

9/10/10
10.10.10
10.10.10
10.10.10
10.10.10

Machbarkeitsstudie zur optimierten Wärmenutzung des Geothermiekraftwerks Landau

Mit freundlicher Unterstützung des:



Rheinland-Pfalz

Ministerium für Umwelt, Forsten
und Verbraucherschutz

Auftraggeber: Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz
Rheinland-Pfalz

Datum: 31.10.2007

Transferstelle Bingen · Am Langenstein 21 · 55411 Bingen · www.tsb-energie.de

Dipl.-Ing. (FH) Christian Pohl
Tel: 06721 / 98 4 24 16
Fax: 06721 / 98 4 24 29
pohl@tsb-energie.de

Dipl.-Ing. (FH) Kerstin Kriebs
Tel: 06721 / 98 4 24 20
Fax: 06721 / 98 4 24 29
kriebs@tsb-energie.de

im

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

Anmerkung der FAWF:

Auf den Seiten 19-21 finden sich widersprüchliche Angaben über die Wärmeleistung der Restwärme des Thermalwassers vor der Reinjektion ins Erdreich. Dies lässt sich auf unterschiedliche Bezugssysteme zurückführen:

- S. 19: Die Wärmeleistung von $5,6 \text{ MW}_{\text{th}}$ in Tab. 3-1 stellt eine überschlagsmäßige Größenordnung dar.
- S. 20: Die Monatswärmeleistungen zwischen $6,2$ und $7,3 \text{ MW}_{\text{th}}$ in Tab. 3-2 sind das Ergebnis einer differenzierteren Betrachtung.
- S. 21: Die Wärmeleistungen zwischen $5,5$ und $6,5 \text{ MW}_{\text{th}}$ berücksichtigen die Temperaturen in den Wärmenetzen.

Verantwortlich im Sinne des Pressegesetzes für den Inhalt sind die Autoren. Aus der Benutzung der Studie können gegenüber der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz keine Schadensersatzansprüche geltend gemacht werden. Die Forschungsanstalt ist bemüht, die Studien auf Wahrheit, Inhalte und Herkunft zu prüfen. Sie kann jedoch beispielsweise die Urdaten von Vor-Ort-Erhebungen, gegebenenfalls verwendete Algorithmen und Hintergrundinformationen nicht prüfen.

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	3
1 Kurzvorstellung des Geothermieprojekts in Landau	4
2 Fernwärmeversorgungsgebiete in Landau – Ist-Analyse	5
2.1 Quartier Vauban.....	5
2.2 Eutzinger Straße.....	9
2.3 Cité Dagobert und Cité Montclar.....	10
2.4 Universitäts-Außenstelle Bürgerstraße – Campus Landau – Universität Koblenz-Landau.....	13
2.5 Vinzentius-Krankenhaus Landau.....	14
2.6 Estienne et Foch.....	16
3 Mögliche Deckung des Jahreswärmebedarf in den Fernwärmenetzen durch Geothermie	19
4 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Geowärmeversorgung in den Fernwärmenetzen	31
4.1 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung Geowärmeversorgung Quartier Vauban.....	31
4.2 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung Geowärmeversorgung Eutzinger Straße, Cité Dagobert und Universitäts-Außenstelle.....	34
4.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung Geowärmeversorgung Estienne et Foch.....	37
4.4 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung Geowärmeversorgung Vinzentius-Krankenhaus....	40
4.5 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung Geowärmeversorgung der drei Fernwärmeversorgungsgebiete und des Krankenhauses.....	43
5 Mögliche Deckung des Jahreswärmebedarfs im Gewerbegebiet durch Geothermie	46
6 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Geowärmeversorgung im Gewerbegebiet	54
6.1 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung Geowärmeversorgung Gewerbegebiet.....	54
6.2 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung Geowärmeversorgung der drei Fernwärmeversorgungsgebiete und des Gewerbegebiets.....	57
7 Kohlendioxid-Emissionsbilanz	60
8 Ermittlung des freien Wärmepotentials abzüglich der Wärmeversorgung in den Wohngebieten und im Gewerbegebiet	62
9 Sensitivitätsanalyse wirtschaftliches Optimum aus Strom- und Wärmeverkauf ...	64
10 Abschätzung des notwendigen Förderbedarfs	69
11 Zusammenfassung	70

Einleitung

Die Realisierung eines Geothermiekraftwerkes in Landau schreitet voran, sodass Konzepte zur Nutzung großer Wärmemengen gefragt sind. Nach der Stromerzeugung im Geothermiekraftwerk steht Restwärme des Thermalwassers mit etwa 70°C noch zur weiteren Nutzung in der Wärmeversorgung zur Verfügung.

Der Standort der Bohrung befindet sich auf dem ehemaligen Gelände der Panzerwerkstätten am südlichen Stadtrand von Landau. Auf den benachbarten Konversionsgebieten entstehen Neubaugelände sowohl für Wohnhäuser als auch für Gewerbebetriebe. Zwei Fernwärmenetze sind für jeweils ein Wohngebiet schon vorhanden. In der Machbarkeitsstudie wird die Wärmeversorgung dieser Gebiete mit Geowärme geprüft. Neben den technischen Bedingungen, die im Wesentlichen auf dem zur Verfügung stehenden Temperaturniveau und der Wärmemenge beruhen, wird auch die Wirtschaftlichkeit hinsichtlich der Konkurrenzfähigkeit gegenüber konventionellen Anlagen betrachtet.

In etwas weiterer Entfernung befindet sich ein Gewerbegebiet. Für neu anzusiedelnde Betriebe wird am Beispiel einer Klärschlamm-trocknung ebenfalls die Wärmeversorgung auf Basis von Geowärme untersucht. Es wird geprüft, ob die Wärmeversorgung eines Industriebetriebs nachrangig zur Wärmeversorgung der Wohngebiete erfolgen kann oder sie in Konkurrenz stehen, da einerseits die Wärmemenge der Geowärme begrenzt und andererseits das Temperaturniveau des Vor- und Rücklaufs zu beachten ist.

In der Fernwärmeversorgung ergeben sich jahreszeitabhängig unterschiedliche Wärmemengen. Zwischen dem maximalen Bedarf im Winter und dem minimalen Bedarf im Sommer steht ein nicht unerhebliches Wärmepotential auf einem hohen Temperaturniveau zusätzlich zur Verfügung. Deswegen ist eine Wärmenutzung in den Sommermonaten bzw. antizyklisch zur Raumheizung von besonderem Interesse.

Mit Sensitivitätsanalysen kann ein wirtschaftliches Optimum aus dem Strom- und Wärme-kauf herausgefunden werden. Unter Inkaufnahme von Stromeinbußen kann die Restwärmenutzung des Thermalwassers erhöht werden. Aufgrund der stark gestiegenen Brennstoffpreise kann es wirtschaftlich interessant sein, das Geothermiekraftwerk nicht mit maximaler Stromausbeute zu fahren, sondern vorzugsweise bei hohem Wärmebedarf wärmeorientiert zu betreiben, um insgesamt höhere Erlöse zu erhalten.

Die Ergebnisse des Konzepts werden in der Zusammenfassung dargestellt und sollen als Entscheidungshilfe für die Entwicklung der Referenzregion Geothermie Rheinland-Pfalz dienen.

1 Kurzvorstellung des Geothermieprojekts in Landau

Für das Geothermieprojekt in Landau ist geplant, heißes Tiefenwasser zur Stromerzeugung und Fernwärmeversorgung zu nutzen. Im April 2006 wurde die zweite von zwei Bohrung ebenfalls mit 3.000 m Tiefe fertig gestellt. Die Förderrate des rund 150°C heißen Thermalwassers beträgt 180 bis 250 m³/h. Zur Stromerzeugung ist eine ORC-Anlage mit ca. 2 bis 2,5 MW_{el} vorgesehen, deren Inbetriebnahme für 2007 geplant ist.

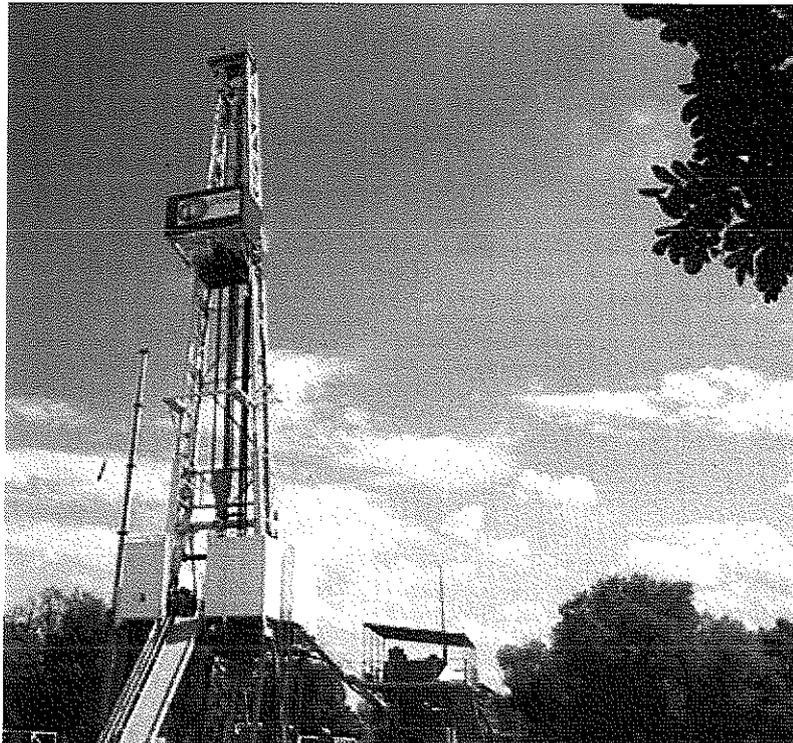


Abbildung 1-1 Bohrturm in Landau (Quelle: Institut für Energetik und Umwelt GmbH)

2 Fernwärmeversorgungsgebiete in Landau – Ist-Analyse

Als Fernwärmeversorgungsgebiete in Landau kommen für das Geothermieprojekt ehemalige Konversionsgebiete und öffentliche Einrichtungen, die sich neben dem Standort der geothermischen Bohrungen befinden, in Frage. Für die einzelnen Gebiete wird der Wärmeverbrauch abgeschätzt und die vorgesehene Wärmeleistung angegeben.

2.1 Quartier Vauban

1994 wurde die Kaserne Mangin der französischen Streitkräfte aufgegeben. Das Konversionsgebiet erwarb die Stadt Landau vom Bund, um ein Wohngebiet mit zusätzlich gemischter Nutzung anzulegen, das nun als Quartier Vauban bezeichnet wird. 1999 wurde das Gelände vollständig freigelegt und mit dem ersten Bauabschnitt begonnen. In diesem Bauabschnitt wurden die neu gebildeten Grundstücke an Einzelbauherren vermarktet. In 2005 wurden zahlreiche Einfamilienhäuser errichtet. Für den zweiten und dritten Bauabschnitt sind Doppel- und Reihenhäuser vorgesehen, die vom „Landauer Architektenforum“ und Bauträgern entwickelt wurden und an Bauwillige vermarktet werden. Teilweise sind sie schon veräußert. In einem fünften Bauabschnitt, der sich im südlichen Bereich befindet, entstehen in ehemaligen Militärgebäuden eine Montessorischule und ein Waldorfkindergarten. Die Montessorischule ist seit Oktober 2005 an das Fernwärmenetz angeschlossen.

Mit dem Kauf der ehemaligen Turnhalle in 2000 und Umbau zur Heizzentrale und dem Verlegen der Fernwärmeleitungen wurde mit der Fernwärmeversorgung begonnen. Bis 2005 waren 70 % der geplanten Wärmeleistung am Netz angeschlossen. Ziel ist, dass alle 600 Wohneinheiten an das Wärmenetz angeschlossen sein werden.

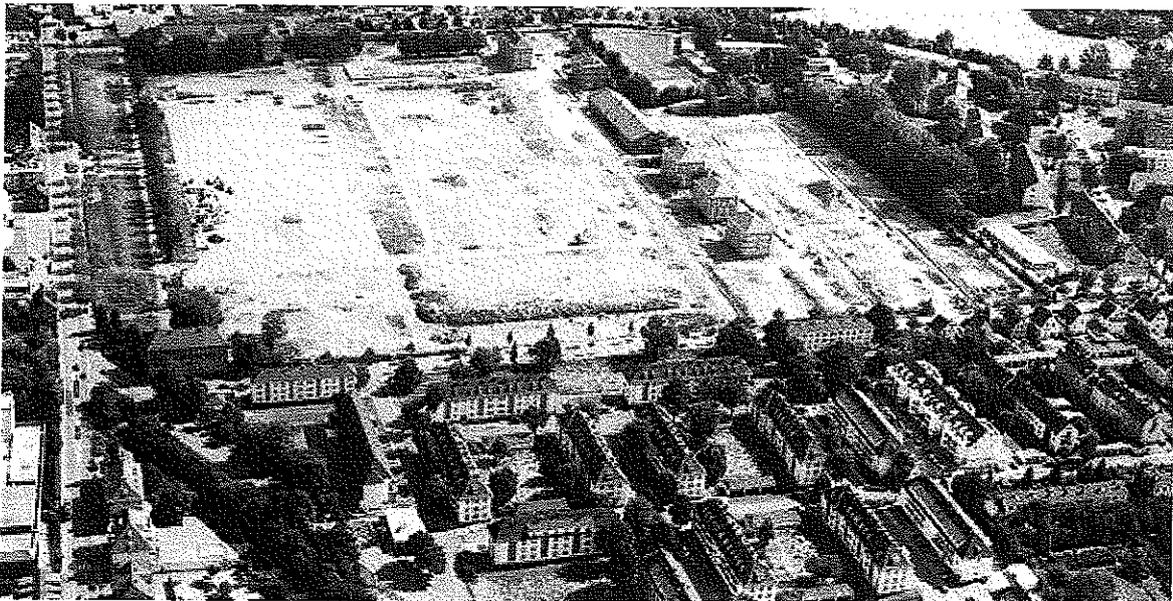


Abbildung 2-1 Luftbildaufnahme vom freigelegten Quartier Vauban (Quelle: Stadt Landau)

Anzahl Wohneinheiten 600
Konversionsfläche ca. 15 ha

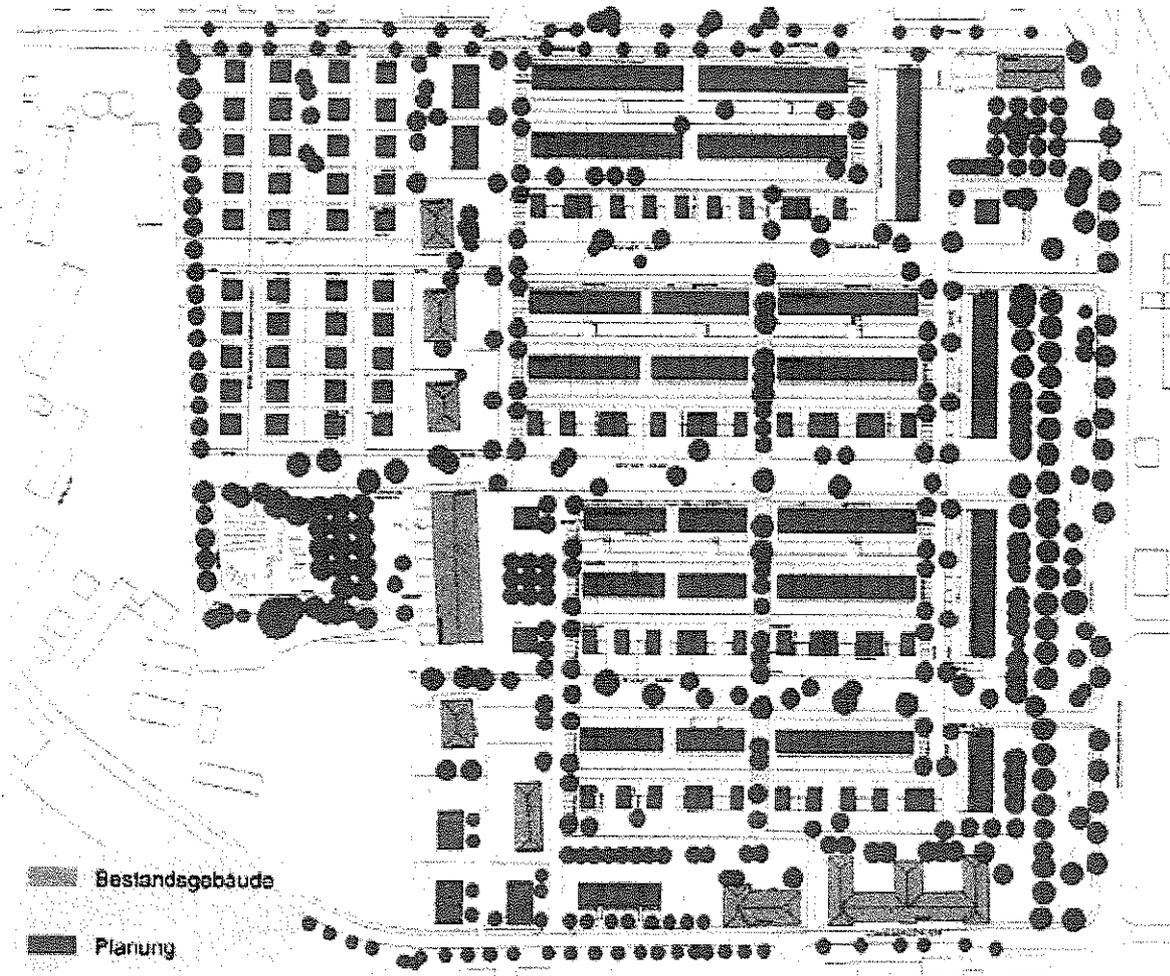


Abbildung 2-2 Städtebaulicher Rahmenplan für das Quartier Vauban (Quelle: Stadt Landau)

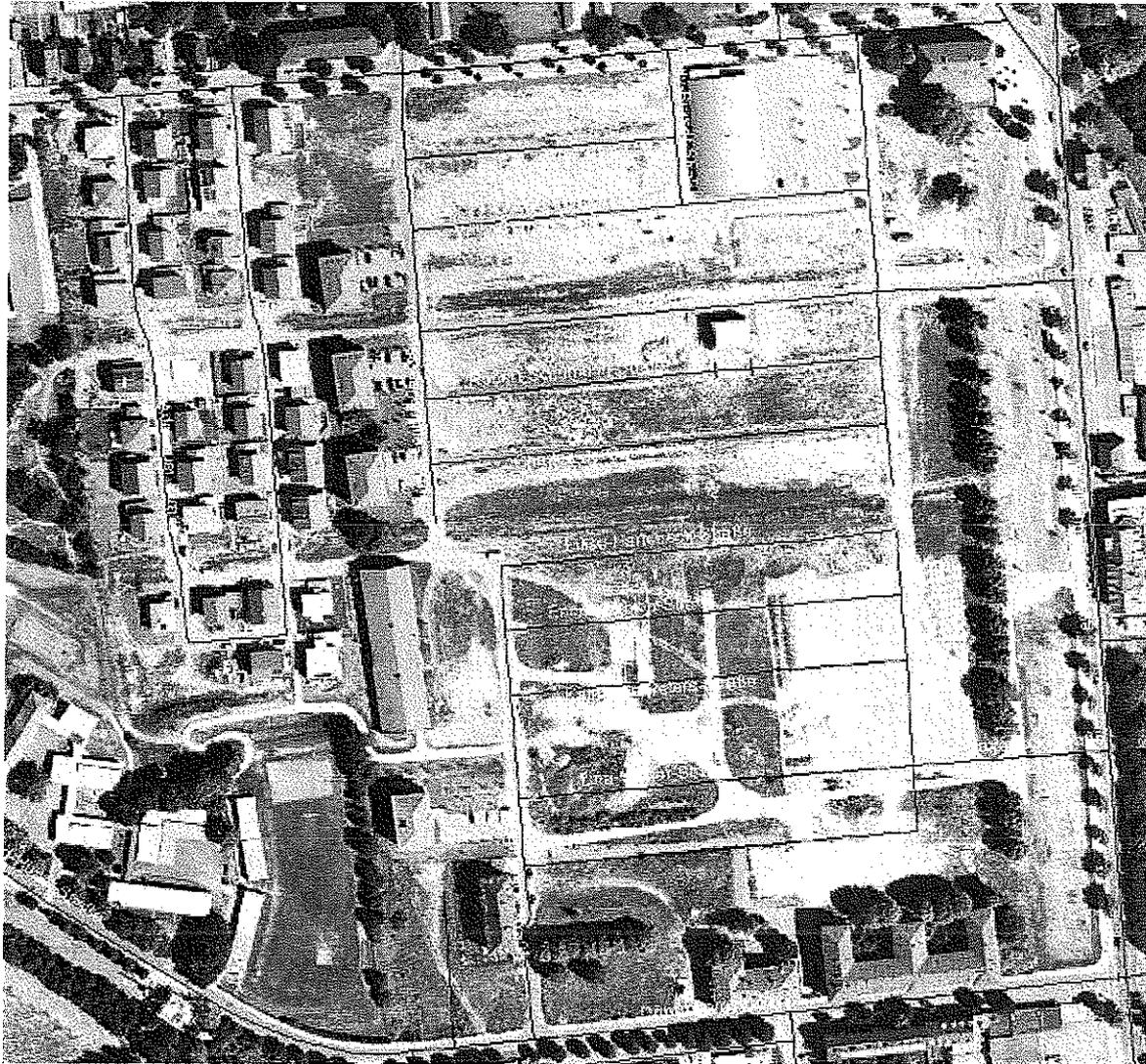


Abbildung 2-3 Luftbild Quartier Vauban
(Quelle: Landesamt für Vermessung und Geobasisinformation)

Der Wärmebedarf für das Quartier Vauban wird anhand der vorgesehenen Anzahl an Wohneinheiten und Erfahrungswerten bezüglich des Jahreswärmebedarfs und der Wärmeleistung in Abstimmung mit Herrn Hechler von der LanTec Gebäudetechnik Management GmbH abgeschätzt.

Anzahl Wohneinheiten	600
Wärmeleistung inkl. Wärmenetzverluste	1.900 kW _{th}
Jahreswärmebedarf inkl. Wärmenetzverluste	3.000 MWh _{th} /a

Tabelle 2-1 Abschätzung Jahreswärmebedarf und Wärmeleistung

Die Wärmeversorgung der bestehenden und zukünftigen Gebäude im Quartier Vauban erfolgt über Fernwärme. In der Heizzentrale, die sich in einer ehemaligen Turnhalle des Quartier Vaubans befindet, sind derzeit Öl-/Gas-Spezialheizkessel und ein BHKW installiert. Sie stellen eine Nennwärmeleistung von rund 1.400 kW_{th} zur Verfügung.

Die Kenndaten zu den Vor- und Rücklauftemperaturen im Fernwärmenetz sind in der Tabelle aufgeführt.

Primärseite (Fernwärme)	
Vorlauftemperatur ab +3°C Außenlufttemperatur	max. 70 °C
Vorlauftemperatur unter +3°C Außenlufttemperatur	witterungsgeführt bis 90 °C
Rücklauftemperatur	max. 50 °C
Sekundärseite (Hausanschluss)	
Vorlauftemperatur (Auslegungstemperatur)	max. 70 °C
Rücklauftemperatur (Auslegungstemperatur)	max. 47 °C

Tabelle 2-2 Vor- und Rücklauftemperatur Fernwärmeversorgung Quartier Vauban¹

¹ Energie Südwest AG: Datenblatt Fernwärme zum Fernwärmenetz „Vauban-Gelände“

2.2 Eutzinger Straße

Das Fernwärmeversorgungsgebiet Eutzinger Straße befindet sich südlich der Eutzinger Straße. 1998 wurde mit der Wärmeversorgung der Eutzinger Straße begonnen.

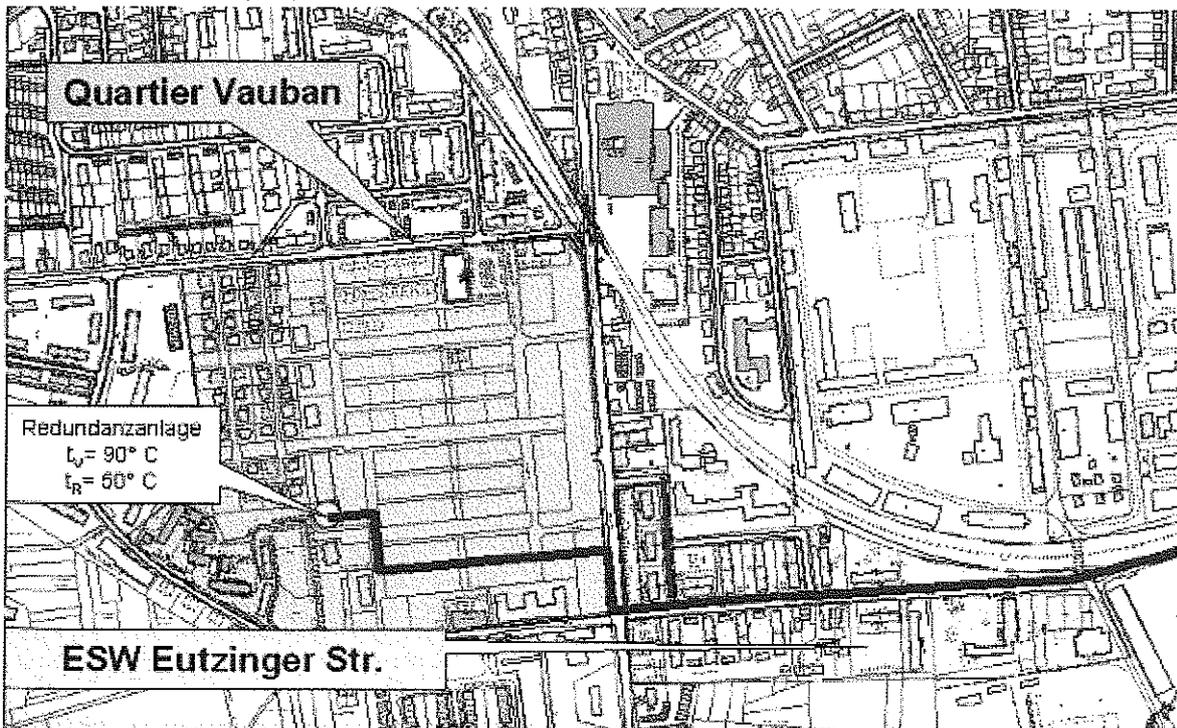


Abbildung 2-4 Fernwärmeversorgungsgebiet Eutzinger Straße

Die nutzbare Wärmeabgabe aus der derzeitigen Fernwärmeversorgung durch LanTec Gebäudetechnik Management GmbH beträgt witterungsbereinigt $962 \text{ MWh}_{\text{th}}/\text{a}$ für die Jahre 2003 bis 2005.

2.3 Cité Dagobert und Cité Montclar

Nachdem die französischen Streitkräfte aus Landau abgezogen sind, erwarb die Rhein-Pfalz Wohnen GmbH 1996 u. a. die Konversionsgebiete Cité Dagobert und Cité Montclar vom Bund¹. Die zwei- bis dreigeschossigen Häuser wurden in den 50er Jahren errichtet. Nach einer umfassenden Modernisierung wurden die 20 Zweizimmerwohnungen und die 40 Dreizimmerwohnungen in der Cité Dagobert vermietet. In der Cité Montclar sind alle 114 Eigentumswohnungen mit drei, vier und fünf Zimmern verkauft.



Abbildung 2-5 Mehrfamilienhäuser in Cité Dagobert und Cité Montclar (Quelle: Ministerium der Finanzen des Landes Rheinland-Pfalz: Konversion im Wohnungsbau)

Die Fernwärmeversorgung des Gebietes Cité Dagobert und Cité Montclar, das sich nördlich vom Fernwärmeversorgungsgebiet Eutzinger Straße befindet, erfolgt durch einen anderen Betreiber. Es ist vorgesehen, das vorhandene Fernwärmeversorgungsgebiet Cité Dagobert durch die Universitäts-Außenstelle zu erweitern.

Anzahl Wohneinheiten	60 (174 Cité Dagobert und Cité Montclar)
Fläche	ca. 4 ha (Cité Dagobert und Cité Montclar)

Der Betreiber des Fernwärmeversorgungsgebietes Cité Dagobert schätzt unter Einbeziehung der Universitäts-Außenstelle in der Bürgerstraße, die nordöstlich an die Cité Dagobert grenzt, einen Jahreswärmeverbrauch von rund 2.300 MWh_{th}/a ab.

¹ Ministerium der Finanzen des Landes Rheinland-Pfalz: Bauen und Wohnen, Konversion im Wohnungsbau, 1999

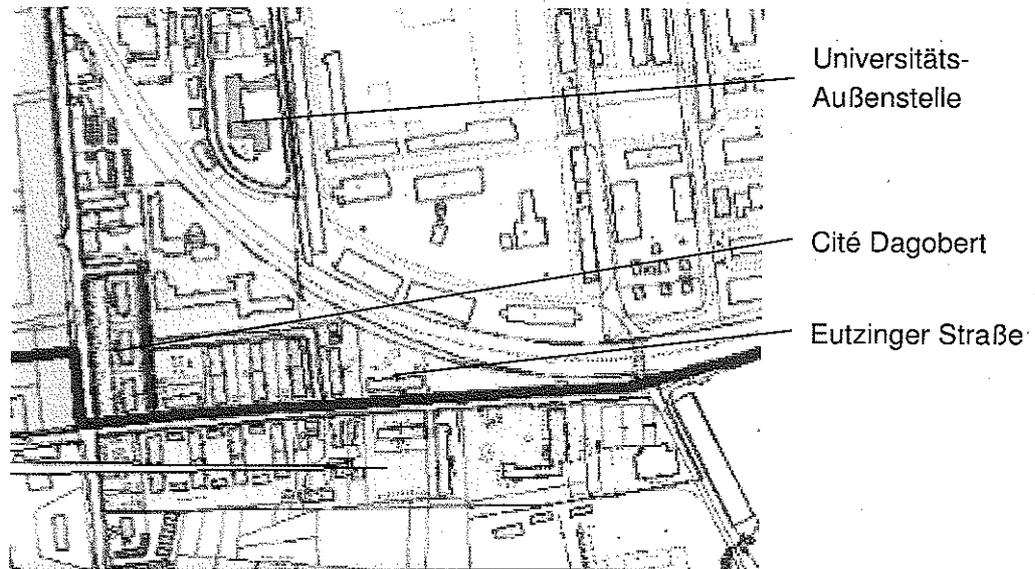


Abbildung 2-6 Fernwärmeversorgungsgebiet Cité Dagobert und Eutzinger Straße

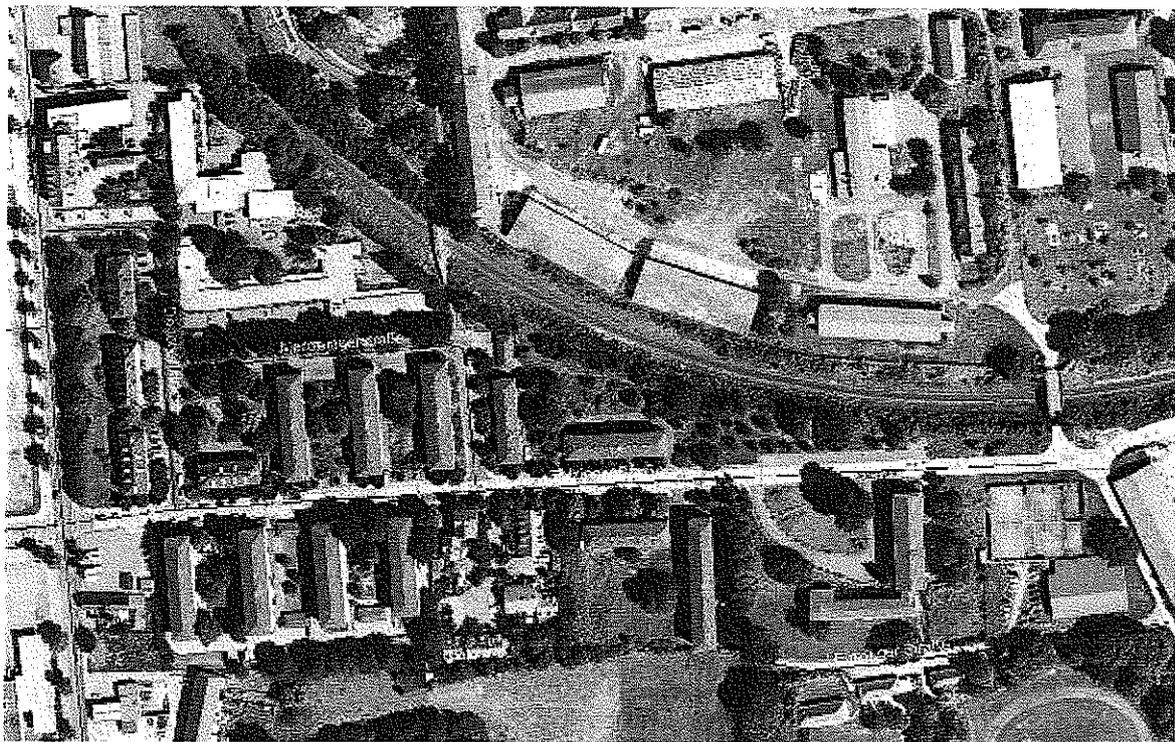


Abbildung 2-7 Luftbild Fernwärmeversorgungsgebiet Eutzinger Straße, Cité Dagobert und Cité Montclar und Universitäts-Außenstelle
(Quelle: Landesamt für Vermessung und Geobasisinformation)

Die Wärmeversorgung der bestehenden Gebäude im Gebiet Cité Dagobert und Cité Montclair erfolgt über Fernwärme. Zur Heizzentrale liegen keine Daten vor.

Die Kenndaten zu den Vor- und Rücklauftemperaturen im Fernwärmenetz sind in der Tabelle aufgeführt.

Primärseite (Fernwärme)	
Vorlauftemperatur Winter	ca. max. 85 °C
Vorlauftemperatur Sommer	ca. max. 70 °C
Rücklauftemperatur	ca. max. 50 °C

Tabelle 2-3 Vor- und Rücklauftemperatur Fernwärmeversorgung Cité Dagobert

Für die Untersuchung zur Geowärmeversorgung werden die Eutzinger Straße, die Cité Dagobert und die Universitäts-Außenstelle als eine Einheit betrachtet. Dazu werden folgende Annahmen zum Jahreswärmebedarf und der Wärmeleistung getroffen.

Wärmeleistung inkl. Wärmenetzverluste	2.100 kW _{th}
Jahreswärmebedarf inkl. Wärmenetzverluste	3.300 MWh _{th} /a

Tabelle 2-4 Abschätzung Jahreswärmebedarf und Wärmeleistung

2.4 Universitäts-Außenstelle Bürgerstraße – Campus Landau – Universität Koblenz-Landau

Eine Außenstelle des Campus Landau der Universität Koblenz-Landau befindet sich in der Bürgerstraße. Damit grenzt sie nordöstlich an das Fernwärmeversorgungsgebiet Cité Dagobert.

Universitäts-Außenstelle
Campus Landau
Universität Koblenz-

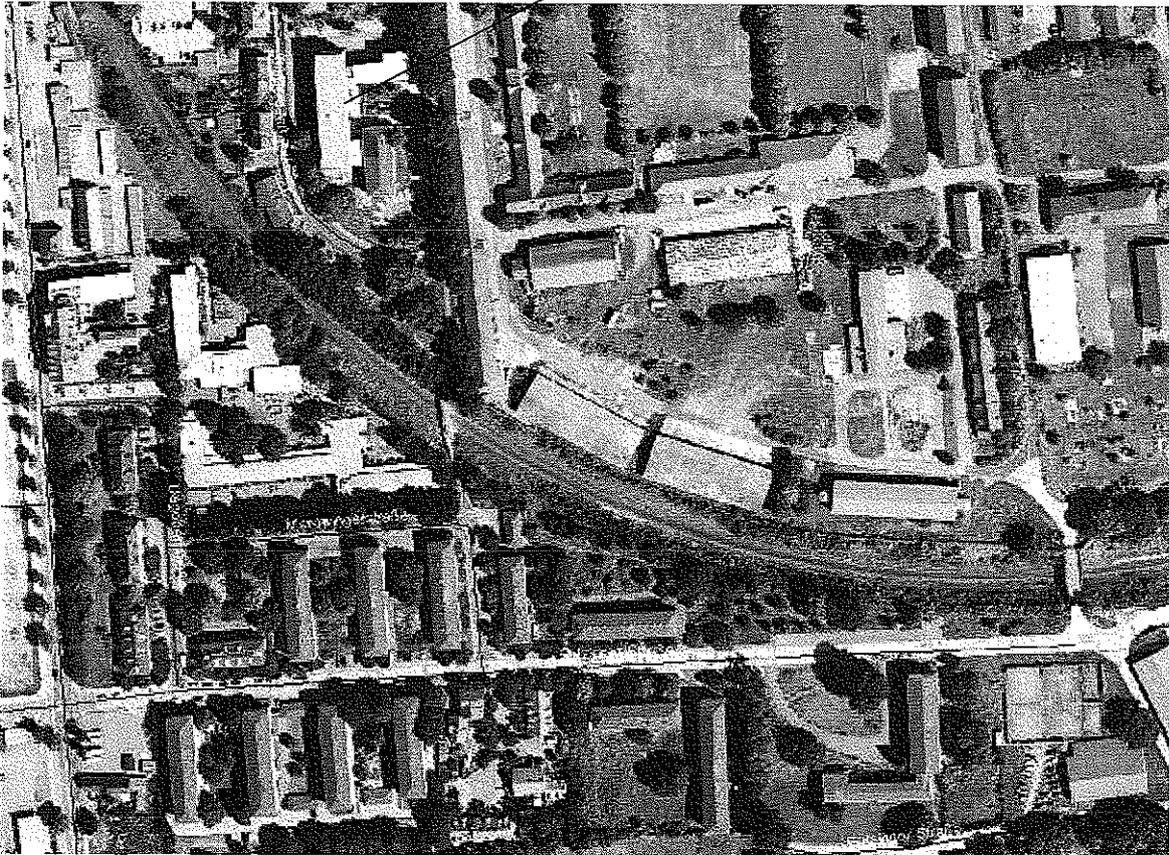


Abbildung 2-8 Luftbild Außenstelle der Universität Landau
(Quelle: Landesamt für Vermessung und Geobasisinformation)

Die Wärmeversorgung des Gebäudekomplexes erfolgt über eine Kesselanlage mit 300 kW_{th} Nennwärmeleistung.

Zur Fernwärmeversorgung wurde die Universitäts-Außenstelle schon zum abgeschätzten Wärmebedarf im Konversionsgebiet Cité Dagobert einbezogen.

2.5 Vinzentius-Krankenhaus Landau

Das Vinzentius-Krankenhaus befindet sich ebenfalls wie die Universitäts-Außenstelle nördlich vom Fernwärmeversorgungsgebiet Eutzinger Straße und liegt außerdem östlich vom Fernwärmeversorgungsgebiet Quartier Vauban. Mit 399 Betten handelt es sich um ein Krankenhaus zur Regelversorgung.

Vinzentius-Krankenhaus Landau



Abbildung 2-9 Luftbild Vinzentius-Krankenhaus Landau
(Quelle: Landesamt für Vermessung und Geobasisinformation)

Zur Wärmeversorgung des Vinzentius-Krankenhauses Landau des zugehörigen Personalwohnheims sind Heizkessel mit insgesamt $5.954 \text{ kW}_{\text{th}}$ installiert. Es wurde ein Jahreswärmebedarf von etwa $8.500 \text{ MWh}_{\text{th}}/\text{a}$ angegeben. Das Heizsystem ist mit 90°C Vorlauftemperatur ausgelegt. Bedingt durch die Anlage und die Hydraulik liegt die Rücklauftemperatur in der Regel über 70°C .

- A: Hauptgebäude
- B: Bettenhaus Süd
- C: Kinderklinik
- D: Personalwohnheim mit Seminarzentrum St. Elisabeth
- E: Ärzethaus

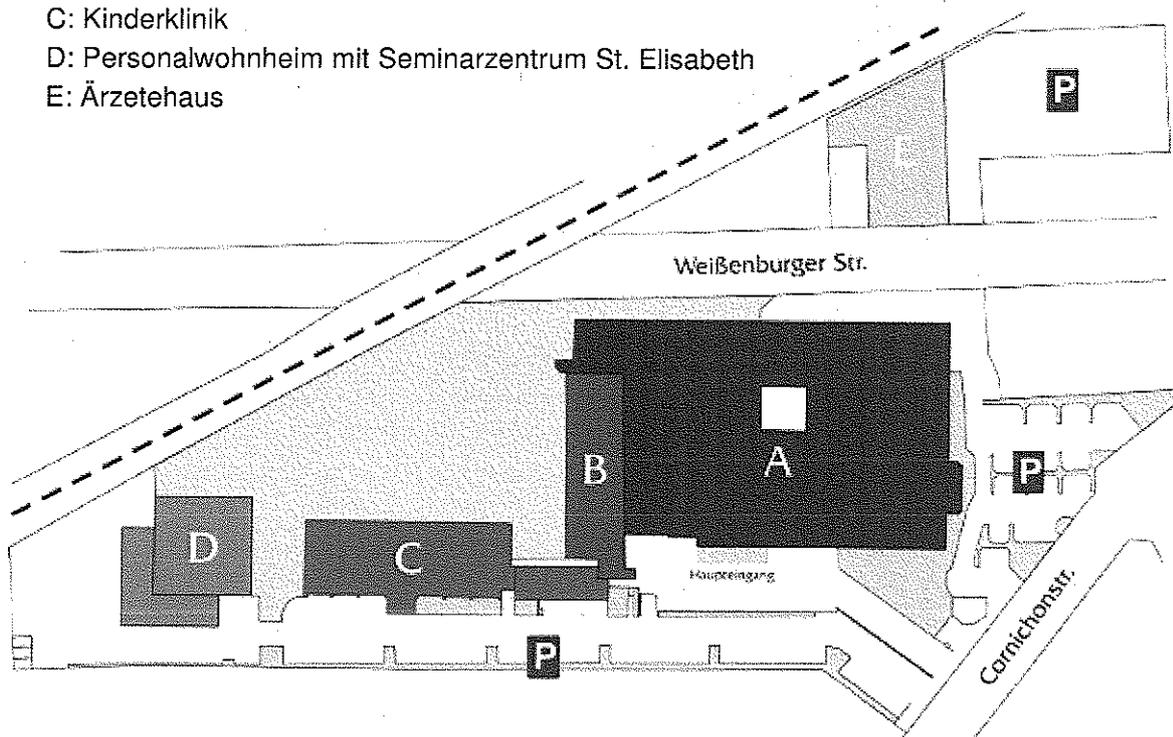


Abbildung 2-10 Gebäudeplan Vinzentius-Krankenhaus Landau

Aufgrund dessen wäre es, bevor die Anbindung an ein Fernwärmenetz erfolgt, notwendig, das Heizsystem so um zu bauen und zu optimieren, dass auch Geowärme mit einer maximalen Vorlauftemperatur von 70°C genutzt werden kann.

Da das Krankenhaus seinen Energiebedarf wesentlich reduzieren möchte und im Zuge dessen einen Teil des Jahreswärmebedarfs mit Geowärme decken möchte, können die technischen Voraussetzungen entsprechend angepasst werden. Als Ziel wird angestrebt, dass die Geowärme mit einer Wärmeleistung von $2.000 \text{ kW}_{\text{th}}$ etwa $2.000 \text{ MWh}_{\text{th}}/\text{a}$ bereitstellen kann. In den weiteren Berechnungen wird eine Rücklauftemperatur des Heizsystems im Vinzentius-Krankenhaus von 50°C angenommen.

2.6 Estienne et Foch

Die Kasernenanlage Estienne et Foch wurde 1999 freigegeben. Es gehört zu dem Konversionsgebiet Landau Süd, zu dem noch das ehemalige Güterbahnhofgelände östlich von der Kaserne Estienne et Foch und das ehemalige Kohlelager, das früher mit Panzerhallen bebaut war und heute der Standort der geothermischen Bohrungen ist, zählen. Das Kasernengelände befindet sich noch im Eigentum des Bundes.

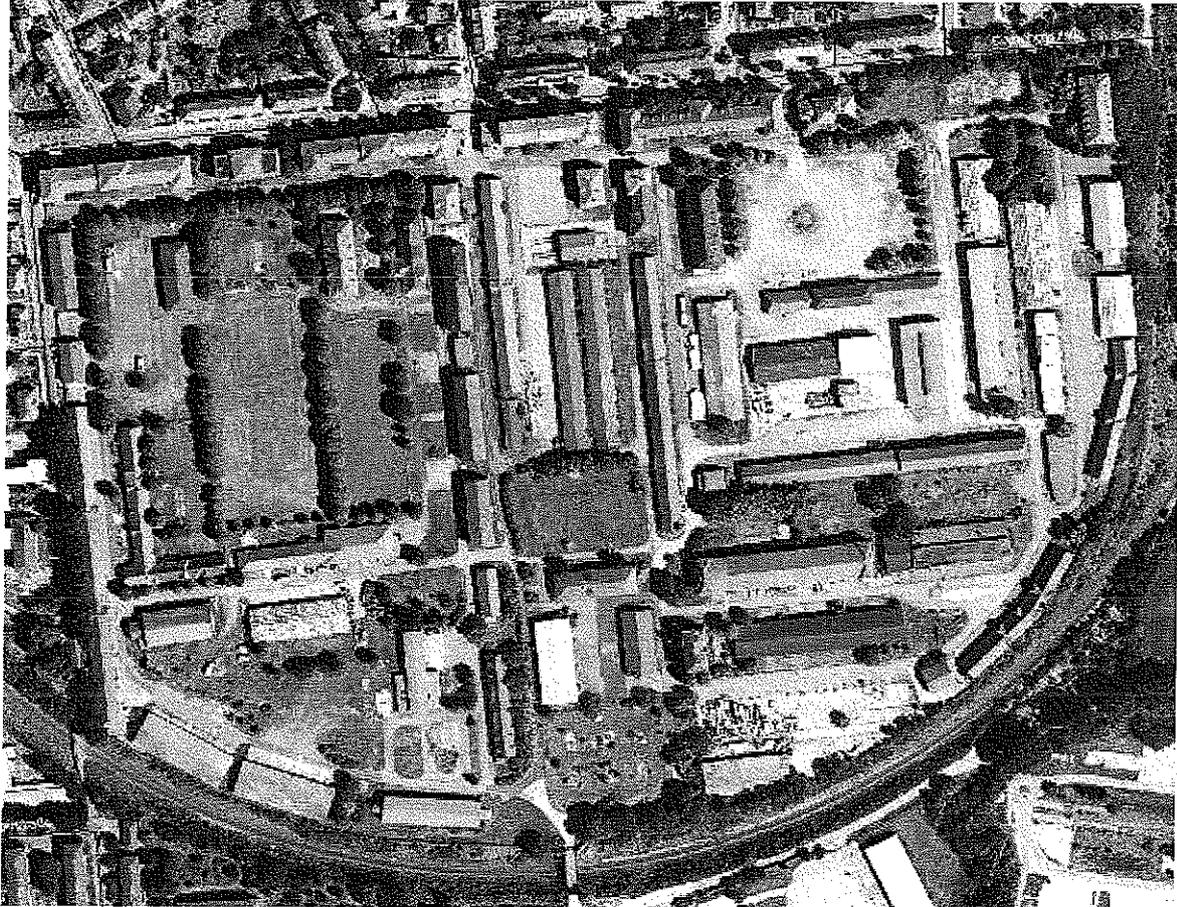


Abbildung 2-11 Luftbild Estienne et Foch
(Quelle: Landesamt für Vermessung und Geobasisinformation)

Die Stadt Landau plant nach dem Kauf des Geländes ein Wohn- und Mischgebiet. Mit 24 ha ist dieses Gebiet deutlich größer als das Quartier Vauban. Deswegen wurde eine Rahmenplanung erstellt, die mehrere Nutzungen zulässt. Neben Wohnflächen ist die Ansiedlung von Dienstleistungen, nicht störendem Gewerbe, Bildungseinrichtungen sowie öffentlicher Grün- und Freiflächen denkbar. Am nördlichen Rand des Geländes ist noch eine bis zu ca. 14 m hohe Bebauung aus ehemaligen Mannschafts- und Offiziersgebäuden vorhanden, die zum großen Teil unter Denkmalschutz stehen. Um den Bezug zur Geschichte des Ortes zu erhalten, sollen wichtige und schützenswerte Bausubstanz in die Stadtentwicklung des Gebietes einbezogen werden. Neben den bestehenden Gebäuden ist eine gelockerte Blockrandbebauung mit gartenbezogenen Wohnformen vorgesehen. Dazu sollen Mehrfamilienhäuser und Stadthäuser als Einfamilienhäuser errichtet werden, sodass etwa 1.500 Wohneinheiten

entstehen. Zwischen der derzeitigen Südstadt und dem ehemaligen Kasernengelände werden entlang der Cornichonstraße eine stadtteilbezogene Infrastruktur, Institutionen und verdichtete Wohnformen ausgebildet. Außerdem ist ein großer zentraler Park auf dem Konversionsgebiet ausgewiesen.

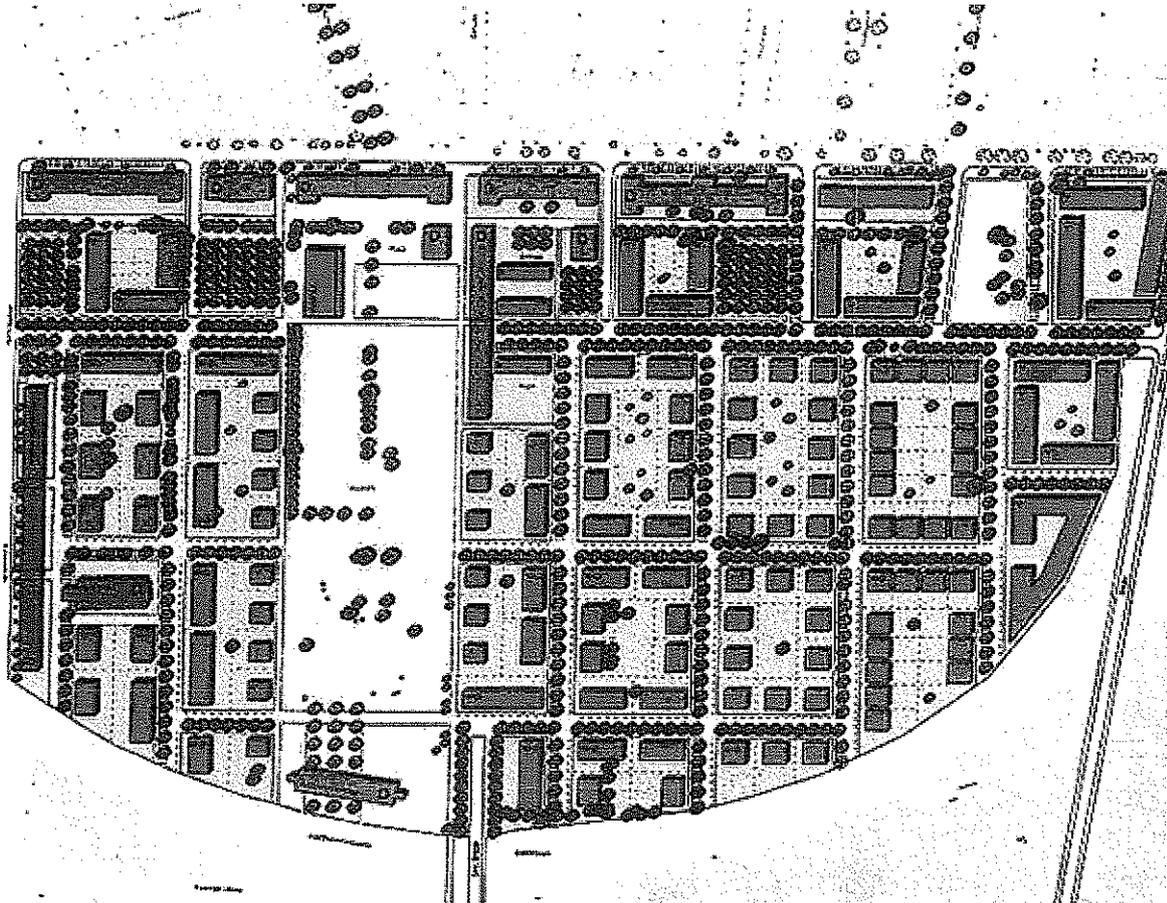


Abbildung 2-12 städtebaulicher Gestaltungsplan Estienne et Foch (Quelle: Stadt Landau)

Anzahl Wohneinheiten ca. 1.500
 Konversionsfläche 24 ha

Der Wärmebedarf für Estienne et Foch wird anhand der vorgesehenen Anzahl an Wohneinheiten und Erfahrungswerten bezüglich des Jahreswärmebedarfs und der Wärmeleistung unter Berücksichtigung von zusätzlichen Gewerbebetrieben abgeschätzt.

Anzahl Wohneinheiten	1.500
Wärmeleistung inkl. Wärmenetzverluste	1.500 kW _{th}
Jahreswärmebedarf inkl. Wärmenetzverluste	2.400 MWh _{th} /a

Tabelle 2-5 Abschätzung Jahreswärmebedarf und Wärmeleistung

Zur Wärmeversorgung des Gebietes soll Geowärme genutzt werden. Allerdings wäre es nicht der einzige Wärmeabnehmer für Geowärme. Deswegen besteht die Überlegung, das Wohn- und Mischgebiet Estienne et Foch als letztes Glied in einer Reihenschaltung der Gebiete mit Wärme zu versorgen. Abhängig vom Temperaturniveau des Rücklaufs aus den ersten beiden Netzen ist ein entsprechendes Heizsystem in den Neubauten vorzusehen. Es ist davon auszugehen, dass die Heizsysteme auf Niedertemperaturwärme auszulegen sind. Außerdem ist die Trinkwassererwärmung hinsichtlich des Temperaturniveaus zu berücksichtigen.

In den weiteren Berechnungen wird davon ausgegangen, dass das Nahwärmenetz eine Vorlauftemperatur von maximal 65 °C und eine Rücklauftemperatur von 35 °C aufweist. Wegen der Trinkwassererwärmung sollte die Vorlauftemperatur des Nahwärmenetzes ganzjährig mindestens 60 °C betragen.

Aus hygienischen Gründen ist das Legionellenwachstum im Trinkwasser durch technische Maßnahmen zu vermindern. Nach dem Arbeitsblatt DVGW-W551¹ vom April 2004 werden folgende Maßnahmen genannt:

- Thermische Desinfektion (Trinkwassertemperatur)
- Chemische Desinfektion (z. B. Chlor, Chlordioxid)
- UV-Bestrahlung (254 nm Wellenlänge)
- Mechanische Verfahren (z. B. Mikrofiltration)
- Sonstige Verfahren (z. B. Chlordioxid-Elektrolyse, anodische Oxidation, Ag/Cu-Ionisierung)

¹ Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e. V. Technisch-wissenschaftlicher Verein: Arbeitsblatt DVGW-W551 vom April 2004: Trinkwassererwärmungs- und Trinkwasserleitungsanlagen; Technische Maßnahmen zur Verminderung des Legionellenwachstums; Planung, Errichtung, Betrieb und Sanierung von Trinkwasser-Installationen

3 Mögliche Deckung des Jahreswärmebedarf in den Fernwärmenetzen durch Geothermie

Die vorhandene Fernwärmeversorgung einiger Wohngebiete in Landau bietet sich aufgrund der geringen Entfernung zur geothermischen Bohrung als Wärmesenke für die Restwärme des Thermalwassers vor der Reinjektion ins Erdreich an. Für weitere, benachbarte Gebiete bietet sich eine Erweiterung des Fernwärmenetzes an.

Die Wärmeleistung der Restwärme des Thermalwassers vor der Reinjektion ins Erdreich wird mit einer Temperaturpreizung von etwa 20 K (70°C auf 50°C) angenommen. Die Vorlauf-temperatur des Thermalwassers nach dem Kraftwerksprozess schwankt bedingt durch die Kühlung abhängig vom Jahresgang der Außenlufttemperatur. Nach überschlägigen Berechnungen liegt die mittlere Thermalwasservorlauftemperatur zwischen etwa 72°C und 76°C.

	Wärmeleistung	Jahreswärmemenge
Quartier Vauban (95/50°C)	1,9 MW _{th}	3.000 MWh _{th} /a
Eutzinger Straße, Cité Dagobert und Universitäts-Außenstelle (85/50°C)	2,1 MW _{th}	3.300 MWh _{th} /a
Vinzentius-Krankenhaus Landau	2 MW _{th}	2.000 MWh _{th} /a
Estienne et Foch (65/45°C)	1,5 MW _{th}	2.400 MWh _{th} /a
Summe	7,5 MW _{th}	10.700 MWh _{th} /a
Geothermiekraftwerk (70/50°C)	5,6 MW _{th}	49.000 MWh _{th} /a

Tabelle 3-1 Wärmebilanz

Die thermische Arbeit des Geothermiekraftwerks bezieht sich nur auf die Restwärme des Thermalwassers nach dem Kraftwerksprozesses und vor der Reinjektion ins Erdreich mit einer Temperaturabsenkung von 70°C auf 50°C. Zur vollständigen Wärmeversorgung der oben genannten Wärmeabnehmer über ein Fernwärmenetz wäre die Wärmeleistung der 4,4 MW_{el}-Geothermieanlage aufgrund des geforderten Temperaturniveaus in den bestehenden Fernwärmenetzen nicht ausreichend. Allerdings kann die Geowärme zur Grundlastabdeckung eingesetzt werden, während die teilweise vorhandenen Heizzentralen mit konventioneller Technik zur Spitzenlastabdeckung verwendet werden können. Für das noch zu bebauende Gebiet ist ebenfalls eine Heizzentrale zur Abdeckung der vorzusehen. Eine zusätzliche Wärmeerzeugung wird jedoch ohnehin zur Gewährleistung der Versorgungssicherheit notwendig sein.

Im Folgenden werden für das Quartier Vauban, die Eutzinger Straße, Cité Dagobert mit Universitäts-Außenstelle, Vinzentius-Krankenhaus und Estienne et Foch Möglichkeiten zur Wärmeversorgung der Gebäude auf Basis von Geowärme entwickelt. Dazu wird das Temperaturniveau des Vor- und Rücklaufs berücksichtigt. Abhängig von den nutzbaren Wärmemengen in den jeweiligen Gebieten wird die Geowärmemenge aufgeteilt.

Die Thermalwasservorlauftemperatur zur Wärmeauskopplung schwankt im Jahresgang. Dies beruht darauf, dass die Kühlung des Kraftwerksprozess vom Jahresgang der Außenlufttemperatur abhängig ist. Zur groben Abschätzung wird in einer überschlägigen Berechnung zum Kraftwerksprozess für die mittlere Außenlufttemperatur in den einzelnen Monaten eine entsprechende Thermalwasservorlauftemperatur bestimmt. Bezogen auf eine Temperaturabsenkung des Thermalwassers auf 50°C ergibt sich für die Monate diese zur Verfügung stehende mittlere Wärmeleistung.

Monat	Thermalwasservorlauftemperatur in °C	Wärmeleistung in kW _{th}
Januar	72	6.209
Februar	72	6.209
März	72	6.209
April	72	6.209
Mai	74	6.773
Juni	76	7.338
Juli	76	7.338
August	76	7.338
September	74	6.773
Oktober	72	6.209
November	72	6.209
Dezember	72	6.209

Tabelle 3-2 Abschätzung mittlere Thermalwasservorlauftemperatur und Wärmeleistung

Es ist zu berücksichtigen, dass nur die Monatsmittelwerte der Außenlufttemperatur in der Berechnung angesetzt sind. Bei einer hohen Außenlufttemperatur kann die Thermalwassertemperatur nach dem Kraftwerksprozess etwa 80°C betragen.

Es wird davon ausgegangen, dass die drei Fernwärmeversorgungsgebiete in einer Parallelschaltung an die Geowärmeversorgung angeschlossen werden.

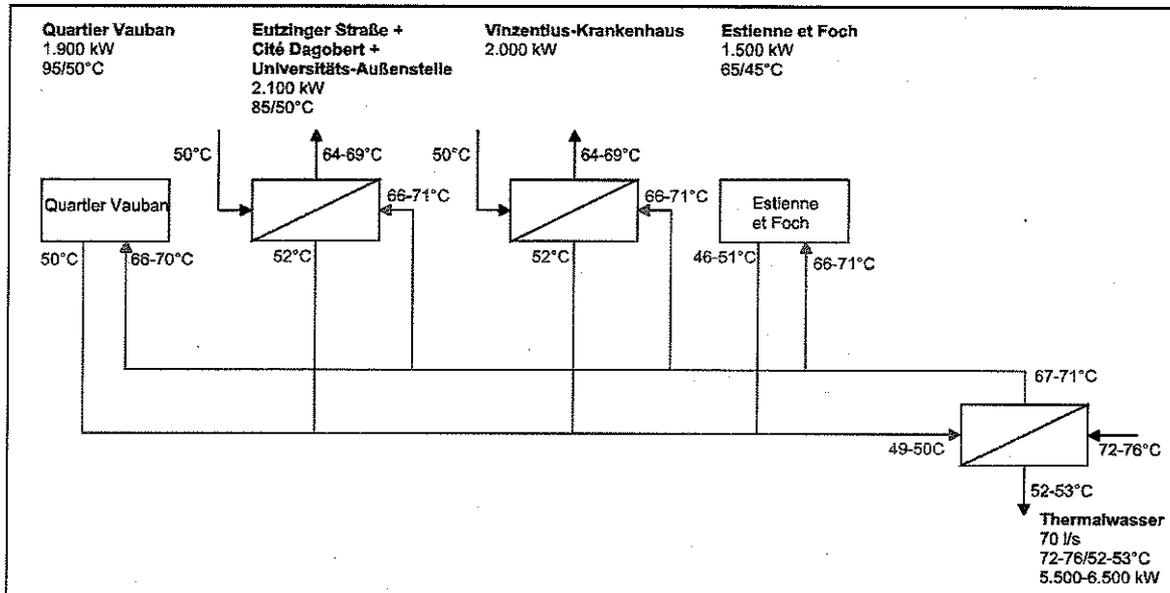


Abbildung 3-1 Schematische Darstellung Geowärmeversorgung der Fernwärmenetze

Mit dieser Anbindung wird die Temperatur des Thermalwassers im Mittel von etwa 74°C auf ca. 52°C abgesenkt, damit würden rund 5,5 bis 6,5 MW_{th} als Wärmeleistung zur Fernwärmeversorgung zur Verfügung stehen. Die Geowärme kann die erforderliche Wärmeleistung im Gebiet Estienne et Foch vollständig decken. Damit wäre dort nur aus Gründen der Versorgungssicherheit eine konventionelle Heizanlage in der Heizzentrale notwendig. Mit der Wärmeleistung erreicht die Geowärme einen Deckungsgrad von etwa 73 %.

Unter der Annahme, dass das Thermalwasser mit einer Temperaturabsenkung auf ca. 50°C noch nutzbare Wärme zur Verfügung stellen und dann als Reinjektionstemperatur ins Erdreich verpresst werden kann, bietet es bezogen auf eine Temperaturpreizung von ca. 74°C auf 50°C ungefähr 6,8 MW_{th} als Wärmeleistung. Mit der Grundlastversorgung der Fernwärmenetze werden so ca. 80 % der nutzbaren Wärmeleistung genutzt.

In der folgenden Bilanz wird der monatliche Wärmebedarf in den einzelnen Fernwärmenetzen der Wärmeversorgung durch Geowärme und durch Spitzenlastkessel dargestellt.

Die Aufteilung des abgeschätzten Jahreswärmebedarfs für die bestehenden Fernwärmeversorgungsgebiete (Quartier Vauban und Eutzinger Straße, Cité Dagobert, Universitäts-Außenstelle) erfolgt anhand einer prozentualen Aufteilung zum Jahreswärmeverbrauch nach dem monatlichen Brennstoffverbrauch¹. Für das Neubaugebiet Estienne et Foch wird eine prozentuale Aufteilung des Jahreswärmeverbrauchs von Mehrfamilienhäusern im Niedrig-

¹ Recknagel: Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik 97/98, Oldenbourg Industrieverlag, München 1997

energiehaus-Standard (NEH)¹ zu Grunde gelegt, denn dieser Standard entspricht den Mindestforderungen nach der Energieeinsparverordnung. Typisch für den Niedrigenergiehaus-Standard ist, dass im Gegensatz zu Altbauten der Jahreswärmebedarf zur Warmwasserbereitung einen größeren Anteil am Gesamtjahreswärmebedarf einnimmt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass der Anteil des Jahreswärmebedarfs zur Raumheizung wegen eines besseren Wärmedämmstandards sinkt. Während für Altbauten der Anteil zur Warmwasserbereitung rund 10 bis 15 % beträgt, liegt der Anteil für Neubauten zwischen 20 und bis zu 45 %. Da keine Angaben zum zukünftig reduzierten Jahreswärmebedarf des Krankenhauses vorliegen, wird in der Aufstellung das Krankenhaus nicht berücksichtigt.

	Wärmebedarf Fernwärmenetze MWh _{th} /a	Wärmelieferung Geowärme MWh _{th} /a	Wärmelieferung Heizkessel MWh _{th} /a
Januar	1.431	774	657
Februar	1.209	649	560
März	1.083	650	433
April	696	473	223
Mai	372	315	57
Juni	191	187	4
Juli	167	163	4
August	135	133	2
September	309	266	43
Oktober	648	425	223
November	1.044	644	400
Dezember	1.416	819	597
Jahr	8.700	5.497	3.203

Tabelle 3-3 Wärmeversorgung Fernwärmenetze

Die Geowärme kann etwa 63 % des Jahreswärmebedarfs in den Fernwärmenetzen der Wohngebiete abdecken. Die übrigen 37 % würden als Spitzenlast von den Heizkesseln in den Heizzentralen bereitgestellt.

¹ Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel, Institut für Heizungs- und Klimatechnik: Analyse des Energieverbrauchs von Mehrfamilienhäusern am Kronsberg in Hannover anhand monatlicher Messdaten, 2005, Wolfenbüttel

Für die einzelnen Fernwärmeversorgungsgebiete stellt sich die Geowärmeversorgung wie folgt dar.

Quartier Vauban	Wärmebedarf Fernwärmenetz MWh _{th} /a	Wärmelieferung Geowärme MWh _{th} /a	Wärmelieferung Heizkessel MWh _{th} /a
Januar	450	181	329
Februar	330	180	270
März	330	178	212
April	240	128	112
Mai	150	86	34
Juni	120	45	0
Juli	90	45	0
August	90	30	0
September	150	65	25
Oktober	180	128	112
November	360	165	195
Dezember	510	192	288
Jahr	3.000	1.423	1.577

Tabelle 3-4 Wärmeversorgung Quartier Vauban

Die Geowärme kann etwa 47 % des Jahreswärmebedarfs im Fernwärmenetz Quartier Vauban abdecken. Die übrigen 53 % würden als Spitzenlast von der Heizanlage in der Heizzentrale bereitgestellt.

Das Diagramm veranschaulicht die monatliche Aufteilung der Wärmebedarfsdeckung.

Anteil Geowärme am Jahreswärmebedarf des Fernwärmenetzes Quartier Vauban

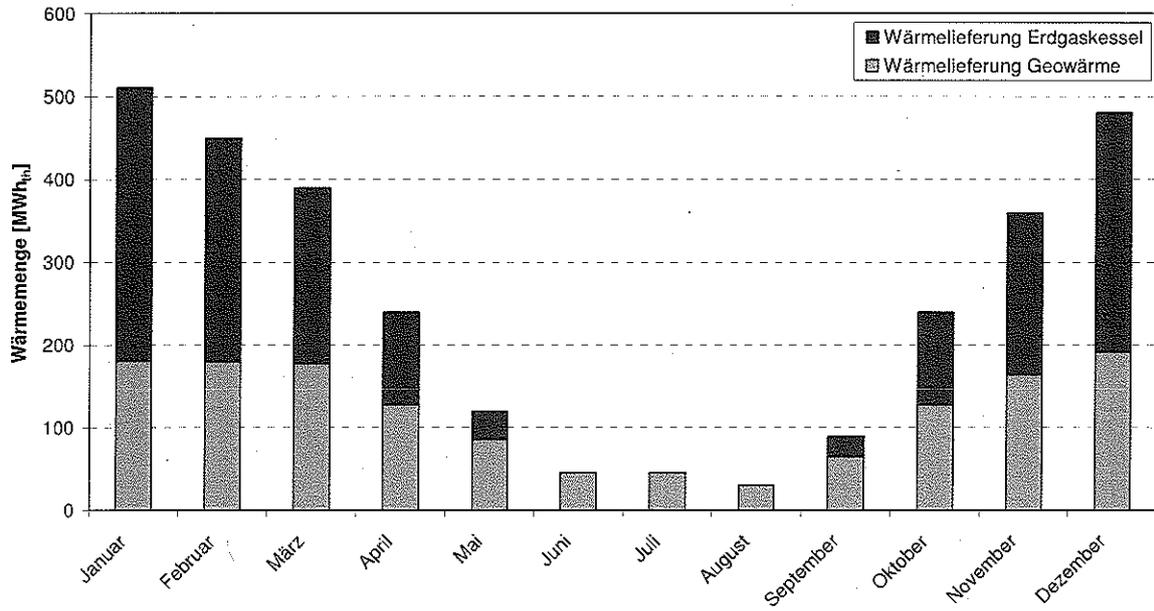


Abbildung 3-2 Anteil Geowärme am Jahreswärmebedarf Quartier Vauban

Eutzinger Straße, Cité Dagobert, Universitäts- Außenstelle	Wärmebedarf Fernwärmenetz MWh _{th} /a	Wärmelieferung Geowärme MWh _{th} /a	Wärmelieferung Heizkessel MWh _{th} /a
Januar	495	232	329
Februar	363	205	290
März	363	207	222
April	264	153	111
Mai	165	109	23
Juni	132	46	4
Juli	99	46	4
August	99	31	2
September	165	82	17
Oktober	198	153	111
November	396	191	205
Dezember	561	219	309
Jahr	3.300	1.674	1.626

Tabelle 3-5 Wärmeversorgung Eutzinger Straße, Cité Dagobert und Universitäts-Außenstelle

Die Geowärme kann etwa 51 % des Jahreswärmebedarfs im Fernwärmenetz Eutzinger Straße, Cité Dagobert und Universitäts-Außenstelle abdecken. Die übrigen 59 % würden als Spitzenlast von der Heizanlage in der Heizzentrale bereitgestellt.

Das Diagramm veranschaulicht die monatliche Aufteilung der Wärmebedarfsdeckung.

Anteil Geowärme am Jahreswärmebedarf des Fernwärmenetzes Eutzinger Straße, Cité Dagobert und Universitäts-Außenstelle

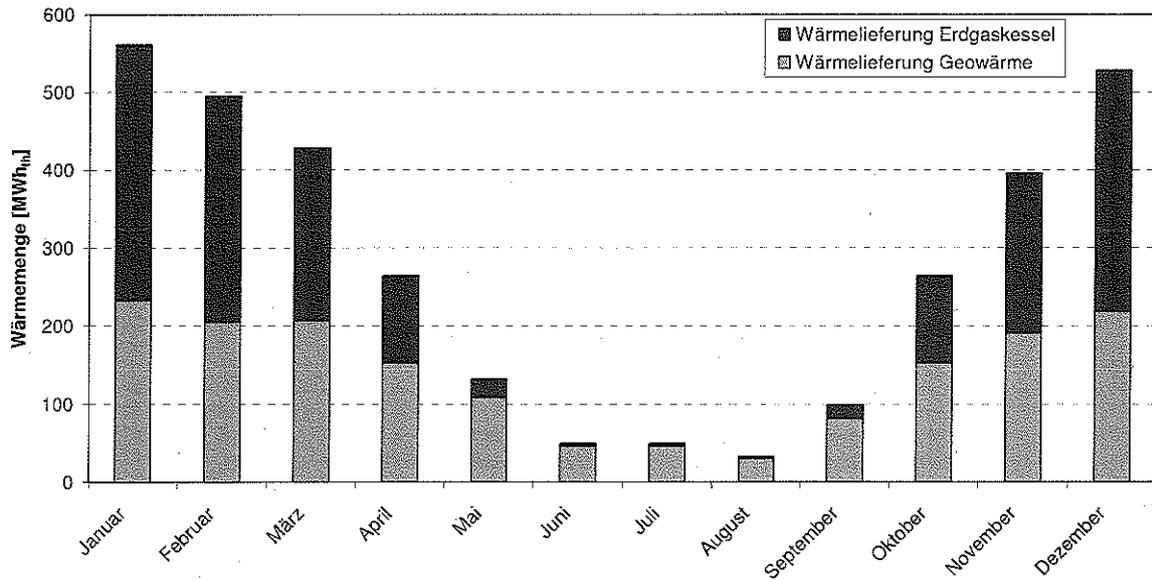


Abbildung 3-3 Anteil Geowärme am Jahreswärmebedarf Eutzinger Straße, Cité Dagobert und Universitäts-Außenstelle

Estienne et Foch	Wärmebedarf Fernwärmenetz MWh _{th} /a	Wärmelieferung Geowärme MWh _{th} /a	Wärmelieferung Heizkessel MWh _{th} /a
Januar	360	360	0
Februar	264	264	0
März	264	264	0
April	192	192	0
Mai	120	120	0
Juni	96	96	0
Juli	72	72	0
August	72	72	0
September	120	120	0
Oktober	144	144	0
November	288	288	0
Dezember	408	408	0
Jahr	2.400	2.400	0

Tabelle 3-6 Wärmeversorgung Estienne et Foch

Die Geowärme kann 100 % des Jahreswärmebedarfs im Fernwärmenetz Estienne et Foch abdecken. Dies trifft zu, wenn die Geowärme ganzjährig zur Verfügung steht. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass jährlich Wartungsarbeiten an den Wärmetauschern durchzuführen sind, sodass während der Wartungsarbeiten keine Geowärme zur Verfügung steht. Deswegen sowie aus Gründen der Versorgungssicherheit ist eine konventionelle Heizanlage in der Heizzentrale von Estienne et Foch vorzusehen.

Das Diagramm veranschaulicht die monatliche Aufteilung der Wärmebedarfsdeckung.

Anteil Geowärme am Jahreswärmebedarf des Fernwärmenetzes Estienne et Foch

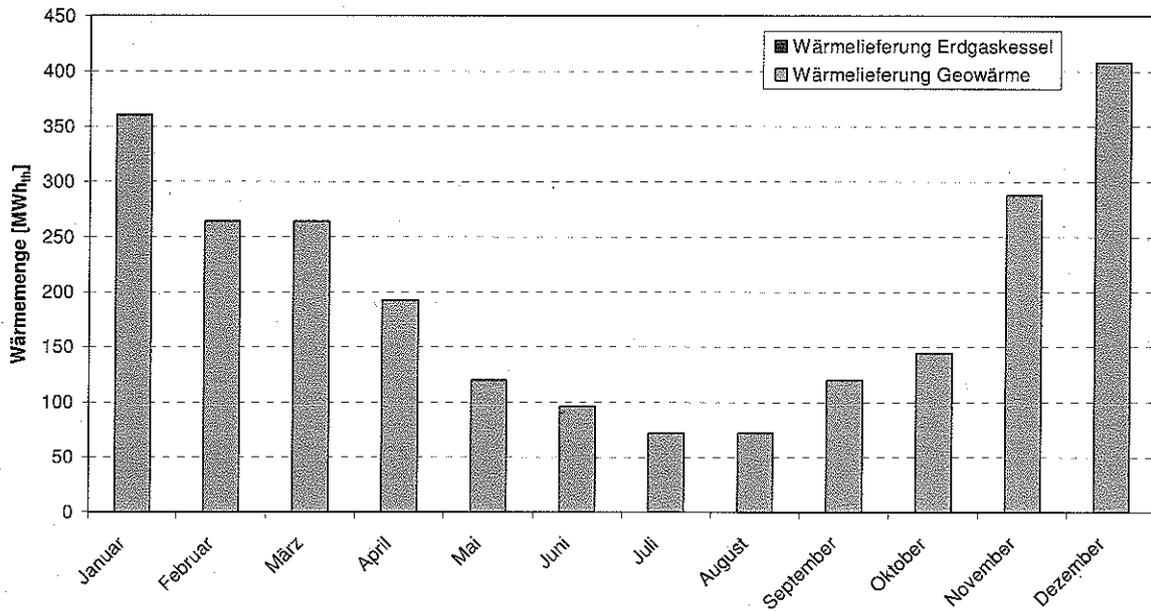


Abbildung 3-4 Anteil Geowärme am Jahreswärmebedarf Estienne et Foch

Zum Krankenhaus ist eine solche Aufstellung nicht möglich, da nur die Daten zum möglichen Geowärmebezug genannt wurden. Es ist vorgesehen, dass die Trinkwassererwärmung weiterhin über die Kesselanlage erfolgt.

Um aus der Sicht des Betreibers die Wärmelieferung an die Fernwärmenetze und an das Vinzentius-Krankenhaus bewerten zu können, wird eine Bilanz zum Thermalwasser erstellt. In der Wärmelieferung sind auch die Netzverluste einkalkuliert. Stillstandszeiten durch Revision oder Betriebsprobleme sind nicht berücksichtigt.

	Wärme Thermalwasser 72-76/50°C MWh _{th} /a	Wärmelieferung Thermalwasser 72-76/52-53°C MWh _{th} /a	Restwärme Thermalwasser 72-76/50°C MWh _{th} /a
Januar	4.619	1.241	3.378
Februar	4.172	1.061	3.112
März	4.619	930	3.689
April	4.470	671	3.799
Mai	5.039	451	4.588
Juni	5.283	202	5.082
Juli	5.459	176	5.284
August	5.459	143	5.316
September	4.877	442	4.435
Oktober	4.619	662	3.957
November	4.470	946	3.525
Dezember	4.619	1.268	3.351
Jahr	57.710	8.193	49.517

Tabelle 3-7 Monatsbilanz Thermalwasser

Von der zur Verfügung stehenden Geowärme kann rund 14 % zur Wärmelieferung an die Fernwärmenetze genutzt werden. Etwa 86 % beträgt die Restwärme aufgrund des Jahreslastgangs in der Fernwärmeversorgung.

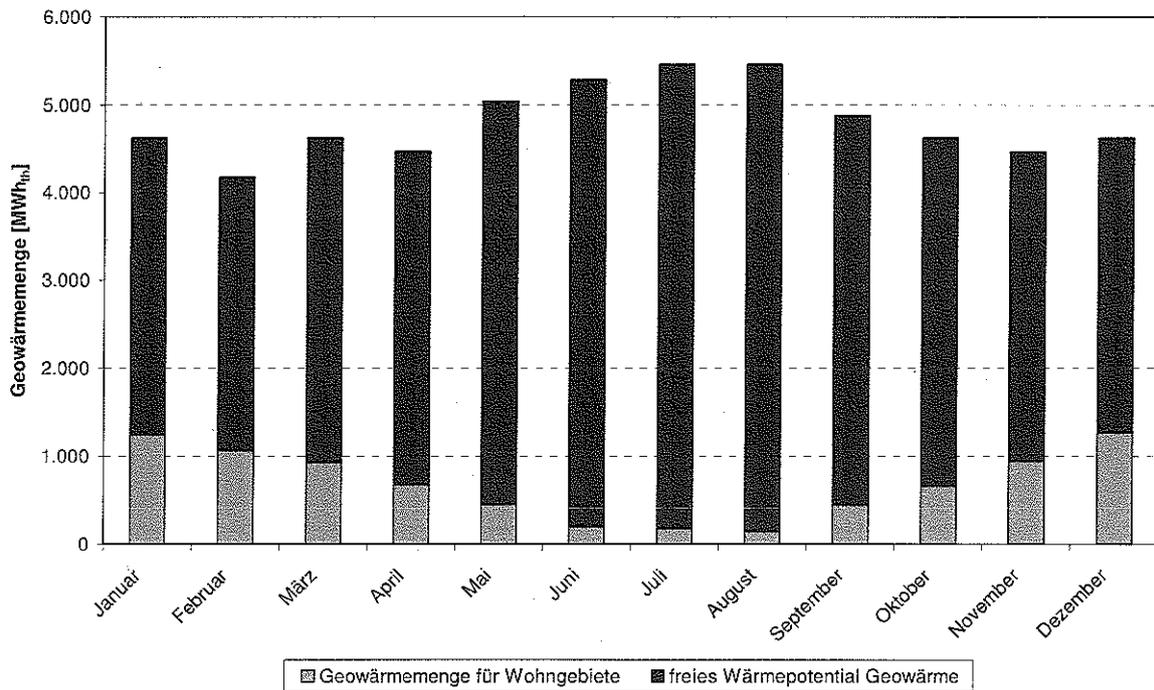


Abbildung 3-5 freies Wärmepotential

In der Jahresbetrachtung stehen rund 86 % der Geowärmemenge als freies Wärmepotential abzüglich der Wärmeversorgung der Wohngebiete und des Krankenhauses bereit. Wegen dieser Größenordnung ist die Wahl bzw. Umsetzung des Heizsystems im Hinblick auf die Vor- und Rücklauftemperatur zu überprüfen. Dies trifft auf die beiden bestehenden Wärmenetze Quartier Vauban mit 95°C als maximale Vorlauftemperatur und Eutzinger Straße, Cité Dagobert und Universitäts-Außenstelle mit 85°C als maximale Vorlauftemperatur und das Vinzentius-Krankenhaus zu.

4 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Geowärmeversorgung in den Fernwärmenetzen

Um bewerten zu können, ob eine Geowärmeversorgung der vorhandenen Fernwärmenetze und des geplanten Fernwärmenetzes aus wirtschaftlicher Sicht umsetzbar ist, wird ein anlegbarer Erdgaspreis für jedes einzelne Fernwärmeversorgungsgebiet bestimmt.

4.1 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung Geowärmeversorgung Quartier Vauban

Die Wärmeversorgung des vorhandenen Fernwärmenetzes erfolgt derzeit über eine Heizkesselanlage. Da das Gelände noch nicht vollständig bebaut ist, ist für den Endausbau die Erweiterung der Heizzentrale notwendig.

Für das Quartier Vauban wird ein anlegbarer Erdgaspreis berechnet. Dazu werden die Jahreskosten zur Geowärmeversorgung ohne jährliche Kosten zur Geowärmelieferung den eingesparten Erdgaskosten in der Heizzentrale gegenübergestellt. Unter Annahme einer Kostengleichheit als Mindestanforderung wird dann in Bezug auf die eingesparte Erdgasmenge ein anlegbarer Erdgaspreis bestimmt.

Zunächst werden in einer Energiebilanz die Geowärmelieferung und die eingesparte Erdgasmenge ermittelt. Als Jahresnutzungsgrad der Heizzentrale werden 95 % angenommen.

		Quartier Vauban
Wärmeleistung	kW_{th}	1.900
Jahreswärmebedarf	$\text{MWh}_{\text{th}}/\text{a}$	3.000
Geowärmelieferung	$\text{MWh}_{\text{th}}/\text{a}$	1.423
Hilfsenergiebedarf Strom	$\text{MWh}_{\text{el}}/\text{a}$	7
vermiedene Wärmelieferung Heizzentrale	$\text{MWh}_{\text{th}}/\text{a}$	1.423
vermiedener Erdgasverbrauch	$\text{MWh}_{\text{Ho}}/\text{a}$	1.648

Tabelle 4-1 Energiebilanz Geowärmelieferung Quartier Vauban

Diese Daten werden in der Wirtschaftlichkeitsberechnung zu Grunde gelegt. Die zugehörigen Rahmenbedingungen sind aus der folgenden Aufstellung zu entnehmen.

Rahmenbedingungen

Bestimmung kapitalgebundene Kosten

Zinssatz	6 %
Abschreibungsdauer Wärmeübertrager Thermalwasser	15 a
Abschreibungsdauer Wärmeübertrager Heizzentrale	20 a
Abschreibungsdauer Umwälzpumpe	10 a
Abschreibungsdauer Wärmetrasse	20 a
Abschreibungsdauer Planung, Unvorhergesehenes	15 a

Bestimmung verbrauchsgebundene Kosten

durchschnittlicher Strompreis	10 Ct/kWh _{el}
-------------------------------	-------------------------

Bestimmung betriebsgebundene Kosten

Wartung Wärmeübertrager Thermalwasser	2 % der Investition
Wartung Wärmeübertrager Heizzentrale	3 % der Investition
Wartung Umwälzpumpen	2 % der Investition

Die zur Geowärmelieferung berücksichtigten Investitionskosten sind in der Tabelle aufgeführt.

	Quartier Vauban
Wärmeübertrager	
Wärmeübertrager Thermalwasser (leistungsbezogener Anteil)	29.600 €
Wärmeübertrager Heizzentrale	10.000 €
Umwälzpumpen	
Umwälzpumpe (leistungsbezogener Anteil)	1.000 €
Wärmetrasse	
Wärmetrasse Thermalwasser und Fernwärmeleitung Heizwasser (anteilig)	724.900 €
Planung, Unvorhergesehenes	
Planung, Unvorhergesehenes	153.100 €
Gesamtinvestition	916.600 €

Tabelle 4-2 Investitionskosten Quartier Vauban

Ein anlegbarer Erdgaspreis berechnet sich wie folgt.

		Quartier Vauban
Investitionskosten	€	918.600
Kapitalkosten	€/a	83.019
Verbrauchskosten (nur Hilfsenergiekosten)	€/a	712
Betriebskosten	€/a	2.500
Jahreskosten (ohne Geowärmekosten)	€/a	86.231
vermiedener Erdgasverbrauch	MWh _{Ho} /a	1.648
anlegbarer Erdgaspreis	Ct/kWh_{Ho}	5,2

Tabelle 4-3 Berechnung anlegbarer Erdgaspreis Quartier Vauban

Mit dem ermittelten, anlegbaren Erdgaspreis in Höhe von 5,2 Ct/kWh_{Ho} würde sich eine Kostengleichheit zwischen der Geowärmelieferung und der Wärmeversorgung mit der vorhandenen Heizzentrale einstellen. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass keine Kosten für den Geowärmeverbrauch angesetzt wurden.

Falls der tatsächliche Erdgaspreis der Heizzentrale höher liegt, würde eine Kostengleichheit vorliegen, wenn der Differenzpreis zwischen dem tatsächlichen Erdgaspreis und dem anlegbaren Erdgaspreis als Geowärmepreis angenommen wird. Wenn der tatsächliche Erdgaspreis niedriger als der anlegbare Erdgaspreis ist, wäre theoretisch eine Bezahlung zur Geowärmeabnahme vom Heizzentralenbetreiber an die Wärmeabnehmer notwendig.

4.2 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung Geowärmeversorgung Eutzinger Straße, Cité Dagobert und Universitäts-Außenstelle

Das Fernwärmeversorgungsgebiet Eutzinger Straße und das Fernwärmeversorgungsgebiet Cité Dagobert werden jeweils über eine Heizzentrale mit Wärme versorgt. Beide Netze sind ausgebaut. Lediglich für Cité Dagobert ist einer Erweiterung durch die Universitäts-Außenstelle geplant.

Auch hier wird ein anlegbarer Erdgaspreis berechnet. In der Untersuchung werden allerdings die drei Wärmeabnehmer zu einem Fernwärmenetz zusammengefasst. Die Jahreskosten zur Geowärmeversorgung ohne jährliche Kosten zur Geowärmelieferung werden den eingesparten Erdgaskosten in der Heizzentrale gegenübergestellt. Unter Annahme einer Kostengleichheit als Mindestanforderung wird dann in Bezug auf die eingesparte Erdgasmenge ein anlegbarer Erdgaspreis bestimmt.

Zunächst werden in einer Energiebilanz die Geowärmelieferung und die eingesparte Erdgasmenge ermittelt. Als Jahresnutzungsgrad der Heizzentrale werden 95 % angenommen.

		Eutzinger Straße, Cité Dagobert, Universitäts-Außenstelle
Wärmeleistung	kW_{th}	2.100
Jahreswärmebedarf	$\text{MWh}_{\text{th}}/\text{a}$	3.300
Geowärmelieferung	$\text{MWh}_{\text{th}}/\text{a}$	1.674
Hilfsenergiebedarf Strom	$\text{MWh}_{\text{el}}/\text{a}$	8
vermiedene Wärmelieferung Heizzentrale	$\text{MWh}_{\text{th}}/\text{a}$	1.674
vermiedener Erdgasverbrauch	$\text{MWh}_{\text{Ho}}/\text{a}$	1.938

Tabelle 4-4 Energiebilanz Geowärmelieferung Eutzinger Straße, Cité Dagobert, Universitäts-Außenstelle

Diese Daten werden in der Wirtschaftlichkeitsberechnung zu Grunde gelegt. Die zugehörigen Rahmenbedingungen sind aus der folgenden Aufstellung zu entnehmen.

Rahmenbedingungen

Bestimmung kapitalgebundene Kosten

Zinssatz	6 %
Abschreibungsdauer Wärmeübertrager Thermalwasser	15 a
Abschreibungsdauer Wärmeübertrager Heizzentrale	20 a
Abschreibungsdauer Umwälzpumpe	10 a
Abschreibungsdauer Wärmetrasse	20 a
Abschreibungsdauer Planung, Unvorhergesehenes	15 a

Bestimmung verbrauchsgebundene Kosten

durchschnittlicher Strompreis	10 Ct/kWh _{el}
-------------------------------	-------------------------

Bestimmung betriebsgebundene Kosten

Wartung Wärmeübertrager Thermalwasser	2 % der Investition
Wartung Wärmeübertrager Heizzentrale	3 % der Investition
Wartung Umwälzpumpen	2 % der Investition

Die zur Geowärmelieferung berücksichtigten Investitionskosten sind in der Tabelle aufgeführt.

	Eutzinger Straße, Cité Dagobert, Universitäts-Außenstelle
Wärmeübertrager	
Wärmeübertrager Thermalwasser (leistungsbezogener Anteil)	37.000 €
Wärmeübertrager Heizzentrale	14.000 €
Umwälzpumpen	
Umwälzpumpe (leistungsbezogener Anteil)	1.000 €
Wärmetrasse	
Wärmetrasse Thermalwasser und Fernwärmeleitung Heizwasser (anteilig)	533.600 €
Planung, Unvorhergesehenes	
Planung, Unvorhergesehenes	117.200 €
Gesamtinvestition	702.800 €

Tabelle 4-5 Investitionskosten Eutzinger Straße, Cité Dagobert, Universitäts-Außenstelle

Ein anlegbarer Erdgaspreis berechnet sich wie folgt.

		Eutzinger Straße, Cité Dagobert, Universitäts-Außenstelle
Investitionskosten	€	702.800
Kapitalkosten	€/a	63.755
Verbrauchskosten (nur Hilfsenergiekosten)	€/a	837
Betriebskosten	€/a	2.500
Jahreskosten (ohne Geowärmekosten)	€/a	67.092
vermiedener Erdgasverbrauch	MWh _{H₀} /a	1.938
anlegbarer Erdgaspreis	Ct/kWh_{H₀}	3,5

Tabelle 4-6 Berechnung anlegbarer Erdgaspreis
Eutzinger Straße, Cité Dagobert, Universitäts-Außenstelle

Mit dem ermittelten, anlegbaren Erdgaspreis in Höhe von 3,5 Ct/kWh_{H₀} würde sich eine Kostengleichheit zwischen der Geowärmelieferung und der Wärmeversorgung mit der vorhandenen Heizzentrale einstellen. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass keine Kosten für den Geowärmeverbrauch angesetzt wurden.

Falls der tatsächliche Erdgaspreis der Heizzentrale höher liegt, würde eine Kostengleichheit vorliegen, wenn der Differenzpreis zwischen dem tatsächlichen Erdgaspreis und dem anlegbaren Erdgaspreis als Geowärmepreis angenommen wird. Wenn der tatsächliche Erdgaspreis niedriger als der anlegbare Erdgaspreis ist, wäre theoretisch eine Bezahlung zur Geowärmeabnahme vom Heizzentralenbetreiber an die Wärmeabnehmer notwendig.

Für das Gebiet Eutzinger Straße, Cité Dagobert und Universitäts-Außenstelle ergibt sich ein niedrigerer, anlegbarer Erdgaspreis, weil im Vergleich zum Quartier Vauban eine geringere Entfernung zur geothermischen Bohrung vorliegt und somit entsprechend niedrigere Investitionskosten für die Fernwärmetrasse zu tätigen sind.

Für das Gebiet Cité Dagobert und die Universitäts-Außenstelle steht die Geowärmeversorgung in Konkurrenz zur Wärmeversorgung auf Basis von Holzhackschnitzel. Der mindestens anzulegende Geowärmepreis beträgt 4,0 Ct/kWh_{th} ohne eine Vergütung der gelieferten Geowärmemenge. Dem gegenüber steht ein Wärmepreis für eine Wärmeversorgung mit Holzhackschnitzeln von 2,8 Ct/kWh_{th} nach Angabe des Herrn Hechler von der LanTec Gebäudetechnik Management GmbH.

4.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung Geowärmeversorgung Estienne et Foch

Für das Neubaugebiet Estienne et Foch ist eine Fernwärmeversorgung angedacht. Es wird davon ausgegangen, dass zur Spitzenlastabdeckung und aus Gründen der Versorgungssicherheit eine Heizzentrale mit einer Heizkesselanlage zusätzlich zur Geowärmeversorgung zum Einsatz kommt.

In der ersten Betrachtung wird ebenfalls ein anlegbarer Erdgaspreis für die Heizzentrale ermittelt. Die Jahreskosten zur Geowärmeversorgung ohne jährliche Kosten zur Geowärmelieferung werden den eingesparten Erdgaskosten in der Heizzentrale gegenübergestellt. Unter Annahme einer Kostengleichheit als Mindestanforderung wird dann in Bezug auf die eingesparte Erdgasmenge ein anlegbarer Erdgaspreis bestimmt.

Zunächst werden in einer Energiebilanz die Geowärmelieferung und die eingesparte Erdgasmenge ermittelt. Als Jahresnutzungsgrad der neuen Heizzentrale werden 95 % angenommen.

		Estienne et Foch
Wärmeleistung	kW_{th}	1.500
Jahreswärmebedarf	$\text{MWh}_{\text{th}}/\text{a}$	2.400
Geowärmelieferung	$\text{MWh}_{\text{th}}/\text{a}$	2.400
Hilfsenergiebedarf Strom	$\text{MWh}_{\text{el}}/\text{a}$	12
vermiedene Wärmelieferung Heizzentrale	$\text{MWh}_{\text{th}}/\text{a}$	2.400
vermiedener Erdgasverbrauch	$\text{MWh}_{\text{to}}/\text{a}$	2.779

Tabelle 4-7 Energiebilanz Geowärmeversorgung Estienne et Foch

Diese Daten werden in der Wirtschaftlichkeitsberechnung zu Grunde gelegt. Die zugehörigen Rahmenbedingungen sind aus der folgenden Aufstellung zu entnehmen.

Rahmenbedingungen

Bestimmung kapitalgebundene Kosten

Zinssatz	6 %
Abschreibungsdauer Wärmeübertrager Thermalwasser	15 a
Abschreibungsdauer Wärmeübertrager Heizzentrale	20 a
Abschreibungsdauer Umwälzpumpe	10 a
Abschreibungsdauer Wärmetrasse	20 a
Abschreibungsdauer Planung, Unvorhergesehenes	15 a

Bestimmung verbrauchsgebundene Kosten

durchschnittlicher Strompreis 10 Ct/kWh_{el}

Bestimmung betriebsgebundene Kosten

Wartung Wärmeübertrager Thermalwasser 2 % der Investition

Wartung Wärmeübertrager Heizzentrale 3 % der Investition

Wartung Umwälzpumpen 2 % der Investition

Die zur Geowärmelieferung berücksichtigten Investitionskosten sind in der Tabelle aufgeführt.

	Estienne et Foch
Wärmeübertrager	
Wärmeübertrager Thermalwasser (leistungsbezogener Anteil)	61.100 €
Wärmeübertrager Heizzentrale	13.000 €
Umwälzpumpen	
Umwälzpumpe (leistungsbezogener Anteil)	1.500 €
Wärmetrasse	
Wärmetrasse Thermalwasser und Fernwärmeleitung Heizwasser (anteilig)	207.500 €
Planung, Unvorhergesehenes	
Planung, Unvorhergesehenes	56.700 €
Gesamtinvestition	339.800 €

Tabelle 4-8 Investitionskosten Estienne et Foch

Ein anlegbarer Erdgaspreis berechnet sich wie folgt.

		Estienne et Foch
Investitionskosten	€	339.800
Kapitalkosten	€/a	33.414
Verbrauchskosten (nur Hilfsenergiekosten)	€/a	1.200
Betriebskosten	€/a	3.000
Jahreskosten (ohne Geowärmekosten)	€/a	37.614
vermiedener Erdgasverbrauch	MWh _{H₀} /a	2.779
anlegbarer Erdgaspreis	Ct/kWh_{H₀}	1,4

Tabelle 4-9 Berechnung anlegbarer Erdgaspreis Estienne et Foch

Mit dem ermittelten, anlegbaren Erdgaspreis in Höhe von 1,4 Ct/kWh_{H₀} würde sich eine Kostengleichheit zwischen der Geowärmelieferung und der Wärmeversorgung mit der vorhandenen Heizzentrale einstellen. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass keine Kosten für den Geowärmeverbrauch angesetzt wurden.

Falls der tatsächliche Erdgaspreis der Heizzentrale höher liegt, würde eine Kostengleichheit vorliegen, wenn der Differenzpreis zwischen dem tatsächlichen Erdgaspreis und dem anlegbaren Erdgaspreis als Geowärmepreis angenommen wird. Wenn der tatsächliche Erdgaspreis niedriger als der anlegbare Erdgaspreis ist, wäre theoretisch eine Bezahlung zur Geowärmeabnahme vom Heizzentralenbetreiber an die Wärmeabnehmer notwendig.

Für Neubaugebiet Estienne et Foch ergibt sich ein sehr niedrigerer, anlegbarer Erdgaspreis, da die Entfernung zur geothermischen Bohrung gegenüber den anderen beiden Fernwärmenetzen am geringsten ist. Das Gebiet grenzt nördlich an das Gelände mit dem Geothermiekraftwerk.

4.4 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung Geowärmeversorgung Vinzentius-Krankenhaus

Die Wärmeversorgung des Vinzentius-Krankenhauses erfolgt über eine separate Heizkesselanlage, die auch Dampf bereitstellt.

Für das Vinzentius-Krankenhaus wird ein anlegbarer Erdgaspreis berechnet. Dazu werden die Jahreskosten zur Geowärmeversorgung ohne jährliche Kosten zur Geowärmelieferung den eingesparten Erdgaskosten in der Heizzentrale gegenübergestellt. Unter Annahme einer Kostengleichheit als Mindestanforderung wird dann in Bezug auf die eingesparte Erdgasmenge ein anlegbarer Erdgaspreis bestimmt.

Zunächst werden in einer Energiebilanz die Geowärmelieferung und die eingesparte Erdgasmenge ermittelt. Als Jahresnutzungsgrad der Heizzentrale werden 95 % angenommen.

		Vinzentius-Krankenhaus
Wärmeleistung	kW_{th}	nicht bekannt
Jahreswärmebedarf	$\text{MWh}_{\text{th}}/\text{a}$	nicht bekannt
Geowärmelieferung	$\text{MWh}_{\text{th}}/\text{a}$	2.000
Hilfsenergiebedarf Strom	$\text{MWh}_{\text{el}}/\text{a}$	10
vermiedene Wärmelieferung Heizzentrale	$\text{MWh}_{\text{th}}/\text{a}$	2.000
vermiedener Erdgasverbrauch	$\text{MWh}_{\text{Ho}}/\text{a}$	2.316

Tabelle 4-10 Energiebilanz Geowärmeversorgung Vinzentius-Krankenhaus

Diese Daten werden in der Wirtschaftlichkeitsberechnung zu Grunde gelegt. Die zugehörigen Rahmenbedingungen sind aus der folgenden Aufstellung zu entnehmen.

Rahmenbedingungen

Bestimmung kapitalgebundene Kosten

Zinssatz	6 %
Abschreibungsdauer Wärmeübertrager Thermalwasser	15 a
Abschreibungsdauer Wärmeübertrager Heizzentrale	20 a
Abschreibungsdauer Umwälzpumpe	10 a
Abschreibungsdauer Wärmetrasse	20 a
Abschreibungsdauer Planung, Unvorhergesehenes	15 a

Bestimmung verbrauchsgebundene Kosten

durchschnittlicher Strompreis 10 Ct/kWh_{el}

Bestimmung betriebsgebundene Kosten

Wartung Wärmeübertrager Thermalwasser 2 % der Investition

Wartung Wärmeübertrager Heizzentrale 3 % der Investition

Wartung Umwälzpumpen 2 % der Investition

Die zur Geowärmelieferung berücksichtigten Investitionskosten sind in der Tabelle aufgeführt.

	Vinzentius-Krankenhaus
Wärmeübertrager	
Wärmeübertrager Thermalwasser (leistungsbezogener Anteil)	57.400 €
Wärmeübertrager Heizzentrale	16.000 €
Umwälzpumpen	
Umwälzpumpe (leistungsbezogener Anteil)	2.000 €
Wärmetrasse	
Wärmetrasse Thermalwasser und Fernwärmeleitung Heizwasser (anteilig)	789.000 €
Planung, Unvorhergesehenes	
Planung, Unvorhergesehenes	172.500 €
Gesamtinvestition	1.037.300 €

Tabelle 4-11 Investitionskosten Vinzentius-Krankenhaus

Ein anlegbarer Erdgaspreis berechnet sich wie folgt.

		Vinzentius-Krankenhaus
Investitionskosten	€	1.037.300
Kapitalkosten	€/a	132.579
Verbrauchskosten (nur Hilfsenergiekosten)	€/a	1.000
Betriebskosten	€/a	2.500
Jahreskosten (ohne Geowärmekosten)	€/a	136.079
vermiedener Erdgasverbrauch	MWh _{Ho} /a	2.316
anlegbarer Erdgaspreis	Ct/kWh_{Ho}	5,9

Tabelle 4-12 Berechnung anlegbarer Erdgaspreis Vinzentius-Krankenhaus

Mit dem ermittelten, anlegbaren Erdgaspreis in Höhe von 5,9 Ct/kWh_{Ho} würde sich eine Kostengleichheit zwischen der Geowärmelieferung und der Wärmeversorgung mit der vorhandenen Heizzentrale einstellen. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass keine Kosten für den Geowärmeverbrauch angesetzt wurden.

Voraussichtlich wird der tatsächliche Erdgaspreis der Heizzentrale höher liegen. Wenn dies zutrifft, wäre theoretisch eine Bezahlung zur Geowärmeabnahme vom Heizzentralenbetreiber an den Wärmeabnehmer notwendig.

Der hohe anlegbare Erdgaspreis beruht einerseits auf den hohen Investitionskosten, die im Wesentlichen auf der großen Entfernung zwischen Wärmetrasse und Krankenhaus beruhen, und andererseits auf dem verhältnismäßig geringen Geowärmeabsatz. Eine Erhöhung der Vollbenutzungsstunden wird die Wirtschaftlichkeit verbessern.

4.5 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung Geowärmeversorgung der drei Fernwärmeversorgungsgebiete und des Krankenhauses

Derzeit können nur die beiden vorhandenen Fernwärmeversorgungsgebiete und das Vinzentius-Krankenhaus an eine Geowärmeversorgung angebunden werden. Wann mit der Bebauung des Neubaugebiets Estienne et Foch begonnen wird ist nicht bekannt. Deswegen wird auch unter Berücksichtigung, dass das Neubaugebiet Estienne et Foch nicht sofort vollständig bebaut wird, für verschiedene Ausbaustufen ein anlegbarer Erdgaspreis zur Geowärmeversorgung von allen drei Fernwärmeversorgungsgebieten ermittelt.

		Quartier Vauban				
		Eutzinger Straße, Cité Dagobert, Uni-Außenstelle				
		Vinzentius-Krankenhaus				
		Estienne et Foch 0 %	Estienne et Foch 25 %	Estienne et Foch 50 %	Estienne et Foch 75 %	Estienne et Foch 100 %
Wärmeleistung	kW_{th}	7.500	7.500	7.500	7.500	7.500
Jahreswärmebedarf	$\text{MWh}_{\text{th}}/\text{a}$	10.700	10.700	10.700	10.700	10.700
Geowärmelieferung	$\text{MWh}_{\text{th}}/\text{a}$	5.097	5.697	6.297	6.897	7.497
Hilfsenergiebedarf Strom	$\text{MWh}_{\text{el}}/\text{a}$	25	28	31	34	37
Vermiedene Wärmelieferung Heizzentrale	$\text{MWh}_{\text{th}}/\text{a}$	5.097	5.697	6.297	6.897	7.497
Vermiedener Erdgasverbrauch	$\text{MWh}_{\text{Hc}}/\text{a}$	5.902	6.597	7.292	7.986	8.681

Tabelle 4-13 Energiebilanz Geowärmeversorgung der drei Fernwärmeversorgungsgebiete und des Krankenhauses mit verschiedenen Ausbaustufen Estienne et Foch

Diese Daten werden in der Wirtschaftlichkeitsberechnung zu Grunde gelegt. Die zugehörigen Rahmenbedingungen sind aus der folgenden Aufstellung zu entnehmen.

Rahmenbedingungen

Bestimmung kapitalgebundene Kosten

Zinssatz	6 %
Abschreibungsdauer Wärmeübertrager Thermalwasser	15 a
Abschreibungsdauer Wärmeübertrager Heizzentrale	20 a
Abschreibungsdauer Umwälzpumpe	10 a
Abschreibungsdauer Wärmetrasse	20 a
Abschreibungsdauer Planung, Unvorhergesehenes	15 a

Bestimmung verbrauchsgebundene Kosten

durchschnittlicher Strompreis	10 Ct/kWh _{el}
-------------------------------	-------------------------

Bestimmung betriebsgebundene Kosten

Wartung Wärmeübertrager Thermalwasser	2 % der Investition
Wartung Wärmeübertrager Heizzentrale	3 % der Investition
Wartung Umwälzpumpen	2 % der Investition

Die zur Geowärmelieferung berücksichtigten Investitionskosten sind in der Tabelle aufgeführt.

Wärmeübertrager	
Wärmeübertrager Thermalwasser	185.000 €
Wärmeübertrager Heizzentralen	53.000 €
Umwälzpumpen	
Umwälzpumpe (leistungsbezogener Anteil)	5.500 €
Wärmetrasse	
Wärmetrasse Thermalwasser und Fernwärmeleitung Heizwasser (anteilig)	2.255.000 €
Planung, Unvorhergesehenes	
Planung, Unvorhergesehenes	499.900 €
Gesamtinvestition	2.998.400 €

Tabelle 4-14 Investitionskosten zur Geowärmeversorgung der drei Fernwärmeversorgungsgebiete und des Krankenhauses

Unabhängig von der Ausbaustufe des Fernwärmeversorgungsgebiets Estienne et Foch werden die gesamten Investitionskosten zu Grunde gelegt, da sonst keine Geowärmeversorgung möglich ist.

Ein anlegbarer Erdgaspreis berechnet sich unter Berücksichtigung der verschiedenen Ausbaustufen des Fernwärmeversorgungsgebiets Estienne et Foch wie folgt.

		Quartier Vauban				
		Eutzinger Straße, Cité Dagobert, Uni-Außenstelle				
		Vinzentius-Krankenhaus				
		Estienne et Foch 0 %	Estienne et Foch 25 %	Estienne et Foch 50 %	Estienne et Foch 75 %	Estienne et Foch 100 %
Investitionskosten	€	2.998.400	2.998.400	2.998.400	2.998.400	2.998.400
Kapitalkosten	€/a	312.767	312.767	312.767	312.767	312.767
Verbrauchskosten (nur Hilfsenergie)	€/a	2.549	2.849	3.149	3.449	3.749
Betriebskosten	€/a	10.500	10.500	10.500	10.500	10.500
Jahreskosten (ohne Geowärme- kosten)	€/a	325.816	326.116	326.416	326.716	327.016
vermiedener Erd- gasverbrauch	MWh _{H₀} /a	5.902	6.597	7.292	7.986	8.681
anlegbarer Erd- gaspreis	Ct/kWh_{H₀}	5,5	4,9	4,5	4,1	3,80

Tabelle 4-15 Berechnung anlegbarer Erdgaspreis zur Geowärmeversorgung der drei Fernwärmeversorgungsgebiete und des Krankenhauses mit verschiedenen Ausbaustufen Estienne et Foch

Für die beiden vorhandenen Fernwärmeversorgungsgebiete und das Krankenhaus ergibt sich mit 5,5 Ct/kWh_{H₀} der höchste anlegbare Erdgaspreis. Es ist u. a. darauf zurückzuführen, dass sie vom Standort des Geothermiekraftwerks weiter entfernt sind als das Neubaugebiet Estienne et Foch. Im Endausbau des Neubaugebiets würde der anlegbare Erdgaspreis 3,8 Ct/kWh_{H₀} für alle drei Fernwärmeversorgungsgebiete betragen. Damit ist die Anbindung des Neubaugebiets aus wirtschaftlicher Sicht von Bedeutung.

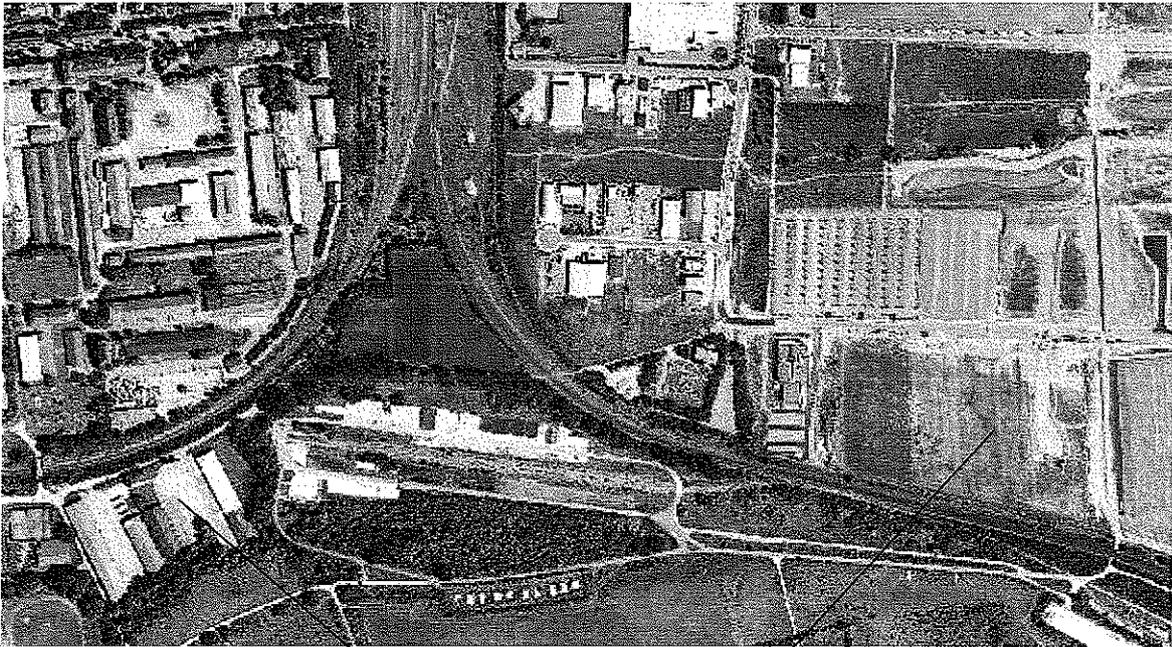
Die Geowärmeversorgung erreicht mit einem Ausbau von über 75 % des Neubaugebiets und mit dem Krankenhaus Kostengleichheit mit dem derzeitigen Erdgaspreis von ca. 4 Ct/kWh_{H₀} in den Heizzentralen der einzelnen Fernwärmeversorgungsgebiete. Damit sich bei der Umsetzung der Geowärmeversorgung in den beiden vorhandenen Fernwärmeversorgungsgebieten eine Kostengleichheit einstellt, wären Fördermittel notwendig.

5 Mögliche Deckung des Jahreswärmebedarfs im Gewerbegebiet durch Geothermie

Als weitere Wärmeabnehmer bietet sich das Gewerbegebiet „Am Messengelände“ in Landau an, das sich in ca. 1 km Entfernung vom Geothermiekraftwerk befindet. Am Beispiel einer Klärschlamm-trocknung wird geprüft, ob Geowärme zur Wärmeversorgung unter Berücksichtigung des Temperaturniveaus und der Wärmemenge bereitgestellt werden kann.

Zu Klärschlamm-trocknung wird nur belasteter Klärschlamm eingesetzt, unbelasteter Klärschlamm darf auch weiterhin in der Landwirtschaft eingesetzt werden.

Da nur etwa 10 % der Geowärme im Jahreslastgang zur Wärmeversorgung der drei Wohngebiete genutzt werden können, stehen somit rund 90 % der Geowärme zur Wärmeversorgung des Gewerbegebiets zur Verfügung. Damit kann die Geowärmeversorgung der Wohngebiete und des Gewerbegebiets parallel erfolgen.



Geothermiekraftwerk

Ausgewählter Standort
Klärschlamm-trocknung

Abbildung 5-1 Luftbild Standort Geothermiekraftwerk und westliches Gewerbegebiet

Zur Klärschlamm-trocknung kommen unterschiedliche Verfahren zum Einsatz, die wiederum mit unterschiedlichem Temperaturniveau des Wärmeträgers arbeiten. Für Band-trockner z. B. liegt die Wärmeträgertemperatur zwischen 85 und 170°C¹. Im Vergleich zur durchschnittlichen Thermalwassertemperatur in Höhe von 72 bis 76°C nach dem Kraftwerksprozess

¹ Forschungszentrum Karlsruhe GmbH: Systemanalytischer Vergleich zur Herstellung von Ersatzbrennstoffen aus biogenen Abfällen am Beispiel von kommunalem Klärschlamm, Bioabfall und Grünabfall; 2003

zeigt sich, dass für den Betrieb eines Bandrockners keine Geowärme eingesetzt werden kann. Die Thermalwassertemperatur kann zwar nach dem Kraftwerksprozess bei hohen Außenlufttemperaturen etwa 80°C betragen, allerdings liegt diese nicht ganztägig und ganzjährig vor.

Bis auf Kaltlufttrockner und Solartrockner benötigen die weiteren Verfahren Temperaturen weit über 100°C. Der Solartrockner schließt durch das Verfahrensprinzip Geowärme als Wärmequelle aus. Bei Kaltlufttrockner beträgt die Temperatur des Wärmeträgers 40 bis 50°C¹, sodass dieser mit Geowärme beheizt werden kann.

Trocknerart	Konvektionstrockner					Kontaktrockner		
	Band-	Kaltluft-	Solar-	Trommel-	Wirbelschicht-	Dünnschicht-	Rohrbündel-	Scheiben-
Trocknertyp	Voll-	Voll-	Voll-	Voll-	Voll-	Teil-/Voll-	Voll-	Teil-/Voll-
Rückmischung	nein	nein	nein	ja	beides	-/nein	ja	-/ja
Beheizung	direkt/indirekt	direkt	direkt ¹⁾	direkt/indirekt	indirekt	indirekt	indirekt	indirekt
Wärmeträger I ²⁾	Luft	Luft	Luft	Rauch-, Inertgas	Inertgas ⁴⁾	Inertgas	Inertgas	Inertgas
Wärmeträger II ³⁾	Dampf	n.r.	Wasser ⁵⁾	Dampf, Thermoöl, Rauchgas	Dampf, Thermoöl	Dampf, Thermoöl	Dampf	Dampf, Thermoöl
Temperatur Wärmeträger I, II (°C)	85-170	40-50	0-55 ⁵⁾	450 - 600	140	180 - 280	165-180 ⁶⁾	180
Druck Wärmeträger (bar absolut)	0,8-1	1	1	1	1-5	1-4	7-11	1
Abgasreinigung ⁷⁾	Wäscher, Biofilter	Biofilter	n.r.	Wäscher, Biofilter	Aspirationswäscher	Biofilter, Mitverbrennung	Schlauchfilter, Wäscher	Biofilter

Quelle: ATV, 1997, Firmeninformationen, 2002, 2001, 2000

Anmerkung: ¹⁾ Bei Nutzung von Abwärme der BHKW auf der Kläranlage erfolgt eine Mischbeheizung durch Sonne und Faulgas und damit eine direkte und indirekte Beheizung.

²⁾ Wärmeträger bzw. Gasgemisch, der/das mit dem Trockengut in Kontakt steht.

³⁾ Wärmeträger, der bei geschlossenem Wärmeträgerkreislauf den Trockner beheizt.

⁴⁾ interner Brüdenkreislauf bestehend aus Wasserdampf (bis 90 %) und Schleppluft (3 % O₂)

⁵⁾ Umgebungstemperatur bzw. Beheizung durch Warmwasserkreislauf mit Vorlauftemperatur von bis 55 °C

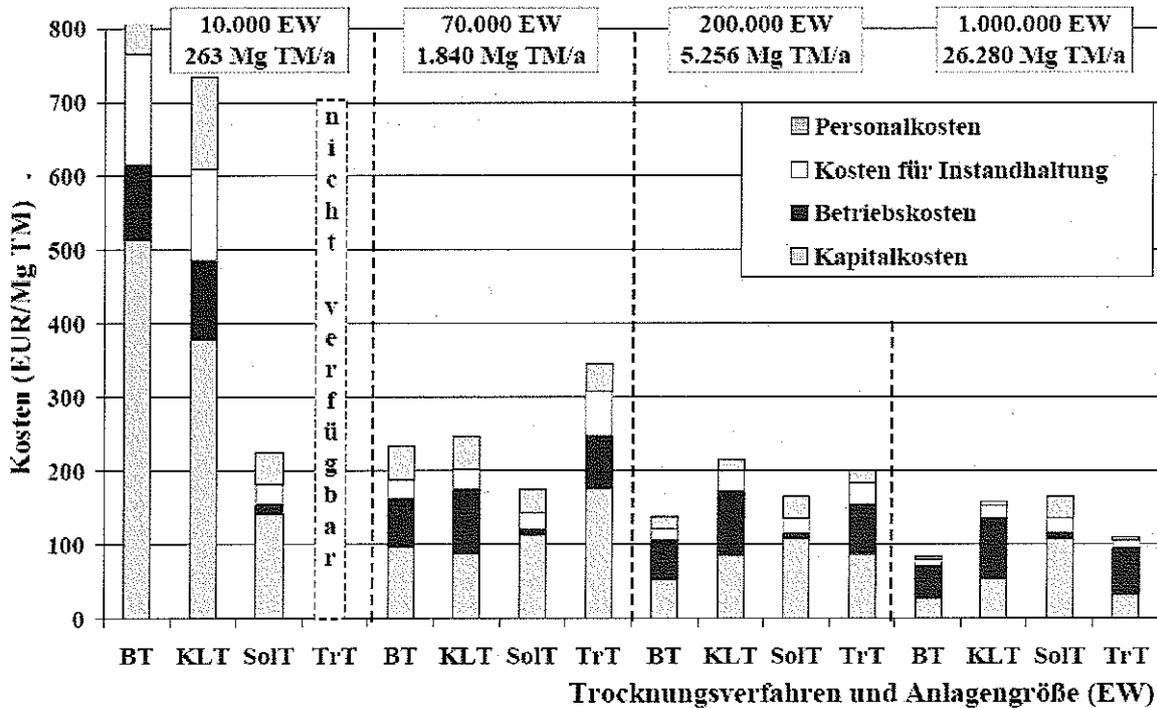
⁶⁾ Sattdampf, Temperatur nach Dampfkurve zu ermitteln

⁷⁾ Insofern die Abgasreinigungstechnik nicht im Angebot enthalten war, wurde pauschal ein Investitionsaufschlag von 5 % veranschlagt.

Abbildung 5-2 Technische Daten der Trocknungsverfahren

(Quelle: Andreas Arlt, Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse, Forschungszentrum Karlsruhe GmbH)

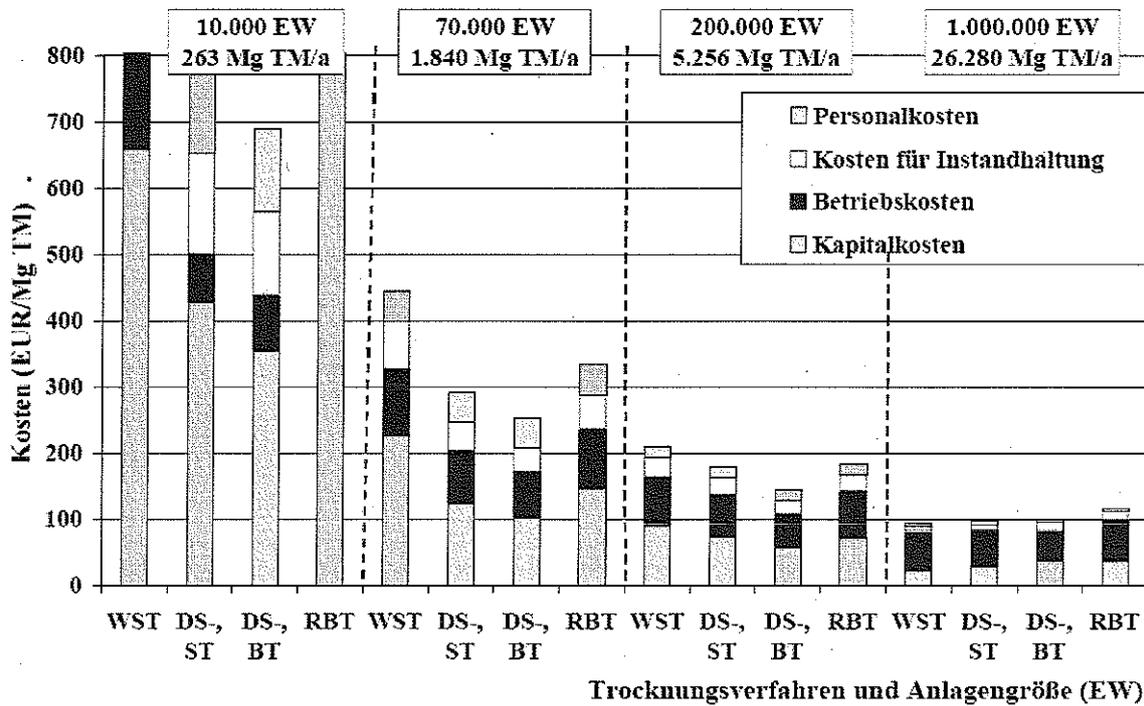
Neben der Auswahl des geeigneten Verfahrens ist die jährlich zu trocknende Klärschlammmenge, die die Größe des Trockners beeinflusst, hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit ein wichtiges Kriterium zur Umsetzung.



Quelle: Firmeninformationen, 2002, eigene Darstellung

Abb. 4.22: Größenabhängige Kostenstruktur der Klärschlamm-trocknung mit Band-, Kaltluft-, Solar- und Trommel-trockner

Abbildung 5-3 Jahreskosten der Trocknungsverfahren, Teil 1
 (Quelle: Andreas Arlt, Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse, Forschungszentrum Karlsruhe GmbH)



Quelle: Firmeninformationen, 2002, eigene Darstellung

Abb. 4.23: Größenabhängige Kostenstruktur der Klärschlamm-trocknung mit Wirbelschicht-, Rohrbündel- und Zweistufentrockner

Anmerkung zu Abb. 4.22, Abb. 4.23: BT = Band-, KLT = Kaltluft-, SolT = Solar-, TrT = Trommel-, WST = Wirbelschicht-, DS-, ST = Kombination aus Dünnschicht- und Scheiben-, DS-, BT = Kombination aus Dünnschicht- und Band-, RBT = Rohrbündeltrockner

Abbildung 5-4 Jahreskosten der Trocknungsverfahren, Teil 2
(Quelle: Andreas Arlt, Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse, Forschungszentrum Karlsruhe GmbH)

Für die weiteren Berechnungen wird angenommen, dass zur Klärschlamm-trocknung ein Kaltluft-trockner mit 50°C bzw. 45°C als Wärmeträgertemperatur und einer Temperaturab-senkung um 20 K arbeitet. Der spezifische Wärmebedarf zur Klärschlamm-trocknung wird mit $0,85 \text{ MWh}_{\text{th}}/\text{t}_{\text{Wasser}}^1$ angesetzt. Weiterhin wird davon ausgegangen, dass sich durch die Klär-schlamm-trocknung die Trockensubstanz des Klärschlamm-s sich von 30 % auf 90 % erhöht.

Die Vorlauftemperatur des Thermalwassers nach dem Kraftwerksprozess schwankt bedingt durch die Kühlung abhängig vom Jahresgang der Außenlufttemperatur. Nach überschlägigen Berechnungen liegt die mittlere Thermalwasservorlauftemperatur zwischen etwa 72 °C und 76 °C.

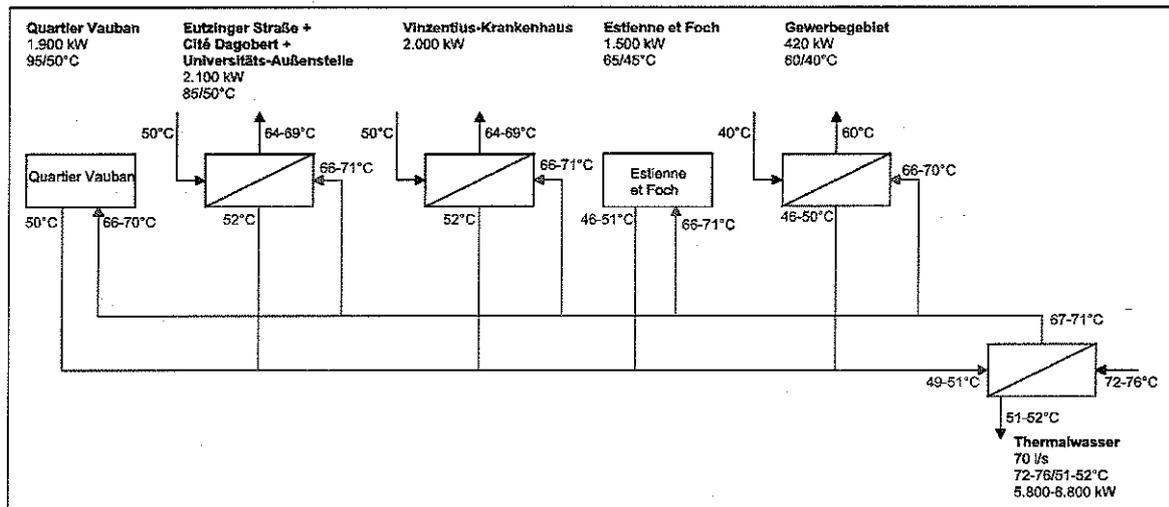


Abbildung 5-5 Schematische Darstellung Geowärmeversorgung der Fernwärmenetze und des Gewerbegebiets

Mit einem Temperaturniveau des Heizsystems von 60/40 °C zur Klärschlamm-trocknung im Gewerbegebiet steht eine Wärmeleistung von rund 420 kW_{th} zur Verfügung.

In der folgenden Tabelle wird die Geowärmemenge, die für das Gewerbegebiet zur Verfügung steht, dargestellt.

	Wärmelieferung Gewerbegebiet Geowärme MWh _{th} /a
Januar	312
Februar	282
März	312
April	302
Mai	312
Juni	302
Juli	312
August	312
September	302
Oktober	312
November	302
Dezember	312
Jahr	3.679

Tabelle 5-1 Pötientielle Geowärmemenge für Gewerbegebiet

Um aus der Sicht des Betreibers die Wärmelieferung an die Wohngebiete und das Gewerbegebiet bewerten zu können, wird eine Bilanz zum Thermalwasser erstellt. In der Wärmelieferung sind auch die Netzverluste einkalkuliert. Stillstandszeiten durch Revision oder Betriebsprobleme sind nicht berücksichtigt.

	Wärme Thermalwasser 72-76/50 °C MWh _{th} /a	Wärmelieferung Thermalwasser 72-76/51-52 °C MWh _{th} /a	Restwärme Thermalwasser 72-76/50 °C MWh _{th} /a
Januar	4.619	1.542	3.077
Februar	4.172	1.334	2.838
März	4.619	1.239	3.380
April	4.470	976	3.494
Mai	5.039	772	4.267
Juni	5.283	517	4.767
Juli	5.459	502	4.957
August	5.459	470	4.989
September	4.877	752	4.125
Oktober	4.619	978	3.641
November	4.470	1.244	3.227
Dezember	4.619	1.569	3.051
Jahr	57.710	11.895	45.815

Tabelle 5-2 Monatsbilanz Thermalwasser

Von der zur Verfügung stehenden Geowärme kann rund 21 % zur Wärmelieferung an die Wohngebiete und das Gewerbegebiet genutzt werden. Etwa 79 % beträgt die Restwärme aufgrund des Jahreslastgangs und des Temperaturniveaus in der Fernwärmeversorgung.

Das Thermalwasser bietet ein Wärmepotential in der Größenordnung, dass bis zu einer Wärmeleistung von rund 420 kW_{th} eine Klärschlamm-trocknung möglich wäre. Als Jahreswärmemenge stehen 3.679 MWh_{th}/a potentiell zur Verfügung.

Um einen Eindruck der Größenverhältnisse zu erhalten, werden in der folgenden Berechnung die jährliche Klärschlammmenge und damit die entsprechende Einwohnerzahl bestimmt. Dazu wird angenommen, dass sich durch die Klärschlamm-trocknung die Trocken-substanz des Klärschlammes von 30 % auf 90 % erhöht.

Jahreswärmemenge	3.679 MWh _{th} /a
spez. Wärmebedarf je verdampfte Wassermenge	0,85 MWh _{th} /t _{Wasser} ¹
verdampfte Wassermenge	4.328 t _{Wasser} /a
Klärschlammmenge vor Trocknung	6.493 t/a
Klärschlammmenge nach Trocknung	2.164 t/a
Trockenmasse Klärschlamm	1.948 t/a
spez. Trockenmasse Klärschlamm je Einwohner	0,02628 t/(EW a) ¹
Einwohner	74.118 EW

Tabelle 5-3 Abschätzung zur Klärschlamm-trocknung

Das Thermalwasser bietet ein so großes Wärmepotential, dass eine Klärschlammmenge von rund 74.000 Einwohnern getrocknet werden könnte. Im Vergleich dazu beträgt die Einwohnerzahl von Landau 44.729². Auf diese Einwohnerzahl umgerechnet würden rund 1.175 t/a Trockenmasse Klärschlamm anfallen. Dazu wäre eine Jahreswärmemenge von etwa 2.220 MWh_{th}/a notwendig. Dies entspricht nur ca. 60 % der maximal zur Verfügung stehenden Geowärme.

¹ Forschungszentrum Karlsruhe GmbH: Systemanalytischer Vergleich zur Herstellung von Ersatzbrennstoffen aus biogenen Abfällen am Beispiel von kommunalem Klärschlamm, Bioabfall und Grünabfall; 2003

² Stadt Landau in der Pfalz: Bevölkerungszahl Stand 01/07

6 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Geowärmeversorgung im Gewerbegebiet

Um bewerten zu können, ob eine Geowärmeversorgung für das Gewerbegebiet „Am Messegelände“ in Landau am Beispiel einer Klärschlamm-trocknung aus wirtschaftlicher Sicht umsetzbar ist, wird ein anlegbarer Erdgaspreis für die Geowärmelieferung bestimmt.

6.1 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung Geowärmeversorgung Gewerbegebiet

Es wird davon ausgegangen, dass zur Spitzenlastabdeckung und aus Gründen der Versorgungssicherheit eine Heizzentrale mit einer Heizkesselanlage zusätzlich zur Geowärmeversorgung zum Einsatz kommt.

In der ersten Betrachtung wird ein anlegbarer Erdgaspreis für die Heizzentrale ermittelt. Die Jahreskosten zur Geowärmeversorgung ohne jährliche Kosten zur Geowärmelieferung werden den eingesparten Erdgaskosten in der Heizzentrale gegenübergestellt. Unter Annahme einer Kostengleichheit als Mindestanforderung wird dann in Bezug auf die eingesparte Erdgasmenge ein anlegbarer Erdgaspreis bestimmt.

Zunächst werden in einer Energiebilanz die Geowärmelieferung und die eingesparte Erdgasmenge ermittelt. Als Jahresnutzungsgrad der neuen Heizzentrale werden 95 % angenommen.

		Gewerbegebiet
Wärmeleistung	kW_{th}	420
Jahreswärmebedarf	$\text{MWh}_{\text{th/a}}$	3.679
Geowärmelieferung	$\text{MWh}_{\text{th/a}}$	3.679
Hilfsenergiebedarf Strom	$\text{MWh}_{\text{el/a}}$	18
vermiedene Wärmelieferung Heizzentrale	$\text{MWh}_{\text{th/a}}$	3.679
vermiedener Erdgasverbrauch	$\text{MWh}_{\text{Ho/a}}$	4.260

Tabelle 6-1 Energiebilanz Geowärmeversorgung Gewerbegebiet

Diese Daten werden in der Wirtschaftlichkeitsberechnung zu Grunde gelegt. Die zugehörigen Rahmenbedingungen sind aus der folgenden Aufstellung zu entnehmen.

Rahmenbedingungen

Bestimmung kapitalgebundene Kosten

Zinssatz	6 %
Abschreibungsdauer Wärmeübertrager Thermalwasser	15 a
Abschreibungsdauer Wärmeübertrager Heizzentrale	20 a
Abschreibungsdauer Umwälzpumpe	10 a
Abschreibungsdauer Wärmetrasse	20 a
Abschreibungsdauer Planung, Unvorhergesehenes	15 a

Bestimmung verbrauchsgebundene Kosten

durchschnittlicher Strompreis	10 Ct/kWh _{el}
-------------------------------	-------------------------

Bestimmung betriebsgebundene Kosten

Wartung Wärmeübertrager Thermalwasser	2 % der Investition
Wartung Wärmeübertrager Heizzentrale	3 % der Investition
Wartung Umwälzpumpen	2 % der Investition

Die zur Geowärmelieferung berücksichtigten Investitionskosten sind in der Tabelle aufgeführt.

	Gewerbegebiet
Wärmeübertrager	
Wärmeübertrager Thermalwasser (leistungsbezogener Anteil)	14.800 €
Wärmeübertrager Heizzentrale	7.700 €
Umwälzpumpen	
Umwälzpumpe (leistungsbezogener Anteil)	1.000 €
Wärmetrasse	
Wärmetrasse Thermalwasser und Fernwärmeleitung Heizwasser (anteilig)	945.000 €
Planung, Unvorhergesehenes	
Planung, Unvorhergesehenes	193.700 €
Gesamtinvestition	1.162.200 €

Tabelle 6-2 Investitionskosten Gewerbegebiet

Ein anlegbarer Erdgaspreis berechnet sich wie folgt.

		Gewerbegebiet
Investitionskosten	€	1.162.200
Kapitalkosten	€/a	104.664
Verbrauchskosten (nur Hilfsenergiekosten)	€/a	1.840
Betriebskosten	€/a	2.500
Jahreskosten (ohne Geowärmekosten)	€/a	109.004
vermiedener Erdgasverbrauch	MWh _{H₀} /a	4.260
anlegbarer Erdgaspreis	Ct/kWh_{H₀}	2,6

Tabelle 6-3 Berechnung anlegbarer Erdgaspreis Gewerbegebiet

Mit dem ermittelten, anlegbaren Erdgaspreis in Höhe von 2,6 Ct/kWh_{H₀} würde sich eine Kostengleichheit zwischen der Geowärmelieferung und der Wärmeversorgung mit der vorhandenen Heizzentrale einstellen. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass keine Kosten für den Geowärmeverbrauch angesetzt wurden.

Falls der tatsächliche Erdgaspreis der Heizzentrale höher liegt, würde eine Kostengleichheit vorliegen, wenn der Differenzpreis zwischen dem tatsächlichen Erdgaspreis und dem anlegbaren Erdgaspreis als Geowärmepreis angenommen wird. Wenn der tatsächliche Erdgaspreis niedriger als der anlegbare Erdgaspreis ist, wäre theoretisch eine Bezahlung zur Geowärmeabnahme vom Heizzentralenbetreiber an die Wärmeabnehmer notwendig.

Für das Gewerbegebiet ergibt sich ein sehr niedrigerer, anlegbarer Erdgaspreis, da eine sehr hohe Wärmemenge abgenommen werden könnte.

6.2 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung Geowärmeversorgung der drei Fernwärmeversorgungsgebiete und des Gewerbegebiets

Unter der Annahme, dass alle drei Fernwärmeversorgungsgebiete vollständig an eine Geowärmeversorgung angebunden sind, wird die Geowärmemenge an das Gewerbegebiet abhängig von den Vollbenutzungsstunden (1.600 h/a bis 8.760 h/a) variiert. Für die verschiedenen Abnahmemengen der Geowärme im Gewerbegebiet wird ein anlegbarer Erdgaspreis für die Gesamtbetrachtung bestimmt.

		Quartier Vauban				
		Eutzinger Straße, Cité Dagobert, Uni-Außenstelle				
		Estienne et Foch				
		Gewerbegebiet 1.600 h/a	Gewerbegebiet 3.390 h/a	Gewerbegebiet 5.180 h/a	Gewerbegebiet 6.970 h/a	Gewerbegebiet 8.760 h/a
Wärmeleistung	kW_{th}	7.920	7.920	7.920	7.920	7.920
Jahreswärmebedarf	$\text{MWh}_{\text{th}}/\text{a}$	11.372	12.124	12.876	13.627	14.379
Geowärme- lieferung	$\text{MWh}_{\text{th}}/\text{a}$	8.169	8.921	9.673	10.425	11.176
Hilfsenergiebedarf Strom	$\text{MWh}_{\text{el}}/\text{a}$	41	45	48	52	56
Vermiedene Wärmelieferung Heizzentrale	$\text{MWh}_{\text{th}}/\text{a}$	8.169	8.921	9.673	10.425	11.176
Vermiedener Erdgasverbrauch	$\text{MWh}_{\text{Ho}}/\text{a}$	9.459	10.330	11.200	12.071	12.941

Tabelle 6-4 Energiebilanz Geowärmeversorgung der drei Fernwärmeversorgungsgebiete und des Gewerbegebiets mit unterschiedlichem Jahreswärmebedarf des Gewerbegebiets

Diese Daten werden in der Wirtschaftlichkeitsberechnung zu Grunde gelegt. Die zugehörigen Rahmenbedingungen sind aus der folgenden Aufstellung zu entnehmen.

Rahmenbedingungen

Bestimmung kapitalgebundene Kosten

Zinssatz	6 %
Abschreibungsdauer Wärmeübertrager Thermalwasser	15 a
Abschreibungsdauer Wärmeübertrager Heizzentrale	20 a
Abschreibungsdauer Umwälzpumpe	10 a
Abschreibungsdauer Wärmetrasse	20 a
Abschreibungsdauer Planung, Unvorhergesehenes	15 a

Bestimmung verbrauchsgebundene Kosten

durchschnittlicher Strompreis	10 Ct/kWh _{el}
-------------------------------	-------------------------

Bestimmung betriebsgebundene Kosten

Wartung Wärmeübertrager Thermalwasser	2 % der Investition
Wartung Wärmeübertrager Heizzentrale	3 % der Investition
Wartung Umwälzpumpen	2 % der Investition

Die zur Geowärmelieferung berücksichtigten Investitionskosten sind in der Tabelle aufgeführt.

Wärmeübertrager	
Wärmeübertrager Thermalwasser	185.000 €
Wärmeübertrager Heizzentralen	60.700 €
Umwälzpumpen	
Umwälzpumpe (leistungsbezogener Anteil)	6.500 €
Wärmetrasse	
Wärmetrasse Thermalwasser und Fernwärmeleitung Heizwasser (antellig)	3.200.000 €
Planung, Unvorhergesehenes	
Planung, Unvorhergesehenes	690.500 €
Gesamtinvestition	4.142.700 €

Tabelle 6-5 Investitionskosten zur Geowärmeversorgung der drei Fernwärmeversorgungsgebiete und des Gewerbegebiets

Unabhängig vom Jahreswärmebedarf des Gewerbegebiets ist dieselbe Wärmeleistung bereitzustellen, sodass die Investitionskosten immer gleich sind.

Ein anlegbarer Erdgaspreis berechnet sich unter Berücksichtigung unterschiedlicher Wärmeabnahmemengen im Gewerbegebiet.

		Quartier Vauban				
		Eutzinger Straße, Cité Dagobert, Uni-Außenstelle				
		Vinzentius-Krankenhaus				
		Estienne et Foch				
		Gewerbegebiet 1.600 h/a	Gewerbegebiet 3.390 h/a	Gewerbegebiet 5.180 h/a	Gewerbegebiet 6.970 h/a	Gewerbegebiet 8.760 h/a
Investitionskosten	€	4.142.700	4.142.700	4.142.700	4.142.700	4.142.700
Kapitalkosten	€/a	413.721	413.721	413.721	413.721	413.721
Verbrauchskosten (nur Hilfsenergie)	€/a	4.085	4.461	4.836	5.212	5.588
Betriebskosten	€/a	13.000	13.000	13.000	13.000	13.000
Jahreskosten (ohne Geowärme- kosten)	€/a	430.806	431.182	431.557	431.933	432.309
vermiedener Erd- gasverbrauch	MWh _{H₀} /a	9.459	10.330	11.200	12.071	12.941
anlegbarer Erd- gaspreis	Ct/kWh_{H₀}	4,6	4,2	3,9	3,6	3,3

Tabelle 6-6 Berechnung anlegbarer Erdgaspreis zur Geowärmeversorgung der drei Fernwärmeversorgungsgebiete mit verschiedenen Ausbaustufen Estienne et Foch

Abhängig vom Jahreswärmebedarf des Gewerbegebiets liegt der anlegbare Erdgaspreis zwischen 4,6 und 3,3 Ct/kWh_{H₀}. Die Anbindung des Gewerbegebiets an die Geowärmeversorgung verbessert die Wirtschaftlichkeit deutlich.

7 Kohlendioxid-Emissionsbilanz

Zur ökologischen Bewertung der Geowärmeversorgung in den Wohngebieten und in dem Gewerbegebiet wird eine Kohlendioxid-Äquivalent-Emissionsbilanz durchgeführt. Dazu wird für den Hilfsenergiebedarf Strom zur Geowärmelieferung und für den vermiedenen Erdgasverbrauch in den Heizzentralen das spezifische CO₂-Äquivalent nach GEMIS¹ zu Grunde gelegt.

		Quartier Vauban	Eutzinger Straße, Cité Dagobert, Uni- Außenstelle	Estienne et Foch	Summe
Hilfsenergiebedarf Strom	MWh _{el} /a	7	8	12	27
vermiedener Erdgasverbrauch	MWh _{HU} /a	1.498	1.762	2.526	5.786
spez. CO ₂ -Emissionen Strom	g CO ₂ /kWh _{el}	682,6	682,6	682,6	682,6
Erdgas	g CO ₂ /kWh _{HU}	254,1	254,1	254,1	254,1
CO ₂ -Emissionen Strom	t CO ₂ /a	5	6	8	19
vermiedene CO ₂ - Emissionen Erdgas	t CO ₂ /a	-381	-448	-642	-1.471
CO ₂ -Emissionen	t CO ₂ /a	-376	-442	-634	-1.452

Tabelle 7-1 CO₂-Emissionen Geowärmeversorgung der Wohngebiete

Durch die Geowärmeversorgung der Fernwärmenetze in den Wohngebieten können insgesamt rund 1.400 t/a CO₂-Äquivalent-Emissionen eingespart werden.

¹ GEMIS 4.14 Stand September 2002

		Vinzentius-Krankenhaus	Gewerbegebiet	Summe Wohngebiete Krankenhaus Gewerbegebiet
Hilfsenergiebedarf Strom	MWh _{el} /a	10	18	56
vermiedener Erdgasverbrauch	MWh _{HU} /a	2.105	3.873	11.765
spez. CO ₂ -Emissionen Strom	g CO ₂ /kWh _{el}	682,6	682,6	682,6
Erdgas	g CO ₂ /kWh _{HU}	254,1	254,1	254,1
CO ₂ -Emissionen Strom	t CO ₂ /a	7	13	38
vermiedene CO ₂ -Emissionen Erdgas	t CO ₂ /a	-535	-984	-2.989
CO ₂ -Emissionen	t CO ₂ /a	-528	-971	-2.951

Tabelle 7-2 CO₂-Emissionen Geowärmeversorgung der Wohngebiete und des Gewerbegebiets

Durch die Geowärmeversorgung der Wohngebiete, des Vinzentius-Krankenhauses und des Gewerbegebiets rund 2.600 t/a CO₂-Äquivalent-Emissionen eingespart werden. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass die Ansiedlung einer Klärschlamm-trocknung im Gewerbegebiet wegen einer kostengünstigen Wärmeversorgung mit Geowärme erfolgen würde. Deswegen dürften nur die CO₂-Äquivalent-Emissionen durch den Hilfsenergiebedarf Strom zur Geowärmelieferung herangezogen werden, sodass sich demnach die CO₂-Äquivalent-Emissionen um 13 t/a erhöhen würden.

8 Ermittlung des freien Wärmepotentials abzüglich der Wärmeversorgung in den Wohngebieten und im Gewerbegebiet

In den Untersuchungen zur Geowärmenutzung in den Fernwärmenetzen der Wohngebiete und im Krankenhaus zeigt es sich, dass nur ein geringer Anteil (ca. 14 %) der restlichen Geowärme nach dem Kraftwerksprozess zur Fernwärmeversorgung genutzt wird. Aufgrund dessen wurde eine weitere Wärmenutzung im benachbarten Gewerbegebiet betrachtet. Dadurch könnte sich der Anteil der Geowärmenutzung auf etwa 21 % erhöhen.

In einer Monatsbilanz stellt sich die restliche Geowärme nach Abzug der Fernwärmeversorgung in den Wohngebieten und im Gewerbegebiet wie folgt dar.

	Wärme Thermalwasser 72-76/50°C MWh _{th} /a	Restwärme Thermalwasser 72-76/50°C MWh _{th} /a
Januar	4.619	3.077
Februar	4.172	2.838
März	4.619	3.380
April	4.470	3.494
Mai	5.039	4.267
Juni	5.283	4.767
Juli	5.459	4.957
August	5.459	4.989
September	4.877	4.125
Oktober	4.619	3.641
November	4.470	3.227
Dezember	4.619	3.051
Jahr	57.710	45.815

Tabelle 8-1 Freies Wärmepotential nach Wärmeauskopplung für Wohngebiete, Krankenhaus und Gewerbegebiet

Das Diagramm veranschaulicht die Ergebnisse.

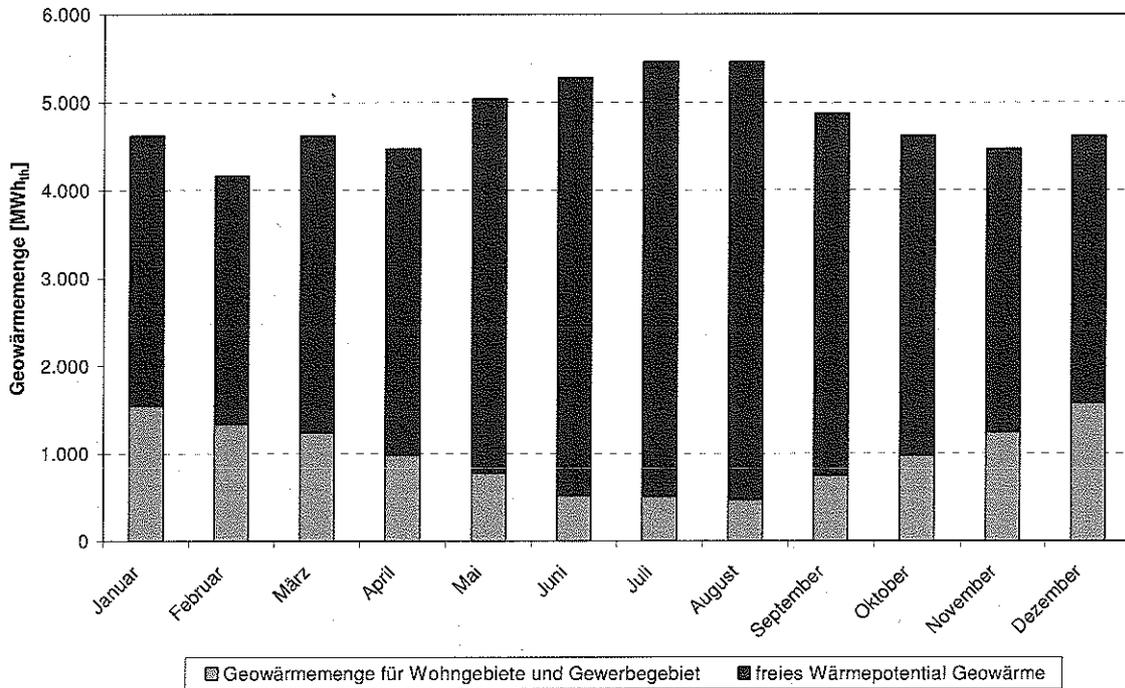


Abbildung 8-1 freies Wärmepotential

In den Sommermonaten ist das freie Wärmepotential der Geowärme höher, weil einerseits das Thermalwasser nach dem Kraftwerksprozess eine höhere Temperatur aufweist wegen der geringen Kühlmöglichkeit durch die höheren Außenlufttemperaturen und andererseits in den Wohngebieten hauptsächlich Heizwärme benötigt wird.

9 Sensitivitätsanalyse wirtschaftliches Optimum aus Strom- und Wärmeverkauf

In einer Sensitivitätsanalyse wird geprüft, wo sich das wirtschaftliche Optimum aus Strom- und Wärmeverkauf eines Geothermiekraftwerks einstellt. Für die Geowärmenutzung sind der Jahreswärmebedarf und das benötigte Temperaturniveau entscheidend, denn die Geowärme ist durch eine große Jahreswärmemenge gekennzeichnet. Aus Sicht einer optimalen Stromerzeugung bewegt sich die mittlere Thermalwassertemperatur nach dem Kraftwerksprozess zwischen 72 bis 76°C.

Als Wärmeanwendung wird die Versorgung der Wohngebiete zu Grunde gelegt. Im bestehenden Fernwärmenetz Quartier Vauban wird eine Netzvorlauftemperatur von bis zu 95°C benötigt. Um die Geowärmemenge zur Fernwärmeversorgung zu erhöhen, wäre eine höhere Thermalwassertemperatur notwendig. Dies wird mit einer geringeren Geowärmeauskoppelung für den Kraftwerksprozess erreicht, sodass sich die Erlöse aus der Strombereitstellung reduzieren.

Infolge der stark gestiegenen Brennstoffpreise kann es wirtschaftlich interessant sein, das Geothermiekraftwerk nicht ständig mit maximaler Stromausbeute zu fahren, sondern vorzugsweise bei einem hohen Wärmebedarf wärmeorientiert zu betreiben, um insgesamt höhere Erlöse zu erzielen.

Im ersten Schritt werden nur die Stromerlöse für mittlere Thermalwassertemperaturen nach dem Kraftwerksprozess von 72 bis 76°C, die auch in den vorangegangenen Untersuchungen zu Grunde gelegt wurden, ermittelt. Die zusätzlichen Wärmeerlöse werden in der nächsten Berechnung bestimmt. Für eine vollständige Wärmeversorgung der Fernwärmenetze durch höhere Thermalwassertemperaturen werden in der letzten Variante die entsprechenden Strom- und Wärmeerlöse berechnet.

Variante 1: Stromerlöse bei stromgeführten Betrieb

Variante 2: Strom- und Wärmeerlöse bei stromgeführten Betrieb

Variante 3: Strom- und Wärmeerlöse bei wärmegeführten Betrieb

Um eine Energiebilanz erstellen zu können, werden zunächst die Thermalwassertemperaturen für die Berechnungen festgehalten. Die in den vorangegangenen Berechnungen zu Grunde gelegten Thermalwassertemperaturen sind in der Tabelle aufgeführt. Außerdem sind die Thermalwassertemperaturen genannt, die erforderlich sind, um den Jahreswärmebedarf in den Fernwärmenetzen vollständig decken zu können.

Monat	Quartier Vauban Netzvorlauf- temperatur [°C]	Eutzinger Straße, Cité Dagobert, Uni-Außenstelle Netzvorlauf- temperatur [°C]	Vinzentius-Krankenhaus Vorlauf-temperatur [°C]	Estienne et Foch Netzvorlauf- temperatur [°C]	Geowärme Thermal- wasser- temperatur [°C]	Geowärme erforderliche Thermalwasser- temperatur [°C]
Januar	95	85	70	65	72	101
Februar	90	85	70	65	72	96
März	85	80	70	65	72	92
April	80	75	70	65	72	86
Mai	75	70	70	65	74	82
Juni	70	70	70	65	76	78
Juli	70	70	70	65	76	78
August	70	70	70	65	76	78
September	75	70	70	65	74	82
Oktober	80	75	70	65	72	86
November	85	80	70	65	72	92
Dezember	90	85	70	65	72	96

Tabelle 9-1 Abschätzung Netzvorlauftemperaturen und erforderliche Thermalwassertemperatur im wärmeorientierten Betrieb

Zur Veranschaulichung sind die Temperaturen im Diagramm abgebildet.

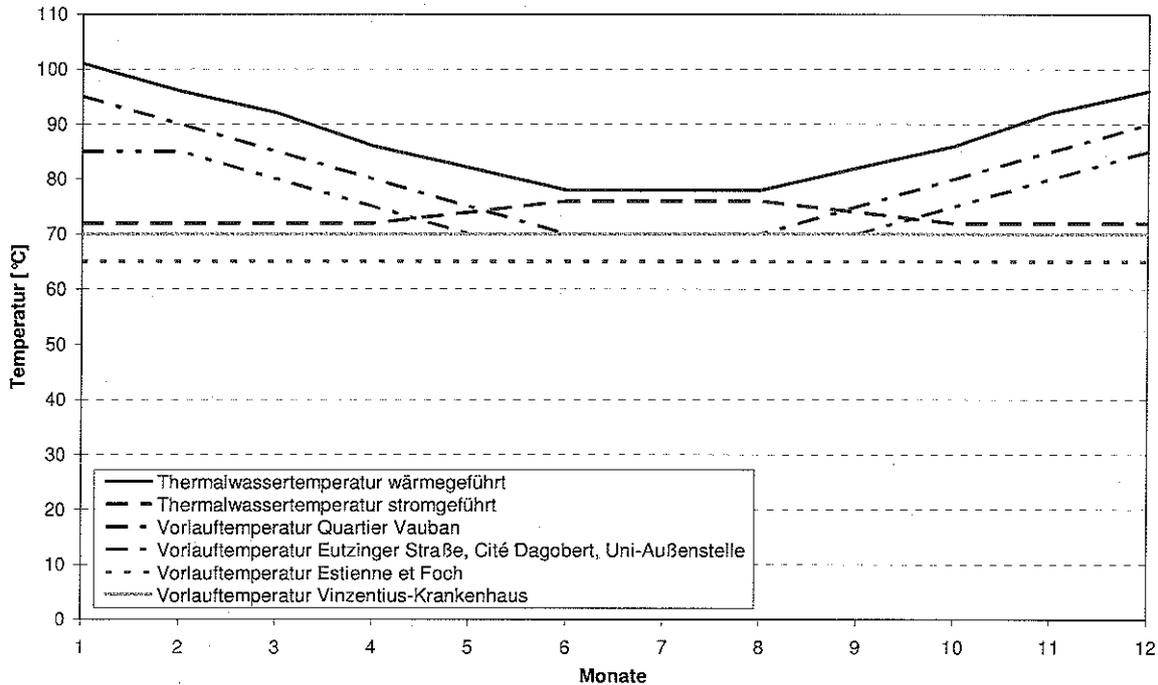


Abbildung 9-1 Netzvorlauftemperaturen der Fernwärmenetze und Thermalwassertemperatur strom- und wärmegeführter Betrieb

Die Energiebilanz der drei betrachteten Varianten stellt sich wie folgt dar.

		Variante 1	Variante 2	Variante 3
		Stromerlöse	Strom- und	Strom- und
		stromgeführt	Wärmeerlöse	Wärmeerlöse
			stromgeführt	wärmegeführt
Thermalwassertemperaturen	°C	72 - 76	72 - 76	78 - 101
elektrische Bruttoleistung	kW _{el}	2.450 – 2.710	2.450 – 2.710	1.110 - 2.330
elektrische Arbeit	MWh _{el} /a	22.975	22.975	15.905
Geowärmeleistung	kW _{th}		6.209. 7.338	7.902 – 14.394
Geowärmelieferung	MWh _{th} /a		7.497	10.700
Hilfsenergiebedarf Strom	MWh _{el} /a	4.897	4.897	4.027
Kühltürme				

Tabelle 9-2 Energiebilanz strom- und wärmegeführter Betrieb

Um die Summe aus den Strom- und Wärmeerlösen für die einzelnen Varianten bestimmen zu können werden folgende Rahmenbedingungen angesetzt.

Rahmenbedingungen

Bestimmung kapitalgebundene Kosten

nicht notwendig

Bestimmung verbrauchsgebundene Kosten

durchschnittlicher Strompreis 10 Ct/kWh_{el}

Bestimmung betriebsgebundene Kosten

nicht notwendig

Bestimmung Stromgutschrift

Nach dem Gesetz zur Neuregelung des Rechts der Erneuerbaren Energien im Strombereich vom 21. Juli 2004 erhalten Geothermieanlagen gestaffelt nach der elektrischen Leistung eine Mindesteinspeisevergütung. Die Mindesteinspeisevergütung hängt vom Inbetriebnahmejahr ab.

spez. Einspeisevergütung nach EEG 15 Ct/kWh_{el}

Bestimmung Wärmegutschrift

Nach den vorangegangenen Berechnungen wird der Wärmepreis für die Geowärme aus dem anlegbaren Ergaspreis für die Geowärmeversorgung der drei Wohngebiete. Es handelt sich um den Mindestwärmepreis, da er nur die Kosten zur Geowärmeversorgung deckt und keine Vergütung der Geowärme berücksichtigt.

Wärmepreis 4,1 Ct/kWh_{th}

Die Summe aus den Strom- und Wärmeerlösen berechnet sich für die drei Varianten wie folgt.

		Variante 1 Stromerlöse stromgeführt	Variante 2 Strom- und Wärmeerlöse stromgeführt	Variante 3 Strom- und Wärmeerlöse wärmegeführt
Investitionskosten	€	0	0	0
Kapitalkosten	€/a	0	0	0
Verbrauchskosten	€/a	489.662	489.662	402.707
Betriebskosten	€/a	0	0	0
Summe Kosten	€/a	489.662	489.662	402.707
Stromgutschrift	€/a	3.446.280	3.446.280	2.385.792
Wärmegutschrift	€/a	0	307.389	438.700
Summe Erlöse	€/a	3.446.280	3.753.669	2.824.492
Jahresüberschuss	€/a	2.956.618	3.264.007	2.421.785

Tabelle 9-3 Strom- und Wärmeerlöse

Der Variantenvergleich zeigt, dass der größte Jahresüberschuss mit einem stromgeführten Betrieb der Anlage in Verbindung mit einer Restwärmenutzung der Geowärme erzielt wird. Da zur Wärmeversorgung die drei Fernwärmenetze der Wohngebiete und das Krankenhaus herangezogen wurden, deren Jahreswärmebedarf mit 10.700 MWh_{th}/a im Vergleich zur Jahresgeowärmemenge mit etwa 57.710 MWh_{th}/a auf einem Temperaturniveau von 72-76/50 °C gering ist, ist kein höherer Jahresüberschuss als in Variante 2 zu erwarten. Durch zusätzliche Wärmeabnehmer, wie z. B. das Gewerbegebiet, die nicht nur Heizwärme sondern ganzjährig Wärme auf einem niedrigerem Temperaturniveau (kleiner 100 °C) benötigen, können sich die Wärmeerlöse günstiger auswirken.

10 Abschätzung des notwendigen Förderbedarfs

Zur geothermischen Stromerzeugung wird davon ausgegangen, dass das Thermalwasser nach der Wärmeauskopplung für den Kraftwerksprozess ungenutzt wieder ins Erdreich zurückgeführt wird. Dazu wird theoretisch ein spezifischer Wärmepreis von 0 Ct/kWh_{th} der ungenutzten Geowärme zugeordnet.

Durch die Wärmeauskopplung des Thermalwassers nach dem Kraftwerksprozess zur Fernwärmeversorgung wird die zusätzliche Nutzung mit 1 Ct/kWh_{th} als spezifischer Wärmepreis bewertet. Unter dieser Bedingung wird die Größenordnung möglicher Fördermittel zur Geowärmeversorgung der beiden vorhandenen Fernwärmeversorgungsgebiete (Quartier Vauban sowie Eutzinger Straße und Cité Dagobert) und des Krankenhauses wie folgt bestimmt. Ein Tilgungszuschuss für das Wärmenetz über die KfW-Bank kann nicht berücksichtigt werden, da der Eigentümer der geplanten Anlage nicht antragsberechtigt ist.

Jahreskosten Geowärmeversorgung	340.374 €/a
vermiedener Erdgasverbrauch	5.902 MWh _{H₀} /a
Erdgaspreis	4 Ct/kWh _{H₀}
jährliche Erdgaskosten	236.085 €/a
Mehrkosten Geowärme	104.289 €/a
Zinssatz	6 %
Betrachtungszeit	10 a
Annuitätsfaktor	0,0103 1/a
Mehrinvestitionskosten	1.012.887 €
Anteil Fördermittel an Investition	38 %

Um Kostengleichheit für die Geowärmelieferung an die beiden vorhandenen Fernwärmeversorgungsgebiete zu erreichen, wäre eine Förderung von rund 38 % als Zuschuss für die Investitionskosten erforderlich, wenn die Geowärme zu einem Wärmepreis von 1 Ct/kWh_{th} bereitgestellt wird. Es besteht keine Möglichkeit über die KfW-Bank einen Tilgungszuschuss für das Wärmenetz zu beantragen, da der Eigentümer der geplanten Anlage nicht antragsberechtigt ist.

11 Zusammenfassung

Die Realisierung eines Geothermiekraftwerkes in Landau schreitet voran, sodass Konzepte zur Nutzung großer Wärmemengen gefragt sind. Nach der Stromerzeugung im Geothermiekraftwerk steht Restwärme des Thermalwassers mit etwa 70 °C noch zur weiteren Nutzung in der Wärmeversorgung zur Verfügung.

Der Standort der Bohrung befindet sich auf dem ehemaligen Gelände der Panzerwerkstätten am südlichen Stadtrand von Landau. Auf den benachbarten Konversionsgebieten entstehen Neubaugelände sowohl für Wohnhäuser als auch für Gewerbebetriebe. Zwei Fernwärmenetze sind für jeweils ein Wohngebiet schon vorhanden. In etwa 1 km Entfernung befindet sich außerdem ein Gewerbegebiet.

Zur Geowärmeversorgung der Wohngebiete und des Vinzentius-Krankenhauses wurden zunächst die Wärmeleistung, der Jahreswärmebedarf und das Temperaturniveau in den vorhandenen Fernwärmenetzen zusammengestellt und Daten für das Neubaugebiet Estienne et Foch abgeschätzt. Mit diesen Daten wurde überschlägig ermittelt, dass die Geowärme etwa 63 % des Jahreswärmebedarfs der Wohngebiete ohne das Krankenhaus abdecken kann, während die restliche Menge von den Heizkesseln in den Heizzentralen als Spitzenlast bereitzustellen ist. Allerdings können mit der Wärmeversorgung der Wohngebiete und des Krankenhauses nur rund 13 % der Geowärme genutzt werden. Dies beruht im Wesentlichen darauf, dass die benötigten Netztemperaturen höher als die Temperatur der Geowärme sind und im Jahreslastgang hauptsächlich in den Wintermonaten Wärme benötigt wird. Deswegen ist eine Wärmenutzung in den Sommermonaten bzw. antizyklisch zur Raumheizung von besonderem Interesse.

Um die nutzbare Geowärme zu erhöhen, bietet sich als weiterer Wärmeabnehmer das Gewerbegebiet an. Am Beispiel einer Klärschlamm-trocknung auf einem niedrigen Temperaturniveau von ca. 50 °C könnte sich für einen ganzjährigen Betrieb die Nutzung von Geowärme auf insgesamt etwa 21 % erhöhen.

Demnach beträgt das freie Wärmepotential rund 46.000 MWh_{th}/a.

Zur ökologischen Bewertung der Geowärmeversorgung in den Wohngebieten und in dem Gewerbegebiet wurde eine Kohlendioxid-Äquivalent-Emissionsbilanz durchgeführt. Mit der Geowärmeversorgung der Fernwärmenetze in den Wohngebieten und im Krankenhaus können insgesamt rund 2.000 t/a CO₂-Äquivalent-Emissionen eingespart werden.

Aufgrund einer großen Geowärmeabnahme im Gewerbegebiet, die durch die Klärschlamm-trocknung unterstellt wurde, können zusammen mit den Wohngebieten und dem Krankenhaus rund 3.000 t/a CO₂-Äquivalent-Emissionen eingespart werden. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass die Ansiedlung einer Klärschlamm-trocknung im Gewerbegebiet wegen einer kostengünstigen Wärmeversorgung mit Geowärme erfolgen würde. Deswegen dürften nur die CO₂-Äquivalent-Emissionen durch den Hilfsenergiebedarf Strom zur Geowärmelieferung herangezogen werden, sodass sich demnach die CO₂-Äquivalent-Emissionen um 13 t/a erhöhen würden.

Für die Geowärmeversorgung der Wohngebiete und des Gewerbegebiets wurde eine Wirtschaftlichkeit hinsichtlich der Konkurrenzfähigkeit gegenüber konventionellen Anlagen durchgeführt. Dazu wurden die Jahreskosten zur Geowärmeversorgung ohne jährliche Kosten zur Geowärmelieferung den eingesparten Erdgaskosten in der Heizzentrale gegenübergestellt. Unter Annahme einer Kostengleichheit als Mindestanforderung wurde dann in Bezug auf die eingesparte Erdgasmenge ein anlegbarer Erdgaspreis bestimmt.

Für die beiden vorhandenen Fernwärmeversorgungsgebiete und das Vinzentius-Krankenhaus (Quartier Vauban und eutzinger Straße, Cité Dagobert, Universitäts-Außenstelle) ergab sich mit 5,5 Ct/kWh_{h₀} der höchste anlegbare Erdgaspreis. Es ist u. a. darauf zurückzuführen, dass sie vom Standort des Geothermiekraftwerks weiter entfernt sind als das Neubaugebiet Estienne et Foch. Im Endausbau des Neubaugebiets würde der anlegbare Erdgaspreis 3,8 Ct/kWh_{h₀} für alle drei Fernwärmeversorgungsgebiete und das Krankenhaus betragen. Damit wäre die Anbindung des Neubaugebiets aus wirtschaftlicher Sicht von Bedeutung.

Die Geowärmeversorgung erreicht mit einem Ausbau von über 75 % des Neubaugebiets und mit dem Krankenhaus Kostengleichheit mit dem derzeitigen Erdgaspreis von ca. 4 Ct/kWh_{h₀} in den Heizzentralen der einzelnen Fernwärmeversorgungsgebiete.

Unter Einbeziehung des Gewerbegebiets würde abhängig von den Vollbenutzungsstunden des Wärmebedarfs ein anlegbarer Erdgaspreis zwischen 4,6 und 3,3 Ct/kWh_{th} liegen. Dies zeigt, dass ein ganzjährig hoher Jahreswärmebedarf die Wirtschaftlichkeit beeinflusst.

In einer Sensitivitätsanalyse wurde geprüft, wo sich das wirtschaftliche Optimum aus Strom- und Wärmeverkauf eines Geothermiekraftwerks einstellt. Für die Geowärmenutzung sind der Jahreswärmebedarf und das benötigte Temperaturniveau entscheidend, denn die Geowärme ist durch eine große Jahreswärmemenge gekennzeichnet. Als Wärmeanwendung wurde die Versorgung der Wohngebiete zu Grunde gelegt. Es wurden folgende Varianten untersucht.

Variante 1: Stromerlöse bei stromgeführten Betrieb

Variante 2: Strom- und Wärmeerlöse bei stromgeführten Betrieb

Variante 3: Strom- und Wärmeerlöse bei wärmegeführten Betrieb

Der Variantenvergleich zeigte, dass der größte Jahresüberschuss mit einem stromgeführten Betrieb der Anlage in Verbindung mit einer Restwärmenutzung der Geowärme erzielen würde. Da zur Wärmeversorgung die drei Fernwärmenetze der Wohngebiete und das Krankenhaus herangezogen wurden, deren Jahreswärmebedarf mit 10.700 MWh_{th}/a im Vergleich zur Jahresgeowärmemenge mit etwa 57.710 MWh_{th}/a auf einem Temperaturniveau von 72-76/50°C gering ist, ist kein höherer Jahresüberschuss als in Variante 2 zu erwarten. Durch zusätzliche Wärmeabnehmer, wie z. B. das Gewerbegebiet, die nicht nur Heizwärme sondern ganzjährig Wärme auf einem niedrigerem Temperaturniveau (kleiner 100°C) benötigen, können sich die Wärmeerlöse günstiger auswirken.

Damit sich bei der Umsetzung der Geowärmeversorgung in den beiden vorhandenen Fernwärmeversorgungsgebieten und des Krankenhauses eine Kostengleichheit einstellen kann, wären Fördermittel in Höhe von 38 % der Investitionskosten notwendig.

