CLIMATE CHANGE
31/2020

# Kommunaler Klimaschutz durch Verbesserung der Effizienz in der Fernwärmeversorgung mittels Nutzung von Niedertemperaturwärme-quellen am Beispiel tiefengeothermischer Ressourcen

## Anhang

Für Mensch & Umwelt

Umwelt Bundesamt

CLIMATE CHANGE 31/2020

Umweltforschungsplan des
Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz und nukleare Sicherheit

Forschungskennzahl 3715 41 112 0
FB00442/ANH

# Kommunaler Klimaschutz durch Verbesserung der Effizienz in der Fernwärmeversorgung mittels Nutzung von Niedertemperaturwärmequellen am Beispiel tiefengeothermischer Ressourcen

Anhang

von

Matthias Sandrock, Christian Maaß, Simona Weisleder, Hilmar Westholm, Wolfgang Schulz
HIC Hamburg Institut Consulting GmbH, Hamburg

Geraldine Löschan, Christina Baisch, Horst Kreuter, Dorothea Reyer
GeoThermal Engineering GmbH, Karlsruhe

Dirk Mangold, Mathieu Riegger, Christian Köhler
Solites Steinbeis Forschungsinstitut für solare und zukunftsfähige thermische Energiesysteme, Stuttgart

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

## Impressum

**Herausgeber:**
Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
buergerservice@uba.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

/umweltbundesamt.de
/umweltbundesamt

**Durchführung der Studie:**
HIC Hamburg Institut Consulting GmbH
Paul-Nevermann-Platz 5
22765 Hamburg

GeoT GeoThermal Engineering GmbH
Baischstr. 8
76133 Karlsruhe

Solites Steinbeis Forschungsinstitut für solare und zukunftsfähige thermische Energiesysteme
Meitnerstr. 8
70563 Stuttgart, Germany

**Abschlussdatum:**
April 2018

**Redaktion:**
Fachgebiet V 1.3 Erneuerbare Energien
Dr. Andreas Bertram

Publikationen als pdf:
http://www.umweltbundesamt.de/publikationen

ISSN 1862-4359

Dessau-Roßlau, Oktober 2020

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

# Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis ..... 2
A.1 Berechnungsrandbedingungen der exergetischen Untersuchungen ..... 3
A.1.1 Kennwerte der betrachteten Wärmenetze ..... 3
A.1.2 Allgemeine Berechnungsrandbedingungen ..... 3
A.1.3 Kennwerte der Gasbrennwerttherme ..... 4
A.1.4 Kennwerte des Gas-BHKWs ..... 4
A.1.5 Kennwerte des Holzpelletkessels ..... 5
A.1.6 Kennwerte der solarthermischen Wärmeerzeugung ..... 5
A.1.7 Kennwerte der industriellen Abwärmenutzung ..... 6
A.1.8 Kennwerte der Wärmepumpe mit oberflächennahen Erdwärmesonden ..... 7
A.1.9 Kennwerte der tiefen Geothermie und der zugehörigen Aufwertungsoptionen ..... 7
A.2 Projektdatenblätter Geothermie-Projekte ..... 9
A.2.1 Unterhaching ..... 9
A.2.2 Neustadt-Glewe ..... 15
A.2.3 Waren (Müritz) ..... 20
A.2.4 Erding ..... 24
A.2.5 AFK (Aschheim, Feldkirch, Kirchheim) ..... 28
A.2.6 Kirchweidach ..... 33
A.2.7 Arnsberg ..... 37
A.2.8 Pariser Becken ..... 40
A.2.9 Riehen ..... 48
A.3 Projektdatenblatt Solarthermie ..... 54
A.3.1 Projektdatenblatt „Solare Nahwärme Crailsheim Hirtenwiesen 2“ ..... 54
A.4 Projektdatenblatt Industrielle Abwärme ..... 58
A.4.1 Projektdatenblatt „Raffinerieabwärme Karlsruhe“ ..... 58

# Anhang

## A.1 Berechnungsrandbedingungen der exergetischen Untersuchungen

### A.1.1 Kennwerte der betrachteten Wärmenetze

Tabelle 1: Kennwerte der betrachteten Wärmenetze

| | Wert | Einheit | Bemerkung | Quelle |
|---|---|---|---|---|
| HSB Primär | 1 | % | | Annahme basierend auf AGFW 2010: Arbeitsblatt 309-1, Abschnitt 3.3 |
| HSB Sekundär | 1,5 | % | Durchschnitt | AGFW 2010: Arbeitsblatt 309-1, Abschnitt 3.3 |
| HSB LowEx | 2 | % | | Annahme basierend auf AGFW 2010: Arbeitsblatt 309-1, Abschnitt 3.3 |
| WV Primär | 14 | % | | Annahme basierend auf AGFW 2016: Hauptbericht der Fernwärmeversorgung |
| WV Sekundär | 12 | % | Durchschnitt | AGFW 2016: Hauptbericht der Fernwärmeversorgung |
| WV LowEx | 9 | % | | Annahme basierend auf AGFW 2016: Hauptbericht der Fernwärmeversorgung |
| Netzwärmebedarf | 1000 | MWh | | Annahme |

### A.1.2 Allgemeine Berechnungsrandbedingungen

Tabelle 2: Allgemeine Berechnungsrandbedingungen

| | Wert | Einheit | Bemerkung | Quelle |
|---|---|---|---|---|
| CO2-Emissionsfaktor des deutschen Strommix | 0,565 | t/MWh | CO2-Äquivalent; inklusive Vorkettenemissionen | GEMIS (2017): „Stromnetz-lokal 2015“ |
| PE-Faktor Strom-Mix | 2,8 | | gesamt | DIN V 18599-1 und EnEV (2017) |
| | 1,8 | | davon fossil | |
| Grädigkeit | 2 | K | bei Flüssigkeiten | Annahme |
| | 5 | K | bei Gasen | Annahme |
| Jahresmitteltemperatur | 4,2 | °C | gewichtet nach Heizgradtagen | Berechnet aus Wetterdaten für Deutschland |
| Raumtemperatur | 20 | °C | | Annahme |
| TWW-Temperatur | 43 | °C | | DIN EN 806-2 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Mittlere Nutztemperatur | 24,5 | °C | gewichtet (80% Heizen/20% TWW) | Berechnet |
| Wärmeverluste in der Heizzentrale | 2 | % | | Annahme |

## A.1.3 Kennwerte der Gasbrennwerttherme

Tabelle 3: Kennwerte der Gasbrennwerttherme

| | Wert | Einheit | Bemerkung | Quelle |
|---|---|---|---|---|
| Jahresnutzungsgrad Wärmenetz 2. Generation | 0,86 | | Abstufung aufgrund Abgas-temperatur und Brennwerteffekt | Annahme basierend auf Hertle et al. (2016) |
| 3. Generation | 0,87 | | | |
| 4. Generation | 0,89 | | | |
| Hilfsstrombedarf | 1 | % | in Prozent der erzeugten Wärme | |
| $CO_2$-Emissionsfaktor Gas | 0,234 | t/MWh | Vorkettenemissionen „Erdgas-DE-mix frei KW/IN“ i.H.v. 0,033 t/MWh gemäß GEMIS (2017) und Brennstoffemissionen i.H.v. 0,201 t/MWh bzw. 55,9 t /TJ gemäß Juhrich (2016) | GEMIS (2017) und Juhrich (2016) |
| Primärenergiefaktor | 1,1 | | | EnEV (2017) |
| Rauchgastemperatur | 800 | °C | Eintrittstemperatur Rauchgas in Wärmetauscher | Annex 49 Cascadia Tool |

## A.1.4 Kennwerte des Gas-BHKWs

Tabelle 4: Kennwerte des Gas-BHKWs

| | Wert | Einheit | Bemerkung | Quelle |
|---|---|---|---|---|
| Jahresnutzungsgrad Wärmenetz 2. Generation | 0,42 \| 0,45 | | elektrisch \| thermisch Abstufung aufgrund Abgas-temperatur und Brennwerteffekt | Ermittelt aus ASUE (2011b) |
| Wärmenetz 3. Generation | 0,42 \| 0,47 | | | |
| Wärmenetz 4. Generation | 0,42 \| 0,49 | | | |
| Hilfsstrombedarf | 1 | % | in Prozent der erzeugten Wärme | |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| $CO_2$-Emissionsfaktor Gas | 0,234 | t/MWh | Vorkettenemissionen „Erdgas-DE-mix frei KW/IN“ i.H.v. 0,033 t/MWh gemäß GEMIS (2017) und Brennstoff-emissionen i.H.v. 55,9 t /TJ bzw. 0,201 t/MWh gemäß Juhrich (2016) | GEMIS (2017) und Juhrich (2016) |
| Primärenergiefaktor | 1,1 | | | DIN V 18599-1 |
| Auskopplungstemperatur | 295 | °C | Annahmen für Gasmotor-BHKW: 50 % Abwärme bei 500 °C (Abgas), 50 % Abwärme bei 90 °C (Motorkühlung | Ermittelt aus ASUE (2010) |

## A.1.5 Kennwerte des Holzpelletkessels

Tabelle 5: Kennwerte des Holzpelletkessels

| | Wert | Einheit | Bemerkung | Quelle |
|---|---|---|---|---|
| Jahresnutzungsgrad Wärmenetz 2. Generation | 0,77 | | Abstufung aufgrund Abgastemperatur und Brennwerteffekt | Annahme basierend auf Hertle et al. (2016) |
| Wärmenetz 3. Generation | 0,80 | | | |
| Wärmenetz 4. Generta-tion | 0,83 | | | |
| $CO_2$-Emissionsfaktor | 0,070 | t/MWh | Direkte Emissionen inkl. Vorkettenemissionen | Memmler et al. (2017) |
| Primärenergiefaktor | 1,2 | | gesamt | DIN V 18599-1 |
| | 1 | | davon erneuerbar | |
| Hilfsstrombedarf | 2 | % | in Prozent der erzeugten Wärme | Gemis 4.9.4 |

## A.1.6 Kennwerte der solarthermischen Wärmeerzeugung

Tabelle 6: Kennwerte der solarthermischen Wärmeerzeugung

| | Wert | Einheit | Bemerkung | Quelle |
|---|---|---|---|---|
| Wärmeverluste Wärmenetz 2. Generation | 20 | % | Verluste für Speicherung und Leitung in Heizzentrale (kein Langzeitspeicher) | Annahme |
| Wärmenetz 3. Generation | 15 | % | | |
| Wärmenetz 4. Generation | 10 | % | | |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| $CO_2$-Emissionsfaktor | 0,025 | t/MWh | Vorkettenemissionen (direkte Emissionen sind nicht vorhanden) | Memmler et al. (2017) |
| Primärenergiefaktor | 1 | | gesamt | DIN V 18599-1 |
| | 1 | | davon erneuerbar | |
| Hilfsstrombedarf | 3 | % | in Prozent der erzeugten Wärme | Annahme |
| Temperatur | 94 | | Vorlauftemperatur-Netz + 4 K | Annahme |

## A.1.7 Kennwerte der industriellen Abwärmenutzung

Tabelle 7: Kennwerte der industriellen Abwärmenutzung

| | Wert | Einheit | Bemerkung | Quelle |
|---|---|---|---|---|
| Wärmeverluste primär | 13 | % | Verluste für Speicherung und Leitung in Heizzentrale (kein Langzeitspeicher) | Annahme |
| sekundär | 10 | % | | |
| Low-Ex | 7 | % | | |
| $CO_2$-Emissionsfaktor | 0 | t/MWh | Annahme für die Nutzung andernfalls „verlorener“ Wärme, wobei sich die Wärmenutzung nicht negativ auf den Energieverbrauch des Industrieprozesses auswirkt. | Annahme |
| Primärenergiefaktor | 1 | | gesamt | Annahme |
| | 1 | | davon erneuerbar | |
| Hilfsstrombedarf | 1 | % | in Prozent der beförderten Wärme | Annahme basiert auf Hertle et al. (2016) |
| Temperatur | 124 | °C | bei Eintritt in Heizzentrale | Annahme |

## A.1.8 Kennwerte der Wärmepumpe mit oberflächennahen Erdwärmesonden

Tabelle 8: Kennwerte der Wärmepumpe mit oberflächennahen Erdwärmesonden

| | Wert | Einheit | Bemerkung | Quelle |
|---|---|---|---|---|
| Quelltemperatur | 5 | °C | | Annahme |
| Gütegrad | 0,55 | | auf internen Prozess bezogen | Annahme |
| $CO_2$-Emissionsfaktor | 0,032 | t/MWh | Vorkettenemissionen (direkte Emissionen sind nicht vorhanden) | Memmler et al. (2017) |
| Primärenergiefaktor | 1 | | gesamt | DIN V 18599-1 |
| | 1 | | davon erneuerbar | |
| Hilfsstrombedarf (mit Ausnahme der Antriebsenergie des Wärmepumpen-verdichters) | 3 | % | in Prozent der erzeugten Wärme | Annahme |

## A.1.9 Kennwerte der tiefen Geothermie und der zugehörigen Aufwertungsoptionen

Tabelle 9: Kennwerte der tiefen Geothermie und der zugehörigen Aufwertungsoptionen

| | Wert | Einheit | Bemerkung | Quelle |
|---|---|---|---|---|
| $CO_2$-Emissionsfaktor | 0,00073 | t/MWh | | Memmler et al. (2017) |
| Primärenergiefaktor | 1 | | gesamt | EnEV (2017) |
| | 1 | | davon erneuerbar | EnEV (2017) |
| Förderhöhe der Tief-/Förderpumpe | 600 | m | unabhängig von Bohrtiefe und Fördertemperatur | Annahme |
| Wirkungsgrad Tief-/Förderpumpe | 0,8 | | | Annahme |
| Fördertemperatur | 64 | °C | ~ Tiefe von ca. 2000 m | Annahme |
| Reinjektions-temperatur | 35 | °C | | Annahme |
| Fördertemperatur | 94 | °C | ~ Tiefe von ca. 3000 m | Annahme |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Reinjektions-temperatur | 65 | °C | | Annahme |
| Hilfsstrombedarf Gasmotorwärme-pumpe | 2 | % | | Annahme |
| Hilfsstrombedarf Sorptionswärme-pumpe | 2 | % | | Annahme |
| Gütegrad Sorptions-wärmepumpe | 0,7 | - | auf internen Prozess bezogen | Annahme |
| Hub-/Schub-Verhältnis der Sorp-tionswärmepumpe | 2/3 | - | | Annahme |
| Hilfsstrombedarf Wärmetransformator | 3 | % | ohne Thermal-wasserförderung | Annahme |
| Gütegrad Wärmetransformator | 0,7 | | auf internen Prozess bezogen | Annahme |

# A.2 Projektdatenblätter Geothermie-Projekte

## A.2.1 Unterhaching

Projektdatenblatt „Unterhaching“

| **Stammdaten** | | | |
|---|---|---|---|
| **Projektname** | **Ort** | **Bundesland** | |
| Geothermie Unterhaching | Unterhaching | Bayern | |
| **Betreiber** | | **Projektbeginn** | **Betriebsbeginn** |
| Geothermie Unterhaching Produktions-GmbH & Co. KG | | 2002 | 2007 |
| **Gesellschafter** | | | |
| Erdwärme Grünwald GmbH (EWG) (seit 12/2017: 95 %),<br>Gemeinde Unterhaching (seit 12/2017: 5 %) | | | |

| **Geothermische Quelle** | | | |
|---|---|---|---|
| **Provinz** | **Zielhorizont** | **Reservoirtyp** | **Chemismus (TDS)** |
| Molassebecken | Malm | Karstaquifer | 0,4-0,6 g/l |

| **Erschließungskonzept** | | |
|---|---|---|
| **Schema** | **Pumpensystem** | **Pumpenleistung** |
| Dublette | ESP | 1,5 MW |

| | **1. Bohrung** | **2. Bohrung** | **Besonderheiten** |
|---|---|---|---|
| **Art** | Produktion | Injektion | |
| **$T_{Bohrlochkopf}$** | 122 °C | 133 °C | Temperatur gemessen bei Fördertest. Reinjektionstemperatur liegt bei 57-63 °C. |
| **$Q_{Betrieb}$** | 140 l/s | 200 l/s | Förderrate gemessen bei Fördertest. Reinjektionsrate im Betrieb liegt bei 133 l/s (gleiche Masse wie Produktionsrate, allerdings – da kälter – geringeres Volumen). |
| **Bohrteufe** | 3.350 m TVD | 3.580 m TVD | |
| **Filterstrecke** | 2.986 – 3.350 m | 2.973 – 3590 m | |
| **Enddurchmesser** | 7 5/8“ slotted liner | 9 5/8“ open hole | |

| **Energetisches Konzept** |
|---|
| **Nutzungskonzept** |
| Seit 2009: Kraft-Wärme-Kopplung, wärmegeführt,<br>Stilllegung des Kalina-Kraftwerks für 2018 geplant. |

| Installierte Leistung Strom | Installierte Leistung Wärme | Davon aus Geothermie |
|---|---|---|
| 3,36 MW | 85 MW | 38 $MW_{th}$ |
| **Weitere Energieträger** | **Leistung** | **Details Einbindung** |
| Fossiles Redundanzwerk | 2 x 23,5 MW | 2 heizöl-/gasbetriebene Kessel sowie zusätzliches gasbetriebenes BHKW zur Eigenstromerzeugung (2 $MW_e$), 2 $MW_{th}$ aus BHKW werden ganzjährig ins Fernwärmenetz eingespeist |

| Temperaturanhebung [K] | Art (z.B. Wärmepumpe) | Leistung | Energiequelle |
|---|---|---|---|
| Keine Temperaturanhebung notwendig | - | - | - |

**Wärmespeicher**

Im Bedarfsfall die Verbundleitung Grünwald – Unterhaching (20 MW); Volumen 727 $m^3$

**Abnehmerstruktur**

| Abnehmer | Temperaturniveau Vorlauf | Rücklauf | Leistung aus Geothermie | Bemerkungen |
|---|---|---|---|---|
| Stromerzeugung | 120 °C | 63 °C | 3,36 $MW_e$ | Kalina |
| Fernwärme | 90 - 115 °C | 57 - 62 °C | 38 $MW_{th}$ | Größter Abnehmer: Campeon-Gelände (7 MW) |

**Wärmenetz**

| Gesamtlänge | Länge Bestand | Länge Neubau |
|---|---|---|
| 42,5 km | 0 km | 42,5 km |

| Hausanschlüsse Bestand | neu | Anschlussquote Bestand | neu | Leistung der Speisepumpen |
|---|---|---|---|---|
| - | ca. 7.000 Haushalte / 14.000 Einwohner | - | › 50 % des Wärmebedarfs des Netzes durch Geothermie gedeckt | 400 kW |

| Vorlauftemperatur | Rücklauftemperatur | Durchmesser | Druckstufe |
|---|---|---|---|
| Variabel je nach Strom- und Wärmebedarf | | DN 20 - 450 | PN 25 |

**Details zur Netzeinbindung /Einspeisevariante (RL->RL, RL->VL, VL->VL[1])**

Einspeisevariante: RL-VL /
Redundante Umwälzpumpe innerhalb des Heizwerks zur Speisung des Wärmenetzes

**Vergleich Planung – Aktueller Ausbau**

| | Gesamte jährlich in das Wärmenetz eingespeiste Wärmemenge [GWh/a] | Anteil Geothermie [%] | Vorlauf-temperatur [°C] | Rücklauf-temperatur [°C] |
|---|---|---|---|---|
| **Geplanter Endausbau** | 170 | 95% | Sommer 90 -95 °C Winter 100 – 115 °C | 57 - 62 °C |
| **Aktueller Ausbau** | 116 | 95% | Sommer 90 -95 °C Winter 100 – 115 °C | 57 - 62 °C |

**Ökonomie / Ökologie**

| Investitionskosten | Davon Kraftwerk | Davon Heizzentrale | Davon Netzausbau | Besonderheiten |
|---|---|---|---|---|
| ca. 100 Mio. Euro | ca. 16 Mio. Euro | ca. 6 Mio. Euro | ca. 50 Mio. Euro | |

**Finanzierung und Förderung**

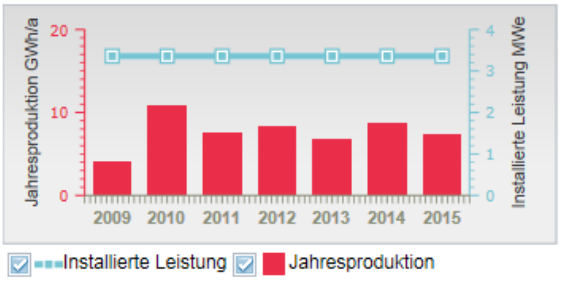
- Zuschuss aus dem ZIP-Programm (Bundesregierung)
- Zuschuss für Fündigkeitsversicherung (Freistaat Bayern)
- Investitionszuschuss zur Förderung von Demonstrationsvorhaben: 1,2 Mio. EUR (BMU)
- Darlehen zur Förderung von Demonstrationsvorhaben: 22,4 Mio. EUR (BMU)
- F&E Zuwendung für Begleitforschung (BMU) : 696 Tsd. EUR
- Zuschüsse aus dem KfW-Programm für Erneuerbare Energien 3 Mio. EUR und Zuschuss LfA Bayern 90 Tsd. EUR
- Darlehen aus KfW-Programm für Erneuerbare Energien: 13,5 Mio. EUR

| Anlagenverfügbarkeit (technisches Potential) | Anlagen-Auslastung (Nutzungspotential) | Jahresproduktion geothermisch [GWh/a] |
|---|---|---|
| ca. 95 % (zweimal jährlich Unterbrechung zur Pumpensäuerung) | ca. 90 % (wegen Revisionszeiträumen in der Verstromungsanlage kein ganzjähriger Volllast-Betrieb möglich) | 74,71 (2014) |

[1] RL->RL: Rücklaufanhebung, d.h. Entnahme aus und Einspeisung in den Wärmenetzrücklauf
RL->VL: Anhebung auf Vorlauftemperatur, d.h. Entnahme im Rücklauf und Einspeisung in den Wärmenetzvorlauf
VL->VL: Vorlaufanhebung, d.h. Entnahme aus und Einspeisung in den Wärmenetzvorlauf

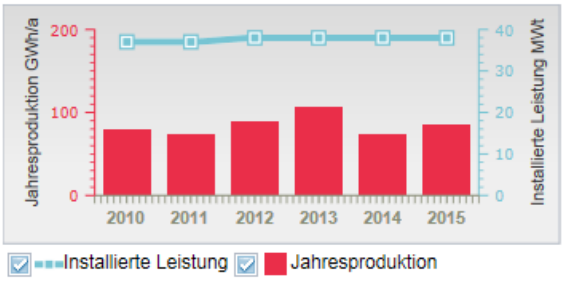
## Verlauf Jahresproduktion Geothermie

### Stromerzeugung




© Agemar (2014a, b)

### Direktwärmenutzung (Fernwärme)




© Agemar (2014a, b)

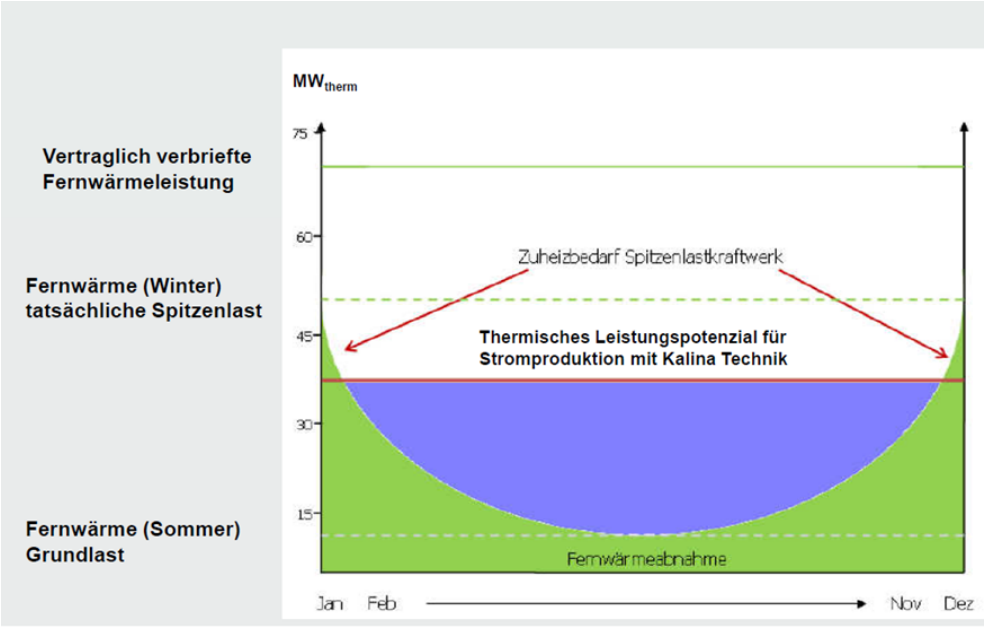
| Amortisation | Rendite (IRR) |
|---|---|
| ca. 20 Jahre | 5,1 – 8,2 % (2015)<br>Bilanzverlust von 790.000 € im Jahre 2016 |

| $CO_2$-Einsparung | Berechnungsmodell $CO_2$-Einsparung |
|---|---|
| Ø 24.674 t/Jahr (2008 – 2014) | Wärmeseite: Vergleich mit den $CO_2$-Emissionen der im lokalen Wärmemix Unterhaching verdrängten Wärmequellen / Stromseite: Vergleich mit bundesdeutschem Strommix |

## Sonstige Umwelteffekte

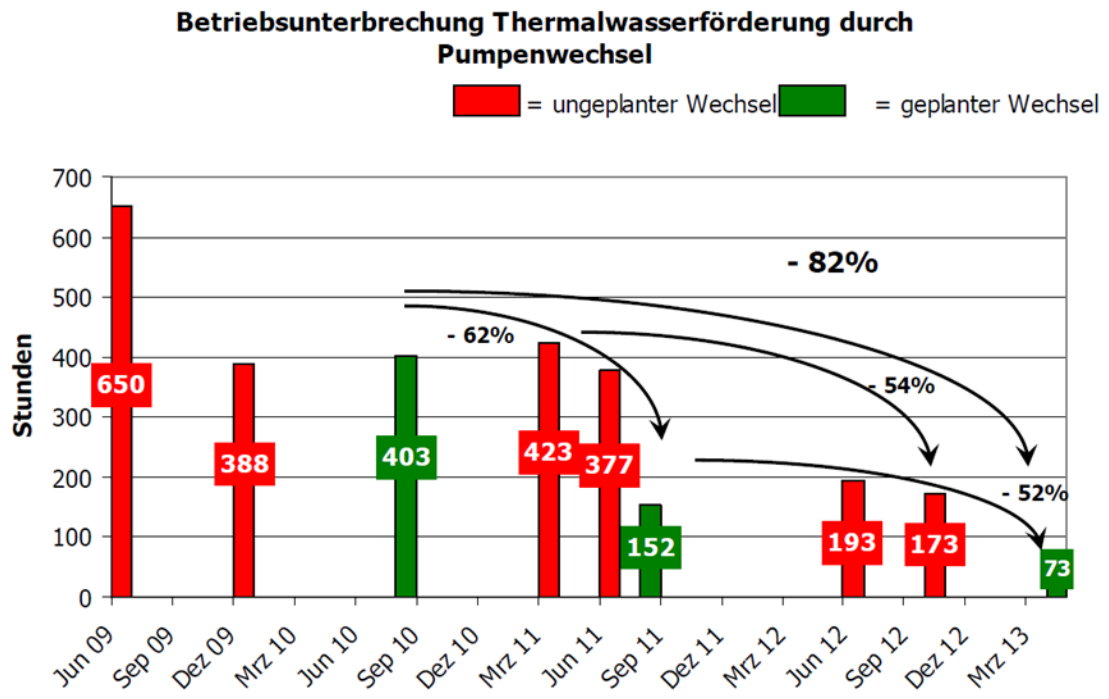
## Abbildungen

### Bedarfslinie und Wärmeproduktion im durchschnittlichen Jahresverlauf



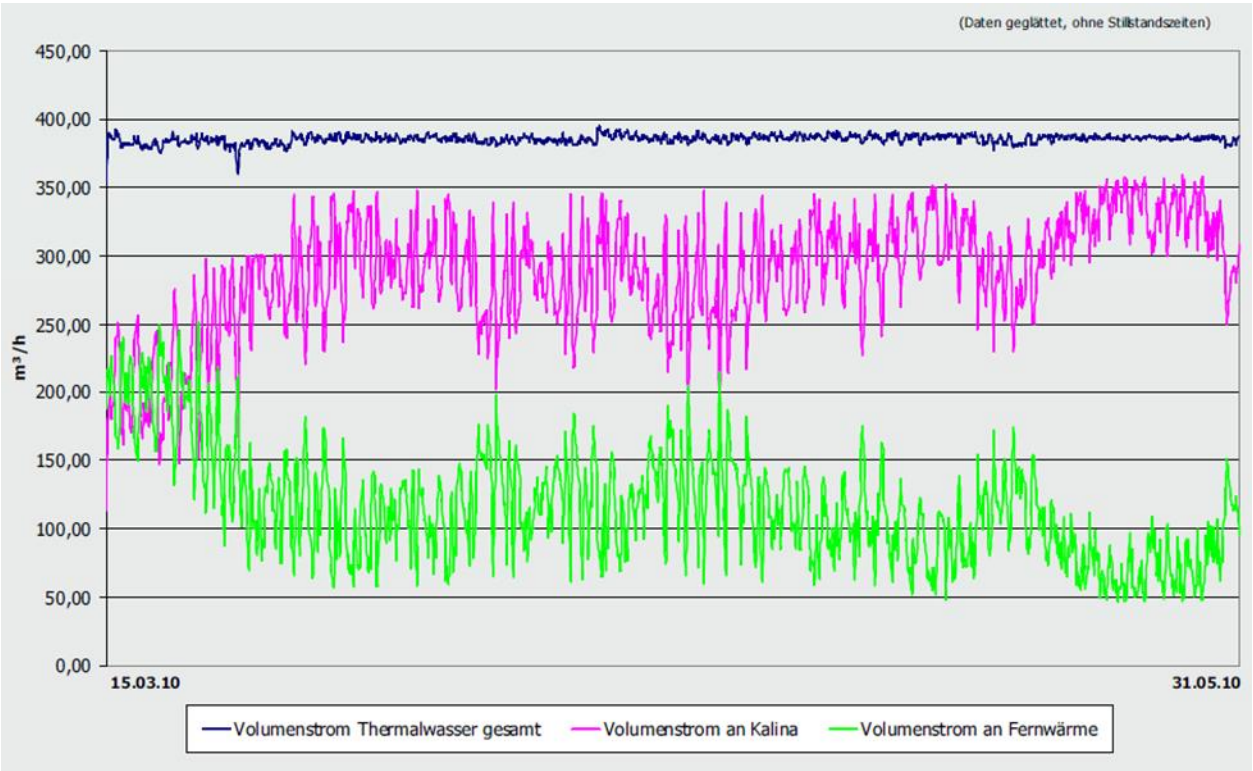

© Weimann (2012)

## Verbesserung der Verfügbarkeit durch zügige Pumpenwechsel




© Geisinger (2013)

## Thermalwasservolumenstrom, kombiniert aus Fernwärme und Stromerzeugung




© Weimann (2012)

## Besonderheiten

- Wärmegeführte Anlage, Parallele Thermalwassernutzung für Strom und Wärme von 2009-2017
- 2003 wurde die europaweit erste privatwirtschaftliche Fündigkeitsversicherung abgeschlossen
- Fernwärmeproduktion hatte immer oberste Priorität, im Winter deshalb gelegentlich Verzicht auf Stromproduktion und höhere Stromproduktion im Sommer
- Verbindungsleitung zur Geothermieanlage Laufzorn/Grünwald zur Sicherung der Fernwärmeversorgung bei Spitzenlast ohne fossiles Nachheizen zur weiteren Vermeidung von Emissionen
- Häufiger Pumpenausfall zum Projektbeginn durch technische Probleme und fehlende Erfahrungswerte
- Wiederholte Schwierigkeiten im Kalina-Kraftwerk, insbesondere in Hinblick auf defekte Dichtungen – daher Stilllegung des Kraftwerkes für 2018 geplant.
- In Unterhaching treten trotz Druckhaltung Ausfällungen auf. Die Ausfällungen sind (wie bei den meisten Projekten in der bayerischen Molasse) nur auf der warmen Seite des Kreislaufs zu beobachten. Sobald das Thermalwasser um etwa 5-10 K abgekühlt ist, hat sich das neue Gleichgewicht eingestellt, so dass es zu keinen weiteren Ausfällungen kommt.
- Die Anlagenverfügbarkeit liegt bei etwa 95 % (zweimal pro Jahr gibt es eine Betriebsunterbrechung zur Pumpensäuerung). Die Anlagen-Auslastung liegt bei etwa 90 %. Die Differenz erklärt sich aus den Revisionszeiträumen der Verstromungsanlage, während derer kein Volllastbetrieb möglich ist.

## Referenzen

- Agemar et al. (2014a; 2014b)
- Erdwärme Grünwald GmbH (2014)
- Geisinger (2013)
- Geisinger (2015)
- Merkur (2017b)
- Projektbroschüre Unterhaching (Geothermie Unterhaching GmbH & Co. KG; 2012)
- Projektwebsite Unterhaching (Geothermie Unterhaching GmbH & Co. KG; 2015a)
- Projektdatenblatt Unterhaching (Geothermie Unterhaching GmbH & Co. KG; 2015b)
- Richter (2011)
- Seibt und Thorwart (2011)
- Süddeutsche (2017a, b, c)
- Weimann (2012)

## A.2.2 Neustadt-Glewe

Projektdatenblatt „Neustadt-Glewe“

| **Stammdaten** | | | |
|---|---|---|---|
| **Projektname** | **Ort** | **Bundesland** | |
| Erdwärme Neustadt-Glewe | Neustadt-Glewe | Mecklenburg-Vorpommern | |
| **Betreiber** | | **Projektbeginn** | **Betriebsbeginn** |
| Erdwärme Neustadt-Glewe GmbH | | 1984 | 1995 |
| **Gesellschafter** | | | |
| Stadt Neustadt-Glewe (47 %), mea Energieagentur Mecklenburg-Vorpommern (Tochterunternehmen der WEMAG-Gruppe, (45 %), GTN Geothermie Neubrandenburg GmbH (8 %) | | | |

| **Geothermische Quelle** | | | |
|---|---|---|---|
| **Provinz** | **Zielhorizont** | **Reservoirtyp** | **Chemismus (TDS)** |
| Norddeutsches Becken | Oberer Keuper (Räth) | Poröser Sandstein | 220 g/l |

| **Erschließungskonzept** | | |
|---|---|---|
| **Schema** | **Pumpensystem** | **Pumpenleistung** |
| Dublette | ESP | 125 $kW_{el}$ |

| | **1. Bohrung** | **2. Bohrung** | **Besonderheiten** |
|---|---|---|---|
| **Art** | Produktion | Injektion | |
| **$T_{Bohrlochkopf}$** | 92-97 °C | 52-75 °C | Die technische Mindestlast der Unterwasserpumpe für eine ausreichende Motorenkühlung durch das Thermalwasser beträgt 40 m³/h (11 l/s). Diese Rate wird daher auch im Sommer aufrechterhalten, auch wenn der Fernwärmebedarf nur 20 m³/h beträgt. Es wird also „zu viel“ Wasser gefördert und damit Vor- und Rücklauftemperatur des Fernwärmenetzes mehr als nötig angehoben. Dadurch steigt auch die Injektionstemperatur auf bis zu 75 °C im Sommer. Im Winter kann die Injektionstemperatur hingegen auf 52 °C gesenkt werden. |
| **$Q_{Betrieb}$** | 11-30 l/s (40 m³/h Startlast im Sommer, 110 m³/h Volllast im Winter) | | Die Förderrate könnte noch bis auf 45 l/s gesteigert werden. Die Injektionsseite limitiert jedoch die Fließrate. Die Volllast-Rate kann nur unter Säuerung erreicht werden. Die reale Förder- und Reinjektionsrate beträgt aktuell maximal 25-28 l/s. |
| **Bohrteufe** | 2.450 m | 2.335 m | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Filterstrecke** | | 2.270,5-2.295 m: Edelstahl-Wickel-filter | Injektionsbohrung: 2.276-2.315 m unterschnittener Bereich mit Filterkies (1,5-2 mm stark) |
| **Enddurchmesser** | 8 ½“, 5“ Verrohrung | 8 ½“, 5“ Verrohrung | |

**Energetisches Konzept**

**Nutzungskonzept**

1995-2003: reine Wärmenutzung / 2003-2010: KWK, wärmegeführt /
ab 2010: reine Wärmenutzung

| Installierte Leistung Strom | Installierte Leistung Wärme | Davon aus Geothermie |
|---|---|---|
| 0,2 MW (2003-2010) | 14 MW | 4 MW |
| **Weitere Energieträger** | **Leistung** | **Details Einbindung** |
| Gas/Öl | 10,4 MW | Spitzen- und Reservelast |
| Gasbetriebenes BHKW | 140 $kW_{el}$ / 240 $kW_{th}$ | Eigenstromerzeugung |

| Temperaturanhebung [K] | Art (z.B. Wärmepumpe) | Leistung | Energiequelle |
|---|---|---|---|
| Nicht erforderlich | - | - | - |

**Wärmespeicher**

**Abnehmerstruktur**

| Abnehmer | Temperaturniveau Vorlauf | Temperaturniveau Rücklauf | Leistung aus Geothermie | Bemerkungen |
|---|---|---|---|---|
| Fernwärme | 85 °C | 50-70 °C | | Jahreszeitliche Schwankungen der Netztemperaturen |
| Wohngebäude | | | 9,1 MW Anschlussleistung | |
| Gewerbe | | | 2,2 MW Anschlussleistung | Neuanschluss eines großen Gewerbekunden mit 220 kW aktuell geplant. |

**Wärmenetz**

| Gesamtlänge | Länge Bestand | Länge Neubau |
|---|---|---|
| 15,7 km | 4 km | 11,7 km |

| Hausanschlüsse Bestand | Hausanschlüsse Neu | Anschlussquote Bestand | Anschlussquote neu | Leistung der Speisepumpen |
|---|---|---|---|---|
| 1.300 WE | 1.400 WE | | ca. 70 % | ca. 40 $kW_{el}$ (Eigenstrombedarf Geothermie insgesamt 168 $kW_{el}$) |

| Vorlauftemperatur | Rücklauftemperatur | Durchmesser | Druckstufe |
|---|---|---|---|
| 85 °C | 50-70 °C | DN250 | Druckstufe PN10 |

**Details zur Netzeinbindung /Einspeisevariante (RL->RL, RL->VL, VL->VL[2])**

RL->VL

**Vergleich Planung – Aktueller Ausbau**

| | Gesamte jährlich in das Wärmenetz eingespeiste Wärmemenge [GWh/a] | Anteil Geothermie [%] | Vorlauf-temperatur [°C] | Rücklauf-temperatur [°C] |
|---|---|---|---|---|
| Geplanter Endausbau | | | | |
| Aktueller Ausbau | ca. 18 | ca. 90 % | 85 °C | 50-70 °C |

**Ökonomie / Ökologie**

| Investitionskosten | Davon Kraftwerk | Davon Heizzentrale | Davon Netzausbau | Besonderheiten |
|---|---|---|---|---|
| ca. 12,4 Mio. Euro | 950.000 Euro | 5,9 Mio. Euro | 4,6 Mio. Euro | Kraftwerks-Bau und -Betrieb über eigene Gesellschaft |

**Finanzierung und Förderung**

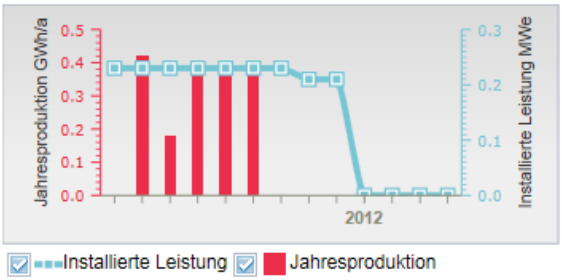
- Kredite: 50% der Erstinvestition von 18 Mio. DM
- Zuwendungen: 50% der Erstinvestition von 18 Mio. DM (u.a. Bundesministerium für Forschung und Technologie, Landeswirtschaftsministerium)
- KfW-Förderprogramm Nr. 271 und Landesförderprogramme für Netzausbau und Kundenstationen 2009

| Anlagenverfügbarkeit (technisches Potential) | Anlagen-Auslastung (Nutzungspotential) | Jahresproduktion geothermisch [GWh/a] |
|---|---|---|
| ca. 8520 h/a | Im Sommer beträgt der Wärmebedarf weniger als 1/5 des Bedarfs im Winter. Das verfügbare geothermische Potential wird daher im Sommer bei weitem nicht ausgenutzt, die Reinjektionstemperatur beträgt dann noch bis zu 75 °C. | 17,68 (2014) |

[2] RL->RL: Rücklaufanhebung, d.h. Entnahme aus und Einspeisung in den Wärmenetzrücklauf
RL->VL: Anhebung auf Vorlauftemperatur, d.h. Entnahme im Rücklauf und Einspeisung in den Wärmenetzvorlauf
VL->VL: Vorlaufanhebung, d.h. Entnahme aus und Einspeisung in den Wärmenetzvorlauf

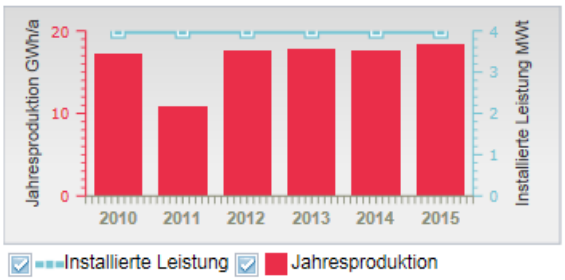
## Verlauf Jahresproduktion Geothermie

### Stromerzeugung




© Agemar (2014a, b)

### Direktwärmenutzung (Fernwärme)




© Agemar (2014a, b)

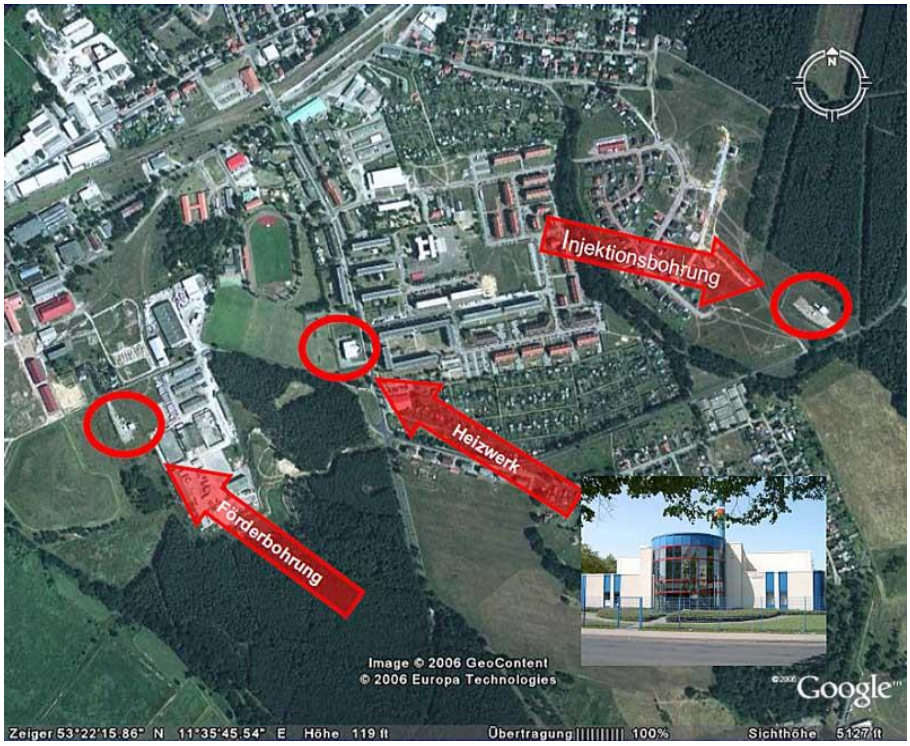
| Amortisation | Rendite (IRR) |
|---|---|
| 13 Jahre | |
| **$CO_2$-Einsparung** | **Berechnungsmodell $CO_2$-Einsparung** |
| Ø 2.700 t/Jahr | Im Vergleich zu Gasheizung |

### Sonstige Umwelteffekte

Einsparung von $SO_2$ und $NO_x$

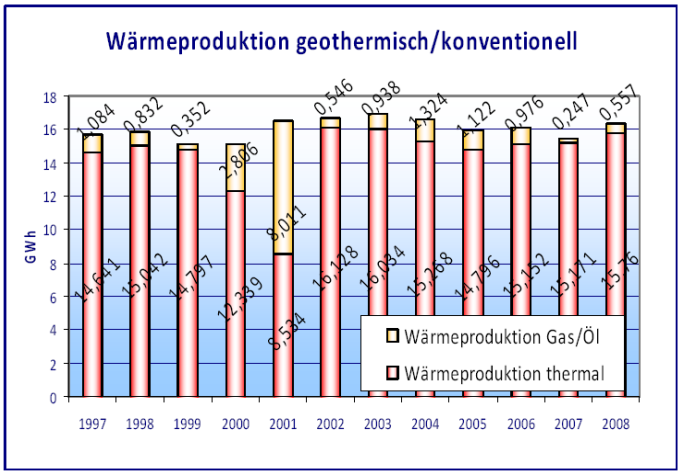
## Abbildungen

### Standort, Lage Betriebseinrichtungen




© Erdwärme Neustadt-Glewe GmbH (2015)

## Wärmeproduktion (1997-2008)




© Hinrichs (2009)

## Besonderheiten

- Einbettung des Projekts in das Klimaziel Neustadt-Glewes, bis 2030 $CO_2$-neutral zu sein
- Teilweise über 90% geothermisch erzeugte Wärme, als Spitzen- und Reservelast stehen 10.400 kW auf Gas-/Ölbasis (abhängig von Brennstoffpreisen) bereit
- Stromerzeugung 2003-2010, Abschaltung aufgrund technischen Defekts und zu hohen Reparatur- und Umbauaufwands
- Innenstadterschließung / Ausbau des Fernwärmenetzes ab 2009
- Scalebildungen an Anlagenteilen durch die hohe Salinität, v.a. Schwerspat und Blei; Korrosion von Pumpen-Dichtungen durch Eindringen von Thermalwasser 2001, seit 2012/2013 treten kaum noch Ausfällungen auf. Thema Scaling wird zurzeit noch weiter erforscht.
- Thema Radioaktivität in Ausfällungen ist ebenfalls aktuelles Forschungsthema
- Hoher $CO_2$-Anteil in der Gasphase, sonstige Gase: $N_2$,$CH_4$,$H_2$, Ar
- 10% des jährlichen Wärmeerlöses für Reparaturen, Wartung und Instandhaltung, Tendenz steigend

## Referenzen

- Agemar et al. (2014a; 2014b)
- BINE Informationsdienst (2015b)
- BMU (2009)
- Broßmann und Koch (2005)
- Erdwärme Neustadt-Glewe GmbH (2015)
- Hielscher (2015)
- Hinrichs (2009)
- Kayser und Kaltschmitt (1999)
- Lund und Chiasson (2007)
- Präsentation Erdwärme Neustadt-Glewe GmbH (2012)
- Schallenberg et al. (1999)
- Schallenberg und Menzel (1999)
- Seibt et al. (1999)

## A.2.3 Waren (Müritz)

Projektdatenblatt „Waren (Müritz)“

| **Stammdaten** | | | |
|---|---|---|---|
| **Projektname** | **Ort** | **Bundesland** | |
| Geothermie Waren (Müritz) | Waren | Mecklenburg-Vorpommern | |
| **Betreiber** | | **Projektbeginn** | **Betriebsbeginn** |
| Stadtwerke Waren GmbH | | 1982 | 1984 |
| **Gesellschafter** | | | |
| Stadt Waren (Müritz) | | | |

| **Geothermische Quelle** | | | |
|---|---|---|---|
| **Provinz** | **Zielhorizont** | **Reservoirtyp** | **Chemismus (TDS)** |
| Norddeutsches Becken | Oberer Keuper (Räth) | Poröser Sandstein | 158 g/l |

| **Erschließungskonzept** | | |
|---|---|---|
| **Schema** | **Pumpensystem** | **Pumpenleistung** |
| Dublette | ESP | 50 kW |

| | **1. Bohrung** | **2. Bohrung** | **Besonderheiten** |
|---|---|---|---|
| **Art** | Produktion | Injektion | |
| **$T_{Bohrlochkopf}$** | 63 °C | 50 °C | |
| **$Q_{Betrieb}$** | 17 l/s | | |
| **Bohrteufe** | 1.565 m | 1.550 m | |
| **Filterstrecke** | 1.528 – 1.547 m | | |
| **Enddurchmesser** | | | |

| **Energetisches Konzept** | | |
|---|---|---|
| **Nutzungskonzept** | | |
| Reines Wärmeprojekt | | |
| **Installierte Leistung Strom** | **Installierte Leistung Wärme** | **Davon aus Geothermie** |
| - | 10,7 MW | 3,7 MW (theoretisch möglich bei Abkühlung bis 10 °C) / 500 kW (tatsächlicher Jahresdurchschnitt) |
| **Weitere Energieträger** | **Leistung** | **Details Einbindung** |
| Gas | 1,5 MW | BHKW |
| Öl-/Gas | 10,7 MW | Spitzenlast-Heizkessel |

| **Temperaturanhebung [K]** | **Art (z.B. Wärmepumpe)** | **Leistung** | **Energiequelle** |
|---|---|---|---|
| 10 | BHKW | 700 kW | Gas |

| **Wärmespeicher** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 4 Druckwasserbehälter (je 50 m³) | | | | |
| **Abnehmerstruktur** | | | | |
| **Abnehmer** | **Temperaturniveau** | | **Leistung aus Geothermie** | **Bemerkungen** |
| | **Vorlauf** | **Rücklauf** | | |
| Fernwärme | 70 °C | 50-55 °C | 500 kW | |
| Balneologie | 30 °C | - | | Pipeline zur stofflichen Nutzung des Thermalwassers und dessen Salzgehalts (Menge: 300-400 m³/ Monat) |

| **Wärmenetz** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Gesamtlänge** | | **Länge Bestand** | | **Länge Neubau** |
| 14 km | | 6 km (vor 1991) | | 8 km |
| **Hausanschlüsse** | | **Anschlussquote** | | **Leistung der Speisepumpen** |
| **Bestand** | **neu** | **Bestand** | **neu** | |
| | 1810 WE (4 Heiznetze) | | 60 % (viele Neu- und Geschossbauten aus DDR-Zeit) | |
| **Vorlauftemperatur** | **Rücklauftemperatur** | | **Durchmesser** | **Druck** |
| 70 °C | 50-55 °C | | | |
| **Details zur Netzeinbindung /Einspeisevariante (RL->RL, RL->VL, VL->VL[3])** | | | | |
| RL->VL | | | | |

| **Vergleich Planung – Aktueller Ausbau** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **Gesamte jährlich in das Wärmenetz eingespeiste Wärmemenge [GWh/a]** | **Anteil Geothermie [%]** | **Vorlauf-temperatur [°C]** | **Rücklauf-temperatur [°C]** |
| **Geplanter Endausbau** | | | 70 | 35 |
| **Aktueller Ausbau** | 9 | ca. 30 % | 70 | 50-55 |

[3] RL->RL: Rücklaufanhebung, d.h. Entnahme aus und Einspeisung in den Wärmenetzrücklauf
RL->VL: Anhebung auf Vorlauftemperatur, d.h. Entnahme im Rücklauf und Einspeisung in den Wärmenetzvorlauf
VL->VL: Vorlaufanhebung, d.h. Entnahme aus und Einspeisung in den Wärmenetzvorlauf

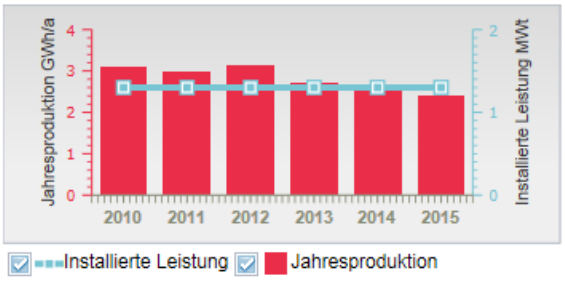
## Ökonomie / Ökologie

| Investitionskosten | Davon Kraftwerk | Davon Heizzentrale | Davon Netzausbau | Besonderheiten |
|---|---|---|---|---|
| 3 Mio. € für eine Bohrung (nur zweite Bohrung notwendig, da eine Bohrung bereits vorhanden), 0,5 Mio. € für Innenausbau Bohrung | | Kosten für Heizzentrale wären auch ohne Geothermie angefallen | | Alle 4-5 Jahre: 120.000 € Kosten für eine neue Pumpe |

## Finanzierung und Förderung

| Anlagenverfügbarkeit (technisches Potential) | Anlagen-Auslastung (Nutzungspotential) | Jahresproduktion geothermisch [GWh/a] |
|---|---|---|
| 8.760 Betriebsstunden | Auskühlung lediglich von 63 °C auf 50 °C | 2,56 (2014) |

## Verlauf Jahresproduktion Geothermie Direktwärmenutzung (Fernwärme)




© Agemar (2014a, b)

| Amortisation | Rendite |
|---|---|
| Die Investitionen sind abgeschrieben, und die Anlage wirft heute Gewinne ab. | |

| $CO_2$-Einsparung | Berechnungsmodell $CO_2$-Einsparung |
|---|---|
| Ca. 1.600 t/a | |

## Sonstige Umwelteffekte

Einsparung $NO_x$: 1,38 t/a
Einsparung $SO_2$: 2,263 t/a
Anlage war Schritt zur Anerkennung von Waren als Luftkurort und Heilbad.

## Besonderheiten

- Hohe Salinität erfordert Ausfällungs- und Korrosionsschutz durch Schutzgas-Atmosphäre (Stickstoff-Begasung), Titan-Wärmetauscher, kunststoffbeschichtete Bohrungsverrohrung, Pumpensteigleitung und erdverlegte Rohre aus Fiberglas, eine obertägige Verrohrung in gummiertem Stahl und Polypropylen, gummierte Behälter und Membranventile
- Geschlossener Kreislauf des Wassers, Sauerstoffkontakt würde Eisenausfällungen bewirken
- Fernwärmeversorgung und stoffliche Solenutzung

## Referenzen


- Agemar et al. (2014a; 2014b)
- Jäntsch et al. (2002)
- Reimer (2015)
- Stadtwerke Waren (2015)
- Waren (Müritz) Heilbad Präsentation (2012)

## A.2.4 Erding

Projektdatenblatt „Erding“

| **Stammdaten** | | | |
|---|---|---|---|
| **Projektname** | **Ort** | **Bundesland** | |
| Geowärme Erding | Erding | Bayern | |
| **Betreiber** | | **Projektbeginn** | **Betriebsbeginn** |
| Zweckverband Geowärme Erding | | 1989 | 1998 |
| **Gesellschafter** | | | |
| Stadt Erding und Landkreis Erding zu je 50% | | | |

| **Geothermische Quelle** | | | |
|---|---|---|---|
| **Provinz** | **Zielhorizont** | **Reservoirtyp** | **Chemismus (TDS)** |
| Molassebecken | Malm | Karstaquifer | 0,7 g/l |

| **Erschließungskonzept** | | |
|---|---|---|
| **Schema** | **Pumpensystem** | **Pumpenleistung** |
| Dublette | ESP | |

| | **1. Bohrung** | **2. Bohrung** | **Besonderheiten** |
|---|---|---|---|
| **Art** | Produktion | Injektion | |
| **$T_{Bohrlochkopf}$** | 62 °C | | |
| **$Q_{Betrieb}$** | 48 l/s | | |
| **Bohrteufe** | 2.359 m | 2.222 m | |
| **Filterstrecke** | 1.949 – 2.240 m | 1.800 – 2.222 m | |
| **Enddurchmesser** | | | |

| **Energetisches Konzept** | | |
|---|---|---|
| **Nutzungskonzept** | | |
| Reines Wärmeprojekt | | |
| **Installierte Leistung Strom** | **Installierte Leistung Wärme** | **Davon aus Geothermie** |
| - | 67,7 MW (Heizwerke 1+2) | 10,2 MW |
| **Weitere Energieträger** | **Leistung** | **Details Einbindung** |
| 2x2 Reserve- und Spitzenkessel | Je 10 MW | Erdgas |

| **Temperaturanhebung [K]** | **Art (z.B. Wärmepumpe)** | **Leistung** | **Energiequelle** |
|---|---|---|---|
| 32 | 2 Absorptionswärmepumpen | 7 MW | Erdgas/-öl |
| 30 | 2 Heißwasserkessel | Je 5 MW | |

| **Wärmespeicher** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Bau eines Thermalwasserspeichers (200 m³) für 2018/2019 geplant | | | | |
| **Abnehmerstruktur** | | | | |
| **Abnehmer** | **Temperaturniveau Vorlauf** | **Rücklauf** | **Leistung aus Geothermie** | **Bemerkungen** |
| Fernwärme | 110 °C | 45 °C | | |
| -Wohnbebauung | | | ca. 7 MW | |
| -Öffentliche Einrichtungen | | | 5,8 MW | |
| Thermalbad/Balneologie | 20 °C | - | 4,7 MW | Zusätzlich stoffliche Nutzung |

| **Wärmenetz** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Gesamtlänge** | **Länge Bestand** | | **Länge Neubau** | |
| 38 km | | | | |
| **Hausanschlüsse** | | **Anschlussquote** | | **Leistung der Speisepumpen** |
| **Bestand** | **Neu** | **Bestand** | **neu** | |
| | 2.000 WE (2000) | | 8% (2000) | |
| **Vorlauftemperatur** | **Rücklauftemperatur** | **Durchmesser** | **Druck** | |
| 110 °C | 45 °C | | | |
| **Details zur Netzeinbindung /Einspeisevariante (RL->RL, RL->VL, VL->VL[4])** | | | | |

| **Vergleich Planung – Aktueller Ausbau** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **Gesamte jährlich in das Wärmenetz eingespeiste Wärmemenge [GWh/a]** | **Anteil Geothermie [%]** | **Vorlauf-temperatur [°C]** | **Rücklauf-temperatur [°C]** |
| **Geplanter Endausbau** | | | | |
| **Aktueller Ausbau** | 109 | Ca. 30-45 % | | |

| **Ökonomie / Ökologie** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Investitionskosten** | **Davon Kraftwerk** | **Davon Heizzentrale** | **Davon Netzausbau** | **Besonderheiten** |
| 36,2 Mio. Euro | | | | |

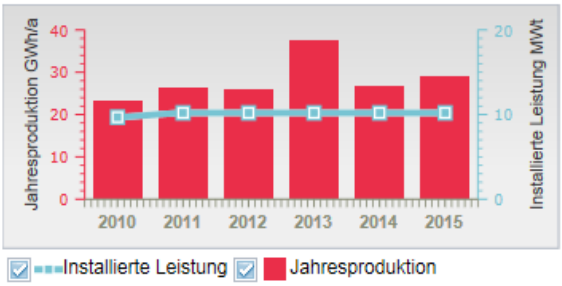
[4] RL->RL: Rücklaufanhebung, d.h. Entnahme aus und Einspeisung in den Wärmenetzrücklauf
RL->VL: Anhebung auf Vorlauftemperatur, d.h. Entnahme im Rücklauf und Einspeisung in den Wärmenetzvorlauf
VL->VL: Vorlaufanhebung, d.h. Entnahme aus und Einspeisung in den Wärmenetzvorlauf

## Finanzierung und Förderung

- Land Bayern (Kosten für Pumpversuch und 50% der Kosten für die Erneuerung der Brunnenausrüstung )
- Programm „Rationellere Energiegewinnung und -verwendung“
- EU (40 % der Kosten für Wärmepumpe und Trinkwasseraufbereitungsanlage)

| Anlagenverfügbarkeit (technisches Potential) | Anlagen-Auslastung (Nutzungspotential) | Jahresproduktion geothermisch [GWh/a] |
|---|---|---|
| | | 26,96 (2014) |

## Verlauf Jahresproduktion Geothermie Direktwärmenutzung (Fernwärme)




© Agemar (2014a, b)

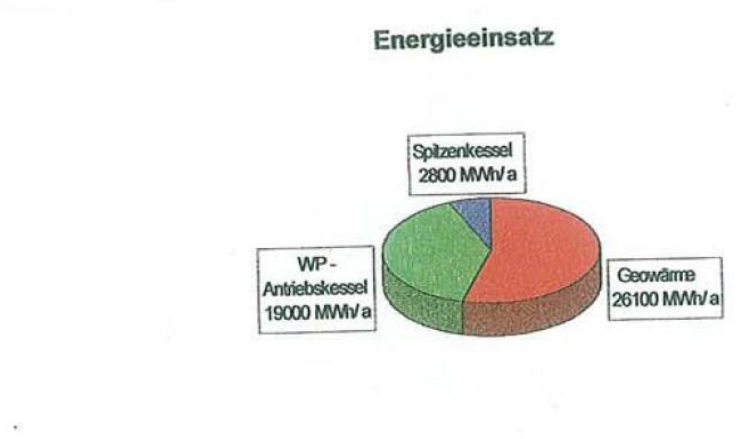
| Amortisation | Rendite |
|---|---|
| | |

| $CO_2$-Einsparung | Berechnungsmodell $CO_2$-Einsparung |
|---|---|
| Ca. 7 t/Jahr | Differenz aus Geowärme-Projekt und dezentraler Heizkesseltechnik |

## Sonstige Umwelteffekte

## Abbildungen

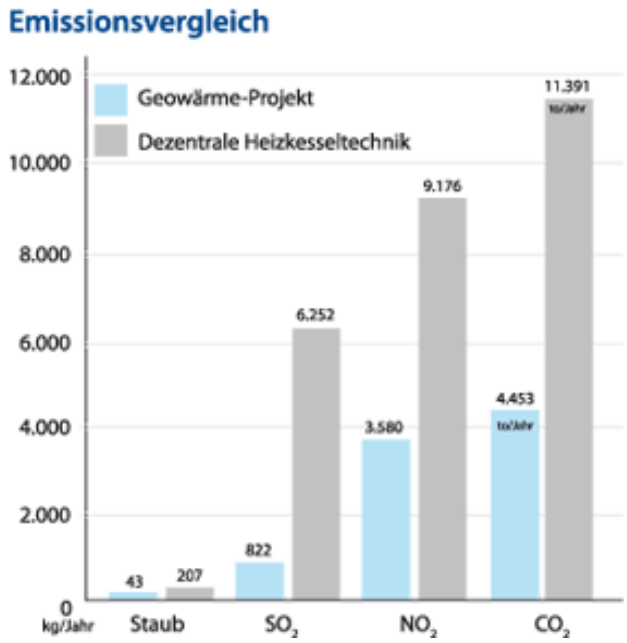
### Energieeinsatz (2000)




Gesamtenergieeinsatz: 47.900 MWh/a, davon 54 % Geowärme

© Gabauer (2000)

## Emissionsvergleich




© Projektwebseite Geowärme Erding (2015)

## Besonderheiten

- Kaskadennutzung über Fernwärme, Versorgung der Therme Erding sowie in der Vergangenheit auch Trinkwasserversorgung
- Ursprünglich Explorationsbohrung für Erdöl und Erdgas, Umbau, um eine Trinkwasserversorgung zu ermöglichen (u.a. Vermeidung einer Öl-Kontamination)
- Thermalbad sichert Grundauslastung der Wärmeabnahme, zusätzlich stoffliche Thermalwassernutzung
- Errichtung eines zweiten Heizwerkes 2006 aufgrund starker Nachfrage
- Erweiterung des Heizwerkes 1 für 2018/2019 geplant

## Referenzen

- Agemar et al. (2014a; 2014b)
- Gabauer (2000)
- Gabauer (2015)
- Gabauer (2016)
- Merkur (2017a)
- ZfK (2015)
- Zweckverband Geowärme Erding (2015)

## A.2.5 AFK (Aschheim, Feldkirch, Kirchheim)

Projektdatenblatt „Aschheim, Feldkirch, Kirchheim“

| **Stammdaten** | | | |
|---|---|---|---|
| **Projektname** | **Ort** | **Bundesland** | |
| AFK Geothermie | Aschheim, Feldkirchen, Kirchheim | Bayern | |
| **Betreiber** | | **Projektbeginn** | **Betriebsbeginn** |
| AFK-Geothermie GmbH | | 2005 | 2009 |
| **Gesellschafter** | | | |
| Gemeinde Aschheim, Gemeinde Feldkirchen, Gemeinde Kirchheim | | | |

| **Geothermische Quelle** | | | |
|---|---|---|---|
| **Provinz** | **Zielhorizont** | **Reservoirtyp** | **Chemismus (TDS)** |
| Molassebecken | Malm | Karstaquifer | |

| **Erschließungskonzept** | | |
|---|---|---|
| **Schema** | **Pumpensystem** | **Pumpenleistung** |
| Dublette | ESP | |

| | **1. Bohrung** | **2. Bohrung** | **Besonderheiten** |
|---|---|---|---|
| **Art** | Produktion | Injektion | |
| **$T_{Bohrlochkopf}$** | 85,4 °C | | |
| **$Q_{Betrieb}$** | 39 – 75 l/s | 39 – 75 l/s | |
| **Bohrteufe** | 2.630 m | 2.700 m | |
| **Filterstrecke** | 2.114 – 2.630 m | | |
| **Enddurchmesser** | 6 1/8“,<br>5“-Liner gelocht | | |

| **Energetisches Konzept** | | |
|---|---|---|
| **Nutzungskonzept** | | |
| Reine Wärmenutzung | | |
| **Installierte Leistung Strom** | **Installierte Leistung Wärme** | **Davon aus Geothermie** |
| - | 29 MW | 9,8 MW |
| **Weitere Energieträger** | **Leistung** | **Details Einbindung** |
| Heizöl (Spitzenlast), Gaskessel (Mittellast), ab 2016 gasbefeuerte Absorptionswärmepumpe und BHKW (Mittellast) | ca. 20 MW<br>ab 2016 ca. 35 MW | |

| **Temperaturanhebung [K]** | **Art (z.B. Wärmepumpe)** | **Leistung** | **Energiequelle** |
|---|---|---|---|
| | Absorptionswärmepumpe | 5 MW | Erdgas |
| **Wärmespeicher** | | | |

| Abnehmerstruktur | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Abnehmer** | **Temperaturniveau Vorlauf** | **Rücklauf** | **Leistung aus Geothermie** | **Bemerkungen** |
| Fernwärme | 80 °C | 52 °C | 9,8 MW | |
| Privathaushalte | | | | 15 kW pro Haus |

| Wärmenetz | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Gesamtlänge** | | **Länge Bestand** | | **Länge Neubau** |
| 72 km | | 0 km | | 72 km |
| **Hausanschlüsse** | | **Anschlussquote** | | **Leistung der Speisepumpen** |
| **Bestand** | **neu** | **Bestand** | **neu** | |
| | 1.150 | - | 60% | |
| **Vorlauftemperatur** | **Rücklauftemperatur** | | **Durchmesser** | **Druck** |
| 80 °C | 52 °C | | DN25-DN250 | PN25 |
| **Details zur Netzeinbindung /Einspeisevariante (RL->RL, RL->VL, VL->VL[5])** | | | | |

| Vergleich Planung – Aktueller Ausbau | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **Gesamte jährlich in das Wärmenetz eingespeiste Wärmemenge [GWh/a]** | **Anteil Geothermie [%]** | **Vorlauf-temperatur [°C]** | **Rücklauf-temperatur [°C]** |
| **Geplanter Endausbau** | | | | |
| **Aktueller Ausbau** | 62 | 76% | 80 | 52 |

| Ökonomie / Ökologie | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Investitionskosten** | **Davon Kraftwerk** | **Davon Heizzentrale** | **Davon Netzausbau** | **Besonderheiten** |
| ca. 90 Mio. Euro | | | | |

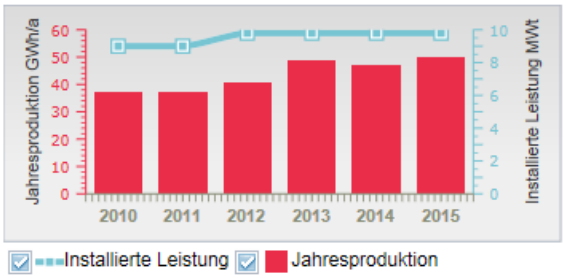
**Finanzierung und Förderung**

- 12,5 Mio. Euro Eigenkapital je Gemeinde
- Zusätzlich Darlehen und Kredite
- Antrag auf Einbeziehung in Konjunkturpaket II

| Anlagenverfügbarkeit (technisches Potential) | Anlagen-Auslastung (Nutzungspotential) | Jahresproduktion geothermisch [GWh/a] |
|---|---|---|
| | | 26,96 (2014) |

[5] RL->RL: Rücklaufanhebung, d.h. Entnahme aus und Einspeisung in den Wärmenetzrücklauf
RL->VL: Anhebung auf Vorlauftemperatur, d.h. Entnahme im Rücklauf und Einspeisung in den Wärmenetzvorlauf
VL->VL: Vorlaufanhebung, d.h. Entnahme aus und Einspeisung in den Wärmenetzvorlauf

## Verlauf Jahresproduktion Geothermie Direktwärmenutzung (Fernwärme)




© Agemar (2014a, b)

| Amortisation | Rendite |
|---|---|
| | |

| $CO_2$-Einsparung | Berechnungsmodell $CO_2$-Einsparung |
|---|---|
| Ø 20.000 – 30.000 t/Jahr | |

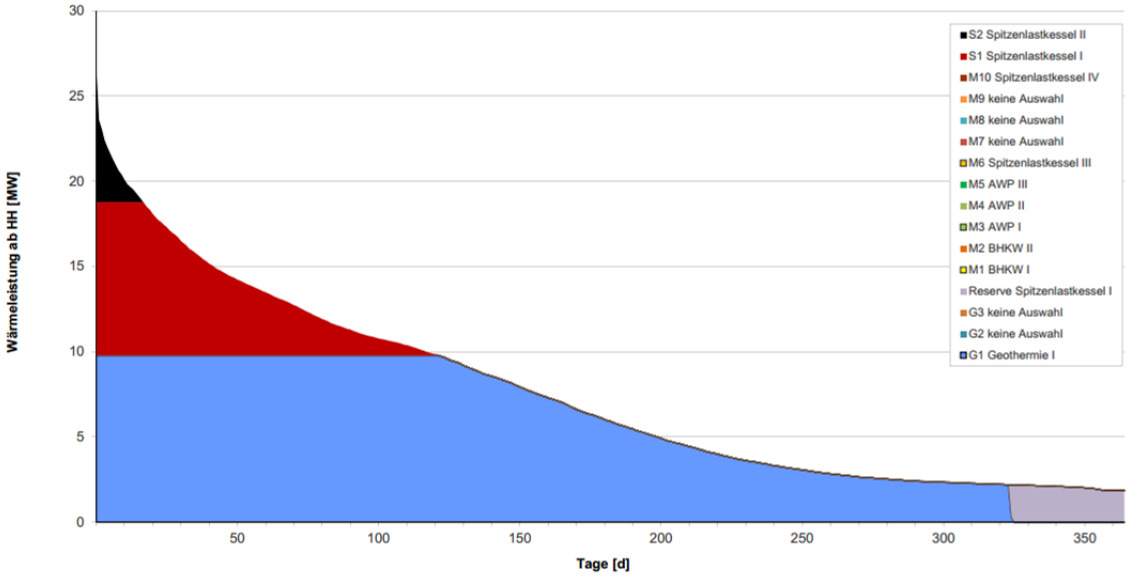
## Sonstige Umwelteffekte

## Abbildungen

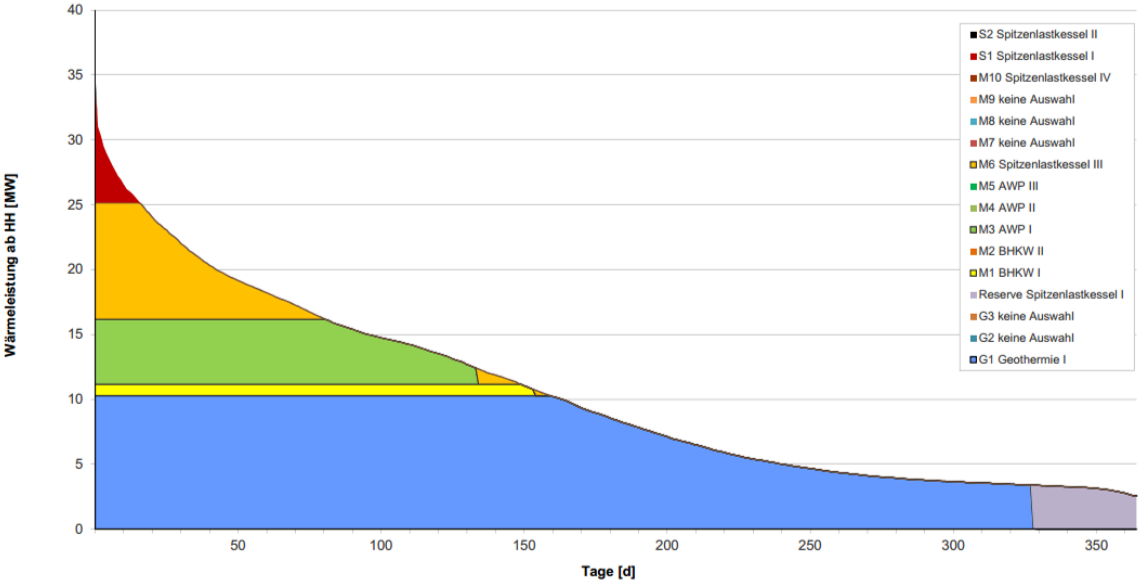
### Das Fernwärmenetz in zeitlich gegliederten Ausbaustufen

© AFK Geothermie GmbH (2013)

## Jahresdauerlinie 2014




## Jahresdauerlinie 2018 (Plandaten 2015)




© Glashauser (2015)

## Besonderheiten

- Erstes interkommunales Geothermieprojekt in Deutschland
- Erstellung einer Datenbank mit relevanten Informationen über Wärmeabnehmer zur Planung des Fernwärmenetzes
- Flächendeckende Breitbandversorgung durch Glasfaserkabel (Möglichkeit der Fernwartung und Zählerstandauslesung der Wärmeübergabestationen), welches im Zuge des Fernwärmenetzausbaus installiert wurde
- Für Wirtschaftlichkeit des Fernwärmenetzes mindestens 60 % Anschlussquote nötig
- Umsetzung in 2016: ein BHKW zur 50%-igen Deckung des Eigenstrombedarfs und eine direktbefeuerte (Erdgas) Absorptionswärmepumpe
- Ausblick 2016: Beratung über zukünftige Investitionen in weitere Bohrungen oder Wärmepumpen

## Referenzen


- AFK Geothermie GmbH (2015)
- AFK Geothermie GmbH (2013)
- Agemar et al. (2014a; 2014b)
- Fröhlich (2009)
- Glashauser (2015)
- Gottschalk (2009)

## A.2.6 Kirchweidach

Projektdatenblatt „Kirchweidach“

| **Stammdaten** | | | |
|---|---|---|---|
| **Projektname** | **Ort** | **Bundesland** | |
| Geothermie Strom- und Heizkraftwerk Kirchweidach | Kirchweidach | Bayern | |
| **Betreiber** | | **Projektbeginn** | **Betriebsbeginn** |
| Geoenergie Kirchweidach GmbH | | 2008 | 2013 |
| **Gesellschafter** | | | |

| **Geothermische Quelle** | | | |
|---|---|---|---|
| **Provinz** | **Zielhorizont** | **Reservoirtyp** | **Chemismus (TDS)** |
| Molassebecken | Malm | Karstaquifer | |

| **Erschließungskonzept** | | |
|---|---|---|
| **Schema** | **Pumpensystem** | **Pumpenleistung** |
| Dublette | ESP | 1,6 MW (bei Langzeitpumptest) |

| | **1. Bohrung** | **2. Bohrung** | **Besonderheiten** |
|---|---|---|---|
| **Art** | Produktion | Injektion | |
| **$T_{Bohrlochkopf}$** | 124 °C | | |
| **$Q_{Betrieb}$** | Ca. 125 l/s Förderbetrieb möglich, 70 l/s geplant | | |
| **Bohrteufe** | 3.800 m | 3.850 m | |
| **Filterstrecke** | 1.949–2.240 m | 1.800–2.222 m | |
| **Enddurchmesser** | | | |

| **Energetisches Konzept** | | |
|---|---|---|
| **Nutzungskonzept** | | |
| KWK geplant (Parallelschaltung, wärmegeführt), aktuell reines Wärmeprojekt | | |
| **Installierte Leistung Strom** | **Installierte Leistung Wärme** | **Davon aus Geothermie** |
| 0,7 MW (geplant) | | 12 $MW_{th}$ |
| **Weitere Energieträger** | **Leistung** | **Details Einbindung** |
| Biogasanlage,<br>2 Heizölkessel | Biogasanlage: 500 kW<br>Heizöl: Je 10 MW | Biogas: Grundlastbetrieb über 3 BHKW<br>Heizöl: Bei längerem Pumpenausfall |

| **Temperaturanhebung [K]** | **Art (z.B. Wärmepumpe)** | **Leistung** | **Energiequelle** |
|---|---|---|---|
| | Absorptionswärmepumpe | | |

**Wärmespeicher**

Oberirdischer Wärmespeicher (Warmwasserpuffertank): 3.400 m³ netto, vom Gewächshausbetreiber betrieben, je nach Bedarf können unterschiedliche Temperaturniveaus (ca. 50-90 °C) entnommen werden.

**Abnehmerstruktur**

| Abnehmer | Temperaturniveau Vorlauf | Rücklauf | Leistung aus Geothermie | Bemerkungen |
|---|---|---|---|---|
| Stromerzeugung (geplant) | | | | ORC-Kraftwerk |
| Fernwärme | 90 °C | 60 °C | 5,1 MW | |
| Gewächshaus | | | 24 MW | Abnahme schwankt jahreszeitlich |

**Wärmenetz**

| Gesamtlänge | Länge Bestand | Länge Neubau |
|---|---|---|
| | | |

| Hausanschlüsse Bestand | neu | Anschlussquote Bestand | neu | Leistung der Speisepumpen |
|---|---|---|---|---|
| | ca. 300 | | ca. 80% | |

| Vorlauftemperatur | Rücklauftemperatur | Durchmesser | Druck |
|---|---|---|---|
| 90 °C | 60 °C | | |

**Details zur Netzeinbindung /Einspeisevariante (RL->RL, RL->VL, VL->VL[6])**

**Vergleich Planung – Aktueller Ausbau**

| | Gesamte jährlich in das Wärmenetz eingespeiste Wärmemenge [GWh/a] | Anteil Geothermie [%] | Vorlauf-temperatur [°C] | Rücklauf-temperatur [°C] |
|---|---|---|---|---|
| Geplanter Endausbau | | | | |
| Aktueller Ausbau | 83 | | 90 °C | 60 °C |

**Ökonomie / Ökologie**

| Investitionskosten | Davon Kraftwerk | Davon Heizzentrale | Davon Netzausbau | Besonderheiten |
|---|---|---|---|---|
| | | ca. 17 Mio. € | ca. 12 Mio. € | ca.40 Mio. € für Bohrungen / ca. 25 Mio. € für Gewächshaus |

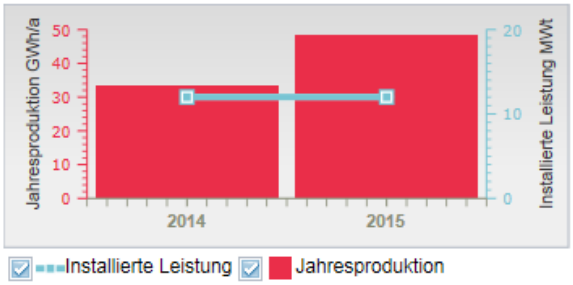
[6] RL->RL: Rücklaufanhebung, d.h. Entnahme aus und Einspeisung in den Wärmenetzrücklauf
RL->VL: Anhebung auf Vorlauftemperatur, d.h. Entnahme im Rücklauf und Einspeisung in den Wärmenetzvorlauf
VL->VL: Vorlaufanhebung, d.h. Entnahme aus und Einspeisung in den Wärmenetzvorlauf

## Finanzierung und Förderung

- Investoren: Geoenergie Kirchweidach GmbH (Bohrung / Kraftwerk) / Kirchweidacher Energie GmbH (Fernwärmenetz) / Steiner Gemüsebau GmbH (Gewächshaus)
- 50% Förderung zur Erstellung eines Nahwärmekonzeptes durch das Bayerische Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur und Technologie „Bayerisches Programm Rationellere Energiegewinnung und -verwendung“

| Anlagenverfügbarkeit (technisches Potential) | Anlagen-Auslastung (Nutzungspotential) | Jahresproduktion geothermisch [GWh/a] |
|---|---|---|
| | | |

## Verlauf Jahresproduktion Geothermie Direktwärmenutzung (Fernwärme)




© Agemar (2014a, b)

| Amortisation | Rendite |
|---|---|
| | |

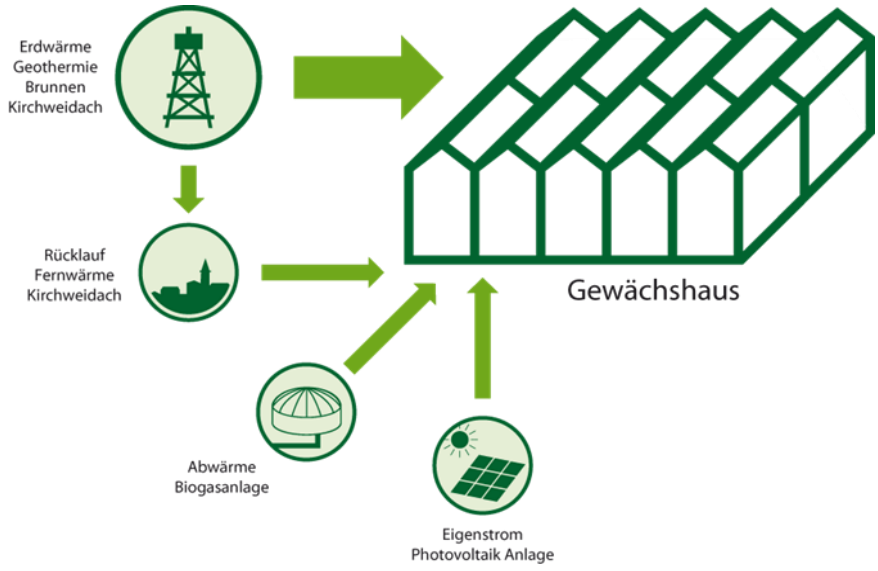
| $CO_2$-Einsparung | Berechnungsmodell $CO_2$-Einsparung |
|---|---|
| 8.400-10.900 t/Jahr | |

## Sonstige Umwelteffekte

Verringerung von Gemüse-Importen aus Spanien/Holland

## Abbildungen

### Energieversorgungsschema des Gewächshauses




© Gemüsebau Steiner (2015)

## Besonderheiten

- Mehrstufige Nutzung mit Stromerzeugung, Fernwärme und Gewächshaus geplant
- Seit Dezember 2013 Wärmelieferung an Gewächshaus, zusätzlich Einbindung einer örtlichen Biogasanlage
- Erste Fernwärmeversorgung seit Anfang 2015
- Vorerst nur kleines Kraftwerk mit 0,7 $MW_{el}$ Leistung, da Pumpensystem für hohe Förderraten von bis zu 125 l/s noch zu störanfällig (Probleme mit dem Motor, Öl und Dichtungen), seit Betriebsstart musste die Pumpe mehrmals ausgetauscht werden.
- Auszeichnung des Projektes mit dem Global District Energy Climate Award 2015 für herausragende Leistungen im Bereich Erneuerbare Energien als Beitrag zum globalen Klimaschutz

## Referenzen

- Agemar et al. (2014a; 2014b)
- Gemeinde Kirchweidach (2015)
- Gemüsebau Steiner (2015)
- GEOenergie Kirchweidach (2012)
- GEOenergie Kirchweidach (2015)
- Gubo (2015)
- Infomationsportal Tiefe Geothermie (2015)
- Kapp (2014)
- Kirchweidacher Energie GmbH (2015)
- Passauer Neue Presse (2015)
- Richter (2014)
- VDI Nachrichten (2013)

## A.2.7 Arnsberg

Projektdatenblatt „Arnsberg“

| Stammdaten | | | |
|---|---|---|---|
| **Projektname** | **Ort** | **Bundesland** | |
| Tiefengeothermie Arnsberg | Arnsberg | Nordrhein-Westfalen | |
| **Betreiber** | | **Projektbeginn** | **Betriebsbeginn** |
| Stadtwerke Arnsberg | | 2005 | 2012 |
| **Gesellschafter** | | | |

| Geothermische Quelle | | | |
|---|---|---|---|
| **Provinz** | **Zielhorizont** | **Reservoirtyp** | **Chemismus (TDS)** |
| Sauerland, Rheinisches Schiefergebirge | 1. Bohrung: M. Devon,<br>2. Bohrung: U. Devon | 1. Bohrung: Karstaquifer<br>2. Bohrung: Sandstein | |

| Erschließungskonzept | | |
|---|---|---|
| **Schema** | **Pumpensystem** | **Pumpenleistung** |
| Tiefe Erdwärmesonde (TEWS) | Umwälzpumpe | 15 kW |

| | 1. Bohrung | 2. Bohrung | Besonderheiten |
|---|---|---|---|
| **Art** | Produktion (Sole) | Produktion (TEWS) | |
| **$T_{Bohrlochkopf}$** | 25 °C | 49 °C | |
| **$Q_{Betrieb}$** | 22 l/s | 3 l/s | |
| **Bohrteufe** | 586 m | 2835 m | |
| **Filterstrecke** | | | |
| **Enddurchmesser** | | 8 5/8“ | |

| Energetisches Konzept | | |
|---|---|---|
| **Nutzungskonzept** | | |
| Sole- und Wärmenutzung | | |
| **Installierte Leistung Strom** | **Installierte Leistung Wärme** | **Davon aus Geothermie** |
| - | 0,46 MW (1. Bohrung)<br>0,17 MW (2. Bohrung) | 0,46 MW (1. Bohrung)<br>0,17 MW (2. Bohrung) |
| **Weitere Energieträger** | **Leistung** | **Details Einbindung** |
| | | |

| Temperaturanhebung [K] | Art (z.B. Wärmepumpe) | Leistung | Energiequelle |
|---|---|---|---|
| | | | |
| **Wärmespeicher** | | | |

| Abnehmerstruktur | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Abnehmer** | **Temperaturniveau Vorlauf** | **Rücklauf** | **Leistung aus Geothermie** | **Bemerkungen** |
| Freizeitbad | 49 °C | 38 °C | 167 kW | |

| Wärmenetz | | |
|---|---|---|
| **Gesamtlänge** | **Länge Bestand** | **Länge Neubau** |
| | | |

| Hausanschlüsse | | Anschlussquote | | Leistung der Speisepumpen |
|---|---|---|---|---|
| **Bestand** | **neu** | **Bestand** | **neu** | |
| | | | | |

| Vorlauftemperatur | Rücklauftemperatur | Durchmesser | Druck |
|---|---|---|---|
| 49 °C | 38 °C | | |

**Details zur Netzeinbindung /Einspeisevariante (RL->RL, RL->VL, VL->VL[7])**

| Vergleich Planung – Aktueller Ausbau | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **Gesamte jährlich in das Wärmenetz eingespeiste Wärmemenge [GWh/a]** | **Anteil Geothermie [%]** | **Vorlauf-temperatur [°C]** | **Rücklauf-temperatur [°C]** |
| **Geplanter Endausbau** | 2,2-3,1 | | 55 °C | |
| **Aktueller Ausbau** | 1,4 | | 49 °C | 38 °C |

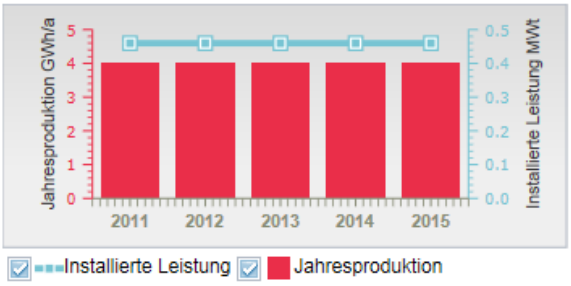
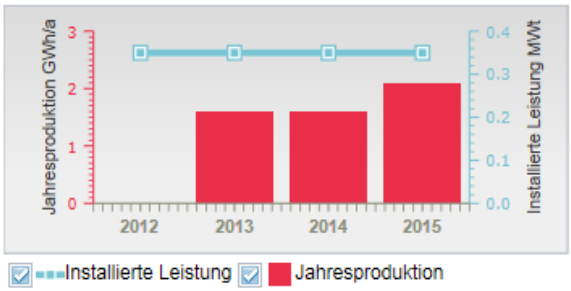
| Ökonomie / Ökologie | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Investitionskosten** | **Davon Kraftwerk** | **Davon Heizzentrale** | **Davon Netzausbau** | **Besonderheiten** |
| ca. 3,35 Mio. Euro | | | | |

**Finanzierung und Förderung**

- 2,5 Mio. Euro durch die Stadtwerke Arnsberg
- 0,85 Mio. Euro durch das Land NRW

| Anlagenverfügbarkeit (technisches Potential) | Anlagen-Auslastung (Nutzungspotential) | Jahresproduktion geothermisch [GWh/a] |
|---|---|---|
| 8500 h/a | | 4,03 (1. Bohrung)<br>1,4 (2. Bohrung) |

[7] RL->RL: Rücklaufanhebung, d.h. Entnahme aus und Einspeisung in den Wärmenetzrücklauf
RL->VL: Anhebung auf Vorlauftemperatur, d.h. Entnahme im Rücklauf und Einspeisung in den Wärmenetzvorlauf
VL->VL: Vorlaufanhebung, d.h. Entnahme aus und Einspeisung in den Wärmenetzvorlauf

| Verlauf Jahresproduktion Geothermie | |
|---|---|
| **Direktwärmenutzung (Thermalbad/Balneologie)** | **Direktwärmenutzung (Gebäudeheizung)** |
|  |  |
| © Agemar (2014a, b) | © Agemar (2014a, b) |

| **Amortisation** | **Rendite (IRR)** |
|---|---|
| 15 Jahre | |
| **$CO_2$-Einsparung** | **Berechnungsmodell $CO_2$-Einsparung** |
| Ø 800 t/Jahr | |
| **Sonstige Umwelteffekte** | |

## Besonderheiten

- Erste Bohrung bis 586 m traf eine Störungszone mit artesisch austretender Thermalsole mit 25 °C an, die für die stoffliche Versorgung des Freizeitbades genutzt wird
- Seit 2008: Bohrung bis 2835 m, Nordrhein-Westfalens tiefste Bohrung
- Einbohrlochsystem: nur eine Bohrung erforderlich, geschlossenes System, kein Stoffaustausch
- Tiefe-Erdwärmesonde (TEWS), neu entwickelte Rohre mit äußerer Stahlschicht und innerer, isolierender Kunststoffschicht (PP); zuerst eingesetzte GFK-Verrohrung konnte Druck in der Tiefe nicht standhalten
- Thermische Nutzung für das Freizeitbad NASS seit 2012, Deckung des Wärmebedarfs zu über 75 %

## Referenzen


- Agemar (2014a, 2014b)
- BVG (2015)
- Doppelreiter (2013)
- Geothermie Nachrichten (2012)
- Midderhoff (2013)
- Stadtwerke Arnsberg (2012)
- Stadt Arnsberg (2015)
- Würtele (2014)

## A.2.8 Pariser Becken

Projektdatenblatt „Pariser Becken“

| **Stammdaten** | | | |
|---|---|---|---|
| **Projektname** | **Ort** | **Bundesland** | |
| Pariser Becken (60 Projekte umgesetzt, aktuell über 40 Projekte in Betrieb) | Paris | Frankreich | |
| **Betreiber** | | **Projektbeginn** | **Betriebsbeginn** |
| Im Wesentlichen öffentliche oder halböffentliche Betreiber (z.B. Gemeinden, soziale Wohnungsbaugesellschaften, Krankenhäuser) oder „öffentliche Service-Aufträge“ (die Gemeinde als Eigentümer vergibt die Rechte für 30 Jahre, das Projekt zu erstellen und zu betreiben) | | Erste Bohrung: 1969 | 1. Projekt: 1971<br>Typische Projektdauer: 3-5 Jahre (davon 1 Jahr für die Bewilligung) |
| **Gesellschafter** | | | |

| **Geothermische Quelle** | | | |
|---|---|---|---|
| **Provinz** | **Zielhorizont** | **Reservoirtyp** | **Chemismus (TDS)** |
| Pariser Becken | Mittlerer Jura (Dogger) | Oolithischer Kalkstein, mehrere abgegrenzte produktive Einheiten (Horizonte) | 6 bis 35 g/l |

| **Erschließungskonzept** | | |
|---|---|---|
| **Schema** | **Pumpensystem** | **Pumpenleistung** |
| Dubletten, z.T. Tripletten | Meistens ESP, manchmal selbstfließend (artesisch) | 150 bis 400 kW (+ ca. 250 kW für Injektionspumpe) |

| | **Produktion** | **Injektion** | **Besonderheiten** |
|---|---|---|---|
| **Art** | | | |
| **$T_{Bohrlochkopf}$** | 55-80 °C | i.d.R. 40-50 °C | Niedrige Reinjektionstemperaturen von 20-25 °C theoretisch möglich (Borozdina et al. 2012). |
| **$Q_{Betrieb}$** | Ca. 30-100 l/s | | |
| **Bohrteufe** | 1.600-1.800 m | | |
| **Filterstrecke** | 100-150 m (unverrohrt) | | |
| **Enddurchmesser** | i.d.R. 8 ½“ Open Hole | | |

## Energetisches Konzept

### Nutzungskonzept

Wärmeprojekte mit Wärmepumpe und zusätzlichem Heizkessel, teilweise Gas-KWK-/Geothermie-Anlagen

| Installierte Leistung Strom | Installierte Leistung Wärme | Davon aus Geothermie |
|---|---|---|
| - | Beispiel Flughafen Orly: 10 MW | Insgesamt: ca. 290 MW<br>Beispiel Flughafen Orly: 10 MW |

| Weitere Energieträger | Leistung | Details Einbindung |
|---|---|---|
| Meistens Gas | ca. 5 $MW_e$ (Gasmotor/Turbine) | Heizkessel |

| Temperaturanhebung [K] | Art (z.B. Wärmepumpe) | Leistung | Energiequelle |
|---|---|---|---|
| | Wärmepumpe | 500-800 kW | Strom |

### Wärmespeicher

Nicht üblich

## Abnehmerstruktur

| Abnehmer | Temperaturniveau Vorlauf | Temperaturniveau Rücklauf | Leistung aus Geothermie | Bemerkungen |
|---|---|---|---|---|
| Beispiel: Flughafen Orly | 74 °C | 40 °C | | |
| Meistens: Wohngebäude, öffentliche Gebäude | | | | |
| | 90 °C | 70 °C | | Alte Hochtemperaturfernwärmenetze |
| | 70 °C | 50 °C | | Netze mit mittleren Temperaturen |
| | 40-50 °C | 25-30 °C | | Neue Niedrigtemperaturnetze (ein System kann auch einen kaskadenförmigen Einsatz von z.B. Mittel- und Niedrigtemperatur- Netzcharakteristiken beinhalten, wenn einzelne ältere Gebäude höhere Temperaturen benötigen.) |

| **Wärmenetz** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Gesamtlänge** | | **Länge Bestand** | | **Länge Neubau** |
| | | Bei einigen Projekte werden existierende konventionelle Wärmenetze in geothermische Wärmenetze umgewandelt, was lediglich einer Netzsanierung bedarf | | Übliche Länge bei Projekten mit neu installierten Netzen: 15 km |
| **Hausanschlüsse** | | **Anschlussquote** | | **Leistung der Speisepumpen** |
| **Bestand** | **neu** | **Bestand** | **neu** | |
| | Ca. 8.000 | | Üblicherweise 95% | |
| **Vorlauftemperatur** | **Rücklauftemperatur** | **Durchmesser** | **Druck** | |
| 40-90 °C | 25-70 °C | 250-400 mm | 7-9 bar | |
| **Details zur Netzeinbindung /Einspeisevariante (RL->RL, RL->VL, VL->VL[8])** | | | | |
| Üblicherweise: RL->VL | | | | |

| **Vergleich Planung – Aktueller Ausbau** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **Gesamte jährlich in das Wärmenetz eingespeiste Wärmemenge [GWh/a]** | **Anteil Geothermie [%]** | **Vorlauf-temperatur [°C]** | **Rücklauf-temperatur [°C]** |
| **Geplanter Endausbau** | Im Jahr 1985: 2000 | | | |
| **Aktueller Ausbau** | Im Jahr 2012: 1169 | 2015: durchschnittlich 60% (2-98%) | 40-90 °C | 25-70 °C |

[8] RL->RL: Rücklaufanhebung, d.h. Entnahme aus und Einspeisung in den Wärmenetzrücklauf
RL->VL: Anhebung auf Vorlauftemperatur, d.h. Entnahme im Rücklauf und Einspeisung in den Wärmenetzvorlauf
VL->VL: Vorlaufanhebung, d.h. Entnahme aus und Einspeisung in den Wärmenetzvorlauf

| Ökonomie / Ökologie | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Investitionskosten** | **Davon Kraftwerk** | **Davon Heizzentrale** | **Davon Netzausbau** | **Besonderheiten** |
| Beispiel Flughafen Orly: 12,7 Mio. € (ohne Wärmenetz)<br>Übliche Projektkosten: 25-30 Mio. € inkl. Wärmenetz | | | 15-18 Mio. € (üblicherweise etwa 70% der Gesamtkosten) | In der Vergangenheit führte hohe Schuldenquote (80-90%) zu hoher Zinslast. Neuere Projekte: nur Fremdkapital, kein Eigenkapital. Möglich durch lange Vertragssicherheit (30 Jahre) bei „öffentlichen Service-Aufträgen“ und durch staatliches Risikoabsicherungsprogramm |

**Finanzierung und Förderung**

- Staatliches Risikoabsicherungs-Programm
- Subventionierung von Bohrung und Wärmenetz bis zu 35% der typischen Investitionskosten nach Prüfung durch die französische Umwelt- und Energiebehörde (ADEME)
- Steuerliche Anreize

| Anlagenverfügbarkeit (technisches Potential) | Anlagen-Auslastung (Nutzungspotential) | Jahresproduktion geothermisch [GWh/a] |
|---|---|---|
| ca. 8.250 h/a | Üblicherweise ca. 60-70% | Gesamt: ca. 1.000<br>Beispiel Orly: 45<br>Neue Projekte: ca. 80 |

| Amortisation | Rendite |
|---|---|
| 5-11 Jahre | Typischer interner Zinsfuß: 5-6% |

| $CO_2$-Einsparung | Berechnungsmodell $CO_2$-Einsparung |
|---|---|
| Gesamt: ca. 120.000 t/a (2001)<br>Beispiel Flughafen Orly: 9.000 t/a<br>Neue Projekte: ca. 15.000 t/a | Im Vergleich mit Gasheizung |

**Sonstige Umwelteffekte**

- Blowout-Risiko (aufgrund artesischer Förderung, heißer und salinarer Thermalwässer sowie giftiger und brennbarer gelöster Gase)
- Risiko der Aquifer-Kontamination vor allem durch Leckagen in der Verrohrung oder Versagen des Bohrlochkopfs (wird minimiert durch Monitoring/Überwachung und Wartung)

## Abbildungen

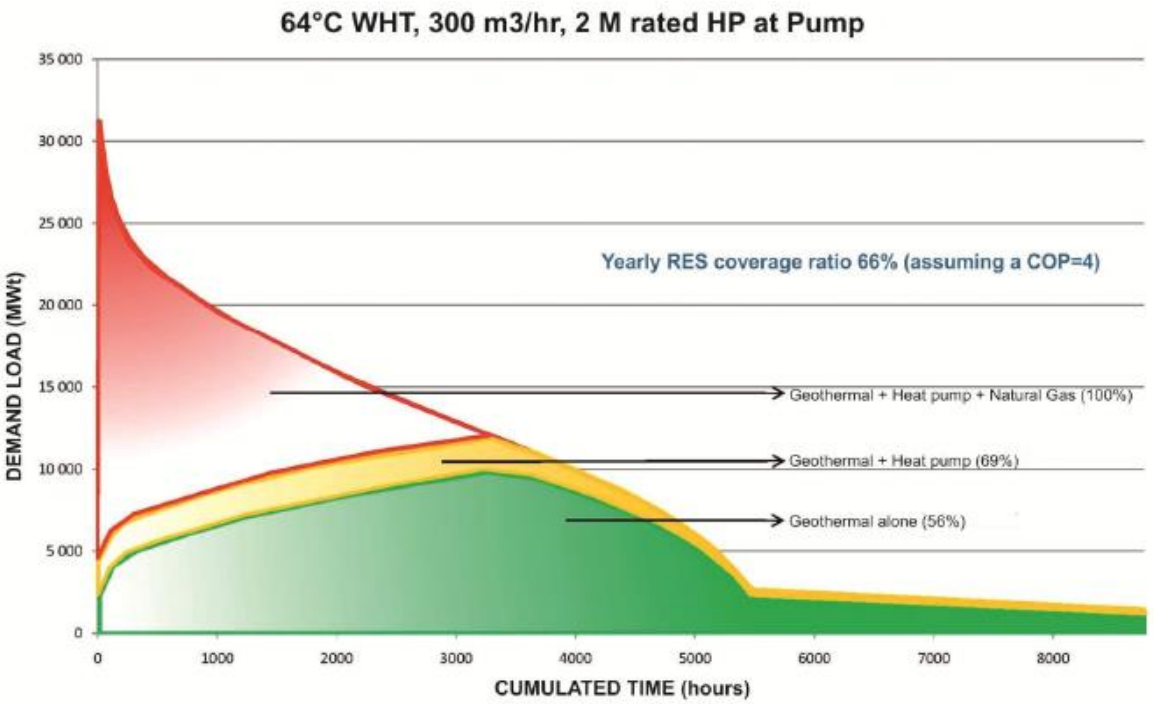
### Geothermische Anlagen in der Ile-de-France Region

| Geothermal plant | Year of commissio-ning | Year of shut-down | Wellhead / Inlet temperature (°C) | Average flow rate (kg/s) | Brine salinity (g/l) | Additional energy source | Geothermal con-tribution to heat supply (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Melun (L'Almont) | 1969 | | 72 | 45 | 12,7 | cg gz | 71 |
| Villeneuve-la-Garenne | 1976 | 1994 | 57 | 14 | | | |
| Le Mee-sur-Seine | 1978 | | 72 | 29 | 13 | gz df | 79 |
| Coulommiers | 1981 | | 85 | 36 | 30,5 | cg gz | 98 |
| Montgeron | 1981 | | 72,5 | 27,5 | 12,2 | gz | 59 |
| La Courneuve (Sud) | 1982 | | 56 | 50 | 21,9 | cg gz | 20 |
| Cergy-Pontoise – Ville Nouvelle | 1982 | 1991 | 57 | 55,5 | 14 | | |
| Aulnay-sous-Bois 1 | 1982 | 1994 | 71 | 61 | 25,7 | | |
| Clichy-sous-Bois | 1982 | | 71 | 16 | 19,3 | cg gz | 33 |
| Meaux (Beauval & Collinet) | 1982/83 | | 75 | 37 | 32,6 | cg gz df | 93 |
| Meaux (Hopital) | 1983 | | 76 | 45 | 31,5 | cg gz | 72 |
| Evry – Ville Nouvelle | 1983 | 1999 | 72 | 49 | 10,4 | | |
| Fontainebleau (Ecole des Mines) | 1983 | 1991 | 74 | 36 | 6 | | |
| Acheres | 1983 | 1989 | 55 | 55,5 | 12,6 | | |
| La Celle Saint-Cloud | 1983 | 1989 | 62 | 47 | 11,4 | | |
| Ris-Orangis | 1983 | | 72 | 35,3 | 11,5 | cg gz df | 70 |
| Blanc-Mesnil (Nord) | 1983 | | 66 | 27 | 27 | gz df | |
| La Courneuve (Nord) | 1983 | | 58 | 54 | 23,8 | gz | |
| Sevran | 1983 | 1990 | 69 | 76 | 25 | | |
| Vaux-le-Penil | 1983 | 1998 | 72 | 40 | 12,5 | | |
| Ivry-sur-Seine | 1983 | 1994 | 63,8 | 33 | 16 | | |
| Sucy-en-Brie | 1983 | | 78 | 35 | 24,9 | | 54 |
| Chatenay-Malabry | 1984 | 1997 | 67 | 49 | 10 | | |
| Garges-les-Gonesse | 1984 | 1994 | 67,7 | 69 | 29,1 | | |
| Epinay-sous-Sénart | 1984 | | 72 | 67 | 14 | gz | 80 |
| Aulnay-sous-Bois 2 | 1984 | 1994 | 70,5 | 76 | 24,9 | | |
| Bondy | 1984 | 1989 | 64 | 69 | 16,4 | | |
| Tremblay-en-France | 1984 | | 73 | 52,5 | 26,1 | gz | 65 |
| Cachan 1 & 2 | 1984 | | 70 | 36 | 16,2 | cg gz hf | 81 |
| Orly 1 | 1984 | | 76 | 67 | 12,2 | hf df gz | 65 |
| Paris 16eme (Porte de Saint Cloud) | 1984 | 1989 | 62 | 55,5 | 14,4 | | |
| Vigneux sur Seine | 1985 | | 73,2 | 31 | 12,5 | gz df | 22 |
| Champigny-sur-Marne | 1985 | | 78 | 48 | 27,7 | cg gz | 67 |
| Chevilly-Larue/L'Hay-les-Roses | 1985 | | 72,6 | 67 | 14,7 | cg gz | 82 |
| Créteil | 1985 | | 78,9 | 67 | 23,3 | cg df | 20 |
| Maisons-Alfort 1 | 1985 | | 73 | 58 | 21,4 | cg gz df | 82 |
| Villiers-le-Bel | 1985 | | 67 | 22 | 26,1 | cg hf | 58 |
| Chelles | 1986 | | 69 | 16 | 21,2 | cg gz hf | 56 |
| Alfortville | 1986 | | 73 | 44 | 19,5 | gz | 86 |
| Bonneuil-sur-Marne | 1986 | | 79,3 | 14 | 22 | gz | 81 |
| Fresnes | 1986 | | 73 | 37 | | cg gz df | 65 |
| Maisons-Alfort 2 | 1986 | | 74 | 36 | 20,3 | cg gz df | 70 |
| Orly 2 et 3 Le Novelet | 1986 | | 75 | 35,5 | 14,8 | hf df gz | 85 |
| Thiais | 1986 | | 76 | 40 | 17,8 | gz | 95 |
| Villeneuve Saint Georges | 1987 | | 76 | 34 | 19,9 | cg gz df | 54 |
| Paris Tour Mirabeau Cristal | 1989 | | | | | | 50 |
| Paris 19eme (La Villette) | 1990 | 1990 | | | | | |
| Orly Airport | 2010 | | 74 | 69 | | | 88 |
| Paris Nord-Est (CPCU) | 2010 | | | | | | 43 |
| Plessis-Robinson (Albian) | 2013 | | 38 | 55,5 | | | 60 |
| Neuilly-sur-Marne | 2013 | | 68 | 83 | | | 35 |
| Issy-les-Moulineaux (Albian) | 2013 | | 28 | 18 | | | 60 |
| Villepinte | 2015 | | | | | | 2 |
| Arcueil-Gentilly | 2015 | | 74 | | | | 19 |
| Val d'Europe Village Nature | 2016 | | 78 | | | | |
| Villejuif | 2016 | | | | | | |
| Lognes-Torcy (Val Maubuée) | 2016 | | | | | | 85 |
| Bagneux | 2016 | | 65 | | | | |
| Paris Batignolles | 2016 | | 28 | | | | |
| Ivry | 2016 | | | | | | |

*Abbreviations: cg, gz, df and hf denote cogeneration, gas, diesel fuel and heavy fuel oil, respectively.*

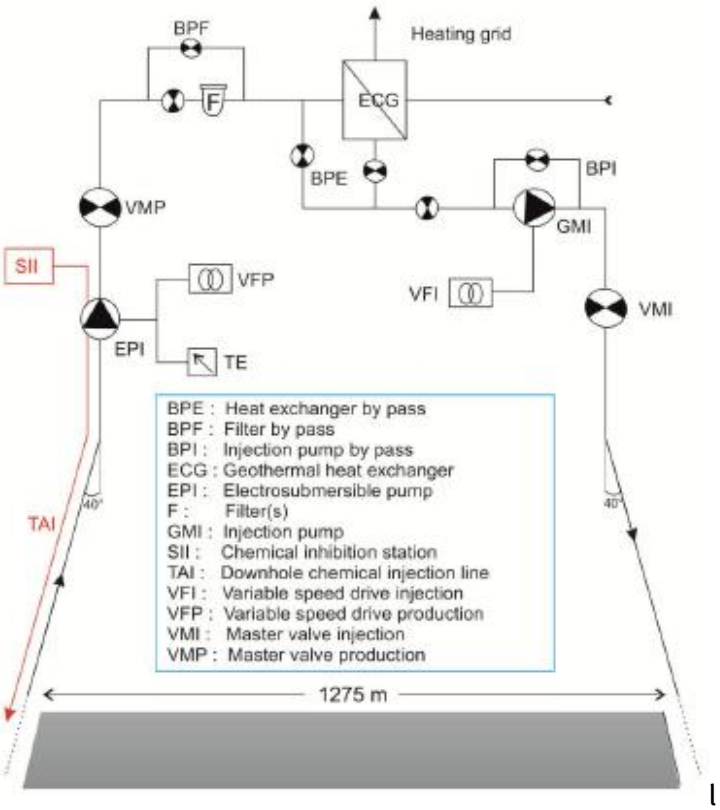
Quelle: © Hamburg Institut. Daten zusammengestellt nach Lopez et al. (2010), Vernier et al. (2015), Boissavy et al. (2016) und BRGM & ADEME (2016)

## Typische Jahresdauerlinie




© Ungemach & Borozdina (2012)

## Typisches Design eines Geothermiekreislaufs im Pariser Becken




© Ungemach & Borozdina (2012)

## Besonderheiten

- Viele Projekte im Pariser Becken sind seit mehr als 30 Jahren in Betrieb.
- Dicht besiedelter urbaner Raum, Bohr- und Projektstandorte in Verbrauchernähe.
- Lebensdauer der Dubletten ist in der Regel durch die Alterung der Bohrungen begrenzt.
- Thermalwasserchemismus (Mineralisierung, gelöste Gase) und mikrobielle Aktivität bergen Risiko von Korrosion (v.a. Löcher in der Verrohrung) und Ausfällungen.
- In den 80er Jahren lag die durchschnittliche Pumpen-Lebensdauer unter einem Jahr.
- Z.T. Einsatz von Glasfaser-Linern, um $H_2S$-Korrosion zu vermeiden.
- Verwendung von Scaling- und Korrosions-Inhibitoren (2-5 mg/l) zum Schutz der Verrohrung seit den 90er Jahren; erhöhte Inhibitorkonzentration (5-10 mg/l) bei artesischen Brunnen.
- Überwachung seit Beginn der geothermischen Erschließung: pH-Wert leicht gesunken, Sulfid-Konzentration leicht gestiegen → höhere Herausforderung im Hinblick auf Korrosions- und Ausfällungsschutz.
- Z.T. Einsatz von Bioziden, um das Wachstum von Sulfat-reduzierenden Bakterien zu vermeiden. Minimierung des Problems durch geschlossenen Primärkreislauf (kein Sauerstoff-Kontakt) und sorgfältiges Monitoring.
- Einrichtung eines Notfallservices bei Blowouts
- Schwache ökonomische Basis (hohe Schuldenquote, konkurrierender Gaspreis) führte in der Vergangenheit zu einer Restrukturierung hin zu einer Kombination aus Gas-KWK-Anlagen und geothermischen Wärmenetzen mit geringerer geothermischer Auslastung. Wegen strengerer Umweltauflagen und höheren Gaspreisen nimmt die Anzahl gekoppelter Anlagen aktuell jedoch wieder ab.
- Viele Projekte auf engem Raum → thermohydraulische Beeinflussung zwischen den Projekten ist zu vermeiden.
- Großräumige thermo-hydraulische Modellierung zur Abschätzung der Lebensdauer einer Dublette und zur Optimierung der Standorte für neue Bohrungen.
- Dubletten werden z.T. ersetzt / ergänzt durch Tripletten, ehemalige Produktions- zu Injektionsbohrungen umgewidmet.
- Übergang zu Multilateral-Bohrungen, die alle produktiven Schichten subhorizontal erschließen.
- Viele neue Projekte geplant, insbesondere in der Nachbarschaft existierender Projekte; daher rücken flachere und tiefere Reservoir-Horizonte in den Fokus der Exploration.
- Die Machbarkeit von saisonalen Aquifer-Wärmespeichern wird geprüft.
- Errichtung eines öffentlichen Zentrums zum Management des Dogger-Aquifers im regionalen Maßstab.
- Die Erfolgswahrscheinlichkeit wurde in der Vergangenheit mit 77% angegeben (Ungemach 2014). Bei den Projekten der letzten 5 Jahre ist diese auf 90% gestiegen (Antics 2015). Die übrigen 10% sind bedingt durch mangelnde Konnektivität zwischen Produktions- und Injektionsbohrung, was zu einer starken Druckabsenkung auf der Produktionsseite führt.
- Staatliches Risikoabsicherungs-Programm (eingeführt in den 80er Jahren, reaktiviert im Jahr 2005) deckt das geologische Explorationsrisiko (zu geringe Fließraten/Temperaturen) und langfristige Nachhaltigkeit (z.B. Korrosion/Ausfällungen, Temperaturabfall mit der Zeit) ab. Die Zahlung von 1,5% der Versicherungssumme beinhaltet eine maximale Erstattung von 90% der erstattungsfähigen Kosten für den Baustein der geologischen Risiken. Die Nachhaltigkeits-Absicherung erfordert eine Vorabzahlung von 3,2% der abgedeckten Kosten für die ersten 15 Jahre (mit einer möglichen Verlängerung auf 25 Jahre) sowie die Zahlung eines jährlichen Beitrags für die letzten 10 Jahre.

- Subventionen aus dem staatlichen „fond chaleur“ für die Bohrung von bis zu 2,5 Mio. € und für das Wärmenetz von bis zu 4 Mio. €, d.h. von insgesamt bis zu 35% der typischen Projektkosten, fördern viele Geothermieprojekte und führen zu kurzen Amortisationszeiten und attraktiven Renditen.
- Reduzierter Mehrwertsteuersatz (5,5 statt 20%) für Kunden von Fernwärmenetzen, die mit mehr als 50% aus „sauberen“ Energiequellen (inkl. Geothermie) gespeist werden.
- Gesetzliche Unterstützung der Verwendung erneuerbarer Energien zum Heizen und Kühlen von Büros und kommunalen Gebäuden sowie zum Einsatz in Landwirtschaft und Industrie. Ziel ist es, Wärme aus erneuerbaren Energien mindestens 5% günstiger zu machen als konventionelle Wärme.
- Eine Ökosteuer auf Treibhausgas-Emissionen würde die Wirtschaftlichkeit zusätzlich verbessern.

## Referenzen

- Antics (2015)
- Boissavy et al. (2013)
- Boissavy et al. (2016)
- BRGM und ADEME (2016)
- Bugarel (2012)
- Hamm (2013)
- Lopez et al. (2010)
- Ungemach (2001)
- Ungemach (2014)
- Ungemach und Antics (2015)
- Ungemach und Borozdina (2012)
- Vernier et al. (2015)

## A.2.9 Riehen

Projektdatenblatt „Riehen“

| **Stammdaten** | | | |
|---|---|---|---|
| **Projektname** | **Ort** | **Bundesland** | |
| Erdwärme Riehen | Riehen | Basel-Stadt (Schweiz) | |
| **Betreiber** | | **Projektbeginn** | **Betriebsbeginn** |
| Wärmeverbund Riehen AG | | 1988 (1. Bohrung) | 1994 |
| **Gesellschafter** | | | |
| Gemeinde Riehen (87,5 %), Industrielle Werke Basel (12,5%) | | | |
| **Geothermische Quelle** | | | |
| **Provinz** | **Zielhorizont** | **Reservoirtyp** | **Chemismus (TDS)** |
| Oberrheingraben | Muschelkalk | Kalkstein | 16-18 g/l |
| **Erschließungskonzept** | | | |
| **Schema** | **Pumpensystem** | **Pumpenleistung** | |
| Dublette | ESP | 168 kW | |

| | **1. Bohrung** | **2. Bohrung** | **Besonderheiten** |
|---|---|---|---|
| **Art** | Produktion | Injektion | |
| **$T_{Bohrlochkopf}$** | 66 °C | 25 °C | |
| **$Q_{Betrieb}$** | 23 l/s | | |
| **Bohrteufe** | 1.547 m | 1.247 m | |
| **Filterstrecke** | | | |
| **Enddurchmesser** | | | |

| **Energetisches Konzept** | | |
|---|---|---|
| **Nutzungskonzept** | | |
| KWK | | |
| **Installierte Leistung Strom** | **Installierte Leistung Wärme** | **Davon aus Geothermie** |
| 3,45 MW (BHKW) | 32 MW | 1,5 MW (über Wärmetauscher)<br>5,0 MW (über Geothermie-Wärmepumpen) |
| **Weitere Energieträger** | **Leistung** | **Details Einbindung** |
| Fernwärme / Gas | 2 BHKW Gas, 4.400 $kW_{th}$ und 3460 $kW_{el}$ | Stromerzeugung für den Anlagenbetrieb, Abwärme in Fernwärmenetz eingespeist |
| | 3 Fernwärme-WT je 3,0 MW | "Mittellast" |
| | 3 Gaskessel je 2,9 MW | Spitzenlast |
| | 1 Gaskessel je 1,85 MW | Spitzenlast |

| Temperaturanhebung [K] | Art (z.B. Wärmepumpe) | Leistung | Energiequelle |
|---|---|---|---|
| 19 | 3 Kompressionswärme-pumpen seriell, Regelbe-reich 10 – 100 % | 3.472 kW | elektrisch (ohne Direktanteil) |
| Bis zu 40 | Strahlungswärmepumpe | 600 kW | elektrisch, inkl. Anteil BHKW-Abwärme |

**Wärmespeicher**

3 Wärmespeicher mit je 100.000 l, um Bezugsschwankungen im Wärmeverbundnetz auszugleichen

**Abnehmerstruktur**

| Abnehmer | Temperaturniveau Vorlauf | Temperaturniveau Rücklauf | Leistung aus Geother-mie | Bemerkungen |
|---|---|---|---|---|
| Fernwärme | 70-90 °C | 48-52 °C | 5,25 MW | |

**Wärmenetz**

| Gesamtlänge | Länge Bestand | Länge Neubau |
|---|---|---|
| 36,6 km | | Erste Netzstruktur 1989, Ausbau bis 1996, dann lediglich kleinere Anschlüsse bis 2009, dann wie-der kräftigerer Zubau |

| Hausanschlüsse Bestand | Hausanschlüsse Neu | Anschlussquote Bestand | Anschlussquote neu | Leistung der Speisepumpen |
|---|---|---|---|---|
| | 487 | | aktuell 65 % (des durch Fernwärmelei-tungen er-schlossenen Gebietes), Zu-wachs am An-fang sehr schnell (bis auf 70-80 %), dann abflachend, ak-tuell wieder steigend. | 3 x 90 kW, im Betrieb je 50 % Leistung |

| Vorlauftemperatur | Rücklauftemperatur | Durchmesser | Druck |
|---|---|---|---|
| 70-90 °C | 48-52 °C | DN 25-DN250 | PN16 |

**Details zur Netzeinbindung /Einspeisevariante (RL->RL, RL->VL, VL->VL[9])**

RL-VL

[9] RL->RL: Rücklaufanhebung, d.h. Entnahme aus und Einspeisung in den Wärmenetzrücklauf
RL->VL: Anhebung auf Vorlauftemperatur, d.h. Entnahme im Rücklauf und Einspeisung in den Wärmenetzvorlauf
VL->VL: Vorlaufanhebung, d.h. Entnahme aus und Einspeisung in den Wärmenetzvorlauf

| Vergleich Planung – Aktueller Ausbau | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **Gesamte jährlich in das Wärmenetz eingespeiste Wärmemenge [GWh/a]** | **Anteil Geothermie [%]** | **Vorlauf-temperatur [°C]** | **Rücklauf-temperatur [°C]** |
| **Geplanter Endausbau** | Ca. 70 GWh/a | Ca. 45 % | 70 - 90°C | 48-52 °C |
| **Aktueller Ausbau** | 45 GWh/a | Ca. 40% | 70 - 90°C | 48-52 °C |

| Ökonomie / Ökologie | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Investitionskosten** | **Davon Kraftwerk** | **Davon Heizzentrale** | **Davon Netzausbau** | **Besonderheiten** |
| ca. 82,3 Mio. CHF | | Heizzentralen 31,8 Mio. CHF | 38,7 Mio. CHF | 11,8 Mio. CHF (Geothermie) |

**Finanzierung und Förderung**

- 17,35 Mio. CHF subventioniert (aus diversen "Töpfen")

| **Anlagenverfügbarkeit (technisches Potential)** | **Anlagen-Auslastung (Nutzungspotential)** | **Jahresproduktion geothermisch [GWh/a]** |
|---|---|---|
| | Keine vollständige Nutzung (Reduktion oder Abschaltung bei geringer Wärmenachfrage im Sommer) – Deckung über aus ökonomischen Gründen ganzjährig laufendes, gasbetriebenes BHKW | 20-25 |

| **Amortisation** | **Rendite** |
|---|---|
| Cash-Flow positiv; schwarze Zahlen voraussichtlich in 2-3 Jahre (abhängig von Preisgestaltung, Temperaturen und Gaspreis). | Ziel: schwarze Null |

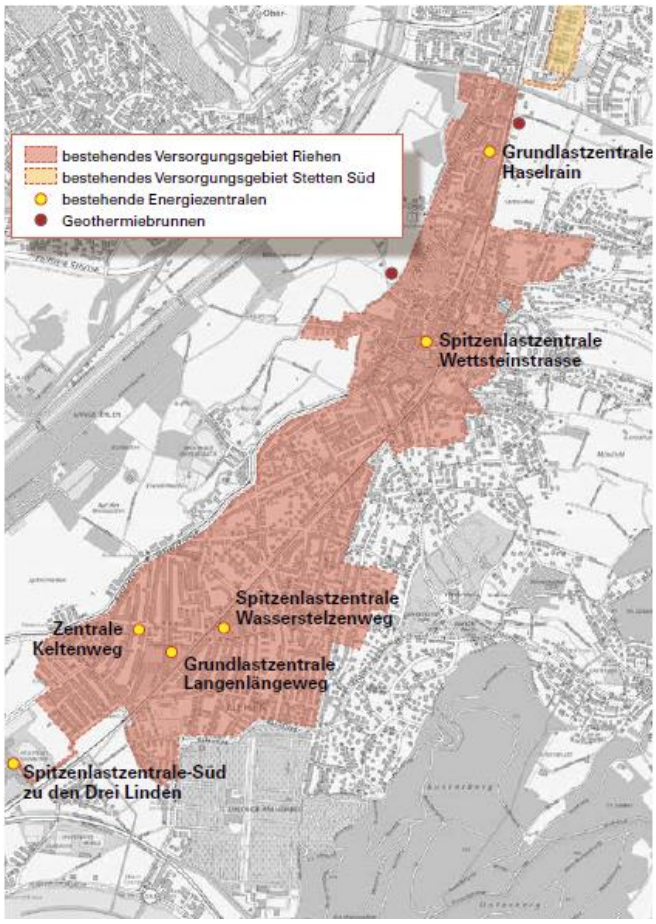
| **$CO_2$-Einsparung** | **Berechnungsmodell $CO_2$-Einsparung** |
|---|---|
| Ø 6.000- 7.000 t/Jahr | Vergleich von „80% Gas, 20% Öl“ und Erdwärme Riehen Wärmeverkauf und –input |

**Sonstige Umwelteffekte**

Der Schweizer Produktions-Strommix ist aufgrund des hohen Anteils von Wasser- und Atomstrom nahezu „$CO_2$-frei“. In Riehen produziert allerdings ein gasbetriebenes BHKW Strom, die Stromerzeugung ist somit mit höheren $CO_2$-Emissionen verbunden. Anstatt des BHKWs wäre auch eine Lösung mit Geothermie, elektrischen Wärmepumpen, Fernwärme aus der Müllverbrennungsanlage, Gaskessel und Holzanlage möglich gewesen. Aus ökonomischen Gründen wurde jedoch die vorliegende Lösung umgesetzt.

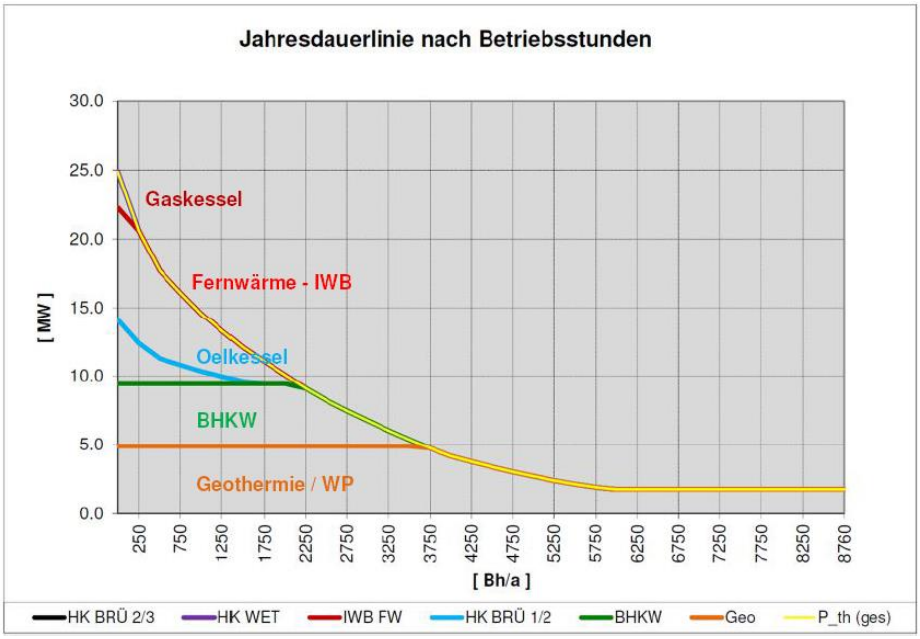
# Abbildungen

## Fernwärmenetz Stand März 2016



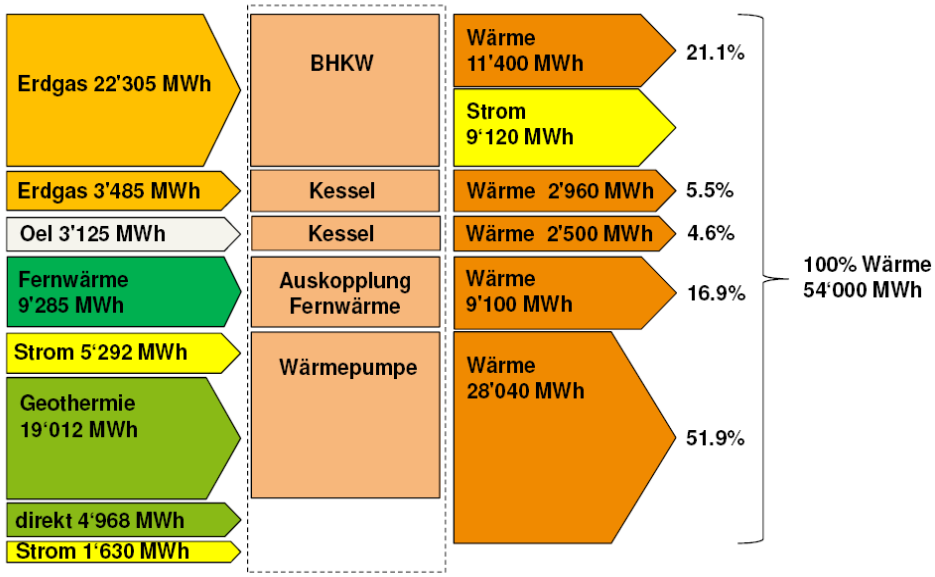

© Wärmeverbund Riehen AG (2016)

## Jahresdauerlinie nach Betriebsstunden (Planung 2009)



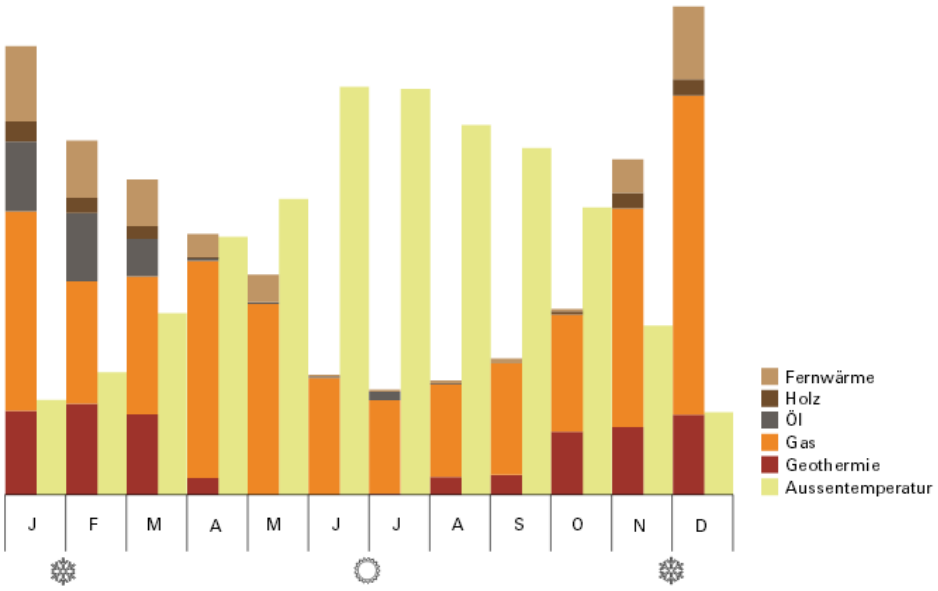

© Schädle (2014)

## Energiebilanz-Auslegungsplanung 2009



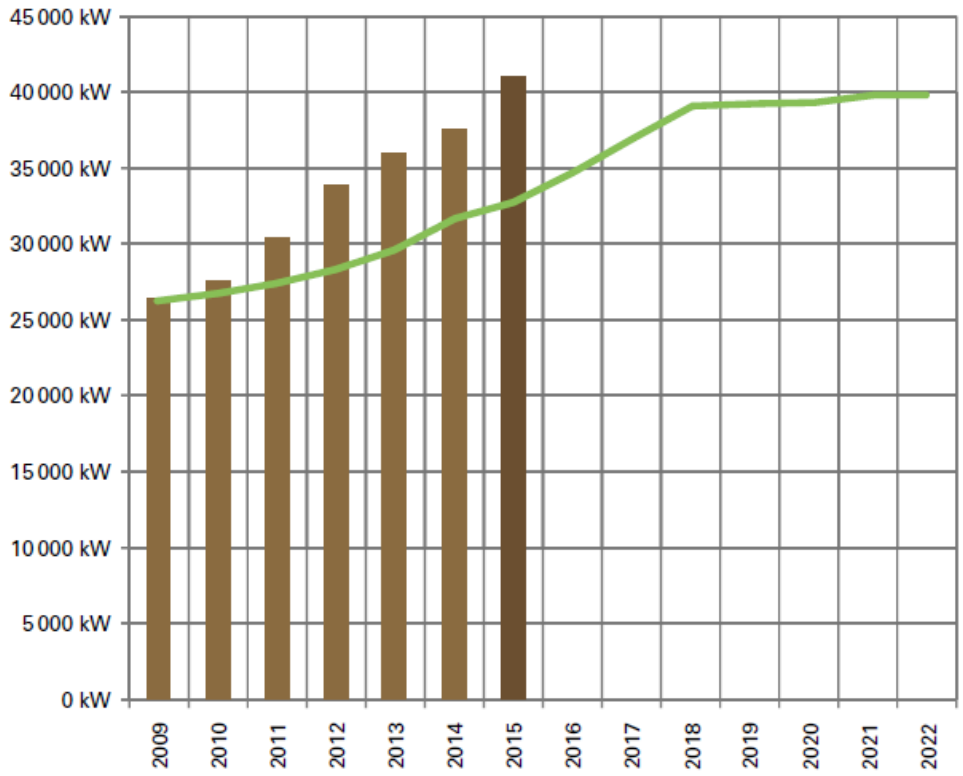

© Schädle (2014)

## Energienutzung und Außentemperatur 2014




© Wärmeverbund Riehen AG (2014)

## Entwicklung der Anschlussleistung seit 2009




© Wärmeverbund Riehen AG (2016)

## Besonderheiten

- Erste geothermische Großanlage der Schweiz
- Grundlast (Geothermie) 5,25 MW zzgl. konventionelle Kraft-Wärme-Kopplung und Abwärme aus Müllverbrennung
- Kaskadenförmige Abkühlung des Thermalwassers zuerst im Wärmetauscher, dann durch Wärmepumpe
- „Riehen Plus“ 2009: Erweiterung des Fernwärmenetzes durch Zusammenschluss von drei bestehenden Netzen zum Wärmeverbund Riehen, Erhöhung der Fließrate
- Pumpenschäden durch Scaling, Korrosion (hohe Mineralisation), Abnutzung
- Einbau korrosionsbeständiger Bauteile (Kunststoff / Titan, Inhibitor in der Förderbohrung)

## Referenzen

- Schädle (2009a, 2009b)
- Schädle (2014)
- Schädle (2015)
- Wärmeverbund Riehen (2004)
- Wärmeverbund Riehen AG (2014)
- Wärmeverbund Riehen AG (2015)
- Wärmeverbund Riehen AG (2016)

# A.3 Projektdatenblatt Solarthermie

## A.3.1 Projektdatenblatt „Solare Nahwärme Crailsheim Hirtenwiesen 2“

Projektdatenblatt „Solare Nahwärme Crailsheim Hirtenwiesen 2“

| **Stammdaten** | | | |
|---|---|---|---|
| **Projektname** | **Ort** | **Bundesland** | |
| Solare Nahwärme Crailsheim Hirtenwiesen 2 | Crailsheim | Baden-Württemberg | |
| **Betreiber** | | **Projektbeginn** | **Betriebsbeginn** |
| Stadtwerke Crailsheim GmbH | | 1999 (Energiekonzept) | 2005; Endausbau 2012 |
| **Gesellschafter** | | | |
| Stadt Crailsheim | | | |
| **Energetisches Konzept** | | | |
| **Nutzungskonzept** | | | |
| Solar unterstütztes Nahwärmesystem | | | |
| **Installierte Leistung Strom** | **Installierte Leistung Wärme** | **Davon aus Geothermie** | |
| - | Bestehendes Wärmenetz (1 Gas-BHKW + 2 Gaskessel) + Solarthermie 5,1 $MW_{th}$ | - | |
| **Weitere Energieträger** | **Leistung** | **Details Einbindung** | |
| Solarthermie | 5,1 $MW_{th}$ | Zentral | |
| **Temperaturanhebung [K]** | **Art (z.B. Wärmepumpe)** | **Leistung** | **Energiequelle** |
| 23 – 50 K (nur bei Bedarf) | Wärmepumpe | 480 $kW_{th}$ | Strom |
| **Wärmespeicher** | | | |
| Zwei über Wärmeübertrager in das Wärmenetz eingebundene Heißwasserdruckspeicher (100 und 480 m³) | | | |
| Erdsonden-Wärmespeicher mit einem erschlossenen Erdreichvolumen von 37.500 m³ | | | |

| **Abnehmerstruktur** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Abnehmer** | **Temperaturniveau Vorlauf** | **Rücklauf** | **Leistung aus Geothermie** | **Bemerkungen** |
| 260 Wohneinheiten (überwiegend EFH) | 60 °C | 30 °C | - | Temperaturniveau der Raumheizung (RH) |
| 1 Schule | 60 °C | 30 °C | - | s. oben |
| 1 Sporthalle | 60 °C | 30 °C | - | s. oben |

| **Wärmenetz** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Gesamtlänge** | | **Länge Bestand** | | **Länge Neubau** |
| ca. 20.400 m | | - | | ca. 20.400 m |
| **Hausanschlüsse** | | **Anschlussquote** | | **Leistung der Speisepumpen** |
| **Bestand** | **Neu** | **Bestand** | **Neu** | |
| | 260 Wohneinheiten, 1 Schule, 1 Sporthalle | | 100 % | ca. 7,5 kW |

| Vorlauftemperatur | Rücklauftemperatur | Durchmesser | Druck |
|---|---|---|---|
| 65 -70 °C | 40 °C | DN 25 - DN 200 | 6 - 7 bar |

**Details zur Netzeinbindung /Einspeisevariante (RL->RL, RL->VL, VL->VL[10])**

Zentrale Einbindung der Solaranlage. Die erzeugte Solarwärme wird aus dem 100 m³ großen Pufferspeicher ohne Wärmeübertrager in das Wärmenetz eingespeist.

**Vergleich Planung – Aktueller Ausbau**

| | Gesamte jährlich in das Wärmenetz eingespeiste Wärmemenge [GWh/a] | Anteil Solarthermie [%] | Vorlauf-temperatur [°C] | Rücklauf-temperatur [°C] |
|---|---|---|---|---|
| Geplanter Endausbau | 4,1 | 50 % | 65 °C | 35 °C |
| Aktueller Ausbau (2012) | 4,7 | 51 % | 65 -70 °C | 40 °C |

**Ökonomie / Ökologie**

| Investitionskosten | Davon Kraftwerk | Davon Heizzentrale | Davon Netzausbau | Besonderheiten |
|---|---|---|---|---|
| 8 Mio € | | | | davon 4,5 Mio € für das Solarsystem |

**Finanzierung und Förderung**

- Ca. 3,5 Mio € Fördermittel des Bundesumweltministeriums, des Wirtschaftsministeriums Baden-Württemberg und der Stadt Crailsheim

| Anlagenverfügbarkeit (technisches Potential) | Anlagen-Auslastung (Nutzungspotential) | Jahresproduktion solarthermisch [GWh/a] |
|---|---|---|
| Nahezu 100 % (kein Stillstand, keine Stagnation der Solarkollektoren) | solarstrahlungsabhängig | 2,3 GWh/a (solare Nutzwärme im Jahr 2012) |

**Verlauf Jahresproduktion**

K.A.

| Amortisation | Rendite |
|---|---|
| K.A. | K.A. |
| **$CO_2$-Einsparung** | **Berechnungsmodell $CO_2$-Einsparung** |
| ca. 500 t Kohlendioxid jährlich | Stadtwerke Crailsheim |

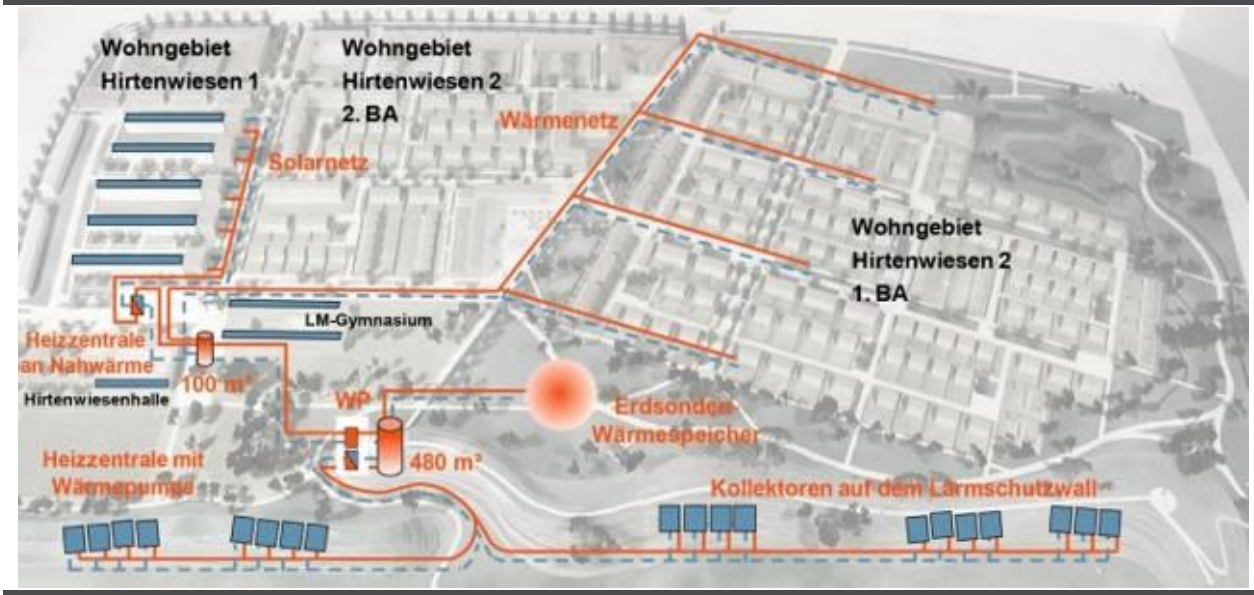
**Sonstige Umwelteffekte**

Die Freiflächengestaltung um die auf einem Lärmschutzwall befindliche Kollektorfläche von ca. 5000 m² verfolgt besondere ökologische Ziele. Hierzu gehören die Gestaltung von „Solarbiotopen“ wie Trocken-und Halbtrockenrasen, Weinberg mit u.a. mediterranen, licht-und wärmeliebenden Pflanzen. Vorbilder dazu liefern Vegetationseinheiten und Pflanzenarten aus der Umgebung von Crailsheim.

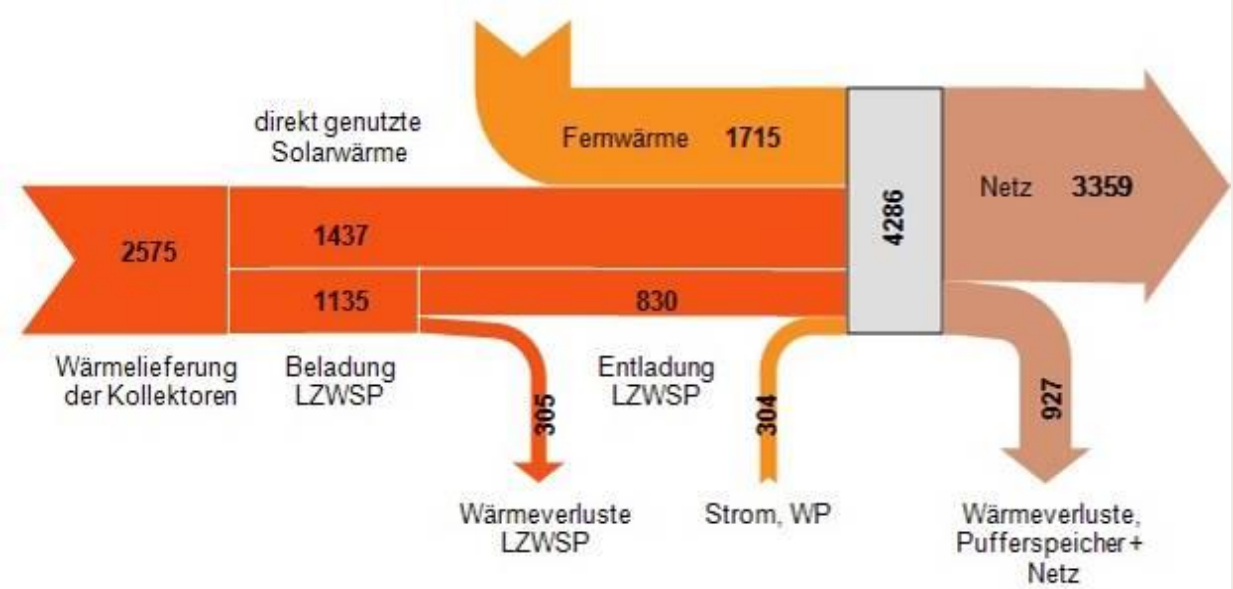
[10] RL->RL: Rücklaufanhebung, d.h. Entnahme aus und Einspeisung in den Wärmenetzrücklauf
RL->VL: Anhebung auf Vorlauftemperatur, d.h. Entnahme im Rücklauf und Einspeisung in den Wärmenetzvorlauf
VL->VL: Vorlaufanhebung, d.h. Entnahme aus und Einspeisung in den Wärmenetzvorlauf

## Abbildungen

### Schema der solaren Nahwärme Crailsheim Hirtenwiesen 2




### Energiebilanz der solaren Nahwärme Crailsheim Hirtenwiesen 2




## Besonderheiten

- Wesentlicher Bestandteil der solaren Nahwärme Crailsheim Hirtenwiesen 2 ist die mit 7.300 m² Kollektorfläche größte thermische Solaranlage Deutschlands.
- Zur Erreichung eines hohen solaren Deckungsanteils von ca. 50 % am Gesamtwärmebedarf des zu versorgenden Wärmenetzes wird die im Sommer erzeugte Überschuss-Solarwärme in einem Erdsonden-Wärmespeicher saisonal gespeichert.
- Die verbleibenden 50 % des Gesamtwärmebedarfs des Versorgungsgebiets werden aus dem bestehenden Fernwärmenetz nachgeheizt. Die Nachheizung ist auf Grund deren möglicher variabler Fahrweise seriell zu der Solaranlage eingebunden.
- Die beiden im System integrierten Pufferspeicher sind als Beton-Druckspeicher (2,5 – 3 bar) ausgeführt und ohne Wärmeübertrager direkt in das Wärmeerzeugungssystem

eingebunden. Da das versorgte Wärmenetz mit einem Druck von ca. 6 - 7 bar betrieben wird, ist dieses vom Wärmeerzeugungssystem durch einen Netzwärmeübertrager getrennt.

- Auf Grund der großen Nachfrage nach einem Anschluss an die solare Nahwärme wurden entgegen der ursprünglichen Planung zusätzliche grundsanierte Mehrfamiliengebäude an die Wärmeversorgung angeschlossen.
- Da der solare Deckungsanteil am Gesamtwärmebedarf mit abnehmenden Wärmenetztemperaturen zunimmt, wurde das in dem Neubaugebiet Hirtenwiesen II verlegte Nahwärmenetz auf geringe Vor- und Rücklauftemperaturen von 65/35 °C ausgelegt.
- Für die in dem zu versorgenden Neubaugebiet Hirtenwiesen II erstellten Gebäude besteht eine Anschlusspflicht an die solare Nahwärmeversorgung und die Verpflichtung zur Einhaltung der Anschlussbedingungen.
- Die Anschlussbedingungen sehen u.a. eine Verwendung der durch die Stadtwerke Crailsheim gelieferten und installierten Hausübergabestationen, eine Begrenzung der Heizungsvorlauftemperatur in den Gebäuden auf maximal 60 °C und eine netzseitige Rücklauftemperaturbegrenzung an den Hausübergabestationen (auch im laufenden Betrieb) auf ca. 40 °C vor.
- Das Verfahren zur Installation der Hausübergabestationen wird auch von den Installateuren positiv angenommen, da bei Einhaltung der von den Stadtwerken vorgegebenen Abläufe und technischen Randbedingungen ein reibungsloser Bauablauf sichergestellt ist. Spätere Reklamationen der Hausbesitzer werden vom Wartungs- oder Notdienst der Stadtwerke Crailsheim bearbeitet.
- Die Mehrkosten für die Niedertemperatur-Heizsysteme betragen nach Angaben der Stadtwerke Crailsheim ca. 1000-1500 Euro je Einfamilienhaus.
- Der innovativ gebaute Erdsonden-Wärmespeicher ist so konstruiert, dass dieser zukünftig bei Bedarf (z.B. bei einer Erweiterung des Versorgungsgebiets) von 80 auf 160 Erdwärmesonden erweitert werden kann.
- Zudem wird durch die Stadtwerke Crailsheim in Betracht gezogen, den Erdsonden-Wärmespeicher zukünftig als multifunktionalen Wärmespeicher zur zusätzlichen Speicherung von Wärme aus KWK-Anlagen zu nutzen. In diesem Fall ist eine weitergehende Kopplung des Wärmenetzes der solaren Nahwärmeversorgung Hirtenwiesen II mit dem Bestandsnetz der Stadtwerke Crailsheim erforderlich, um die im Sommer erzeugte Solarwärme direkt nutzen zu können.

## Referenzen

- Bollin et al. (2013)
- Stadtwerke Crailsheim GmbH (2015a)
- Stadtwerke Crailsheim GmbH (2015b)

# A.4 Projektdatenblatt Industrielle Abwärme

## A.4.1 Projektdatenblatt „Raffinerieabwärme Karlsruhe“

Projektdatenblatt „Raffinerieabwärme Karlsruhe“

| **Stammdaten** | | | |
|---|---|---|---|
| **Projektname** | **Ort** | **Bundesland** | |
| Einbindung von Raffinerieabwärme in die Fernwärme Karlsruhe | Karlsruhe | Baden-Württemberg | |
| **Betreiber** | | **Projektbeginn** | **Betriebsbeginn** |
| Stadtwerke Karlsruhe GmbH/ Mineralölraffinerie Oberrhein GmbH & Co. KG | | 2007 | 2010; Endausbau 2016 |
| **Gesellschafter** | | | |
| Stadtwerke Karlsruhe: 80 % kommunale Holding KVVH, 20 % EnBW AG<br>MiRO: 32,25 % Shell Deutschland Oil GmbH, 25 % ESSO Deutschland GmbH, 24 % Ruhr Öl GmbH, 18,75 % CONOCO Philips Continental Holding GmbH | | | |
| **Energetisches Konzept** | | | |
| **Nutzungskonzept** | | | |
| Einbindung von Raffinerieabwärme in ein großstädtisches Fernwärmesystem | | | |
| **Installierte Leistung Strom** | **Installierte Leistung Wärme** | **Davon aus Geothermie** | |
| - | Bestehendes Wärmenetz (Steinkohle HKW, Erdgas HKW, Erdgas HW gesamt 750$MW_{th}$ | - | |
| **Weitere Energieträger** | **Leistung** | **Details Einbindung** | |
| Abwärme Werksteil 2<br>Abwärme Werksteil 1 (im Bau) | 40 $MW_{th}$<br>50 $MW_{th}$ | Zentral | |
| **Temperaturanhebung [K]** | **Art (z.B. Wärmepumpe)** | **Leistung** | **Energiequelle** |
| nein | | | |
| **Wärmespeicher** | | | |
| Nein | | | |
| **Abnehmerstruktur** | | | |
| **Abnehmer** | **Temperaturniveau Vorlauf / Rücklauf** | **Leistung aus Abwärme** | **Bemerkungen** |
| Wohnungen und Gewerbe je ca. 50% | 85-130 °C / 55-69 °C | 40 $MW_{th}$ | Ausbau bis 90 $MW_{th}$ |
| **Wärmenetz** | | | |
| **Gesamtlänge** | **Länge Bestand** | **Länge Neubau** | |
| 180 km | 160 km | 20 km | |
| **Hausanschlüsse Bestand / Neu** | **Anschlussquote Bestand / Neu** | **Leistung der Speisepumpen** | |
| Ca. 23.000 WE+ 1.200 GE. / Ca. 18.000 WE | | Pumpstrombedarf 1,4% | |
| **Vorlauftemperatur** | **Rücklauftemperatur** | **Durchmesser** | **Druck** |
| 85-130 °C | 55-69 °C | div | PN 16 |

**Details zur Netzeinbindung /Einspeisevariante (RL->RL, RL->VL, VL->VL[11])**

Zentrale Einbindung der Abwärme. Die Einbindung erfolgt über 12 speziell konstruierte Plattenwärmetauscher auf dem Raffineriegelände und eine 5 km lange Zubringerleitung DN 600 zur Fernwärmezentrale der Stadtwerke im Heizkraftwerk West. Entnahme aus dem Rücklauf und Einspeisung in den Vorlauf.

**Vergleich Planung – Aktueller Ausbau**

| | Gesamte jährlich in das Wärmenetz eingespeiste Wärmemenge [GWh/a] | Anteil Abwärme [%] | Vorlauf-temperatur [°C] | Rücklauf-temperatur [°C] |
|---|---|---|---|---|
| Geplanter Endausbau | 520 | 55 % | 120°C | 70 °C |
| Aktueller Ausbau (2013) | 300 | 37% | 120 °C | 70 °C |

**Ökonomie / Ökologie**

| Investitionskosten | Davon Auskopplung | Davon Einbindung | Davon Netzausbau | Besonderheiten |
|---|---|---|---|---|
| 29 Mio € | 14 Mio € | 5 Mio € | 10 Mio € | bei 1. Ausbaustufe |

**Finanzierung und Förderung**

- Rd. 5 Mio € Förderung durch das Umweltinnovationsprogramm der Bundesregierung
- Investitionen werden durch SWK vorfinanziert
- Risikoabsicherung eines „stranded investments“ durch MiRO wurde vereinbart
- Refinanzierung erfolgt aus dem Gegenwert der Wärme

| Anlagenverfügbarkeit (technisches Potential) | Anlagen-Auslastung (Nutzungspotential) | Jahresproduktion [GWh/a] |
|---|---|---|
| Nahezu 100 % | Im Sommer nur Teilauslastung | 300 GWh |

**Verlauf Jahresproduktion**

| Amortisation | Rendite |
|---|---|
| 10-12 a | k.A. |
| **$CO_2$-Einsparung** | **Berechnungsmodell $CO_2$-Einsparung** |
| ca. 65.000 t Kohlendioxid jährlich (ca. 100.000 t im Endausbau) | Stadtwerke Karlsruhe |

**Sonstige Umwelteffekte**

Verbesserung der Effizienz in der Raffinerie um rd. 3%.

[11] RL->RL: Rücklaufanhebung, d.h. Entnahme aus und Einspeisung in den Wärmenetzrücklauf
RL->VL: Anhebung auf Vorlauftemperatur, d.h. Entnahme im Rücklauf und Einspeisung in den Wärmenetzvorlauf
VL->VL: Vorlaufanhebung, d.h. Entnahme aus und Einspeisung in den Wärmenetzvorlauf

## Besonderheiten

- Die Raffinerie besteht aus 2 Werksteilen (ehemals ESSO und OMW). Beide Werkteile verfügen über nicht genutzte Abwärmepotentiale von jeweils rund 40 MW
- 5 km Zubringerleitung von der Raffinerie bis zur Einspeisestelle des Fernwärmenetzes (HKW West) erforderlich
- Gestuftes Vorgehen: Erste Stufe im Werkteil 2; bei Erfolg Ausweitung auf Werkteil 1
- Einbindung in den Raffinerieprozess nur während „turn-around“ (alle 4 – 5 Jahre) möglich
- Verbindungsleitung wird so dimensioniert, dass Abwärmeleistung beider Werksteile transportiert werden kann
- Raffinerieprozess hat Vorrang. Bei Problemen mit der Wärmeauskopplung wird diese zurückgefahren.
- Fernwärmebedarfsschwankungen dürfen keinerlei nachteilige Auswirkungen auf stabilen Raffineriebetrieb haben.
- SWK hat Möglichkeit zur Notkühlung überschüssiger Wärmelieferungen.
- Regelung der thermischen Leistung durch das Zu- und Abschalten der verschiedenen Wärmequellen von ca. 18 MW, 2x5 MW, 2x3 MW und 2x2 MW
- Transparenz des Vorhabens durch die Einbeziehung der Bürger und von Verbänden

## Referenzen

- Paar et al. (2013)
- Mineraloelraffinerie Oberrhein, Stadtwerke Karlsruhe (2008)
- Bittermann, H.J. (2011)
- Stadtwerke Karlsruhe (2015)