berücksichtigten Einsparungen betreffen eine Absenkung der Wärmeverluste, eine Verringerung des benötigten Pumpenstroms und eine Erhöhung der Nutzungsgrade der Erzeuger durch den kontinuierlicheren Betrieb.

Ebenso zeigt *Abbildung 5.1*, dass Systeme mit direktem Anschluss mit ca. $90 \text{ €/kW}_{\text{Anschluss}}$ weniger als die Hälfte der Investitionsaufwendungen im Vergleich zu den in Deutschland vielfach verwendeten indirekten Systemen erfordern, deren leistungsspezifische Kosten mit ca. $200 \text{ €/kW}_{\text{Anschluss}}$ anzusetzen sind. Aufgrund des Wegfalls der Übertragungsverluste in einem Wärmetauscher kann sogar ein geringes Einsparpotenzial realisiert werden. Als Nachteile sind bei direktem Anschluss vor allem die hydraulische Kopplung des lokalen Heizungssystems mit dem Fernwärmenetz, sowie die geringere Systemstabilität zu nennen. Letztere resultiert aus einer Beeinflussung des Gesamtsystems durch eventuelle Fehler in den lokalen Heizungssystemen. Insbesondere in nicht weit ausgedehnten Netzen mit geringen topografischen Höhendifferenzen ist jedoch der direkte Anschluss eine interessante Alternative zu den in Deutschland üblichen indirekten Hausstationen.

Es ist anzumerken, dass die grundlegenden Daten im Bezug auf Einsparungen und Investitionskosten insbesondere bei den patentierten Systemen größtenteils Herstellerangaben sind und nicht mittels einer standardisierten Methode erhoben wurden. Die Ergebnisse können daher nur als Richtwerte angesehen werden.

6 Identifikation Fernwärme-geeigneter ländlicher Gemeinden

Im folgenden Kapitel wird in Umrissen ein Verfahren beschrieben, mit welchem in einem Untersuchungsgebiet für eine Fernwärmeversorgung geeignete Gemeinden identifiziert werden können. In einem ersten Schritt wird dazu ein Gebiet festgelegt, in welchem eine leitungsgebundene Wärmeversorgung aufgebaut werden könnte. In diesem Gebiet werden nun Gemeinden von relevanter Größe identifiziert. Die Flächen der interessanten Gemeinden werden in verschiedene Siedlungstypen eingeteilt. Nach einer groben Abschätzung des zu erwartenden Wärmebedarfs mittels Literaturdaten für die verschiedenen Siedlungstypen, wird die Anzahl der interessanten Gemeinden weiter eingegrenzt. In einem letzten Schritt folgt dann eine genauere Wärmebedarfsabschätzung durch systematische Befahrung der ausgewählten Gemeinden. Die folgende Abbildung zeigt den Ablauf des Screeningverfahrens.



Abbildung 6.1:
Ablauf des
Screening-
verfahrens

6.1 Abschätzung des Wärmebedarfs mittels Literaturdaten.

Zur Bewertung der Siedlungsgebiete auch im Hinblick auf die Einordnung städtischer / ländlicher Raum werden die Siedlungstypen nach Roth [Roth, 1980] und nach BMBau [BMBau et al., 1980] verwendet. Die folgende Tabelle zeigt die Siedlungstypen zusammen mit passenden Luftbild- und Kartenausschnitten, wobei die Typen nach BMBau in kursiv aufgelistet werden. Im weiteren Text wird die Benennung nach Roth verwendet, da er zwei Siedlungstypen mehr definiert hat, als nach BMBau vorhanden sind.

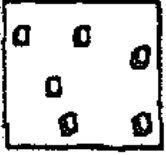
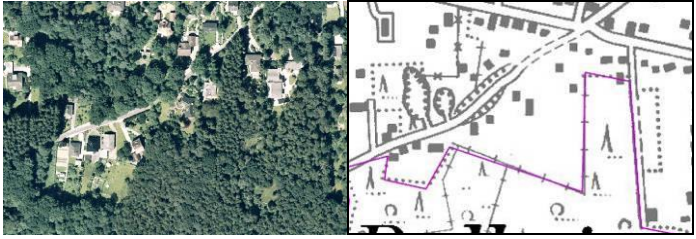
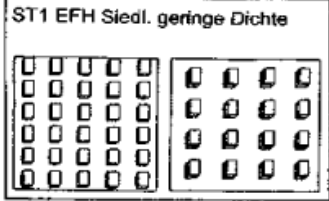



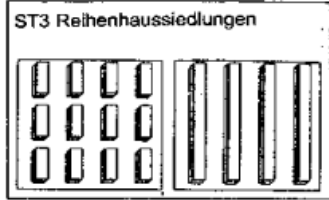

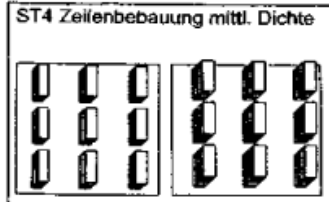

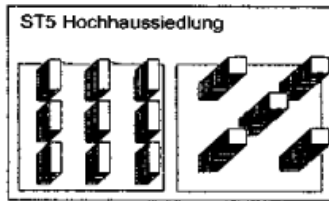

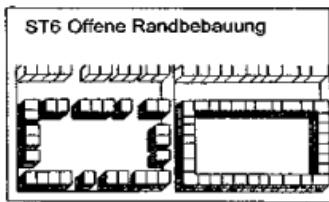

| Bezeichnung | BMBau | Roth | Beispielgebiete |
|-----------------------------|--|------|--|
| Offene Parksiedlung | X  | ST1 |  |
| EFH Siedlung geringe Dichte | ST1  | ST2 |  |
| Historische Dorfkerne | ST2  | ST3 |  |

Tabelle 6.1:
Darstellung der
Siedlungstypen
nach BMBau und
Roth

Tabelle 6.1:
Darstellung der
Siedlungstypen
nach BMBau und
Roth

| Bezeichnung | BMBau | Roth | Beispielgebiete |
|---------------------------------|---|------|---|
| Reihenhaussiedlung | <p>ST3</p>  | ST4 |  |
| Zeilenbebauung mittlerer Dichte | <p>ST4</p>  | ST5 |  |
| Hochhaussiedlung | <p>ST5</p>  | ST6 |  |
| Offene Randbebauung | <p>ST6</p>  | ST7 |  |

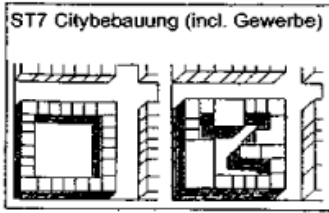


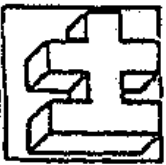

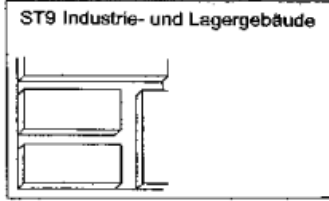
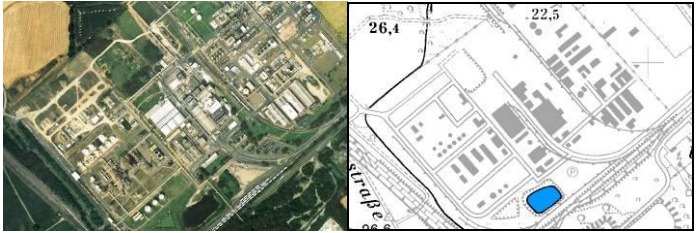
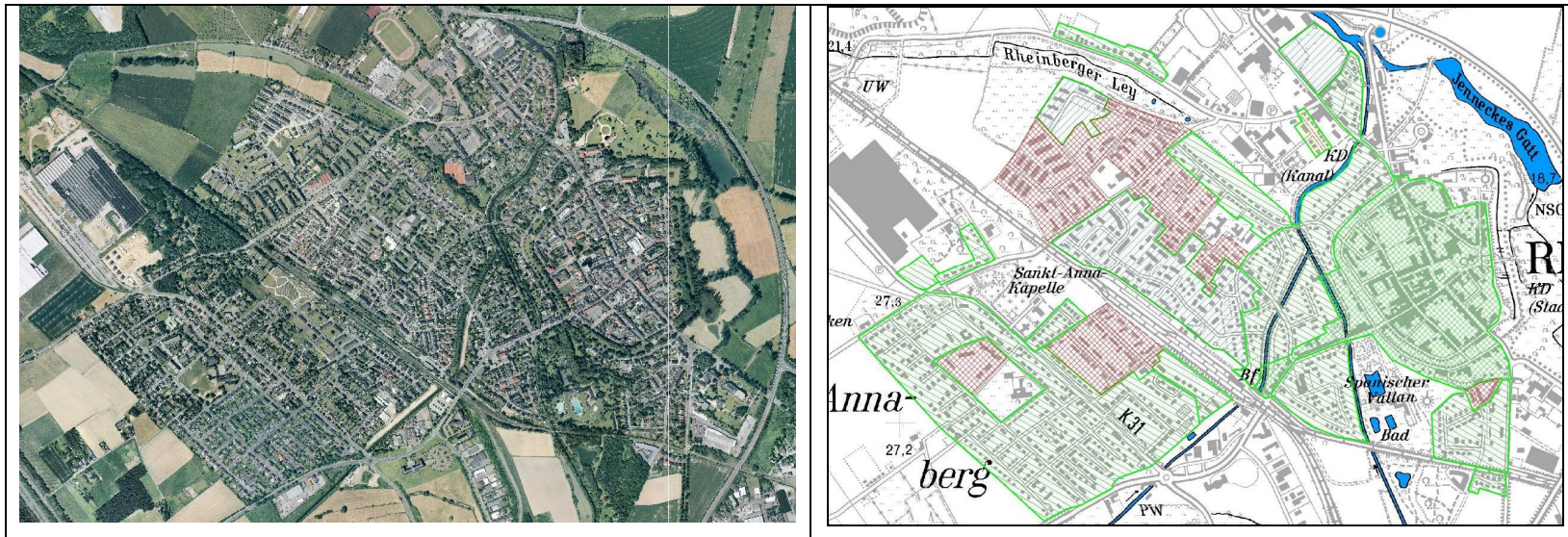
| Bezeichnung | BMBau | Roth | Beispielgebiete |
|------------------------------|---|------|---|
| Citybebauung (inkl. Gewerbe) | ST7  | ST8 |  |
| Mittelalterliche Altstadt | ST8  | ST9 | Eine mittelalterliche Altstadt kommt im Untersuchungsgebiet nicht vor. |
| Große Sonderbauten | X  | ST10 |  |
| Industrie- und Lagergebäude | ST9  | ST11 |  |
| | | | Quelle Luftbilder: Regionalverband Ruhrgebiet |

Tabelle 6.1:
Darstellung der
Siedlungstypen
nach BMBau und
Roth

Die Zuordnung von Häusergruppen zu den Siedlungstypen erfolgt nach Vergleich der Luftbildaufnahmen und der topographischen Karte Maßstab 1:25.000 (TK25) mit den oben gezeigten Siedlungstypen nach Roth. Hierbei sind die Gebäudegrundrisse, Abstände der Gebäude und Grünflächen zu beachten. Gebäudehöhen können evtl. auch durch Schattenwurf bei den Luftbildaufnahmen abgeschätzt werden. Dass dieses Verfahren bezogen auf einzelne Gebäude größere Fehler aufweisen kann ist offensichtlich, zugleich ist jedoch im statistischen Mittel von einem eher geringeren Fehler auszugehen, so dass der Vorteil –geringer Zeitaufwand – dies als ideales Verfahren für ein Screening darstellt.

Beispielhaft zeigt die *Abbildung 6.2* die Einteilung der Siedlungstypen an der Gemeinde Rheinberg im Kreis Wesel. Die Beschreibung der Einzelheiten erfolgt in Kapitel 8.

Abbildung 6.2:
Links ein
Luftbildaus-
schnitt der
Gemeinde
Rheinberg; rechts
die Einteilung
nach den
Siedlungstypen³⁰



³⁰ Quelle Luftbild und TK25 Quelle: Regionalverband Ruhrgebiet

Die Abgrenzung eher städtischer Wohnbebauung von ländlichen Gemeinden kann durch die Auftragung der einzelnen Flächenanteile der Siedlungstypen innerhalb einer Gemeinde in einem ternären Diagramm erfolgen. Hierbei werden die Einfamilienhäuser (ST2) und der Dorfkern (ST3) bzw. die städtische Randbebauung (ST5, ST6, ST7) jeweils zusammengefasst und mit ST4 (Reihenhaussiedlung) verglichen. Die anderen Siedlungstypen kommen im Regelfall nicht bzw. nur in geringem Umfang im ländlichen Raum vor.

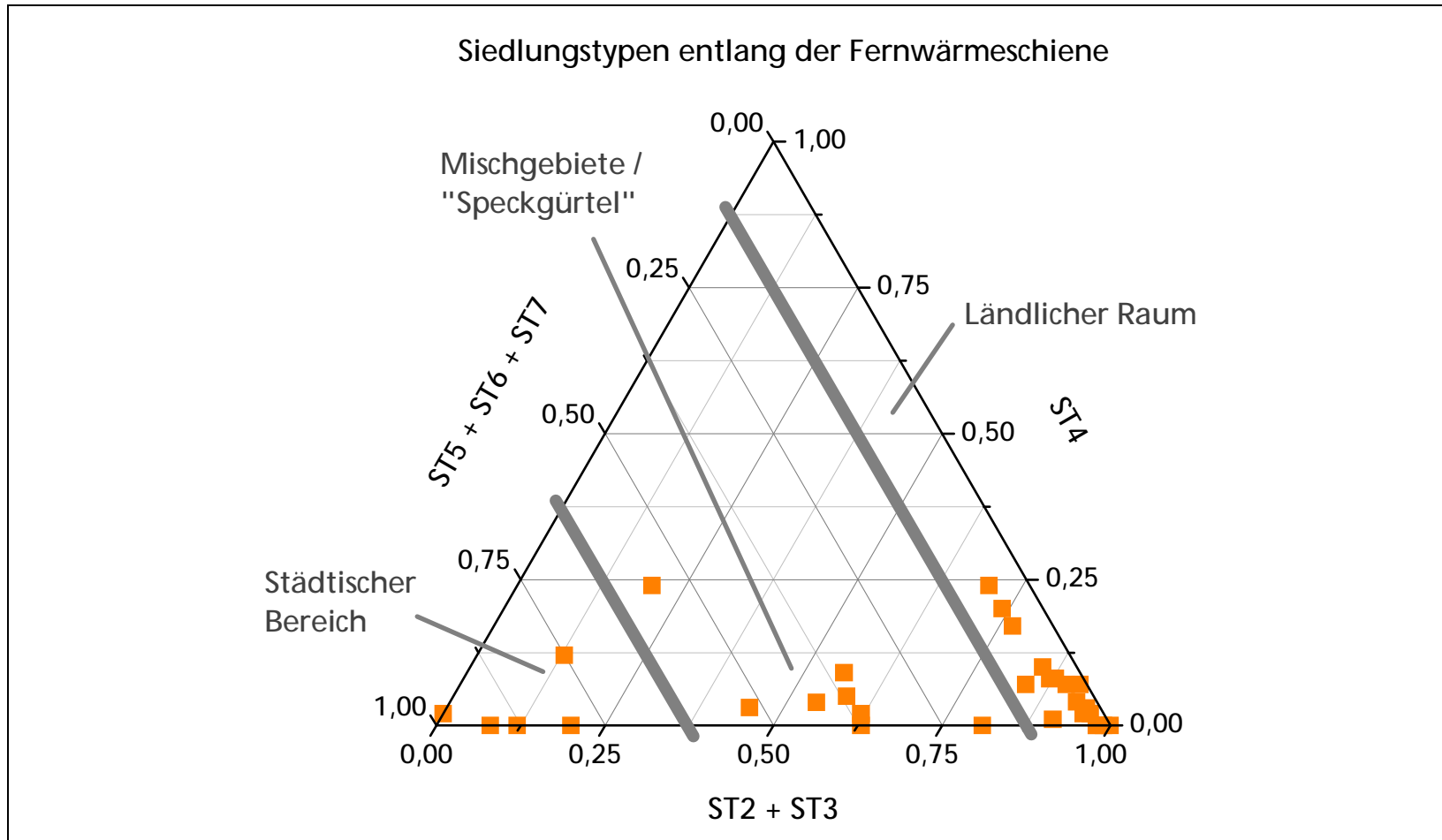


Abbildung 6.3:
Ternäres
Diagramm mit
den in
Siedlungstypen
eingeteilten
Gebieten in
einem
gescreenten
Raum

6.2 Wärmebedarfsschätzung

Mit Hilfe der Größe der abgegrenzten Gebiete oder Cluster und Angaben aus der Literatur [Winkens, 1999] kann im 2. Schritt der Wärmebedarf einer Gemeinde abgeschätzt werden.

Tabelle 6.2:
Kennzahlen nach
Winkens für die
Siedlungstypen

| | Gebäudeanzahl pro km ² | Anschlusswert pro Gebäude [kW] | Wärmeleistungs- dichte [MW/km ²] | Jahreswärme- bedarf pro Gebäude [MWh] | Wärmebe- darfsdichte [GWh/km ² *a] |
|-------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---|---|---|
| ST2 (EFH) | 1.143 | 14,7 | 16,8 | 24,1 | 27,5 |
| ST3 (Dorfkern) | 1.089 | 14,7 | 15,6 | 23,9 | 26,0 |
| ST 4 (Reihenhäuser) | 1.813 | 13,5 | 24,5 | 22,5 | 40,8 |
| ST 5 (MFH) | 689 | 48,9 | 33,7 | 83,7 | 57,7 |
| ST 7 (städt. Randbebauung) | 1.004 | 41,4 | 41,6 | 69,8 | 70,1 |

Zu beachten ist bei diesen Angaben, dass es sich um statistische Mittelwerte für Deutschland handelt, welche die spezifische Alterstruktur, den Modernisierungsgrad sowie die genaue Gebäudehöhe einer ausgewählten Siedlung unberücksichtigt lassen und wie die Basisdaten von Roth aus den 80er Jahren des vorigen Jahrhunderts stammen. Daher sind diese Daten nur für eine erste überschlägige Wärmebedarfsermittlung geeignet. Der Vorteil bei diesem Verfahren ist jedoch, dass nur durch Clusterung von Gebieten auf Basis von Luftaufnahmen (bspw. Google-Earth) sehr schnell ein erster Eindruck zum Wärmebedarf ermittelt werden kann. Das Vorgehen hierzu wird exemplarisch bei den Praxisbeispielen gezeigt.

Im Rahmen des Projektes wurde zusätzlich im zweiten Schritt eine Methode angewandt, bei der durch Befahrung des untersuchten Ortes und Inaugenscheinnahme aller Gebäude der Modernisierungsgrad sowie die Geschossanzahl und die Anzahl Wohneinheiten erhoben wurde. Anschließend wurde basierend auf den Angaben zum spezifischen Wärmebedarf sowie Annahmen zur durchschnittlichen Gebäudegrundfläche der Wärmebedarf ermittelt. Diese

Ermittlung des Wärmebedarfs ist deutlich genauer als die o.g., erfordert aber auch mehr Aufwand, so dass sie nicht zum Screening, sondern erst nach Festlegung eines Zielgebietes angewandt wird.

Am Beispiel von Rheinberg ergibt sich der Wärmebedarf gemäß der beiden angewandten Methoden entsprechend *Tabelle 6.3*. Die der Tabelle zugrundeliegenden Siedlungsstrukturen sind in *Tabelle 6.3* eingezeichnet und werden in *Kapitel 7* auf Rheinberg angewandt.

| Gebiet | EFH | RH / DHH | MFH Aufgänge | Siedlungs- typ | Fläche | Wärme- bedarfs- schätzung nach Befahrung | Wärme- bedarfs- schätzung nach Winkens | Wärme- bedarfs- dichte nach Befahrung | Wärme- bedarfs- dichte nach Winkens | Abweichung der durch Befahrung ermittelten Werte von Angaben in Winkens [2000] |
|--------|-----|-------------|-----------------|-------------------|--------------------|--|--|--|--|--|
| | - | - | - | - | [km ²] | [GWh/a] | [GWh/a] | [GWh/km ² *a] | GWh/km ² *a] | |
| 1 | 4 | 5 | 315 | ST3 | 0,334 | 12,6 | 8,7 | 37,8 | 26 | 45% |
| 2 | 89 | 248 | 61 | ST2 | 0,394 | 9,0 | 10,8 | 22,9 | 27,5 | -17% |
| 3 | 10 | 0 | 5 | ST2 | 0,010 | 0,3 | 0,3 | 27,9 | 27,5 | 1% |
| 4 | 0 | 0 | 27 | ST5 | 0,026 | 1,1 | 1,5 | 43,8 | 57,7 | -24% |
| 5 | 2 | 55 | 0 | ST2 | 0,023 | 1,0 | 0,6 | 43,9 | 27,5 | 60% |
| 6 | 0 | 0 | 46 | ST5 | 0,064 | 1,4 | 3,7 | 21,8 | 57,7 | -62% |
| 7 | 10 | 18 | 0 | ST2 | 0,015 | 0,6 | 0,4 | 42,1 | 27,5 | 53% |

Tabelle 6.3:
Ergebnisse der
Wärmebedarfs-
schätzung in
Rheinberg im
Vergleich mit
Schätzwerten nach
Winkens [2000]

Tabelle 6.3:
Ergebnisse der
Wärmebedarfs-
schätzung in
Rheinberg im
Vergleich mit
Schätzwerten
nach Winkens
[2000]

| Gebiet | EFH | RH / DHH | MFH Aufgänge | Siedlungs- typ | Fläche | Wärme- bedarfs- schätzung nach Befahrung | Wärme- bedarfs- schätzung nach Winkens | Wärme- bedarfs- dichte nach Befahrung | Wärme- bedarfs- dichte nach Winkens | Abweichung der durch Befahrung ermittelten Werte von Angaben in Winkens [2000] |
|---------------|------------|-------------|-----------------|-------------------|--------------|--|--|--|--|--|
| 8 | 0 | 0 | 188 | ST5 | 0,212 | 7,0 | 12,2 | 33,0 | 57,7 | -43% |
| 9 | 0 | 96 | 0 | ST4 | 0,032 | 1,2 | 1,3 | 37,3 | 40,8 | -9% |
| 10 | 6 | 6 | 0 | ST2 | 0,009 | 0,2 | 0,2 | 17,8 | 27,5 | -35% |
| 11 | 0 | 390 | 0 | ST4 | 0,156 | 6,4 | 6,4 | 40,8 | 40,8 | 0% |
| 12 | 103 | 35 | 0 | ST2 | 0,203 | 3,5 | 5,6 | 17,4 | 27,5 | -37% |
| 13 | 13 | 40 | 0 | ST2 | 0,053 | 1,2 | 1,5 | 22,1 | 27,5 | -20% |
| 14 | 21 | 38 | 0 | ST2 | 0,063 | 1,2 | 1,7 | 19,3 | 27,5 | -30% |
| 15 | 12 | 23 | 0 | ST2 | 0,021 | 0,8 | 0,6 | 40,8 | 27,5 | 48% |
| 16 | 7 | 63 | 0 | ST4 | 0,032 | 1,1 | 1,3 | 33,6 | 40,8 | -18% |
| 17 | 0 | 30 | 0 | ST5 | 0,007 | 0,5 | 0,4 | 68,8 | 57,7 | 19% |
| 18 | 37 | 8 | 0 | ST2 | 0,059 | 1,0 | 1,6 | 16,5 | 27,5 | -40% |
| Gesamt | 314 | 1055 | 642 | | 1,713 | 50,1 | 58,9 | 29,3 | 34,4 | -15% |

Bei Betrachtung der Unterschiede in den Ergebnissen der Wärmebedarfsschätzung nach Winkens von den nach Befahrung ermittelten Werten in Tabelle 6.3 wird offensichtlich, dass trotz Abweichungen von teilweise mehr als 60 % bei der Betrachtung von Teilgebieten, die Differenz bei Betrachtung des Gesamtgebietes mit 15 % verhältnismäßig gering ist. Für größere Gebiete scheint eine Wärmebedarfsschätzung nach Winkens heute also noch erste Anhaltswerte liefern zu können. Im Falle der Betrachtung von kleineren eher homogen bebauten Gebieten, liefert die Wärmebedarfsschätzung nach Befahrung bedeutend genauere Ergebnisse, da hier die unterschiedlichen Baualter der Gebäude sowie der Sanierungszustand und die Etagenanzahl besser beurteilt werden können.

7 Praxisbeispiele

Ein übergeordnetes Ziel des Forschungsprojektes „Fernwärme in der Fläche“ ist es, durch einen Vergleich verschiedener Technologieoptionen eine Entscheidungshilfe bezüglich zu erwartender Wirtschaftlichkeit von kleinen und mittleren Wärmeversorgungsnetzen zu bieten. Der wirtschaftliche Erfolg soll durch die Auswahl eines geeigneten Grundlastwärmeerzeugers bzw. einer geeigneten Abwärmequelle, sowie durch den Aufbau eines kostengünstigen Wärmenetzes und den Einsatz optimierter Kundenstationen gewährleistet werden.

Nach der allgemeinen Darstellung in den *Kapiteln 1 – 6* des Handbuchs folgt nun die Auswahl und Typisierung geeigneter Beispielgebiete. Aus dem eingegrenzten Versorgungsgebiet der Fernwärmeversorgung Niederrhein wurden durch Anwendung der in *Kapitel 7* beschriebenen Methoden zwei Gemeinden ausgewählt: Linnich und Rheinberg. Für diese Gemeinden sind im Folgenden jeweils die Grundsatzplanungen dargestellt.

7.1 Grundsatzplanung „Linnich“

Die Stadt Linnich befindet sich in der Nähe der Stadt Hückelhoven und hat ca. 4200 Einwohner. Linnich lässt sich aufgrund seiner Eigenschaften und seines Siedlungstyps eindeutig dem ländlichen Raum zuordnen. In der Nähe der Stadt befindet sich das Unternehmen SIG Combibloc GmbH, welches als potenzieller Abwärmelieferant in Erwägung gezogen wird.

7.1.1 Überschlägige Ermittlung des Wärmebedarfs

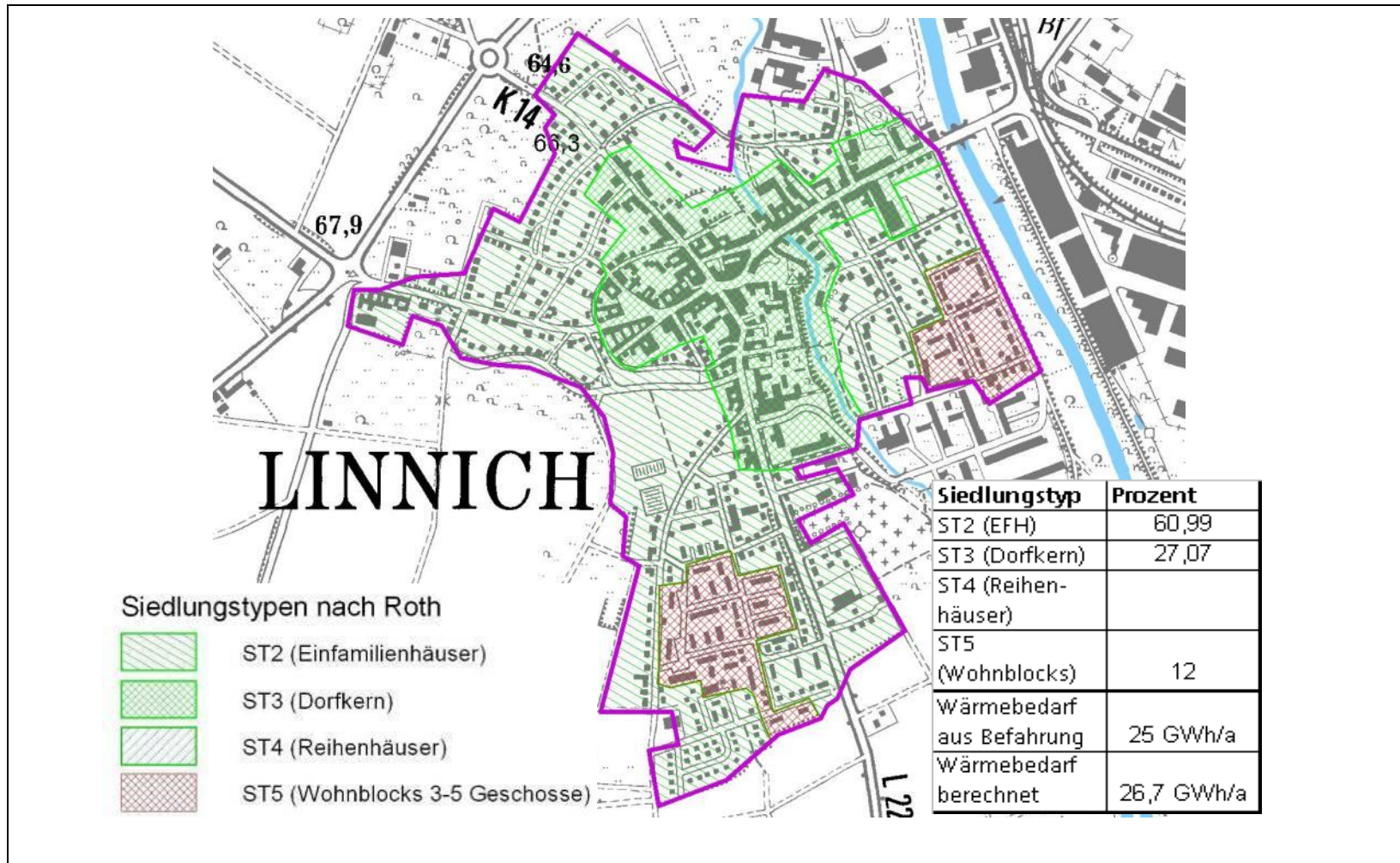


Abbildung 7.1:
Einteilung von
Linnich in
Siedlungstypen
und Abschätzung
des
Wärmebedarfes

7.1.2 Auswahl der Wärmequelle

Die SIG Combibloc GmbH betreibt erdgasbefeuerte Kessel (2 x 4 MW und 1 x 8 MW) und eine Reststoffverbrennungsanlage (RVA), aus der 8 MW ins firmeneigene Dampfnetz eingespeist werden können. Der maximale Wärmeeigenbedarf im Winter beträgt 12 MW. Außerdem sind bei der SIG Combibloc GmbH zwei Thermoreaktoren in Betrieb, die eine Abgasmenge von 50.000 m³/h bei einer Temperatur von ca. 80°C produzieren, die bisher nicht genutzt wird.

Wird die installierte Leistung von über 16 MW der nachgefragten Leistung von 6 MW gegenübergestellt, so scheint die Möglichkeit zu bestehen, dass die SIG Combibloc GmbH durch Abwärmeauskopplung die Versorgung der Grundlast im geplanten Beispielnetz für Linnich übernimmt.

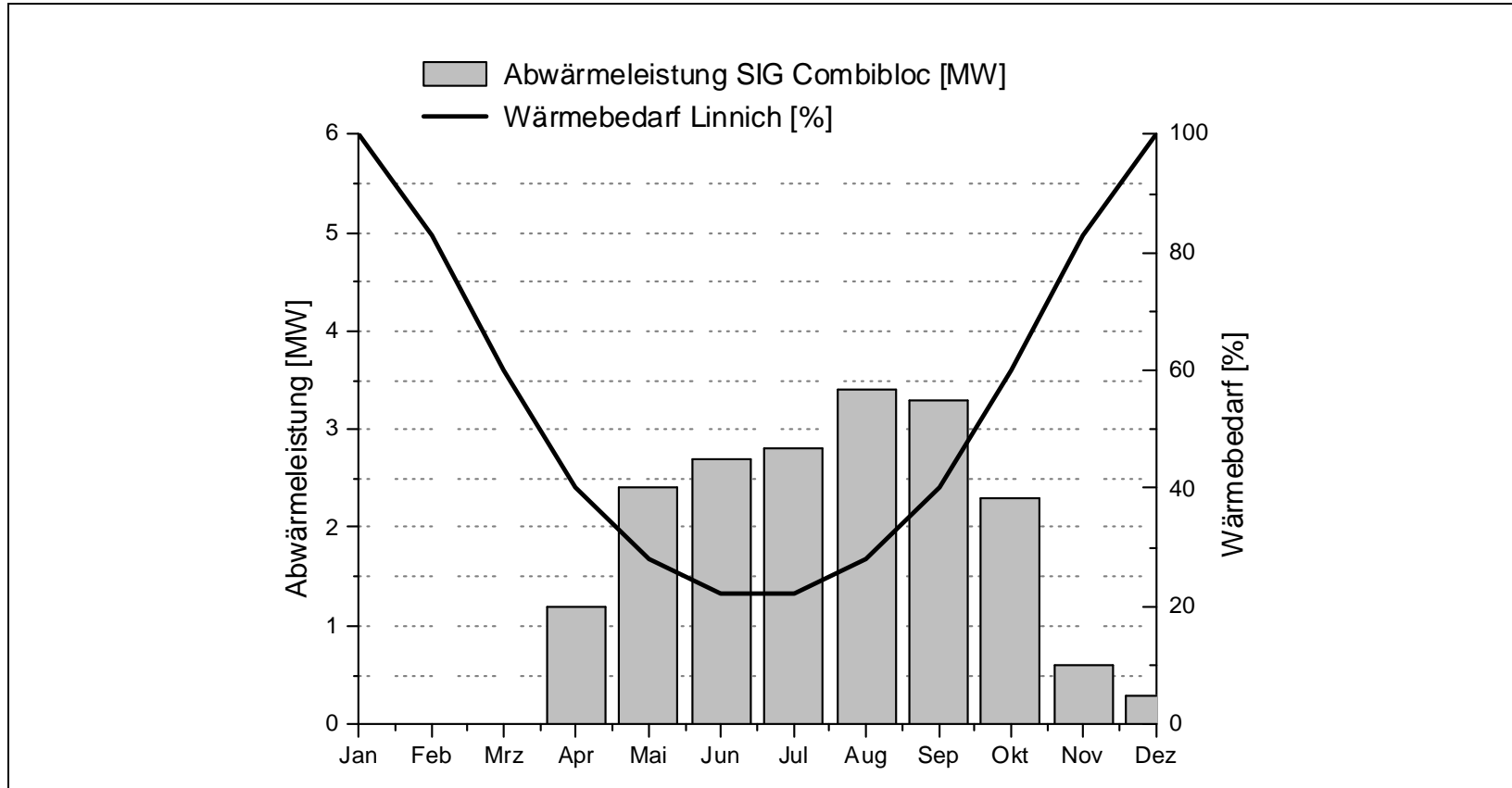
Tabelle 7.1:
Wärmeangebot
und - nachfrage
in Linnich

| Wärmequelle | Art der Wärmequelle | verfügbare Leistung | Wärmeleistungsbedarf |
|-----------------------------------|---------------------|--|----------------------|
| Thermoreaktoren (2x) | Abwärme | je 140 kW | 6 MW |
| Reststoffverbrennungsanlage (RVA) | Abwärme | siehe Tabelle 1-1 | |
| Gaskessel SIG | Kesselwärme | 2 x 4 MW, 1 x 8 MW (max. Eigenbedarf 12 MW) | |
| Gaskessel Polizeischule | Kesselwärme | 2 x 2,1 MW | |

Als erstes wurde der Möglichkeit einer Abwärmeauskopplung aus den beiden Thermoreaktoren nachgegangen. Die Thermoreaktoren dienen zur Abluftreinigung und bestehen im Wesentlichen aus einem Reaktorgehäuse mit drei Wärmeaustauschkammern. Keramische Speichermassen erwärmen die zu reinigende Abluft auf max. 40/50°C vor. Die Restenergie zur vollständigen Oxidation wird durch die im Abgas enthaltenen Schadstoffe bzw. durch Zusatzbrennstoff eingebracht. Die Reaktionstemperatur beträgt 800 bis 1.000°C und wird nach der Reaktion vor Durchströmen der Reingasaustrittsklappen wieder abgekühlt. Messwerte der SIG Combibloc GmbH bestätigen eine Ablufttemperatur von ca. 80°C vor dem Eintritt in den Reingasventilator. Da der Luftstrom jedoch aus technischen Gründen nur auf eine Temperatur von 70°C abgekühlt werden darf, ergibt sich lediglich eine maximal auskoppelbare Leistung von 140 kW. Eine Abwärmeauskopplung erscheint in dieser Leistungsklasse nicht als wirtschaftlich sinnvoll, daher wurde dieser Ansatz nicht weiter verfolgt.

Eine weitere Möglichkeit ist eine Nutzung der überschüssigen Wärme aus der Reststoffverbrennungsanlage, ehe diese über einen Kondensator an die Umgebung abgegeben wird. Hierzu wurde geprüft, wie viel Wärme auf das Jahr verteilt über den Kondensator abgeführt wird. Wie in *Abbildung 7.2* zu sehen ist, belegen die Messungen eine hohe Menge an Überschusswärme im Zeitraum Mai bis September. In der Heizperiode von Oktober bis April kann jedoch nur ein geringer Anteil des Wärmebedarfs aus Abwärme zur Verfügung gestellt werden.

Abbildung 7.2:
Gegen-
überstellung der
zur Verfügung
stehenden
Abwärme aus der
SIG Combibloc
GmbH mit dem
Wärmebedarf³¹
der ans
Fernwärmenetz³²
angeschlossenen
Verbraucher



³¹ Der charakteristische Wärmebedarf für Linnich innerhalb eines Jahres ist eine Annahme.

³² Daten zum Diagramm siehe Anlage 7.1

Der Wärmebedarf der Stadt Linnich könnte außerhalb der Betriebsstunden der RVA entweder über einen Wärmespeicher oder aus einem der vorhandenen Gaskessel gedeckt werden. Um zu einer wirtschaftlich günstigen Entscheidung zu gelangen, wurde untersucht, ob der spezifische Wärmepreis bei Nutzung eines Speichers günstiger ist, als der für Wärme aus einem Gaskessel.

Für die Beispielplanung des Fernwärmenetzes für die Stadt Linnich wurde aus Kostengründen ein Verdrängungsspeicher gewählt der parallel zur Erzeugung in das hydraulische System des Versorgungsnetzes eingebunden wird. In diesem Speichertyp wird die Wärme direkt als Fernwärmewasser gespeichert, welches als Schicht auf einer Kaltwasserschicht schwimmt. Der Speicher wird so befüllt, dass keine starken Strömungen auftreten. Aufgrund des Dichteunterschiedes vermischen sich beide Wasserschichten nicht. Im Einspeicherbetrieb wird der Speicher mit aufgeheiztem Wasser aus der RVA beladen von oben und führt das kältere Wasser nach unten in den Rücklauf ab. Bei der Ausspeicherung wird von unten Rücklaufwasser zugeführt. Diese Lösung ermöglicht sowohl die Versorgung des Fernwärmenetzes unter Einbeziehung des Speichers (Be- oder Entladevorgang), als auch die Sperrung und Versorgung des Netzes nur über die augenblicklich aus der RVA ausgekoppelte Leistung. Dieser Wärmespeicher dient nicht nur zum Ausgleich zeitlicher Differenzen zwischen Wärmeerzeugung und Wärmebedarf, sondern auch zur Deckung von Spitzenleistungsbedarf, wenn die von der RVA gelieferte Wärmemenge nicht ausreicht.

Zur Ermittlung der Wärmegestehungskosten wurden die Investitionen für den Speicher anhand spezifischer Erfahrungswerte grob abgeschätzt. Wärmeverluste des Wärmespeichers sind bei gut gedämmten Wärmespeichern vernachlässigbar klein. Sie betragen innerhalb von 24 Stunden, bezogen auf die gespeicherte Wärme, lediglich ca. 1%. [Heinz, 1995]. Die annuisierten Kosten (Amortisationszeitraum: 15 a, kalkulatorischer Zinssatz: 6,5 %) betragen circa 69.700,- €. Die Berechnung ist in *Anlage 7.2* zu finden.

Anders als gemäß *Abbildung 7.2* zunächst zu erwarten war, würde auch in den Sommermonaten Mai bis September zusätzliche Wärme benötigt, da die Reststoffverbrennungsanlage nicht durchgängig 24 Stunden am Tag in Betrieb ist (vgl. *Anlage 1*). Vereinfachend wird angenommen, dass ca. 1.150 MWh³³ Wärme aus dem Speicher zur Versorgung des Fernwärmenetzes Linnich zur Verfügung stünden. Der Wärmebedarf in den Wintermonaten würde komplett aus den erdgasbefeuerten Kesseln der SIG Combibloc GmbH bedient, deren Kapazität im normalen Betriebsablauf nicht ausgelastet wird.

³³ Annahme: Maximal die Hälfte der benötigten Wärmemenge (vgl. Diagramme in der Excel-Tabelle „Ökonomische Bewertung für Linnich“ im Tabellenblatt „SIG Daten“) in den Monaten April bis Oktober wird aus dem Speicher entnommen. Im Mai beträgt die entnehmbare Wärmemenge aus dem Speicher weniger als die Hälfte der benötigten Wärmemenge.

Da die geplante Fernwärmetrasse über das Gelände der Polizeischule verlaufen soll, die bereits mit Fernwärmeleitungen und einer Erzeugeranlage (2 Kessel mit jeweils 2,1 MW) ausgestattet ist, könnte das Netz bei Ausfall von einem der Gaskessel der SIG durch die Kessel der Polizeischule versorgt werden. Die Kessel der Polizeischule sind allerdings beide über 30 Jahre alt und stehen demnächst zur Erneuerung an. Würde man die Gebäude der Polizeischule ebenfalls mit der Wärme von der SIG bedienen, wären die Kessel die meiste Zeit nicht in Betrieb und eine Erneuerung könnte hinausgeschoben werden.

Durch Nutzung der vorhandenen Kessel der SIG und der Polizeischule werden erhebliche Kosten eingespart, die bei einem Erzeugerneubau anfallen würden. Es müssten lediglich die Mehrkosten für den Brennstoff sowie erhöhte Wartungs- und Instandhaltungskosten berücksichtigt werden. Zudem wird in die Wärmegestehungskosten ein geringes Nutzungsentgelt für die Wärmeauskopplung der SIG Combibloc GmbH mit einfließen.

Die Höhe der Wärmegestehungskosten (WGK) für die Erzeugung hängt weiterhin von folgenden Parametern ab:

- Vollastbenutzungsstunden des Netzes, welche sich nach den klimatischen Bedingungen des Versorgungsgebiets richten (1.200 h, 1.500 h oder 1.800 h) – Richtwert für Deutschland ca. 1800 h
- Preis für die Wärme aus der RVA (5,- €/MWh, 10,- €/MWh oder 15,- €/MWh)
- Amortisationszeitraum: 15 Jahre, Zinsen: 6,5 %: Annuitätenfaktor: 10,6%

Es wird angenommen, dass der Wärmebedarf eines zukünftigen Fernwärmenetzes inklusive der Gebäude der Polizeischule in den Wintermonaten (Dezember bis einschließlich März) komplett durch Kesselwärme gedeckt werden muss. Für die Monate April und November kann auch Abwärme aus der RVA zur Versorgung herangezogen werden. Der übrige Wärmebedarf muss aus dem Wärmespeicher und wiederum über die Gaskessel gedeckt werden (ca. 1.000 Stunden Kesseleinsatz). Die Sommermonate (Mai bis Oktober) können nahezu ohne Kesselwärme mit Abwärme aus der RVA versorgt werden. Das Nutzungsentgelt der Gaskessel wird ebenso hoch angesetzt, wie der Wärmepreis aus der RVA (5,- €/MWh, 10,- €/MWh bzw. 15,- €/MWh).

7.1.3 Ermittlung der WGK für die Erzeugung

Betriebskosten Gaskessel

7,00 €/kW a

WGK bei einem Wärmepreis von 0,5 bis 1,5 ct / kWh:

| Volllastbenutzungsstunden [h] | Wärmebedarf (1) [MWh] | Wärmebereitstellung aus Gaskessel (3) [MWh] | Betriebskostenanteil Kessel (2) [ct/MWh] | Brennstoffkostenanteil (4) [ct/KWh] | Summe WGK bei Abwärmepreis von 0,5 ct/kWh [ct/KWh] | Summe WGK bei Abwärmepreis von 1,0 ct/kWh [ct/KWh] | Summe WGK bei Abwärmepreis von 1,5 ct/kWh [ct/KWh] |
|-------------------------------|-----------------------|---|--|-------------------------------------|--|--|--|
| 1.200 | 7.200 | 8.850 | 0,39 | 5,94 | 6,83 | 7,33 | 7,83 |
| 1.500 | 9.000 | 6.100 | 0,58 | 6,14 | 7,23 | 7,73 | 8,23 |
| 1.800 | 10.800 | 7.650 | 0,47 | 6,16 | 7,13 | 7,83 | 8,13 |

Tabelle 7.2: Wärmegestehungskosten ohne Wärmespeicher

In *Tabelle 7.3* sind die Wärmegestehungskosten bei Einbau eines Fernwärmepufferspeichers für 1150 MWh dargestellt.

| Volllastbenutzungsstunden [h] | Wärmebedarf (1) [MWh] | Wärmebereitstellung aus Gaskessel (3) [MWh] | Betriebskostenanteil Kessel (2) [ct/MWh] | Brennstoffkostenanteil (4) [ct/KWh] | Summe WGK bei Abwärmepreis von 0,5 ct/kWh [ct/KWh] | Summe WGK bei Abwärmepreis von 1,0 ct/kWh [ct/KWh] | Summe WGK bei Abwärmepreis von 1,5 ct/kWh [ct/KWh] |
|-------------------------------|-----------------------|---|--|-------------------------------------|--|--|--|
| 1.200 | 7.200 | 4.950 | 0,58 | 4,98 | 7,03 | 7,53 | 8,03 |
| 1.500 | 9.000 | 6.500 | 0,47 | 5,24 | 6,98 | 7,48 | 7,98 |
| 1.800 | 10.800 | 7.700 | 0,39 | 5,17 | 6,70 | 7,20 | 7,70 |

Tabelle 7.3: Wärmegestehungskosten bei Einsatz eines Wärmespeichers

(1) = Volllastbenutzungsstunden x 6 MW Höchstlast

(2) = Kapazität Kessel x Betriebskosten / Wärmebedarf

(3) = Wärmebedarf abzüglich direkt von der Abwärmequelle genutzte Jahresarbeit abzüglich 1.150 MWh Speicherwärme

(4) = vom Kessel produzierte Jahresarbeit x spez. Brennstoffkosten / Wärmebedarf

Aus dem Vergleich der *Tabellen 7.2* und *7.3* wird ersichtlich, dass trotz der zusätzlichen Investitionen der Einsatz eines Speichers zu günstigeren Wärmegestehungskosten führen kann. Die auf das Jahr umgerechneten Kosten für den Wärmespeicher sind geringer als die Brennstoffkosten für eine Wärmemenge von 1.150 MWh.

7.1.4 Festlegung der Versorgungstrasse

Die Versorgungstrasse beginnt am Standort der RVA auf dem Gelände der SIG Combibloc GmbH, verläuft parallel zur Rur und verlässt das Gelände auf Höhe der Polizeischule, wo die Rur gequert werden muss (vgl. *Abb. 7.3*)

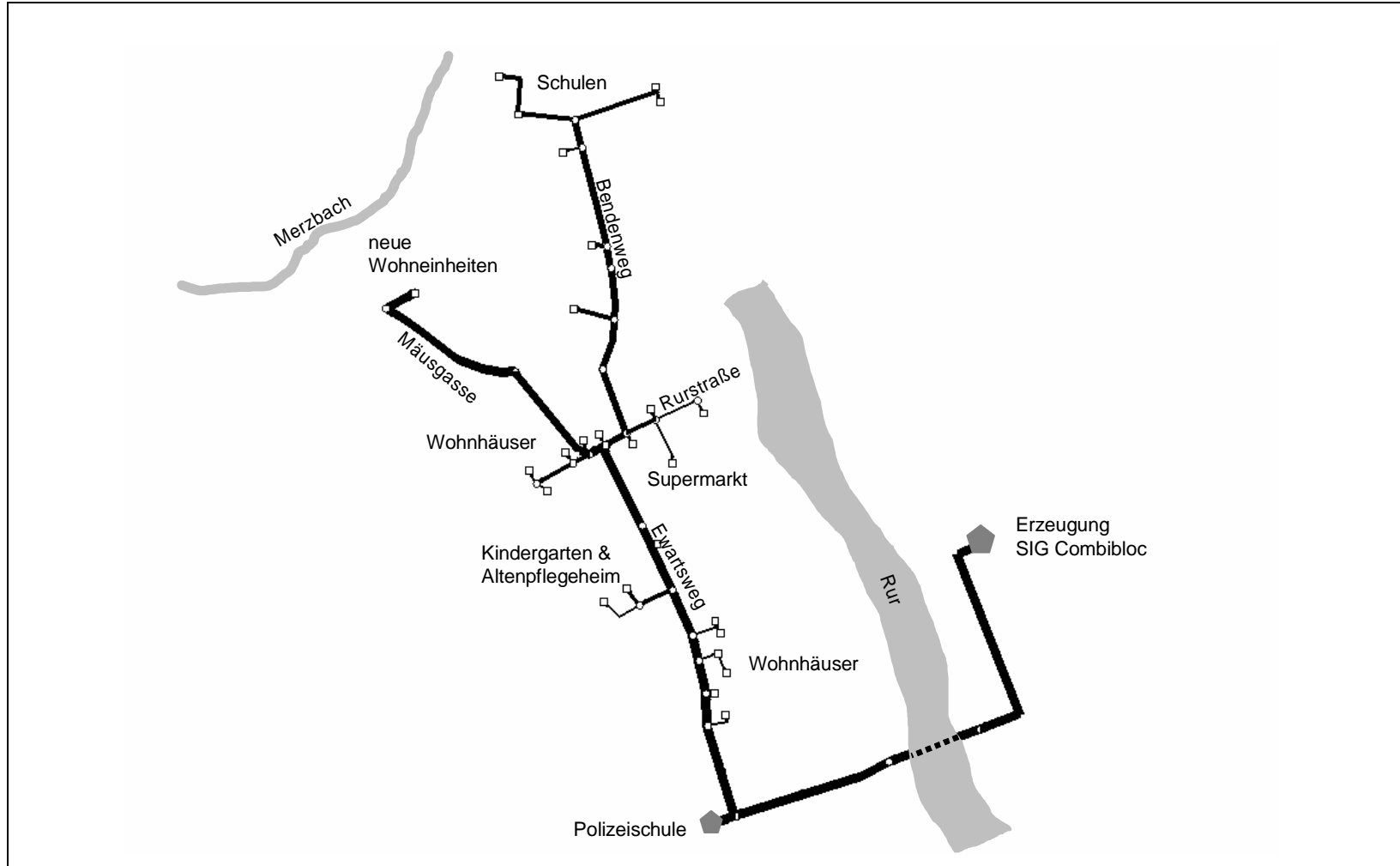


Abbildung 7.3:
Fernwärmenetz
Linnich mit den
beiden Erzeuger-
standorten und
den wichtigsten
Verbrauchern

Anschließend verläuft die Trasse durch das Gelände der Polizeischule, auf dem bereits Fernwärmeleitungen vorhanden sind. Nach dem Austritt aus dem Gelände der Polizeischule verläuft die Versorgungstrasse durch den Erwartsweg, in dem in näherer Zukunft eine Kanalsanierung mit anschließendem Straßenausbau ansteht, was die Tiefbaukosten für die Verlegung der Fernwärmeleitungen senken könnte.

In Höhe der Rurstraße teilt sich die Versorgungstrasse auf: Ein Abzweig soll die Schulen im Bendenweg versorgen, die bereits an das Gasnetz angeschlossen sind, der andere Abzweig verläuft über die Mäusgasse in Richtung neuer, geplanter Wohneinheiten im Gelände zwischen Merzbach und Mühlenteich.

Der geplante Trassenverlauf umfasst eine Gesamtlänge von ca. 3,4 km (inklusive Hausanschlussleitungen). Die Investitionen für diese Trasse unterscheiden sich je nach Rohrtyp und Verlegeverfahren. Ausgehend von den in *Kapitel 4* berechneten spezifischen Netzkosten erweist sich eine Kombination aus Kunststoff-Mantelrohr und flexiblen PEX oder PB - Rohren als kostengünstigste Lösung. Die DN200-Leitungen sowie die DN150-Leitungen werden als KMR verlegt, weil diese bei großen Nennweiten vor allem aufgrund der Formstücke kostengünstiger sind als flexible Rohrsysteme.

In *Anlage 7.4* wurden die Investitionskosten in Abhängigkeit von der Länge und der Nennweite mit spezifischen Netzkosten errechnet. Die Summe der Investitionen für den Netzbau beträgt 1.45 Mio. €. Für die Dimensionierung wurden folgende Erfahrungswerte herangezogen:

| | |
|-------------------------------------|---------|
| Gleichzeitigkeitsfaktor | 0,7 |
| maximaler spezifischer Druckverlust | 90 Pa/m |

7.1.5 Übersicht über die angeschlossenen Verbraucher

Der größte Verbraucher im geplanten Netz ist die Polizeischule mit ungefähr 20 Gebäuden. Der Anschlusswert wird hier auf ca. 4 MW geschätzt. Die Ermittlung erfolgte anhand der Abschätzung des Wärmebedarfs und unter der Berücksichtigung der Erzeugerkapazität von 4,2 MW.

Entlang des Ewartsweges werden nur vereinzelt Reihemehrfamilienhäuser und Reiheneinfamilienhäuser angeschlossen (eventuell Häuser mit alten Gasheizungen, bei denen eine Erneuerung ansteht oder Häuser, die nicht an das Gasnetz angeschlossen sind), da nahezu alle Gebäude bereits mit Gas versorgt werden. Der Kindergarten im Schwarzen Weg soll ebenfalls an die Fernwärme angeschlossen werden, ebenso das geplante Altenpflegeheim neben dem Kindergarten. Der Anschlusswert für den Kindergarten wurde aus Erfahrungswerten mit 40 kW abgeschätzt. Für das geplante Altenpflegeheim bestehen zu diesem Zeitpunkt noch keine genauen Angaben, so dass der Anschlusswert hier stark vom Schätzwert (250 kW) abweichen kann. In der Rurstraße würden ebenfalls vereinzelt Reiheneinfamilienhäuser und Einfamilienhäuser angeschlossen, sowie ein Restaurant, die Sparkasse und ein Supermarkt. Die Anschlusswerte für diese und alle anderen ans Beispielnetz angeschlossen Gebäude sind in *Anlage 7.3* zusammengefasst. Sie wurden auf Basis der durchgeführten Wärmebedarfschätzung ermittelt.

Im Bendenweg fanden nur die Schulen, der Kindergarten und die Sporthalle Berücksichtigung im geplanten Netz, nicht aber das Hallenbad, welches kurz vor einer möglichen Schließung steht. Der Anschlusswert für die Schulen wurde anhand der Schülerzahl abgeschätzt.

Die Leitung in der Mäusgasse dient beim bisherigen Stand der Vorplanung nur zur Anbindung der 230 geplanten Wohneinheiten (Altenheim + Familienwohneinheiten) an das Fernwärmenetz. Da es zur Planung der 230 Wohneinheiten keine weiteren Details gibt, wird der Anschlusswert überschlägig mit 10 kW pro Wohneinheit angenommen.

Der Gesamtanschlusswert für das geplante Netz beträgt somit 8,6 MW; die Wärmehöchstlast ergibt sich bei einem Gleichzeitigkeitsfaktor von 70 % zu rund 6 MW. Für jeden an das Fernwärmenetz angeschlossen Verbraucher müssen Kundenstationen installiert werden. Die Investitionssumme für alle direkt angeschlossenen Kompaktstationen beträgt ca. 243.000,- € (zur Abschätzung wurden Preisangaben von der Firma Bälz verwendet).

7.1.6 Ermittlung der gesamten Wärmegestehungskosten aus Erzeugung, Netz und Kundenstationen

Im folgenden Abschnitt wird das Fernwärme-Beispielnetz der Stadt Linnich ökonomisch bewertet. Hierzu werden die sich aus den drei Kostenkomponenten der Fernwärme (Erzeugung, Netz und Kundenstation) zusammensetzenden Wärmegestehungskosten mit denen eines Erdgas-Brennwertkessels verglichen. Um ein Fernwärmenetz wirtschaftlich betreiben zu können, sollten die für die Fernwärme entstehenden Wärmegestehungskosten (WGK) nicht über denen eines Erdgas-Brennwertkessels liegen.

Aus den *annuisierten Kosten* für den Leitungsbau

$$1.451.500,- \text{ €} \times 14,6\% \text{ (Annuitätenfaktor + Instandsetzung)} = 211.919,- \text{ €}$$

dividiert durch den Wärmebedarf bei 1.200, 1.500 bzw. 1.800 Volllastbenutzungsstunden lässt sich der Anteil der WGK für den Leitungsbau bestimmen.

Die Berechnung des Anteils der WGK aus der Investition für Kundenstationen erfolgt analog zu der Berechnung für den Leitungsbau. Allerdings muss hierbei noch ein Gleichzeitigkeitsfaktor von 0,7 berücksichtigt werden.

Annuisierte Kosten für die Kundenstationen:

$$1,2 \text{ (Faktor Montage direkte Station)} \times 243.410,- \text{ €} \times 14,6\% \text{ (Annuitätenfaktor + Instandsetzung)} = 42.645,- \text{ €}$$

Die Anteile der WGK aus der Erzeugung, dem Netz und den Kundenstationen sind in der *Tabelle 7.4* zusammengefasst.

Tabelle 7.4:
Wärme-
gestehungs-
kosten Linnich
Gesamt

| Volllastbenutzungs- stunden [h] | WGK Netz [ct/KWh] | WGK Kundenstation [ct/KWh] | WGK GESAMT bei Abwärmepreis von 0,5 ct/kWh [ct/KWh] | WGK GESAMT bei Abwärme preis von 1,0 ct/kWh [ct/KWh] | WGK GESAMT bei Abwärme preis von 1,5 ct/kWh [ct/KWh] |
|---------------------------------------|-------------------------|----------------------------------|--|---|--|
| 1.200 | 2,95 | 0,79 | 10,77 | 11,27 | 11,77 |
| 1.500 | 2,36 | 0,64 | 9,98 | 10,48 | 10,98 |
| 1.800 | 1,97 | 0,53 | 9,20 | 9,70 | 10,20 |

Abbildung 7.4 zeigt die aufsummierten WGK im Vergleich zum Referenzwert eines Erdgas-Brennwertkessels. Für alle betrachteten Kostenkombinationen liegen die WGK für eine leitungsgebundene Wärmeversorgung über dem Referenzwert.

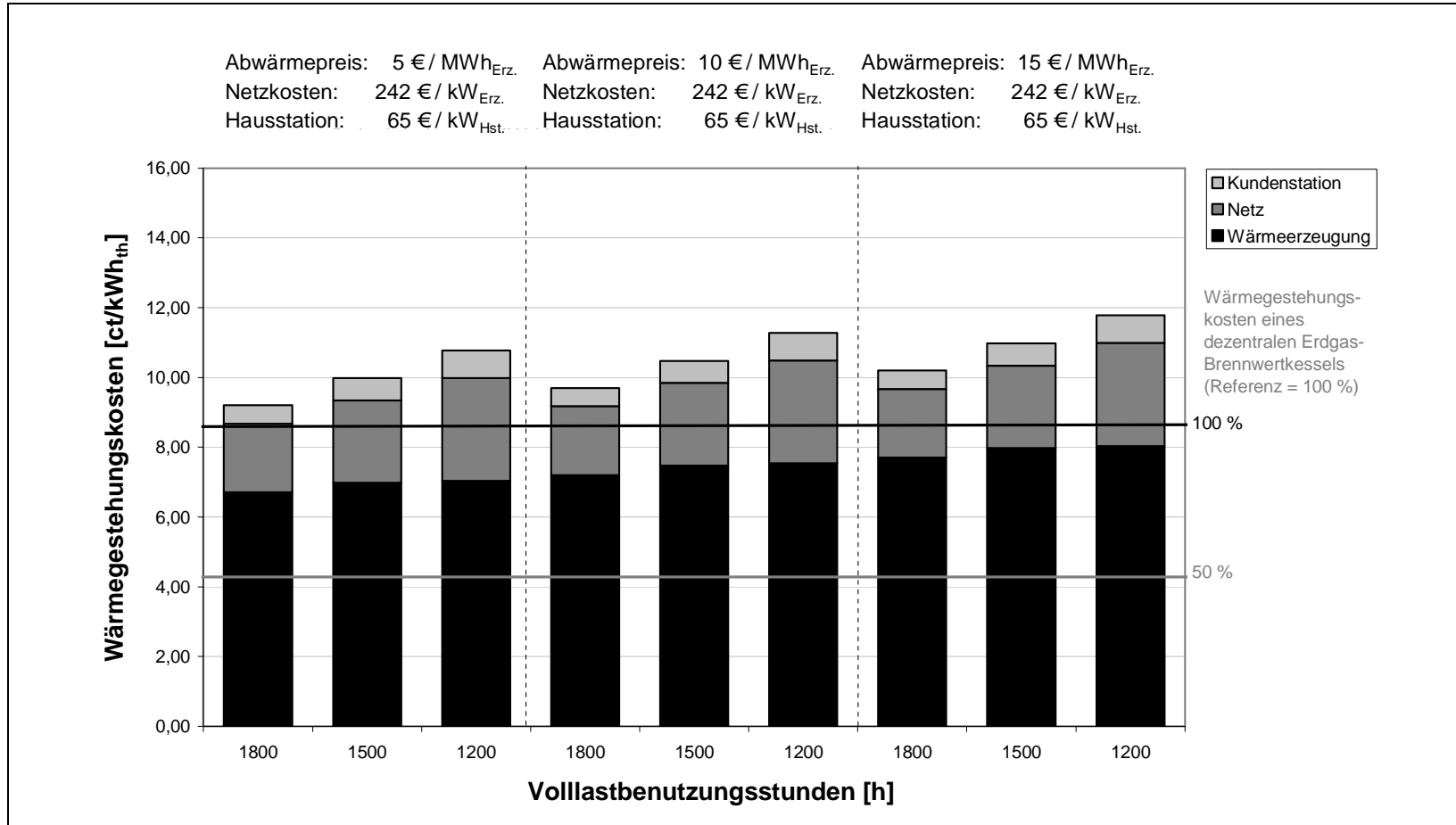


Abbildung 7.4 : Wärmegestehungskosten für verschiedene Versorgungsszenarien in Linnich.

7.1.7 Fazit

Der Aufbau eines Fernwärmenetzes in der Stadt Linnich scheint unter keiner der betrachteten Voraussetzungen wirtschaftlich zu sein. Das liegt hauptsächlich an den hohen Erzeugungskosten. Anders als ursprünglich vermutet, kann nur sehr wenig Abwärme von der SIG Combibloc GmbH genutzt werden, da im Winter die Wärme aus der Reststoffverbrennungsanlage komplett für den Eigenbedarf aufgebraucht wird. Somit müsste ein Großteil (ca. 70%) des Fernwärmebedarfs der Stadt Linnich mit teurer Kesselwärme gedeckt werden. Nur in den Sommermonaten ist ausreichend Abwärme vorhanden.

Ein weiteres Problem ist das vorhandene Gasnetz, welches die meisten Gebäude in Linnich bereits mit Gas versorgt. Auch die Schulen werden derzeit noch mit Gas versorgt, obgleich in der Beispielplanung davon ausgegangen wurde, dass die Schulen an das Fernwärmenetz angeschlossen werden.

Um in Linnich ein wirtschaftliches Fernwärmenetz aufzubauen, müssten zwei Voraussetzungen geschaffen werden: 1) Die Zusicherung, dass die Schulen auf Fernwärme umsteigen und eventuell sonstige öffentliche Gebäude, und 2) noch wichtiger ist die Beschaffung einer günstigen Wärmequelle, die zumindest die Grundlastversorgung in den Wintermonaten gewährleistet. Ein Wärmeerzeugerneubau im Umland unter Nutzung erneuerbarer Energieträger wäre denkbar.

Möglicherweise würde sich auch eine Nutzung der Abwärme für die Polizeischule rentieren. Die Polizeischule hat ein bestehendes Fernwärmenetz, das derzeit mit Wärme aus Gaskesseln versorgt wird. Im Sommer könnte die Abwärme von der SIG Combibloc die Kesselwärme beinahe komplett ersetzen und der Kessel müsste im Sommer nur wenige Stunden in Betrieb gehen. Um hier zu einer klaren Aussage die Wirtschaftlichkeit betreffend zu gelangen, müsste diese Variante im Detail untersucht werden.

7.2 Grundsatzplanung „Rheinberg“

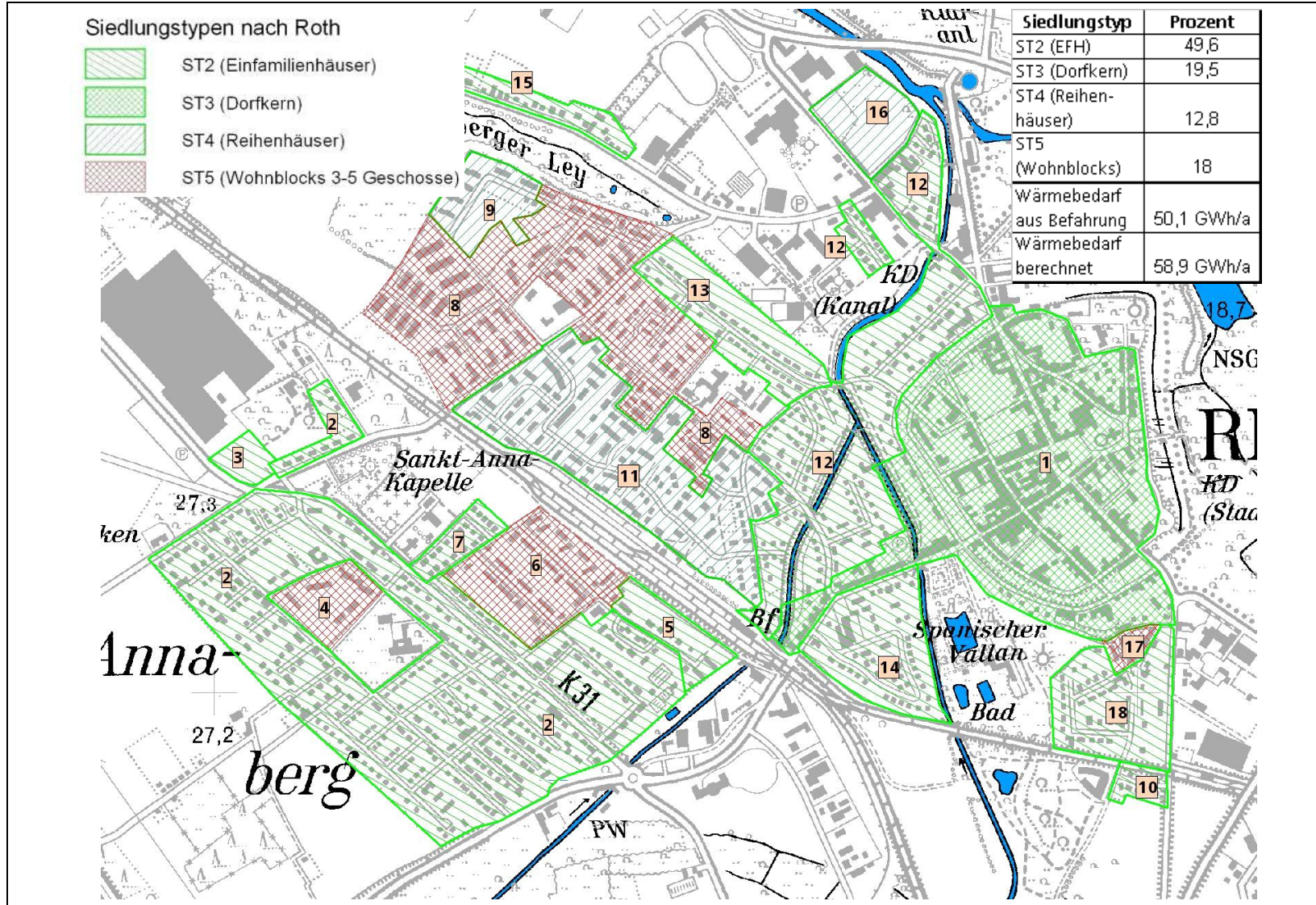
Die Stadt Rheinberg liegt in der Niederrheinischen Tiefebene, 15 km südlich der Kreisstadt Wesel und 11 km nördlich von Moers. Rheinberg gliedert sich in die vier Stadtbezirke Borth, Budberg, Orsoy und Rheinberg (Kernstadt), wobei für die Grundsatzplanung lediglich der Bezirk Rheinberg genauer untersucht wurde. In den vier Stadtbezirken wohnen insgesamt ca. 32.000 Einwohner.

Die Solvay S.A. mit Sitz in Brüssel ist ein internationales Chemie- und Pharmaunternehmen und betreibt in Rheinberg einen Produktionsstandort. Im Rahmen des Neubaus des EBS (Ersatzbrennstoff)-Heizkraftwerkes der Solvay GmbH ist eine mögliche Wärmeauskopplung für den Betrieb einer leitungsgebundenen Wärmeversorgung der Gemeinde neu diskutiert worden.

7.2.1 Überschlägige Wärmebedarfsermittlung

Das Gebiet der Stadt Rheinberg wurde nach dem in Kapitel 6 beschriebenen Siedlungstypen eingeteilt (folgende Abbildung). Anschließend wurde mittels der durch Befahrung erhobenen Daten der Wärmebedarf abgeschätzt.

Abbildung 7.5:
Rheinberg (Kreis
Wesel) eingeteilt
in Siedlungs-
typen



7.2.2 Auswahl der Wärmequelle

Folgende Abwärmequellen der Solvay GmbH sind grundsätzlich ganzjährig verfügbar und kommen daher als Grundlastwärmeerzeugungsoptionen für die Fernwärmeauskopplung in Frage:

1. Zwei Gasturbinen mit einer Abgasmenge von je 200.000 m³_N/h und 120°C. Diese Turbinen werden ganzjährig betrieben und stromgeführt gefahren. Die vorhandene Wärmeauskopplung wird zur Vorwärmung von Speisewasser auf 105 °C genutzt. Hier könnten weitere Wärmetauscher zur Abkühlung der Rauchgase installiert werden. Zusätzliche Abwärmeleistung ca. 1,5 MW je Gasturbine.
2. Kessel 1 wird mit Kohle befeuert und dient zur Dampferzeugung für den Eigenbedarf der Solvay GmbH. Der Dampf wird in erster Linie zur Stromerzeugung eingesetzt. Die Abgastemperaturen liegen bei 155 °C bei einer Menge von 60.000 m³_N/h. Dieser Kessel wird ebenfalls ganzjährig betrieben. Die zusätzliche Abwärmeleistung beträgt ca. 0,8 MW.
3. Kessel 6 wird ebenfalls mit Kohle befeuert und dient zur Dampferzeugung der Solvay GmbH. Der Dampf wird vornehmlich zur Stromerzeugung verwendet. Die Abgastemperaturen liegen hier bei 130 °C bei einer Menge von 220.000 m³_N/h. Auch dieser Kessel wird das ganze Jahr über betrieben. Die zusätzliche Abwärmeleistung liegt bei ca. 1,5 MW. Hier wäre der Wärmetauscher zwischen E-Filter und Abgasbehandlung in einer Höhe von ca. 50 m einzubauen.
4. Eine Dampfschiene mit 1,8 bar_{abs.} die aus den verschiedensten Quellen gespeist wird. Diese Dampfschiene ist in Dauerbetrieb (8760 Stunden pro Jahr) mit 1,8 bar_{abs.} (116,9 °C Dampf). Das entspricht einer möglichen Fernwärmeverlauftemperatur von ca. 110 °C. Diese Quelle könnte als Spitzenlastabdeckung und zur Absicherung dienen. Die Leistung kann grundsätzlich dem Bedarf angepasst werden.
5. Das neue EBS-Heizkraftwerk soll eine Dampferentnahme bei 4,0 bar_{abs.} zur Speisewasservorwärmung erhalten.

Tabelle 7.5:
Zusammenfassung der Abwärmeleistung für Rheinberg

| Wärmequelle | Art der Wärmequelle | verfügbare Leistung | nachgefragte Leistung |
|-------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|
| 2 Gasturbinen | Rauchgasnutzung | je 1,5 MW | 13,2 MW |
| Kessel 1 | Abgasnutzung | 0,8 MW | |
| Kessel 6 | Abgasnutzung | 1,5 MW | |
| Dampfschiene | Sammelschiene | Spitzenlastabdeckung | |
| EBS-Heizkraftwerk | ? | ? | |

7.2.3 Ermittlung des potentiellen Wärmebedarfs

Wärmepotentiale sind neben den öffentlichen Liegenschaften, die grundsätzlich an das neue Fernwärmenetz angeschlossen werden können, die Wohngebäude in der Stadt Rheinberg sowie die vorhandenen Gewerbeflächen. Die Anschlusswerte für die öffentlichen Gebäude konnten mit Hilfe der Angaben für den Jahreswärmeverbrauch 2004 und 2005 aus dem *Energiebericht 2004/2005* der Stadt Rheinberg unter Verwendung gebräuchlicher Vollastbenutzungsstunden ermittelt werden. *Anlage 7.5* enthält alle potentiellen öffentlichen Fernwärmekunden inklusive Anschlusswert und Kosten für eine direkt angeschlossene Kompaktstation. Zusätzlich soll ein Teil der Wohngebäude der Stadt Rheinberg an das Netz angeschlossen werden, damit die 1,3 km lange Transportleitung von der Solvay GmbH wirtschaftlich betrieben werden kann. Um interessante Gebiete zu identifizieren wurde Rheinberg in 18 Gebiete entsprechend ihrer Bebauungsart (Einfamilienhaus, Doppelhaus, Reihenhauses oder Mehrfamilienhaus) unterteilt und anschließend mit der in *Kapitel 6* beschriebenen Methode zur Wärmebedarfsschätzung charakterisiert. *Abbildung 7.5* zeigt die Aufteilung Rheinbergs in verschiedene Gebiete. In einem zweiten Ausbauschnitt, könnten gewerbliche Objekte am Stadtrand an die Fernwärme angeschlossen werden.

Die Wohngebiete mit Anschlusswerten, die anschlusswürdig scheinen, sind in *Anlage 7.6* zusammengefasst. Gebiete mit einer zu geringen Wärmebedarfsdichte ($< 20 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ [ca. Wärmebedarf Passivhaus]), einem in der Praxis häufig zu geringen Anschlusswert ($< 1 \text{ MW}$) oder Gebiete, die ungünstig zum geplanten Verteilnetz liegen, wurden nicht berücksichtigt. Für die ausgewählten Gebiete wurde basierend auf Erfahrungen mit bereits geplanten Netzen

angenommen, dass 30% der Einfamilienhäuser, Doppelhäuser und Reihenhäuser angeschlossen werden können. Bei Mehrfamilienhäusern wurde von 70% ausgegangen. Danach wurde der Anschlusswert für eine Einheit (EFH, DH, RH und MFH) festgelegt und die Anzahl der Anschlüsse pro Gebiet abgeschätzt. Pro Hausstation wurde ein Durchschnittspreis von 1.500 € angesetzt (direkte Einspeisung, mit TWE), da sich alle Hausstationen in einem ähnlichen Leistungsbereich bewegen (Anschlusswerte liegen zwischen 8 kW für Reihenhäuser und 22 kW für Mehrfamilienhäuser).

Der Gesamtanschlusswert für das geplante Netz beträgt somit 18,2 MW; die Wärmehöchstlast ergibt sich bei einem Gleichzeitigkeitsfaktor von 70% zu rund 13,2 MW inklusive Wärmeverluste. Die Investitionssumme für direkte Kompaktstationen für jeden an das Fernwärmenetz angeschlossenen Verbraucher beträgt ca. 1,03 Mio. €.

7.2.4 Festlegung der Versorgungsstrasse

Die Versorgungsstrasse beginnt am Standort der Solvay GmbH. Dort kann unmittelbar neben den Gasturbinen eine Übernahmestation errichtet werden, die Heizwasser mit 90°C in das Fernwärmenetz einspeisen soll.

Der Trassenverlauf der 1,3 km langen Transportleitung folgt der Xantener Straße. Der erste Fernwärmekunde ist die Sportanlage Xantener Straße. An der Ecke Xantener Straße/ Dr.-Aloys-Wittrup-Straße spaltet sich das Netz in zwei Stränge auf: Strang 1 führt Richtung Zentrum und Altes Rathaus, Strang 2 Richtung Annaberg.

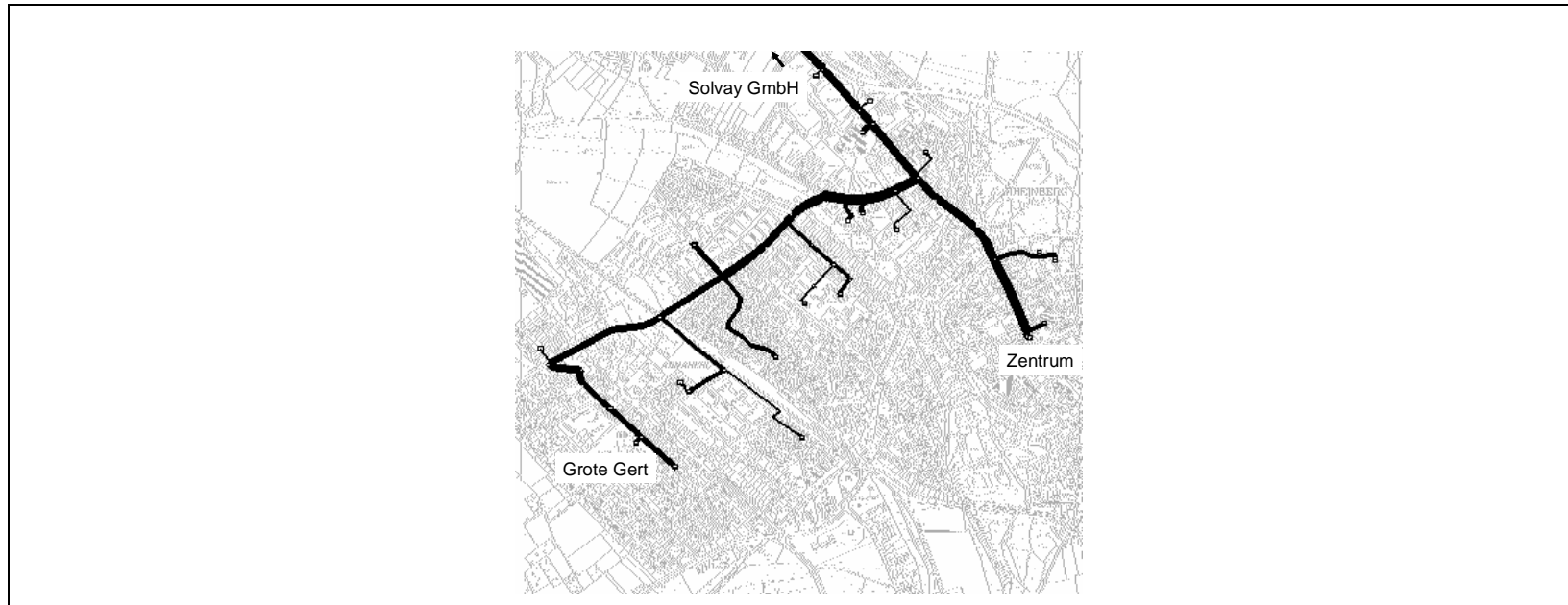
Der geplante Trassenverlauf umfasst eine Gesamtlänge von ca. 8,2 km ohne die Hausanschlüsse für die Wohnbebauung. Die Investitionen für diese Trasse unterscheiden sich je nach Rohrtyp und Verlegeverfahren. Die Kosten für die Leitungsverlegung wurden für mehrere Varianten ermittelt:

1. nur Kunststoffmantelrohr-Verlegung oder eine Kombination mit PEX / PB -Rohren
2. verschiedene Vorlauftemperaturen 110°C bzw. 90°C (Einsatz von PEX / PB – Rohren nur möglich Vorlauftemperaturen von weniger als 95 °C – siehe Tabelle 4.2)
3. Begrenzung des spezifischen Druckverlustes für die Dimensionierung auf 90 Pa/m bzw. 150 Pa/m

Die günstigste Variante unterschied sich um ca. 350.000 € von der teuersten. Die Entscheidung für die Kombination aus KMR und PEX / PB - Rohr bei 90°C Vorlauftemperatur hing allerdings nicht nur von den Kosten ab. Die Dimensionierung wurde für 90 Pa/m durchgeführt, so dass in der Zukunft ein Ausbau des Netzes ohne größere Probleme möglich ist. Die niedrigere Vorlauftemperatur führt zwar zu größeren Nennweiten, allerdings wird der Einsatz von flexiblen Kunststoffrohren bei $T_{\max} < 95^{\circ}\text{C}$ möglich. Die Kombination aus KMR und PEX-Rohr wird vor allem in Bereichen, in denen viele kleine Nennweiten erforderlich sind, günstiger, aufgrund der niedrigeren spezifischen Netzkosten für flexible

PEX / PB -Rohre unterhalb der Nennweite DN 100. Insbesondere im ländlichen Bereich, wo aufgrund geringer Wärmebedarfsdichten große Teile des Netzes nur geringe Nennweiten aufweisen bietet es sich daher der Einsatz flexibler PEX/PB Rohrsysteme an. Eine generelle Empfehlung für den Einsatz kann jedoch nicht gegeben werden, da sich die Wirtschaftlichkeit der KMR mit PEX/PB Systeme und der reinen KMR Systeme je nach konkreter Angebotslage unterschiedlich darstellen kann.

Abbildung 7.6:
Grundsatz-
entwurf für ein
Fernwärmenetz
in der Stadt
Rheinberg



In *Anlage 7.7* wurden die Investitionen in Abhängigkeit von der Länge und der Nennweite mit spezifischen Netzkosten berechnet. Die Summe der Investitionen für den Netzbau ohne Hausanschlussleitungen für die Wohnbebauung beträgt 4,33 Mio. €.

Die Nennweiten wurden zuvor mit folgenden Vorgaben ermittelt:

Gleichzeitigkeitsfaktor: 0,7

maximaler spezifischer Druckverlust: 90 Pa/m

Für die Wohnbebauung wurden für jeden Anschluss 20 m DN 25 PEX-Rohr mit einkalkuliert. Das führt zu zusätzlichen Netzbaukosten in Höhe von ca. 2,32 Mio. €.

Folgende Annahmen wurden für die Ermittlung des Wärmegestehungskostenanteils aus den Netzkosten getroffen (Da sich dieses Fernwärmenetz als potentiell wirtschaftlich herausstellte, wurden diese Annahmen im Gegensatz zur Beispielplanung Linnich nochmals konkretisiert):

- rechnerische Nutzungsdauer in Anlehnung an die VDI 2067: 33 Jahre
- Aufwand für Instandsetzung bezogen auf die Investitionskosten: 4,0 %/a
- Zinssatz (inkl. Inflation 1,5%) für Fremdkapital: 6,0%
- Annuitätenfaktor: 7,0%
- Annuitätenfaktor + Instandsetzung: 11,0%

7.2.5 Zusammenfassung der Wärmegestehungskosten

Im folgenden Abschnitt wird das Fernwärme-Beispielnetz der Stadt Rheinberg ökonomisch bewertet. Hierzu werden die sich aus den drei Kostenkomponenten der Fernwärme (Erzeugung, Netz und Kundenstation) zusammensetzenden Wärmegestehungskosten mit denen eines Erdgas-Brennwertkessels verglichen. Um ein Fernwärmenetz wirtschaftlich betreiben zu können, sollten die für die Fernwärme entstehenden Wärmegestehungskosten (WGK) nicht über denen eines Erdgas-Brennwertkessels liegen.

Die Wärmegestehungskosten für die Erzeugung beinhalten lediglich den Preis für die Abwärme, der sich zwischen 5 und 15 €/MWh bewegt. Die Investitionssumme für die Übernahmestation auf dem Gelände der Solvay GmbH wurde hier nicht berücksichtigt.

Die Berechnung des Anteils der WGK aus den Investitionen für die Hausstationen erfolgt analog zur Berechnung der Kosten des Leitungsbaus. Folgende Annahmen wurden für die Ermittlung des Wärmegestehungskostenanteils für die Kompaktstationen getroffen:

- rechnerische Nutzungsdauer: 15 Jahre
- Aufwand für Instandsetzung: 4,0%
- Zinssatz (inkl. Inflation 1,5%) für Fremdkapital: 6,0%
- Annuitätenfaktor: 10,3%
- Annuitätenfaktor + Instandsetzung: 14,3%

Die Anteile der WGK aus der Erzeugung, dem Netz und den Kundenstationen sind in der *Tabelle 7.6* zusammengefasst.

Tabelle 7.6:
Wärme-
gestehungs-
kosten Rheinberg
Gesamt

| Vollastbenutzungs- stunden [h] | WGK Netz [ct/KWh] | WGK Kundenstation [ct/KWh] | WGK GESAMT bei Abwärmepreis von 0,5 ct/kWh [ct/KWh] | WGK GESAMT bei Abwärmepreis von 1,0 ct/kWh [ct/KWh] | WGK GESAMT bei Abwärmepreis von 1,5 ct/kWh [ct/KWh] |
|--------------------------------------|-------------------------|----------------------------------|--|--|--|
| 1.200 | 4,64 | 1,37 | 6,51 | 7,01 | 7,51 |
| 1.500 | 3,71 | 1,10 | 5,31 | 5,81 | 6,31 |
| 1.800 | 3,09 | 0,92 | 4,51 | 5,01 | 5,51 |

Abbildung 7.7 zeigt die aufsummierten Wärmegestehungskosten im Vergleich zum Referenzwert eines Erdgas-Brennwertkessels. Für alle betrachteten leitungsgebundenen Wärmenetze liegen die WGK unter dem Referenzwert. Daher ist davon auszugehen, dass eine leitungsgebundenen Wärmeversorgung von Rheinberg wirtschaftlich konkurrenzfähig im Vergleich zu einer Wärmeversorgung mittels individueller Erdgas-Brennwertkessel sein kann.

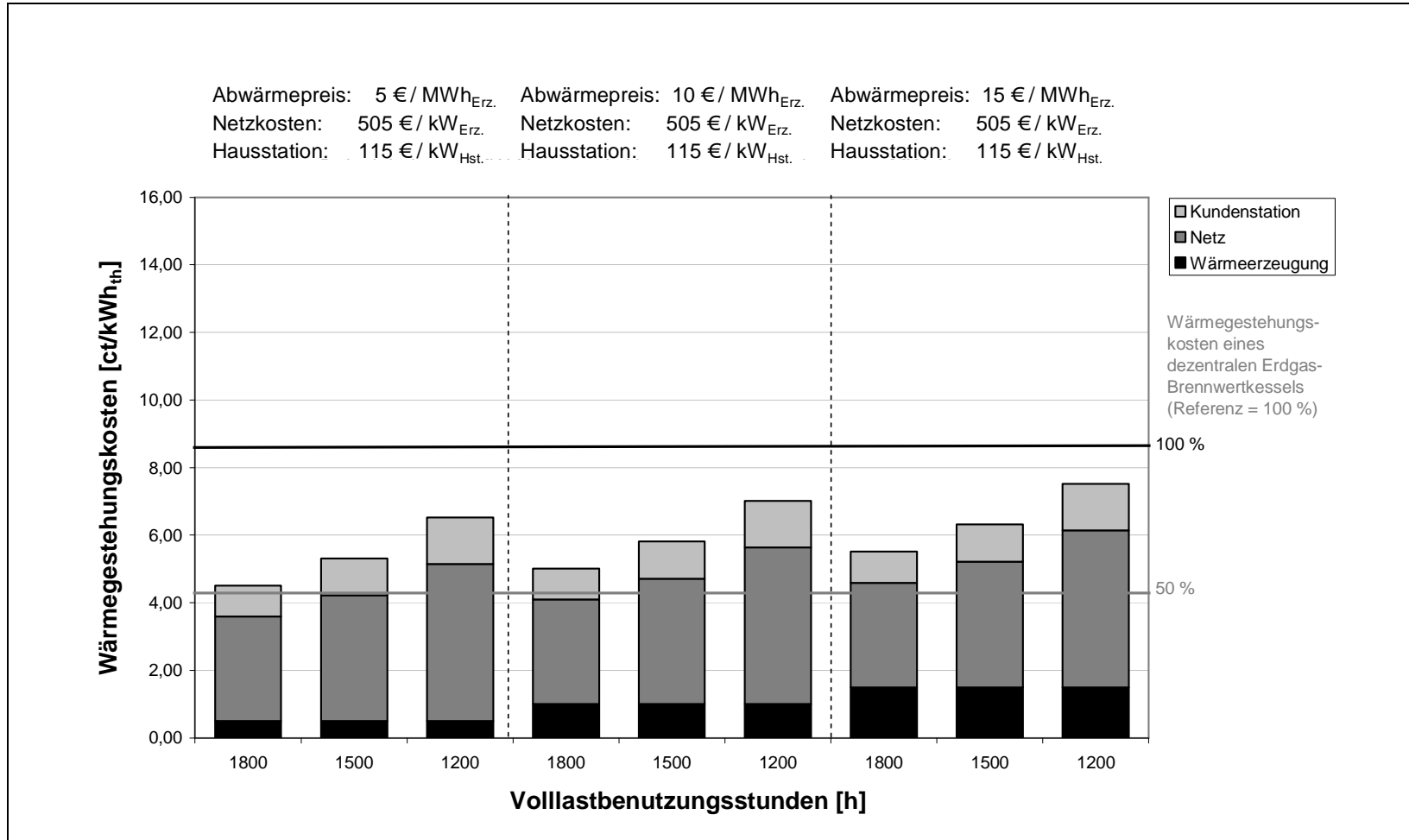


Abbildung 7.7 :
Wärme-
gestehungs-
kosten gemäß
Grundsatz-
planung für
Rheinberg

7.2.6 Fazit

Der Aufbau eines Fernwärmenetzes in der Stadt Rheinberg scheint unter den getroffenen Annahmen durchaus wirtschaftlich zu sein. Im Gegensatz zur Beispielplanung in Linnich entsprechen die Erzeugungskosten nur einem kleinen Anteil der Gesamtwärmegestehungskosten. Der komplette Wärmebedarf der Fernwärmekunden kann ganzjährig durch die Abwärme der Solvay GmbH gedeckt werden.

Die Netzkosten tragen den größten Anteil an den Wärmegestehungskosten. Der Kostenanteil für die Kompaktstationen entspricht in etwa dem Kostenanteil der Erzeugung.

Eine Wirtschaftlichkeit für eine leitungsgebundene Wärmeversorgung in Rheinberg ist allerdings nur gewährleistet, wenn ein großer Teil der Wohnbebauung einschließlich der öffentlichen Liegenschaften an das Fernwärmenetz angeschlossen werden kann.

Um eine verbindliche Aussage über die Wirtschaftlichkeit eines Fernwärmenetzes der Stadt Rheinberg zu erhalten, muss eine Detailstudie durchgeführt werden. In dieser Studie sollte untersucht werden, ob es sinnvoll ist, die gewerblichen Potentiale am Stadtrand in einem zweiten Ausbauschnitt an die Fernwärme anzuschließen. Zudem ist in einem Detailkonzept eine dynamische Wirtschaftlichkeitsanalyse durchzuführen. Damit kann gezeigt werden, wie der zeitliche Verlauf des Fernwärmeausbaus zu gestalten ist, um eine angemessene Amortisationszeit für die vorgelagerten Investitionen zu erzielen.

8 Schlussbetrachtung

Die konzeptionellen Betrachtungen sowie die beiden Praxisbeispiele zeigen, dass eine leitungsgebundene Wärmeversorgung im ländlichen Raum wirtschaftlich sein kann. Es ist deutlich geworden, dass trotz scheinbar ähnlicher Voraussetzungen die Wirtschaftlichkeit von leitungsgebundenen Wärmenetzen im ländlichen Raum jeweils vom konkreten Fall abhängt und eine Entscheidung über den Aufbau einer Fernwärmeversorgung stets einer detaillierten Analyse bedarf.

So steht im Fall Rheinberg Abwärme aus dem Industrieunternehmen Solvay GmbH zur Grund- und zur Spitzenlastabdeckung ganzjährig zur Verfügung. In Linnich reicht die Abwärme aus der dort ansässigen SIG Combibloc GmbH nur zur Grundlastabdeckung aus - und das auch nur im Sommerhalbjahr. Der restliche Wärmebedarf muss mit teurer Kesselwärme bedient werden, was die Wärmegestehungskosten für die Erzeugung im Vergleich zu Rheinberg entscheidend erhöht. Die beiden Netzsysteme für die zwei Gemeinden haben grundsätzlich dieselbe Struktur: Für die Hauptverteilungen soll KMR verwendet werden und für Unterverteilungen und Hausanschlüsse das unkompliziertere PMR Flex-Rohr (PEX oder PB-1). Als Hausstationen wurden in beiden Fällen direkt angeschlossene Kompaktstationen inklusive Trinkwassererwärmung betrachtet, die nur mit den funktionell notwendigsten Komponenten ausgestattet sind.

Die Wärmegestehungskosten für das Netz und die Kundenstationen sind für die Stadt Rheinberg sogar geringfügig höher als für Linnich, allerdings sind die Wärmegestehungskosten für die Erzeugung durch eine äußerst kostengünstige Abwärmenutzung so gering, dass ein höherer Anteil der Wärmegestehungskosten für Netz und Kundenstationen einer wirtschaftlichen Fernwärmeversorgung der Stadt Rheinberg nicht entgegensteht.

Generell ist für die Ermittlung der zu erwartenden Gesamtwärmegestehungskosten für eine ausgewählte ländliche Gemeinde ein stufenweises Vorgehen zu empfehlen. Nach der Identifikation geeigneter Grundlastwärmeerzeuger und der Abschätzung der Kosten mittels der in *Kapitel 1 – 6* dargestellten Ergebnisse, erfolgt eine grobe Abschätzung der Wärmegestehungskosten mit einem Vorgehen entsprechend *Kapitel 7*. Falls das Fazit einer Grundsatzplanung positiv ausfällt, d.h. die sich ergebenden Wärmegestehungskosten unter dem anlegbaren Wärmepreis bei Einsatz eines dezentralen Erdgas-Brennwertkessels liegen, sollte in einem nächsten Schritt eine Detailuntersuchung mit einer dynamischen Wirtschaftlichkeitsberechnung durch einen geeigneten Ingenieurdienstleister veranlasst werden. In einer solchen Untersuchung werden alle Berechnungen nochmals mit einer höheren Genauigkeit durchgeführt und konkret auf den betrachteten Fall angepasst.

Die in diesem Handbuch veröffentlichten Ergebnisse zeigen - sowohl im konzeptionellen als auch im praktischen Teil – dass Fernwärme in der Fläche wirtschaftlich sein kann.

Anlagen

Die in den Anlagen dargestellten Angaben wurden nach bestem Wissen und Gewissen zusammengestellt. Die Richtigkeit der Angaben kann jedoch nicht garantiert werden. Alle Angaben erfolgen daher ohne Gewähr auf Richtigkeit.

Anlage 3.1 – Investitionskosten für Wärmeerzeugung mit entsprechenden Literaturverweisen

Die folgenden Investitionskosten gelten für potenzielle Wärmeerzeuger mit einer thermischen Leistung von 500 kW bis ca. 5 MW. Eine genaue Aufschlüsselung der im Preis enthaltenen Posten lag für keine der verfügbaren Literaturangaben vor. Daher können die hier dargestellten Daten nur als Richtwerte angesehen werden. Der Erdgas-Brennwertkessel wurde als Referenz gewählt. Die hier angegebenen Preise beziehen sich auf beim Kunden installierte Kessel von ca. 10 - 32 kW Leistung.

Anlage 3.1
Investitions-
kosten für
Wärmeerzeuger
mit
entsprechenden
Literatur-
verweisen

| Werte für | Literatur- verweis 1 | Literatur- verweis 2 | Literatur- verweis 3 | Literatur- verweis 4 | Literatur- verweis 5 | Minimum aller Angaben [€/kW _{th}] | Durch- schnitt aller Angaben [€/kW _{th}] | Maximum aller Angaben [€/kW _{th}] |
|--|--|----------------------------------|----------------------------------|-------------------------|-------------------------|--|--|--|
| Erdgas-Brennwertkessel (dezentral – keine FW) | [Stiftung Warentest, 2003] | [Staiß, 2003] | [neue- heizungen.de, 2007] | | | 363 | 418 | 495 |
| Zentrales Erdgas-HW | [Huenges, 2005] | [Öko- Institut, 2000] | [GfEM & E.C., 2004] | | | 72 | 168 | 300 |
| Zentrales Heizöl-HW | [Huenges, 2005] | [Öko- Institut, 2000] | [GfEM & E.C., 2004] | | | 90 | 187 | 275 |
| Biomasse Heizwerk (Pellet – Stroh HW) | [Staiß, 2003] | [Steininger, 2004] | [BFE, 2007] | [Good et al., 2005] | [MLR, 2005] | 200 | 530 | 909 |
| Tiefengeothermie HW | [Huenges, 2005] | [Beier & Dötsch, 2003] | [Staiß, 2003] | [Steininger, 2004] | [Althaus, 2006] | 1000 | 1315 | 2352 |
| Erdgas BHKW | [E-Bridge Consulting et al., 2005] | [GfEM & E.C., 2004] | [ASUE, 2005] | [Althaus, 2006] | | 280 | 446 | 700 |
| ORC – Prozess | [energytech. at, 2002] | [Oberberg er et al., 2000] | [Ingenieurbüro Schuler, 2005] | | | 443 | 534 | 625 |
| Biogas BHKW | [enbion, 2007] | [GfEM & E.C., 2004] | [Staiß, 2003] | [Althaus, 2006] | | 1789 | ~2200 | 2536 |

Anlage 3.2 – Daten zur Berechnung des spezifischen Biogaspreises

| Substrat | Anteil Trocken- substanz (TS) an Substrat | Gehalt an organischer Trocken- substanz (oTS) | Biogasertrag | Biogas/t _{Substrat} | Mittlerer volumen- bezogener Biogas - Heizwert | Substrat- bezogener Heizwert | spezifischer Preis des Substrates | Brennstoff- preis Biogas |
|------------------------------------|---|---|--------------------------|---|--|---|---|-----------------------------|
| | [%] | [% d. TS] | [Nm ³ /t oTS] | [Nm ³ /t _{Substrat}] | [kWh _{Brennstoff} / m ³] | [kWh _{Biogas} / t _{Substrat}] | [€/t _{Substrat}] | [€/kWh _{Biogas}] |
| Rindergülle | 8% | 80% | 370 | 24 | 5,5 | 130 | 0 | 0,000 |
| Schweine- gülle | 6% | 80% | 400 | 19 | 5,5 | 106 | 0 | 0,000 |
| Mittelwert Gülle | 7% | 80% | 385 | 22 | 5,5 | 119 | 0 | 0,000 |
| | | | | | | | | |
| Getreide Ganzpflanzen silage | 40% | 94% | 520 | 196 | 5,2 | 1017 | 28 | 0,028 |
| Maissilage | 30% | 96% | 600 | 173 | 5,2 | 899 | 28 | 0,031 |
| Grassilage | 25% | 88% | 560 | 123 | 5,2 | 641 | 25 | 0,039 |
| Mittelwert Silage | 32% | 93% | 560 | 164 | 5,2 | 855 | 26,5 | 0,031 |

Anlage 3.2:
Daten zur
Berechnung des
spezifischen
Biogaspreises

Daten zu Biogas [KTBL, 2006]

Anlage 3.3 – spezifische Brennstoffpreise 2006

Anlage 3.3:
spezifische
Brennstoff-
preise 2006

| spezifische Preise für Brennstoffe 2006 | Erdgas Haushalt | Erdgas Großkunde | HEL | Heizöl schwer | Holzhack- schnittzel | Pellets | NaWaRo Silage |
|---|-----------------------|------------------------|-----------------|------------------|------------------------------|-------------------------------------|---------------|
| Quelle | [verivox.de, 2006] | [eon.rhurgas, 2006] | [BMWI, 2007] | [BMWI, 2007] | [Neugebauer et al., 2007] | [ak- konsumenten. info, 2007] | [KTBL, 2006] |
| Durchschnittlicher Ausgangspreis 2006 | 6,5 ct/kWh | 0,45 €/m ³ | 39,42 €/100l | 426,11 €/t | 75 €/t atro | 144,47 €/t | 26,5 €/t |
| Inkl. Steuern [ct/kWh] | 6,6 | 4,5 | 5,1 | 10,4 | 1,6 | 3,1 | 3,1 |

Anlage 3.4 – Übersicht über Stromvergütung nach EEG

| Verbrauchsabhängige Stromzuschüsse | | | Investitionszuschüsse |
|--|--|---|--|
| Nach Leistung | i) Bis 150 kW _{el} | i) 11,5 ct/kWh _{el} (Mindestvergütung nach EEG 2004) | <p>Bis 250 kW_{el} Für Anlagen, die auch der Stromerzeugung dienen bietet das <i>REN-Programm des Landes NRW</i> folgende Zuschüsse an:</p> <p>Die Bezuschussung beträgt 15% bis zu einem Höchstbetrag von 50000 € und zusätzliche 15% bis zu einem Höchstbetrag von 40000 € bei externer Wärmenutzung von mindestens 30 % durch Dritte.</p> <p>Ab 250 kW_{el} oder bei alleiniger Wärmebereitstellung ist eine Einzelfallbetrachtung notwendig.</p> <p>Hotline NRW: 0180- 3 100 110</p> |
| | ii) Bis 500 kW _{el} | ii) 9,9 ct/kWh _{el} (Mindestvergütung nach EEG 2004) | |
| | iii) Bis 5 MW _{el} | iii) 8,9 ct/kWh _{el} (Mindestvergütung nach EEG 2004) | |
| | iv) 5 – 20 MW _{el} | iv) 8,4 ct/kWh _{el} (Mindestvergütung nach EEG 2004) | |
| | <p>Ausnahme:</p> <p>0 bis 20 MW unter Mitverbrennung von belastetem Altholz (Halogene / Holzschutzmittel))</p> <p>Für die Entgegennahme diesen Altholzes erhält Anlagenbetreiber ca. 20 – 30 €/t (sofern sie keine weitere Aufbereitung erfahren haben)</p> | 3,9 ct/kWh _{el} (nach EEG 2004) | |
| <p>Die Mindestvergütungen werden ab 1. Januar 2005 gesenkt!</p> <p>Die Senkung erfolgt jährlich jeweils für ab diesem Zeitpunkt neu in Betrieb genommene Anlagen um jeweils 1,5% des für die im Vorjahr neu in Betrieb genommenen Anlagen maßgeblichen Wertes, der neue Preis wird auf zwei Stellen hinter dem Komma gerundet.</p> <p>Die Vergütung besteht über die Laufzeit von maximal zwanzig Jahren fort (Inbetriebnahme + 20 Jahre)</p> <p>Keine Förderung für Anlagen mit fossiler Stützfeuerung!</p> <p>Die Pflicht zur Vergütung entfällt für Strom aus Anlagen, die nach dem 31.12.2006 in Betrieb genommen worden sind, wenn für Zwecke der Zünd- und Stützfeuerung nicht ausschließlich Biomasse im Sinne der Rechtsverordnung durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit oder Pflanzenölmethylester verwendet wird. Bei Anlagen, die vor dem 1.1.2007 in Betrieb genommen worden sind, gilt der Anteil, der der notwendigen fossilen Zünd- und Stützfeuerung zuzurechnen ist, auch nach dem 31.12.2006 als Strom aus Biomasse.</p> | | | |

Anlage 3.4:
Strom-
vergütung nach
EEG 2004
[BMJ, 2006b]

Anlage 3.4:
Strom-
vergütung nach
EEG 2004
[BMJ, 2006b]

| Verbrauchsabhängige Stromzuschüsse | | Investitionszuschüsse | |
|------------------------------------|--|--|---|
| Nach Kraftwärmekopplung | v) + 2 ct/kWh _{el} , soweit es sich um Strom im Sinne von § 3, Abs. 4 des Kraft-Wärme-Kopplungsgesetzes handelt und dem Netzbetreiber ein entsprechender Nachweis vorgelegt wird. Bei Anlagen bis zu 2 MW _{el} dürfen dem Netzbetreiber alternativ Herstellerangaben (Stromkennzahl, thermische und elektrische Leistung) vorgelegt werden. | | |
| | | + 2 ct/kWh _{el} (zusätzlich zu v), wenn zusätzlich der Strom in Anlagen gewonnen wird, die auch in Kraft-Wärme-Kopplung betrieben werden, und die Biomasse durch thermochemische Vergasung oder Trockenfermentation umgewandelt, das zur Stromerzeugung eingesetzte Gas aus Biomasse auf Erdgasqualität aufbereitet worden ist oder der Strom mittels Brennstoffzellen, Gasturbinen, Dampfmotoren, Organic-Rankine-Anlagen, Mehrstoffgemisch-Anlagen, insbesondere Kalina-Cycle-Anlagen, oder Stirling-Motoren gewonnen wird. | |
| Nach Sonstigem | | | |
| | <p>Für Stromgewinnung</p> <ul style="list-style-type: none"> * aus ausschließlich für die energetische Nutzung vorgesehenen oder nicht aufbereiteten Pflanzen oder Pflanzenbestandteilen (ohne Holz) * aus Gülle * aus beiden Stoffgruppen * mit ausschließlichem Einsatz von Biomasse nach der Rechtsverordnung durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit <p>oder falls auf dem Gelände keine sonstigen Biomasse-Anlagen betrieben werden, in den Strom aus sonstigen Stoffen gewonnen wird</p> | | <p>+ 6 ct/kWh_{el} bis 500 kW_{el}</p> <p>+ 4 ct/kWh_{el} bis 5 MW_{el}</p> |
| | Bei der Gewinnung des Stroms durch Holzverbrennung | | iii) + 2,5 ct/kWh _{el} Bis 5 MW _{el} |

Anlage 3.5 – Übersicht über die Förderungen von Erdgas-Blockheizkraftwerken nach KWKG

| | Kategorien der zuschlagsberechtigten KWK-Anlagen | Höhe des KWK-Zuschlags [ct/kWh _{el}] | Dauer der Zahlung |
|--|--|---|---|
| Vor In-Kraft-Treten des Gesetzes in Betrieb genommene Anlagen | Alte Bestandsanlagen | 0,97 | 2006 |
| | Neue Bestandsanlagen | 1,23 | 2006 - 2007 |
| | | 0,82 | 2008 |
| | 0,56 | 2009 | |
| Nach In-Kraft-Treten des Gesetzes in Betrieb genommene Anlagen | Kleine KWK-Anlagen ($\leq 2 \text{ MW}_{el}$) | 1,69 | 2005 - 2006 |
| | | 1,64 | 2007 - 2008 |
| | | 1,59 | 2009 - 2010 |
| Nach In-Kraft-Treten des Gesetzes in Betrieb genommene Anlagen | Kleine KWK-Anlagen ($\leq 2 \text{ MW}_{el}$) | 2,25 | 2006 - 2007 |
| | | 2,10 | 2008 – 2009 |
| | | 1,94 | 2010 |
| | Kleine Anlagen ($\leq 50 \text{ kW}_{el}$) und Brennstoffzellen-Anlagen | 5,11 | Gilt für einen Zeitraum von 10 Jahren ab Inbetriebnahme |
| § 3 | <p>Begünstigte Anlagen</p> <p>(1) Begünstigte Anlagen sind ortsfeste Anlagen:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. deren mechanische Energie ausschließlich der Stromerzeugung dient oder 2. die ausschließlich der gekoppelten Erzeugung von Kraft und Wärme dienen und nicht von Nummer 1 erfasst werden oder 3. die ausschließlich dem leitungsgebundenen Gastransport oder der Gasspeicherung dienen. <p>Im Falle der Nummer 2 ist weitere Voraussetzung, dass ein Jahresnutzungsgrad von mindestens 60 Prozent erreicht wird.</p> | | |

Anlage 3.5:
Übersicht über
Förderungen
von Erdgas-
BHKW-Anlagen
[BMU, 2002]

Anlage 3.6 – Übersicht über Brennstoffsteuern nach Energiesteuergesetz

Anlage 3.6:
Übersicht über
die Brennstoff-
steuern nach
Energie-
steuergesetz
[BMJ, 2006a]

| Rohstoff | Genauere Bezeichnung nach der kombinierten Nomenklatur | Zusätzliche Unterteilungen, bitte jeweiliges Textfeld beachten | Steuerbetrag (ct/kWh _{Brennstoff}) | Steuerbetrag bis 2018, (ct/kWh _{Brennstoff}) | Steuerbetrag KWK, (ct/kWh _{Brennstoff}) |
|----------|--|--|--|--|---|
| | | | Absatz 1 des Gesetzestextes, § 2 | Absatz 2 des Gesetzestextes, § 2 | Absatz 3 des Gesetzestextes, § 2 |
| Öl | Mittelschwere Öle | | 5,95 | | |
| | Gasöle | mit einem Schwefelgehalt von mehr als 10 mg/kg | 4,88 | | |
| | | mit einem Schwefelgehalt von höchstens 10 mg/kg | 4,72 | | 0,62 |
| | Heizöle | | 1,10 | | 0,21 |
| Gas | Erdgas und gasförmige Kohlenwasserstoffe | | 3,18 | 1,39 | 0,55 |
| | Flüssiggase | unvermischt mit anderen Energieerzeugnissen | 2,93 | 1,29 | 0,43 |
| | | andere | | 8,71 | |
| Kohle | Kohle | | 0,12 | | |

Anlage 4.1 – Spezifische Netzbaukosten bis DN 150

| | | | | | | | | | | |
|---|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| spezifische Netzbaukosten für die Verlegung von 2 Einzelrohren :im Graben (30 % unbefestigte Oberfläche) Kostenangebote verschiedener Rohrhersteller – auf Wunsch Preise anonymisiert. (6000 m bis DN 50; 3000 m bis DN 80; 1000 m bis DN 150); | Angebote diverser Rohrhersteller für 2006. Tiefbau: [GfEM & E.C., 2004]; Reduktion der Netzbaukosten bei Verlegung von Flexnetzen: [pipesystems.com, 2006] | | | | | | | | | |
| | DN | 20 | 32 | 40 | 50 | 65 | 80 | 100 | 125 | 150 |
| | PEX | 209 | 247 | 278 | 291 | 319 | 347 | 410 | 520 | |
| | PB-1 | 218 | 251 | 276 | 291 | 338 | 362 | 420 | 508 | 608 |
| | Edelstahl | 228 | 272 | 304 | 309 | 344 | 382 | 478 | | |
| | Stahl | 257 | 286 | 305 | 314 | 341 | 368 | 426 | 484 | 557 |

Anlage 4.1:
Spezifische Netzbaukosten (pro m Trasse) nach Material bis DN 150

Anlage 5.1 – Daten zu verschiedenen Hausanschlussssystemen

Anlage 5.1:
Daten und Hersteller-
angaben zu den
verschiedenen
Hausanschluss-
systemen³⁴

| | | Einheit | ohne Speicher (indirekter Anschluss) | ohne Speicher (direkter Anschluss) | konventionelle Speicher- auslegung | DPS® von ETSpreter | HAST- AKKU® von Buderus |
|---|---|---------|--|--|--|-----------------------|-------------------------------|
| | | Quelle: | [Baelz, 2007] | [Baelz, 2007] | [Baelz, 2007], [Bruns, 2006], [Reflex, 2006] | [ETSpreter, 2006] | [MSR Service GmbH, 2006] |
| maximale VL - Temperatur bei der das System betrieben werden kann | | °C | | | | 90 | |
| Investitionskosten | Speicher | | - | - | 11.154 | | 4.000 |
| | Regelungstechnik | | - | - | - | | |
| | Kompaktstationen | | 40.590 | 18.000 | 40.590 | | 32.000 |
| | GESAMT | | 40.590 | 18.000 | 51.744 | 39.973 | 36.000 |
| | spezifische Kosten (€ /kW) | | 200 | 90 | 259 | 200 | 180 |
| | Mehrkosten im Vergleich zu System ohne Speicher | | | - 22.590 | - 11.154 | - 616 | - 4.590,00 |
| Eingesparte installierte Gesamtwärmeerzeugerleistung ³⁵ | | % | 0% | 5% | 50% | 55% | 50% |
| Wärmeverlust abgesenkt um ³⁶ | | % | 0,00% | 0,00% | 30% | 35% | 0% |
| Einsparungen beim Pumpenstrom ³⁷ | | % | 0,00% | 0,00% | 30% | 40% | 40% |
| Effizienzgewinn beim Wärmeerzeuger ³⁸ | | % | 0 | 0 | 10% | 20% | 15% |

³⁴ Anschluss von 10 Wärmekunden (Gesamtanschlusswert 200 kW)

³⁵ Benötigte Leistung des Wärmeerzeugers mit System / Benötigte Leistung des Wärmeerzeugers ohne System

³⁶ Minderung des Wärmeverlustes / Normaler Wärmeverlust

³⁷ Eingesparter Pumpenstrom / Im konventionellen System benötigter Pumpenstrom

Anlage 7.1 – Abwärmeleistung der SIG Combiblock GmbH in Linnich

| Monat | Betriebsstunden | Nutzbare Dampfmenge für Wärmeversorgung | Leistung |
|-----------|-----------------|---|----------|
| | [h] | [t/h] | [MW] |
| Januar | 532 | 0 | 0 |
| Februar | 506 | 0 | 0 |
| März | 737 | 0 | 0 |
| April | 426 | 1,7 | 1,2 |
| Mai | 650 | 3,4 | 2,4 |
| Juni | 451 | 3,9 | 2,7 |
| Juli | 613 | 4,0 | 2,8 |
| August | 197 | 4,8 | 3,4 |
| September | 389 | 4,7 | 3,3 |
| Oktober | 721 | 3,3 | 2,3 |
| November | 575 | 0,9 | 0,6 |
| Dezember | 596 | 0,4 | 0,3 |

Anlage 7.1 :
Abwärme-
leistung der SIG
Combiblock
GmbH in Linnich

³⁸ Die Erhöhung des Jahresnutzungsgrades begründet sich in einer besseren Auslastung der Wärmerzeuger, welche durch den Einsatz von Speichern kontinuierlicher betrieben werden können. Die Angaben sind Schätzwerte der Hersteller von patentierten Speichersystemen.

Anlage 7.2 - Bestimmung der Investitionskosten für einen Fernwärmespeicher in Linnich

Annahmen:

| | | |
|------------------------------------|---|-------------------------|
| maximale Speicherdauer: | | 12 h |
| maximaler Leistungsbedarf in 12 h: | | 3,0 MW* · 12 h = 36 MWh |
| Vorlauftemperatur T_{VL} | = | 90° C |
| Rücklauftemperatur T_{RL} | = | 50° C |

*Deckung der maximal nachgefragten Leistung im September (vgl. *Abbildung 8.2*) bei Stillstand der RVA, höhere Leistungswerte müssen über einen Spitzenkessel bedient werden.

Berechnung:

$$V = \frac{Q}{j_{VL} h_{VL} - j_{RL} h_{RL}} = 657 m^3$$

| | | | |
|-------------|---------------------|----------|------------------------------------|
| V | Speichervolumen | Q | maximal gespeicherte Wärmemenge |
| ρ_{VL} | Dichte bei T_{VL} | h_{VL} | spezifische Enthalpie bei T_{VL} |
| ρ_{RL} | Dichte bei T_{RL} | h_{RL} | spezifische Enthalpie bei T_{RL} |

Somit ergeben sich die Investitionskosten für den Wärmespeicher zu:

$$657 m^3 \cdot 1.000,- \text{ €/m}^3 = 657.000,- \text{ €}. \text{ [Heinz,1995]}$$

Anlage 7.3 – Übersicht über potentielle Fernwärmeabnehmer in Linnich

| Nr | Verbraucher | Anschlusswert | Last | Bemerkung | Investition |
|----|-----------------------|---------------|-------|-------------------------------|------------------------|
| | | [kW] | [kW] | | [EUR] |
| 1 | Altenpflegeheim | 250 | 175 | | 7.240 |
| 2 | Ewartsweg1 | 27 | 19 | RMH, 2-stöckig, BJ 1977, 3 WE | 1.500 |
| 3 | Ewartsweg2 | 27 | 19 | RMH, 2-stöckig, BJ 1977, 3 WE | 1.500 |
| 4 | Ewartsweg3 | 27 | 19 | RMH, 2-stöckig, BJ 1977, 3 WE | 1.500 |
| 5 | Ewartsweg4 | 32 | 22 | REH, 1-stöckig, BJ 1957, 2 WE | 3.000 |
| 6 | Förderschule | 120 | 84 | 120 Schüler | 7.220 |
| 7 | Grundschule | 150 | 105 | 230 Schüler | 7.220 |
| 8 | Hauptschule | 220 | 154 | 310 Schüler | 7.240 |
| 9 | Jan-von-Werth-Straße1 | 27 | 19 | RMH, 2-stöckig, BJ 1977, 3 WE | 1.500 |
| 10 | Jan-von-Werth-Straße2 | 14 | 10 | EFH, 1-stöckig, BJ 1977, 1 WE | 1.500 |
| 11 | Kath. Grundschule | 225 | 158 | 330 Schüler | 7.240 |
| 12 | Kindergarten2 | 40 | 28 | | 1.500 |
| 13 | Kindergarten3 | 40 | 28 | | 1.500 |
| 14 | * neue Wohneinheiten | 2.300 | 1.610 | 230 WE | 126.000 |
| 15 | Plus | 76 | 53 | | 2.700 |
| 16 | Polizeischule | 4.000 | 2.800 | ca. 20 Gebäude | 0 (da Selbstversorger) |
| 17 | Realschule | 400 | 280 | 570 Schüler | 14.480 |
| 18 | Ristorante Nido | 28 | 20 | | 1.500 |

Anlage 7.3:
Übersicht über
potentielle
Fernwärme-
kunden in Linnich

Anlage 7.3:
Übersicht über
potentielle
Fernwärme-
kunden in Linnich

| Nr | Verbraucher | Anschlusswert | Last | Bemerkung | Investition |
|----|--------------------|---------------|-------|-------------------------------|-------------|
| | | [kW] | [kW] | | [EUR] |
| 19 | Rurstraße1 | 112 | 78 | REH, 2-stöckig, BJ 1957, 7 WE | 10.500 |
| 20 | Rurstraße2 | 32 | 22 | REH, 2-stöckig, BJ 1957, 2 WE | 3.000 |
| 21 | Rurstraße3 | 90 | 63 | REH, 3-stöckig, BJ 1957, 5 WE | 7.500 |
| 22 | Rurstraße4 | 76 | 36 | EFH, 1-stöckig, BJ 1957, 4 WE | 6.000 |
| 23 | Rurstraße5 | 48 | 34 | REH, 2-stöckig, BJ 1957, 3 WE | 4.500 |
| 24 | Rurstraße6 | 90 | 63 | REH, 3-stöckig, BJ 1957, 5 WE | 7.500 |
| 25 | Sebastianusstraße1 | 27 | 19 | RMH, 2-stöckig, BJ 1977, 3 WE | 1.500 |
| 26 | Sparkasse | 40 | 28 | | 1.350 |
| 27 | Sporthalle | 109 | 76 | | 7.220 |
| | Summe | 8.627 | 6.022 | | 243.410 |

* Die 230 neuen Wohneinheiten setzen sich aus beispielsweise (da noch keine konkrete Planung vorhanden) aus 22 Einfamilienhäusern, 10 Doppelhäusern, 12 Reihenhäusern mit je 4 Wohneinheiten, 10 Mehrfamilienhäusern mit je 6 Wohneinheiten und 10 Mehrfamilienhäusern mit je 8 Wohneinheiten zusammen.

Anlage 7.4 – Investitionen in das Wärmenetz in Linnich

| Rohrklasse | Länge | spez. Kosten | Investitionen | Bemerkung |
|------------|-------|--------------|---------------|-----------|
| | [m] | [EUR/m] | [EUR] | |
| DN200 | 697 | 668 | 465.596 | KMR |
| DN150 | 1.029 | 557 | 573.376 | KMR |
| DN100 | 308 | 303 | 93.173 | PEX |
| DN080 | 185 | 274 | 50.553 | PEX |
| DN065 | 103 | 263 | 27.115 | PEX |
| DN050 | 477 | 250 | 119.125 | PEX |
| DN040 | 8 | 249 | 2.042 | PEX |
| DN032 | 221 | 233 | 51.446 | PEX |
| DN025 | 340 | 203 | 69.061 | PEX |
| Summe | 3.367 | | 1.451.486 | |

Anlage 7.4:
Investition in das
Wärmenetz,
Daten aus
Grundsatz-
planung Linnich

Anlage 7.5 – Anschlusspezifikationen für öffentliche Gebäude in Rheinberg

Anlage 7.5:
Anschluss-
spezifikationen
für öffentliche
Gebäude in
Rheinberg

| Objekt | Anschrift | Anschlusswert [kW] | Kosten Hausstation ohne Anschlüsse | |
|---|---------------------------------|----------------------------|------------------------------------|----------|
| Altes Rathaus, Büronutzung/Sitzungssaal | Großer Markt 1 | 58 | 3.000 € | |
| Stadthaus mit verschiedenen Nutzungen | Kirchplatz 10 | 511 | 15.600 € | |
| Alte Kellnerei | Innenwall 104 | 190 | 5.900 € | |
| Konvikt | Lützenhofstr. 9 | 187 | 5.900 € | |
| Schulen | Grundschule Grote Gert | Grote Gert 40 | 309 | 9.900 € |
| | Turnhalle | Grote Gert 40 | 148 | 4.500 € |
| | Grundschule Paul Gerhardt | Schulstr. 6 | 263 | 8.600 € |
| | Grundschule St. Peter | Schulstr. 6 | 249 | 7.200 € |
| | Turnhalle Fossastr. | Schulstr. 6 | 121 | 4.500 € |
| | Gymnasium (Altbau) | Dr.-Aloys-Wittrupp-Str. 18 | 834 | 21.100 € |
| | Gymnasium (Neubau incl. Forum) | Dr.-Aloys-Wittrupp-Str. 18 | 52 | 3.000 € |
| | Gymnasium (Turnhalle) | Dr.-Aloys-Wittrupp-Str. 18 | 130 | 4.500 € |
| | Förderschule (Maria-Montessori) | Kurfürstenstr. 6 | 290 | 8.600 € |
| | Schulzentrum | Dr.-Aloys-Wittrupp-Str. 11 | 1397 | 27.400 € |
| | 3-fach-Turnhalle | Dr.-Aloys-Wittrupp-Str. 11 | 574 | 15.600 € |
| Sportanlage Xantener Str. | Xantener Str. 96 | 204 | 7.200 € | |
| Hallenbad | Friedrich-Stender-Weg 4 | 935 | 22.600 € | |
| Jugendheim Rheinberg | Xantener Str. 99 | 95 | 3.000 € | |

Anlage 7.6 – Anschlusskosten für ausgewählte Wohngebiete³⁹ in Rheinberg

| Objekt | Anschlusswert [kW] | Anzahl Hausstationen | Kosten Hausstation incl. Anschlüsse |
|---------------------|--------------------|----------------------|-------------------------------------|
| Rheinberg Gebiet 1 | 4842 | 150 | 225.000 € |
| Rheinberg Gebiet 2 | 1677 | 130 | 193.500 € |
| Rheinberg Gebiet 3 | 84 | 5 | 7.500 € |
| Rheinberg Gebiet 4 | 436 | 13 | 19.500 € |
| Rheinberg Gebiet 5 | 139 | 18 | 27.000 € |
| Rheinberg Gebiet 6 | 543 | 21 | 31.500 € |
| Rheinberg Gebiet 7 | 79 | 8 | 12.000 € |
| Rheinberg Gebiet 8 | 2725 | 88 | 132.000 € |
| Rheinberg Gebiet 11 | 936 | 117 | 175.500 € |
| Rheinberg Gebiet 16 | 176 | 21 | 31.500 € |
| Summe | 11637 | 571 | 855.000 € |

Anlage 7.6:
Anschlusskosten
für ausgewählte
Wohngebiete in
Rheinberg

³⁹ Bezeichnungen siehe Abbildung 7.5

Anlage 7.7 – Investitionen in ein Wärmenetz in Rheinberg

Anlage 7.7:
Spezifische
Investitionen
für ein
Wärmenetz in
Rheinberg

| Rohrklasse | Bemerkung | Länge Trasse [m] | spez. Kosten [€/m] | Investitionen |
|------------|-----------|------------------|--------------------|---------------|
| DN 250 | KMR | 1.818 | 891 | 1.620.016 € |
| DN 200 | KMR | 1.333 | 668 | 890.177 € |
| DN 150 | KMR | 1.707 | 557 | 950.966 € |
| DN 100 | PEX | 205 | 303 | 62.115 € |
| DN 80 | PEX | 1.124 | 274 | 308.086 € |
| DN 65 | PEX | 620 | 263 | 162.981 € |
| DN 50 | PEX | 526 | 250 | 131.600 € |
| DN 40 | PEX | 621 | 249 | 154.554 € |
| DN 32 | PEX | 165 | 233 | 38.445 € |
| DN 25 | PEX | 49 | 203 | 9.947 € |
| | | | | |
| Summe | | 8.168 | | 4.328.887 € |

Literaturliste

Die Daten auf welchen die Berechnungen in Kapitel 1 – 7 basieren sind im Wesentlichen aus folgenden Literaturquellen zusammengetragen, in den Berechnungsblättern wird jeweils nochmals auf diese verwiesen:

ak-konsumenten.info, 2007: *Pelletspreise*, www.arbeiterkammer.com/pictures/d43/Pellets.pdf

Althaus, W., 2006: *Größenordnungen für Investitionskosten verschiedener Wärmeerzeuger*, 'Persönliche Mitteilung', Interviewer: A. Jentsch

ASUE, 2005: *BHKW-Kenndaten 2005*, Verlag Rationeller Energieeinsatz, www.asue.de/veroff/bhkw/image/BHKW-Kenndaten-2005.pdf, Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V.

AUSTROFLEX, 2006: *Angebot für Fernwärmerohre*, 'Persönliche Mitteilung', www.austroflex.com, Interviewer: A. Jentsch

Baelz, 2007: *Angebote für Kompaktstationen*, 'Persönliche Mitteilung', www.baelz.com/index.php?bereich=home, Interviewer: K. Bohn

Beier, C. & Dötsch, C., 2003: *Einsatz, Potentiale, Perspektiven umweltfreundlicher Energien in Deutschland*, 'Studie', www.stiftung-nagelschneider.de/uploads/Bericht_Studie_Erneuerbare_Energien_v1-0.pdf, Fraunhofer Institut für Umwelt- Sicherheits- und Energietechnik

BFE, 2007: *Wirtschaftlichkeit von heutigen Biomasse-Energieanlagen*, 'Studie', www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=de&name=de_627081040.pdf Bundesamt für Energie (Schweiz)

BMBau, Vorwahren, A., & Roth, U., 1980: *Rationelle Energieverwendung im Rahmen der kommunalen Entwicklungsplanung*, In BMBau: Städtebauliche Forschung, Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau

BMJ, 2006a: *Energiesteuergesetz*. veröffentlicht in: bundesrecht.juris.de/energiestg/, Bundesamt für Justiz

BMJ, 2006b: *Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien*,. bundesrecht.juris.de/eeg_2004/, Bundesamt für Justiz

BMU, 2002: *Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung (Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz)*. www.bmu.de/klimaschutz/doc/2930.php, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

BMWi, 2007: *BMWi - Energiestatistiken*, www.bmwi.de/BMWi/Navigation/Energie/energiestatistiken.html, Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie

Brugg, 2006: *Angebot Fernwärmerohre*, 'Persönliche Mitteilung', www.pipesystems.com, Interviewer: A. Jentsch

Bruns, 2006: *Kosten für Warmwasserspeicher*, 'Persönliche Mitteilung', www.bruns-heiztechnik.de, Interviewer: P. Valenta

DIN, 2001: *Energetische Bewertung Heiz- und Raumluftechnischer Anlagen*, Deutsches Institut für Normung

E-Bridge Consulting, Technisches Büro Dr. Theissing, FH Joanneum, & TU Graz, 2005: *Studie über KWK-Potenziale in Österreich*, www.bmwa.gv.at/NR/rdonlyres/0442D964-9B79-423C-8F3B-12C7FD38EE88/0/KWKPotentialstudie2005.pdf

enbion, 2007: *Biogas-Anlagentypen*. www.enbion.de/bga_typen.php, enbion Energieernte GmbH

energytech.at, 2002: *Technologie-Portrait Kraft-Wärme-Kopplung*, 'Studie', [www.energytech.at/\(de\)/pdf/techportrait_kwk_dt.pdf](http://www.energytech.at/(de)/pdf/techportrait_kwk_dt.pdf)

eon.ruhrgas, 2006: *Gaspreise für Grosskunden ab 10 GWh/a* 'Persönliche Mitteilung', Interviewer: A. Jentsch

ETSpreter, 2006: *ETSpreter - dezentrales Speichersystem*, 'Persönliche Mitteilung', www.etspreter.de/html/download.html Interviewer: A. Jentsch

GfEM & E.C., 2004: *Kennziffernkatalog - Investitionsvorbereitung in der Energiewirtschaft*, GfEM, (12 Auflage), Berlin, Gesellschaft für Energiemanagement & ENERGY CONSULTING

Good, J., Nussbaumer, T., Jenni, A., & Bühler, R., 2005: *Systemoptimierung automatischer Holzheizungen*, 'Studie', www.verenum.ch/Publikationen/Systemopt.pdf

Heinz, Frank, 1995: *Planung und Dimensionierung eines Motorheizkraftwerkes (MHKW)*, 'Diplomarbeit', Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes,

Huenges, E., 2005: *Energiegewinnung aus Erdwärme*, www.gfz-potsdam.de/pb5/pb52/staff/huenges/vorlesungen/7_energiewirtschaft.analyse_energieauserdwaermess2005.pdf

Ingenieurbüro Schuler, 2005: *Unsere ganze Kraft für Ihre Energieprojekte*, www.ige.uni-stuttgart.de/forschung/vortraege/vortraege/sonderp0506/Schuler.pdf

isoplus, 2006: *Angebot für Fernwärmerohre*, 'Persönliche Mitteilung', www.isoplus.de, Interviewer: A. Jentsch

Kabasci, S., 2007: *Erfahrungswerte für Investitionskosten und Brennstoffpreise bei NaWaRo Biogasanlagen für Ende 2007*, 'Persönliche Mitteilung', Interviewer: A. Jentsch

KE KELIT, 2006: *Angebot für Fernwärmerohre*, 'Persönliche Mitteilung', www.kekelit.com, Interviewer: A. Jentsch

KTBL, 2006: *Gasausbeute in landwirtschaftlichen Biogasanlagen*, Kuratorium für Technik und Bauen in der Landwirtschaft e.V.

Logstor A/S, 2006: *Angebot für Fernwärmerohre*, 'Persönliche Mitteilung', www.logstor.com, Interviewer: A. Jentsch

MLR, 2005: *Energieträger im Gartenbau - Alternativen zu Erdöl und Erdgas* -, 'Studie', www.mlr.baden-wuerttemberg.de/mlr/allgemein/Energietraeger%20im%20Gartenbau.pdf, Ministerium für Ernährung und ländlichen Raum Baden-Württemberg

MSR Service GmbH, 2006: *HAST-AKKU®*, 'Persönliche Mitteilung', www.msr-service-team.de/hastakku.0.html
Interviewer: A. Jentsch

neue-heizungen.de, 2007: *Kesselaustausch zum garantierten Festpreis*.www.neue-heizungen.de/2018/97670.html,

Neugebauer, G., Wittkopf, S., Baudisch, C., & Günsche, F., 2007: *Hackschnitzel auf dem Vormarsch*.www.waldwissen.net/themen/holz_market/holzenergie/lwf_hackschnitzel_2005_DE

Obernberger, I., Hammerschmidt, A., & Bini, R., 2000: *Biomasse Kraft-Wärme-Kopplung auf Basis des ORC Prozesses - EU-THERMIE Projekt Admont (A)*, 'Studie', www.turboden.it/public/BIAA0100.pdf

Öko-Institut, 2000: *Gas-Heizwerk-klein*, www.probas.umweltbundesamt.de/php/volltextsuche.php, Institut für angewandte Ökologie e.V.

PBPSA, 2007: *Einführung von PB-1 in Rohrleitungssystemen - Nutzen und Vorteile*, www.pbpsa.com/ger/inuse-instadv.asp, Polybutene Piping Systems Association

pipesystems.com, 2006: *Cost Savings with Flexible Pipe Systems* in Euroheat & Power English Edition, 2006/Nr: (3),

Reflex, 2006: *Angebot für Warmwasserspeicher*, 'Persönliche Mitteilung', www.reflex.de, Interviewer: P. Valenta

Roth, U., 1980: *Siedlungstypen: Beschreibung, Datenprofile*, Büro für Raumplanung,

Staiß, F., 2003: *Jahrbuch Erneuerbare Energien*, Bieberstein Verlag, Radebeul,

Steininger, K., 2004: *Erneuerbare Energien in der Bundesrepublik Deutschland - Tabelle 2: Spezifische Kosten als Anhaltswerte*

Stiftung Warentest, 2003: *Gas Heizkessel mit Speicher* in Stiftung Warentest, 2003 / Nr:(8)
www.test.de/themen/umwelt-energie/test/-Gas-Heizkessel-mit-Speicher

THERMAFLEX, 2006: *Angebot für Fernwärmerohre*, 'Persönliche Mitteilung', www.flexalen.com, Interviewer: A. Jentsch

TSB, 2002: *Wirtschaftlichkeit geothermischer Energiegewinnung im Rahmen konventioneller und regenerativer Energiesystem*, Bad Dürkheim, VWEW www.tsb-energie.de/service/publikationen/2002/tsb_geoenergie_duerkheim.pdf, Transferstelle Bingen e.V.

VDI, 2000: *Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen Grundlagen und Kostenberechnung*, 53, Verband Deutscher Ingenieure

verivox.de, 2006: *Gaspreise für Abnahme von 19 MWh/a*

Winkens, H. P., 1999: *Heizkraftwirtschaft und Fernwärmeversorgung. Ein Kompendium.*, Verlags- und Wirtschaftsgesellschaft der Elektrizitätswerke m.b.H.

Winter, W., Haslauer, T., & Obernberger, I., 2001: *Untersuchung der Gleichzeitigkeit in kleinen und mittleren Nahwärmenetzen* in Euroheat & Power, 2001/Nr: 9 & 10, www.bios-bioenergy.at/uploads/media/Paper-Winter-Gleichzeitigkeit-Euroheat-2001-09-02.pdf