

BMU – UMWELTINNOVATIONSPROGRAMM

Abschlussbericht

zum Vorhaben:

Abwasserwärmenutzung Nordwestbad Bochum
Stettiner Straße 1 - 3

Fördernehmer/-in:

Stadtwerke Bochum GmbH
Emschergenossenschaft

Umweltbereich:

BMU- Innovationsprogramm

Laufzeit des Vorhabens:

Vorhaben:	01.09.2009 – 31.10.2010
Messprogramm:	01.09.2009 – 30.4.2012

Autoren:

Frau Bücker,	Stadtwerke Bochum GmbH
Herr Siepe,	Stadtwerke Bochum GmbH
Herr Raube,	Stadtwerke Bochum GmbH
Herr Treis,	Emschergenossenschaft

Gefördert aus Mittel des Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz und Reaktorsicherheit

Datum der Erstellung:

15.11.2012

Projekt: Nordwestbad Bochum**Berichts-Kennblatt**

Aktenzeichen: UBA	Vorhaben-Nr.:
Titel des Vorhabens: Abwasserwärmenutzung Nordwestbad Bochum	KfW- Aktenzeichen: MB e1 – 001678
Autor(en); Name(n); Vorname(n); Bücken, Christin Siepe, Markus Raube, Jochen Treis, Adrian	Vorhabensbeginn: 01.09.2009 Vorhabenende (Abschlussdatum): 30.04.2012
Fördernehmer/-in (Name, Anschrift) Stadtwerke Bochum GmbH Ostring 28 44787 Bochum Emschergenossenschaft Kronprinzenstraße 24 45128 Essen	Veröffentlichungsdatum: 09.2010 Seitenzahl: 77 Seiten
Gefördert (aus der Klimaschutzinitiative) im Rahmen des Umweltinnovationsprogramms des Bundesumweltministeriums	
Kurzfassung/Summary: Bei dem Vorhaben Abwasserwärmenutzung Nordwestbad Bochum wurde ein Abwasserwärmetauscher in einem durch die Emschergenossenschaft neu installierten Abwasserkanal DN 3000 eingebaut. Hierdurch ist es möglich, dem Abwasserstrom mit Hilfe einer Wärmepumpe Heizenergie zu entziehen. Diese steht als Nutzwärmeenergie dann dem Bad zur Verfügung. Die Anlagenkonstellation sieht so aus, dass ein BHKW mit einer Generatorleistung von 50 kW el. und eine Wärmepumpe mit gleicher Antriebsleistung den Hauptteil des Heizwärmebedarfes des Bades liefern. Die Besicherung der Spitzenleistung erfolgt durch die vorhandenen Kesselanlagen. Begleitet wird das Vorhaben durch ein umfangreiches Messprogramm.	
Schlagwörter Abwasserwärmenutzung, dezentrale Wärmeversorgung, Wärmepumpentechnologie, Blockheizkraftwerk, multivalente Energieversorgung, Schwimmbadbeheizung,	

Projekt: Nordwestbad Bochum

BMU – UMWELTINNOVATIONSPROGRAMM

Abschlussbericht

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	6
1.1	Kurzbeschreibung der Unternehmen	6
1.2	Ausgangssituation	6
2	Vorhabensumsetzung	8
2.1	Ziel des Vorhabens	8
2.2	Ausgangslage Nordwestbad Bochum	8
2.3	Ausgangslage Wärmebedarf Nordwestbad	9
2.4	Ausgangslage Abwasser	9
2.5	Darstellung der technischen Lösungen	10
2.6	Darstellung der Umsetzung des Vorhabens	16
2.6.1	Kanalseitige Installation	16
2.6.2	Erstellung des R&I- Fließbildes	18
2.6.3	Planung der Anlagenkonzeption	20
2.6.4	Leistungsverzeichnis	21
2.7	Behördliche Anforderungen (Genehmigungen)	21
2.8	Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten	21
3	Ergebnisse	25
3.1	Bewertung der Vorhabensdurchführung	25
3.2	Stoff- und Energiebilanz	25
3.3	Umweltbilanz (bei Klimaschutzvorhaben: stets Angabe der CO ₂ -Reduzierung)	30
3.4	Konzeption, Durchführung und Ergebnisse des Messprogramms	35
3.4.1	Referenzmessung der Abwassertemperatur	35
3.4.2	Kenndaten des Wärmepumpenkreislaufes	39

 Projekt: Nordwestbad Bochum

3.4.3	Kenndaten des Blockheizkraftwerkes	46
3.4.4	Wärmekreislauf	51
3.4.5	Strombilanz	51
3.5	Wirtschaftlichkeitsanalyse	53
3.5.1	Energiepreis-Teuerung	54
3.5.2	Investitionskosten	55
3.5.3	Verbrauchsgebundene Kosten	55
3.5.4	Betriebsgebundene Kosten	56
3.5.5	Ergebnis	59
3.6	Technischer Vergleich zu konventionellem Verfahren	59
4	Erfahrungen aus der Praxiseinführung	61
4.1	Erkenntnisse während der ersten Monate der Inbetriebnahme	61
4.1.1	Ausführung des Leistungsverzeichnisses	64
4.1.2	Planer Gewerk übergreifend beauftragen	64
4.1.3	Definition der Schnittstellen „Altanlage“ und „Neuanlage“	64
4.1.4	Abwasserwärmetauscher	64
4.1.5	Aufstellungsbedingungen BHKW	65
4.1.6	Aufstellungsbedingungen Wärmepumpe	66
4.1.7	Elektrische Zählergrößen	66
4.1.8	Inbetriebnahme von Rohrleitungssystemen	67
4.2	Modellcharakter (Verbreitung und weitere Anwendung des Verfahrens / Anlage / Produkt)	67
4.3	Zusammenfassung	69
5	Literatur	70
6	Anhang	71

1 Einleitung

1.1 Kurzbeschreibung der Unternehmen

Das Gemeinschaftsprojekt wurde in Kooperation von der Emschergenossenschaft und der Stadtwerke Bochum GmbH ausgeführt. Die Emschergenossenschaft als Körperschaft öffentlichen Rechts ist seit 1899 als Flussgebietsmanager in der Region tätig. Zur ihren Aufgaben zählen unter anderem der Hochwasserschutz, die Abwasserreinigung und -ableitung, die Gewässerunterhaltung und die mit dem Emscherumbau verbundene naturnahe Umgestaltung der offenen Abwasserläufe. In dem Zeitraum von Januar.2008 – September.2009 wurde in Bochum Hofstede als Vorraussetzung zur naturnahen Umgestaltung des Marbachs von der Emschergenossenschaft ein neuer Mischwasserkanal DN 3.000 errichtet. Die Stadtwerke Bochum GmbH ist der regionale Energie- und Wasserversorger. Die beiden Unternehmen verfolgten in diesem Projekt gemeinsam das Ziel, die Wärme des Abwassers aus dem neu gebauten Mischwasserkanal für die Beheizung eines in der Nähe befindlichen Hallenfreibades „Nordwestbad Bochum“ nutzbar zu machen. Die Stadt Bochum ist Eigentümer der zu versorgenden Anlage und wird die Wärme aus der Wärmepumpenanlage als Kunde abnehmen.

1.2 Ausgangssituation

Der Grundgedanke dieses Projektes besteht darin, die vorhandene Wärme des Abwassers zu nutzen und damit Primärenergie einzusparen. Die so wieder „gewonnene“ Wärme, kann an anderen Stellen im Bad zur Beheizung genutzt werden. Da Abwasserströme in Ballungsräumen flächendeckend vorhanden sind, besteht die Möglichkeit bei erfolgreicher Nutzung der eingesetzten Technik, diese auf weitere Regionen anzuwenden.

Beide Unternehmen hatten die im Rahmen des Projektes eingesetzte Technik zur Nutzung von Wärme aus Abwasser in der Form noch nicht ausgeführt. Durch das beschriebene Vorhaben wird diese bisher selten verbreitete Technik zur Wärmergewinnung mit herkömmlicher Wärmeversorgungstechnik kombiniert um den Primärenergieverbrauch und die damit verbundenen CO₂-Emissionen zu senken.

Kennzeichnend für dieses Projekt ist die durchgeführte Kombination der Grundlastversorgung einer Elektrowärmepumpe (50 kW_e) in Verbindung mit einem BHKW (50 kW_e) zur Stromversorgung.

Folgende Funktionen wurden zusammengeführt:

- die Elektrowärmepumpe macht die Wärme aus dem Abwasser verfügbar
- das BHKW sorgt für die erforderliche elektrische Antriebsleistung und Wärme auf höherem Temperaturniveau
- die Abdeckung der Spitzenlastzeiten erfolgt über vorhandene, herkömmliche Gaskessel.

Weiterhin sorgen die durchgeführten Maßnahmen zur Heizkreisoptimierung für einen effizienten Einsatz der erzeugten Wärmeenergie. Das Nordwestbad in Bochum als Anwendungsort zeichnet sich durch einen ganzjährigen, gleichmäßigen hohen Wärmebedarf aus, so dass damit ein entsprechend hoher Ausnutzungsgrad der insbesondere aus dem Abwasser erzeugten Wärme, verbunden ist. Ferner liegt der neu errichtete Mischwasserkanal in unmittelbarer Nähe (rd. 150 m) des Nordwestbades.

Projekt: Nordwestbad Bochum

Die Voraussetzungen für eine sinnvolle Gestaltung einer derartigen Anlage sind zum einen, dass ausreichend viel Abwasser nahezu konstant als Energiequelle zur Verfügung steht. Dies ist in Mischsystemen mit entsprechenden Einzugsgebietsgrößen in dicht besiedelten Gebieten oftmals der Fall. Zudem sollten Dimension und Bausubstanz der Abwasserkanäle ausreichend beschaffen und potenzielle Abnehmer im Umfeld der Kanalhaltungen zu finden sein. Für das Verbandsgebiet der Emschergenossenschaft trifft dies in hohem Maße zu.

2 Vorhabensumsetzung

2.1 Ziel des Vorhabens

Ziel dieses Vorhabens ist die Veränderung und Optimierung der Heizungsanlage im Nordwestbad auf Abwasserwärmenutzung.

Die Effizienz der Anlage wird hierbei durch den Einsatz einer Wärmepumpe (WP) in Kombination mit einem Blockheizkraftwerk (BHKW) gesteigert. Die Wärmepumpe entzieht hierbei dem Abwasser, welches über einen neuen Abwasserwärmetauscher geschickt wird, die nutzbare Heizenergie. Das Zusammenspiel von BHKW und Wärmepumpe soll so sein, dass der benötigte Strom der Wärmepumpe vom Blockheizkraftwerk produziert wird.

2.2 Ausgangslage Nordwestbad Bochum

Das Nordwestbad liegt im Bochumer Stadtteil Hofstede zwischen der Stettiner Straße und der Dinnendahlstraße. In Abb. 2-1 ist die genaue Lage des Bades dargestellt.



Abb. 2-1: Lage des Nordwestbades

Im Jahr 2005 hatte das Hallenbad 126.000 Besucher und das Freibad 32.000 Besucher.

Das Hallenbad hat folgende Öffnungszeiten:

- Montag von 10 bis 22 Uhr,
- Dienstag bis Donnerstag von 6.30 bis 22 Uhr,
- Freitag von 6.30 bis 20.15 Uhr,
- Samstag und Sonntag von 7 bis 22 Uhr.

Projekt: Nordwestbad Bochum

Sonntage und Dienstag sind Warmbadetage. Die Sauna ist Dienstag bis Sonntag von 8 bis 22 Uhr und Montag von 10 bis 22 Uhr geöffnet. Das Freibad ist im Sommer bei entsprechendem Wetter Montag bis Sonntag von 10 bis 21 Uhr geöffnet.

Das Nordwestbad ist 1974 errichtet worden. Bei den Fenstern handelt es sich um Alu-Fenster isoliert verglast. Die Wände sind seit 1974 nicht zusätzlich gedämmt worden. Es handelt sich um 35 cm Kalksandlochsteine als Sichtmauerwerk 2 schalig mit max. 4 cm Dämmung.

1994 wurden 25 % der Dachfläche erneuert und mit 10 cm Dämmung versehen. In den Jahren 1996 bis 1998 wurde die Kesselanlage erneuert. Die Lüftungsanlagen wurden erneuert und mit rekuperativer Wärmerückgewinnung ausgerüstet. Die Regelanlagen wurden durch eine DDC-Anlage zur Steuerung der Lüftung, Heizung, Warmwassererwärmung und Schwimmbeckenwassererwärmung ersetzt. Die freie Entlüftung des Bades wurde entfernt. Die Deckenleuchten wurden durch nach Stand 1998 energiesparende Deckenleuchten ersetzt.

Im Jahr 2007 wurden weitere 25 % der Dachflächen erneuert und mit einer Dämmung von 10 bis 26 cm versehen (Gefälledämmung). Eine Untersuchung zur Nutzung der Abwasserwärme vom Duschbereich wurde nicht durchgeführt.

Die Anpassung der Lüftungs- und Heizungsanlage über eine Vergrößerung einiger Heizflächen bzw. Register wurde geplant. Der Warmwasserspeicherinhalt sollte verkleinert werden und auf ein Speicherladesystem umgestellt werden. In Vorbereitung ist eine Erneuerung der restlichen 50 % der Dachflächen mit zusätzlicher Dämmung (nicht Bestandteil des Antrages).

2.3 Ausgangslage Wärmebedarf Nordwestbad

Die Energiezentrale des Nordwestbades verfügt über eine installierte Heizleistung von 1.440 kW_{th}, verteilt auf zwei Erdgaskessel, Baujahr 1998, mit je 720 kW_{th}. Sie versorgt das Bad mit Wärme zur Raumheizung, Lüftung, Warmwasserbereitung und Badewasserheizung. Die Warmwasserspeicher hatten ein Gesamtvolumen von 8.000 Litern. Der Erdgasverbrauch betrug im Jahr 2006 3.146 MWh/a. Unter der Annahme, dass 50 % des Verbrauchs witterungsabhängig sind, ergibt sich witterungsbereinigt ein Verbrauch von 3.264 MWh/a. Mit einem angenommenen Jahresnutzungsgrad der Niedertemperaturkessel von 75 % errechnet sich daraus eine Wärmemenge von 2.450 MWh/a.

Die vorhandene Technik zur Wärmeversorgung (Erdgaskessel, Baujahr 1998) entspricht dem Stand der Technik.

2.4 Ausgangslage Abwasser

Durch den Neubau des Marbachkanals wird die Trennung des bisher im offenen Schmutzwasserlauf oberirdisch abgeleiteten Schmutz- und Niederschlagswassers ermöglicht. Durch diese sog. Entflechtungsmaßnahme wird der Marbach abwasserfrei und kann ökologisch umgestaltet werden. Die unterirdische Ableitung des Abwassers erfolgt durch einen Freispiegelkanal mit Kreisprofil DN 3.000 mm, der in unmittelbarer Nähe zum Schwimmbad verläuft. Die hier betrachtete Kanalhaltung gehört zum zweiten Bauabschnitt. Der Bau des Marbachkanals ist insgesamt in fünf Bauabschnitte unterteilt. Da die Fertigstellung des Kanals zeitlich mit dem Vorhabenbeginn zusammenfiel, bestand die Möglichkeit, die externen Wärmeübertrager vor Inbetriebnahme des Kanals auf der Sohle zu

Projekt: Nordwestbad Bochum

installieren. Somit konnten Kosten für eine Wasserhaltung vermieden werden. Als mittlerer Trockenwetterabfluss Q_{t24} ergibt sich für den endgültigen Anschlussgrad aus den Berechnungen ein Wert von rd. 140 l/s. Der Trockenwetterabfluss schwankt laut Berechnung im Tagesgang zwischen 80 l/s und 330 l/s. Damit ist eine verfügbare Wärmeleistung von mindestens 800 kW_{th} im Abwasser vorhanden. Die Wärmepumpe könnte damit eine Wärmeleistung von rund 1.100 kW_{th} zur Verfügung stellen. Während der Öffnungszeiten im Zeitraum von 6 bis 22 Uhr liegt der Trockenwetterabfluss oberhalb von 140 l/s, die verfügbare Wärmepumpenleistung während der Tagesstunden liegt daher bei über 1.800 kW_{th} und somit höher, als die gesamte installierte Kesselleistung. Eine Temperaturmessung vor Ort lag zum Einbautermin nicht vor. Aus der Zulauftemperatur zur Kläranlage Bottrop, die im Mittel in den Wintermonaten bei ca. 12 °C liegt, wurde dieser Wert als Untergrenze angenommen. Da davon ausgegangen werden kann, dass die Temperatur des Abwassers im Bereich des Nordwestbades durch Fremdwasser bis zur Kläranlage Bottrop noch abgesenkt wird, liegt die gewählte Temperatur auf der sicheren Seite. Eine höhere Temperatur im Vorlauf der Wärmepumpe kann zu einer höheren Effizienz dieser beitragen, wodurch die tatsächliche Wirtschaftlichkeit gegenüber den Annahmen der durchgeführten Machbarkeitsstudie noch verbessert würde. Der Kanal DN 3.000 mm wurde im Herbst 2008 bergmännisch vorgetrieben. Das Schachtbauwerk 400 wurde im Winter 2008/2009 errichtet, jedoch provisorisch abgedeckt. Der Dom wurde später fertig gestellt, um eine einfache Möglichkeit der Einbringung großer Wärmeübertragerelemente offenzuhalten. Die Inbetriebnahme des Abwasserkanals erfolgte im 3. Quartal 2009 unmittelbar nach Installation der Wärmetauscherelemente.

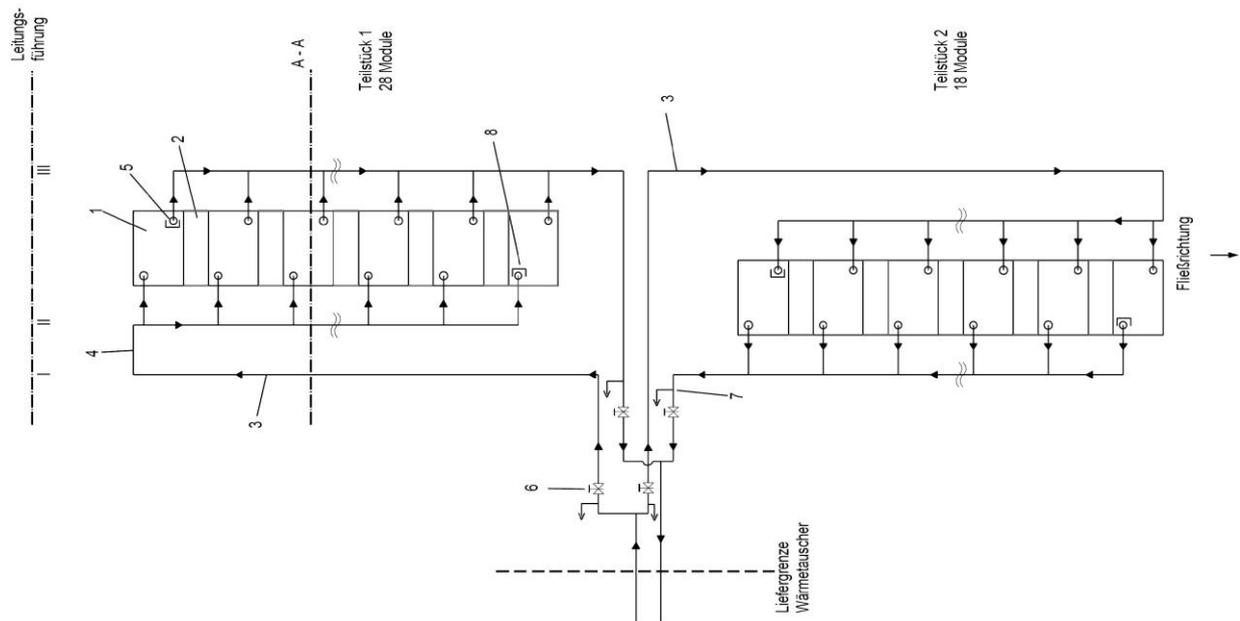
Mittlerweile sind drei von fünf Bauabschnitten der Kanalbaumaßnahme Marbachkanal angeschlossen. Derzeit befindet sich rund ein Drittel der endgültigen Abwassermenge im Kanal. Der vierte Bauabschnitt wird im August 2012 fertig gestellt. Mit Anschluss des vierten Bauabschnitts wird sich die Abwassermenge im Kanal deutlich erhöhen. Der fünfte und letzte Bauabschnitt wird im Sommer 2013 fertig gestellt sein. Ab diesem Zeitpunkt ist dann auch der endgültige Anschlussgrad erreicht.

In die Abwasserübertrager sind Temperatursonden eingebaut, die die Vor- und Rücklauftemperatur erfassen. Die Temperaturfühler sind an die Datenerfassung der Heizzentrale angeschlossen. Als redundante Einrichtung wurde eine Abwassertemperaturmessung, kombiniert mit einer Messung des Wasserstands und der Kanallufttemperatur, oberhalb des Wärmetauschers installiert. Die Daten werden per Datenlogger aufgezeichnet und alle zwei Monate abgerufen.

2.5 Darstellung der technischen Lösungen

Die für den Betrieb der Wärmepumpe erforderliche thermische Energie wird aus dem naheliegenden Marbachkanal gewonnen. Dieser neu errichtete Mischwasserkanal wurde im unterirdischen Vortrieb erstellt. Aus diesem Grund eignen sich die nachträglich auf der Kanalsole installierten Wärmeübertrager für die Wärmeentnahme aus dem Kanal am besten. Die installierten Wärmeübertragerflächen wurden in 1 Meter langen Elementen eingebracht und zusammengesetzt (siehe Abb. 2-2 und Abb. 2-3).

Projekt: Nordwestbad Bochum


Abb. 2-2: Schema des Wärmetauschers

Das vorstehende Schema zeigt die Schaltung der zwei separaten Wärmetauschergruppen (nach Tichelmann). Dies hat den Effekt, dass zu allen einzelnen Wärmetauscherelementen gleiche Rohrleitungslängen vorliegen. Dies sorgt für eine gleichmäßige Anströmung.


Abb. 2-3: Foto: Montage der Wärmetauscherelemente

Projekt: Nordwestbad Bochum

Die vorstehende Abbildung zeigt die vormontierten Wärmetauscher-elemente im Kanal. Hier fehlen noch die zur Gesamtabdeckung erforderlichen Zwischenstücke. Nach Fertigstellung stellt sich der Wärmetauscher wie in Abb. 2-4 gezeigt dar. Die Wärmetauscher-elemente sind bedingt durch die Füllung mit dem Medium auftriebsicher. Im vorliegenden Fall wurde jedoch noch eine zusätzliche Befestigung an den Rohrübergängen mittels Verbundankern gewählt.



Abb. 2-4: Wärmetauscher-elemente nach Fertigstellung

An den Stirnseiten der Wärmetauscher-elemente wurde eine Anrampung modelliert, die einen geeigneten Übergang von der Kanalsohle zum Wärmetauscher herstellen (siehe Abb. 2-5).

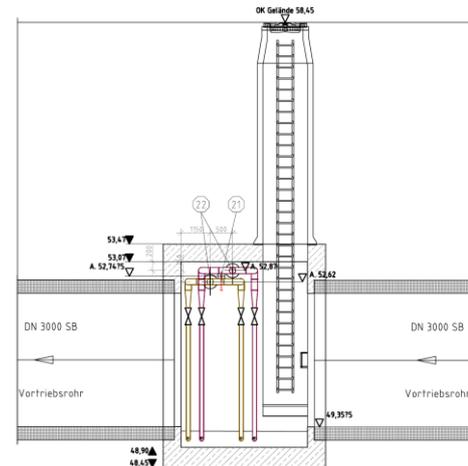


Abb. 2-5: Anrampung an der Stirnseite des Wärmetauschers

Im Schachtbauwerk 400 wurden die Regelungsarmaturen zur Einstellung der Durchströmung der Wärmetauscherelemente installiert (siehe Abb. 2-6).



Schnitt D-D



- ① Stahl-Mauerhülse 168.3 x 4mm, Fa. PSI o.g.l. für Kabelleerrohr PE 100 DA 63 SDR 17
- ② Stahl-Mauerhülse 323.9 x 5.6mm, Fa. PSI o.g.l. für Kabelleerrohr PE 100 DA 225 SDR 17

Abb. 2-6: Regelungsarmaturen im Betriebsschacht 400

Das erwärmte Wasser gelangt über PE-Verbindungsleitungen zur Wärmepumpe. Die Entfernung zwischen Abwasserkanal und Heizzentrale beträgt etwa 150 m, die Leitungen werden ca. 70 m im Erdreich und ca. 80 m im Rohrkanal bzw. im Kellergeschoss verlegt (siehe Abb. 2-7 und Abb. 2-8).

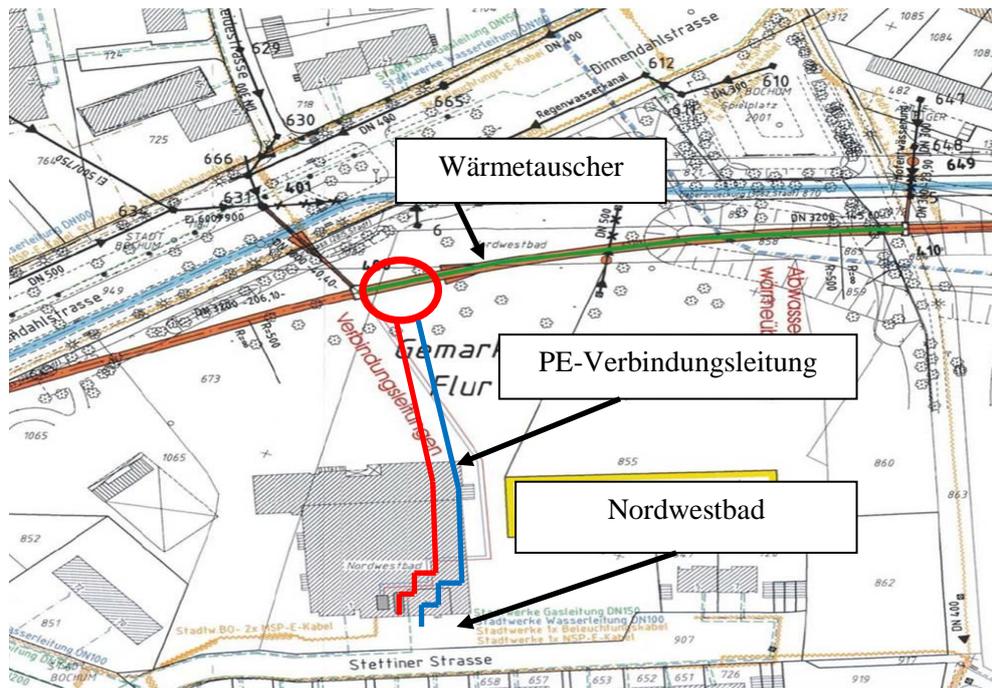
Projekt: Nordwestbad Bochum

Abb. 2-7: Lage des Nordwestbades, des Abwasserkanals sowie der Verbindungsleitung

Das Fördermedium im Primärkreislauf ist reines Trinkwasser und enthält kein Glykol. Diese Variante wurde wegen unterschiedlichen Gründen bevorzugt. Ein Grund für diesen Entschluss besteht aus umweltschutztechnischen Gesichtspunkten. Bei Leckagen im Primärkreislauf kann Glykol in den Mischwasserkanal oder ins Grundwasser gelangen. Um dieses Risiko auszuschließen wurde der Einsatz von reinem Wasser im Primärkreislauf bevorzugt. Des Weiteren weist glykolhaltiges Wasser eine schlechtere Leitfähigkeit auf als reines Wasser. Durch diese positive Eigenschaft von reinem Wasser kann mehr Massenstrom innerhalb der gleichen Zeit über die Rohrleitungen transportiert werden.

Der Nachteil von reinem Wasser gegenüber glykolhaltigem liegt zum einen bei einem höheren Gefrierpunkt. Des Weiteren ist reines Wasser in der Lage, Eiskristalle in dem Verdampfer (Plattenwärmetauscher) zu bilden. Diese Effekte mussten durch Maßnahmen an der zentralen Steuerung der Anlage verhindert werden.

Die zuführenden PE- Rohrleitungen zur Heizzentrale wurden frostfrei verlegt.



Abb. 2-8: Foto: Verlegung der Leitungen der Verbindungsleitungen vom Abwasserwärmetauscher zu Wärmepumpe

Die dem Abwasser entzogene Wärme wird im Nordwestbad mit Hilfe von Wärmetauschern ausgekoppelt und der Wärmepumpe zur Verfügung gestellt. Die Wärmepumpe wird mit einem BHKW kombiniert, so dass die Summe beider thermischen Leistungen $280 \text{ kW}_{\text{th}}$ ergibt und die elektrische Leistung des BHKW gleich dem elektrischen Leistungsbedarf der Wärmepumpe und der Zwischenkreis- und Wärmepumpenkreisumpen ist. Das heißt, dass theoretisch kein Fremdstrombezug für den Antrieb der Wärmepumpe notwendig ist, sondern der gesamte Strombedarf der Wärmepumpenanlage über das BHKW gedeckt werden kann. Ein Vorteil der Trennung von BHKW und WP liegt darin, dass beide Aggregate auch unabhängig voneinander betrieben werden können.

Um hohe Laufzeiten der Wärmepumpe zu gewährleisten wird die erzeugte thermische Energie der Wärmepumpe zur Grundlastversorgung der Nordwestbades herangezogen.

Die Wärme in den Spitzenlastzeiten wird mit den vorhandenen Erdgaskesseln erzeugt. Die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe beträgt 3,6. Dies bedeutet bei $190 \text{ kW}_{\text{th}}$ Wärmepumpenleistung, dass ca. $140 \text{ kW}_{\text{th}}$ über den Abwasserwärmetauscher gewonnen werden, $50 \text{ kW}_{\text{th}}$ stammen aus der elektrischen Antriebsleistung der Wärmepumpe. Damit die Wärmepumpe effizient arbeitet, wurde ihr heizungsseitig ein möglichst niedriges Temperaturniveau zur Verfügung gestellt. Hierzu waren weitergehende Umbauarbeiten auf „Niedertemperatur“ erforderlich.

Durch das BHKW werden Temperaturen von bis zu 90 °C erreicht. Es wird von 4.500 Vollbenutzungsstunden ausgegangen, die für die Beheizung von „Hochtemperaturkreisen“ genutzt werden. Es werden ca. 1.800 MWh/a Wärme erzeugt und damit rund 73 % des bisherigen Brennstoffverbrauches durch die Wärmepumpe substituiert.

Projekt: Nordwestbad Bochum

In Tab. 2-1 sind die ausgeführten Leistungsdaten der Anlagen zusammengefasst.

Tab. 2-1: Ausgeführte Leistungsdaten der Anlage

Beschreibung	Wert	Einheit
minimaler Abwasservolumenstrom	300	m ³ /h
minimale Abwassertemperatur	12	°C
minimale verfügbare Wärmeleistung im Abwasser	800	kW
Jahreswärmebedarf Nordwest Bad	2.450	MWh/a
thermische Leistung Spitzenkesselanlage	2 x 720	kW
elektrische Leistung BHKW Modul	ca. 50	kW
thermische Leistung BHKW Modul	ca. 90	kW
elektrische Antriebsleistung Wärmepumpe	ca. 50	kW
thermische Leistung Wärmepumpe (Grundlast)	ca. 190	kW
Länge Abwasserwärmetauscher zweiteilig	19 / 28	m
Vollbenutzungsstunden Wärmepumpe	6.500	h/a

2.6 Darstellung der Umsetzung des Vorhabens

2.6.1 Kanalseitige Installation

Bedingt durch den Kanalbau im unterirdischen Vortriebsverfahren, war eine Installation von nachträglich auf die Kanalsole aufgebrachten Wärmeübertragerelementen Voraussetzung für den Einbau. Die Elemente wurden mit Trockenwetterrinne, angepasst auf den Kanaldurchmesser von 3000 mm, ausgeschrieben. Die Trockenwetterrinne bietet den Vorteil, dass selbst bei geringen Abwassermengen immer eine ausreichende Fließgeschwindigkeit erreicht wird. Ferner sollte der Wärmetauscher so dimensioniert sein, dass trotz Sielhauteinflüsse, die erforderliche Entzugsleistung aus dem Abwasser gesichert ist. Darüber hinaus wurden auch die Regelungstechnik sowie die Zu- und Ablaufleitung vom Wärmetauscher bis zur Schachtoberkante in die Ausschreibung aufgenommen. Die Schachtobergrenze stellt gleichzeitig die Zuständigkeitsgrenze zwischen Emschergenossenschaft und Stadtwerke Bochum GmbH dar.

Den Zuschlag erhielt das System Therm – Liner der Firma Uhrig, welches auf die entsprechende kanalseitige Situation angepasst wurde. Die Kennwerte der Abwasserwärmenutzungsanlage sind in der folgenden Tab. 2-2 angegeben.

Projekt: Nordwestbad Bochum

Tab. 2-2: Kennwerte der Abwasserwärmenutzungsanlage

THERM-LINER Abwassernutzungsanlage (AWNA) - Richtpreisermittler
 "Energie aus Abwasser"

UHRIG

 Fa. UHRIG Kanaltechnik
 Am Roten Kreuz 2
 78 187 Geisingen
 Tel.: 07704 / 806 0
 Fax : 07704 / 806 50
 uhrig@uhrig-bsu.de

26.03.2009

Daten Energiequelle Abwasserkanal

	Einheit	Daten
Kanal	- Dimension <i>mm</i>	3000 x 3000
	- Form	Rund
	- Verwendung	Mischwasser
Sohlgefälle	‰	3,20
Trockenwetterabfluss	- Minimalwert	l/s
	- Tagesmittel	l/s
Abwassertemperatur	- Minimalwert	°C
Verfügbare Haltungslänge Kanal	<i>m</i>	415,00
Wärmetauscherfläche überströmt	<i>m²/m</i>	1,65
Biofilmeinfluss	%	36,00

Kennwerte THERM-LINER

	Einheit	Daten
Gesamtlänge THERM-LINER	<i>m</i>	46
Entzugsleistung THERM-LINER minimal	<i>kW</i>	150,0
Elektrische Aufnahmeleistung WP	<i>kW</i>	46,0
Verfügbare Heizleistung Wärmepumpe	<i>kW</i>	196,0
Jahresarbeitszahl WP		4,3

Daten Energienutzer

	Einheit	Daten
Entzugsleistung Kanal	<i>kW</i>	150,0
Zwischenmedium	- Eintrittstemperatur	°C
	- Austrittstemperatur	°C
Heizleistung Wärmepumpe	<i>kW</i>	196,0
Kälteleistung reversibel Wärmepumpe	<i>kW</i>	0,0
Heizungsvorlauf	°C	45,0

Weitere Daten

Einzelne Elementlänge	<i>m</i>	1,00
Fließgeschwindigkeit <i>v</i> im Kanal	<i>m/s</i>	0,51
Nenn-Volumenstrom im Element	<i>m³/h</i>	0,30
Nenn-Druckverlust	<i>kPa</i>	1
Wärmetauscherfläche THERM-LINER	<i>m²</i>	74,8
Spezifische Entzugsleistung	<i>kW/m²</i>	2,00
Gesamt-Volumenstrom	<i>m³/h</i>	32,25
Druckverlust THERM-LINER	<i>kPa</i>	36
Anzahl THERM-LINER Elemente	<i>Stk.</i>	46
Schaltung Wärmetauscher	<i>m</i>	46
Mittleres ΔT (Rücklauf/Vorlauftemp.)	<i>K</i>	4,0
Logarithmisch ΔT	<i>K</i>	3,5

Wärmedurchgangskoeff. <i>k</i> ohne Biofilm	<i>kW/(m²K)</i>	0,90
Wärmedurchgangskoeff. <i>k</i> mit Biofilm	<i>kW/(m²K)</i>	0,58
Querschnittsverlust Kanal ⁵⁾	%	2,00
Durchmesser Rohranschluss	<i>Dn</i>	0,00
Abkühlung des Abwassers bei <i>Q</i> min	<i>K</i>	0,43

Da der Kanal bereits im September des Jahres 2009 geflutet werden sollte, war eine vorzeitige Einbringung der Wärmetauscherelemente unabdingbar. Der Einbau erfolgte termingerecht im September 2009. Die Vor- und Rücklaufleitung wurden bis zur Geländeoberkante ausgeführt Abb. 2-9. Die erste Bauphase endete mit der Druckprüfung der Wärmetauscherelemente. Parallel dazu schritt die Planung der Heizzentrale des Schwimmbades voran. Bedingt durch einen Fall von Vandalismus wurden Fremdkörper in die Verbindungsleitungen zum Wärmetauscher eingebracht, was eine Demontage der Regelungsarmaturen und ein Spülen der Rohrleitungen notwendig machte (siehe auch Kapitel 4.1).



Abb. 2-9: Abschluss der ersten Bauphase (kanalseitige Installation)

2.6.2 Erstellung des R&I- Fließbildes

Die Erarbeitung der technischen Lösung begann mit der Erstellung eines hydraulischen Schaltbildes. Dieses Schema wurde im Zuge des Projektes immer weiter verfeinert. In Abb. 2-10 ist das grobe R&I-Fließbild des Nordwestbades dargestellt.

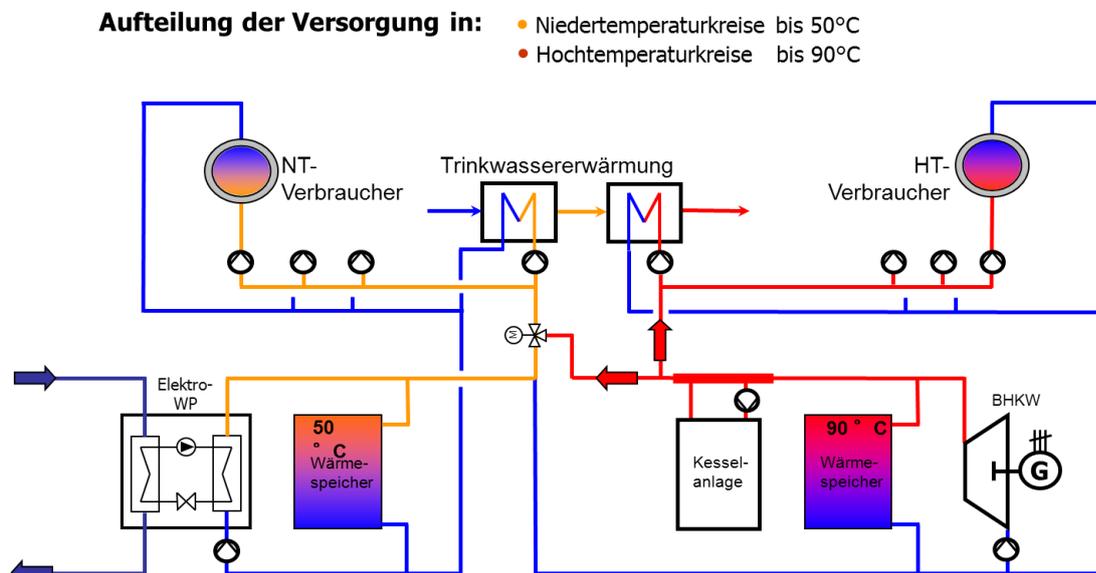


Abb. 2-10: R&I-Fließbild der Anlagenausführung

Aus der Abbildung kann eine Aufteilung des Heizungssystems in zwei unterschiedliche Temperaturniveaus entnommen werden. Unterschieden wurde zwischen der Lieferung unterschiedlicher Vorlauftemperaturen.

Projekt: Nordwestbad Bochum

Der „Niedertemperaturkreis“ (NT-Kreis) stellt Vorlauftemperaturen von ca. 50 °C zur Verfügung, während der „Hochtemperaturkreis“ (HT-Kreis) höhere Vorlauftemperaturen von bis zu 90 °C bereitstellen kann. Grund für die Teilung der Heizkreise ist die Gewährleistung von hohen Laufzeiten und hohen Arbeitszahlen der Wärmepumpe. Diese speist die erzeugte thermische Energie in den NT-Kreis ein. Der HT-Heizkreis erhält die Wärmeversorgung vorrangig aus dem BHKW. Zusätzlich verfügbare Wärme des BHKWs wird in die Pufferspeicher gefahren. Nur wenn die benötigte Heizleistung nicht mehr aufgebracht werden kann, werden die Kessel hinzugeschaltet.

Um diese Vorgehensweise technisch umsetzen zu können, wurden die Kesselanlagen vom Verteiler hydraulisch entkoppelt. Die Kessel und/oder das BHKW werden so geschaltet, dass sie die zweite Stufe des Warmwasser-Speicherladesystems direkt bedienen und parallel mit der maximal erforderlichen Vorlauftemperatur auch auf den Niedertemperaturverteiler arbeiten können. Hier sorgt ein Mischventil dafür, dass bei nicht ausreichender Wärmemenge des Wärmepumpenkreislaufes eine „Hochtemperaturespeisung“ erfolgt. Die Temperatur des NT-Verteilers wird durch das Mischventil geregelt. Die vorhandenen Kesselanlagen wurden auf eine hydraulische Weiche eingebunden. Dies geschah vor dem Hintergrund, dass eine Ladung der BHKW Speicher durch die Kesselanlage in jedem Fall vermieden werden muss. Ist Wärme aus dem Kessel/BHKW für den Niedertemperaturverteiler erforderlich, so wird die Wärmepumpe zur Rücklauftemperaturanhebung eingesetzt. In der übrigen Zeit bedient die Wärmepumpe den NT-Verteiler.

Um möglichst viele Verbraucher über den NT-Kreis versorgen zu können, wurden mehrere Optimierungsmaßnahmen verwirklicht. Zu den Verbrauchern des NT-Kreises zählen nun alle Verbraucher, die mit einer Vorlauftemperatur von bis zu 50 °C auskommen. Dies sind alle dynamischen Kreise, die Beckenwassererwärmung sowie die statischen Heizkörper. Zu den dynamischen Kreisen zählen vorrangig die Lüftungsanlagen. Um diese über den NT-Kreis versorgen zu können, mussten die Lufterhitzer ausgetauscht werden. Durch eine Heizflächenvergrößerung der Lüftungsanlagen konnten die Vorlauftemperaturen auf ca. 50 °C abgesenkt werden. Des Weiteren wurde die Warmwasserbereitung auf ein Speicherladesystem mit zwei in Reihe geschalteten Wärmeübertragern umgebaut. Der erste dieser Wärmeübertragern dient der Vorerwärmung und wird vom NT-Verteiler versorgt während der zweite von einem HT-Wärmeerzeuger, dem BHKW oder den Kesseln, bedient wird.

Im Rahmen von Ultraschallmessungen wurde die Leistungsabnahme des Warmwasserverbrauchs überprüft. Auf Grundlage der gewonnenen Erkenntnisse ist der vorhandene Warmwasserspeicher von 8.000 Litern Größe auf 2.000 Liter reduziert worden. Dies reduziert Warmhaltungskosten für den entfallenden Warmwasserspeicherbereich und verringert Hygienrisiken.

Zu einer weiteren Optimierungsmaßnahme zählte die Umstellung der Beckenwassererwärmung. Zuvor wurde die thermische Energie durch kurzfristige Aufheizphasen bereitgestellt. Diese Art der Beheizung erforderte allerdings sehr hohe Vorlauftemperaturen. Um auch diesen Heizkreis mit Niedertemperatur versorgen zu können, wurde die Fahrweise auf eine kontinuierliche Erwärmung des Beckenwassers umgestellt. Dazu ist der vorhandene Heizkreis für die Badewasseraufbereitung auf einen Beckenabgang mit einer Beckenwassersolltemperatur von maximal 29 °C und in einem Kinderbeckenabgang mit einer maximalen Beckenwassertemperatur von 35 °C aufgeteilt worden. Das

Projekt: Nordwestbad Bochum

Vorlauf- Temperaturniveau des Beckenwasser-Wärmetauschers wurde abgesenkt und die Umlenkschaltungen der Beckenwasser-Wärmetauscher demontiert. Außerhalb der Aufheizzeiten wird nun kein Vorlaufwasser mehr in den Rücklaufsammler geleitet. Durch diese Maßnahmen zeigt zurzeit die Beckenwassererwärmung Rücklauftemperaturen von ca. 45 °C. Diese niedrige Rücklauftemperatur beeinflusst den Wirkungsgrad der Anlage positiv.

Des Weiteren fand der Austausch der Thermostat- und Handventile gegen voreinstellbare Thermostatventile an den statischen Heizkreisen statt. Durch diese Umstellung kann eine zusammenhängende Durchführung des hydraulischen Abgleichs erfolgen.

In den „Hochtemperaturkreis“ wurden alle Heizkreise aufgenommen, bei denen eine höhere Vorlauftemperatur gewährleistet werden muss. Zu den Verbrauchern zählen die Trinkwassererwärmung, die Zirkulation und die Konvektoren im Bereich der Umkleiden/Brausen. Die 90°C, die das BHKW bereitstellt, werden für eine zweistufige Brauchwassererwärmung verwendet, für die Legionellenschaltung. Die erste Vorwärmstufe, wird mit einer Mischtemperatur aus dem NT- und HT- Kreislauf beaufschlagt. Dieses Niveau reicht nicht aus, um eine Speicherladung von ca. 65°C zu erzielen. Daher ist nachfolgend ein zweiter Vorwärmer installiert, der auf der Heizmediumseite mit 90°C beschickt wird. So lässt sich hier sicher die Bildung von Legionellen verhindern.

2.6.3 Planung der Anlagenkonzeption

Für die, in diesem Bericht beschriebene Umbaumaßnahme war zunächst eine Gasmotor betriebene Wärmepumpe in der engeren Auswahl. Der Vorteil dieser Variante liegt in der direkten Nutzung des Brennstoffes in Nutzwärme. So wäre die energetische Umsetzung von Brennstoff in Strom und nachfolgend von Strom in Nutzwärme, wie es bei der Elektrowärmepumpe der Fall ist, erspart geblieben. Das Ergebnis einer direkten Nutzung des Gases in Nutzwärme zeigt einen höheren Wirkungsgrad.

Allerdings wurden bei der detaillierten Untersuchung der Gasmotor betriebenen Wärmepumpe verschiedene Schwierigkeiten offensichtlich. So war eine erprobte, funktionsfähige Maschine in dieser Größenordnung nur von einem Hersteller lieferbar. Vor diesem Hintergrund war mit höheren Investitionskosten zu rechnen. Ein weiterer Nachteil stellte die Beschaffung von Ersatzteilen dar. Auch diese konnten nur von einem Hersteller bezogen werden, so dass auch hier mit höheren Kosten gerechnet werden musste. Der Vorteil der Kombination von BHKW und Wärmepumpe ermöglicht hingegen eine zeitversetzte Produktion von „Nieder- und Hochtemperatur“ – Wärme. Bei Anlagen in der Größenordnung von 50 kW gibt es eine Vielzahl an Anbietern auf dem Markt, die erprobte Module in dieser Leistungsklasse anbieten. So lagen die Einkaufspreise deutlich unter den Preisen der Gasmotor betriebenen Wärmepumpe. Des Weiteren kann mit der Kombination aus BHKW und Elektrowärmepumpe eine bessere Versorgungssicherheit aufrechterhalten werden.

Aus den beschriebenen wirtschaftlichen und technischen Gründen wurde eine Kombination von BHKW und Wärmepumpe ausgeschrieben.

Projekt: Nordwestbad Bochum

2.6.4 Leistungsverzeichnis

Das Leistungsverzeichnis wurde durch einen Fachplaner erstellt. Dieser hatte zuvor auch das Vergabelos der Machbarkeitsstudie im Bieterwettbewerb erhalten. Hierdurch waren bereits Vorkenntnisse des Projektes vorhanden. Das Leistungsverzeichnis wurde in Form von Massenausügen ausgeschrieben. Es wurden alle Gewerke zusammengefasst und als GU-Ausschreibung veröffentlicht.

Während der Bearbeitung des Projektes hat sich gezeigt, dass für die Erstellung des Leistungsverzeichnisses in der Terminplanung viel Zeit eingerechnet werden sollte. Die vielen verschiedenen Gewerke (Heizungs- und Lüftungsbau, E- / MSR- Technik, Anlagentechnik, Bautechnik, Isoliertechnik usw.), bei denen Schnittstellen zum Bestand definiert werden müssen, sind vergleichbar mit großen Bauprojekten. Hierbei kommt der Anpassung der vorhandenen Anlage auf die Neuanlage besonderes Augenmerk zu. Eine genaue Begutachtung des vorhandenen Bestandes ist wichtig für eine kostenoptimale Lösung. Die zur Optimierung der Heizungsanlage durchgeführten Maßnahmen (z.B. Austausch Luftheizregister) tragen zu der Integration der Neuanlagenteile in den Bestand wesentlich bei. Dies ist auch vor dem Hintergrund der Vermeidung von Störungen im anschließenden Betrieb von besonderer Bedeutung.

2.7 Behördliche Anforderungen (Genehmigungen)

Abwassergenehmigung:

Eine Abwassergenehmigung für den Wärmetauscher im Kanal ist nicht erforderlich, da in dem Zwischenkreis nur eine Trinkwasserfüllung eingesetzt ist. Es wurde bewusst auf den Einsatz von Glykologemischen verzichtet.

Baugenehmigung:

Eine Baugenehmigung war für dieses Projekt nicht erforderlich. Es mussten folgende Bedingungen eingehalten werden:

- 1) FeuVo „Aufstellungsräume für Feuerstätten“
- 2) LAR (Leitungsanlagenrichtlinie)

Für das BHKW wurde ein neuer Raum bis zur Betondecke abgemauert, um die Feuerfestigkeit F90 zu erreichen.

2.8 Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten

Vor dem Umbau der Heizzentrale Nordwestbad erfolgte die gesamte Heizungsregelung über eine Elesta Steuerung. Im Rahmen der Modernisierungsmaßnahmen wurden Umbauten vorgenommen, die eine neue übergeordnete Steuerung erforderlich machten. Allerdings war ein kompletter Austausch aller bisherigen Komponenten zu kostenintensiv. So ist die ursprüngliche Elesta Steuerung immer noch für die Regelung der Lüftungs- und Filteranlagen des Bades verantwortlich. Um die

Projekt: Nordwestbad Bochum

Kommunikation zwischen der „Altanlage“ und der „Neuanlage“ zu ermöglichen, wurde ein neues übergeordnetes Elesta Modul montiert. Die neue übergeordnete Steuerung der Gesamtanlage (Kieback und Peter) und das neue Elesta Modul tauschen ihre Daten über einen Gateway (BACnet) aus.

Die Erfassung der Betriebsdaten erfolgt ebenfalls über die übergeordnete DDC. Diese können über eine Telefonleitung über das Internet abgefragt werden.

In Abb. 2-11 sind die Messorte der installierten Wärmemengenähler dargestellt.

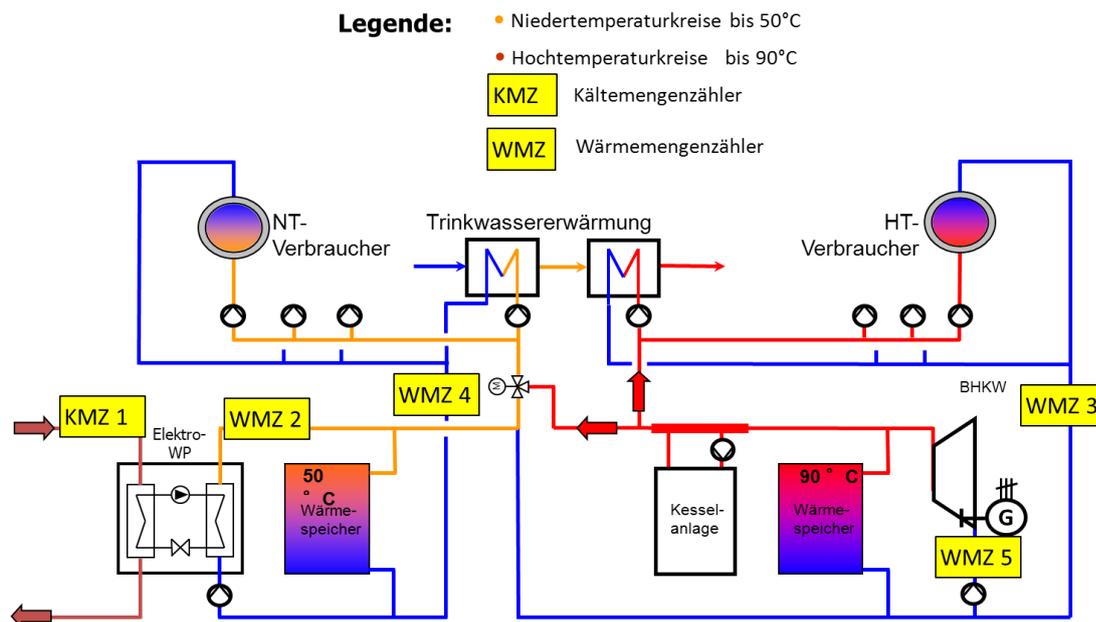


Abb. 2-11: Messorte der Wärmemengenähler

Ebenso werden die Messwerte des Erdgasverbrauches der Kessel und des BHKWs aufgezeichnet. Zu Beginn der Aufzeichnungen führten Probleme bei der Übertragung der Zählerstände zu nicht verlässlichen Werten. Aus diesen Gründen wurden die Daten in regelmäßigen Abständen vor Ort abgelesen. In Abb. 2-12 ist der Einbauort des Gaszählers der Kessel dargestellt.

Projekt: Nordwestbad Bochum



Abb. 2-12: Gaszähler der Kessel

Des Weiteren wurden die Stände der Stromzähler in regelmäßigen Abständen erfasst. Ein vereinfachtes Schaltbild der Stromzähler ist in Abb. 2-13 dargestellt.

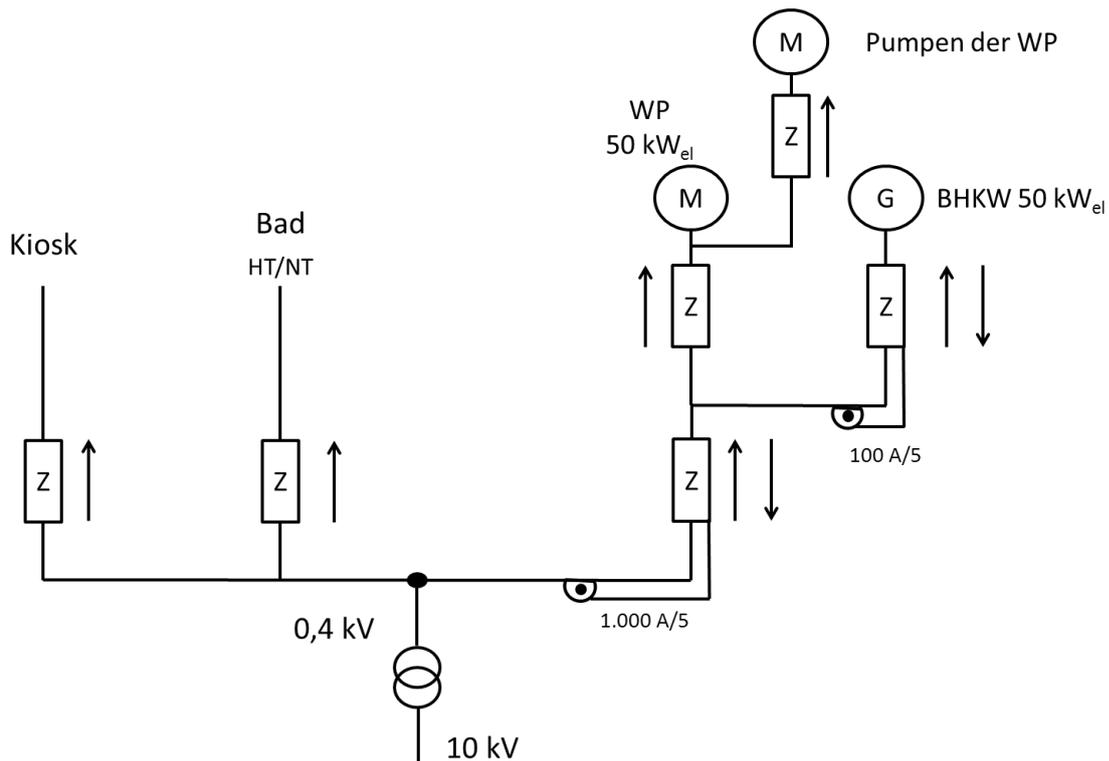


Abb. 2-13: Schaltbild der Stromzähler

Im Abwasserkanal wurde eine Referenzmessung mit den Parametern Abwassertemperatur, Kanallufttemperatur und Wasserstand im Zustrom des Wärmetauschers installiert (Abb. 2-14). Ferner können auf Niederschlags- und Temperaturdaten der nahegelegenen Messstelle Bochum DMT

Projekt: Nordwestbad Bochum

zurückgegriffen werden, um besondere Ereignisse, z. B. Eintrag von Schmelzwasser in die Kanalisation, nachvollziehen zu können. Die Messdaten liegen seit Februar 2011 vor.



Abb. 2-14: Referenzmessung der Abwassertemperatur und Datensammler im Schacht

3 Ergebnisse

3.1 Bewertung der Vorhabensdurchführung

Dieses Projekt wurde in Zusammenarbeit zwischen der Stadtwerken Bochum GmbH und der Emschergenossenschaft durchgeführt. Im Rahmen zweier Machbarkeitsstudien (Grob- und Feinanalyse) wurde die technische und wirtschaftliche Machbarkeit des Vorhabens untersucht. Auf Grundlage der positiven Ergebnisse wurde entschieden, den Antrag auf Förderung einzureichen und die Anlage umzusetzen. Die Ergebnisse der Machbarkeitsuntersuchungen bildeten auch die Grundlage zur vertraglichen Gestaltung der Kooperationsvereinbarung zwischen den beiden Unternehmen.

Das stufenweise Vorgehen durch Aufteilung der Machbarkeitsuntersuchung in Grob- und Feinanalyse ist zu empfehlen, da mittels der zeitlich kurzfristig durchführbaren Grobanalyse bereits die Grundlagen für eine Umsetzungsentscheidung vorliegen. Die Feinanalyse kann bei positiver Grobanalyse zur weiteren Detaillierung herangezogen werden.

Durch die Kooperation beider Unternehmen und die durch den Kanalneubau vorgegebenen Randbedingungen fand die Durchführung des Vorhabens in zwei Teilen statt. Im ersten Schritt wurde ein neuer Abwasserkanal im Winter 2008/2009 durch die Emschergenossenschaft in unmittelbarer Nähe zum Nordwestbad verlegt. Im Sommer 2009 erfolgte die Einbringung der Wärmeübertragerelemente. Ein Vierteljahr später wurde der Abwasserkanal schließlich in Betrieb genommen. Vorteilhaft bei dieser Vorgehensweise ist die Tatsache, dass die Wärmeübertragerelemente im Abwasserkanal im Vorfeld der Inbetriebnahme des Kanalstückes moniert werden konnten.

Ein weiterer Vorteil bei der Durchführung des Projektes gestaltete sich durch die Wahl des Planungsbüros. Hier kam derselbe Planer zum Einsatz wie bei der Entwurfsplanung. So konnte bei der Detailplanung des Projektes eine gute Vorkenntnis auf beiden Seiten vorausgesetzt werden.

3.2 Stoff- und Energiebilanz

Die von der Wärmepumpe erzeugte Heizwärme setzt sich aus Energie, die der Umwelt entzogen wird und elektrischer Antriebsenergie zusammen. Wie effizient eine Wärmepumpe arbeitet bzw. wie sehr der Betrieb von elektrischen Wärmepumpen die Umwelt belastet oder entlastet, hängt auch von dessen Stromverbrauch ab.

Für die Aufstellung der Energiebilanz der Wärmepumpe wird der Strommix aus dem öffentlichen Netz zugrunde gelegt. Die Abb. 3-1 zeigt die Primärenergieträger, mit denen im Jahr 2010 der Strom in Deutschland erzeugt wurde [1].

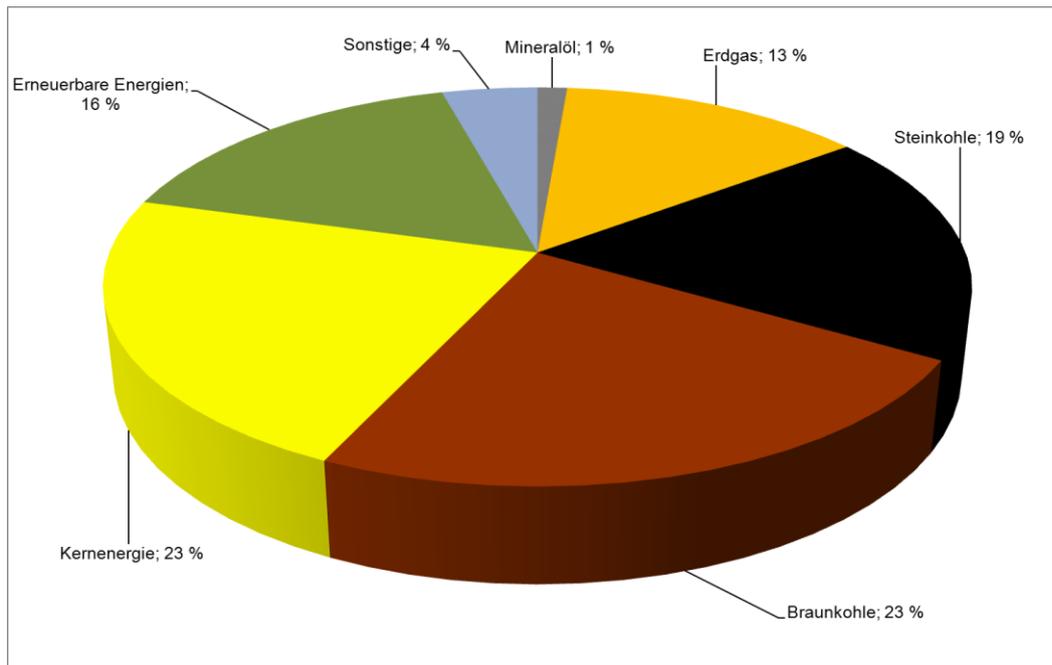


Abb. 3-1: Primärenergieträger für die Stromerzeugung im Jahr 2010 [1]

Die Umweltbelastungen, die bei der Erzeugung des elektrischen Stromes entstehen, werden bestimmt durch die Zusammensetzung der Primärenergieträger. Insgesamt wurden im Jahr 2010 ca. 624 Milliarden kWh produziert. Für dessen Bereitstellung wurden vorrangig Stein- und Braunkohle herangezogen. Des Weiteren stammt die elektrische Energie zu 23 % aus Kernenergie und 13 % aus Erdgas. Die Erneuerbaren Energien nehmen einen Anteil von 16 % ein. Damit eingeschlossen ist die Energieerzeugung aus Wasserkraft, Windkraft, Biomasse, Photovoltaik, Geothermie und Hausmüll.

Weiterhin muss für diese Betrachtung der Energieeinsatz, der für die Bereitstellung von der genutzten elektrischen Energie benötigt wird, beachtet werden. Um in Deutschland 1 kWh verbrauchen zu können, sind fast 3 kWh notwendig, die erzeugt werden müssen. Dies bedeutet, dass fast die dreifache Menge an Primärenergie zum Einsatz kommen muss, im Vergleich zu der Energie die letztendlich vom Verbraucher abgenommen wird. Die fast 3 kWh Primärenergieträger bestehen zum Teil aus fossilen Brennstoffen, aber auch aus erneuerbaren Energien. In Abb. 3-2 ist das Verhältnis der beiden Energieträger dargestellt.

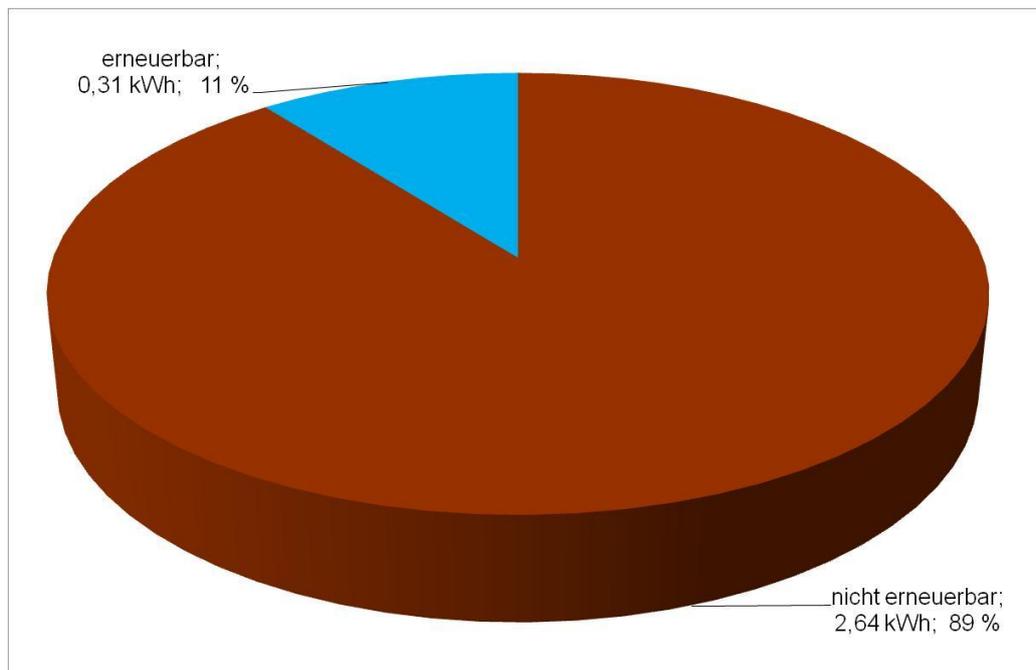


Abb. 3-2: Primärenergieeinsatz für eine verbrauchte kWh Strom in Deutschland [2]

Damit 1 kWh am Verbraucher abgenommen werden kann, müssen 2,64 kWh aus nicht erneuerbaren Energien und 0,31 kWh aus erneuerbaren Energie erzeugt werden. Vor diesem Hintergrund kann die Energiebilanz der Wärmepumpe berechnet werden.

Auf Grund der später im Kapitel 4.1 erläuterten Schwierigkeiten innerhalb der Startphase der Wärmepumpe konnte ein stabiler Betrieb dieser erst ab Mai 2011 gewährleistet werden. In Abb. 3-3 Abb. 3-4 sind die Energiebilanzen und die Arbeitszahlen der Wärmepumpe in diesem Zeitpunkt dargestellt. Die abgebildeten Grafiken würden sich so ergeben, wenn die elektrische Energie, die für den Betrieb der Wärmepumpe erforderlich ist, aus dem öffentlichen Netz entnommen würde. In diesem Projekt wird der Strom von dem direkt vor Ort installierten BHKW erzeugt und für den Betrieb der Wärmepumpe herangezogen.

Projekt: Nordwestbad Bochum

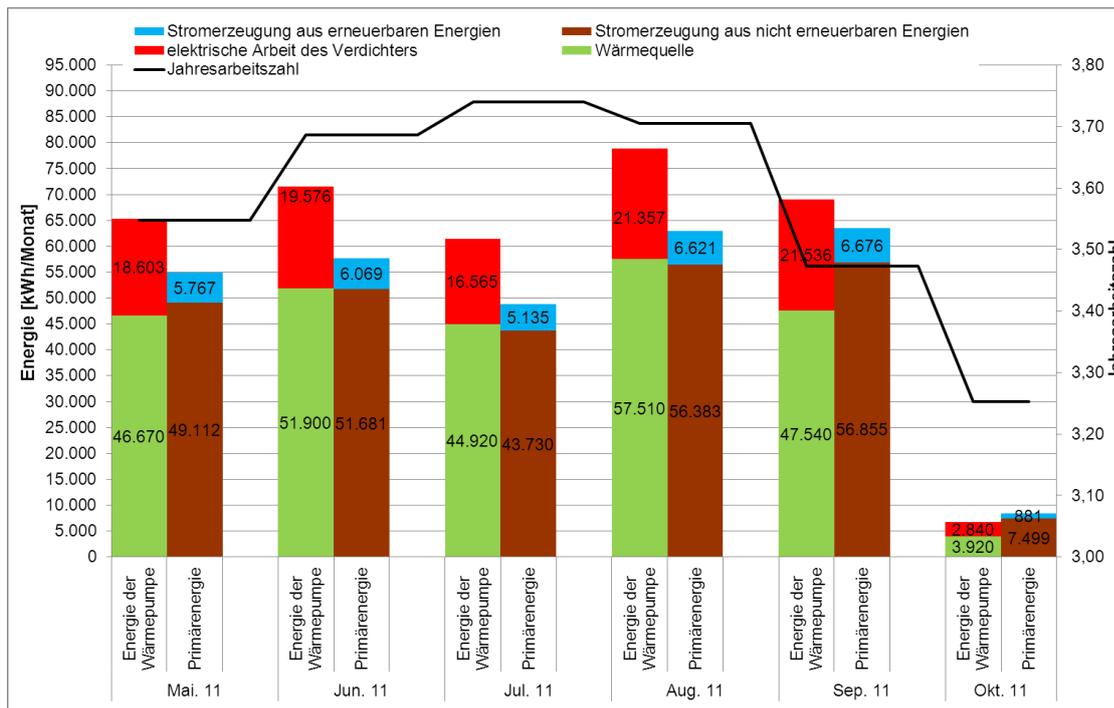


Abb. 3-3: Energiebilanz der elektrischen Wärmepumpe [Mai – Oktober 2011]

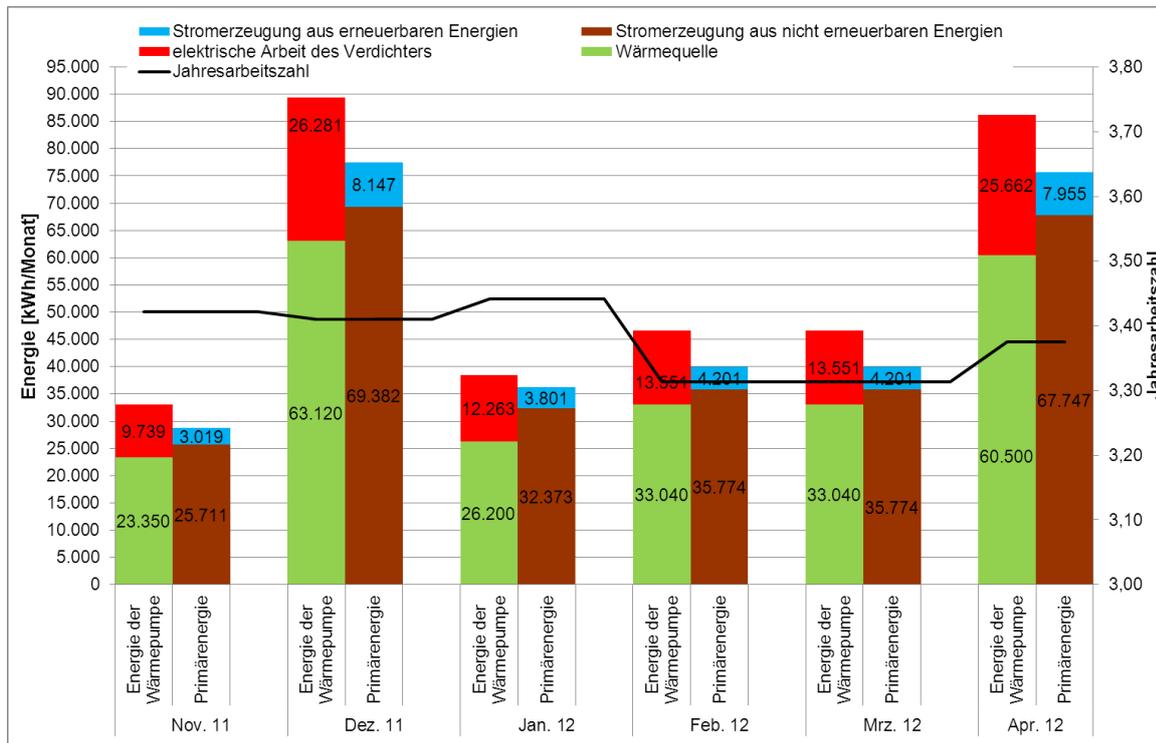


Abb. 3-4: Energiebilanz der elektrischen Wärmepumpe [November 2011 - April 2012]

In den Abbildungen ist die durch die Wärmepumpe monatlich erzeugte thermische Energie der benötigten Primärenergie gegenübergestellt. Deutlich zu erkennen ist, dass die abgegebene Energie

Projekt: Nordwestbad Bochum

der Wärmepumpe in jedem Monat größer ist als die zum Betrieb erforderliche Primärenergie. Eine Ausnahme stellt der Monat Oktober 2011 dar. In diesem Monat führten Probleme in der Primärleitung zu geringen Laufzeiten und so zu einer schlechten Bilanz der Wärmepumpe. Auf Grund von hohem Druckabfall in der Leitung und damit reduzierten Volumenströmen kam es zu langen Stillstandszeiten der Wärmepumpe. Um die Ursache der Störung zu beheben, wurde die Pumpe in der Leitung häufiger in Betrieb genommen, als zum Betrieb der Wärmepumpe erforderlich war. Dies erklärt den hohen Verbrauch an Primärenergie.

In den restlich betrachteten Monaten wurde eine gute Effizienz der Wärmepumpe erzielt. Beispielhaft konnten im Monat August $57.510 \text{ kWh}_{\text{th}}$ dem Abwasserkanal entnommen werden. Um diese thermische Energie auf ein höheres Temperaturniveau anzuheben, war zusätzlich eine elektrische Verdichterleistung von $21.357 \text{ kWh}_{\text{el}}$ erforderlich. Um die elektrische Energie des Verdichters bereitzustellen, musste $56.383 \text{ kWh}_{\text{el}}$ Primärenergie in Form von fossilen Energieträgern und $6.621 \text{ kWh}_{\text{el}}$ aus erneuerbaren Energien produziert werden.

Ebenfalls ist in der Abbildung die monatliche Arbeitszahl dargestellt. Für den betrachteten Monat August errechnet sich eine Arbeitszahl von 3,70.

In Abb. 3-5 ist für die Monate von Mai 2011 bis April 2012 die Gesamtheit der Energieflüsse in einem Diagramm dargestellt.

Projekt: Nordwestbad Bochum

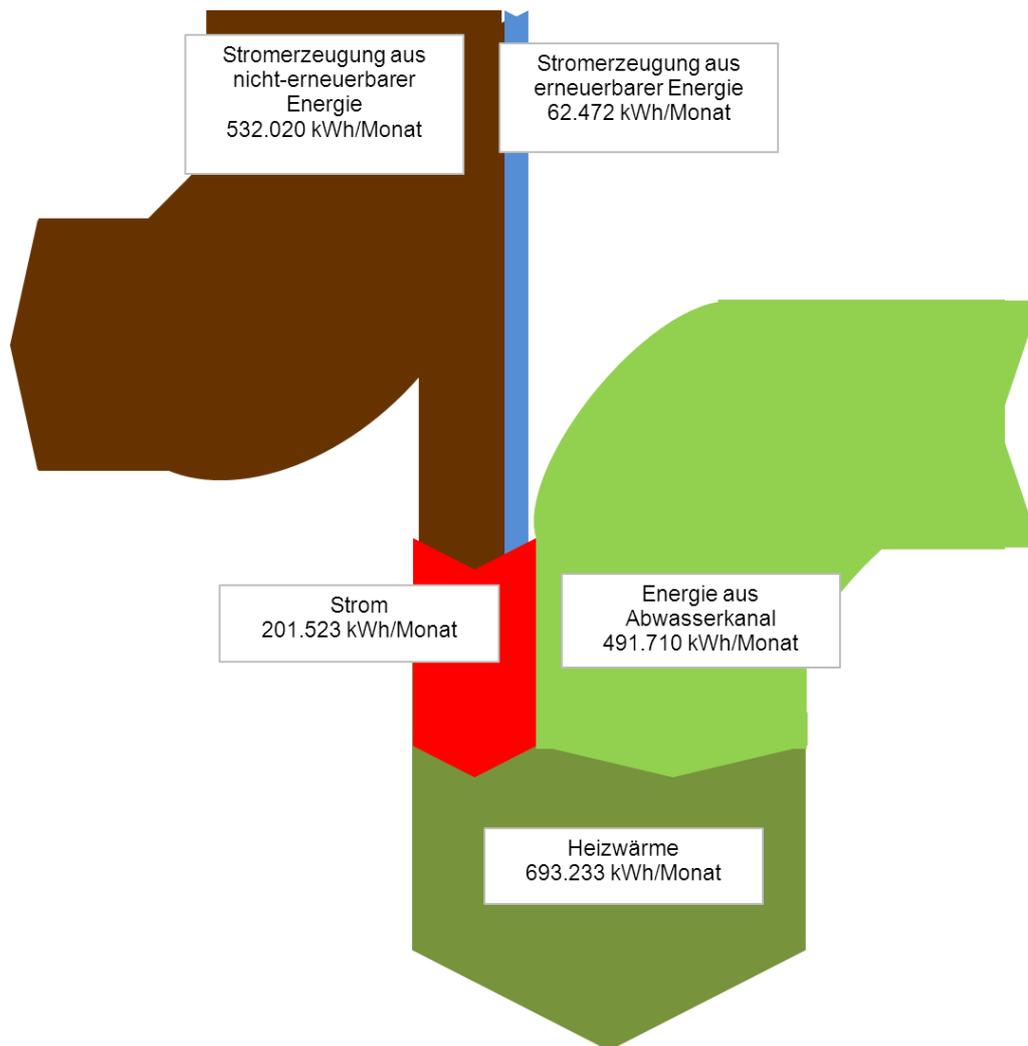


Abb. 3-5: Darstellung der Gesamtheit der Energieflüsse in einem Energieflussdiagramm

3.3 Umweltbilanz (bei Klimaschutzvorhaben: stets Angabe der CO₂-Reduzierung)

Das Vorhaben hat zum Ziel, die Nutzbarmachung der Energiequelle Abwasser in Verbindung mit konventioneller Technik zu erreichen, um so den Primärenergieverbrauch und die damit verbundenen CO₂-Emissionen für die Wärmeversorgung des Nordwestbades in Bochum spürbar zu senken.

Zur Darstellung des jetzigen CO₂ Ausstoßes im Vergleich zu den CO₂ Emissionen vor dem Umbau musste in einem ersten Schritt ermittelt werden, wie hoch der witterungsabhängige Wärmeverbrauch des Schwimmbades ist und welche Wärme auch im Sommer bereitgestellt werden muss. So muss beispielsweise die Wassertemperatur des Schwimmbades auch in den warmen Monaten auf ein konstantes Niveau gehalten werden. Ebenfalls ist die Bereitstellung von Warmwasser nicht von der Witterung abhängig.

Zur Ermittlung des witterungsunabhängigen und witterungsabhängigen Wärmeverbrauchs des Schwimmbades wurde die verbrauchte thermische Energie der letzten Jahre zusammen mit den Gradtagzahlen [3] in Abb. 3-6 dargestellt.

Projekt: Nordwestbad Bochum

Bei der Gradtagszahl handelt es sich um die Differenz zwischen der üblichen Raumtemperatur (ca. 20 °C) und der Außentemperatur. Gemessen wird immer dann, sobald es draußen kälter ist als 15 °C. Liegt beispielsweise eine Außentemperatur von 18 °C vor, beträgt die Gradtagszahl 0. Beträgt die Außentemperatur lediglich 14 °C, ist die Gradtagszahl 6 (20 °C – 14 °C).

Die Gradtagszahl eines Monats ergibt sich aus der Summe der Differenzen zwischen der üblichen Raumtemperatur und der Tagesmitteltemperatur. Eine hohe Zahl zeigt an, dass es in diesem Monat oft Temperaturen unter 15°C gab. Zeigt das Thermometer in einem Monat mehr als 15°C an, liegt die GTZ bei 0.

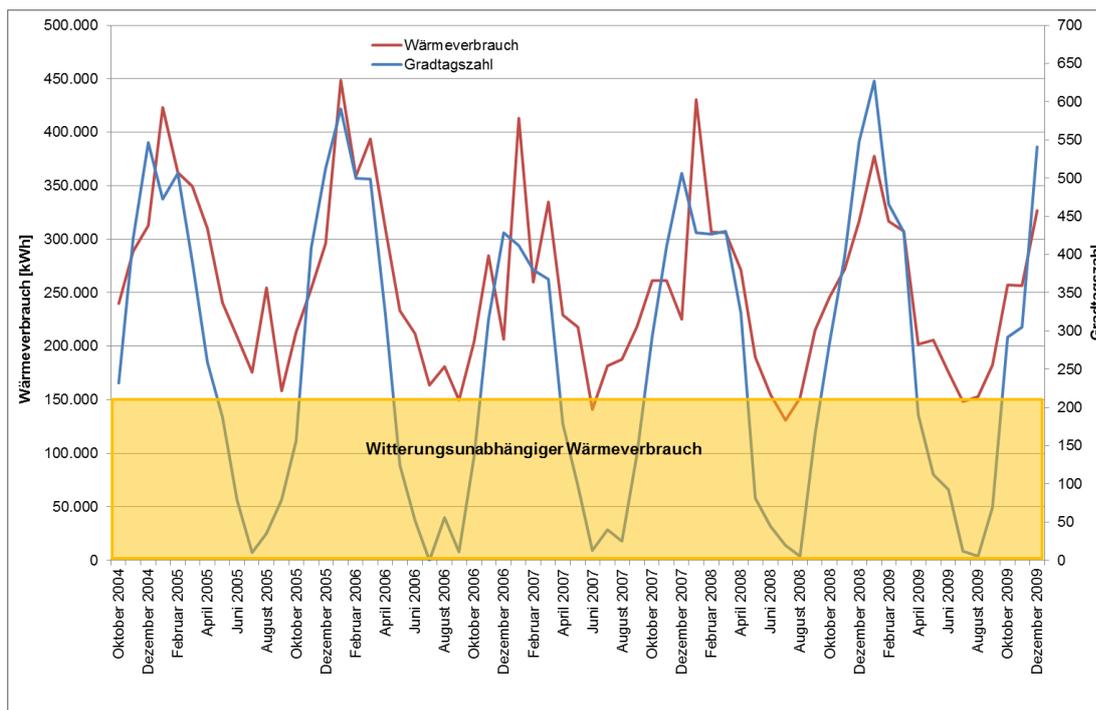


Abb. 3-6: Wärmeverbrauch des Nordwestbades der letzten Jahre in Zusammenhang mit den Gradtagszahlen

In der Abbildung ist der Wärmeverbrauch in Zusammenhang mit den Gradtagszahlen von Oktober 2004 bis Dezember 2009 dargestellt. Aufgrund der im Jahr 2010 durchgeführten Baumaßnahmen im Rahmen dieses Projektes und den damit einhergehenden Veränderungen der Wärmeabnahme geht das Jahr 2010 nicht in die Betrachtung mit ein.

Deutlich ist in der Abbildung eine Abhängigkeit des Wärmeverbrauches zu den Gradtagszahlen zu erkennen. Weiterhin ist ersichtlich, dass ein Mindestwärmebedarf des Schwimmbades von ca. 150.000 kWh_{th}/Monat besteht, um auch in den Sommermonaten die erforderliche Wärmemenge des Bades bereitzustellen. Zum Vergleich der beiden Jahre 2009 und 2011 wurde dieser Wärmebedarf als witterungsunabhängig bezeichnet. Bei einer größeren Wärmeabnahme des Schwimmbades (>150.000 kWh_{th}/Monat) fließt dieser Part als witterungsabhängiger Anteil mit in die Berechnung ein. Hier wurde, um einen repräsentativen Vergleich der beiden Jahre gewährleisten zu können, eine Anpassung mit Hilfe der Gradtagszahlen der entsprechenden Jahre vorgenommen. Zur Darstellung des Vergleiches wurden die in Tab. 3-1 dargestellten Emissionsfaktoren verwendet.

Projekt: Nordwestbad Bochum

Tab. 3-1: Emissionsfaktoren zur Berechnung der CO₂ Bilanz des Nordwestbades [4]

1 Bei Anlagen zur Stromproduktion	
a) Sofern gasförmige Brennstoffe verwendet werden	365 g/kWh CO ₂
b) Sonstiges	750 g/kWh CO ₂
2 Bei Anlagen zur Erzeugung von Wärme	
a) Sofern gasförmige Brennstoffe verwendet werden	225 g/kWh CO ₂

Mit Hilfe dieser Faktoren wurde die CO₂ Bilanz des Nordwestbades erstellt. In Abb. 3-7 und Abb. 3-8 sind die CO₂ Emissionen des Schwimmbades vor und nach dem Umbau gegenübergestellt.

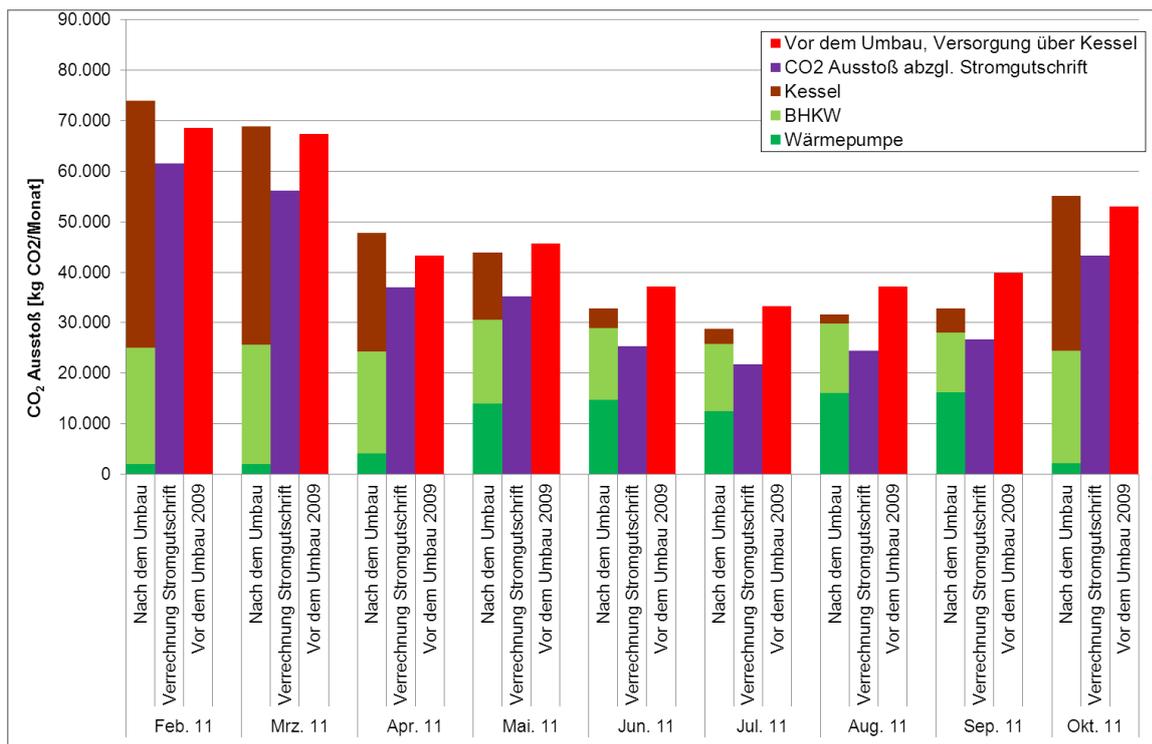


Abb. 3-7: CO₂ Bilanz der neuen Anlage im Vergleich zur herkömmlichen Technik [Februar – Oktober 2011]

Projekt: Nordwestbad Bochum

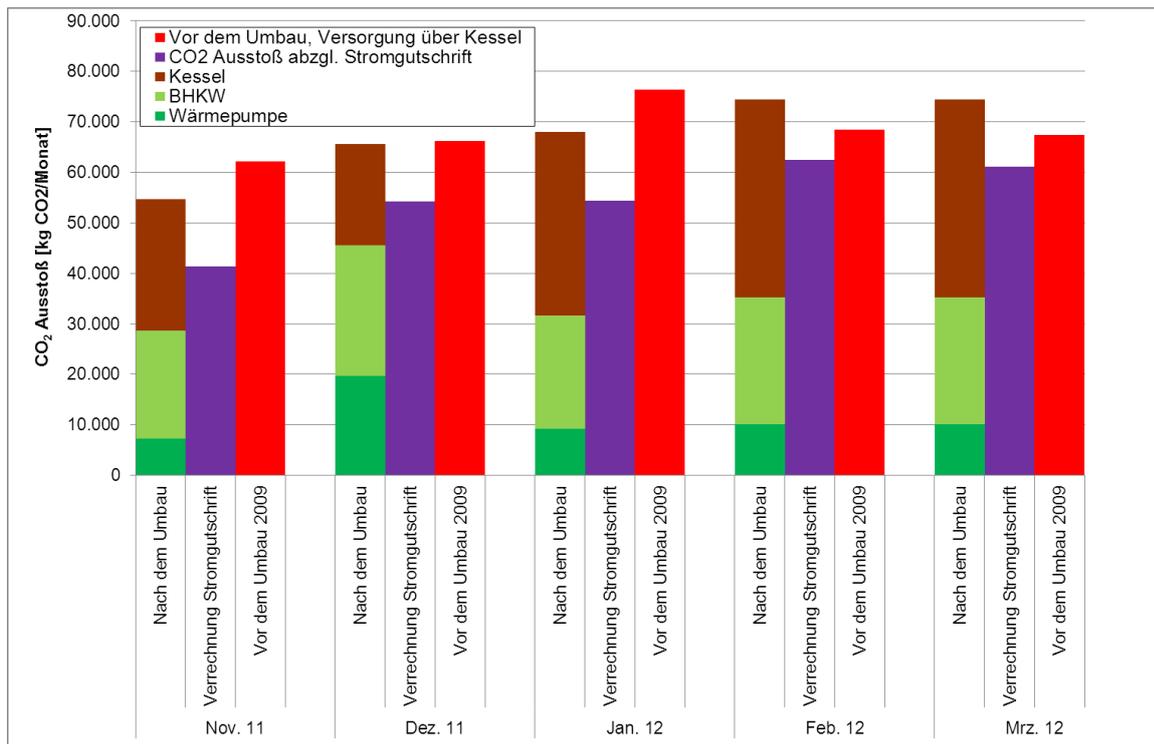
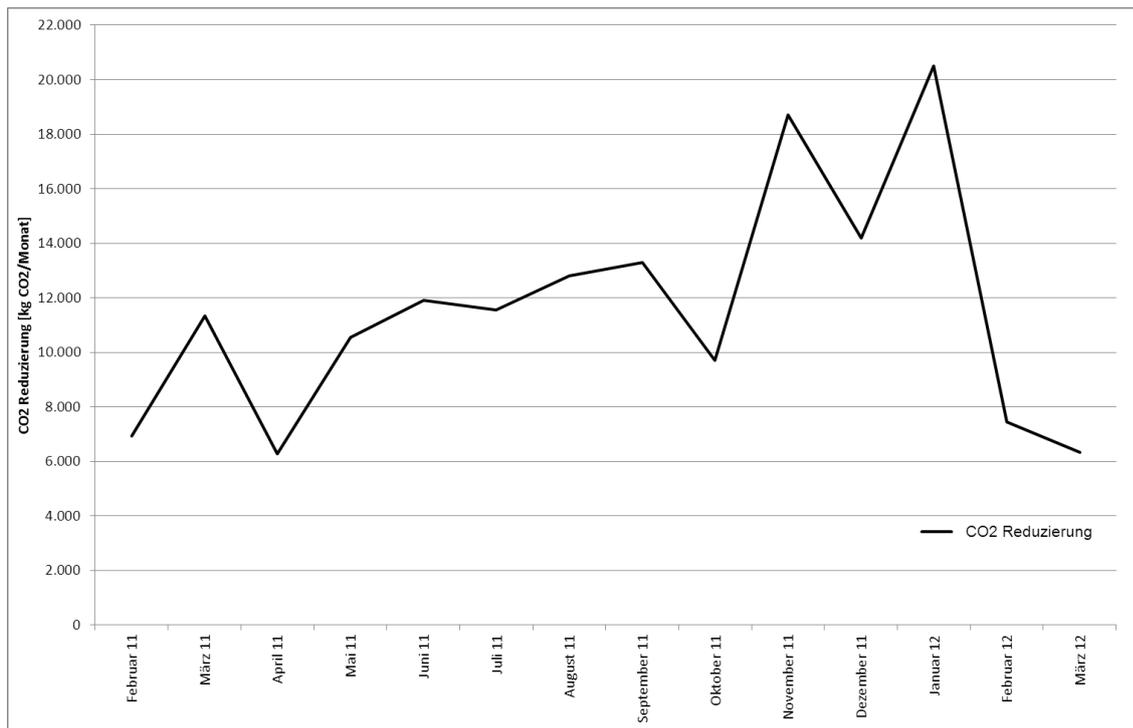


Abb. 3-8: CO₂ Bilanz der neuen Anlage im Vergleich zur herkömmlichen Technik [November 2011 – März 2012]

Die Abbildungen zeigen den CO₂ Ausstoß des Nordwestbades in der Zeit von Februar 2011 bis März 2012. Da für die Darstellung der Kohlendioxidemissionen ebenfalls die Laufzeiten des BHKWs eine große Rolle spielen und seit Januar 2011 die Datenaufzeichnungen begonnen wurden, ist dieser Zeitraum gewählt worden.

In den Abbildungen wird der CO₂ Ausstoß des Schwimmbades monatlich durch drei Säulen dargestellt. Die erste Säule kennzeichnet die Emissionen nach dem Umbau. Hierin enthalten sind die Emissionen der Stromaufnahme der Pumpen des Primärkreises, der Gasverbrauch des BHKWs sowie der Gasverbrauch der Kessel. Der violette Balken zeigt die Emissionen nach dem Umbau abzüglich der Stromgutschrift, die infolge des produzierten Stromes des BHKWs eintritt. Die dritte Säule kennzeichnet den Kohlendioxid Ausstoß vor dem Umbau der Heizzentralen, als die Wärmeversorgung durch die Kessel gewährleistet wurde.

Deutlich zu erkennen ist der geringere Ausstoß an Treibhausgasemissionen nach dem Umbau in jedem Monat wenn die Gutschrift des produzierten Stromes des BHKWs mit einbezogen wird. In den Monaten Mai bis September, in denen die Wärmepumpe ohne Probleme lief, lagen die CO₂ Emissionen auch ohne die Gutschrift des produzierten Stromes unter denen der ausschließlichen Kesselversorgung. In Abb. 3-9 sind die Emissionseinsparungen über den betrachteten Zeitraum ein der Einbeziehung der Stromgutschrift dargestellt.

Projekt: Nordwestbad Bochum**Abb. 3-9: CO₂ Einsparungen in den betrachteten Monaten 2011/2012**

Wie aus der Abbildung entnommen werden kann, wurde durch den Umbau der Heizzentrale der Ausstoß an Kohlendioxid jeden Monat um mehrere Tonnen reduziert. Ab Mai ist ein stetiger Anstieg der Verminderungen ersichtlich, welches mit dem kontinuierlichen Betrieb der Wärmepumpe erklärt werden kann. Ab Februar 2012 nahm die Einsparung an Kohlendioxid wieder etwas ab. Ein Grund hierfür liegt in der verringerten Laufzeit der Wärmepumpe in diesem Monat. Ursachen für diese Tatsache sind im Kapitel 3.4.2 beschrieben.

In Abb. 3-10 sind die CO₂ Emissionen in der Zeit von Februar 2011 bis März 2012 dargestellt.

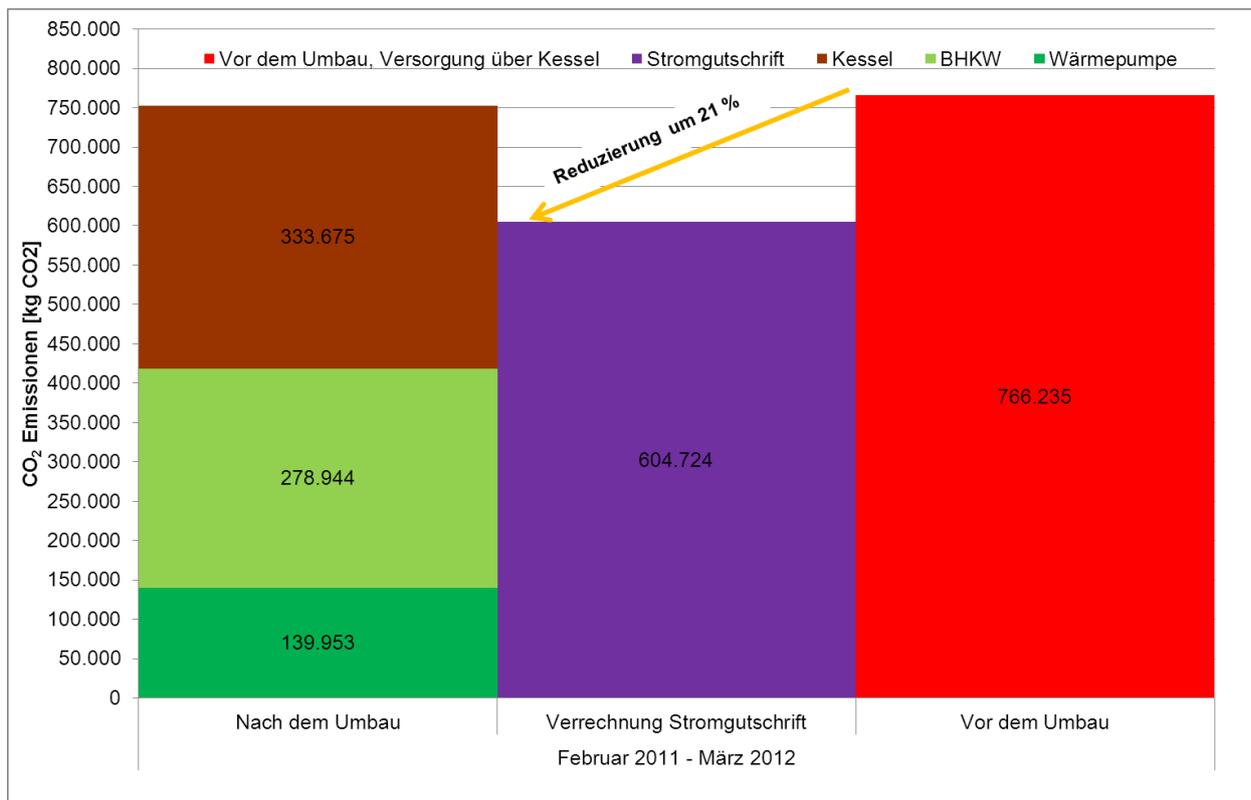


Abb. 3-10: CO₂ Ausstoß in der Zeit von Februar 2011 bis März 2012

Insgesamt fand in der betrachteten Zeit eine Reduktion der Treibhausgasemissionen durch den Umbau der Heizungsanlage um ca. 21 % statt, wenn bei der Betrachtung die Gutschrift durch die Stromproduktion des BHKWs mit einbezogen wird. Dies entspricht einer CO₂ Einsparung in der Zeit von Februar 2011 bis März 2012 von ca. 160 t. Als Grundlage für den Gasverbrauch vor dem Umbau wurde hier das Jahr 2009 herangezogen.

3.4 Konzeption, Durchführung und Ergebnisse des Messprogramms

Zur Bewertung der Ergebnisse des Messprogramms werden neben den Messungen im Abwasserbereich auch die einzelnen Kreise der Wärmepumpe und des BHKWs differenziert betrachtet und in den folgenden Kapiteln wiedergegeben.

3.4.1 Referenzmessung der Abwassertemperatur

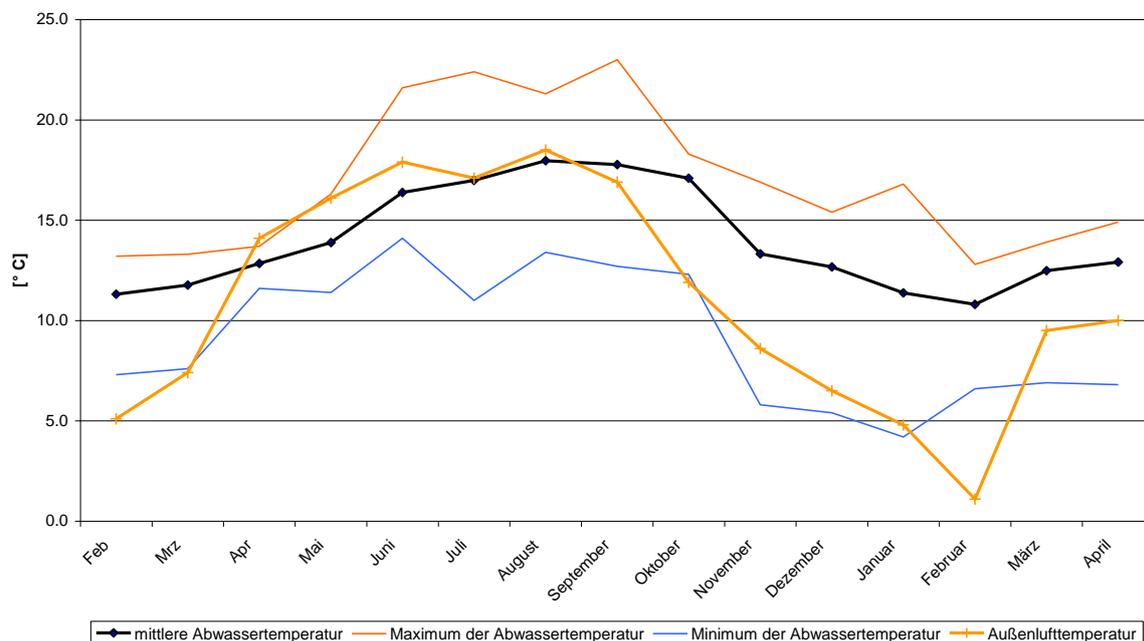
Die Tab. 3-2 sowie die Abb. 3-11 zeigen den Verlauf und die Schwankungsbreite der Monatswerte der Referenzmessung der Abwassertemperatur im Marbachkanal vor dem Wärmetauscher. Im Mittel liegt die Abwassertemperatur im Zeitraum Februar 2011 bis April 2012 bei etwa 14 °C. Im Vergleich dazu liegt die mittlere Kanallufttemperatur im Betrachtungszeitraum bei rd. 12 °C und die mittlere Lufttemperatur bei rd. 11 °C. Das höhere Wärmepotenzial des Abwassers wird durch diesen Vergleich deutlich. Im Winter (November bis April) liegt das Temperaturmittel immer noch bei rd. 12 °C und bestätigt damit die vorhergesagte Zulufttemperatur (vgl. Kapitel 2.4). Wie die Abb. 3-12 zeigt, werden in diesem Zeitraum kurzzeitig auch Minimumtemperaturen von unter 10 °C gemessen. In den

Projekt: Nordwestbad Bochum

Sommermonaten steigen die Abwassertemperaturen auf im Mittel 16.7 °C, wobei im August mit 17.9 °C die höchsten Monatsmitteltemperaturen registriert werden. Die Maximaltemperaturen können kurzzeitig auch Werte über 22° C erreichen (Abb. 3-14).

Tab. 3-2: Monatswerte der Temperaturmessung

Zeitraum	Abwassertemp	Abwassertemp	Abwassertemp	Kanallufttemp	Kanallufttemp	Kanallufttemp	Lufttemp
	Mittel [°C]	Max [°C]	Min [°C]	Mittel [°C]	Max [°C]	Min [°C]	Mittel [°C]
Feb 11	11.3	13.2	7.3	10.8	12.2	9.1	5.1
Mrz 11	11.8	13.3	7.6	11	12.9	9.7	7.4
Apr 11	12.9	13.7	11.6	12.2	15.7	10.6	14.1
Mai 11	13.9	16.3	11.4	12.8	16	11.5	16.1
Jun 11	16.3	21.6	14.1	14.2	17.2	12.8	17.9
Jul 11	16.9	22.4	11	14.8	17.9	13.7	17.1
Aug 11	17.9	21.3	13.4	15.7	17.9	14.5	18.5
Sep 11	17.7	23	12.7	15.6	18.9	14.5	16.9
Okt 11	17.1	18.3	12.3	14.6	16.1	7.2	11.9
Nov 11	13.3	16.9	5.8	10	13	3.5	8.6
Dez 11	12.7	15.4	5.4	9.6	12	4.8	6.5
Jan 12	11.4	16.8	4.2	8.7	10.6	5.7	4.8
Feb 12	10.8	12.8	6.6	7.4	10	1.2	1.1
Mrz 12	12.5	13.9	6.9	9	10.9	7.8	9.5
Apr 12	12.9	14.9	6.8	9.4	11.1	7.9	10

Monatswerte der Abwassertemperaturverläufe

Abb. 3-11: Referenzmessung im Abwasserkanal vom 18. - 20. März 2011

Die Abb. 3-12 zeigt beispielhaft für den Monat März den Temperaturverlauf des Abwassers, der Kanalluft sowie der Außenluft in Kombination mit dem Niederschlag. Es wird deutlich, dass sich die Abwassertemperatur im vorhergesagten Mittel von etwa 12° C bewegt. Dieser Wert ist auch relativ unbeeinflusst von der Außenluft, die sich im Betrachtungszeitraum zwischen 12h-Mittelwerten von etwa 1 °C und 18°C bewegt.

Projekt: Nordwestbad Bochum

Diese Feststellung ist besonders vor dem Hintergrund interessant, dass im Betrachtungszeitraum nur rund ein Drittel der endgültigen Abwassermenge im Kanal transportiert wurde. Hier ist sicherlich auch ein ausgleichender Einfluss der Erdbodentemperatur ursächlich, da die Kanalsohle etwa 10 m unter dem Erdboden liegt.

Eine kurzzeitige Absenkung der Abwassertemperatur ist immer dann festzustellen, wenn ein Eintrag kalter Niederschlagswasser erfolgt (so z.B. am 19.03.2011). Der Temperaturabfall, der auch die 10 °C kurzfristig unterschreiten kann, wird jedoch innerhalb weniger Stunden wieder ausgeglichen, wie die Abb. 3-13 zeigt.

Nahezu unbeeinflusst von Schwankungen der Außentemperatur und auch von Niederschlagseinträgen zeigt sich die Kanallufttemperatur, die sich fast konstant auf einem Niveau von rd. 11 °C bewegt.

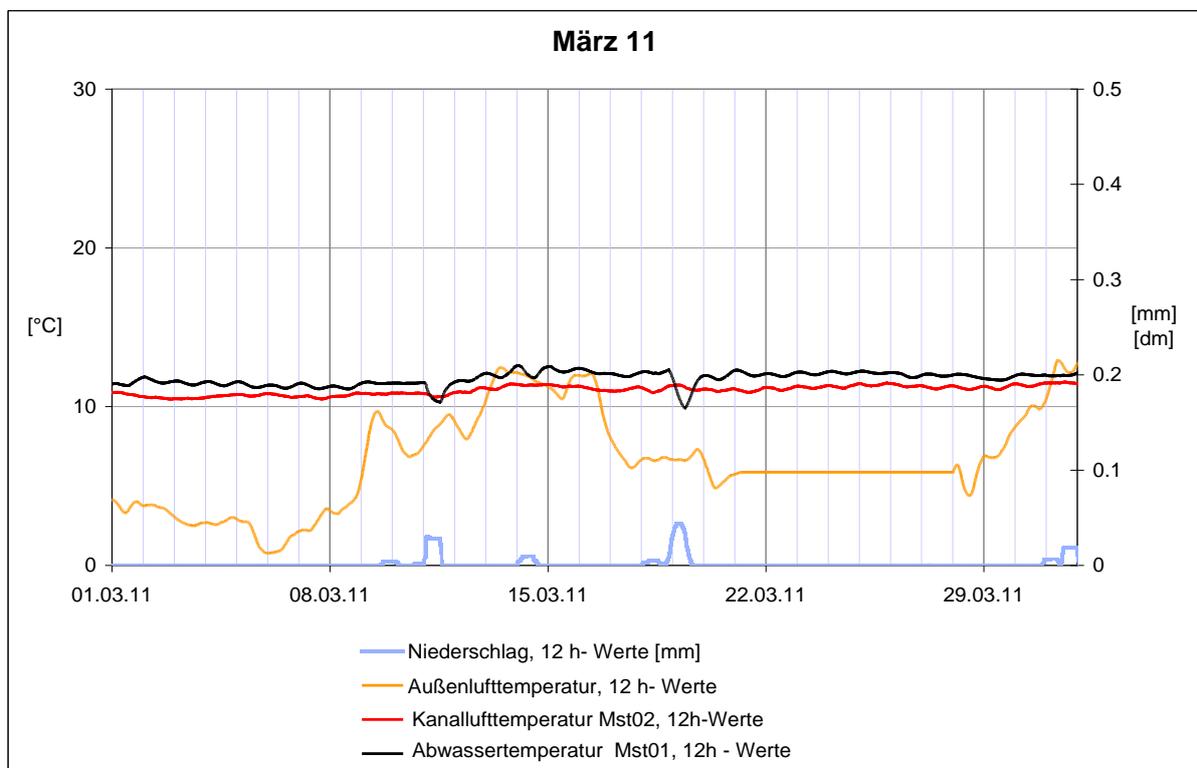


Abb. 3-12: Referenzmessung im Abwasserkanal März 2011

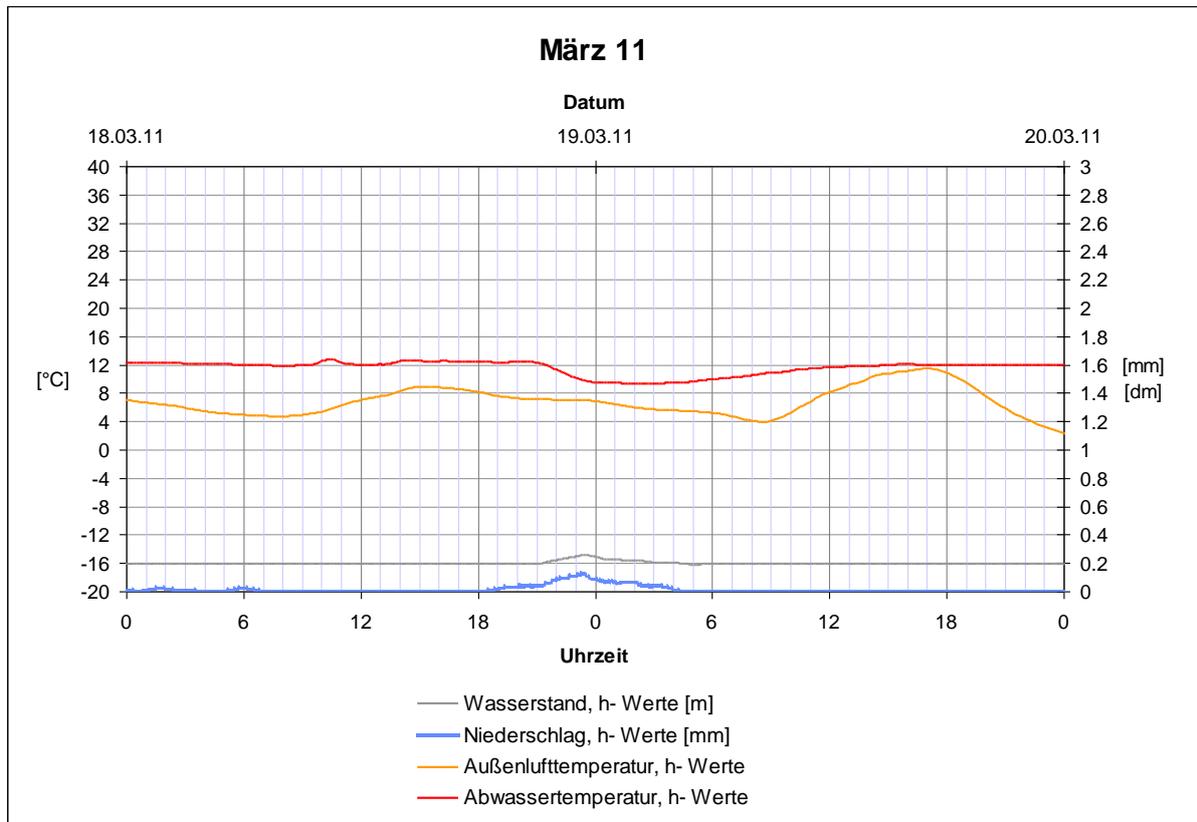


Abb. 3-13: Referenzmessung im Abwasserkanal vom 18. - 20. März 2011

Im Juli 2011, der wie die Lufttemperatur zeigt, mit sommerlichen Werten einherging, steigen die mittleren Abwassertemperaturen auf Werte um die 17 °C (vgl. Abb. 3-14). Zum Monatsende wird noch einmal der Abfall der Abwassertemperatur durch Niederschlagswassereintrag infolge von Starkregen deutlich. Insgesamt wurden am 24.07.2011 an der benachbarten Station Bochum DMT rund 30 mm Niederschlag registriert.

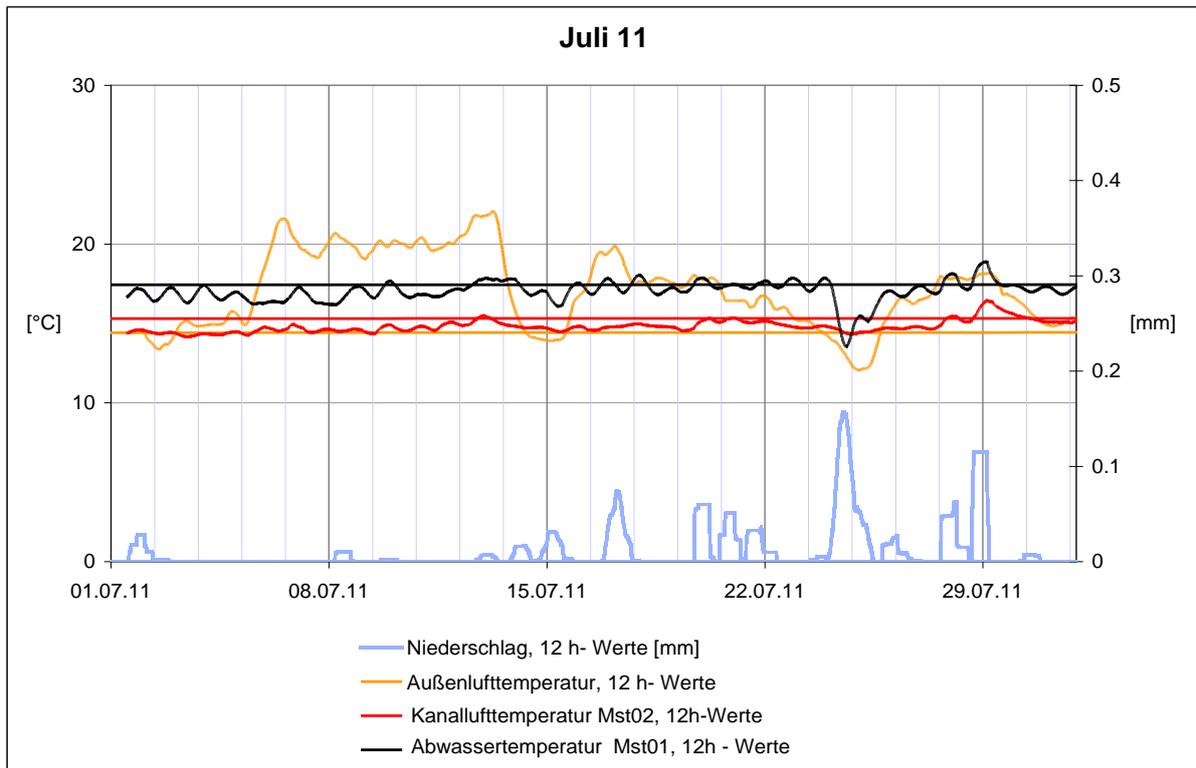


Abb. 3-14: Anstieg der Abwassertemperaturen im Juli 2011

3.4.2 Kenndaten des Wärmepumpenkreislaufes

In Abb. 3-15 ist die monatliche Arbeit der Wärmepumpe in Abhängigkeit der Zeit dargestellt.

Projekt: Nordwestbad Bochum

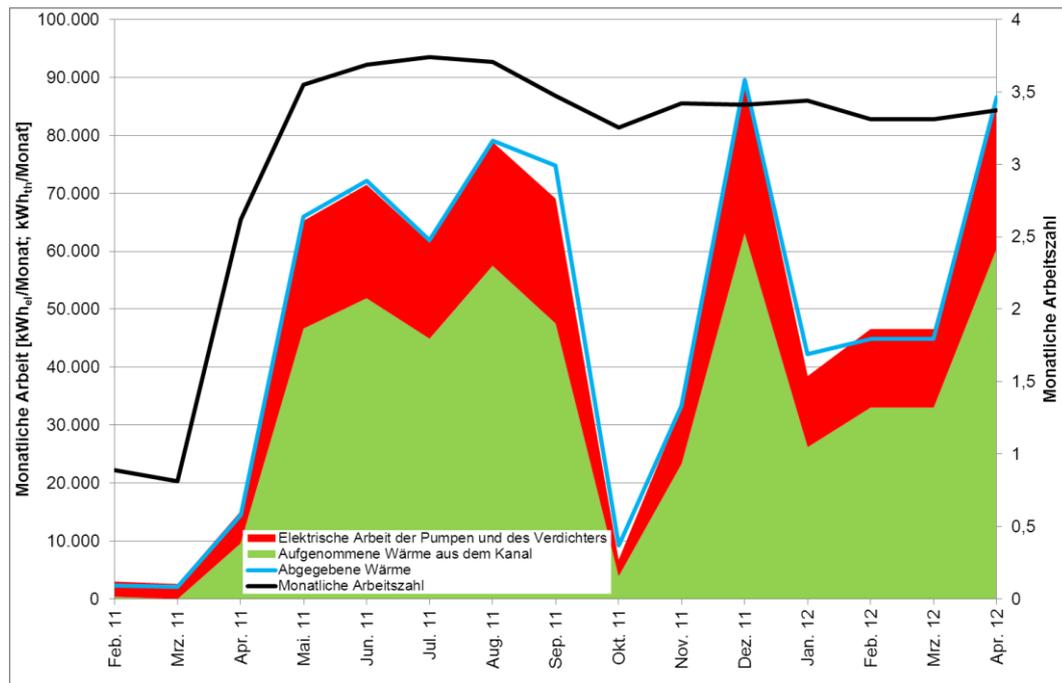


Abb. 3-15: Monatliche Arbeit der Wärmepumpe 2011/12

Die grüne Fläche kennzeichnet die aus dem Abwasserkanal gewonnene Energie. Durch die rote Schraffierung werden die elektrische Arbeit der Pumpen der Primärleitung sowie die erforderliche Energie des Verdichters der Wärmepumpe dargestellt. Die blaue Linie zeigt die gemessene, abgegebene Wärme der Wärmepumpe an den Niedertemperaturkreislauf. Hier kann eine gute Übereinstimmung der gemessenen, abgegebenen Wärme mit der Summe aus der aufgenommenen Energie der Wärmepumpe aus Abwasserkanal und der elektrischen Antriebsenergie des Verdichters und der Pumpen abgeleitet werden. Des Weiteren wird durch die schwarze Linie die Arbeitszahl der Wärmepumpe kenntlich gemacht. Nach einem kontinuierlichen Betrieb der Wärmepumpe ab dem Monat Mai liegt die Arbeitszahl bis zum Oktober über 3,5, welches im Vergleich zu der vorher kalkulierten Effizienzzahl von 3,6 einen gut eingestellten Betrieb des Aggregates beinhaltet.

In den Monaten von Januar bis März 2012 nahm die produzierte Arbeit der Wärmepumpe kurzfristig ab. Gründe dafür können in den kalten Außentemperaturen und damit kühlen Abwassertemperaturen liegen.

In Abb. 3-16 und Abb. 3-17 sind die Temperaturen des Abwasserkanals im Vergleich zur mittleren, täglichen Außentemperatur dargestellt. Die abgebildeten Temperaturen des Abwasserkanals geben die täglichen Mittelwerte der Temperatur wieder.

Projekt: Nordwestbad Bochum

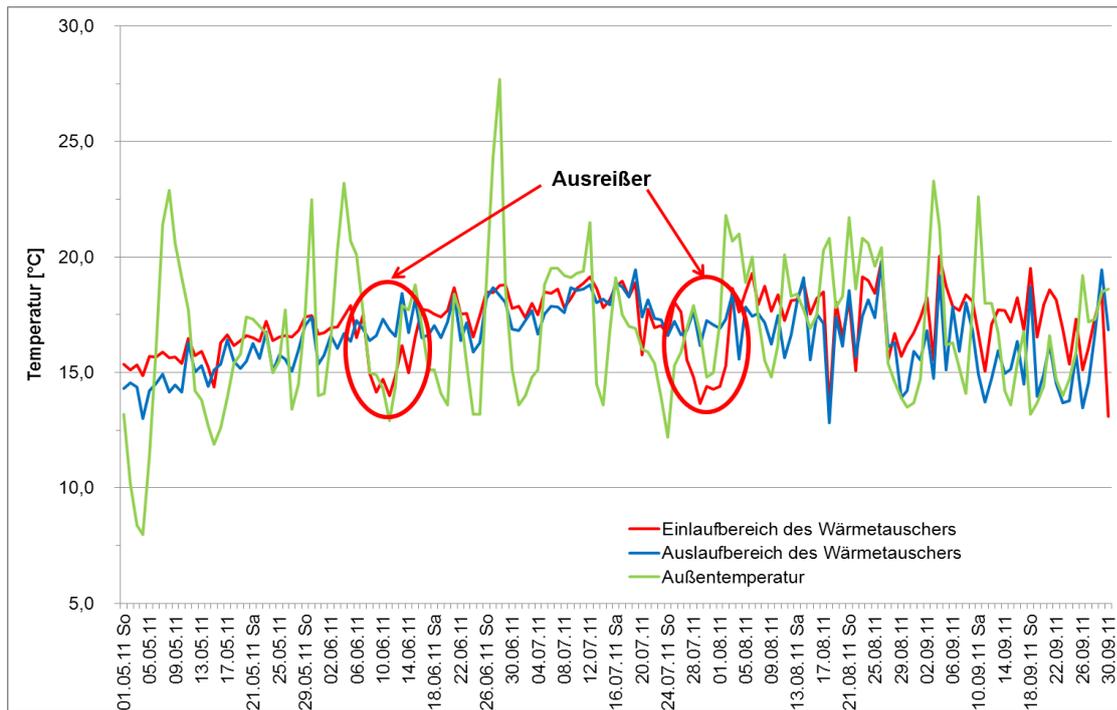


Abb. 3-16: Temperaturen des Abwasserkanals im Vergleich zur Außentemperatur (Mai bis September 2011)

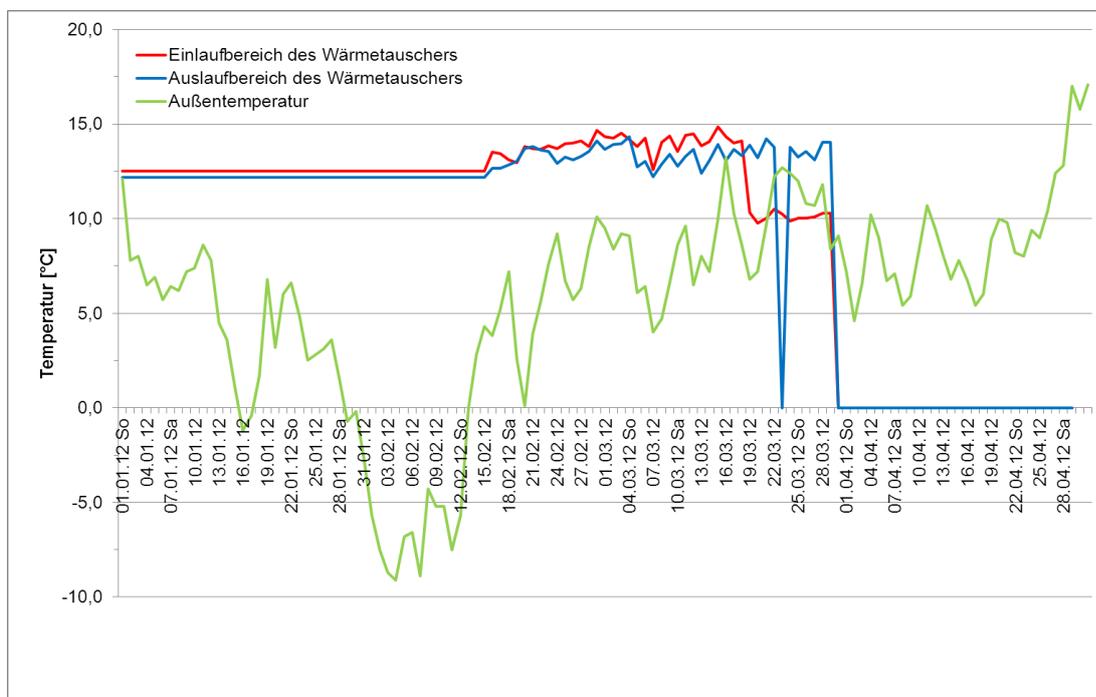


Abb. 3-17: Temperaturen des Abwasserkanals im Vergleich zur Außentemperatur (Oktober 2011 bis April 2011)

Die Messung der Abwassertemperaturen befindet sich zu Beginn (rote Linie), dort wo das Abwasser auf den Wärmetauscher trifft, und zum Ende des Wärmetauschers (blaue Linie). Obwohl starke

Projekt: Nordwestbad Bochum

Schwankungen der Außentemperatur zu beobachten sind, verläuft der Temperaturverlauf des Abwassers relativ konstant. Auffällig im Zeitraum von Mai bis September 2011 sind zwei Vorkommnisse, in denen die Temperatur des ankommenden Abwassers kleiner ist als die Temperatur des schon über den Wärmetauscher geleiteten Abwassers. Da diese Vorkommnisse nicht schlüssig erscheinen, werden diese Messpunkte als Ausreißer betrachtet. Durchschnittlich wies die Abwassertemperatur im Zeitraum von Mai bis September 2011 bei Ankunft auf den Wärmetauscher 17,1 °C auf. Nach dem Wärmetauscher wurde im Mittel eine Temperatur von 16,4 °C gemessen. Somit fand über den Wärmetauscher eine Abkühlung des Abwassers von 0,7 °C statt.

Ab dem Monat September lagen Probleme bei der Datenübertragung vor, wie aus Abb. 3-18 zu erkennen ist. Die Monate Oktober bis Dezember wurden daher nicht protokolliert. Von Januar bis Mitte Februar 2012 befanden sich die Temperaturen laut der Fernauslesung immer auf einem konstanten Niveau, welches ebenfalls nicht repräsentativ erscheint. Von Mitte Februar bis Mitte März verlief die Datenübertragung wieder ohne Probleme, während es ab Mitte März erneut Probleme gab. Daher können nur die Daten des einen Monats für weitere Aussagen verwendet werden. Die Durchschnittstemperatur bei Ankunft auf den Wärmetauscher lag hier bei 14 °C. Nach dem Wärmetauscher wurde im Mittel eine Temperatur von 13,3 °C gemessen. Somit fand auch hier eine Abkühlung durch den Wärmetauscher von 0,7 °C statt.

In Abb. 3-18 und Abb. 3-19 sind die Abwassertemperaturen in Zusammenhang mit den Temperaturen des Wasser kurz vor der Wärmepumpe dargestellt.

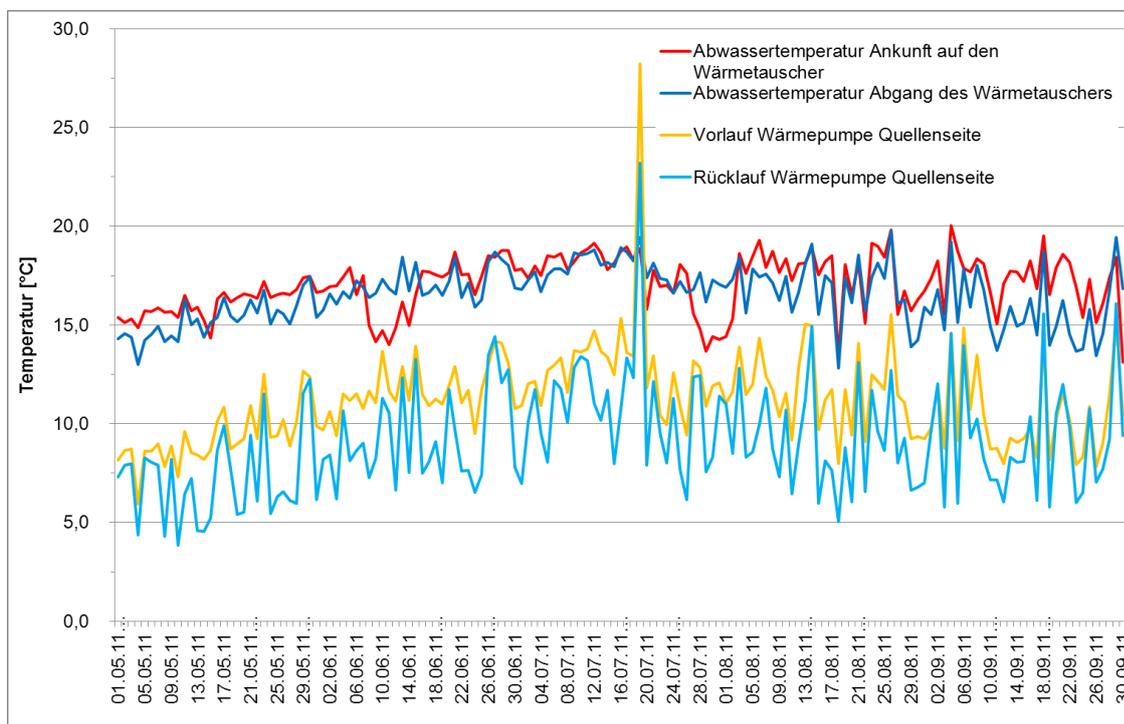


Abb. 3-18: Temperaturen des Abwasserkanals im Vergleich zu den Temperaturen der Quellenseite der Wärmepumpe [Mai 2011 – September 2011]

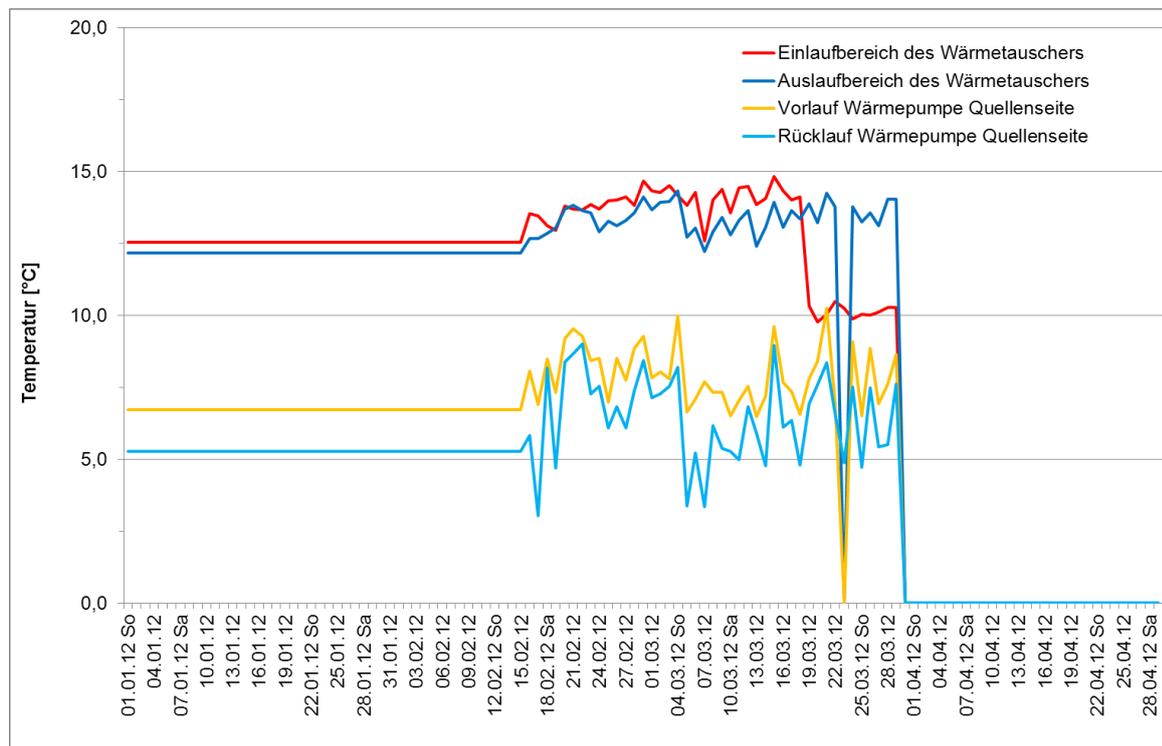


Abb. 3-19: Temperaturen des Abwasserkanals im Vergleich zu den Temperaturen der Quellen Seite der Wärmepumpe [Oktober 2011 – April 2012]

Aus den Abbildungen kann ein paralleler Verlauf der Abwassertemperaturen und der Temperaturen kurz vor der Wärmepumpe entnommen werden. Ein Anstieg der Temperaturen im Kanal, führt ebenfalls zu einer Anhebung der Temperaturen kurz vor der Wärmepumpe. Eine Ausnahme stellt das Messergebnis am 19. Juli dar. Hier steigt die Temperatur sprunghaft auf knapp 30 °C kurz vor der Wärmepumpe. An diesem Tag lagen Probleme bei der Übertragung der Daten dieser Temperaturverläufe vor. Aus diesem Grund ist dieser Wert als eine Ausnahme zu betrachten.

Ebenfalls kann ein geringeres Temperaturniveau vom Kanal bis zum Schwimmbad aus der Grafik entnommen werden. So liegen die Temperaturen im Zeitraum von Mai 2011 – September 2011 im Abwasser, bei der Bildung eines Mittelwertes beider Messstellen im Kanal bei 16,8 °C, wohingegen die Temperaturen unmittelbar vor der Wärmepumpe im Mittel lediglich 11,2 °C aufweisen. Die Temperaturen des Abwassers werden im Abwasser direkt gemessen. Die mittlere Temperaturdifferenz von 5,6 °C zwischen den beiden Messstellen resultiert zum großen Teil aus der Grädigkeit des Wärmetauschers und den Verlusten in der PE- Primärleitung vom Abwasserkanal bis zur Wärmepumpe. Der Grädigkeit des Wärmetauschers wird hierbei der größere Teil zugeordnet, da hier eine komplette Benetzung der Oberfläche zurzeit noch nicht gewährleistet ist.

Im Zeitraum zwischen Mitte Februar und Mitte März ist eine ähnliche Temperaturdifferenz von der mittleren Temperatur im Kanal im Vergleich der Temperatur kurz vor der Wärmepumpe zu beobachten. So liegt die mittlere Abwassertemperatur bei 13,6 °C, während kurz vor der Wärmepumpe Temperaturen von ca. 7,9 °C vorherrschen.

Projekt: Nordwestbad Bochum

In den folgenden drei Abbildungen (Abb. 3-20, Abb. 3-21, Abb. 3-22) sind die Temperaturen der drei nach der Wärmepumpe angeschlossenen Speicher zu erkennen. In jedem Speicher fand eine Temperaturmessung im oberen, mittleren und unteren Bereich des Speichers statt. Auf Grund der sehr schwankenden Temperaturverläufe aller Speicher kann eine gute Nutzung dieser implementiert werden.

Im Zeitraum von Mitte Oktober 2011 bis Mitte Januar 2012 führten Probleme in der Datenfernübertragung zu dem Nichtvorhandensein der Daten.

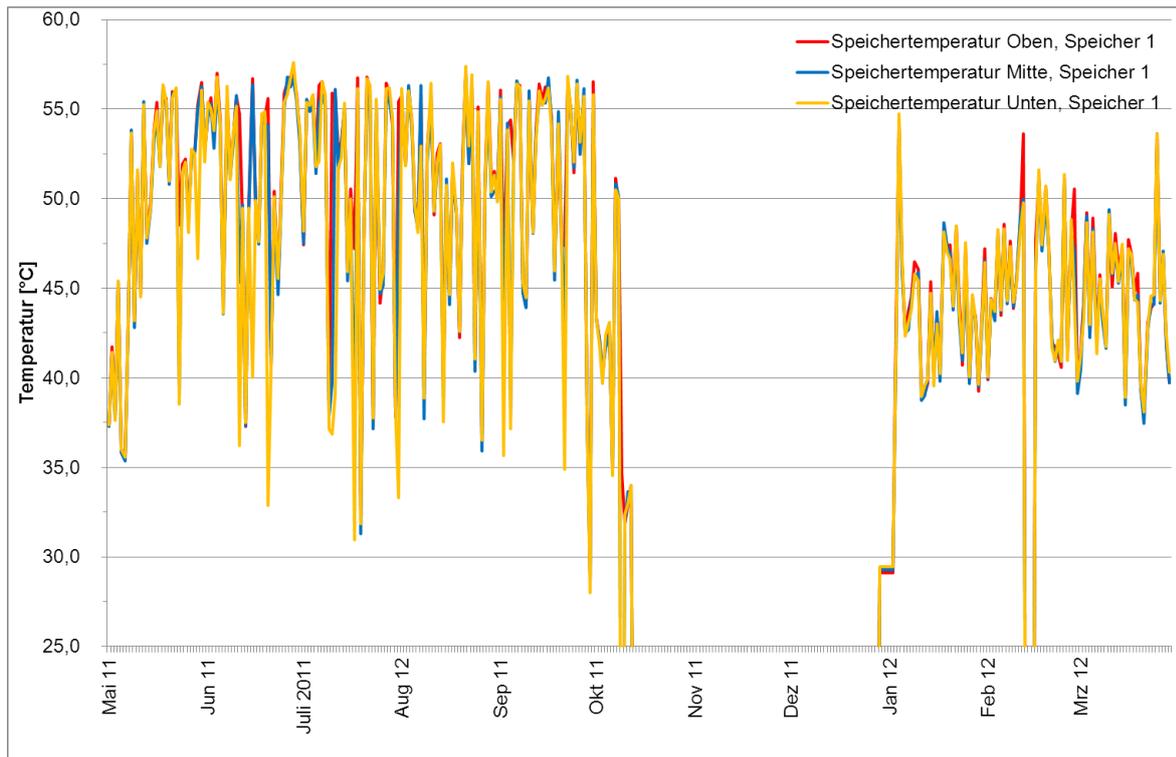


Abb. 3-20: Speichertemperaturen von Speicher 1

Projekt: Nordwestbad Bochum

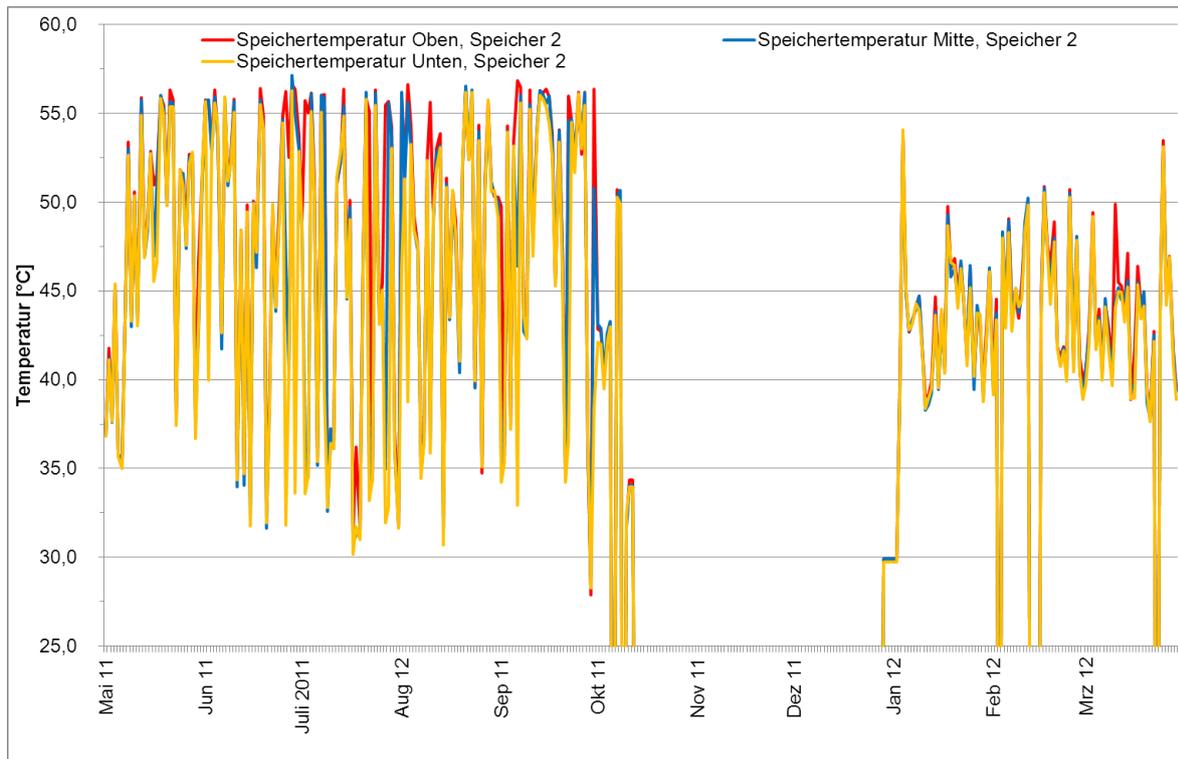


Abb. 3-21: Speichertemperaturen von Speicher 2

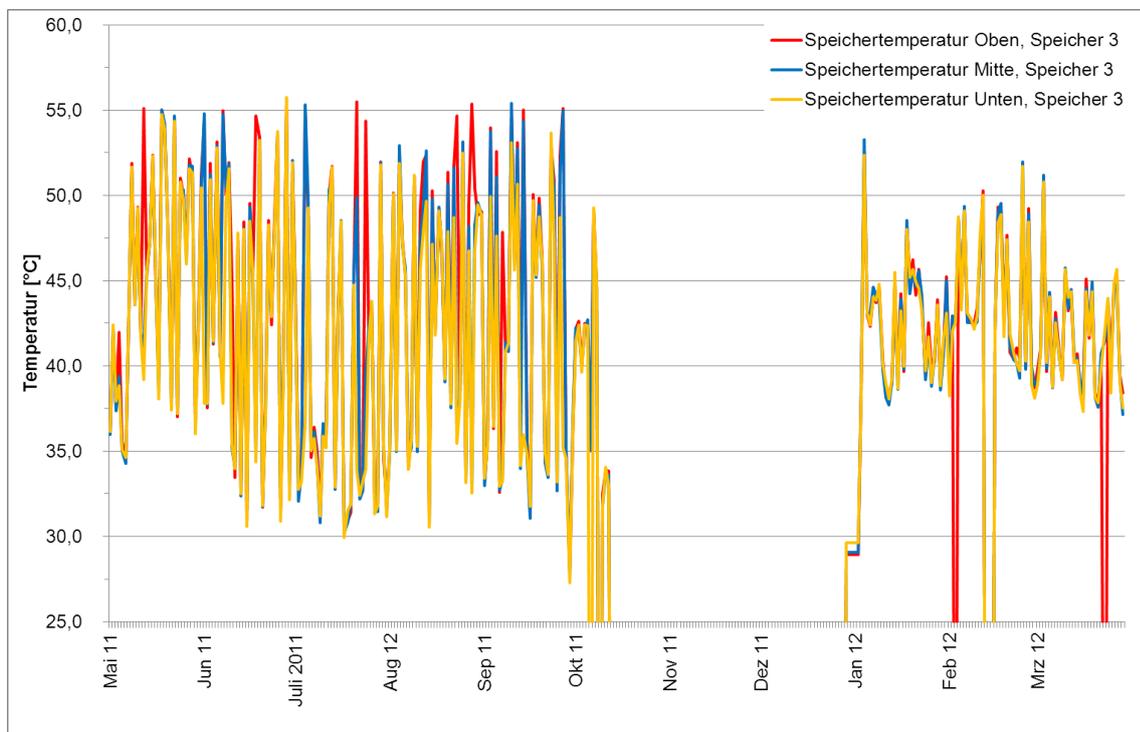


Abb. 3-22: Speichertemperaturen von Speicher 3

3.4.3 Kenndaten des Blockheizkraftwerkes

In Abb. 3-23 ist der erzeugte Strom des Blockheizkraftwerkes zusammen mit dem Eigenstromverbrauch und der Anzahl der Starts des BHKWs dargestellt.

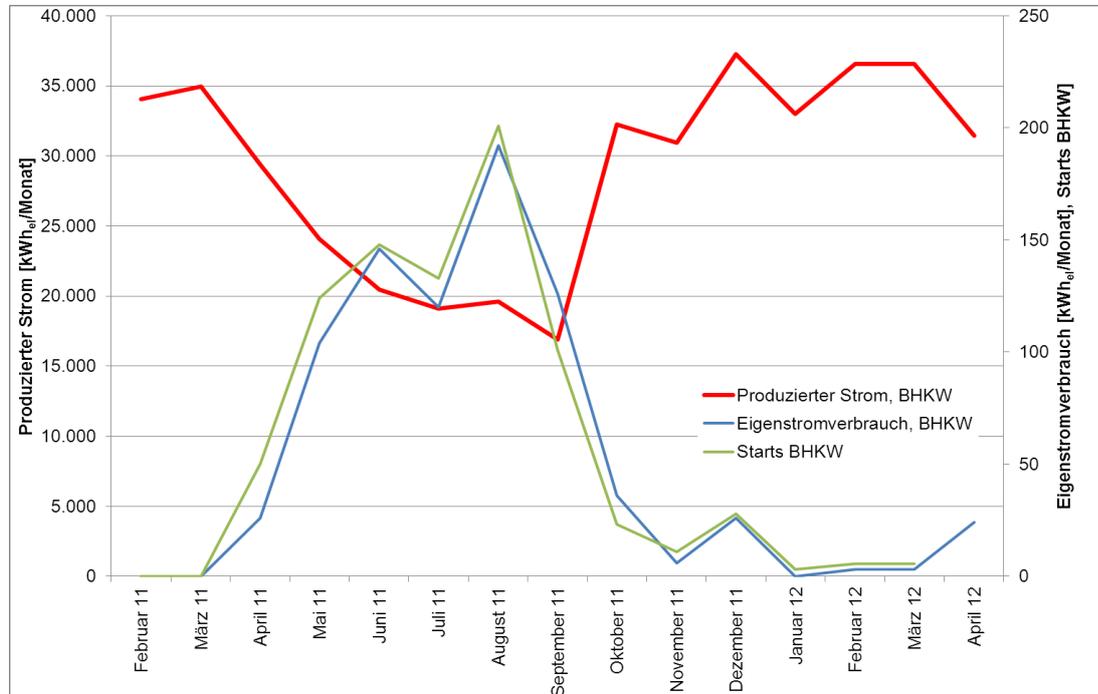


Abb. 3-23: Produzierter Strom, Eigenstromverbrauch und Starts des BHKWs

In der Abbildung wird die produzierte elektrische Energie auf der Primärachse dargestellt. Auf der Sekundärachse können der Eigenstromverbrauch und die Anzahl der Starts abgelesen werden.

Wie zu erwarten ist, korrespondiert der Eigenstromverbrauch des BHKWs mit den Anzahl der Starts. Während im Februar/März 2011 und ab Oktober 2011 das BHKW fast ohne Unterbrechung Betrieb machte und somit auch so gut wie kein Strom verbraucht wurde, steigt im Monat August die Anzahl der Starts auf fast 200 an. Dementsprechend ist auch der Eigenstromverbrauch des BHKWs in diesem Monat mit knapp 200 kWh/monat am größten. Spiegelverkehrt zu den beiden vorherigen Grafen ist der Verlauf des produzierten Stromes. Während im Februar/März und in der Zeit ab Oktober 2011 der meiste Strom mit 35.000 kWh/monat erzeugt wurde, sinkt die Erzeugung der elektrischen Energie im Sommer auf ca. 17.000 kWh/monat. Ein Grund für die Halbierung der Erzeugung liegt in der Betriebsweise des BHKWs. Da dieses nicht nur stromgeführt, sondern vorrangig wärmegeführt betrieben wird, sinkt die Stromproduktion in den Sommermonaten auf ihr Minimum ab. Nicht nur die wärmeren Monate des Jahres führen zu einer Reduzierung der Laufzeit des BHKWs, auch die höheren Betriebszeiten der Wärmepumpe ab dem Monat Mai sind der Grund für diesen Verlauf.

In Abb. 3-24 ist der Zusammenhang zwischen durchschnittlicher thermischer und elektrischer Leistung des BHKWs über die Betriebsstunden abgebildet.

Projekt: Nordwestbad Bochum

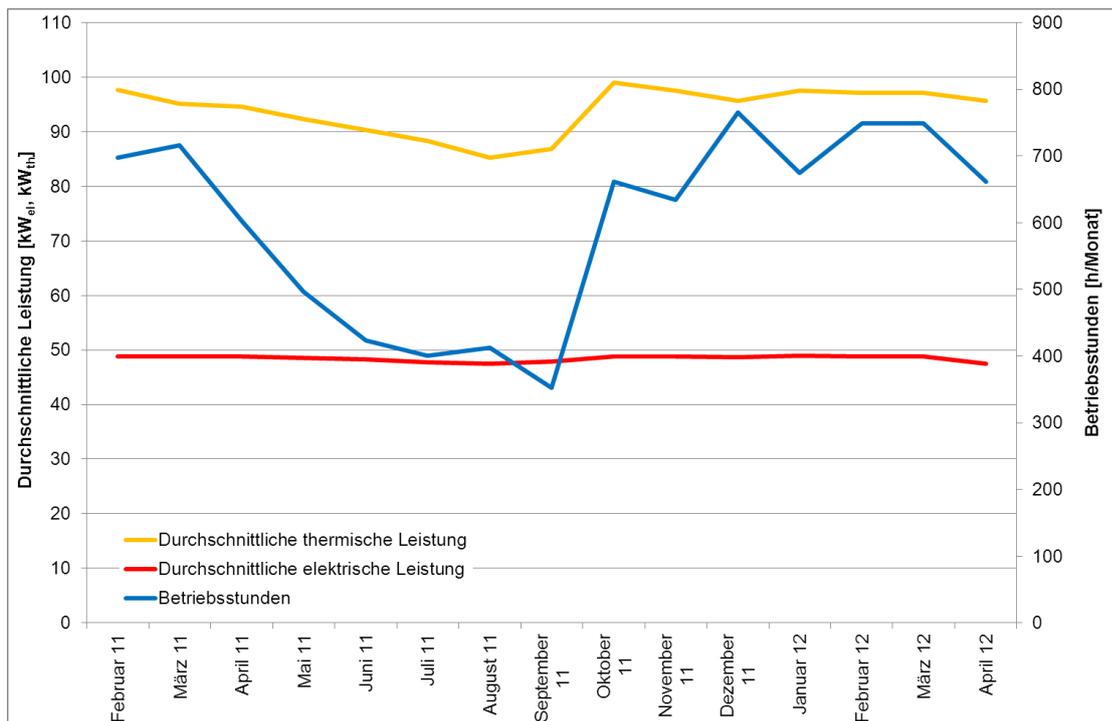


Abb. 3-24: Durchschnittliche thermische und elektrische Leistung des BHKWs in Zusammenhang mit den Betriebsstunden 2011/2012

Die durchschnittlichen Leistungen des BHKWs sind auf der Primärachse dargestellt, während die Betriebsstunden auf der Sekundärachse zu erkennen sind. Gebildet wurden die durchschnittlichen Leistungen, indem die erzeugte Energie im Monat jeweils durch die Betriebsstunden des Monats dividiert wurde.

Während die Betriebsstunden des BHKWs starken Schwankungen unterworfen sind, verlaufen die Grafen der durchschnittlichen elektrischen und thermischen Leistungen des BHKWs relativ konstant. So werden in den betrachteten Monaten immer knapp $50 kW_{el}$ erzeugt. Die produzierte Wärme liegt bei maximal $99 kW_{th}$ im Oktober und bei minimalen $85 kW_{th}$ im Sommer. Die Betriebsstunden des BHKWs liegen zwischen $763 h$ im Monat Dezember und $353 h$ im Monat September. Ein Grund für die Halbierung der Betriebsstunden ist die bereits benannte Betriebsführung des BHKWs und die erhöhten Laufzeiten der Wärmepumpe.

In Abb. 3-25 sind der thermische und elektrische Wirkungsgrad des BHKWs dargestellt.

Projekt: Nordwestbad Bochum

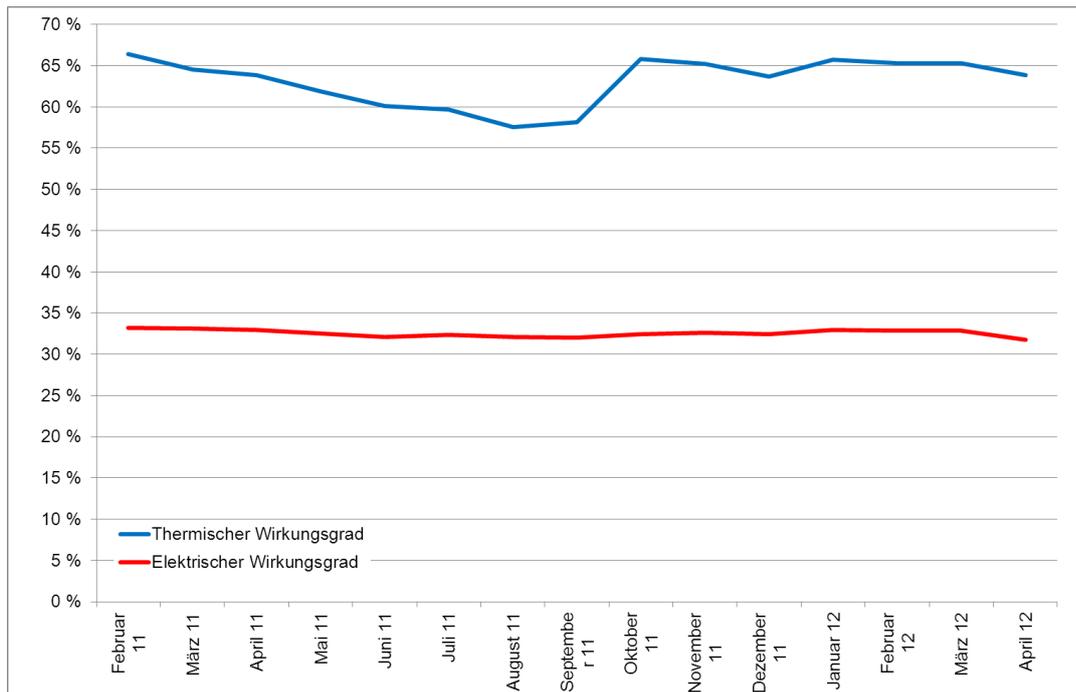


Abb. 3-25: Wirkungsgrad des BHKWs

Da der Gasverbrauch des BHKWs mit Hilfe eines Balgengaszählers in Betriebsvolumen bestimmt wird, fand zunächst eine Umrechnung in Normvolumen statt. Diese erfolgt auf Basis des DVGW Arbeitsblattes G 685.

Wie aus der Abbildung entnommen werden kann, unterliegt der elektrische Wirkungsgrad kaum Schwankungen. Dieser befindet sich bei fast konstanten 33 %. Der thermische Wirkungsgrad weist einen nicht stetigen Verlauf auf. Zu erklären ist diese Tatsache durch die vermutlich höheren Rücklaufemperaturen im Sommer. Hierdurch wird eine geringere Temperaturspreizung hervorgerufen, wodurch eine Reduzierung des Wirkungsgrades erklärt werden kann.

In Abb. 3-26 sind die energetischen Arbeiten des BHKWs in Zusammenhang mit dem Gasverbrauch dieses dargestellt.

Projekt: Nordwestbad Bochum

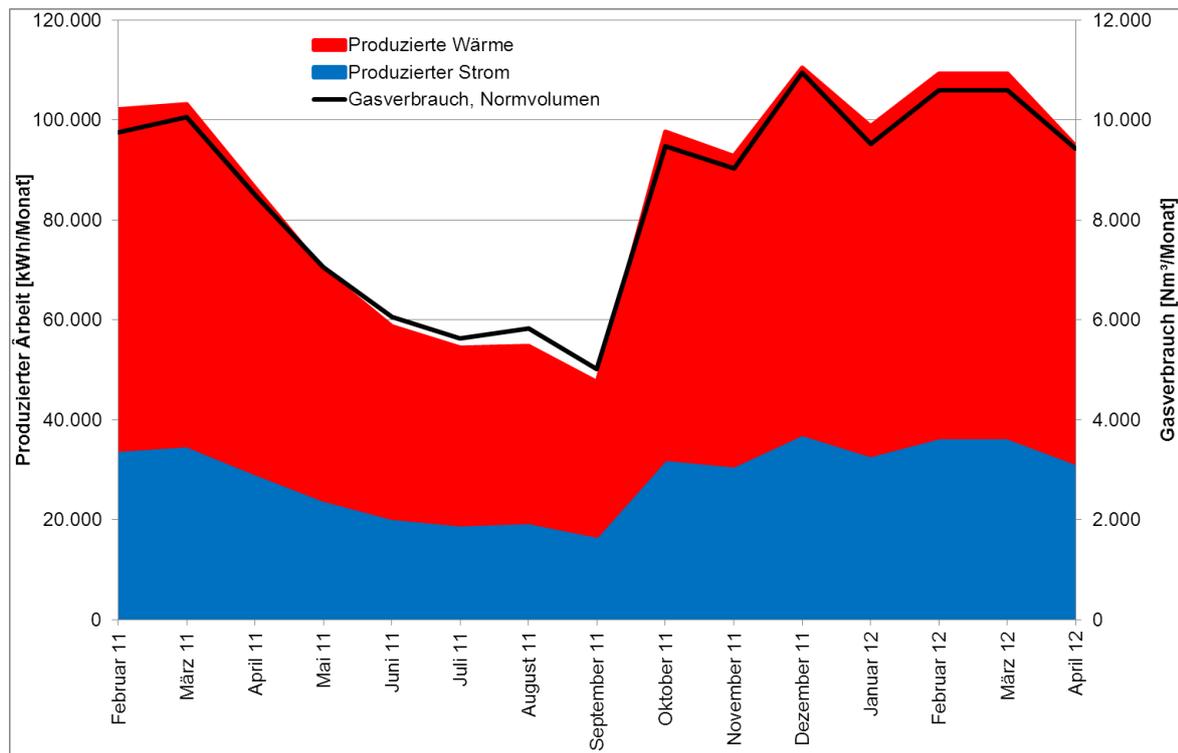


Abb. 3-26: Produzierte Energie in Zusammenhang mit dem Gasverbrauch des BHKWs

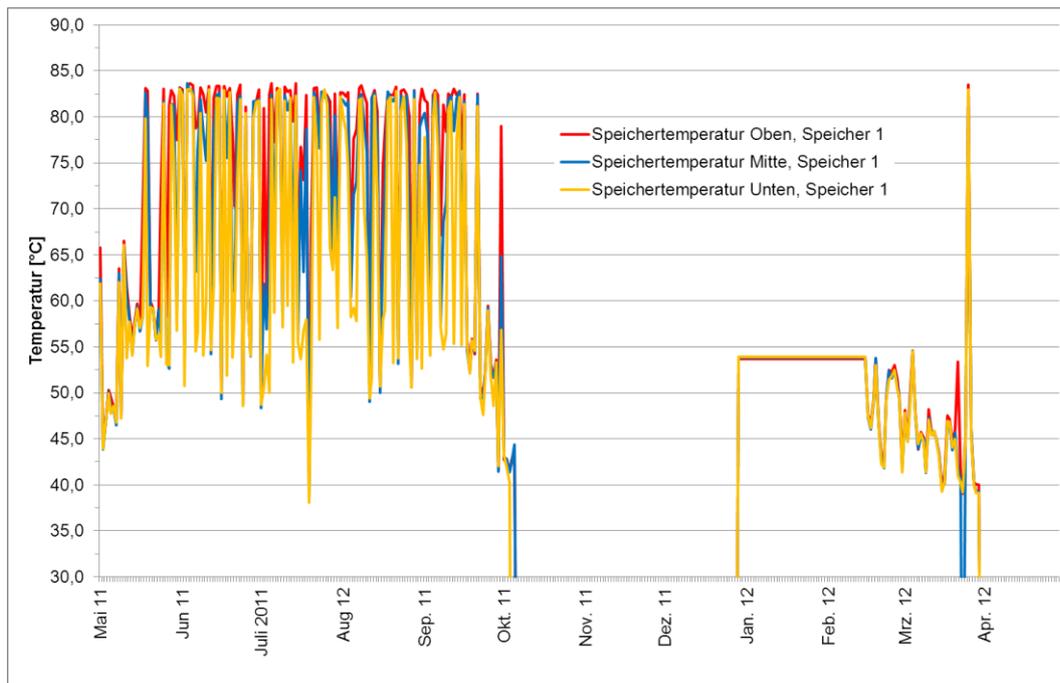
Die erzeugte Arbeit des BHKWs ist auf der Primärachse des Diagramms ablesbar, während der Gasverbrauch auf der Sekundärachse abgelesen werden kann.

Wie zu erwarten ist, kann eine Korrespondenz der erzeugten Arbeit mit dem Gasverbrauch bestätigt werden. Deutlich zu erkennen in der Abbildung ist die reduzierte elektrische und thermische Arbeit des BHKWs in den Sommermonaten im Vergleich zu den kälteren Zeiten des Jahres, welches durch die wärmegeführte Betriebsweise des BHKWs und den erhöhten Laufzeiten der Wärmepumpe erklärt werden kann.

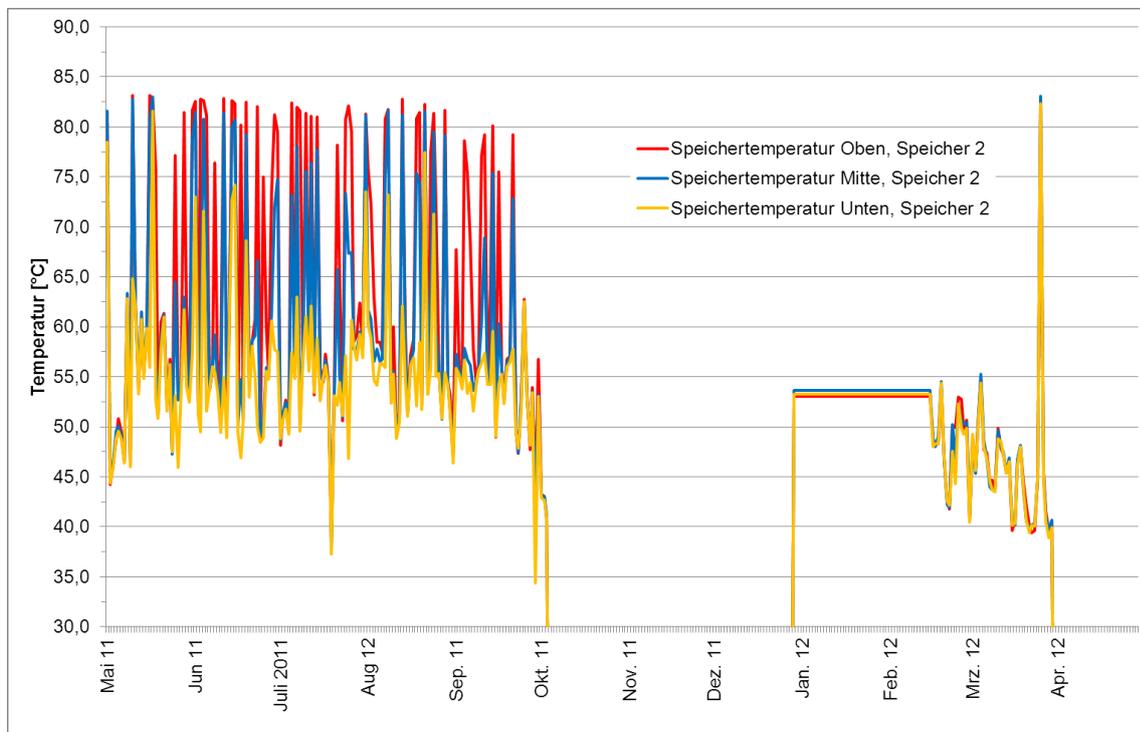
In den folgenden zwei Abbildungen (Abb. 3-27, Abb. 3-28) sind die Temperaturen der Speicher des BHKWs dargestellt. Auch bei diesen Speichern wurden die Temperaturen im oberen, mittleren und unteren Bereich des Speichers erfasst.

Auch hier lag ein Fehler in der Datenfernübertragung vor, so dass in den Monaten Oktober 2011 bis Mitte Februar 2012 keine Daten zur Verfügung stehen.

Projekt: Nordwestbad Bochum


Abb. 3-27: Speichertemperaturen von Speicher 1 des BHKWs

Da die Temperaturen in den drei Bereichen der Speicher sehr nah beieinander liegen, findet häufig eine Überlappung der Kurven statt. Aufgrund der starken Temperaturschwankungen kann eine gute Ausnutzung der Speicher implementiert werden.


Abb. 3-28: Speichertemperaturen von Speicher 2 des BHKWs

Projekt: Nordwestbad Bochum

3.4.4 Wärmekreislauf

In Abb. 3-29 ist die gesamte Wärmeabnahme des Nordwestbades in Abhängigkeit der Zeit dargestellt. Ebenfalls kann aus der Abbildung die Aufteilung der Wärmeerzeugung unter den drei Energieproduzenten abgelesen werden.

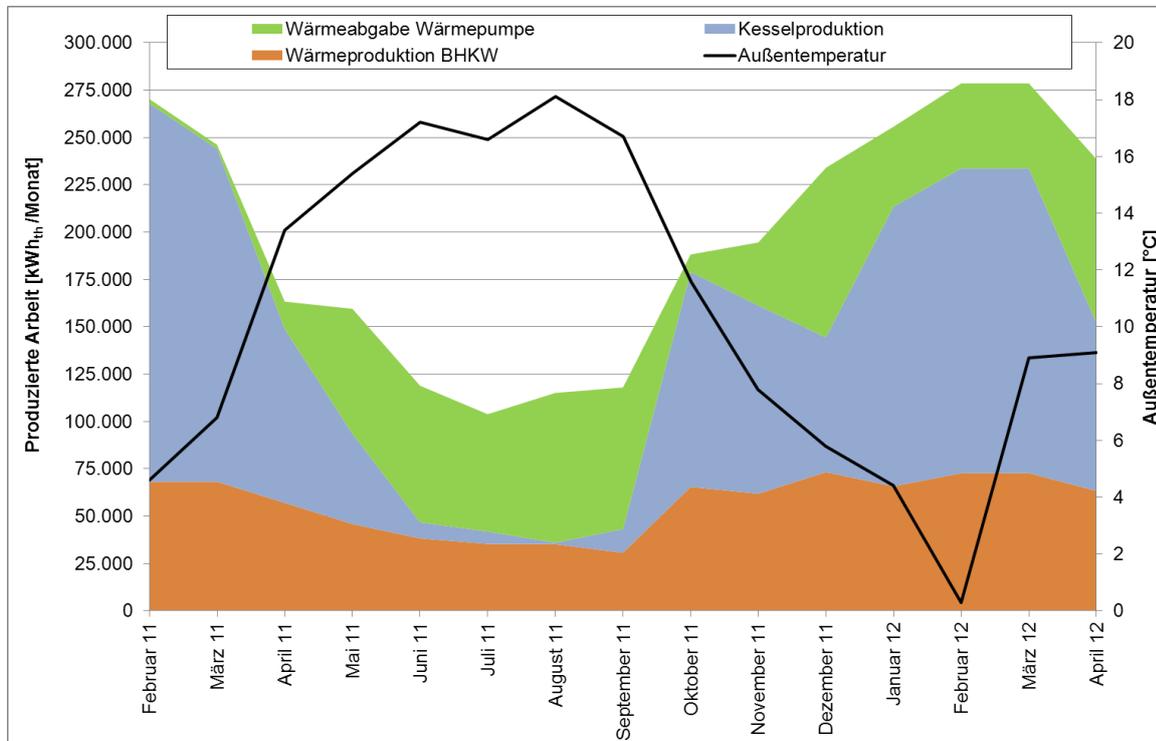


Abb. 3-29: Wärmeabnahme des Nordwestbades aufgeteilt nach den verschiedenen Produzenten

Die erzeugte thermische Arbeit ist auf der Primärachse des Diagramms ablesbar. Auf der Sekundärachse sind die mittleren Außentemperaturen der Monate abgebildet.

Aus der Abbildung ist deutlich die effektive Betriebszeit der Wärmepumpe zu erkennen. In den ersten Monaten des Jahres 2011 haben die Kessel und das BHKW die Wärmeversorgung des Schwimmbades aufrechterhalten. Ab Mai beginnt die effektive Betriebszeit der Wärmepumpe. Dies führt dazu, dass in den Monaten Juni bis September die Wärmeversorgung fast ausschließlich durch die Wärmepumpe und das BHKW stattfand. Die Betriebszeiten der Kessel wurden auf ein Minimum reduziert. Probleme in der Primärleitung der Wärmepumpe im Monat Oktober sind die Ursache für die Verringerung der erzeugten thermischen Energie der Wärmepumpe und der Erhöhung der Kesselarbeit. In den folgenden Monaten nahm die Wärmeproduktion mit Hilfe der Wärmepumpe erneut zu.

3.4.5 Strombilanz

In Abb. 3-30 ist die Bilanzierung der elektrischen Arbeit dargestellt.

Projekt: Nordwestbad Bochum

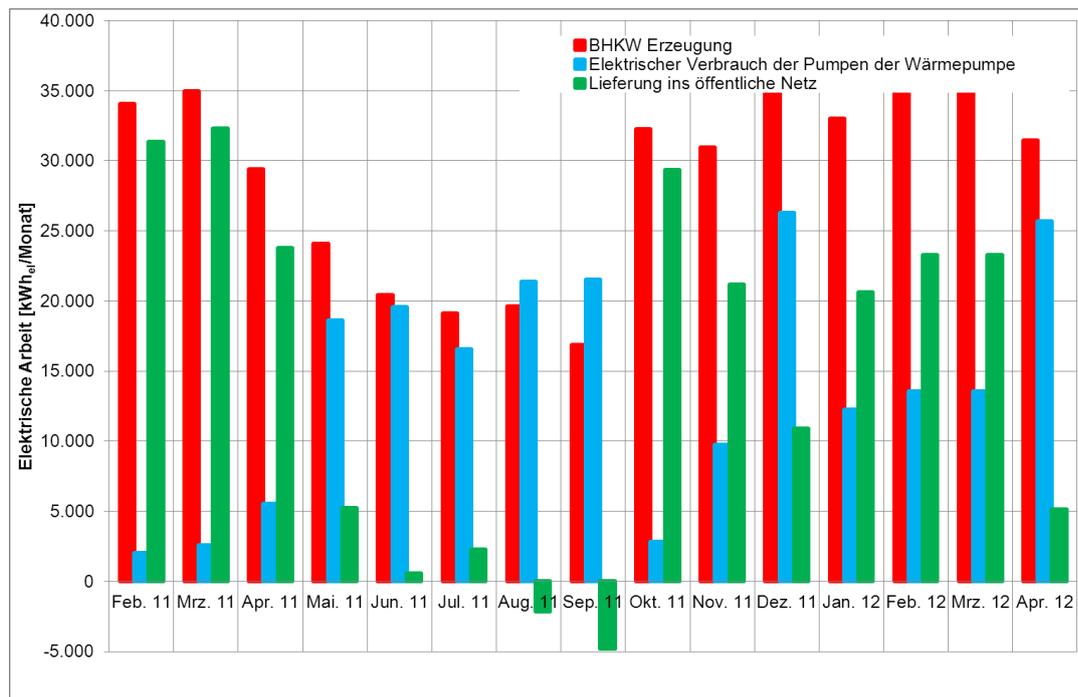


Abb. 3-30: Bilanzierung der elektrischen Arbeit

Jeder betrachtete Monat wird durch drei Säulen gekennzeichnet. Die Erzeugung des Stromes durch das BHKW abzüglich des Eigenstromverbrauches des Aggregates wird durch die rote Säule wiedergegeben. Durch die blaue Säule wird der elektrische Verbrauch der Pumpen und des Verdichters der Wärmepumpe abgebildet. Mit Hilfe der grünen Säule wird die Lieferung des Stromes in das öffentliche Netz dargestellt. In den ersten drei Monaten wird wesentlich mehr Strom vom BHKW produziert als verbraucht wird. Ursache für diese Tatsache waren Probleme mit dem Betrieb der Wärmepumpe bis zum Monat Mai. Zum Schutz des Einfrierens des Primärkreislaufes wurde die Pumpe in Betrieb genommen. Ebenfalls sorgten Testbetriebszeiten der Wärmepumpe zu dem Stromverbrauch. Ab dem Zeitpunkt der vollen Laufzeiten der Wärmepumpe im Mai stieg der Stromverbrauch des Wärmepumpenkreislaufes stark an, so dass fast eine Übereinstimmung des produzierten Stromes mit dem verbrauchten Strom stattfand. In den Monaten August und September musste sogar Strom aus dem öffentlichen Netz bezogen werden, da mehr verbraucht als produziert wurde. Im Oktober sorgte eine Undichte in der Primärleitung für eine 6 wöchige Stillstandszeit der Wärmepumpe. Der elektrische Verbrauch in dieser Zeit fällt entsprechend gering aus.

Ab dem Zeitpunkt an nahmen die Betriebsstunden der Wärmepumpe wieder zu. In den Monaten von Januar bis März 2012 fand eine reduzierte Wärmeproduktion mit der Wärmepumpe statt, wie schon aus vorherigen Abbildungen entnommen werden konnte. Aus diesem Grund fällt auch der Stromverbrauch der Wärmepumpe in den Monaten geringer aus.

Projekt: Nordwestbad Bochum

3.5 Wirtschaftlichkeitsanalyse

Die Wirtschaftlichkeitsabschätzung wurde entsprechend VDI-Richtlinie 2067 „Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen“ (vormals: „Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen“) durchgeführt.

Kalkulatorischer Zins (Realzins): 5,0 %/a

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

1. Abwasserwärmeübertrager 20 a,
2. MSR-Technik Kanal 20 a,
3. Verbindungsleitung Außenbereich 40 a,
4. Elektro- und MSR-Technik 20 a,
5. Elektrowärmepumpe 20 a, Gasmotorwärmepumpe 15 a,
6. Abgasanlage Gas-WP bzw. BHKW 20 a,
7. BHKW 15 a,
8. Pufferspeicher, Verrohrung und Pumpen 20 a,
9. Wärmedämmung 20 a,
10. Bau 50 a,
11. Heizkreisoptimierung 20 a.

Die Nutzungsdauer für den Abwasserwärmeübertrager wurde hier mit 20 Jahren entsprechend der Vertragslaufzeit zwischen der Emschergenossenschaft und den Stadtwerken Bochum eingesetzt. Es kann jedoch von einer Lebensdauer von mehr als 30 Jahren für den Abwasserwärmeübertrager ausgegangen werden.

Unvorhergesehenes und Planungskosten werden mit den gewichteten Mittelwerten der Annuitätsfaktoren kapitalisiert. Alle im folgenden Text und den Anlagen genannten Kosten und Preise verstehen sich ohne Umsatzsteuer.

Die Rechnung ist als Vollkostenrechnung aufgebaut. Dies bedeutet in Bezug auf die Investitionskosten, dass sämtliche zugehörigen Kosten, wie Wärmepumpe, Wärmeübertrager, Verbindungsleitung, BHKW, hydraulische Einbindung, MSR-Technik und die Heizkreisoptimierung einbezogen werden. Nicht bepreist werden die Komponenten, die bereits vorhanden sind, wie die bauliche Hülle der Heizzentrale, die Heizkessel, das Heiznetz beginnend mit den Verteilern/Sammlern etc. In Bezug auf die verbrauchsgebundenen Kosten heißt das, dass diese für alle 4 Fälle ermittelt werden. Bei den betriebsgebundenen Kosten werden hier die Kosten der vorhandenen Erdgaskessel nicht berücksichtigt, da diese auch weiterhin anfallen werden.

Projekt: Nordwestbad Bochum

3.5.1 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. Eingesetzt wurden die Preise für das Nordwestbad Bochum von Dezember 2006.

Unterstellt man für die nächsten 20 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 Wirtschaftlichkeitsrechnung zu berücksichtigen, bieten die sogenannten Mittelwertfaktoren gemäß der Schweizer Norm SIA 380/1. Mittelwertfaktoren sind ein Maß für die Verteuerung der Energie während der Nutzungsdauer. Sie sind das Verhältnis der mittleren Energiepreise zum heutigen Energiepreis während der Nutzungsdauer. 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 5 Jahre ergab eine durchschnittliche jährliche Preissteigerung um 10 %. Bei einem kalkulatorischen Zins von 5 % und einer Nutzungsdauer von 20 Jahren beträgt der Mittelwertfaktor für Erdgas 2,71.

Für diese Wirtschaftlichkeitsrechnung wurde jedoch konservativ mit 2 % jährlicher Teuerung gerechnet. Der zugehörige Mittelwertfaktor beträgt 1,20.

Teuerung Elektrizität

Für Strom wurde folgender Index des Statistischen Bundesamtes ausgewählt: „Fachserie 17 Reihe 2 Index der Erzeugerpreise gewerblicher Produkte (Inlandsabsatz, 2.000 = 100), Elektrischer Strom, bei Abgabe an Sondervertragskunden (Lfd.-Nr. 650)“.

Eine Auswertung der Preisentwicklung der letzten 5 Jahre ergab eine durchschnittliche Preissteigerung um 7 %. Bei einem kalkulatorischen Zins von 5 % und einer Nutzungsdauer von 20 Jahren errechnet sich ein Mittelwertfaktor für Strom von 1,97.

Für diese Wirtschaftlichkeitsrechnung wurde jedoch konservativ mit 2 % jährlicher Teuerung gerechnet. Der zugehörige Mittelwertfaktor beträgt 1,20.

Projekt: Nordwestbad Bochum

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

3.5.2 Investitionskosten

Die Investitionskosten für die Wärmepumpe, für den Abwasserwärmeübertrager, für Tiefbau, Rohrleitungen sowie hydraulische, elektrische und regelungstechnische Einbindung wurden anhand aktueller Herstellerpreise und eigener Erfahrungen geschätzt.

Das Honorar für die Planung wird auf Grundlage der HOAI (Honorarordnung für Architekten und Ingenieure) ermittelt. Damit ergeben sich Planungskosten von etwa 15 % der Investitionssumme.

Die geschätzten Investitionskosten und entsprechenden Kapitalkosten für den Umbau liegen bei (siehe Tab. 3-3):

	Investitionskosten	Kapitalkosten
Referenzfall Erdgaskessel:	51.000 €/a	4.100 €/a,
Elektrowärmepumpe + BHKW:	790.000 €/a	64.200 €/a.

3.5.3 Verbrauchsgebundene Kosten

Erdgaskosten:

Der Erdgaspreis wurde der Gas-Rechnung der Stadtwerke Bochum GmbH für den Zeitraum vom 1.12.2006 bis 31.12.2006 entnommen. Der Arbeitspreis lag inklusive Erdgassteuer von 0,55 ct/kWh bei 6,19 ct/kWh (= 61,9 €/MWh).

Mit diesem Preis ergeben sich Erdgaskosten von:

	ohne Teuerung	mit Teuerung
Referenzfall Erdgaskessel:	202.000 €/a	242.400 €/a,
Elektrowärmepumpe + BHKW:	116.700 €/a	140.000 €/a.

Stromkosten:

Der Strompreis wurde der Stromrechnung der Stadtwerke Bochum GmbH für den Zeitraum vom 1.12.2006 bis 31.12.2006 entnommen. Der Mischpreis betrug inkl. Stromsteuer 11,02 ct/kWh_{el} (= 110,23 €/MWh_{el}). Die Stadtwerke Bochum werden für eine Wärmepumpe im Nordwestbad keinen preisgünstigeren Wärmepumpen-Tarif anbieten. Daher gibt es auch keine Sperrzeiten, in denen die Wärmepumpe nicht betrieben werden dürfte. Da der Strom für die Wärmepumpe vom BHKW produziert wird, fallen keine Stromkosten an:

Projekt: Nordwestbad Bochum

	ohne Teuerung	mit Teuerung
Referenzfall Erdgaskessel:	0 €/a	0 €/a,
Elektrowärmepumpe + BHKW:	0 €/a	0 €/a.

Insgesamt ergeben sich folgende verbrauchsgebundene Kosten:

	ohne Teuerung	mit Teuerung
Referenzfall Erdgaskessel:	202.000 €/a	242.400 €/a,
Elektrowärmepumpe + BHKW:	120.600 €/a	144.700 €/a.

3.5.4 Betriebsgebundene Kosten

Unter den betriebsgebundenen Kosten sind folgende Bereiche zusammengefasst:

- Wartung und Instandsetzung
- Versicherungen, allgemeine Verwaltung, Personal

Wartung und Instandsetzung

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

1. Abwasserwärmeübertrager 0,0 %/a,
2. MSR-Technik Kanal 1,5 %/a,
3. Verbindungsleitung Außenbereich 1,0 %/a,
4. Elektro- und MSR-Technik 1,5 %/a,
5. Wärmepumpe 4,0 %/a,
6. Abgasanlage Gas-WP bzw. BHKW 2,0 %/a,
7. BHKW siehe unten,
8. Pufferspeicher, Verrohrung und Pumpen 1,5 %/a,
9. Wärmedämmung 1,0 %/a,
10. Bau 2,0 %/a,
11. Heizkreisoptimierung 1,5 %/a.

Aktuell fallen für die beiden Erdgaskessel keine separaten Wartungs- und Instandhaltungskosten an, da diese durch den Betreiber, die Stadtwerke Bochum GmbH, in den Erdgaspreis eingerechnet werden. Für das BHKW fallen Wartungskosten in Höhe von 2,0 ct/kWh_{el} an.

Projekt: Nordwestbad BochumVersicherungen, allgemeine Verwaltung, Personal

Die Kosten für Versicherungen, Verwaltung und Personal wurden für diese Berechnung pauschal mit jährlich 1 % der gesamten Investitionskosten (ohne Planung) veranschlagt. Es ergeben sich folgende betriebsgebundene Kosten:

Referenzfall Erdgaskessel: 1.100 €/a,

Fall D Elektrowärmepumpe + BHKW: 21.700 €/a.

Tab. 3-3: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung Referenzfall gegenüber dem Umbau

		Nutzungs- dauer a	Dim.	Gas- kessel	El. WP + BHKW
Investitionskosten					
EGLV					
1.	Abwasserwärmeübertrager	20	€		188.000
2.	MSR-Technik Kanal	20	€		4.000
	Unvorhergesehenes anteilig EGLV 10 %		€		19.000
	Planungskosten anteilig EGLV 15 %		€		32.000
	Zwischensumme EGLV				243.000
Stadtwerke Bochum					
3.	Verbindungsleitung Außenbereich	40	€		40.000
4.	Elektro- und MSR-Technik	20	€		31.000
5.	Wärmepumpe	20	€		85.000
6.	Abgasanlage BHKW	20	€		
7.	BHKW	15	€		
8.	Pufferspeicher, Verrohrung und Pumpen	20	€		74.000
9.	Wärmedämmung	20	€		20.000
10.	Bau	50	€		10.000
11.	Heizkreisoptimierung	20	€	40.000	40.000
12.	Dokumentation (Stadtwerke-Standard)	20	€		12.000
	Unvorhergesehenes anteilig Stw. Bo 10 %		€	4.000	43.000
	Planung anteilig Stadtwerke Bochum 15 %		€	7.000	71.000
	Zwischensumme Stadtwerke Bochum			51.000	547.000
	Summe Investitionskosten		€	51.000	790.000
A	Kapitalgebundene Kosten	Annuitäts- faktor	EGLV Stw. Bo	0	8,02
	Kalk. Zins 5,0 %	%/a	%/a	8,02	8,17
	Zwischensumme EGLV		€/a	0	19.500
	Zwischensumme Stadtwerke Bochum		€/a	4.100	44.700
	Summe kapitalgebundene Kosten		€/a	4.100	64.200
B	Verbrauchsgeb. Kosten				
<u>1.</u>	<u>Wärmebedarf/-verbrauch</u>				
	Wärmehöchstlast des Objektes		kWth	1.440	1.440
	Erdgasverbrauch des Objektes bez. auf Hs		MWhth/a	3.264	3.264
	(Gas-Rechnung Stw. Bochum Dez. 2006, bereinigt)				
	= Wärmeverbrauch des Objektes		MWhth/a	2.450	2.450
<u>2.</u>	<u>Wärme-/Stromerzeugung</u>				
	<u>Kesselanlage</u>				
	Vollbenutzungsstunden Kesselanlagen		h/a	1.700	500
	Leistung der Kessel		kWth	1.440	1.440

Projekt: Nordwestbad Bochum

	Nutzungs- dauer a	Dim.	Gas- kessel	El. WP + BHKW
Erzeugte Wärmemenge <u>Wärmepumpe</u>		MWth/a	2.450	650
Vollbenutzungsstunden Wärmepumpe		h/a		4.500
Leistung Wärmepumpe thermisch		kWth		270
Erzeugte Wärmemenge		MWth/a		1.215
Jahresarbeitszahl Wärmepumpe				3,6
el. Leistungsaufnahme Wärmepumpe		kW		75
Leistung		kW		195
<u>Pumpen</u>				
elektrische Leistungsaufnahme		kW		5,9
<u>KWK-Anlage</u>				
Laufzeit KWK Anlage		h/a		4.500
KWK-Leistung thermisch		kWth		130
Erzeugte Wärmemenge		MWth/a		585
KWK-Leistung elektrisch		kWel		81
Erzeugter Strom		MWhel/a		365
Nutzenergie aus KWK		MWh/a		950
Anteil der Wärmeerzeugung der Wärmepumpe		%		73%
<u>3. Brennstoffkosten</u>				
Brennstoffverbrauch Kessel bez. Auf Hs / Jahresnutz 75 %		MWh/a	3.264	867
Brennstoffverbrauch Kessel bez. Auf Hi		MWh/a	2.952	784
Brennstoffverbrauch BHKW bez. Auf HS / Jahresnutz 80 %		MWh/a		1.187
Brennstoffverbrauch BHKW bez. Auf Hi		MWh/a		1.073
Brennstoffpreis:				
Arbeitspreis inkl. Erdgassteuer bez. auf Hs (Gas-Rechnung Stadtwerke Bochum Dez. 2006)		€/MWh	61,9	61,9
Arbeitskosten Kessel		€/a	202.040	53.650
Arbeitskosten BHKW		€/a		66.940
Brennstoffkosten		€/a	202.000	120.600
Mittelwertfaktor für Teuerung		-	1,2	1,2
Brennstoffkosten inkl. Teuerung		€/a	242.400	144.700
<u>4. Stromkosten</u>				
Stromverbrauch Wärmepumpe		MWh/a		338
Stromverbrauch Pumpe Zwischenkreis + WP-Kreis		MWh/a		25
Summe Stromverbrauch		MWh/a		363
davon aus BHKW		MWh/a		365
davon Fremdbezug		MWh/a		0
Strombezugskosten		€/MWh		
(Strom-Rechnung Stadtwerke Bochum Dez. 2006)				
Stromkosten		€/a		
Mittelwertfaktor für Teuerung		-		
Stromkosten inkl. Teuerung		€/a		
Summe verbrauchsgeb. Kosten ohne Teuerung		€/a	202.000	120.600
Summe verbrauchsgeb. Kosten inkl. Teuerung		€/a	242.400	144.700

Projekt: Nordwestbad Bochum

	Nutzungs- dauer a	Dim.	Gas- kessel	El. WP + BHKW
C	Betriebsgebundene Kosten			
		€/a	700	7.600
		€/a		7.300
		€/a	400	6.800
		€/a	1.100	21.700
D	Ergebnis			
		€/a	207.200	206.500
		€/a	20.700	
		-		0,30%
			2.450	2.450
		ct/kWh	8,5	8,4
		€/a	247.600	230.600
		€/a	37.800	
		-		6,90%
		ct/kWh	10,1	9,4

3.5.5 Ergebnis

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

	ohne Teuerung	mit Teuerung
Referenzfall Erdgaskessel:	207.200 €/a	247.600 €/a,
Elektrowärmepumpe + BHKW:	206.500 €/a	230.600 €/a.

Aus den Jahreskosten ist erkennbar, dass unter den gegebenen Bedingungen die Elektrowärmepumpe mit BHKW bereits ohne Berücksichtigung der Teuerung wirtschaftlich ist. Die jährlichen Kosteneinsparungen im Vergleich zum Referenzfall liegen bei 700 €.

Die oben aufgeführten Jahreskosten entsprechen spezifischen Wärmekosten von:

	ohne Teuerung	mit Teuerung
Referenzfall Erdgaskessel:	8,5 ct/kWh	10,1 ct/kWh,
Elektrowärmepumpe + BHKW:	8,4 ct/kWh	9,4 ct/kWh.

Auch bei der Betrachtung der spezifischen Wärmekosten fällt die Realisierung der Elektrowärmepumpe mit dem BHKW positiv aus. So liegen die spezifischen Wärmekosten inkl. der Teuerung bei einer Realisierung des Projektes 0,7 ct/kWh unter dem Referenzfall.

3.6 Technischer Vergleich zu konventionellem Verfahren

Der technische Vergleich des Vorhabens zu konventionellem Verfahren zeigt eine Versorgung des Schwimmbades mit Hilfe von Erdgaskesseln.

Wie bereits im Kapitel 2.3 aufgeführt, verfügt die Energiezentrale des Bades über eine installierte Heizleistung von 1.440 kW_{th}, verteilt auf zwei Erdgaskessel, Baujahr 1998, mit je 720 kW_{th}. Sie

Projekt: Nordwestbad Bochum

versorgte das Bad mit Wärme zur Raumheizung, Lüftung, Warmwasserbereitung und Badewasserheizung. Die Warmwasserspeicher hatten ein Gesamtvolumen von 8.000 Litern.

Diese Kessel dienen nun als Spitzenlastabdeckung. Zur Grundlastversorgung des Schwimmbades werden die Wärmepumpe und das BHKW herangezogen.

Als primäres Ziel der Umbaumaßnahmen zählt die Einsparung an Erdgas. In Abb. 3-31 ist der Gasverbrauch der letzten Jahre während des Zeitraumes von Februar bis September dargestellt. Dargestellt sind die witterungsbereinigten Gasverbräuche. Das Jahr 2010 wurde nicht mit abgebildet, da die durchgeführten Umbaumaßnahmen in diesem Jahr zu einem nicht repräsentativen Gasabsatz führten.

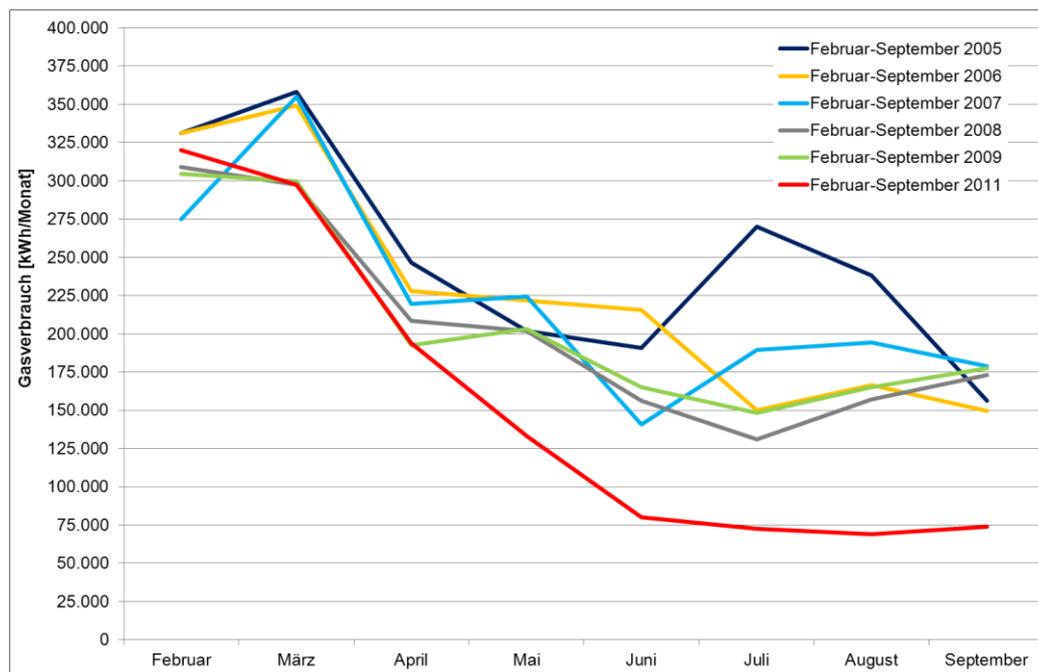


Abb. 3-31: Vergleich der Gasverbräuche der letzten Jahre

Die Monate Februar bis April zeigen, dass auch ohne Wärmepumpenbetrieb der Gasverbrauch inklusive der Stromerzeugung des BHKW nicht höher ist, als in den Vorjahren ohne BHKW. Dies zeigt die Wirkung der Heizkreisoptimierungen: Der Energieverbrauch für die Heizkreise ist entsprechend gesunken.

Eine deutliche Reduzierung des Primärenergieträgers kann aus der Abbildung entnommen werden. So sank der Gasabsatz besonders in den Monaten Mai bis September stark unter das vorherige Niveau der betrachteten Jahre. Dies ist besonders vor dem Hintergrund der effektiven Betriebszeit der Wärmepumpe in diesen Monaten zu erklären. Bei einem beispielhaften Vergleich der Jahre 2009 und 2011 fand eine Reduzierung des Gasverbrauches um 25 % statt.

Bei störungsfreiem Wärmepumpenbetrieb im Zeitraum Juni bis September lag die Reduzierung des Erdgasverbrauches bei über 50 %, von gut 150.000 kWh/Monat auf unter 75.000 kWh/Monat.

4 Erfahrungen aus der Praxiseinführung

4.1 Erkenntnisse während der ersten Monate der Inbetriebnahme

Der Dauerbetrieb der Anlage wurde Anfang August 2010 aufgenommen. Während der Betrieb des BHKWs keine Probleme darstellte, gestaltete sich die Startphase der Wärmepumpe problematischer.

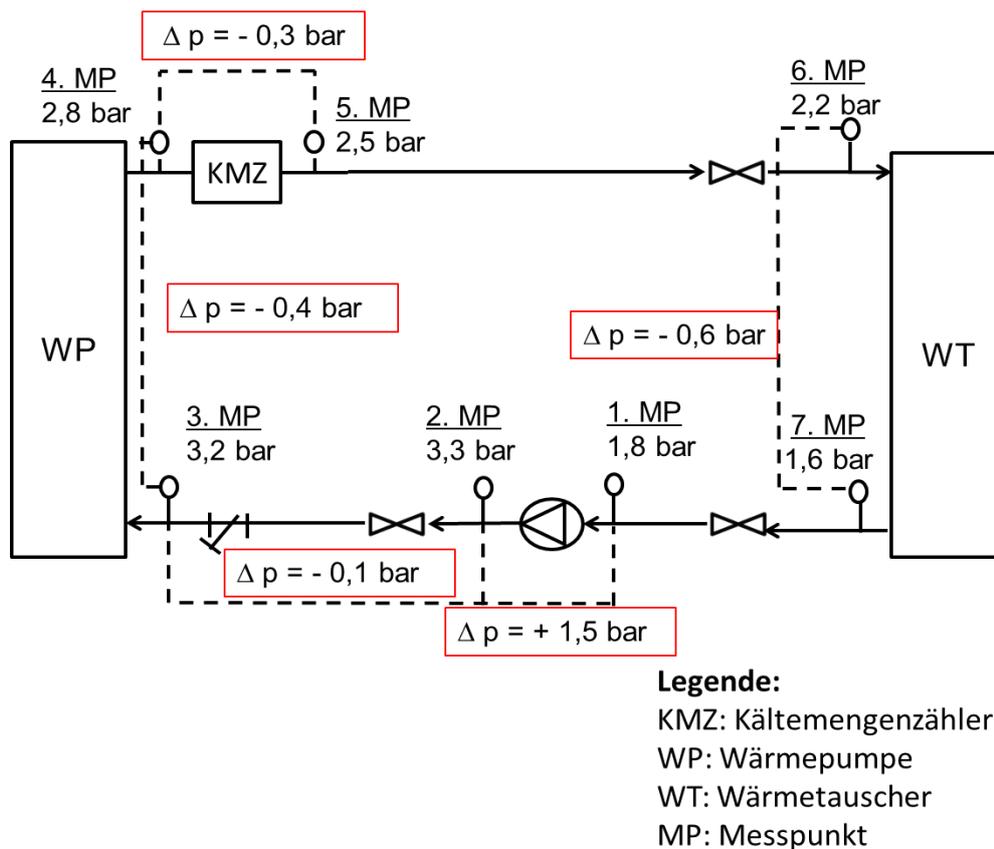
Zunächst wurde bei Messfahrten ermittelt, dass zu geringe Wassermengen für den Betrieb der Wärmepumpe im Primärkreis vorhanden waren. Es folgten Untersuchungen, ob es sich hierbei um einen Auslegungsfehler der Umwälzpumpe handelte, oder ob der Widerstand der Anlage gegenüber den Auslegungsdaten abwich. Nach einigen Messreihen und dem Austausch der Umwälzpumpe des Kreislaufes, wurde als tatsächliche Ursache für den unerwartet hohen Druckverlust im System ein unzulässig hoher Widerstand von Einzelkomponenten erkannt.

Die Ergebnisse der Untersuchung sind in Abb. 4-1 ersichtlich. Zusätzlich wurden die Volumenstrommessungen des Kreises und die Druckverluste aller Formteile auf der Primärseite überprüft.

Die Tatsache, dass der umgewälzte Volumenstrom im Primärkreis geringer war als ausgelegt, führte zu tieferen Verdampfer-Austrittstemperaturen. Die Widerstände im Kreislauf wurden minimiert und die Drehzahl der Verdichterschraube der Wärmepumpe auf 70 % der Nennzahl abgesenkt.

Innerhalb der ersten Betriebsstunden der Wärmepumpe fiel weiterhin auf, dass schon nach kurzer Laufzeit die Quelltemperatur des Abwasserwärmetauschers stark abgesenkt wurde. Als Ursache hierfür wurde die zu niedrige Abwasser-Durchflussmenge durch den Mischwassersammler erkannt. Die zuvor kalkulierten Volumenströme werden zurzeit noch nicht erreicht. Die niedrigeren Durchflussmengen im Abwasserkanal resultieren aus einer unvollständigen Erschließung der verlegten Kanäle. Nach Aussagen der Emschergenossenschaft wird sich der geplante Massenvolumenstrom durch den Mischwasserkanal erst im Jahr 2012 einstellen.

Die zu tiefen Rücklauftemperaturen (teilweise unter 5 °C) vor dem Verdampfer der Wärmepumpe führten dazu, dass das Aggregat aus Sicherheitsgründen abgeschaltet werden musste. Die Abschaltung erfolgt vor dem Hintergrund, dass die Gefahr einer Vereisung und „Sprengung“ des Plattenwärmetauschers durch Eiskristallbildung besteht.

**Abb. 4-1: Druckverluste entlang des Primärkreislaufes**

In Tab. 4-1 ist das Messprotokoll der Untersuchung dargestellt. Der Differenzdruck in den Verbindungsleitungen inklusive des Abwasserwärmetauschers liegt unter dem Auslegungswert. Besonders auffällig überhöht sind die Druckverluste des Verdampfers der Wärmepumpe, des Kältemengenzählers und des Rücklauf-Schmutzfängers. Die durch diese Bauteile hervorgerufenen Druckverluste weichen um bis zu 2,63 mWS von den Herstellerangaben ab. Um den erforderlichen Volumenstrom sicherzustellen, musste eine Reduzierung der Druckverluste stattfinden. Im ersten Schritt wurde der Verdampfer der Wärmepumpe, der die hohen Druckverluste hervorgerufen hatte, ausgetauscht. Durch den Austausch des Verdampfers wurden die Druckverluste reduziert und liegen jetzt im Bereich der ursprünglichen Herstellerangaben. Ebenfalls fand eine Reinigung des Rücklauf-Schmutzfängers statt. Dieses brachte kaum Erfolg. Auch dieser Widerstand des Schmutzfängers war größer, als im Prospektblatt angegeben. Es wurde ein gröberes Sieb eingebaut.

Mit Hilfe von Ultraschallmessgeräten wurde der umgewälzte Volumenstrom im Primärkreislauf kontinuierlich kontrolliert. Durch die beiden Optimierungsmaßnahmen konnte der Druckverlust so weit reduziert werden, dass der erforderliche Volumenstrom sichergestellt wurde.

Projekt: Nordwestbad Bochum

Tab. 4-1: Messprotokoll der Differenzdruckmessung

Messpunkt	gemessen	Bauteil	gemessene Druckdifferenz	ausgelegte Druckdifferenz	Abweichung
	[bar]		[mWS]	[mWS]	[mWS]
1	1,85				
		Pumpe	14,50	11,10	3,40
2	3,30				
		RS-Klappe	1,00	0,69	0,31
3	3,20				
		Wärmepumpe	4,00	1,75	2,25
4	2,80			Vorgabe-Datenblatt	
		Kältemengen- zähler	3,50	0,87	2,63
5	2,45			Vorgabe-Datenblatt	
		Filter	2,50	0,27	2,23
6	2,20			Vorgabe-Datenblatt	
		VL+WT	6,00	6,64	-0,64
7	1,60				

Um in Zukunft die Gefahr der Eiskristallbildung und der „Sprengung“ des Wärmetauschers auszuschließen, musste die Steuerung der Wärmepumpe an die örtliche Situation angepasst werden. Mit Hilfe der übergeordneten Steuerung wird die Eintrittstemperatur in den Verdampfer der Wärmepumpe kontinuierlich erfasst und beobachtet. Bei einer Absenkung der Zulufttemperatur vor dem Verdampfer unter 5°C (einstellbar) erfolgt zum Schutz des Verdampfers vor Eiskristallbildung eine automatische Abschaltung mit einstellbarem Zeitglied. Ebenfalls führen eine Durchflussüberwachung und eine Messung des Differenzdruckes zur Abschaltung.

Über ein Zeitglied wird die Wiedereinschaltung des Aggregates um eine Stunde verzögert. Diese Regelung musste getroffen werden, um eine schnelle Wiedereinschaltung der Wärmepumpe zu verhindern, da sonst Frostschäden am Verdampfer entstehen könnten. Hierdurch kann Wasser in den Kühlmittelkreislauf der Wärmepumpe eindringen und zu Schäden am Schraubenverdichter führen. Der Verdichter ist das teuerste Teil der Wärmepumpe und somit wäre dies ein Totalschaden der Wärmepumpenanlage.

Projekt: Nordwestbad Bochum

4.1.1 Ausführung des Leistungsverzeichnisses

Die Ausschreibung in diesem Projekt fand anhand von Massenaufstellungen im Leistungsverzeichnis statt. Die Planung des Projektes wurde von einem Fachplaner begleitet, durch den alle benötigten Positionen einzeln in einem Leistungsverzeichnis aufgeführt wurden.

Nachteil dieser Art des Leistungsverzeichnisses ist eine genaue Detailplanung, die im Vorfeld des Projektes stattfinden muss. Weiterhin kann es während der Ausführung des Projektes vorkommen, dass Positionen benötigt werden, die nicht im Leistungsverzeichnis explizit genannt wurden. Nachträge zum Leistungsverzeichnis sind bei allen Bauvorhaben kostenintensiv.

Aus diesem Grund wird empfohlen, die Leistungsbeschreibung nur noch funktional auszuführen.

4.1.2 Planer Gewerk übergreifend beauftragen

In diesem Vorhaben wurde das Planungsbüro, welches für die Entwurfs- und Detailplanung des Projektes verantwortlich war, auch für die Bauüberwachung beauftragt. Hier konnte das Wissen des Entwurfes mit in die Bauphase eingebracht werden. Die Kenntnisse des Planers über die konstruktive Auslegung aller Komponenten helfen bei der Beseitigung von Problemstellungen. Der Einsatz eines Planers, der die Gewerke beider beteiligter Unternehmen koordiniert, minimiert die Anzahl der Schnittstellen bei der Abwicklung.

4.1.3 Definition der Schnittstellen „Altanlage“ und „Neuanlage“

Die Regelung einiger Komponenten des Nordwestbades (Lüftungsanlagen, Beckenwassererwärmung, Filteranlagen usw.) fand vor dem Umbau mit Hilfe einiger Regler (Elesta) statt. Diese wurden durch ein vorhandenes Überwachungssystem im Bad zur Anzeige gebracht. Die vorgenommenen Modernisierungsmaßnahmen erforderten eine neue übergeordnete Steuerung. Da ein kompletter Austausch aller Regelkomponenten zu kostenintensiv geworden wäre, musste eine andere Möglichkeit geschaffen werden um die Steuerung der Anlage auch zukünftig zu verwirklichen. So ist die ursprüngliche Elesta Steuerung immer noch für die Regelung der Lüftungs- und Filteranlagen des Bades im Einsatz. Um die Kommunikation zwischen der „Altanlage“ und der „Neuanlage“ zu ermöglichen, wurde ein neues übergeordnetes Elesta Modul montiert.

Wichtig für die Durchführung dieser Konzeption ist eine genaue Definition der Schnittstellen, der „Altanlage“ und der „Neuanlage“.

Diese Grenzen müssen zwischen dem Eigentümer und dem Contractor zu Beginn genau definiert werden. Nur so kann sichergestellt werden, dass eine neue übergeordnete Steuerung alle gewünschten Funktionalitäten bietet.

4.1.4 Abwasserwärmetauscher

Um einen reibungslosen Betrieb der Anlage zu gewährleisten, sind mögliche Störquellen kritisch zu betrachten. Dies gilt insbesondere für Anlagenkomponenten, die nur mit erhöhtem Aufwand zugänglich sind. Für den Mischwasserkanal trifft dies im hohen Maße zu. Nach der Inbetriebnahme sind hier Reparaturen schwierig.

Projekt: Nordwestbad Bochum

Die Armaturen zur Absperrung und Vertrimmung von Wassermengen sollten, nach den Erfahrungen in diesem Projekt, nicht im Abwasserbereich angeordnet sein. Die Anordnung von Armaturen ist in Abb. 2-6 dargestellt. Die Emschergenossenschaft hat nachträglich einen Prallschutz für die Regelungsarmaturen installiert, um sicherzustellen, dass bei Mischwasserbetrieb keine Schäden durch Treibgut auftreten können.

Es lässt sich auch festhalten, dass die Vor- und Rücklaufleitungen im Abwasserbereich möglichst nicht frei aufgehängt werden sollten, sondern außerhalb des Schachtbauwerks bzw. geschützt an die Oberfläche geführt werden.

Bisher war es nicht notwendig den Wärmetauscher zu reinigen. Um den Betriebsaufwand möglichst gering zu halten, ist eine ausreichend große Dimensionierung der Elemente unter Berücksichtigung der Sielhauteinflüsse wichtig.

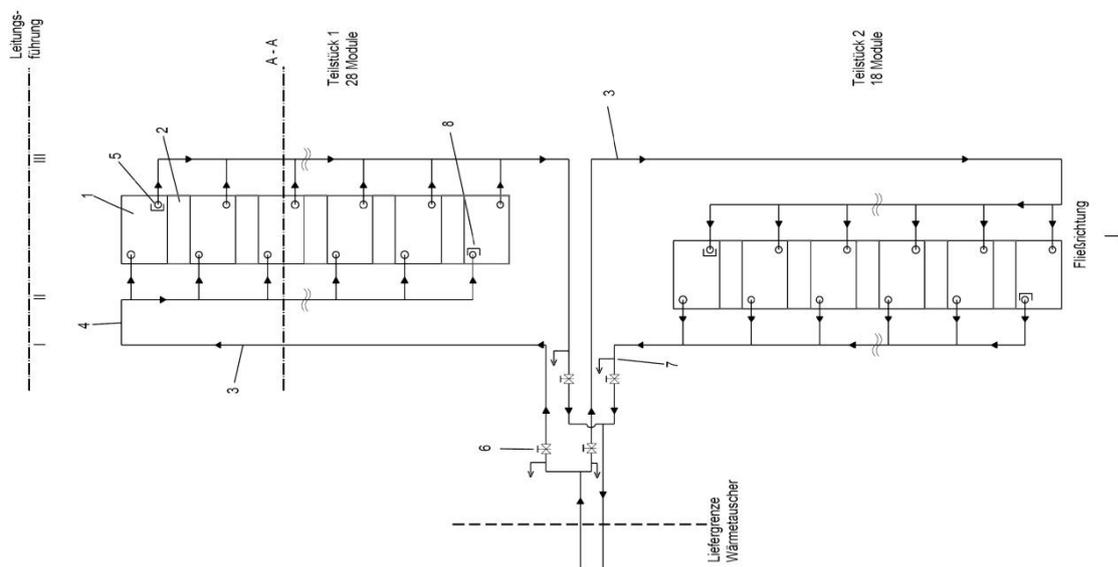


Abb. 4-2: Verteilung der Wärmetauscherelemente

Der zweiteilige Abwasserwärmetauscher besteht aus einer ungleichen Anzahl von 28 und 18 Modulen (Abb. 4-2). Um Erfahrungen im Betrieb mit dieser neuen Technik zu erlangen, mag dies sinnvoll sein. Da bei diesem Projekt eine Absperrarmatur als Drosselarmatur eingesetzt wurde, musste nach einer Leckagesuche die Einstellung der Kreise wieder neu vorgenommen werden.

Für eine wirtschaftliche Lösung eines Umbauvorhabens, ist für den Betrieb eine symmetrische Teilung des Wärmetauschers anzustreben. Die Teilung macht, vor dem Hintergrund möglicher Undichten, Sinn. Hier kann mindestens noch 50 % der verfügbaren Leistung abgerufen werden.

4.1.5 Aufstellungsbedingungen BHKW

Dem Aufstellungsort eines BHKWs kommt gerade im Schwimmbadbereich genaue Beachtung zu. Die Umgebungsluft des Bades ist zumeist chlorhaltig. Die Folge von hohem Chlorgehalt in der Luft sind Probleme am BHKW. Diese äußern sich durch Schädigung des Schmieröls und

Projekt: Nordwestbad Bochum

Korrosionserscheinungen. Aus diesem Grund wurde das BHKW in einem separaten Raum, mit Außenluft Ansaugung aufgestellt. Dies ist ein konstruktiver Schutz gegen diese Störeinträge.

Weiterhin wurde das Aggregat auf einem Fundament positioniert. Dies führt dazu, dass keine Staubpartikel, die sich auf dem Boden absetzen, mit angesaugt werden.

Ein weiterer Vorteil bei der Aufstellung des BHKWs in einem separaten Raum ist die Abschottung von den restlichen Anlagenteilen. Der Eingang des Raumes ist mit einer feuerfesten F 90 Tür ausgestattet, so dass der Raum des BHKWs als separater Brandschutzbereich ausgewiesen werden kann.

4.1.6 Aufstellungsbedingungen Wärmepumpe

Der Aufstellungsort der Wärmepumpe ist nicht wie beim BHKW von der Frischluftzufuhr abhängig. Da die Wärmepumpe vom Aufstellungsort variabler ist, sollte hier nur auf die Einhaltung der Arbeitsbedingungen vor Ort geachtet werden. Eine Schallschutzhaube, die bei dem BHKW zur Serienausstattung zählt, musste bei der Wärmepumpe manuell angefertigt werden.

Weitere Erfahrungen im Bereich der Wärmepumpe sind bei der Ausführung des Primärkreises gewonnen worden. So sammelte sich bei der Füllung der Leitungen vermehrt Luft in diesem Kreis an. Diese beeinträchtigt den Lauf der Umwälzpumpen. Bei der Ausführung sollten hier definierte Hochpunkte zur Entlüftung vorgesehen werden. Empfohlen wird der Einbau von Dauerentlüftern.

4.1.7 Elektrische Zählergrößen

In Abb. 4-3 sind die verbauten Zähler dargestellt, die zur Erfassung des verbrauchten Stromes herangezogen werden. Unter diesen Zählern sind zwei 2-Wege-Zähler installiert worden. So findet einerseits beim BHKW die Messung der elektrischen Energie in zwei Richtungen statt. Hier wird nicht nur die erzeugte Energie, sondern auch die für den Anlaufstrom verbrauchte elektrische Energie erfasst. Ein weiterer 2-Wege-Zähler ist zur gesamten Bilanzierung des Projektes herangezogen worden. So kann genau erfasst werden, ob Strom aus dem öffentlichen Netz bezogen wird oder Strom ins öffentliche Netz eingespeist wird.

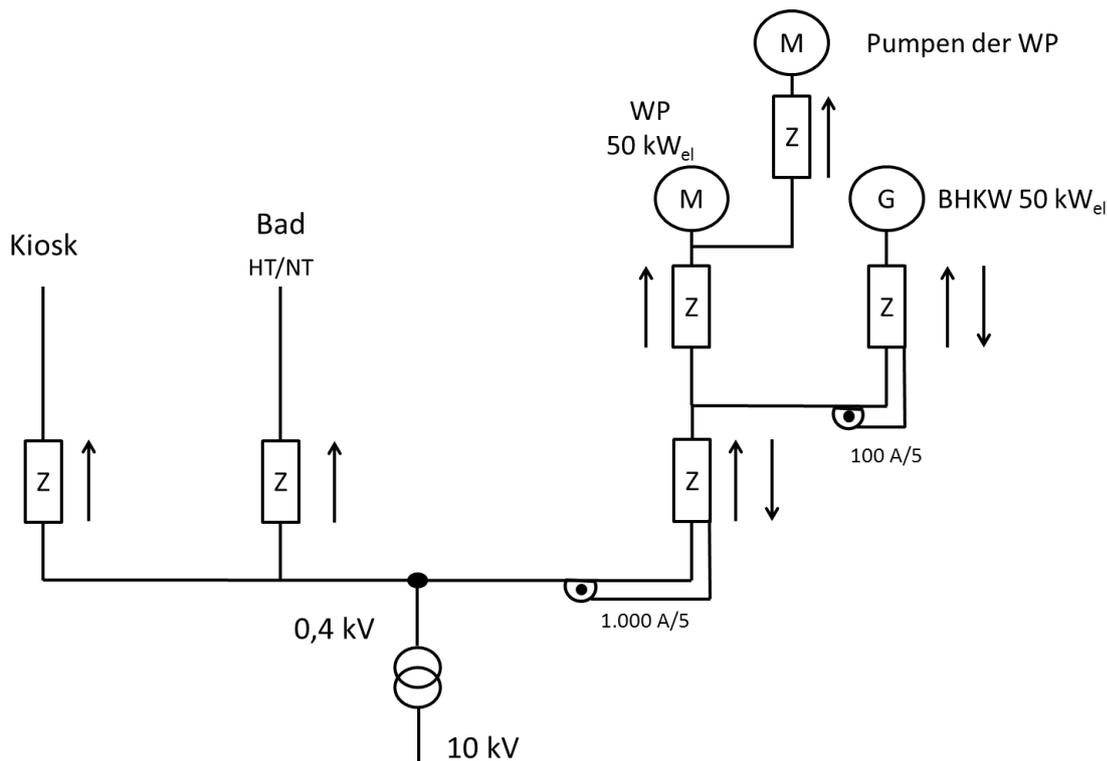


Abb. 4-3: Eingebaute Elektrozähler

4.1.8 Inbetriebnahme von Rohrleitungssystemen

Wie in Kapitel 3.1 erwähnt, wurde die Durchführung des Vorhabens innerhalb von zwei Bauphasen verwirklicht. Hier entstand ein zeitlicher Zwischenraum. Während der Wärmetauscher im Mischwasserkanal mit den Anschlussleitungen aus PE fertig gestellt war, wurden die Primärleitungen im Nachgang verlegt. Bei dem Anschluss der Primärleitung auf die vorbereiteten Stutzen zum Mischwasserkanal fiel auf, dass die Rohrendkappen hier nicht mehr in der richtigen Position saßen. Eine endoskopische Kontrolle zeigte hier Fremdkörper. Diese mussten mit einer Fräskugel zerstört und anschließend ausgespült werden.

Aus diesem Grund ist zu raten, bei Projektunterbrechungen einen Klöpperboden auf die Rohrenden zu schweißen, um diese vor Verschmutzungen zu schützen. Verschmutzungen am Wärmetauscher Eintritt führen zu Verstopfungen der einzelnen Elemente und machen diese unbrauchbar.

4.2 Modellcharakter (Verbreitung und weitere Anwendung des Verfahrens / Anlage / Produkt)

Für die Stadtwerke Bochum GmbH stellte die in diesem Vorhaben verwirklichte Technik zur Wärmeauskopplung aus Abwasserwärme ein Pilotprojekt dar. Die Kombination aus herkömmlicher Wärmeversorgungstechnik und die bisher erst in wenigen Anlagen eingesetzte Technik zur Nutzung von Wärme aus Abwasserwärme wurde mit dem Ziel der Senkung des Primärenergieverbrauches und damit verbundene CO₂ – Emissionssenkung realisiert. Die ausgeführte Kombination der Grundlastversorgung aus Abwasserwärme, die über eine Elektrowärmepumpe in Verbindung mit

Projekt: Nordwestbad Bochum

einem BHKW zur Stromversorgung verfügbar gemacht wird und der Abdeckung der Spitzenlastzeiten über herkömmliche Gaskessel kennzeichnet dieses Vorhaben.

Gerade in dicht besiedelten Gebieten mit entsprechender Infrastruktur ist eine vermehrte Nutzung von Energie aus Abwasser aus der Kanalisation geeignet, um die herkömmliche Wärmeversorgung unter Einsatz von Primärenergie dahingehend zu ergänzen, dass der Primärenergieverbrauch signifikant gesenkt werden kann. Als Voraussetzung für eine sinnvolle Übertragung des vorgeschlagenen Weges ist zu beachten, dass ausreichend viel Abwasser nahezu konstant als Energiequelle zur Verfügung steht. Dies ist in Mischsystemen mit entsprechenden Einzugsgebietsgrößen in dicht besiedelten Gebieten oftmals der Fall. Zudem sollten Dimension und Bausubstanz der Abwasserkanäle ausreichend beschaffen sein. Für das Verbandsgebiet der Emschergenossenschaft trifft dies in hohem Maße zu. Im Rahmen des begonnenen Umbaus des Entwässerungssystems im Einzugsgebiet des Flusses Emscher werden insgesamt ca. 400 km Kanäle neu errichtet. Davon sind grundsätzlich ca. 107 km für eine Abwasserwärmenutzung hinsichtlich der Dimension (\geq DN 800) geeignet. Bauherr und Betreiber dieser Kanäle ist die Emschergenossenschaft, so dass die im beantragten Vorhaben gewonnenen Erfahrungen für zukünftige Projekte genutzt werden können.

Zur Vorbereitung weiterer möglicher Nutzungen von Abwasser zur Wärme- oder auch Kälteerzeugung wurden seitens der Emschergenossenschaft in einem ersten Schritt Potenzialkarten erstellt, die entlang der Verläufe geeigneter Abwasserkanäle das nutzbare Wärmepotenzial ausweisen.

Im Rahmen des vom Umweltministerium NRW geförderten Forschungsvorhabens „Potenziale und technische Optimierung der Abwasserwärmenutzung“ wurden die Potenzialkarten zu einer Energiekarte erweitert, die ab Sommer 2012 auch im Internet bereit stehen wird. Die Karte hat sowohl die Potenziale entlang der verbandseigenen Kanäle der Emschergenossenschaft, als auch die kommunalen Kanalnetze der Städte Bochum und Dortmund zum Inhalt. Damit wird eine Grundlage geschaffen, um gezielt potenzielle Abnehmer ausfindig machen zu können und auch externen Interessenten eine Auskunfts- und Planungsplattform zu bieten. Besonderes Augenmerk wird dabei auf energieintensive kommunale Infrastruktureinrichtungen wie z. B. Schwimmbäder oder Schulen gelegt werden. So ist bereits eine weitere Anlage in Planung, die in Oberhausen einen Schulkomplex sowie 160 Wohnungen versorgen wird.

Auch auf Projekte mit einer anderen Wärmequelle als Abwasser können die gesammelten Erfahrungen und eingesetzten Techniken bezogen werden. So wird in naher Zukunft ein weiteres Forschungs- und Entwicklungsprojekt von den Stadtwerken Bochum in Bochum umgesetzt. Bei der Wärmequelle handelt sich hierbei um Grubenwasser, welches aus einer Teufe von ca. 600 m gefördert wird. Direkt am Schacht findet eine Auskopplung des Grubenwassers statt. Das ca. 20 °C warme Wasser wird, wie in diesem Vorhaben, über ein kaltes Nahwärmenetz zu den Verbrauchern geleitet. Ebenfalls soll hier die Grundlastversorgung mit der regenerativen Energiequelle gedeckt werden. Ferner wird die über das Grubenwasser gewonnene Wärme zum Teil auch über Elektrowärmepumpen in Verbindung mit einem BHKW zur Stromversorgung verfügbar gemacht.

Dieses weitere Forschungs- und Entwicklungsprojekt bietet an mehreren Schnittstellen Parallelen zu dem Projekt „Abwasserwärmenutzung“. Die gesammelten Erfahrungen während der Umsetzung der

Projekt: Nordwestbad Bochum

Techniken der Nutzung der Abwasserwärme können direkt auf das bereits in Planung befindliche Projekt herangezogen werden.

4.3 Zusammenfassung

Das beschriebene Projekt wurde als Pilotprojekt der Emschergenossenschaft und der Stadtwerke Bochum verwirklicht. Der Grundgedanke der Ausführung des Projektes bestand darin, die vorhandene Wärme des Abwassers zu nutzen um damit Primärenergie in Form von Erdgas einzusparen. Des Weiteren sollten die gewonnenen Erfahrungen dazu dienen, einen Einstieg in die Abwasserwärmenutzung zu finden. Da Abwasserströme in Ballungsräumen, wie dem Ruhrgebiet, flächendeckend vorhanden sind, stehen die Aussichten die gesammelten Erfahrungen auf weitere Projekte dieser Art anzuwenden, sehr gut.

Zu Beginn führten Probleme bei der Wärmepumpe zu längeren Stillstandszeiten dieser. Die Ursachen der Schwierigkeiten und Maßnahmen zu dessen Behebung sind in diesem Bericht dargestellt worden. Unter anderem mussten Optimierungsmaßnahmen an der Steuerung der Wärmepumpe umgesetzt werden. Die installierten Wärmetauscherelemente erwiesen sich bisher als robust.

Nach Behebung dieser Anlaufschwierigkeiten lief die Wärmepumpe während des Sommers ohne nennenswerte Unterbrechungen. In dieser Zeit konnten erste Betriebsergebnisse gesammelt und ausgearbeitet werden, die in diesem Bericht wiedergegeben wurden. Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass es sich bei der Verwirklichung um ein Pilotprojekt handelte, sind Schwierigkeiten während der ersten Anlaufphase keine Seltenheit. Vor diesem Hintergrund und der stabilen Laufzeit der Wärmepumpe nach der Behebung der Störungen kann von einer erfolgreichen Umsetzung des Projektes gesprochen werden.

Ab August 2012 werden sich die Abwassermengen durch die Anbindung des vierten Bauabschnitts deutlich erhöhen, bevor im Jahr 2013 der endgültige Anschlussgrad erreicht wird. Es ist davon auszugehen, dass sich die Leistungszahlen der Wärmepumpe noch weiter verbessern werden. Das Messprogramm wird über diesen Zeitraum hinaus geführt, um auch die Veränderungen durch die zunehmende Abwassermenge dokumentieren zu können.

Projekt: Nordwestbad Bochum

5 Literatur

- [1] <http://www.ag-energiebilanzen.de/viewpage.php?idpage=65>
- [2] <http://www.oeko.de/service/gemis/de/index.htm>
- [3] http://www.dwd.de/bvbw/appmanager/bvbw/dwdwwwDesktop?_nfpb=true&_pageLabel=_dwdwww_klima_umwelt_klimadaten_deutschland&T17400910631149670782053gsbDocumentPath=Content%2FOeffentlichkeit%2FKU%2FKU1%2FKU12%2FKlimadaten%2FGradtagzahl%2FArchiv%2FGTZ__Archiv__Tabelle.html
- [4] Gesetz über den nationalen Zuteilungsplan für Treibhausgas-Emissionsberechtigungen in der Zuteilungsperiode 2008 bis 2012

6 Anhang

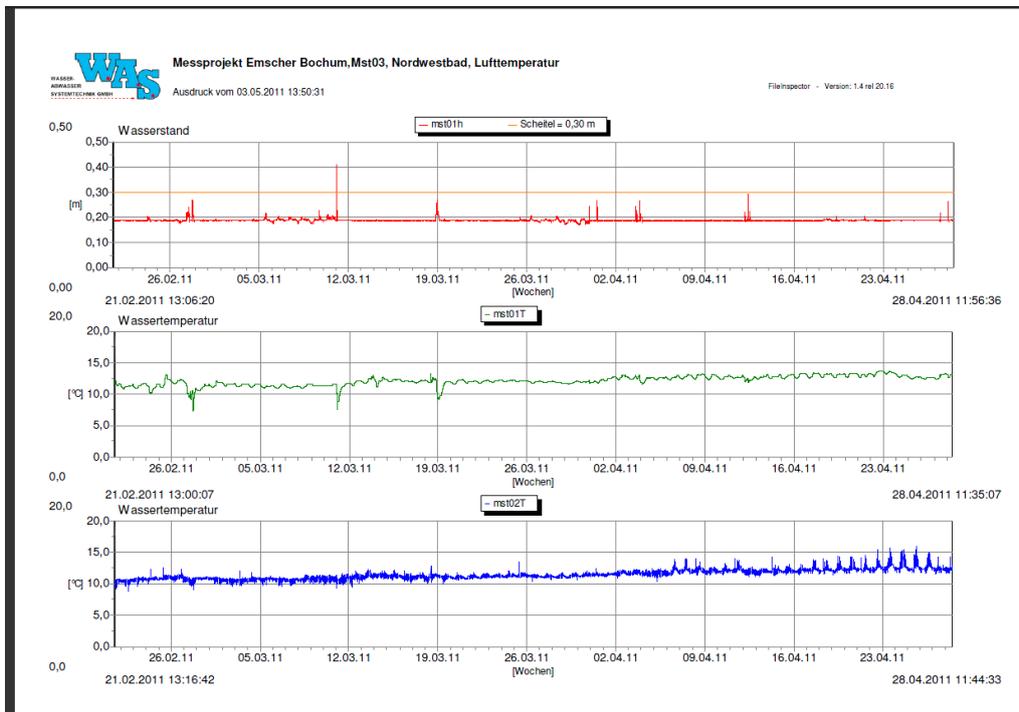


Abb. 6-1: Referenzmessung Abwassertemperatur vom 21.02.2011 – 28.04.2011: Wasserstand (Mst01); Abwassertemp. (Mst01T) und Kanallufttemp. (Mst02T)

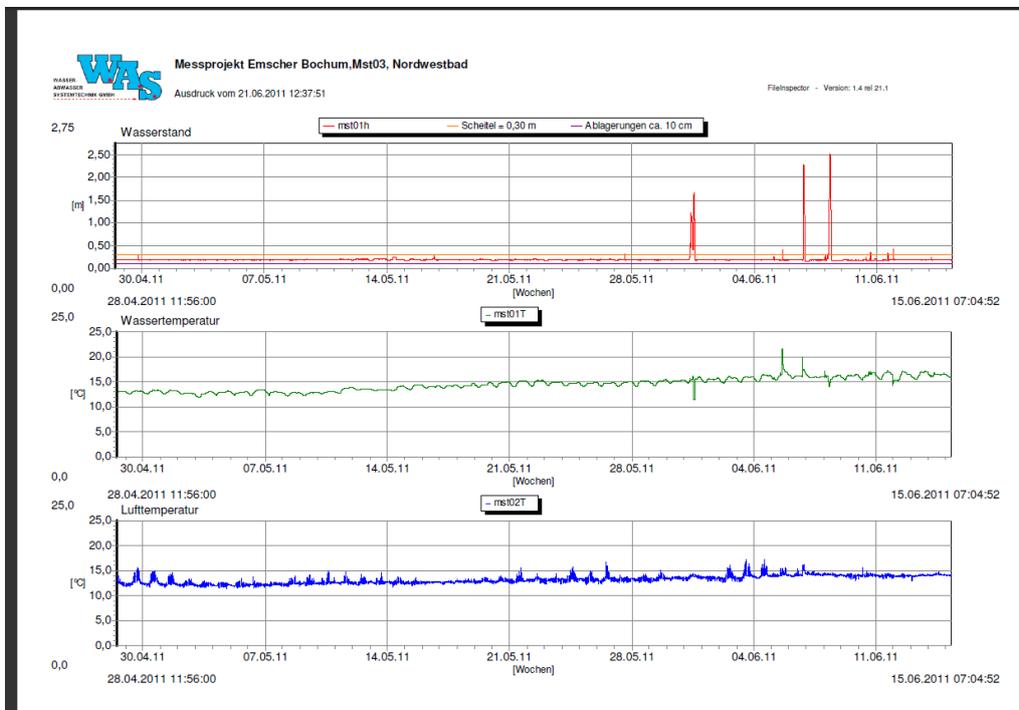


Abb. 6-2: Referenzmessung Abwassertemperatur vom 28.04.2011 – 15.06.2011: Wasserstand (Mst01); Abwassertemp. (Mst01T) und Kanallufttemp. (Mst02T)

Projekt: Nordwestbad Bochum

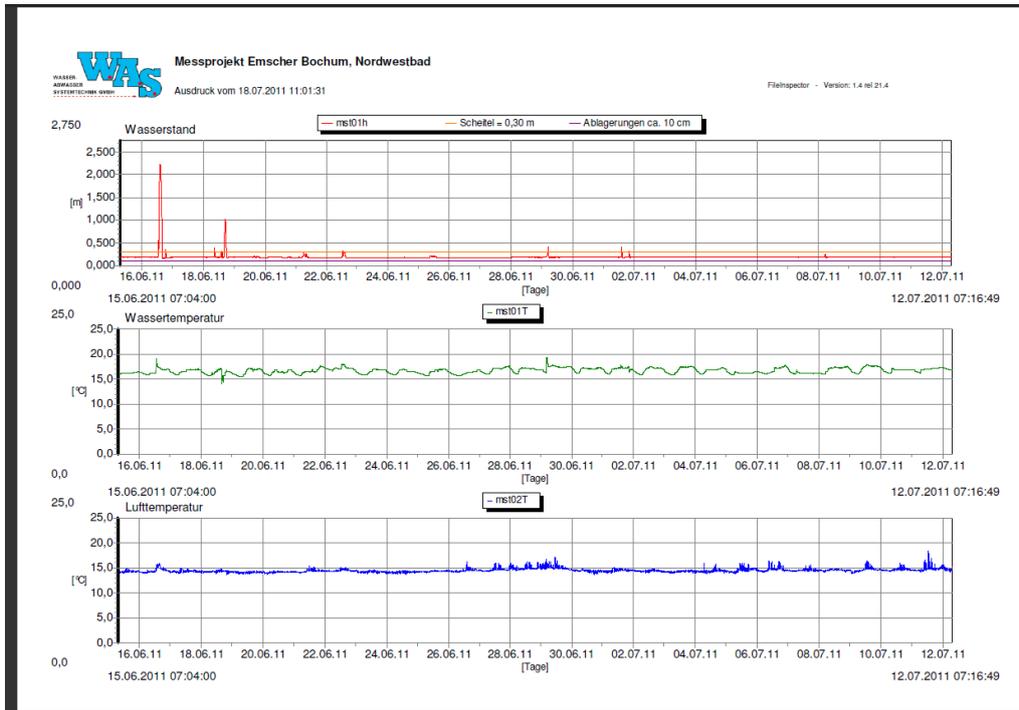


Abb. 6-3: Referenzmessung Abwassertemperatur vom 15.06.2011 – 12.07.2011: Wasserstand (Mst01); Abwassertemp. (Mst01T) und Kanallufttemp. (Mst02T)

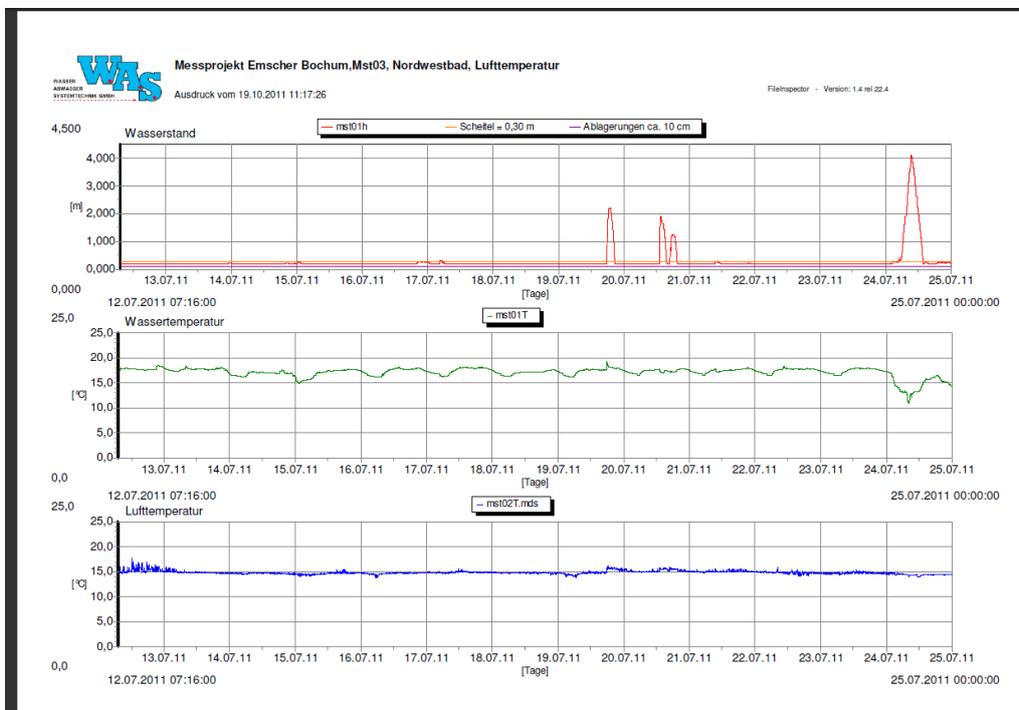


Abb. 6-4: Referenzmessung Abwassertemperatur vom 12.07.2011 – 25.07.2011: Wasserstand (Mst01); Abwassertemp. (Mst01T) und Kanallufttemp. (Mst02T)

Projekt: Nordwestbad Bochum

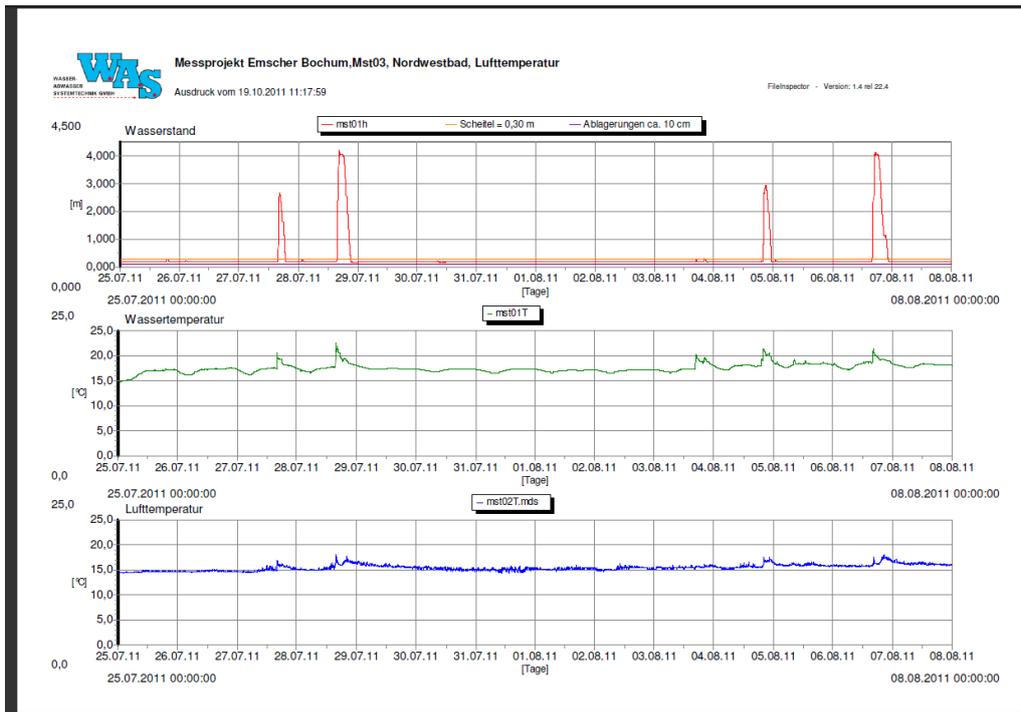


Abb. 6-5: Referenzmessung Abwassertemperatur vom 15.07.2011 – 08.08.2011: Wasserstand (Mst01); Abwassertemp. (Mst01T) und Kanallufttemp. (Mst02T)

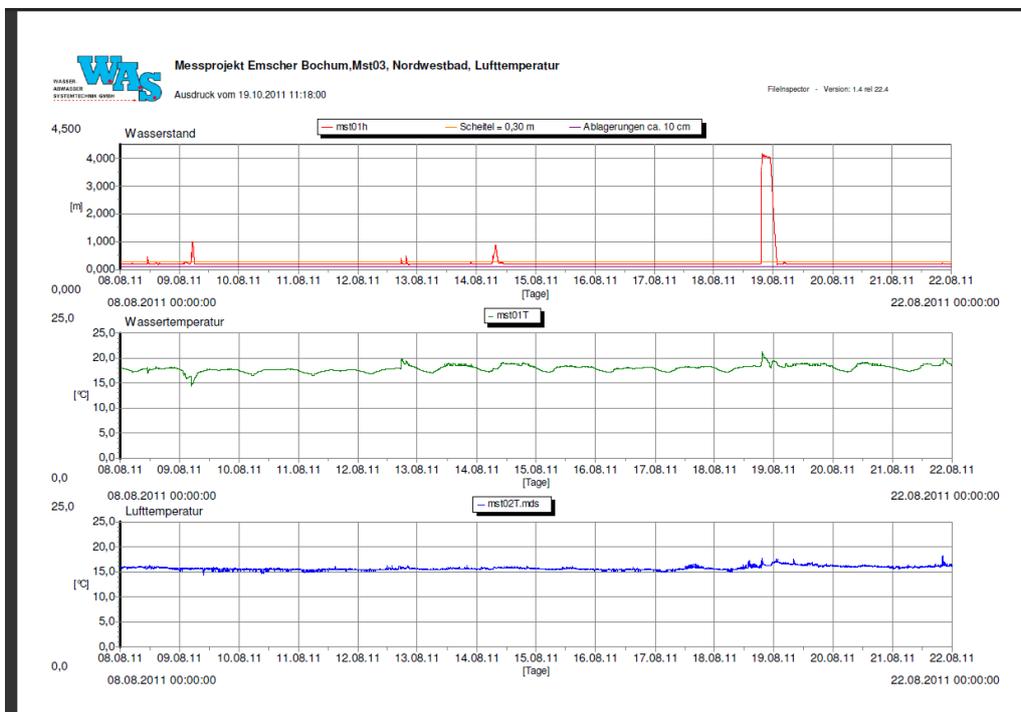


Abb. 6-6: Referenzmessung Abwassertemperatur vom 08.08.2011 – 22.08.2011: Wasserstand (Mst01); Abwassertemp. (Mst01T) und Kanallufttemp. (Mst02T)

Projekt: Nordwestbad Bochum

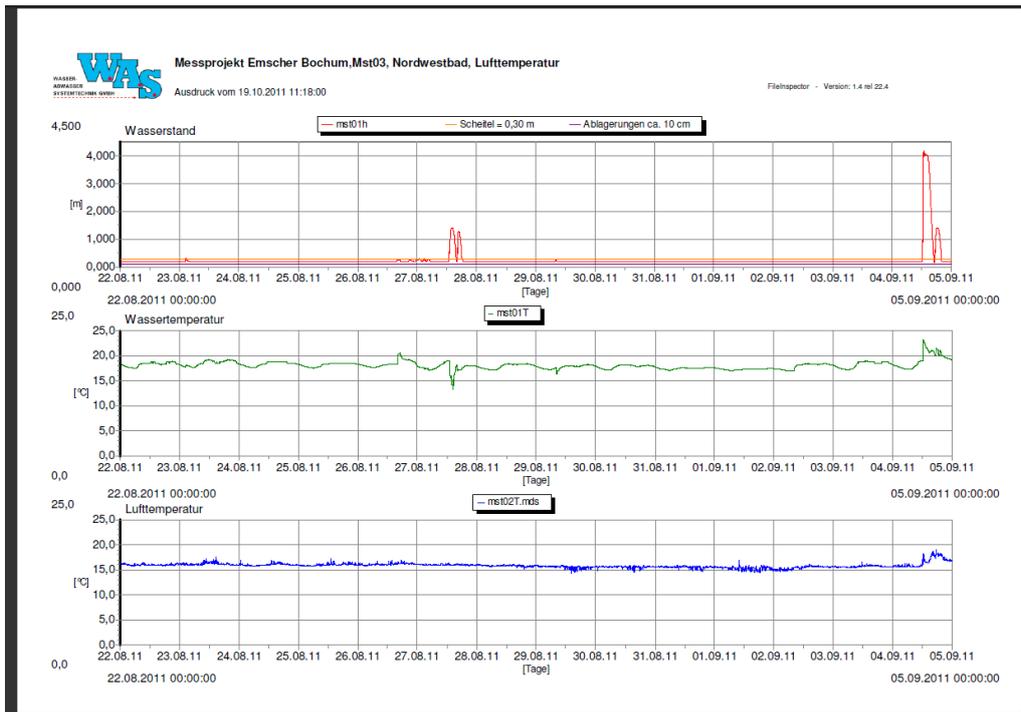


Abb. 6-7: Referenzmessung Abwassertemperatur vom 22.08.2011 – 05.09.2011: Wasserstand (Mst01); Abwassertemp. (Mst01T) und Kanallufttemp. (Mst02T)

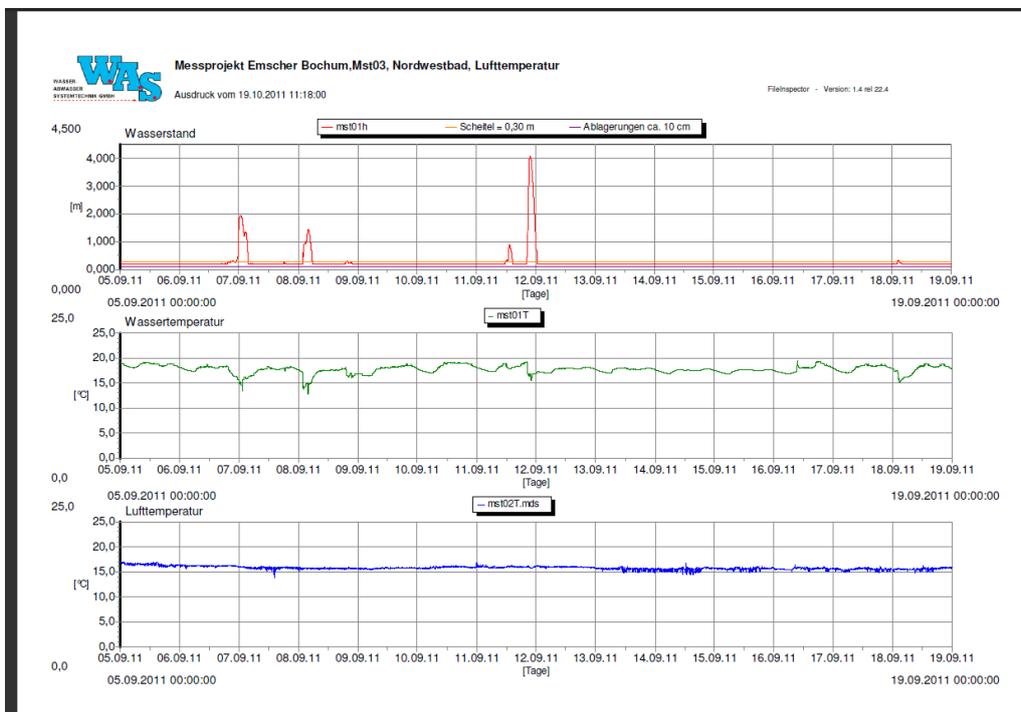


Abb. 6-8: Referenzmessung Abwassertemperatur vom 05.09.2011 – 19.09.2011: Wasserstand (Mst01); Abwassertemp. (Mst01T) und Kanallufttemp. (Mst02T)

Projekt: Nordwestbad Bochum

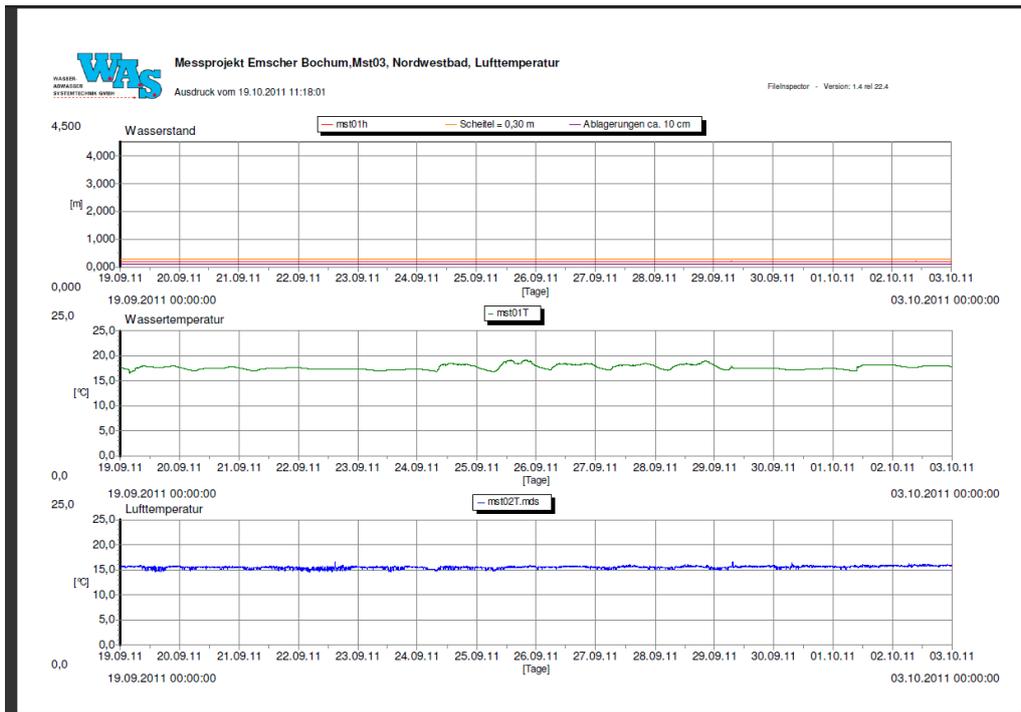


Abb. 6-9: Referenzmessung Abwassertemperatur vom 19.09.2011 – 03.10.2011: Wasserstand (Mst01); Abwassertemp. (Mst01T) und Kanallufttemp. (Mst02T)

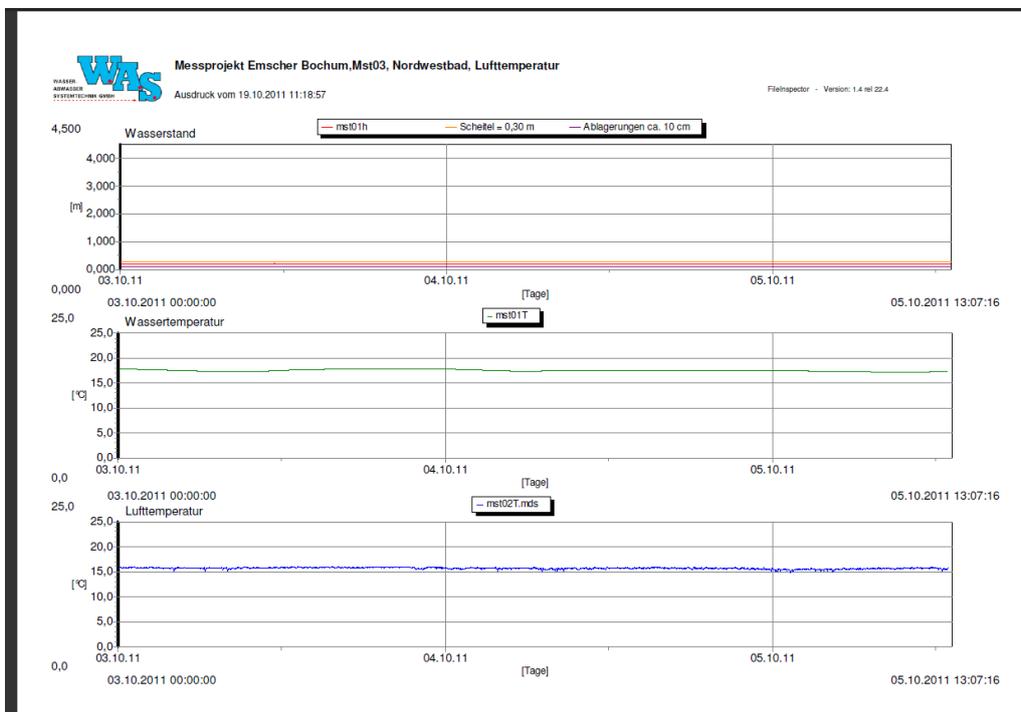


Abb. 6-10: Referenzmessung Abwassertemperatur vom 03.10.2011 – 05.10.2011: Wasserstand (Mst01); Abwassertemp. (Mst01T) und Kanallufttemp. (Mst02T)

Projekt: Nordwestbad Bochum

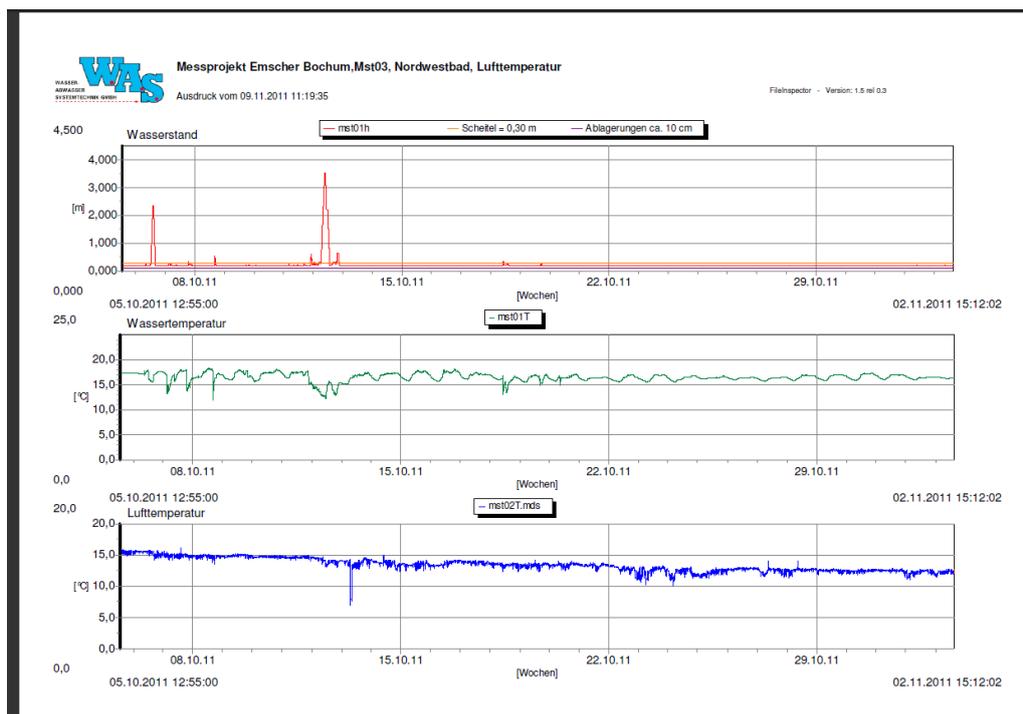


Abb. 6-11: Referenzmessung Abwassertemperatur vom 05.10.2011 – 02.11.2011: Wasserstand (Mst01); Abwassertemp. (Mst01T) und Kanallufttemp. (Mst02T)

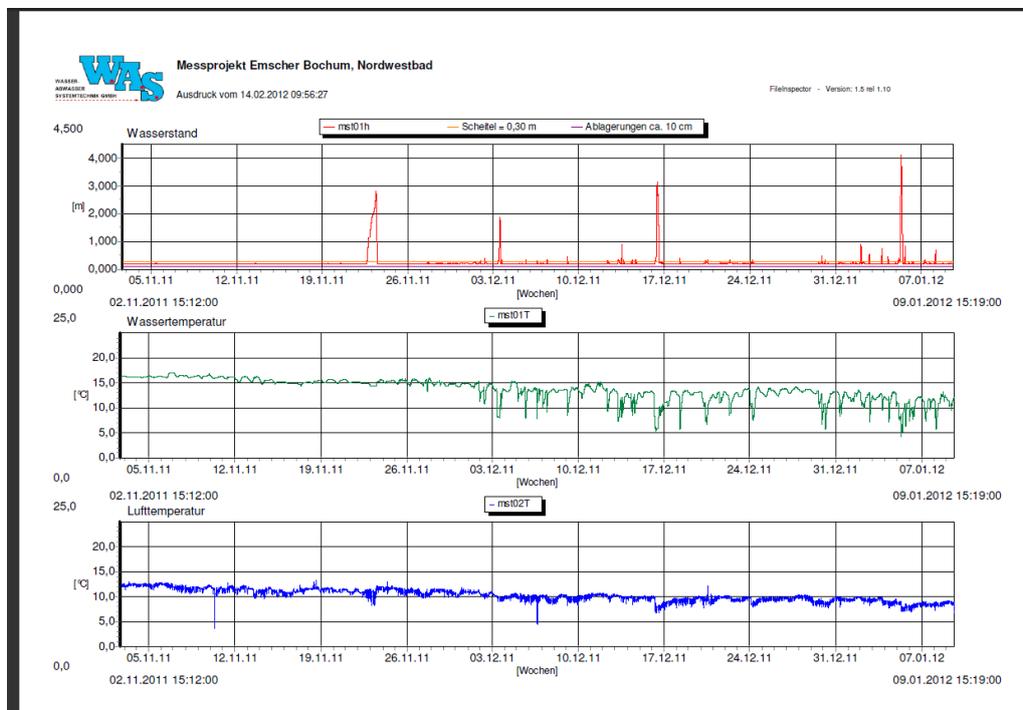


Abb. 6-12: Referenzmessung Abwassertemperatur vom 02.11.2011 – 09.01.2012: Wasserstand (Mst01); Abwassertemp. (Mst01T) und Kanallufttemp. (Mst02T)

Projekt: Nordwestbad Bochum

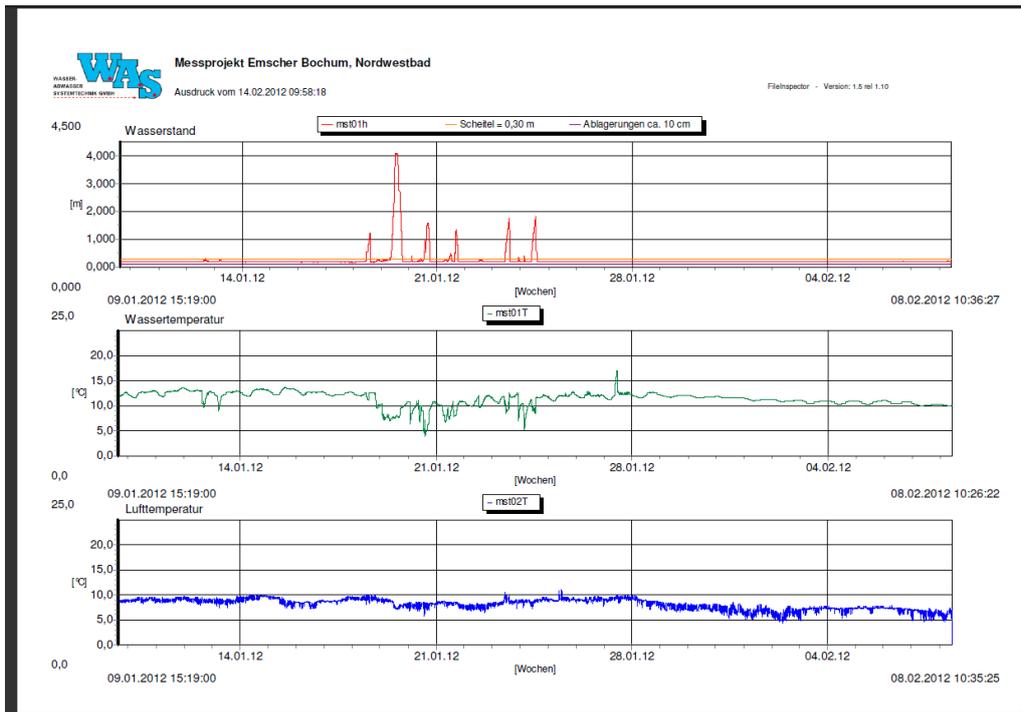


Abb. 6-13: Referenzmessung Abwassertemperatur vom 09.01.2012 – 08.02.2012: Wasserstand (Mst01); Abwassertemp. (Mst01T) und Kanallufttemp. (Mst02T)

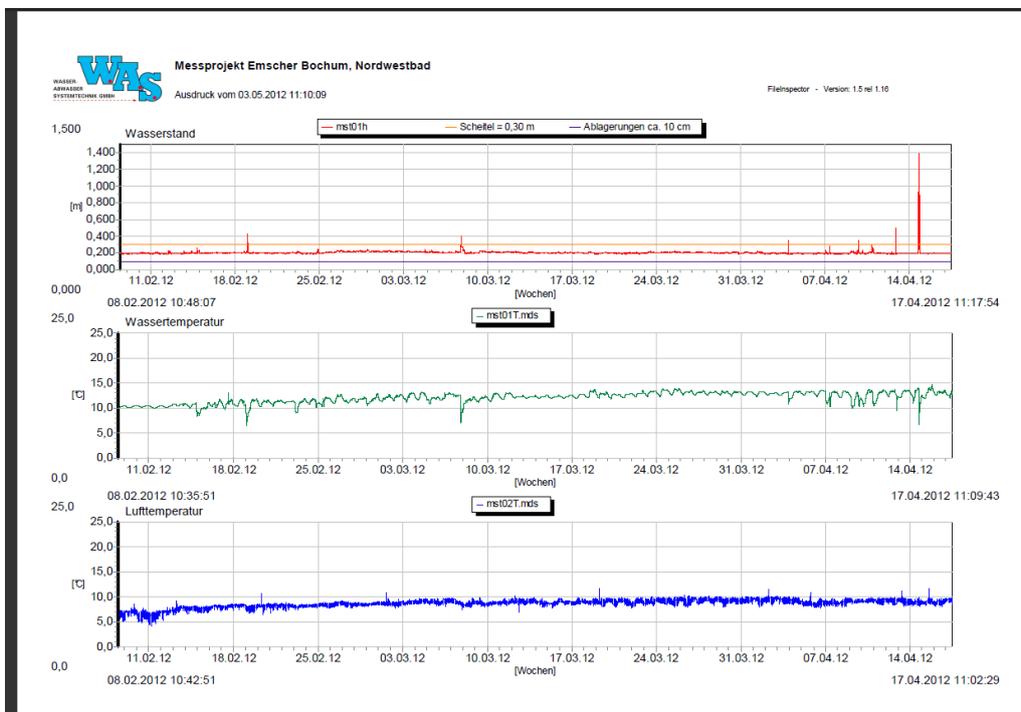


Abb. 6-14: Referenzmessung Abwassertemperatur vom 08.02.2012 – 17.04.2012: Wasserstand (Mst01); Abwassertemp. (Mst01T) und Kanallufttemp. (Mst02T)