

**Konzept zur Abwasserwärmenutzung  
mit Wirtschaftlichkeitsbetrachtung  
für das Hermann-Weber-Bad mit Schulkomplex  
Eitorf**

**für**

**Gemeindewerke Eitorf  
Markt 1  
53783 Eitorf**

**von**

**ECO.S  
Energieconsulting Stodtmeister  
Nesenhaus 30  
40883 Ratingen**

**25. Januar 2010**

Inhalt	Seite
1 AUFGABE UND ZIEL	1
2 GRUNDLAGEN	1
2.1 Vorhandene Daten und Unterlagen	1
2.2 Ausgangslage Wärmebedarf	2
2.3 Ausgangslage Abwasser	5
2.4 Einfluss auf die Kläranlage	11
3 TECHNISCHES KONZEPT	15
3.1 Auslegung der Wärmepumpenanlage	15
3.2 Abwasserwärmegewinnung	17
4 CO <sub>2</sub> -EMISSIONEN	21
5 KOSTENERMITTLUNG	22
5.1 Eckdaten	22
5.2 Energiepreis-Teuerung	22
5.3 Investitionskosten / Kapitalgebundene Kosten	24
5.4 Verbrauchsgebundene Kosten	24
5.5 Betriebsgebundene Kosten	25
5.6 Förderung	25
6 ERGEBNIS	26
ANLAGEN	
1 Vergleich der Wärmekosten	

# 1 Aufgabe und Ziel

In Eitorf wurde im vergangenen Jahr ein Teilstück des Abwasserkanals in der Bahnhofstraße erneuert, ein weiterer Bauabschnitt wird in diesem Jahr erneuert. Die Gemeindewerke Eitorf haben ECO.S mit der Erstellung einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zur Wärmerückgewinnung aus dem Abwasser dieses Kanals beauftragt. Die Wärme soll in dem gemeindeeigenen Gebäudekomplex Hermann-Weber-Bad, Turnhalle und Gymnasium genutzt werden.

Abwasser ist eine regenerative Energiequelle. Die im Abwasser enthaltene Wärme kann technisch aus dem öffentlichen Kanal ausgekoppelt werden. Aufgrund der ganzjährig relativ hohen Temperaturen von 10-20 °C ist Abwasser eine ideale Wärmequelle für den effizienten Betrieb von Wärmepumpen.

In dieser Studie werden die nutzbare Wärme aus dem Abwasser abgeschätzt, ein mögliches Nutzungskonzept aufgezeigt und überschlägig Investitionskosten ermittelt. Es werden 3 Fälle betrachtet:

## Fall A: Referenzfall

Wärmeerzeugung → Ergaskessel,

## Fall B: Abwasserwärmenutzung ohne Berücksichtigung einer Förderung

Grundlast der Wärmeerzeugung → Abwasserwärmepumpe (AWP)

Spitzenlast der Wärmeerzeugung → Erdgaskessel.

## Fall C: Abwasserwärmenutzung mit Berücksichtigung einer Förderung

Grundlast der Wärmeerzeugung → Abwasserwärmepumpe (AWP)

Spitzenlast der Wärmeerzeugung → Erdgaskessel.

# 2 Grundlagen

## 2.1 Vorhandene Daten und Unterlagen

Folgende Unterlagen bzw. Informationen standen zur Verfügung:

- Lagepläne: GBS Lageplan1000.pdf, GBS Lageplan2500.pdf, Lageplan.pdf, Lagepläne\_250.pdf, Lageplan\_250.dwg, Sanierungsplanung.pdf, Besitzverhältnisse.pdf; Zeichnung „Naturwissenschaftliches Zentrum, Stellplätze, vom 18.5.2009“,

- Erdgas- und Stromverbräuche: Wärmeverbräuche\_Gymnasium\_2006-2008.xls, Wärmeverbräuche\_HWB\_2006-2008.xls, Wärmeverbräuche\_Turnhalle\_2006-2008.xls
- Zählerstände Heizzentrale: eingabemaske zählerstände.xls
- Messwerterfassung Kläranlage Eitorf: Datenexport01.01.08-29.3.08zulauf.xls, Datenexport30.3.08-25.10.08 Zulauf.xls, Datenexport 26.10-31.12.08 Zulauf.xls; Datenexport 01.01.09-28.02.09Zulauf.xls, 1.8 -28.9.09.xls
- Daten der Durchflussmessung:  
Zwischenauswertung\_Eitorf\_090715.pdf,  
Durchflussmessung\_Eitorf\_Rohdaten.xls,  
Durchflussmessung\_Eitorf\_090727.pdf,  
Durchflussmessung\_Eitorf\_Rohdaten\_090727.xls,  
Durchflussmessung\_Eitorf\_090806.pdf,  
Durchflussmessung\_Eitorf\_Rohdaten\_090806.xls,  
Durchflussmessung\_Eitorf\_Rohdaten\_090821.xls,
- Kanalnetzberechnung: Hydraulik.pdf; FLUT\_SAN\_05.LST; DYNA\_SAN\_02.LST; DYNA\_SAN\_03.LST; EB\_060228\_PEL\_060308.pdf
- Weitere Zeichnungen: BWZ Verbindungsbauwerk.pdf, Längsschnitt.pdf
- Diverse Informationen per E-Mail + Telefon.

## 2.2 Ausgangslage Wärmebedarf

Als Wärmenutzer wird hier der Gebäudekomplex Hermann-Weber-Bad, Turnhalle und Gymnasium betrachtet. Die drei Bauten werden durch eine gemeinsame Heizzentrale mit Wärme und Warmwasser versorgt.

Das Heiznetz stammt aus dem Jahr 1964 und hat Heiznetztemperaturen von 90/70°C.

Zur Wärmeerzeugung stehen 2 Erdgaskessel (1000 kW und 670 kW; Baujahr 1996) zur Verfügung. Beide Heizkessel werden über einen Erdgas-Hausanschluss versorgt.

Die abgerechneten jährlichen Erdgasverbräuche der Jahre 2006 bis 2008 betragen:

2006	2.769.100 kWh,
2007	2.837.429 kWh,
2008	3.060.122 kWh,
Mittelwert	2.888.885 kWh.

Die abgerechneten monatlichen Erdgasverbräuche der Jahre 2006 bis 2008 sind in Bild 2-1 dargestellt.

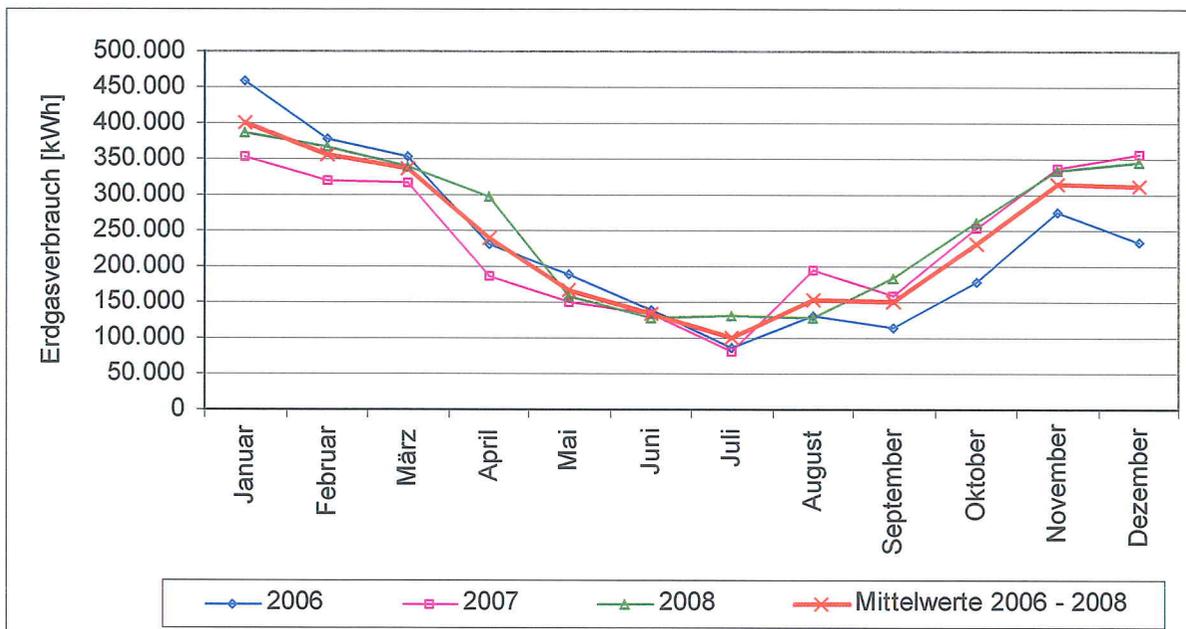


Bild 2-1 monatliche Erdgasverbräuche 2006 bis 2008

In der Heizzentrale gibt es drei Wärmemengenzähler (HWB innen, Außenbecken und Turnhalle). Da es weder einen Wärmemengenzähler für das Gymnasium noch einen Gesamt-Wärmemengenzähler gibt, wird die erzeugte Wärme über den Erdgasverbrauch ermittelt. Mit Hilfe der bekannten Wärmeverbräuche für das Schwimmbad und die Turnhalle lässt sich ein Jahresnutzungsgrad der Heizkessel ermitteln. Daraus ergeben sich folgende jährliche Wärmeverbräuche des Gebäudekomplexes der Jahre 2006 bis 2008:

2006	2.409.000 kWh,
2007	2.468.000 kWh,
2008	2.662.000 kWh,
<hr/> Mittelwert	<hr/> 2.513.000 kWh.

Die monatlichen Wärmeverbräuche der Jahre 2006 bis 2008 des Gebäudekomplexes sind in Bild 2-2 und die des Hermann-Weber-Bades sind in Bild 2-3 dargestellt.

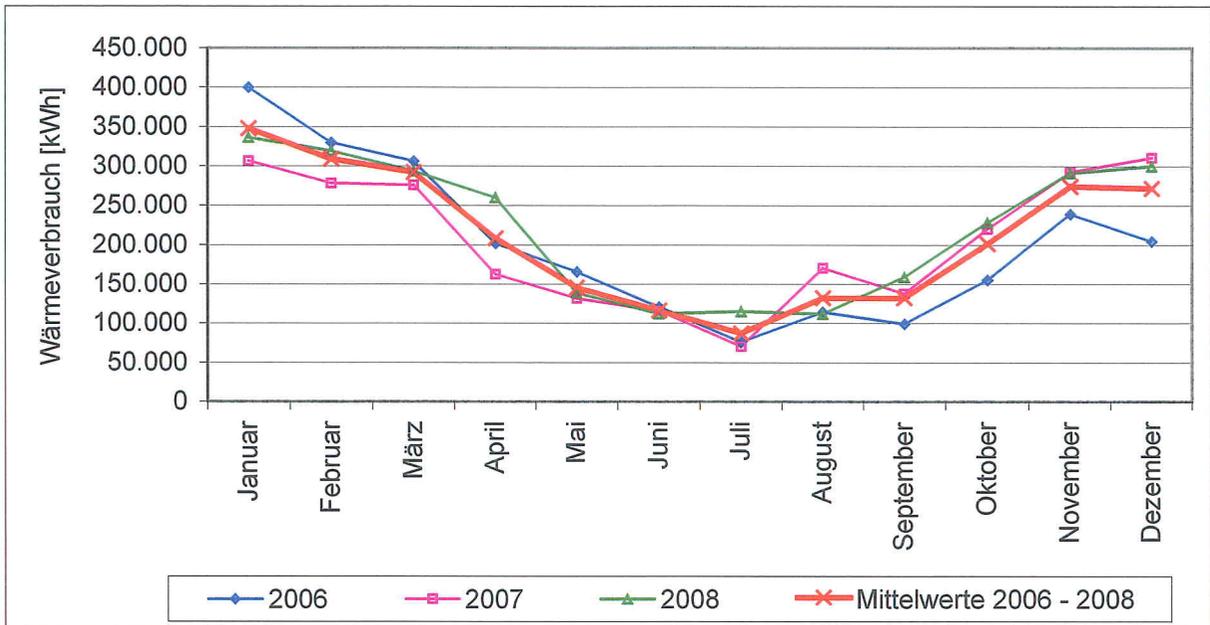


Bild 2-2 monatliche Wärmeverbräuche des Gebäudekomplexes 2006 bis 2008

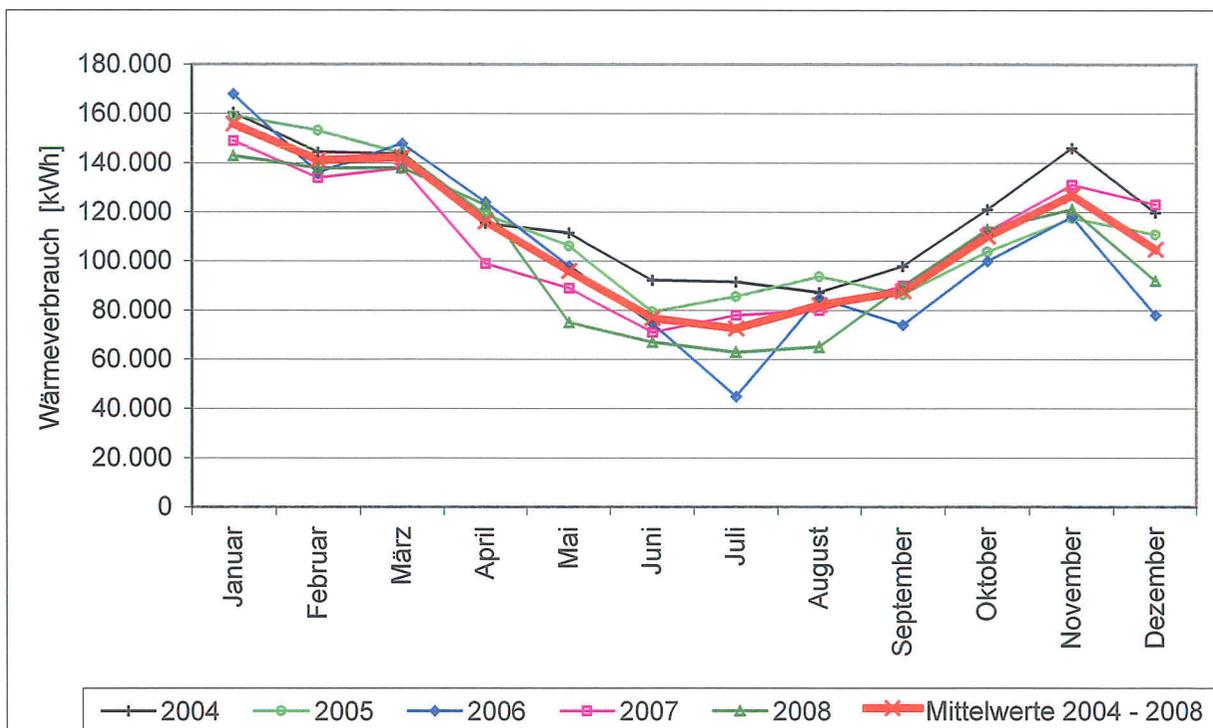


Bild 2-3 monatliche Wärmeverbräuche des Hermann-Weber-Bades 2004 bis 2008

Da es im Sommer einen Wärmebedarf gibt, ist dieser Gebäudekomplex für den Einsatz einer Grundlastwärmepumpe gut geeignet.

### 2.3 Ausgangslage Abwasser

In der Bahnhofstraße wurde im vergangenen Jahr bis zur Einmündung Schmidtgasse der bestehende Abwasserkanal DN 1300 durch einen neuen Kanal DN 2500 ersetzt. Diese Maßnahme war der 3. Bauabschnitt der Sanierung dieses Abwasserkanals.

In diesem Jahr wird in der Bahnhofstraße ab der Einmündung Schmidtgasse in Richtung Brückenstraße der bestehende Abwasserkanal DN 1200 / DN 1100 durch einen neuen Kanal DN 2200 ersetzt. Diese Maßnahme ist der 4. Bauabschnitt der Sanierung dieses Abwasserkanals.

Im Juli / August 2009 wurden Durchflussmessungen durchgeführt.

Zwischen dem 2.7. und 13.7. wurde der Durchfluss im Schacht 517 gemessen (siehe Bild 2-4) und zwischen dem 13.7. und dem 21.8.2009 wurde der Durchfluss im Schacht 507 gemessen (Bild 2-5 und Bild 2-6). Außerdem wurde die Abwassertemperatur gemessen, die auch in diesen Grafiken dargestellt ist.

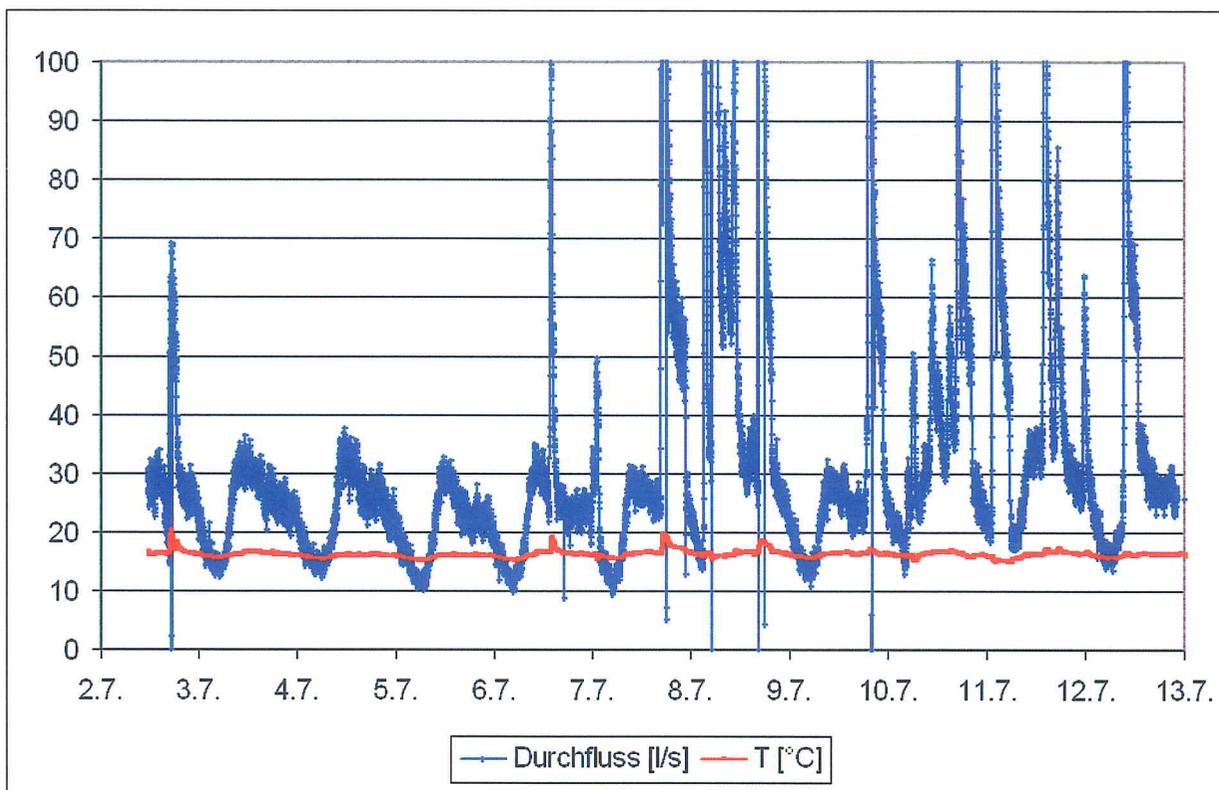


Bild 2-4 Durchflussmessung vom 2.7.-13.7.2009 im Schacht 517

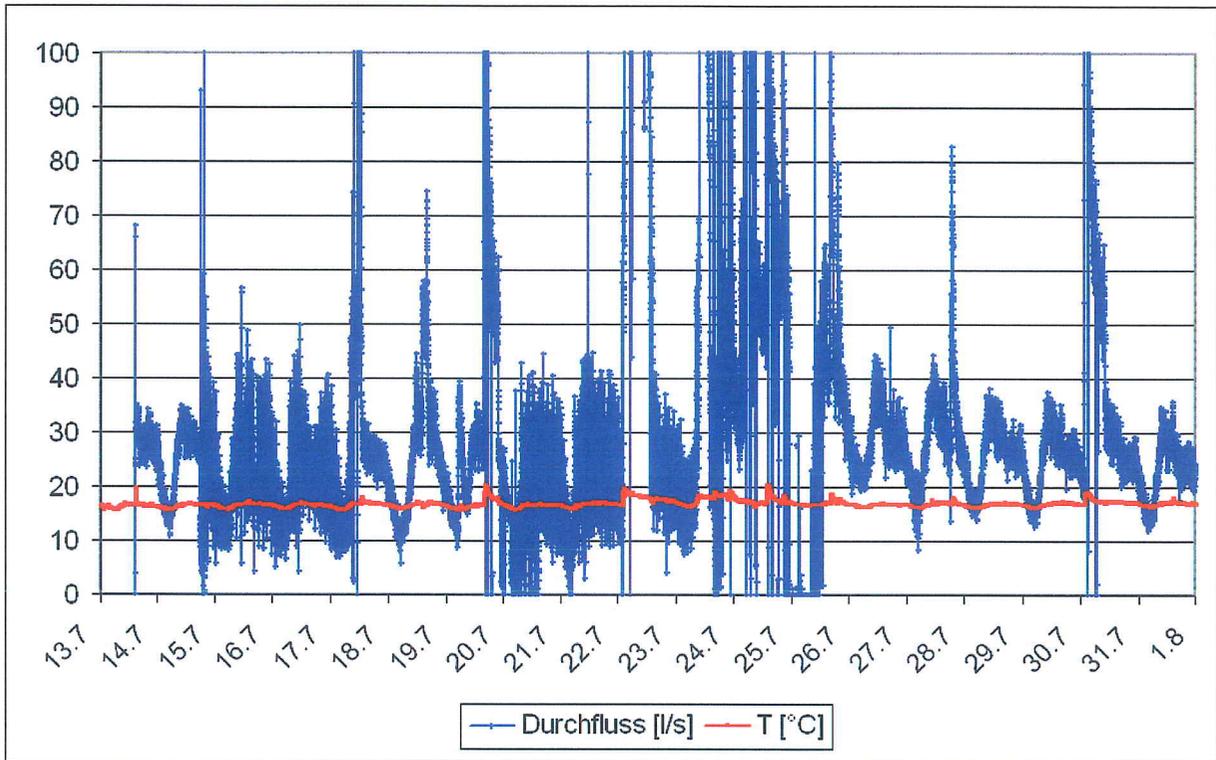


Bild 2-5 Durchflussmessung vom 13.7.-1.8.2009 im Schacht 507

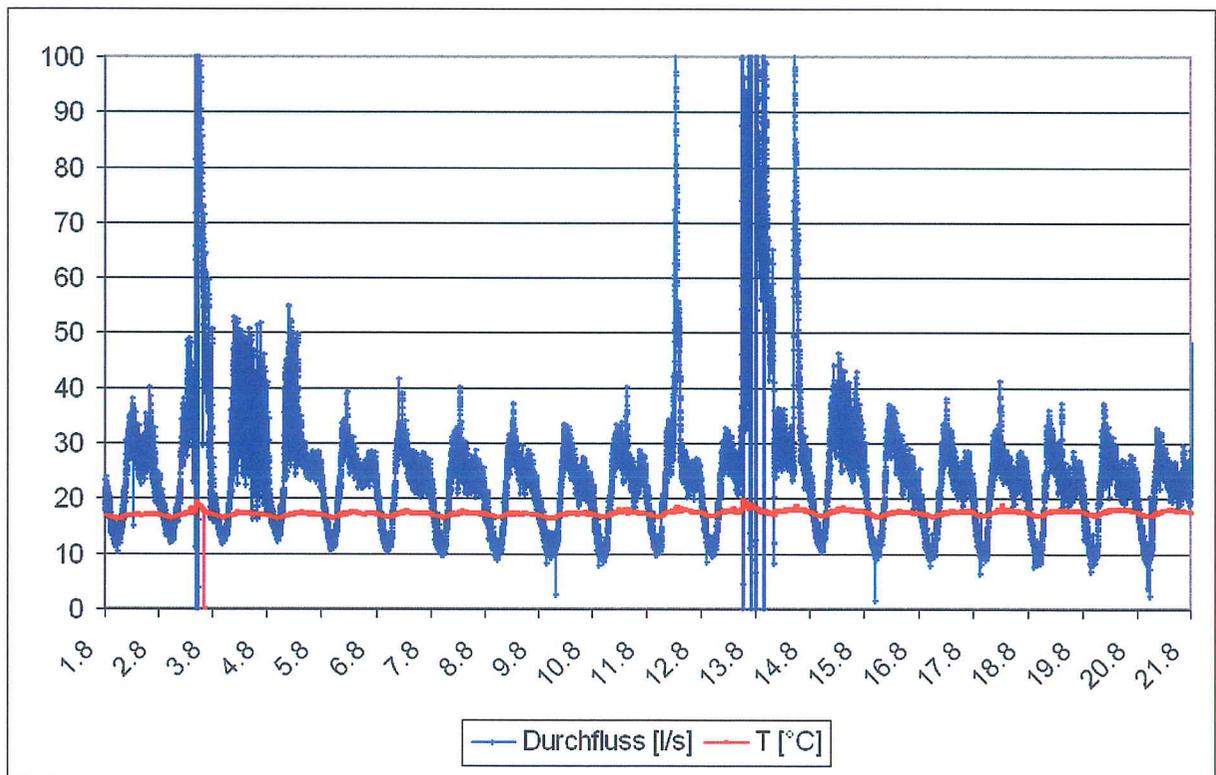


Bild 2-6 Durchflussmessung vom 1.8.-21.8.2009 im Schacht 507

Der Trockenwetterabfluss liegt in diesem Abschnitt bei 10 bis 40 l/s. Es ist kein markanter Unterschied im Durchfluss in den Schächten 507 (zwischen den Haltungen 89/79 und 89/81) und 517 (zwischen den Haltungen 89/83 und 89/85) zu erkennen. Dieses wird auch durch die Kanalnetzberechnung bestätigt (siehe Tabelle unten).

Aus der Durchflussmessung am Schacht 507 wurden für die Trockenwetterzeiten der mittlere Tagesgang gebildet (Bild 2-7).

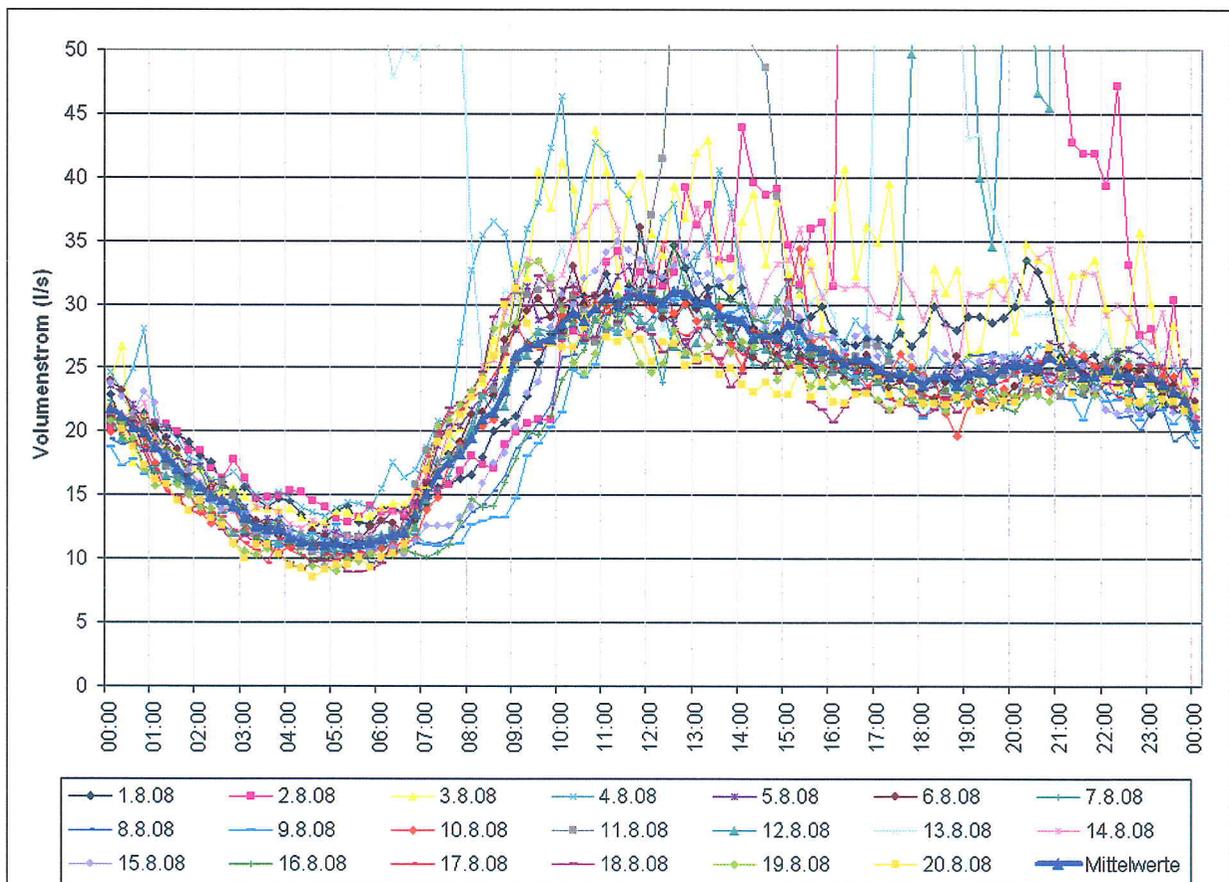


Bild 2-7 Tagesgänge sowie mittlerer Tagesgang Trockenwetter für die Durchflussmessung am Schacht 507 für den Zeitraum vom 1.8.-21.8.2009

Daraus errechnet sich ein Trockenwetterabfluss  $Q_T$  von 38,8 l/s, Q14.

In der folgenden Tabelle ist ein Ausschnitt aus der Kanalnetzberechnung der Dr. Pecher AG vom 5.10.2005 dargestellt, ergänzt um die berechneten Fremdwassermengen ( $Q_F = Q_T - Q_S$ )

Haltung	Schmutzwasser $Q_S$ [l/s], Q14	Trockenwetterabfluss $Q_T$ [l/s], Q14	Fremdwasser $Q_F$ [l/s], Q14
89 / 79	37,63	121,03	83,4
89 / 81	37,63	121,03	83,4
89 / 83	37,76	121,54	83,78
89 / 85	38,88	124,98	86,1
89 / 87	38,88	124,98	86,1
89 / 87	38,92	125,11	86,19
89 / 89	38,92	125,11	86,19
89 / 91	39,95	127,95	88,0
89 / 93	39,95	127,95	88,0

Es ist zu sehen, dass der mit der Durchflussmessung am Schacht 507 ermittelte Trockenwetterabfluss mit 38,8 l/s fast genau der Schmutzwassermenge der Kanalnetzberechnung für diese Haltungen (89/79 und 89/81) mit 37,63 l/s entspricht. Das heißt, wenn die für die Kanalnetzberechnung angenommene Schmutzwassermenge richtig ist, gab es zum Zeitpunkt der Durchflussmessung kein Fremdwasser. Eine Erklärung könnte sein, dass Fremdwasser im Eitorfer Kanalnetz besonders bei hohem Grundwasserstand als eindringendes Wasser auftritt. Während der Durchflussmessung im Juli / August war jedoch eine trockene Witterungsperiode, wodurch der Grundwasserstand niedrig war und wenig Fremdwasser aufgetreten ist.

Im Folgenden wird ein Bezug des Durchflusses im Bereich Schacht 507 zur gesamten Zulaufmenge der Kläranlage Eitorf hergestellt. Beide Volumenstromverläufe sind in Bild 2-8 dargestellt. Aus diesen Volumenströmen wurden für die Trockenwetterzeiten die mittleren Volumenströme gebildet (Bild 2-9).

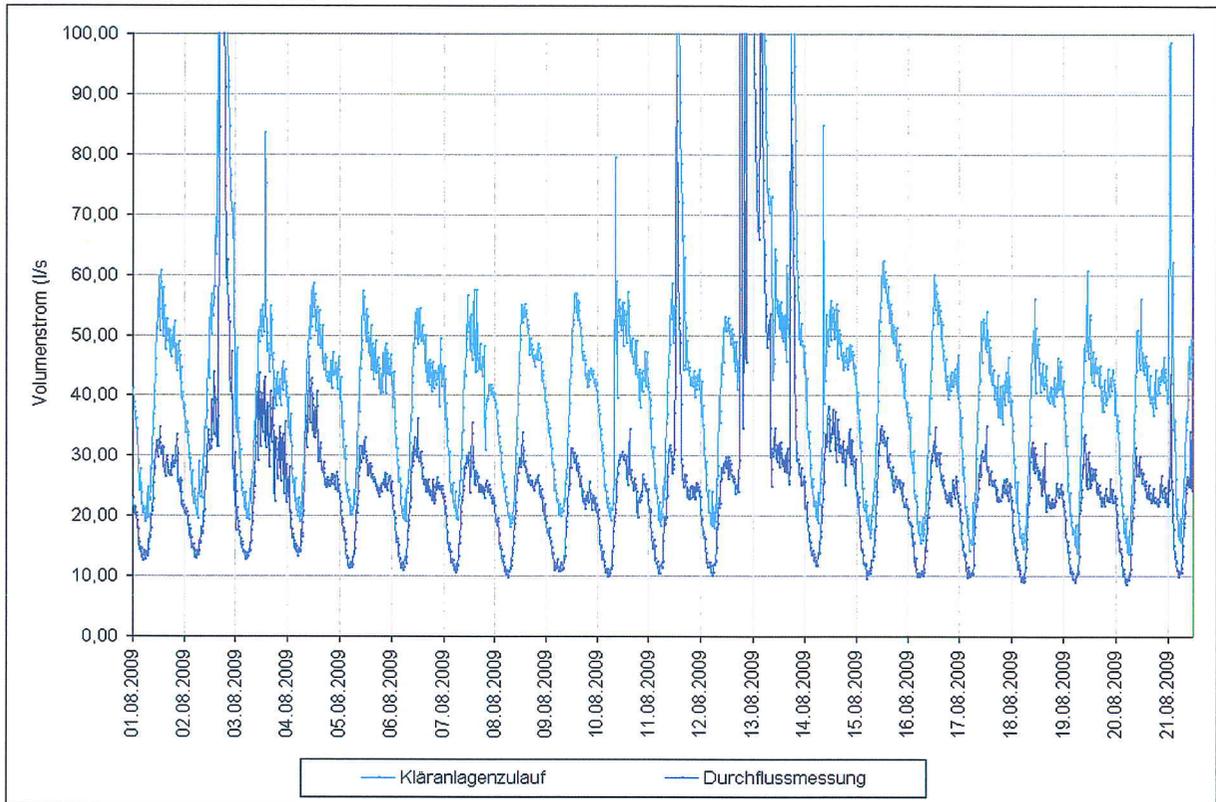


Bild 2-8 Volumenströme im Kläranlagenzulauf und der Durchflussmessung für den Zeitraum vom 1.8.-21.8.2009

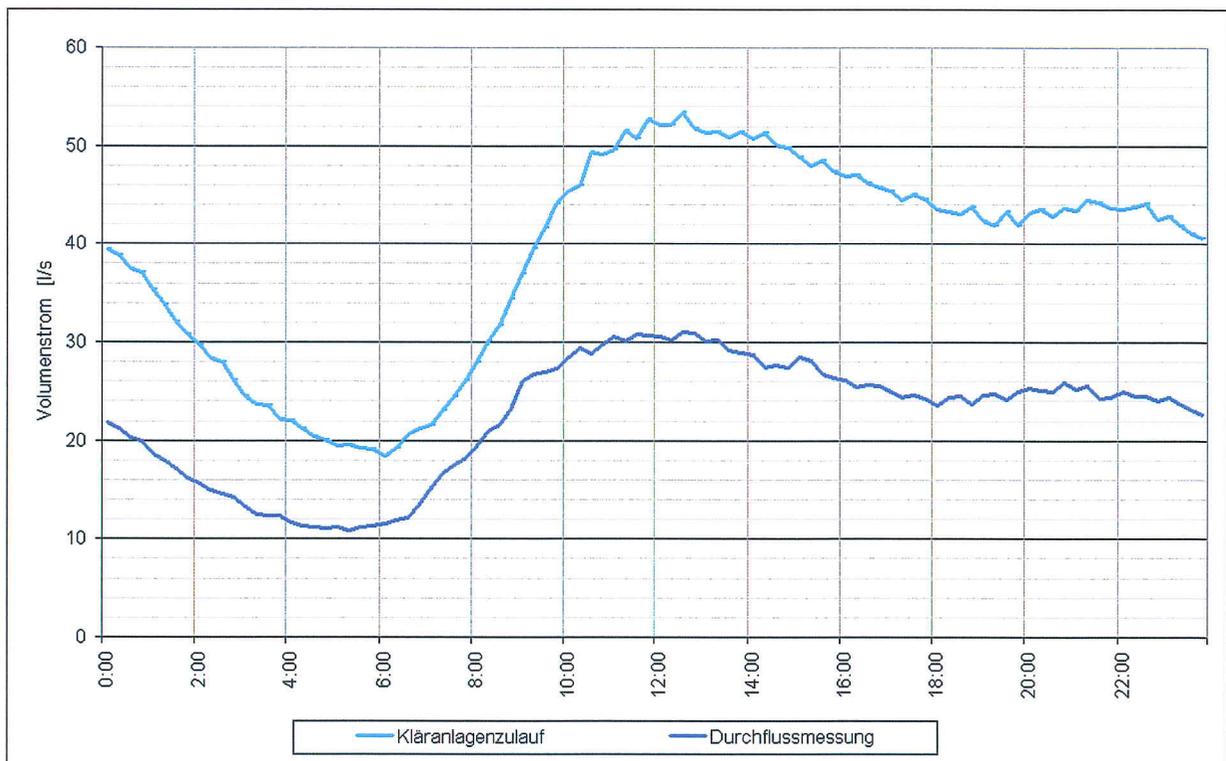


Bild 2-9 mittlere Trockenwettervolumenströme für den Kläranlagenzulauf und für die Durchflussmessung für den Zeitraum vom 1.8.-21.8.2009

Der Durchfluss im Bereich des Schachtes 507 stellt etwa die Hälfte des gesamten Zulaufes zur Kläranlage Eitorf dar.

Die Temperaturen lagen in dem Messzeitraum bei 15 bis 18°C. Für die Auslegung des Wärmeübertragers sind jedoch die Abwassertemperaturen im Winter ausschlaggebend.

In Bild 2-10 sind daher die Abwassertemperaturen im Zulauf der Kläranlage Eitorf für den Zeitraum 1.1.-28.2.2009 dargestellt. Bei Trockenwetter liegen die Abwassertemperaturen im Januar und Februar bei 8 bis 9°C. Bei Regenereignissen bzw. während der Schneeschmelze sinken die Abwassertemperaturen kurzzeitig bis auf 3°C.

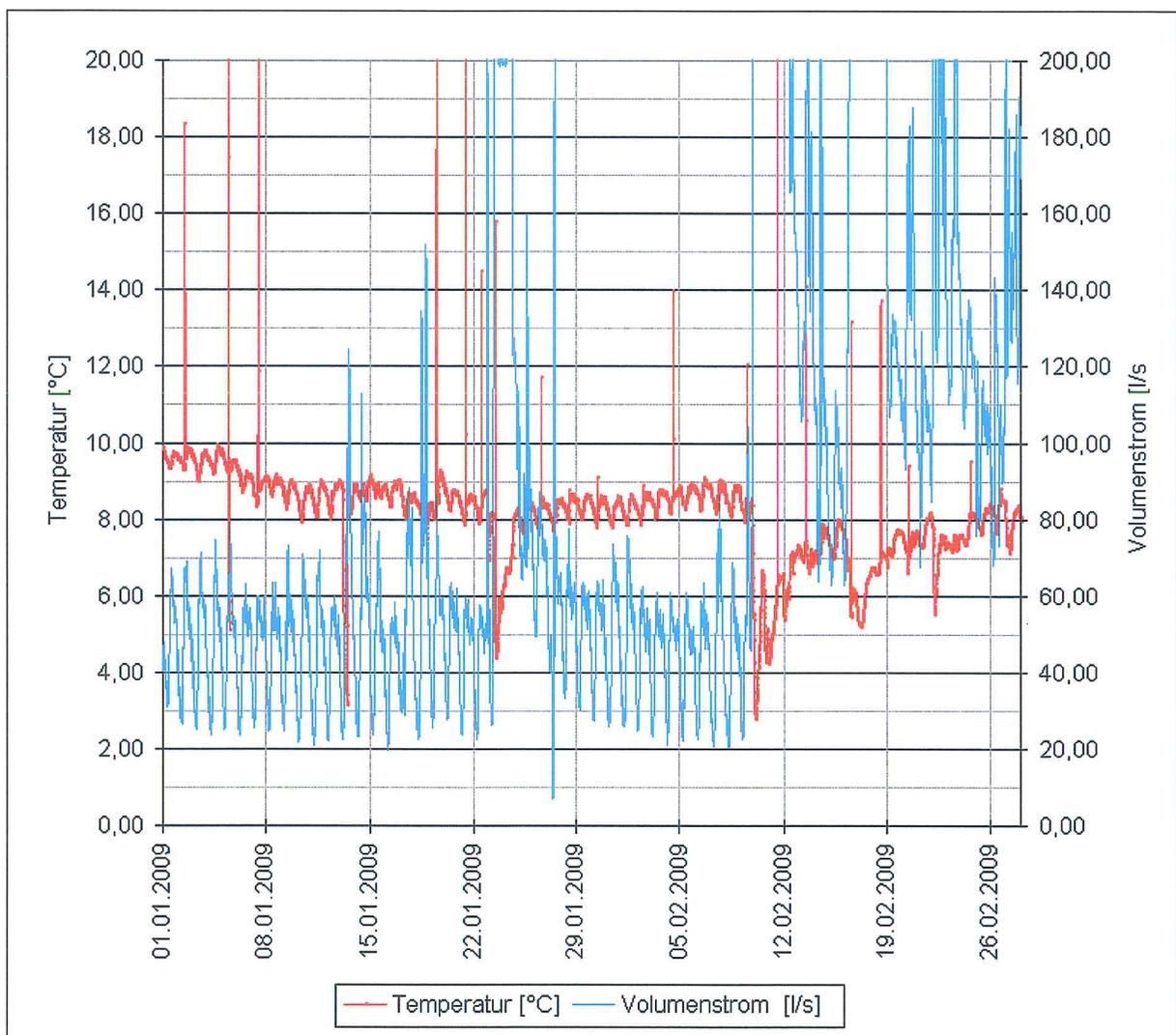


Bild 2-10 Temperaturen und Volumenströme im Zulauf der Kläranlage Eitorf für den Zeitraum 1.1.-28.2.2009

Aus dem Tagesgang des mittleren Trockenwettervolumenstromes der Durchflussmessung (Bild 2-9) lässt sich für die Auslegung des Abwasserwärmeübertragers der mittlere minimale Trockenwetterabfluss mit 10 l/s erkennen. Tagsüber beträgt der Trockenwetterabfluss mindestens 20 l/s.

Bei einer Abkühlung des Abwassers um 3 K ist im Abwasser tagsüber eine verfügbare Wärmeleistung von mindestens 250 kW vorhanden. Eine Wärmepumpe könnte damit bei einer Jahresarbeitszahl von 4 eine Wärmeleistung von rund 330 kW zur Verfügung stellen. Während des minimalen Trockenwetterabflusses in der Nacht ist im Abwasser eine minimale verfügbare Wärmeleistung von rund 125 kW vorhanden, womit eine Wärmeleistung von rund 165 kW erzeugt werden kann.

## 2.4 Einfluss auf die Kläranlage

Der Abwasserzulauf aus dem Kanal in der Bahnhofstraße im Bereich des Schachtes 507 hat einen Anteil von ca. 50% am Gesamtzulauf der Kläranlage Eitorf. Nach linearer Mischungsrechnung entsprechend DWA M114 wird von einer Abkühlung von 3 K bei einem Anteil von rund 50% nicht mehr als 1,5 K Absenkung im Kläranlagenzulauf ankommen. Dieser Effekt wird zwar durch die Fließstrecke vom Standort des Wärmeübertragers bis zur Kläranlage gedämpft, dies spielt bei der relativ kurzen Entfernung von rund 1,5 km vom Schacht 507 bis zur Kläranlage jedoch eine sehr geringe Rolle.

Für die Bearbeitung der Daten wurde davon ausgegangen, dass die Dateien „Zu- und Ablauf 1.1.08-29.3.08.xls“ und „Zu- und Ablauf 30.3.08-30.06.08.xls“ online erfasste Daten aus dem Prozessleitsystem der Kläranlage enthalten, während die Datei „Stickstoffwerte 1.1.08-30.6.08.xls“ die für die Eigenkontrolle erforderlichen Beprobungen enthält. Weiterhin wurde davon ausgegangen, dass der Parameter  $N_{ges}$  aus der Abwasserverordnung (Summe aus  $NO_2-N$ ,  $NO_3-N$  und  $NH_4-N$ ) dem in den Eigenkontrolldaten als „ $N_{anorg}$ “ bezeichneten Wert entspricht.

Zunächst wurden die zeitlich hochaufgelösten Online-Daten des Prozessleitsystems für  $NH_4-N$ , Temperatur und Abfluss (Volumenstrom Ablauf) auf Plausibilität geprüft. Dabei wurden in allen drei Datenkollektiven unplausible Werte ( $\leq 0$ ) entdeckt, die von der weiteren Bearbeitung ausgeschlossen wurden.

Im nächsten Schritt wurden dann aus den zeitlich hochaufgelösten Daten abflussgewichtete Tageswerte ermittelt (Abfluss aus den Werten „Volumenstrom Ablauf“). Auch die so ermittelten Tageswerte wurden noch einmal auf Plausibilität geprüft.

Für den Parameter  $\text{NH}_4\text{-N}$  wurde dann ein grafischer Vergleich zwischen den berechneten Tagesmittelwerten und den Angaben aus der Eigenkontrolle hergestellt. Es ergab sich keine zufriedenstellende Übereinstimmung (siehe Abbildung). Da beide Datenkollektive jedoch plausible Werte beinhalten, wurden sie auch beide für die weitere Bearbeitung genutzt, dabei aber separat ausgewiesen.

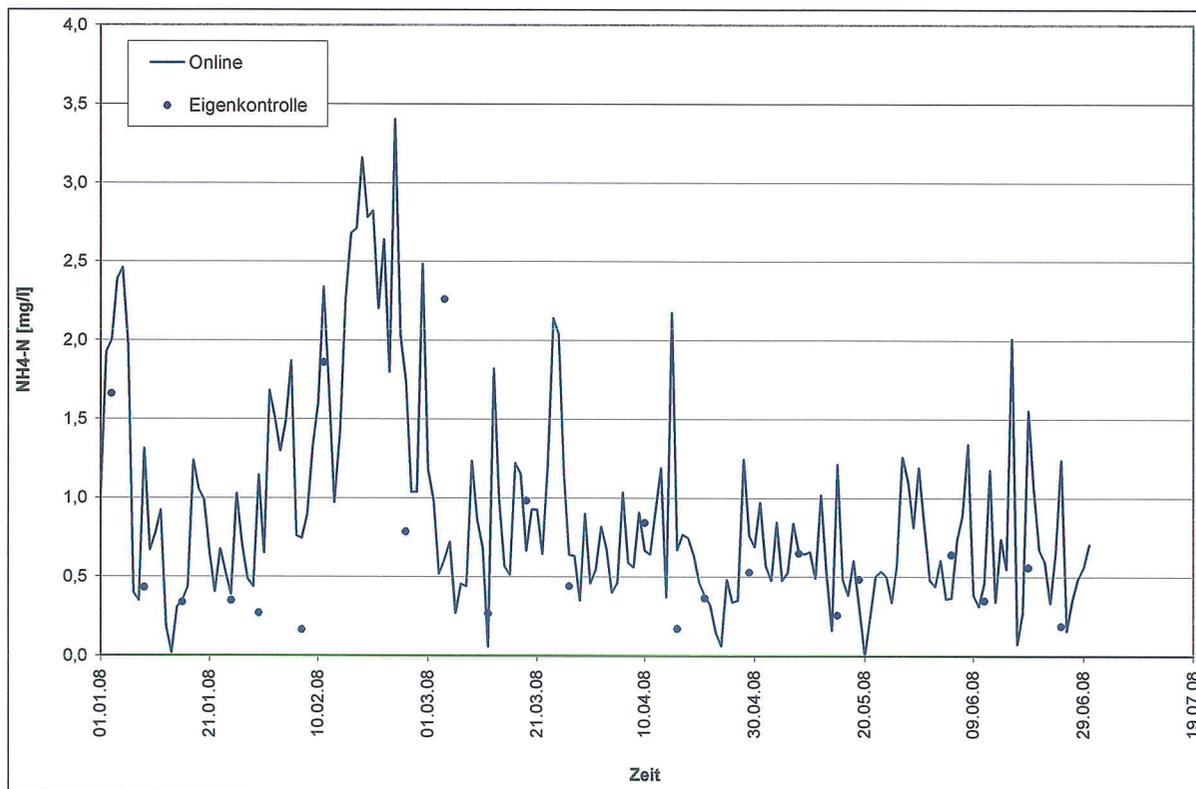


Bild 2-11  $\text{NH}_4\text{-N}$ -Ablaufwerte der Kläranlage Eitorf für das erste Halbjahr 2008

Für die beiden nach der Abwasserverordnung zu erfassenden Parameter  $\text{NH}_4\text{-N}$  und  $\text{N}_{\text{anorg}}$  wurden die Konzentrationswerte nun über den Temperaturen im Belebungsbecken aufgetragen. Diese Darstellung zeigt schnell, inwieweit bei einer Kläranlage die Stickstoff-Reinigungsleistung sinkt, wenn die Temperaturen im Belebungsbecken abfallen.

In die beiden Grafiken sind weiterhin eingetragen die Überwachungstemperatur ( $12\text{ }^\circ\text{C}$ ) sowie die für die Kläranlage Eitorf geltenden Einleit-Grenzwerte ( $10\text{ mg/l}$  für  $\text{NH}_4\text{-N}$  und  $18\text{ mg/l}$  für  $\text{N}_{\text{anorg}}$ ).

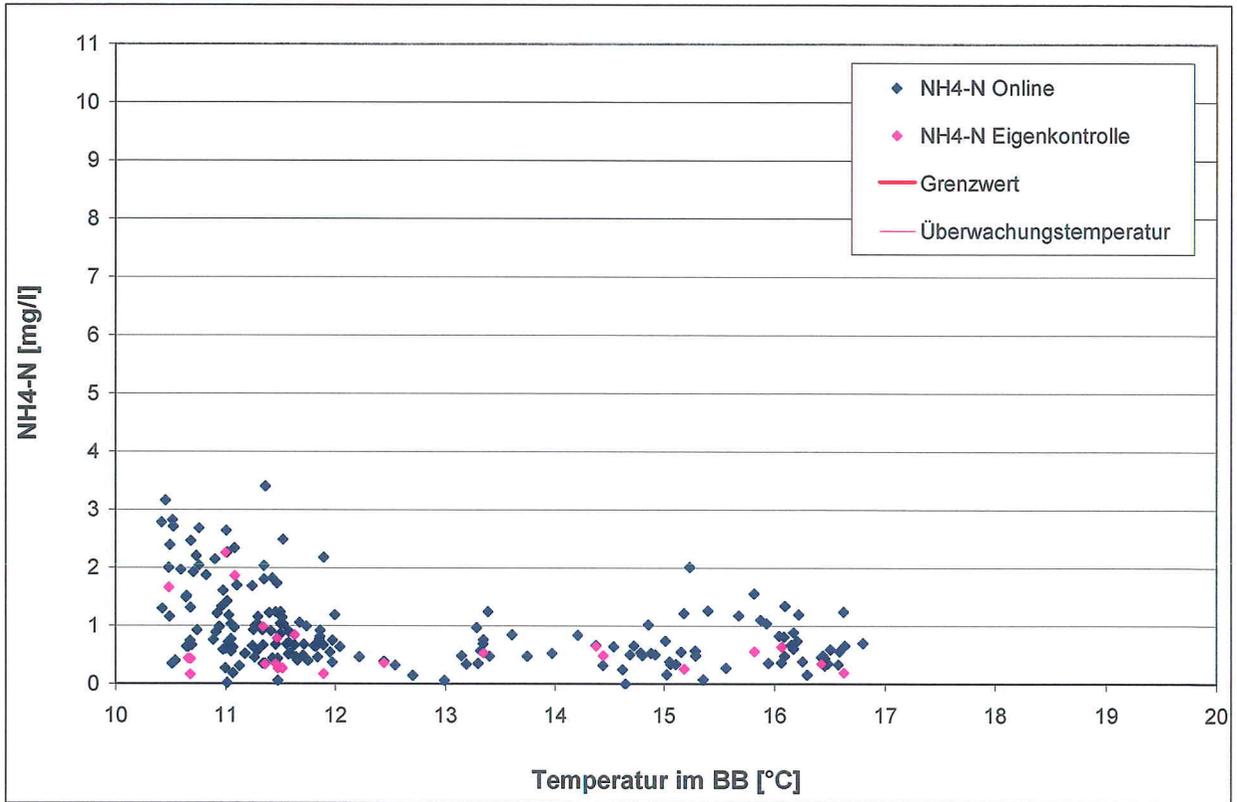


Bild 2-12 Temperaturabhängigkeit der  $\text{NH}_4\text{-N}$ -Ablaufwerte der Kläranlage Eitorf für das erste Halbjahr 2008

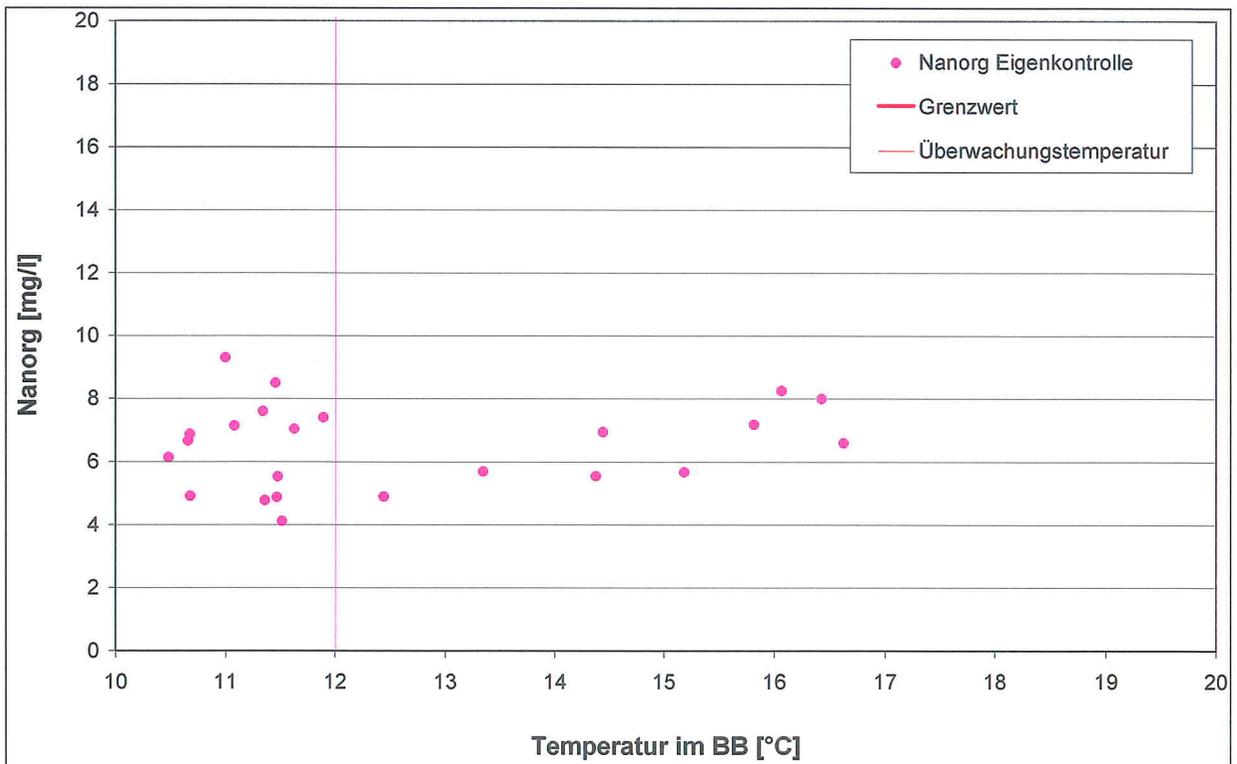


Bild 2-13 Temperaturabhängigkeit der  $\text{N}_{\text{anorg}}$ -Ablaufwerte der Kläranlage Eitorf für das erste Halbjahr 2008

Für den Ammonium-Stickstoff ist eine abfallende „Reinigungsleistung“ (geringere Nitrifikation) unterhalb der Überwachungstemperatur gut zu erkennen. Für den anorganischen Stickstoff ist ein solcher Trend nicht unbedingt zu erkennen. Für beide Parameter gilt jedoch, dass die Grenzwerte bis zu Temperaturen von rund 10,5 °C, also deutlich unterhalb der Überwachungstemperatur, sicher eingehalten werden. Das Verhalten der Kläranlage unterhalb einer Abwassertemperatur von 10,5 °C kann nicht beurteilt werden, da für diesen Temperaturbereich keine Daten vorliegen und eine Extrapolation unzulässig ist.

Die Auswertungen zeigen, dass auch bei einer Abwasserabkühlung von 1,5 °C die von der Kläranlage emittierte Stickstofffracht ins Gewässer nicht größer wäre, als es (ohne Abkühlung) durch die gesetzlichen Grenzwerte gefordert ist. **Aus Sicht des Gewässerschutzes bestehen somit gegen einen Wärmeentzug entsprechend 1,5 K Abkühlung im Kläranlagenzulauf keine Einwände.**

Dabei kann davon ausgegangen werden, dass die Gleichsetzung einer Temperaturdifferenz im Kläranlagenzulauf mit einer Temperaturdifferenz im Belebungsbecken im Sinne des Gewässerschutzes auf der sicheren Seite liegt. Wird der Zulauf um 1,5 K abgekühlt, so beträgt die Temperaturdifferenz im Belebungsbecken maximal 1,5 K, vermutlich aber weniger. So sinkt laut Datenaufzeichnung die Temperatur im Belebungsbecken im Zeitraum 1.1.-31.3.2009 nie unterhalb von 10,2 °C.

Um Aussagen über das Verhalten bei einer Abwasserabkühlung von mehr als 1,5 K treffen zu können, muss eine Auswertung eines größeren Datenkollektivs vorgenommen werden, das auch Abwassertemperaturen im Belebungsbecken unter 10,5 °C umfasst.

Sinkt die Temperatur im Belebungsbecken durch die Abwasserwärmenutzung kurzzeitig unterhalb einer kritischen Temperatur, so besteht grundsätzlich auch die Möglichkeit, die Wärmeentnahme in temperaturkritischen Zeiträumen abzuschalten. Dies ist technisch möglich, da die vorhandenen Erdgaskessel die vollständige Wärmeversorgung des Gebäudekomplexes auch ohne Wärmepumpe sicherstellen können. Die Verringerung der jährlichen Betriebszeiten bzw. Vollbenutzungsstunden dadurch ist voraussichtlich gering und im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit somit unkritisch. In der Wirtschaftlichkeitsberechnung wurde bei den angegebenen 4.500 Vollbenutzungsstunden pro Jahr bereits eine Abschaltdauer von 500 h/a berücksichtigt.

### 3 Technisches Konzept

Für die Abwasserwärmenutzung wird im Abwasserkanal ein Abwasserwärmeübertrager und in der Heizzentrale eine Wärmepumpe installiert. Beide Komponenten werden mit erdverlegten Rohrleitungen verbunden, in denen Wasser als Zwischenkreismedium zirkuliert.

#### 3.1 Auslegung der Wärmepumpenanlage

Die Leistungsaufteilung zwischen Wärmepumpe (WP) und Heizkessel (HK) erfolgt anhand einer geordneten Jahresdauerlinie des Wärmebedarfes (Bild 3-1). Dieses zeigt den Heizleistungsbedarf in Funktion der Anzahl der Betriebsstunden eines Jahres sowie die Leistungskurve der Wärmepumpe. Die Leistung der Wärmepumpe ist nicht konstant, da sie von den Temperaturen der Wärmequelle abhängt.

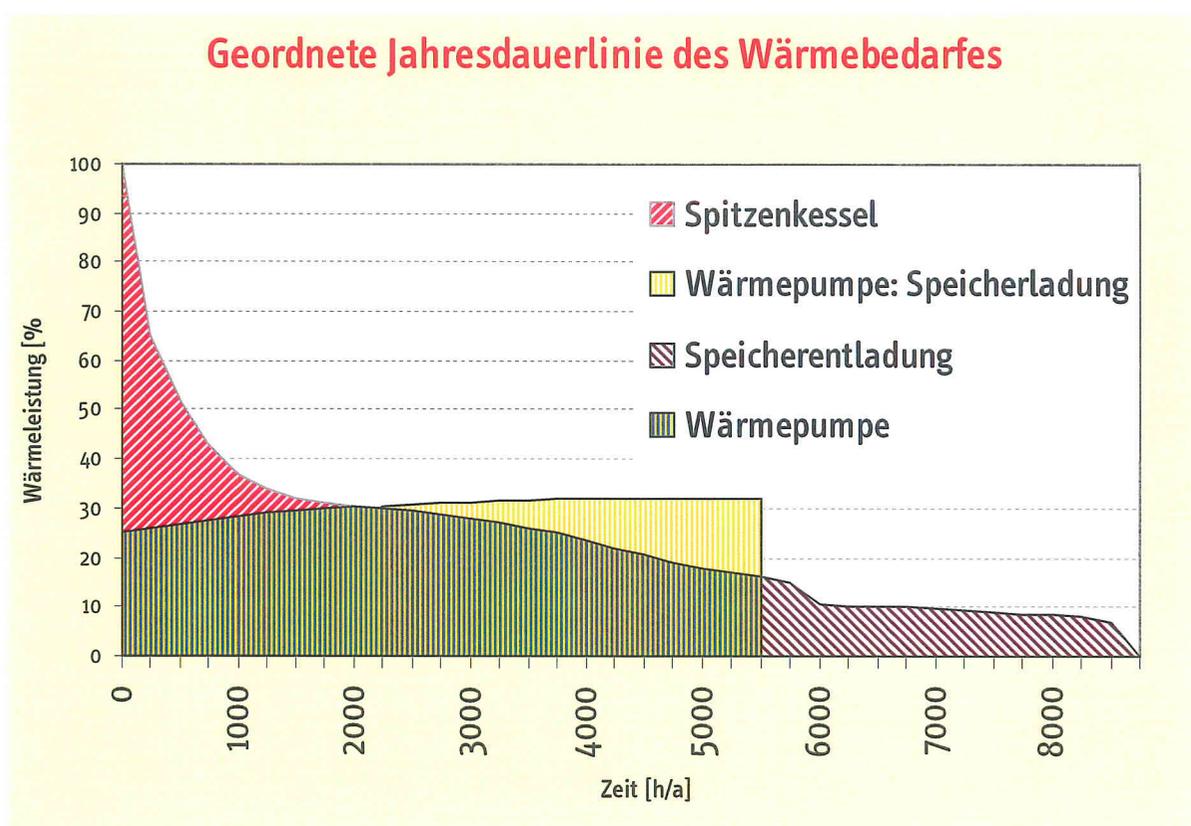


Bild 3-1 Geordnete Jahresdauerlinie der Wärmeleistung

Wärmepumpen arbeiten im Allgemeinen unter Vollast. Da teilweise nur eine geringere Leistung benötigt wird, wird die überschüssige Wärme in einen Pufferspeicher geleitet (siehe

Bild 3-1 Speicherladung). Die Wärme aus dem Pufferspeicher wird in das Heiznetz gespeist, wenn die Wärmepumpe nicht in Betrieb ist (Speicherentladung).

Für den Gebäudekomplex Hermann-Weber-Bad, Turnhalle und Gymnasium ergibt sich bei einer aktuell vorhandenen Kesselleistung von 1670 kW eine Leistung der Wärmepumpe von etwa 420 kW. Auf Grund der vorhandenen Wärmeabnehmer und dem Abwasserwärmeangebot tagsüber von 330 kW, nachts von 165 kW wird eine Wärmepumpe mit einer thermischen Leistung von 250 kW gewählt.

Die Wärmepumpe wird so betrieben, dass eine Jahresarbeitszahl von rund 4 erreicht wird. Dies bedeutet bei 250 kW Wärmepumpenleistung, dass 190 kW über den Abwasserwärmeübertrager gewonnen werden und 60 kW aus der elektrischen Antriebsleistung der Wärmepumpe stammen. Tagsüber ist das Wärmeangebot von 330 kW im Abwasserkanal somit ausreichend für die Wärmepumpe; in den Nachtstunden wird die Wärmepumpe mit etwas geringerer Leistung betrieben.

Die Heiznetztemperaturen der Gebäude sind mit 90/70°C recht hoch für den Einsatz einer Grundlast-Wärmepumpe. Die Wärmepumpe wird daher sinnvoller in der Schwimmhalle für die Beheizung des Beckenwassers und für die Vorerwärmung des Warmwassers verwendet, da die Wärmepumpe bei Vorlauftemperaturen unterhalb von 50°C am effizientesten arbeitet. Es wird geschätzt, dass die Wärmepumpe unter Berücksichtigung von Abschnitt 2.4 rund 4.500 Vollbenutzungsstunden erreichen wird.

Mit einer Sanierung der Gebäude und damit einer Verringerung des Wärmebedarfes und einer Reduzierung der Heiznetztemperaturen können deutlich mehr Vollbenutzungsstunden (ca. 5.500 Stunden pro Jahr) und damit eine verbesserte Wirtschaftlichkeit der Abwasserwärmeanlage erreicht werden.

Zur Wärmespeicherung werden Pufferspeicher eingesetzt. Diese verhindern ein häufiges An- und Ausschalten der Wärmepumpe.

#### Platzbedarf

In der jetzigen Heizzentrale des Gebäudekomplexes ist kein Platz für weitere Aggregate vorhanden. Wärmepumpe, Pufferspeicher und Schaltschrank sollten daher im Schwimmbad im Bereich der Beckenwasser-Wärmeübertrager installiert werden. Alternativ steht ein Nachbarraum der Heizzentrale zur Verfügung, der zurzeit als Lagerraum genutzt wird.

Der Platzbedarf für die genannten Komponenten liegt bei ca. 50 m<sup>2</sup>.

### 3.2 Abwasserwärmegewinnung

Für die Wärmeentnahme aus dem Kanal wird ein Wärmeübertrager auf die Kanalsohle montiert. Er wird in 1 bis 3 m langen Elementen eingebracht und zusammengesetzt. (Beispiel siehe Bild 3-2).

Die Verteil- und Sammelleitungen verlaufen unter dem Wärmeübertrager. Über Anschlussstutzen wird das Wärmeübertragermedium in ein Wärmeübertragerelement eingeleitet, durchströmt es und fließt dann in die Sammelleitung.

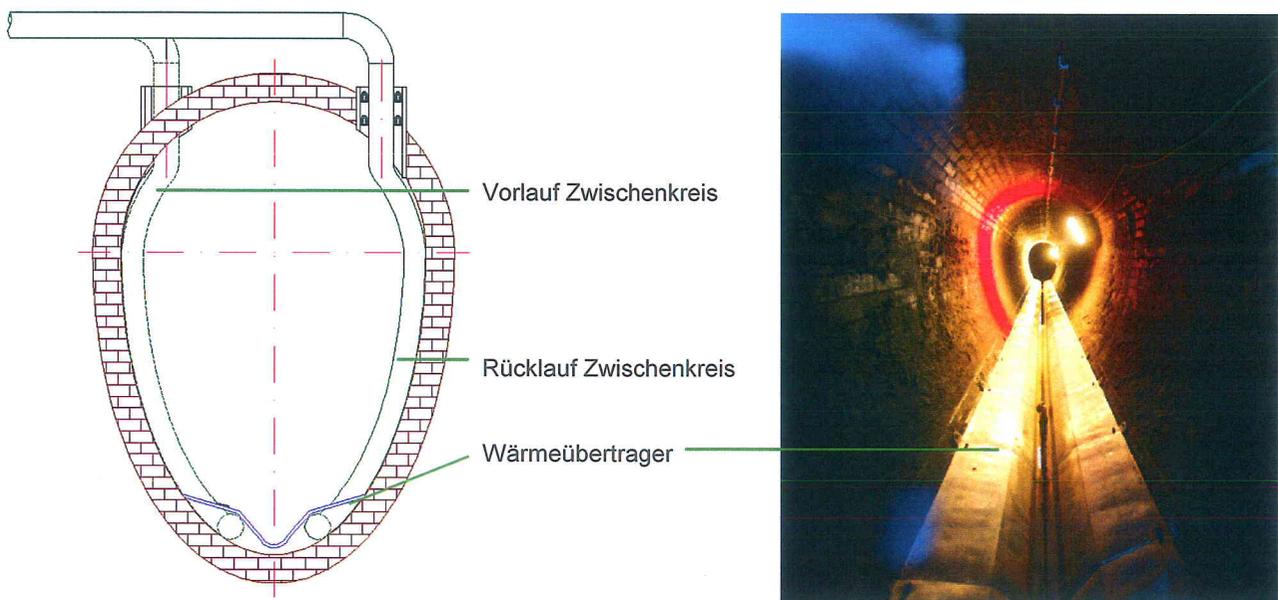


Bild 3-2 Schema und Foto Kanal mit Abwasserwärmeübertrager einer realisierten Anlage (Berlin)

Durch den Abwasserwärmeübertrager wird der Querschnitt des Abwasserkanals DN 2500 um ca. 3% reduziert.

Im Betrieb mit Abwasser bildet sich auf den Wärmeübertragerflächen ein Biofilm, der den Wärmeübergang verringert. Bei der Dimensionierung des Wärmeübertragers wurde dies berücksichtigt. Es ist keine zusätzliche Reinigung des Abwasserwärmeübertragers erforderlich; die Reinigung des Abwasserkanals kann unabhängig vom Wärmeübertrager im üblichen Turnus erfolgen.

Der Abwasserwärmeübertrager ist wartungsfrei. Nach bisherigen Erfahrungen in Deutschland und der Schweiz treten praktisch keine Kosten für Instandsetzungsarbeiten auf. Für die Ermittlung der Kosten für Wartung und Instandsetzung wurden dennoch 0,5 %/a der Investitionskosten angesetzt (siehe Kapitel 5.5).

Nach überschlägigen Berechnungen ist für eine Entzugsleistung von 190 kW ein Abwasserwärmeübertrager mit einer Gesamtlänge von 120 m erforderlich.

Die Verbindungsleitungen zwischen Abwasserkanal und Heizzentrale werden mit einer Spülbohrung in einer Tiefe von mindestens 3,5 m im Erdreich verlegt. Damit ist auch die Querung des Bahndammes und des etwa 2,5 m tiefen Eipbaches möglich.

Es gibt zwei Möglichkeiten für den Einbau des Wärmeübertragers:

1. Im 3. Bauabschnitt (fertiggestellt im Sommer 2009)

Hier kann der Abwasserwärmeübertrager zwischen den Schächten MW36 und MW37 installiert werden. Die Verbindungsleitungen zwischen dem Abwasserkanal und der Heizzentrale können so verlegt werden wie in Bild 3-3 dargestellt. Die Länge der erdverlegten Verbindungsleitungen beträgt rund 430 m. Die Einfädung der Verbindungsleitungen erfolgt im Schacht MW37.

Vorteil: geringere Entfernung zum Gebäudekomplex,

Nachteil: Abwasserhaltungskosten, da dieser Abwasserkanal bereits in Betrieb ist (ca. 30.000 Euro).

2. Im 4. Bauabschnitt (Errichtung im Sommer 2010)

Der Abwasserwärmeübertrager kann in dem neu zu errichtenden Abwasserkanal zwischen dem Anschluss des 4. Bauabschnittes in Richtung Schacht MW45 installiert werden. Die Verbindungsleitungen zwischen dem Abwasserkanal und der Heizzentrale können so verlegt werden wie in Bild 3-4 dargestellt. Die Länge der erdverlegten Verbindungsleitungen beträgt rund 500 m. Der Verlauf ergibt sich daraus, dass der Bahnhof nicht unterquert werden darf. Die Einfädung der Verbindungsleitungen erfolgt im Schacht MW43.

Vorteil: Einbau im Rahmen des Neubaus des Abwasserkanals, das heißt keine Abwasserhaltungskosten,

Nachteil: größere Länge der Verbindungsleitungen → höhere Tiefbaukosten (Mehrkosten ca. 10.000 Euro).

Da die Verlegung des Abwasserkanals des 4. Bauabschnittes in diesem Sommer erfolgen wird und noch das Energiekonzept abgewartet werden soll, ist es vom zeitlichen Ablauf nicht mehr möglich, den Abwasserwärmeübertrager in diesem Bauabschnitt zu installieren. Im Weiteren wird daher nur der Einbau des Wärmeübertragers im bereits fertiggestellten Abwasserkanal (3. Bauabschnitt) betrachtet.

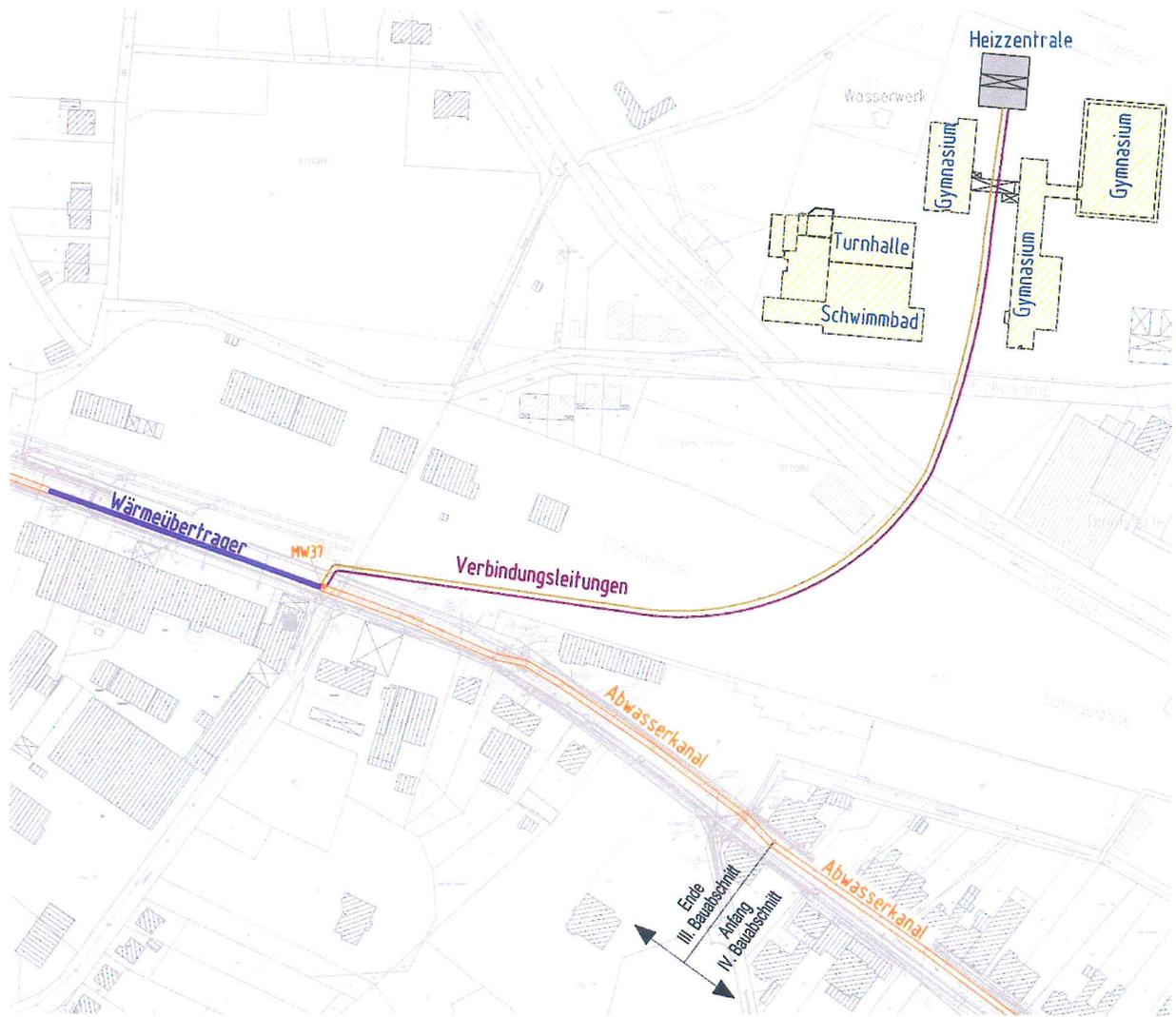


Bild 3-3 Lageplan Abwasserwärmeübertrager im 3. Bauabschnitt und Trasse Verbindungsleitung

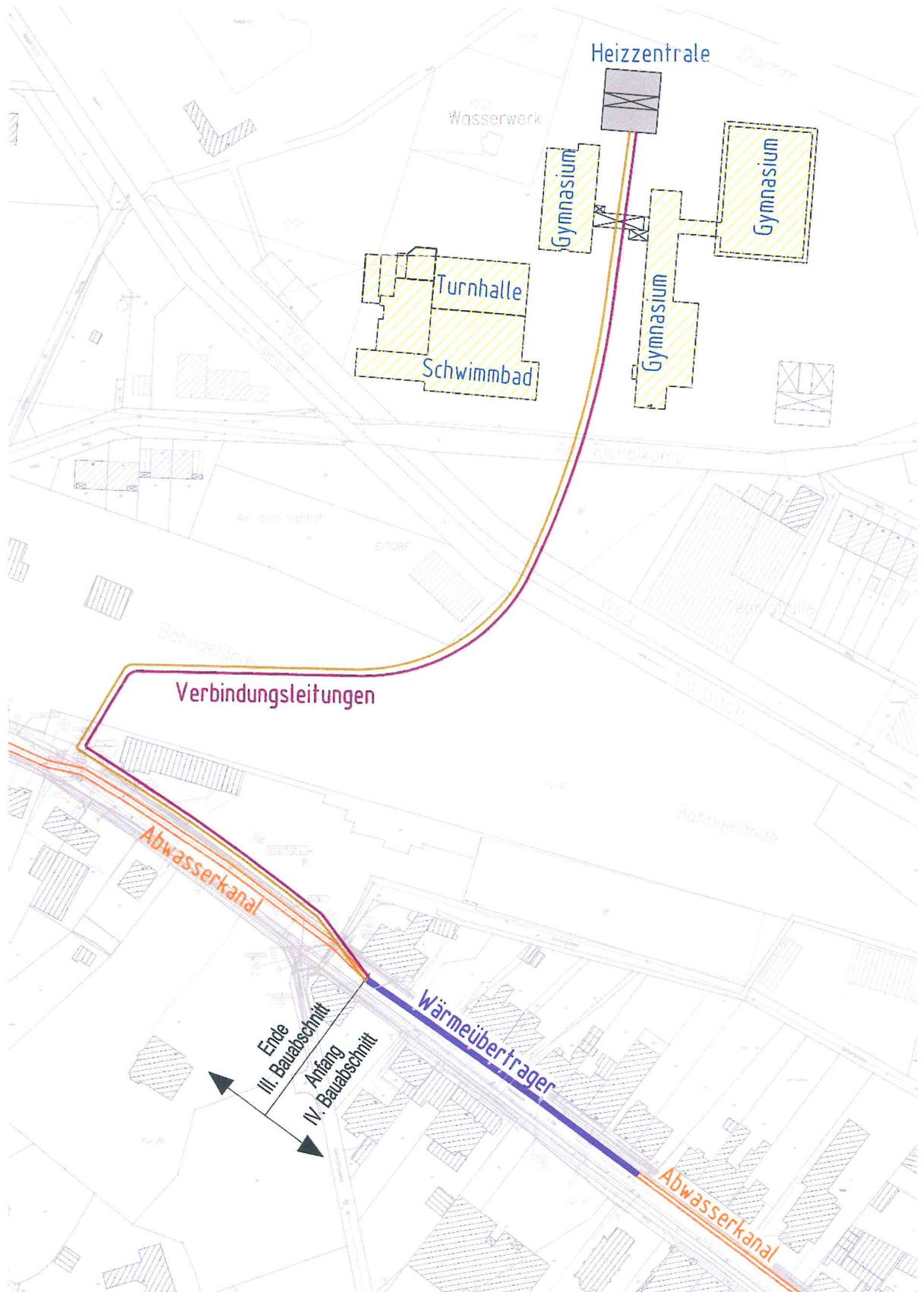


Bild 3-4 Lageplan Abwasserwärmeübertrager im 4. Bauabschnitt und Trasse Verbindungsleitung

## 4 CO<sub>2</sub>-Emissionen

Der CO<sub>2</sub>-Bilanz wurden folgende Werte zugrunde gelegt:

CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor für Erdgas (BRD): 200 kg CO<sub>2</sub>/MWh

CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor für Strom (BRD): 596 kg CO<sub>2</sub>/MWh<sup>1</sup>

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen und Einsparungen betragen:

Fall A Referenzfall Erdgaskessel: 518 t CO<sub>2</sub>/a,

Fall B und C Abwasserwärmenutzung: 465 t CO<sub>2</sub>/a.

Einsparung mit Abwasserwärmenutzung: ca. 10% 53 t CO<sub>2</sub>/a.

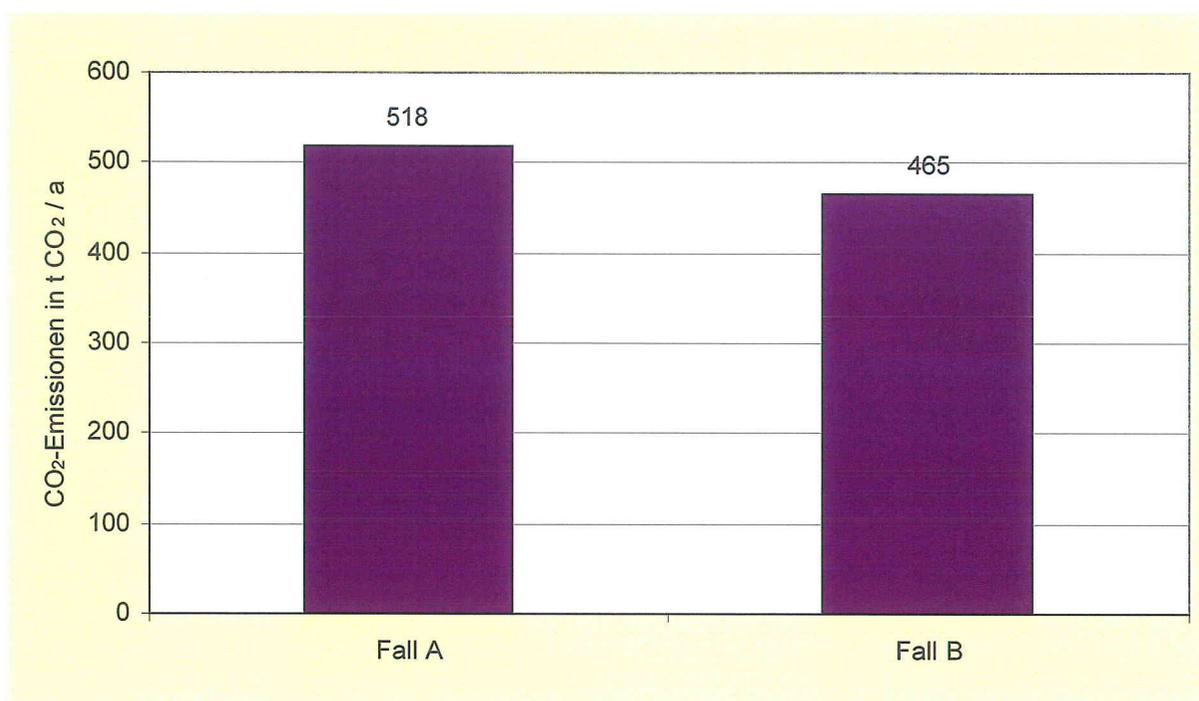


Bild 4-1 Vergleich der CO<sub>2</sub>-Emissionen (deutscher Strommix)

<sup>1</sup> Quelle: UBA, April 2008

## 5 Kostenermittlung

Anlage 1 zeigt die Kostenermittlung, die im Folgenden erläutert wird.

### 5.1 Eckdaten

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wurde in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 2067 „Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen“ (vormals: „Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen“) durchgeführt. Es wurde ein kalkulatorischer Zins (Realzins) von 5,7 %/a angenommen.

Für die Ermittlung der kapitalgebundenen Kosten sind die Nutzungsdauern in Anlehnung an die VDI 2067 verwendet worden:

1. Abwasserwärmeübertrager	40 a,
2. Verbindungsleitungen zur Heizzentrale (Tiefbau)	50 a,
3. Wärmepumpe	15 a,
4. Pufferspeicher, Pumpen, Verrohrung	20 a,
5. Elektro- und MSR-Technik	20 a,
6. Bau	40 a.

Die Planungskosten wurden mit den gewichteten Mittelwerten der einzelnen Annuitätsfaktoren kapitalisiert.

Alle im folgenden Text und den Anlagen genannten Kosten und Preise verstehen sich ohne Umsatzsteuer.

In die Kostenschätzung wurden sämtliche zugehörige Kosten in Bezug auf die Abwasserwärmanlage einbezogen, wie Abwasserwärmeübertrager, Verbindungsleitung, Wärmepumpe, hydraulische Einbindung, Elektro- und MSR-Technik sowie die bauliche Herrichtung des Wärmepumpenraumes.

### 5.2 Energiepreis-Teuerung

Die Annuitätsfaktoren nach VDI 2067 bilden die Kapitalkosten bzw. Abschreibungen und Zinsen ab. Diese werden linear über die Nutzungsdauer der Anlagen verteilt. Sie sind somit über die Nutzungsdauer nominal konstant.

In die Wirtschaftlichkeitsberechnung gehen als zweite wesentliche Kostengruppe die Energiepreise ein.

Unterstellt man für die nächsten 15 Jahre steigende Energiepreise, so gilt das Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsberechnung faktisch nur für das erste Jahr, da sich das Ergebnis mit steigenden Energiepreisen von Jahr zu Jahr zugunsten der energiesparenden Technik verschiebt.

Eine Möglichkeit, diesen Effekt der Energiepreis-Teuerung in der Wirtschaftlichkeitsberechnung zu berücksichtigen, bieten die sogenannten Mittelwertfaktoren gemäß der Schweizer Norm SIA 380/1, Tabelle E 3-2. Mittelwertfaktoren sind ein Maß für die Verteuerung der Energie während der Nutzungsdauer. Sie sind das Verhältnis der mittleren Energiepreise während der Nutzungsdauer zum heutigen Energiepreis. Mittelwertfaktoren werden unter Annahme einer mittleren Teuerungsrate und eines Kalkulationszinssatzes ermittelt.

#### Teuerung Erdgas

Erdgaspreise für Sondervertragskunden werden in der Regel der Preisentwicklung des Heizöls angepasst. Häufig wird auf eine bestimmte Preisangabe des Statistischen Bundesamtes Bezug genommen. Dies ist die „Fachserie 17 Reihe 2, Erzeugerpreise ausgewählter gewerblicher Produkte (Inlandsabsatz) Preise für Leichtes Heizöl, Euro je hl; bei Lieferung in Tankkraftwagen an Verbraucher, 40 - 50 hl pro Auftrag, frei Verbraucher; Berichtsort ‚Rheinschiene‘ (Durchschnitt aus den Preisen für Düsseldorf, Frankfurt am Main und Mannheim/Ludwigshafen)“.

Eine Auswertung der Preisentwicklung der letzten Jahre ergab eine durchschnittliche jährliche Preissteigerung um 8%. Bei einem kalkulatorischen Zins von 5% und einer Nutzungsdauer von 15 Jahren beträgt der Mittelwertfaktor für Erdgas 1,82.

#### Teuerung Elektrizität

Für Strom wurde folgender Index des Statistischen Bundesamtes ausgewählt: „Fachserie 17 Reihe 2 Index der Erzeugerpreise gewerblicher Produkte (Inlandsabsatz, 2000 = 100), Elektrischer Strom, bei Abgabe an Sondervertragskunden (Lfd.-Nr. 650)“.

Eine Auswertung der Preisentwicklung der letzten Jahre ergab eine durchschnittliche Preissteigerung um 6%. Bei einem kalkulatorischen Zins von 5% und einer Nutzungsdauer von 15 Jahren errechnet sich ein Mittelwertfaktor für Strom von 1,56.

Die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnung werden im Folgenden jeweils ohne und mit Berücksichtigung der Mittelwertfaktoren für die Energiepreis-Teuerung ausgewiesen.

### 5.3 Investitionskosten / Kapitalgebundene Kosten

Die Investitionskosten der einzelnen Anlagenkomponenten wurden anhand aktueller Herstellerpreise und eigener Erfahrungen geschätzt. Die Investitionskosten für den Abwasserwärmeübertrager und für den Tiefbau entspricht dem aktuellen Angebot eines Herstellers.

Die Kostenposition Abwasserwärmeübertrager enthält auch die in Kapitel 3.2 beschriebenen Abwasserhaltungskosten in Höhe von 30.000 Euro.

Das Honorar für die Planung wird auf Grundlage der HOAI (Honorarordnung für Architekten und Ingenieure) mit etwa 17% der Investitionssumme abgeschätzt.

Die geschätzten Investitionskosten und entsprechenden Kapitalkosten für die betrachteten Fälle liegen bei (siehe Anlage 1):

	<u>Investitionskosten</u>	<u>Kapitalkosten</u>
Fall A Referenzfall Erdgaskessel:	0 €	0 €/a,
Fall B Abwasserwärmenutzung ohne Förderung:	455.000 €	33.000 €/a,
Fall C Abwasserwärmenutzung mit Förderung:	336.000 €	25.000 €/a.

### 5.4 Verbrauchsgebundene Kosten

#### Erdgaskosten:

Der eingesetzte Erdgaspreis entspricht dem Mittelwert der Arbeitspreise der Jahre 2006 bis 2008. Der Arbeitspreis liegt inklusive Erdgassteuer von 0,55 ct/kWh bei 4,66 ct/kWh (= 46,6 €/MWh).

Es ergeben sich Erdgaskosten von:

	<u>ohne Teuerung</u>	<u>mit Teuerung</u>
Fall A Referenzfall Erdgaskessel:	149.000 €/a	271.000 €/a,
Fall B + C Abwasserwärmenutzung:	89.000 €/a	162.000 €/a.

#### Stromkosten:

Die elektrische Energie zum Antrieb der Wärmepumpe wurde mit einem Angebot der RWE für einen Wärmepumpentarif bewertet. Der Arbeitspreis beträgt inklusive Stromsteuer 13,07 ct/kWh (= 130,7 €/MWh).

Die Kosten für den Antriebsstrom der Wärmepumpe betragen:

	<u>ohne Teuerung</u>	<u>mit Teuerung</u>
Fall B + C Abwasserwärmenutzung:	40.000 €/a	62.000 €/a.

Insgesamt ergeben sich folgende verbrauchsgebundene Kosten:

	<u>ohne Teuerung</u>	<u>mit Teuerung</u>
Fall A Referenzfall Erdgaskessel:	149.000 €/a	271.000 €/a,
Fall B + C Abwasserwärmenutzung:	129.000 €/a	224.000 €/a.

## 5.5 Betriebsgebundene Kosten

Unter den betriebsgebundenen Kosten sind folgende Bereiche zusammengefasst:

- Wartung und Instandsetzung der Wärmepumpenanlage
- Versicherungen, allgemeine Verwaltung, Personal

### Wartung und Instandsetzung

Die jährlichen Wartungs- und Instandhaltungskosten werden wie folgt angesetzt (Angaben in %/a der Investitionskosten):

1. Kanalwärmeübertrager	0,5 %/a,
2. Verbindungsleitungen zur Heizzentrale (Tiefbau)	1,0 %/a,
3. Wärmepumpe	4,0 %/a,
4. Pufferspeicher, Pumpen, Verrohrung	1,5 %/a,
5. Elektro- und MSR-Technik	2,5 %/a,
6. Bau	2,0 %/a.

### Versicherungen, allgemeine Verwaltung, Personal

Die Kosten für Versicherungen, Verwaltung und Personal wurden für diese Berechnung pauschal mit jährlich 1% der gesamten Investitionskosten (ohne Planung) veranschlagt. Die Wartungs- und Instandhaltungskosten der bestehenden Kessel sind hier nicht enthalten.

Insgesamt ergeben sich folgende betriebsgebundene Kosten:

Fall B + C Abwasserwärmenutzung:	9.000 €/a.
----------------------------------	------------

## 5.6 Förderung

Abwasser ist eine regenerative Energiequelle. Die Nutzung regenerativer Energiequellen wird mit verschiedenen Programmen auf Bundes- und Landesebene durch unterschiedliche Institutionen gefördert. Da die Chancen für eine Förderung gut sind, wurde in der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung im Fall C ein Investitionskostenzuschuss in Höhe von 30% berücksichtigt.

## 6 Ergebnis

Die Untersuchungen zeigen, dass die Abwasserwärmenutzung aus dem Abwasserkanal in der Bahnhofstraße Eitorf für den Gebäudekomplex Hermann-Weber-Bad, Turnhalle und Gymnasium technisch machbar und wirtschaftlich interessant ist.

Grundsätzlich sind die Voraussetzungen für die Installation eines Wärmeübertragers in diesem Projekt günstig, da

- die Installation in einem großen Kanal mit ausreichend Trockenwetterabfluss erfolgt,
- die Abwasserumleitung während der Bauphase kostengünstig zu realisieren ist,
- mit dem Schwimmbad ein für Wärmepumpen potenziell sehr günstiger Abnehmer existiert.

Die jährlichen Wärmekosten sehen wie folgt aus (siehe auch Anlage 1):

	<u>ohne Teuerung</u>	<u>mit Teuerung</u>
Fall A Referenzfall Erdgaskessel:	149.000 €/a	271.000 €/a,
Fall B Abwasserwärmenutzung ohne Förderung:	171.000 €/a	266.000 €/a,
Fall C Abwasserwärmenutzung mit Förderung:	163.000 €/a	258.000 €/a.

Dies entspricht spezifischen Energiekosten von:

	<u>ohne Teuerung</u>	<u>mit Teuerung</u>
Fall A Referenzfall Erdgaskessel:	6,0 ct/kWh	10,8 ct/kWh,
Fall B Abwasserwärmenutzung ohne Förderung:	6,8 ct/kWh	10,6 ct/kWh,
Fall C Abwasserwärmenutzung mit Förderung:	6,5 ct/kWh	10,3 ct/kWh.

Bei einer Abwasserwärmenutzung zur Grundlastwärmeerzeugung des Gebäudekomplexes Hermann-Weber-Bad, Turnhalle und Gymnasium ergeben sich bei heutigen Energiepreisen Mehrkosten in Höhe von 22.000 €/a (Fall B) bzw. von 14.000 €/a (Fall C) im Vergleich zum Referenzfall Erdgaskessel.

Berücksichtigt man jedoch die Energiepreis-Teuerung, so beträgt die durchschnittliche Kosteneinsparung auch ohne Förderung rund 5.000 €/a und für den Fall C unter Berücksichtigung von Fördermitteln ca. 13.000 €/a.

Unter Berücksichtigung der Energiepreisteuerung ist die Anlage somit wirtschaftlich.

Die Wirtschaftlichkeit der Abwasserwärmenutzung verbessert sich weiter, wenn die vorhandenen Optimierungspotenziale genutzt werden. Dies sind:

- Hydraulischer Abgleich der Heizkreise und Optimierung auf niedrigere Heiznetztemperaturen / höhere Spreizungen zwischen Vor- und Rücklauf
- Einbeziehung des Neubaus des Naturwissenschaftlichen Zentrums
- Sanierung der Gebäudehüllen
- Abwasserwärme ist als Maßnahme zur Erfüllung der Anforderungen des Erneuerbare Energien Wärme Gesetzes anerkannt. Hierdurch können gegebenenfalls andere Investitionskosten zur Erfüllung des EEWärmeG eingespart werden.

Durch die Maßnahmen erhöhen sich sowohl die Vollbenutzungsstunden als auch die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe, was zu höheren jährlichen Energie- und Kosteneinsparungen führt.

22.1.10	Vergleich der Wärmekosten Abwasserwärmenutzung Eitorf			ECO.S Anlage 1, Blatt 1	
1907					
alle Kosten netto	Nutzungs- dauer a	Dim.	Fall A Referenz vorhand. Gaskessel	Fall B AWP ohne Förderung	Fall C AWP mit Förderung
Investitionskosten					
1. Abwasserwärmeübertrager	40	€		211.000	211.000
2. Verbindungsleitungen zur Heizzentrale (Tiefbau)	50	€		45.000	45.000
3. Wärmepumpe	15	€		55.000	55.000
4. Pufferspeicher, Pumpen, Verrohrung	20	€		60.000	60.000
5. Elektro- und MSR-Technik	20	€		20.000	20.000
6. Bau	40	€		5.000	5.000
7. Planung		€		59.000	59.000
Mögliche Förderung 30%		€		0	-119.000
Summe Investitionskosten		€		455.000	336.000
A Kapitalgebundene Kosten Kalk. Zins 5,7%	Annuitäts- faktor %/a	%/a		7,30	7,30
Summe kapitalgebundene Kosten		€/a	0	33.000	25.000
B Verbrauchsgeb. Kosten					
1. <u>Wärmebedarf/-verbrauch</u>					
Leistung der vorhanden Kessel		kW <sub>th</sub>	1.670	1.670	1.670
Wärmeverbrauch der Objekte		MWh <sub>th</sub> /a	2.500	2.500	2.500
Vollbenutzungsstunden		h/a	1.500	1.500	1.500
2. <u>Wärme-/ Stromerzeugung</u>					
<u>Kesselanlage</u>					
Leistung Kessel		kW <sub>th</sub>	1.670	1.420	1.420
Erzeugte Wärmemenge		MWh <sub>th</sub> /a	2.500	1.375	1.375
Vollbenutzungsstunden Kesselanlage		h/a	1.500	970	970
<u>Wärmepumpe</u>					
Wärmeerzeugung:					
Leistung Wärmepumpe thermisch		kW <sub>th</sub>		250	250
Vollbenutzungsstunden Wärmepumpe		h/a		4.500	4.500
Erzeugte Wärmemenge		MWh <sub>th</sub> /a		1.125	1.125
Jahresarbeitszahl Wärmepumpe		-		4,0	4,0
elektrische Leistungsaufnahme Wärmepumpe		kW		60	60
Stromverbrauch Wärmepumpe		MWh <sub>th</sub> /a		270	270
Leistung Wärmequelle		kW		190	190
Anteil Arbeit WP (Abwasserwärme inkl. Stromverbrauch)		%		45%	45%

22.1.10	Vergleich der Wärmekosten Abwasserwärmenutzung Eitorf			ECO.S Anlage 1, Blatt 2	
1907		Dim.	Fall A Referenz vorhand. Gaskes	Fall B AWP ohne Förderung	Fall C AWP mit Förderung
<b>3. Brennstoffkosten</b>					
Brennstoffverbrauch Kessel bez. auf Hs / Jahresnutz.grad:	87%	MWh/a	2.880	1.580	1.580
Umrechnung Brennwert / Heizwert entspr. DIN 18599	1,11				
Brennstoffverbrauch Kessel bez. auf Hi		MWh/a	2.590	1.420	1.420
Arbeitspreis inkl. Erdgassteuer bez. auf Hs (Mittelwert der Arbeitspreise der Jahre 2006 bis 2008)		€/MWh	46,60	46,60	46,60
Arbeitskosten		€/a	134.210	73.630	73.630
Grundpreis		€/a	14.890	14.890	14.890
Brennstoffkosten		€/a	149.000	89.000	89.000
Mittelwertfaktor für Teuerung (8%/a, 15 a)		-	1,82	1,82	1,82
Brennstoffkosten inkl. Teuerung		€/a	271.000	162.000	162.000
<b>4. Stromkosten</b>					
Stromverbrauch Wärmepumpe Wärmezeugung		MWh/a		270	270
Stromverbrauch Pumpen Zwischenkreis + Sekundär		MWh/a		34	34
Summe Stromverbrauch		MWh/a		304	304
Strombezugskosten (Wärmepumpentarif der RWE)		€/MWh		130,70	130,70
Stromkosten		€/a	0	40.000	40.000
Mittelwertfaktor für Teuerung (6%/a, 15 a)		-	1,56	1,56	1,56
Stromkosten inkl. Teuerung		€/a	0	62.000	62.000
Summe verbrauchsgeb. Kosten ohne Teuerung		€/a	149.000	129.000	129.000
Summe verbrauchsgeb. Kosten inkl. Teuerung		€/a	271.000	224.000	224.000
<b>C Betriebsgebundene Kosten</b>					
Wartung und Instandsetzung		€/a	0	5.000	5.000
Versicherung, Verwaltung, Personal		€/a	0	4.000	4.000
Summe betriebsgebundene Kosten		€/a	0	9.000	9.000
<b>D CO<sub>2</sub>-Emission</b>					
Emissionsfaktor für Erdgas (BRD), UBA		kgCO <sub>2</sub> /MWh	200	200	200
Emissionsfaktor für Strom für 2006 (BRD); UBA		kgCO <sub>2</sub> /MWh	596	596	596
Emission Brennstoff		t CO <sub>2</sub> /a	518	284	284
Emission Strom		t CO <sub>2</sub> /a	0	181	181
Gesamtemission		t CO <sub>2</sub> /a	518	465	465
Differenz zu Referenzfall		t CO <sub>2</sub> /a		-53	-53
<b>E Ergebnis</b>					
Summe Jahreskosten A+B+C ohne Teuerung		€/a	149.000	171.000	163.000
Jährliche Kostendifferenz		€/a		22.000	14.000
relative Kostendifferenz:		-		14,8%	9,4%
Wärmemenge		MWh/a	2.500	2.500	2.500
Spezifische Wärmekosten ohne Teuerung		ct/kWh	6,0	6,8	6,5
Summe Jahreskosten A+B+C inklusive Teuerung		€/a	271.000	266.000	258.000
Jährliche Kostendifferenz		€/a		-5.000	-13.000
relative Kostendifferenz:		-		-1,8%	-4,8%
Spezifische Wärmekosten inklusive Teuerung		ct/kWh	10,8	10,6	10,3