

Pilot- und Demonstration  
**Wärme-Kraft-Kopplung**

# **BHKW mit Wärmeverbund der IVF HARTMANN AG mit Klärgas aus der ARA Röti/SH**

**Optimierte Klärgasnutzung und Verstromung durch  
Kooperation von ARA und Industrie**

ausgearbeitet durch  
**Peter M. Röck**  
**Colenco Power Engineering AG**

im Auftrag des  
**Bundesamtes für Energie**

## INHALTSVERZEICHNIS

1. ZUSAMMENFASSUNG
2. AUSGANGSLAGE
3. PROJEKTZIEL
4. VORGEHENSWEISE
5. PROJEKTREALISATION
  - 5.1 GRUNDLAGEN
  - 5.2 BHKW ANLAGENKONZEPT
  - 5.3 ABSTIMMUNG DER BETEILIGTEN BETRIEBE
  - 5.4 MESSKONZEPT UND ERFOLGSKONTROLLE
  - 5.5 TERMINE
6. ERSTE RESULTATE UND AUSBLICK
  - 6.1 ERSTE RESULTATE
  - 6.2 RESULTATUMSETZUNG
  - 6.3 AUSBLICK
7. OFFENE PROBLEME
8. ANHANG.
  - 8.1 PRINZIPSHEMA
  - 8.2 TECHNISCHE DATEN

---

## 1. ZUSAMMENFASSUNG

**Die Kooperation von Abwasserreinigungsanlage und Industriebetrieb ermöglicht die optimale Nutzung von Klärgas. Mit der im Blockheizkraftwerk erzeugten Energie werden 330'000 Liter Heizöl substituiert und 40% des Elektrizitätsbedarfs der Verbandstoff-Fabrik erzeugt.**

Die ARA Röti in Neuhausen am Rheinfall produziert pro Tag im Durchschnitt rund 2'400 m<sup>3</sup> Klärgas mit einem Energieinhalt von rund 15'000 kWh. Etwa die Hälfte wurde früher für die eigene Wärmeerzeugung benötigt, den Rest lieferte man der benachbarten Verbandstoff-Fabrik IVF Hartmann AG, die mit dem Klärgas Dampf erzeugte. Während den Betriebsferien und an Wochenenden mussten jedoch rund 5% des Gases ungenutzt abgefackelt werden.

Das neue gemeinsame Gasverwertungskonzept ermöglicht nun die vollständige Nutzung des Klärgases. Kernstück der Anlage ist ein Gasmotor-BHKW auf dem Areal der IVF. Es produziert jährlich rund 1.8 Mio. kWh Elektrizität, die ausschliesslich für den Eigengebrauch genutzt werden. Daneben erzeugt es mehr als 3 Mio. kWh Raum- und Prozesswärme sowie Warmwasser, das vorher elektrisch erwärmt wurde. Ein Teil der Wärme gelangt über eine neu erstellte 180 m lange Fernleitung zurück zur ARA und dient dort der Schlammaufbereitung und der Raumheizung.

---

## 2. AUSGANGSLAGE

Die IVF HARTMANN AG (IVF) in Neuhausen kooperiert mit dem Kläranlagenverband Schaffhausen hinsichtlich der Verwertung von Klärgas, das in der Abwasserreinigungsanlage Röti/Neuhausen (ARA) anfällt. So wurde während der vergangenen Jahre etwa die Hälfte des anfallenden Klärgases aus der benachbarten Kläranlage bei der IVF zur Dampf- und Wärmeerzeugung eingesetzt. Auf Seiten der ARA war man an einem ganzjährigen Bezug von Wärme von der IVF interessiert.

Für die ARA wurde ein Vorprojekt mit dem Ziel einer Totalsanierung ausgearbeitet. Erste Abklärungen zeigten, dass Randbedingungen für die beabsichtigte Weiterführung der Biogaslieferung an IVF und für eine zukünftige Wärmelieferung an die ARA günstig waren, auf beiden Seiten jedoch technische Anpassungen und Ergänzungen notwendig wurden.

Im Rahmen einer Machbarkeitsstudie wurden nun mögliche Varianten für Energiekonzepte aufgezeigt und das *Energiekonzept IVF-Wärme* für die nächsten 10 Jahre festgelegt. Die Ausgangslage stellte sich wie folgt dar:

- Die ARA Röti erzeugt täglich etwa 2'400 Nm<sup>3</sup> Klärgas und verbrauchte etwa die Hälfte für die eigene Wärmeerzeugung sowie einen sehr kleinen Anteil für einen selten betriebenen, älteren Gasmotor auf der ARA.
- Das übrige Klärgas wurde dem ca. 800 m entfernten Gasspeicher zugeleitet, von wo die IVF mit Gas versorgt wurde. Diese verwendete das überschüssige Klärgas ausschliesslich zur Dampferzeugung. Das bezogene Gas wurde entsprechend dem Heizwert bezahlt.
- Während längeren Produktionsunterbrüchen (Ferien, verlängerte Wochenenden etc.) wird kein Dampf gebraucht und es mussten etwa 5 % der Klärgasproduktion abgefackelt werden.

## 3. PROJEKTZIEL

Die wichtigsten Ziele des Projektes, welche sich aus der Machbarkeitsstudie ergaben, können wie folgt zusammengefasst werden:

- 
- Das in der ARA Röti/Neuhausen produzierte Klärgas soll vollständig genutzt werden. Das Abfackeln von Klärgas soll vermieden werden.
  - Eine ganzjährige Wärmelieferung auf einem Niveau von mindestens 70 °C an die ARA soll gewährleistet sein.
  - Ein Verwerfen von Abwärme soll auf ein absolutes Minimum beschränkt bleiben.
  - Durch den Einsatz eines Blockheizkraftwerkes (BHKW) zur Kraft-Wärme-Kopplung soll eine Reduzierung der zugekauften elektrischen Arbeit und Leistung erreicht werden und zu dem die Nutzung der gesamten Abwärme ganzjährig erfolgen.
  - Die identifizierten Möglichkeiten der rationellen Dampferzeugung, der Wärmerückgewinnung und der Abwärmenutzung sollen im Gesamtanlagenkonzept berücksichtigt werden.

#### 4. VORGEHENSWEISE

Das Projekt wurde im wesentlichen in zwei Phasen realisiert. Während der ersten Phase wurde die technische, wirtschaftliche und ökologische Machbarkeit des Projektes untersucht, während der zweiten Phase wurde das Projekt realisiert. Die wichtigsten Schritte hierbei waren

##### ***Projektphase I***

- Erstellung einer Energieversorgungsanalyse
- Entwicklung möglicher Anlagenkonzepte
- Durchführung eines Variantenvergleichs
- Empfehlung eines Anlagenkonzeptes zur Realisierung

##### ***Projektphase II***

- Standortuntersuchung
- Klärung der Schnittstellen
- Erstellung des Betriebskonzeptes
- Erstellung der Ausschreibungsunterlagen und Ausschreibung
- Durchführung der Genehmigungsplanung

- Bauüberwachung
- Inbetriebnahme und Abnahmen
- Projektabschluss

## 5. PROJEKTREALISATION

### 5.1 GRUNDLAGEN

Die wesentlichen Grundlagen und Randbedingungen des Projektes können wie folgt zusammengefasst werden:

- Die IVF benötigt für ihre Produktionsprozesse ganzjährig Wärme. Ein Teil dieser Wärme wird auf dem Temperaturniveau 80/60 °C benötigt (z.B. zur Warmwasserbereitung).
- Die IVF bezieht während 24 h/Tag mindestens etwa 100 kW elektrische Leistung als Grundlast, so dass ein BHKW mit einer Nennleistung von ca. 100/200 kW ganzjährig betrieben werden kann, ohne nennenswerte Leistung und Energie nach aussen abzugeben.
- Das vorliegende Konzept sieht die vollständige Verstromung des Klärgases in einem grossen BHKW vor, da so der beste elektrische Wirkungsgrad erreicht wird. Damit das obige Ziel realisiert werden kann, verpflichtete sich die IVF, die komplette Klärgasproduktion aus der ARA zu kaufen.
- Während der Ferien kann mit dem BHKW die Grundlast gedeckt werden, da in dieser Zeit auch die Klärgasproduktion etwas zurückgeht.
- Während länger dauernder Service- und Reparaturarbeiten besteht die Möglichkeit der Wärmeerzeugung - und damit der sicheren Versorgung der ARA - durch den Klärgasbetrieb des vorhandenen Dampfkessels.
- Die ARA benötigt für Ihre Prozesse (Schlammheizung) ebenfalls Wärme, welche aber nicht die komplette Abwärme des BHKWs ausmacht. Diese Wärme wird gegen Bezahlung von der IVF bezogen, welche die Wärmeversorgung garantiert. Zu diesem Zweck wurde eine 180 m lange Fernwärmeverbindung auf Niveau 80/60 °C erstellt.

- Im Normalbetrieb benötigt die ARA keine eigenen Wärmeerzeuger mehr. Die verbleibende BHKW-Wärme nach der ARA-Versorgung kann grundsätzlich im IVF-Betrieb genutzt werden und ersetzt dort Wärme aus Heizöl. Damit dies auch im Sommer gewährleistet ist, wurden Anpassungen an der Infrastruktur der Warmwasserbereitung der IVF vorgenommen.
- Durch konsequente Analyse der Energieströme und weitere Anpassungen der jeweiligen Installationen kann die jährliche Energieersparnis auf bis zu 3 Mio. kWh angehoben werden.

## 5.2 BHKW ANLAGENKONZEPT

Die Projektziele könnten mit einem üblichen BHKW-Konzept für Kläranlagen nicht in gleichem Masse erreicht werden, da z.B. im Sommer ein hoher Wärmeüberschuss zu verwerfen wäre: Abwärme aus BHKW 4,7 Mio. kWh/a; Wärmebedarf der ARA 1,7 Mio. kWh/a; d.h. bei Inzellösungen könnten etwa 3 Mio. kWh Wärme nicht genutzt werden.

Diejenige Konzeptvariante, welche die Errichtung eines BHKW mit einer Leistung von 100/200 kW als Grundlastanlage vorsah, wurde als die am wirtschaftlichste Lösung als Basis für weitergehende Entscheidungen empfohlen.

Aus rein oekologischer Sicht hätte auch ein BHKW am Standort ARA mit Wärmeverkauf an die IVF Sinn gemacht. Das vorhandene Gasometer und technische Notwendigkeiten sprachen jedoch für den Standort „IVF“.

Bei der letztendlich gewählten Variante war die Errichtung eines 100/200 kW Grundlast BHKW vorgesehen. Das BHKW ist an die Klärgasversorgung angeschlossen und produziert Strom sowie Wärme für die 80 °C Heizschiene.

Ein BHKW mit 200 kW Leistung kann gerade die gesamte Klärgasproduktion im 24 Stundenbetrieb verarbeiten. Ausserdem kann an Wochenenden die Minimallast von 120 kW abgedeckt werden. Im beiliegenden Schema im Anhang des Berichtes ist diese Variante vereinfacht dargestellt. Die wesentlichen Eigenschaften dieser Variante können wie folgt zusammengefasst werden:

- Vollständige Klärgasabnahme
- Vollständige Wärmeversorgung der ARA durch IVF
- Grundlast-BHKW 100/200 kW, Betrieb 24h/d (100 kW-Betrieb bei reduziertem Klärgasanfall)

- Deckung des gesamten Strombedarfes an Wochenenden
- Wärmeproduktion auf Niveau 80°C
- Kein Abfackeln; auch nicht während der Ferien
- Kein Wärmespeicher
- Notkühlung bei geringem Wärmebedarf in Nicht-Belegungszeit notwendig

Die technischen Hauptdaten sind ebenfalls im Anhang des Berichtes dargestellt.

### 5.3 ABSTIMMUNG DER BETEILIGTEN BETRIEBE

Wichtige betriebsrelevante Daten wie z.B. der Gasometerstand, Gasverbrauch und Wärmeverbrauch werden elektronisch ausgetauscht.

Die Betriebsleitung von ARA Röti und IVF stehen in engem Kontakt und tauschen wichtige Informationen aus, wie z.B.: Planmässige, unplanmässige oder mögliche Unterbrüche in der Gasversorgung oder Gasentnahme, der Wärmeversorgung, zu erwartende Bezugsspitzen usw.

Das Kläranlagenpersonal nimmt Einfluss auf die Klärgasproduktion durch entsprechende Faulraumbewirtschaftung, soweit dies Funktionen des Klärbetriebes nicht beeinflusst. Dadurch kann in gewissen Grenzen das Gas dann erzeugt werden, wenn das BHKW Volllast fahren soll.

Die Gas-Messeinrichtung soll durch ein neuartiges Verfahren (Wasserdampfkompensation) die Verrechnung von Klärgasenergie ermöglichen.

Der Wärmehaushalt der IVF wird so bewirtschaftet, dass die Abwärme aus dem BHKW über möglichst lange Zeitabschnitte die einzige Wärmequelle darstellt (z.B. durch Zeitschaltuhren, welche die Warmwasserspeicher nachts aufheizen).

### 5.4 MESSKONZEPT UND ERFOLGSKONTROLLE

Für die Abrechnung wird die Klärgasmenge von der ARA zur IVF, die elektrische Leistung des BHKW sowie die Wärmemenge von der IVF zur ARA stetig gemessen und gezählt. Ferner ist für die Zukunft geplant, den Gasometerstand aufzuzeichnen, um später die Gasbewirtschaftung systematisch zu optimieren. Die Notkühlwassermenge wird gezählt, von der Gasfackel werden die Betriebsstunden erfasst.

	Messziel	Messmethode	Registrierung
Gasmessung	Energie zur Gasabrechnung	Menge: elektrothermisch Temperatur : Thermoelement Methangehalt: Periodische Gasanalyse	Bussystem IVF; später Bussystem ARA
El. BHKW Leistung	Leistungsregelung; Energiezählung	Umformer	dito
Wärmemessung IVF->ARA	Energiemessung zur Wärmeabrechnung	GWF-Wärmezähler	dito
Gasometerstand	Füllgrad zur optimalen Gas-Bewirtschaftung	Mechanisches Potentiometer	dito
Gasfackel	Kontrolle vollst. Gasverwertung	Betriebsaufschreibung	Ablesung
Wasserszähler Notkühler BHKW	Kontrolle vollst. Gasverstromung	Mechanisches Zählwerk	Ablesung

Mit den Messungen kann der Erfolg des Projektes beurteilt werden. Insbesondere die Betriebsstunden der Gasfackel und der Wasserszähler vor der Notkühlung sind sensible Anzeigen für die Vollständigkeit der Gasnutzung. Die Messungen und Ablesungen werden z.T. automatisch, z.T. von betrieblichen Fachleuten der IVF und der ARA Röti durchgeführt.

## 5.5 TERMINE

Die für die Projektrealisierung vorgesehenen Termine konnten eingehalten werden, die wesentlichen Projekttermine waren wie folgt:

- Baubeginn Nahwärme März 1999
- Fertigstellung September 1999
- Baubeginn BHKW November 1999
- Fertigstellung und Inbetriebnahme Mai 2000
- Abnahme November 2000

## 6. ERSTE RESULTATE UND AUSBLICK

### 6.1 ERSTE RESULTATE

Die Anlage wurde im Mai 2000 in Betrieb genommen und läuft nach Abschluss der Optimierungsphase störungsfrei. Bereits aus heutiger Sicht kann gesagt werden, dass die wesentlichen Projektziele erreicht wurden. Die ersten Resultate können wie folgt zusammengefasst werden:

- 
- Ein betriebsübergreifender Gas-Wärme-Verbund zwischen der Abwasserreinigungsanlage Röti / Neuhausen und der Internationalen Verbandstoff-Fabrik IVF Hartmann / Neuhausen konnte realisiert werden.
  - Das anfallende Klärgas kann vollständig genutzt werden, ein Abfackeln des Klärgases ist nicht mehr notwendig.
  - Es erfolgt praktisch eine vollständige Verstromung im 215 kW Grundlast-BHKW mit einem gutem elektrischem Wirkungsgrad von etwa 32 %.
  - Die elektrischen Leistungsspitzen der IVF konnten deutlich abgesenkt werden. Es werden pro Jahr etwa 1'800 MWh durch das BHKW produziert und müssen somit nicht vom Netz bezogen werden.
  - Es erfolgt praktisch die vollständige Nutzung der Abwärme durch den Wärmeverbund - auch im Sommerhalbjahr. Insgesamt wird durch den Betrieb des BHKW etwa 330'000 Liter Heizöl substituiert.
  - Durch die hohe Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit der Anlage ist eine hohe Versorgungssicherheit mit Wärme für die ARA Röti gewährleistet.
  - Durch den Verkauf des Klärgases sowie den Ankauf von Wärme besteht ein zusätzlicher Anreiz zum optimalen Betrieb der Kläranlage sowie zur Reduzierung von Energieverlusten durch eine bessere Wärmeisolation.
  - Aufgrund der Tatsache, dass beide Partner im Wärmeverbund erhebliche Vorteile aus dem Projekt erzielen, kann mit einer hohen Nachhaltigkeit gerechnet werden.

#### **Ein umweltfreundlicher Nebeneffekt**

Bei herkömmlichen Energiekonzepten für Kläranlagen drängt sich eine gute Gebäudeisolation nie auf, da Wärme im Überfluss aus der Klärgasverwertung vorhanden ist. Beim oben vorgestellten Konzept ändert sich dies grundsätzlich, da für Wärme bezahlt werden muss: Die Isolation freistehender Rechengebäude lohnt sich nun. Die gesparte Energie ersetzt an anderer Stelle (im IVF-Betrieb) Wärme aus Heizöl.

## 6.2 RESULTATUMSETZUNG

Die BHKW-Anlage wurde bereits zum festen Bestandteil des Betriebsrundganges der zahlreichen Besuchergruppen in der IVF. Zu diesem Zwecke wurde das BHKW nicht im Keller „versteckt“ sondern in einem schalldämmend verglasten Raum ohne innere Schallhaube einem breiten Publikum präsentiert. Ferner wird auf einem einfachen Blindschaltbild mit einer Übersichtsgrafik die aktuelle Stromerzeugung aus Klärgas angezeigt.

Ein weiterer Bedarf für Information besteht künftig in der Sanitärbranche: Die derzeit üblichen Einrichtungen für die Warmwassererwärmung sind nur für einfache Kesselheizung geeignet. Die Nutzung von Abwärme aus der Kraft-Wärmekopplung zur Warmwasserbereitung ist aber grundsätzlich schwieriger, da maximale Rücklauftemperaturen einzuhalten sind. In der IVF sollen hierzu günstigere Lösungsansätze aufgezeigt werden.

Zunächst werden die gewonnenen Messdaten innerhalb des Gas-Wärmeverbundes zur Funktionskontrolle, zur Erfolgskontrolle und zur Abrechnung benutzt. Nach ersten Betriebserfahrungen sind weitere Veröffentlichungen in der Fachpresse geplant.

## 6.3 AUSBLICK

Die beschriebenen Projektziele konnten mit einem üblichen BHKW-Konzept für Kläranlagen nicht in gleichem Masse erreicht werden, da z.B. im Sommer ein hoher Wärmeüberschuss zu verwerfen wäre: Abwärme aus dem BHKW 4.7 Mio. kWh/a; Wärmebedarf der ARA 1.7 Mio. kWh/a; d.h., bei Insellösungen müssten etwa 3 Mio. kWh Wärme verworfen werden.

Das Projekt zeigt somit deutlich, welche Erfolge grundsätzlich durch einen Energieverbund erzielbar sind. Dies soll nicht nur den Blick schärfen für Nachahmungsmöglichkeiten bei weiteren Biogasnutzungsanlagen in der Schweiz. Es soll vor allem bei der Erschliessung neuer Industriegebiete dazu anregen, Betriebe mit Prozesswärmebedarf in die Nähe von regenerierbaren Abwärmequellen zu plazieren. Z.B. Grosswäschereien, Färbereien, Heutrocknungsanlagen etc. neben Kläranlagen.

Ferner muss hervorgehoben werden, dass durch eine sinnvolle Wärmenutzung gegen Bezahlung die Kläranlagen motiviert werden, den eigenen Wärmebedarf zu minimieren und auf eine angemessene Gebäudeisolation zu achten. Dies ist heute noch die Ausnahme.

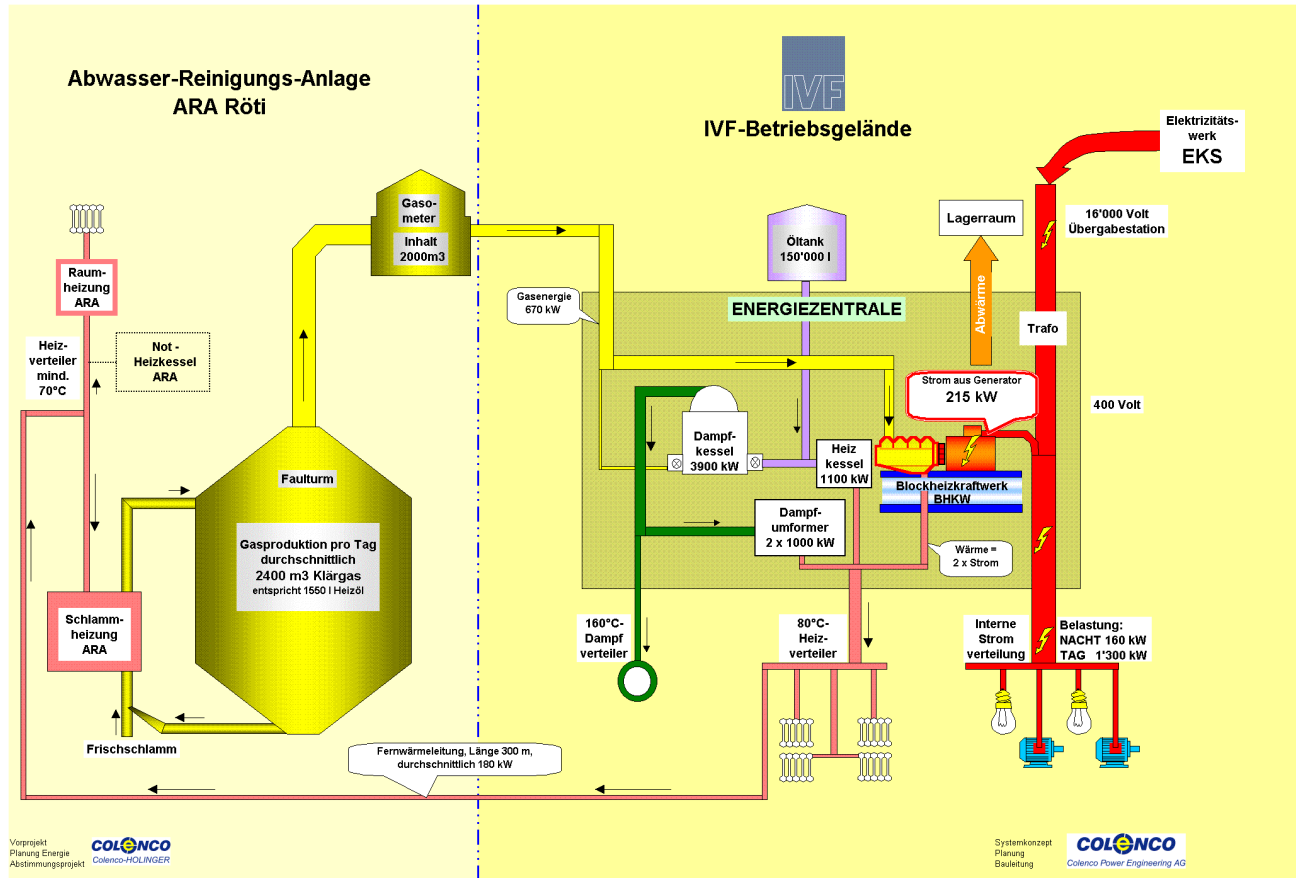
---

## 7. OFFENE PROBLEME

Diverse Messungen können zur Zeit noch nicht im Übergeordneten Leitsystem dargestellt werden. Dies wird in nächster Zeit noch realisiert so dass in Zukunft alle Leistungs- und Verbrauchsdaten für eine vollständige Energiebilanz zur Verfügung gestellt werden können.

## 8. ANHANG

8.1 PRINZIPSCHEMA



8.2 TECHNISCHE DATEN

Klärgasproduktion	m <sup>3</sup> /Tag	2'400
Gasometerinhalt	m <sup>3</sup>	2'000
Leistung Gasmotor		
Generatorleistung	kW	220
Elektrische Leistung Hilfsbetriebe	kW	5
Elektrische Leistung netto	kW	215
Thermische Leistung	kW	368
Energieverbrauch	kW	670
Gasverbrauch (Hu = 6.3 kWh/Nm <sup>3</sup> )	Nm <sup>3</sup> /h	106.5
elektrischer Wirkungsgrad	%	32
Heizleistung Abluft	kW	ca. 40
+Wärmeauskopplung ARA Röti		
Leitungslänge erdgedeckt	m	180
Übertragene Wärme (Durchschnitt)	kW	180
Auslegung (VL/RL 80/60 °C)	kW	300