

Abwasserwärmenutzung – Erfahrungsbericht über Planung und Bau der Anlage in Bretten

Jan A. Butz (Stuttgart) und Ernst A. Müller (Zürich/Schweiz)

Zusammenfassung

Die DWA hat mit dem Merkblatt DWA-M 114 wichtige fachliche Grundlagen für die Abwasserwärmenutzung geschaffen. Nachdem in einem vorangegangenen Beitrag (KA 5/2010) ein Überblick über das Thema vermittelt worden ist, wird jetzt die Anwendung des Merkblatts in der Praxis gezeigt und ein Erfahrungsbericht über die Planung und den Bau einer Anlage am Beispiel Bretten geliefert. Daraus lassen sich auch zahlreiche Hinweise für die Praxis gewinnen.

Schlagwörter: Abwasserreinigung, kommunal, Entwässerungssysteme, Regenüberlaufbecken, Energiequelle, Wärme, Nutzung, Wärmeaustauscher, Wärmepumpe, Heizung, Gebäude

DOI: 10.3242/kae2010.08.003

Abstract

Wastewater Heat Recovery – Field Report on the Planning and Construction of the Bretten Plant

With their advisory leaflet DWA-M 114, DWA have laid the technical foundation for wastewater heat recovery. While the previous paper (KA 5/2010) gave an overview of the topic, the current paper shows the practical implementation of the advisory leaflet and contains a field report on the planning and construction of such a plant, by using the Bretten plant as an example. A lot of practical recommendation can be derived from this presentation.

Key words: wastewater treatment, municipal, drainage systems, stormwater tank with overflow, energy source, heat, recovery, heat exchanger, heat pump, heating, building

1 Bau der Anlage in Bretten – Hintergrund und Historie

Bauherr der Brettener Abwasserwärmenutzungsanlage sind die Stadtwerke Bretten. In ihrem Auftrag wurden im Jahr 2009 Wärmetauscher im Regenüberlaufbecken (RÜB) Saarstraße im Brettener Osten verlegt, das dem Abwasserverband Weissach- und oberes Saalbachtal gehört. Die dazugehörige Wärmepumpe befindet sich in einer eigens dazu auf dem Gelände des RÜB

errichteten Heizzentrale. Das von dort aus verlaufende Nahwärmenetz versorgt in einer Richtung mehrere Wohngebäude und in der anderen Richtung eine Sporthalle und ein Gymnasium mit Wärme.

Auslöser des Gesamtprojekts war die örtliche Firma Harsch, die im Jahr 2007 mit dem Wunsch an die Stadtwerke Bretten



Abb. 1: Lageplan der Abwasserwärmenutzungsanlage in Bretten mit Hauptsammler, Regenüberlaufbecken (RÜB), Heizzentrale und den versorgten Objekten (Bild: Google Earth)

herantrat, den Neubau eines Mehrfamilienhauses mit regenerativen Energien zu beheizen. Gemeinsam wurden im September desselben Jahres das Ingenieurbüro Klinger und Partner (Stuttgart) mit einer Machbarkeitsstudie zur Abwasserwärmenutzung beauftragt. Für die Bearbeitung des heizungsseitigen Teils der Aufgabenstellung wurde das Ingenieurbüro Schuler (Bietigheim-Bissingen) hinzugezogen. Die damit vollzogene Aufgabenteilung zwischen Abwasser- und Heizungsfachleuten hat sich bewährt und kann generell für Projekte der Abwasserwärmenutzung empfohlen werden.

Nachdem die Machbarkeitsstudie im Januar 2008 übergeben worden war, erfolgte im April 2008 der positive Projektentscheid. Der Bau der Anlage war mit der ohnehin anstehenden Sanierung des RÜB Saarstraße und der Sanierung der Wohnhäuser zeitlich zu koordinieren. Die Versorgung der Sporthalle wurde erst nach der Machbarkeitsstudie in die Planung aufgenommen, als die dortige Heizungsanlage ausfiel.

Der erste Meilenstein der Umsetzung wurde mit dem Einbau der Wärmetauscher im Mai 2009 erreicht. Fast zeitgleich wurde das Gebäude der Heizzentrale errichtet. Unmittelbar im Anschluss daran wurde der Gaskessel installiert. Die Wärmepumpe wurde im Oktober 2009 geliefert und als letztes das Blockheizkraftwerk im November 2009. Unmittelbar im An-

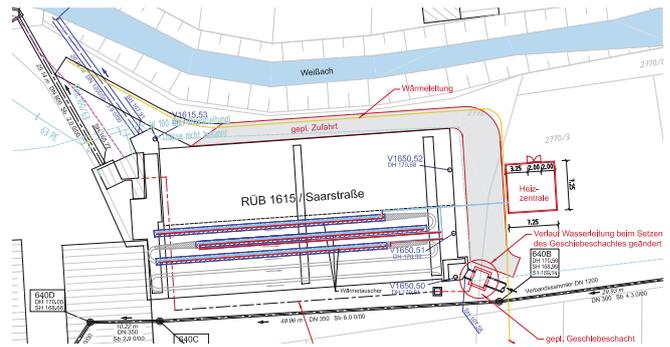


Abb. 2: Plan der Wärmetauscher in der Schlangennrinne des Regenüberlaufbeckens Saarstraße in Bretten



Abb. 3: Wärmetauscherelemente (Firma Uhrig) während der Installation in der Schlangennrinne (Drachprofil) (Foto: Jan Butz, Klinger und Partner)

schluss an dessen Installation wurde mit dem Probetrieb begonnen. Der insgesamt reibungslose Projektlauf konnte nicht zuletzt Dank der starken Unterstützung des Abwasserverbands Weissach- und oberes Saalbachtal erreicht werden.

2 Wärmetauscher

2.1 Wahl des Einbauorts

Die Installation der Wärmetauscher in einem Regenüberlaufbecken ist nach Kenntnis der Autoren bislang einmalig. Hauptgrund für die Wahl als Einbauort war zunächst einmal die günstige Lage im Schnittpunkt von Hauptsammler und den zu versorgenden Objekten (Abbildung 1). Möglich wurde es durch die seltene Ausführung des Beckens mit einer Schlangennrinne im Drachprofil, die fünfmal über die gesamte Länge des Beckens verläuft (Abbildung 2). In dieser konnten die Wärmetauscher wie in einem normalen Kanal verlegt werden (Abbildung 3). Für die Ausführung wies das RÜB als Einbauort eine Vielzahl von Vorteilen auf: Durch die Einzäunung war keine Verkehrssicherung nötig, und die Anliegen dritter wurden nicht tangiert. Aufstellfläche war ausreichend vorhanden, und das Einführen der Wärmetauscherelemente erwies sich als denkbar einfach. Auch die Arbeitsbedingungen im Becken selbst waren ideal im Vergleich zu den üblichen Bedingungen in einem Kanal. Die Wasserhaltung konnte sogar noch von der vorhergehenden Sanierung des Beckens übernommen werden. Als



Abb. 4: Absenkbares Besucherpodest über den Wärmetauschern im Regenüberlaufbecken Saarstraße in Bretten (Foto: Hubert Mauz, Uhrig Kanaltechnik)

„Schmankerl“ konnte in einer der Lüftungsöffnungen ein Besucherpodest befestigt werden, das sich herunterschwenken lässt und eine „berührungslose Besichtigung“ im laufenden Betrieb ermöglicht (Abbildung 4).

2.2 Bestimmung der Bemessungsgrößen

Die „abwasserseitigen“ Bemessungsgrößen einer Anlage zur Abwasserwärmenutzung sind die Abwassertemperatur und der Abwasserabfluss. Der Einfluss dieser beiden Größen auf die Anlage ist physikalisch begründet und in [3] wiedergegeben. Bislang fehlen jedoch Hinweise darauf, wie diese Größen zu bestimmen sind, so dass dieser wesentliche Schritt eigenverantwortlich vom planenden Ingenieur vorzunehmen war.

Angesichts der langjährigen Laufzeit der Anlage ist klar, dass auch die Bestimmung der Bemessungsgrößen auf zuverlässige und langjährige Messreihen aufbauen muss. Diese liegen in der Regel nur für die jeweiligen Kläranlagen vor. Zusätzlich müssen für die Planung der Anlagen aber auch Überlegungen gemacht werden, wie sich die Abwasser- bzw. Fremdwassermenge und damit auch die Abwassertemperaturen in den nächsten 20 Jahren entwickeln könnten.

Eine Übertragung der Abwassertemperaturen von der Kläranlage auf das Kanalnetz erscheint im Regelfall unkritisch. Da die Temperaturmessung auf der Kläranlage meist im Belebungsbecken oder dessen Ablauf stattfinden, liegen die Werte eher auf der sicheren Seite, da über die Oberfläche des Belebungsbeckens im Winter Wärme verloren geht. Im vorliegenden Fall wurden aus den Messungen der Abwassertemperatur der Jahre 2004 bis 2008 der Wert als Bemessungstemperatur ermittelt, der statistisch an nur wenigen Tagen im Jahr unterschritten wird. Die genaue Anzahl dieser „Unterschreitungstage“ wurde zusammen mit dem Heizungsplaner für die bivalente Anlage definiert. Im vorliegenden Fall betrug die Bemessungstemperatur 9 °C, die mittlere Abwassertemperatur in der

Heizperiode liegt deutlich darüber (11,6 °C im Mittel von Anfang November bis Ende März).

Um das Problem des variierenden Fremdwasserabflusses rechnerisch in den Griff zu bekommen, wurde auch für die Ermittlung des Bemessungsabflusses eine statistische Analyse von Kläranlagenmesswerten vorgenommen. Ausgangspunkt waren die Auswertungen der Kläranlagenzuflüsse nach der Methode des gleitenden Minimums der Jahre 2004 bis 2008. Aus diesen wurden die Werte der Monate Dezember bis Februar herangezogen, in denen die hauptsächliche Heizleistung erbracht werden muss. Aus der so generierten Datenmenge wurde wieder derjenige Wert gewählt, der zu einem bestimmten Anteil der Fälle unterschritten wird. Der damit ermittelte Fremdwasserzuschlag wurde zusätzlich abgemindert, um zukünftige Maßnahmen zur Fremdwasserreduzierung zu berücksichtigen, und ergab so den für die Bemessung relevanten Fremdwasserzuschlag.

Der Schmutzwasserabfluss im Einzugsgebiet des RÜB Saarstraße wurde über den Trinkwasserverbrauch der angeschlossenen Einwohner hochgerechnet. Zusammen mit dem Fremdwasserzuschlag ergab sich der Bemessungswert für den mittleren Trockenwetterabfluss von 30 l/s (Nachtminimum: 20 l/s). Bei dieser Vorgehensweise wird implizit davon ausgegangen, dass der Fremdwasserzuschlag im Einzugsgebiet der Kläranlage gleich dem im Einzugsgebiet des RÜB Saarstraße ist. Diese Annahme konnte durch eine Abflussmessung verifiziert werden.

2.3 Auslegung der Wärmetauscher

Kern der Ausschreibung der Wärmetauscher war die Vorgabe der zentralen, abwasserseitigen Größen sowie an der Schnittstelle zur Wärmepumpe. Diese sind die Bemessungstemperatur des Abwassers, die Temperaturen im Vor- und Rücklauf des Zwischenkreislaufs, der Bemessungsabfluss und die Soll-Entzugsleistung der Wärmetauscher. Bei der Entzugsleistung war eine Abminderung des Wärmeübergangs um einen vorgegebenen Wert aufgrund von möglichen Sielhauteinflüssen von den Bietern zu berücksichtigen.

Wesentliche Aufgabe der Anbieter war somit die Bemessung der Wärmetauscherfläche mit den spezifischen Kenngrößen ihres Produkts (Wärmedurchgangskoeffizienten k , benetzter Umfang). Zugleich war es Teil der Angebotsprüfung des Ingenieurbüros, diese Angabe auf Plausibilität zu prüfen.

Die Firma Uhrig Kanaltechnik (Geisingen), die die Ausschreibung gewann, setzt für ihre Wärmetauscher einen Wärmedurchgangskoeffizienten von 0,90 kW/(m² × K) an. Die erforderliche Wärmetauscherfläche, die sich damit ergibt, beträgt 87 m². Diese Fläche konnte bei einem benetzten Umfang der Wärmetauscherelemente von 0,86 m auf insgesamt 101 m Länge zur Verfügung gestellt werden, die in drei Strängen im Becken installiert wurden (Abbildung 2).

2.4 Ablagerungsproblematik

Ablagerungen auf der Wärmetauscheroberfläche haben, wie auch die unvermeidbare Sielhaut, einen isolierenden Effekt und reduzieren somit die Leistung des Wärmetauschers. Im vorliegenden Fall wurde die Gefahr der Bildung von Ablagerungen als insgesamt sehr niedrig eingeschätzt, da

1. sich im ehemaligen Bestand bei gleichem Sohlgefälle noch nie Ablagerungen gebildet hatten,

2. das Profil der Wärmetauscherelemente eine Rinne für niedrige Abflüsse aufweist, sodass auch bei diesen die Schubspannung über den benetzten Umfang relativ hoch bleibt und
3. im Rahmen der Sanierung des Beckens in dessen Zulauf ein Geschiebeschacht neu angeordnet wurde, dessen explizite Aufgabe es ist, absetzbares Material aus dem Abwasserstrom zu entfernen.

Zudem bestehen bei dieser Anlage zwei gute Möglichkeiten, trotzdem auftretende Ablagerungen gegebenenfalls zu eliminieren:

1. Vom Betriebspersonal des Kanalnetzes können im Rahmen der sowieso anstehenden Routinearbeiten im Kanalnetz Spülungen manuell durchgeführt werden (hier kommt die gute Erreichbarkeit der Wärmetauscher im Becken zum Tragen).
2. Ein Schieber kann genutzt werden, der im Zulauf zum Becken bereits besteht. Dieser könnte mit geringem Aufwand zum Spülschieber aus-/umgebaut werden. Mit regelmäßigen Spülungen könnten nach [4] übrigens nicht nur Ablagerungen, sondern auch die Sielhaut wirksam bekämpft werden.

3 Heizzentrale

3.1 Wärmeverbrauch und -erzeugung

Die insgesamt zur Verfügung zu stellende Wärmemenge ergibt sich aus dem Wärmeverbrauch der versorgten Objekte und dem Wärmeverlust der Nahwärmeleitungen, die in Tabelle 1 zusammengestellt sind. Da die Wohngebäude zunächst wärmetechnisch saniert und die Warmwasserbereitungen sowie Gebäudeheizungen neu erstellt werden, wurde für diese Objekte mit prognostizierten Werten gearbeitet. Die Firma Harsch zeigte dabei Interesse, sämtliche ihrer Häuser in der betroffenen Straße an das Nahwärmenetz anzuschließen. Dieses systematische Vorgehen, erstens die Senkung des Energiebedarfs und zweitens die Nutzung von erneuerbaren Energien bzw. von Abwärme, kann als absolut vorbildlich hervorgehoben werden.

Das Konzept der Wärmeerzeugung sieht vor, dass das BHKW die Versorgung der Grundlast übernimmt. Reicht die von diesem zur Verfügung gestellte Wärmemenge nicht aus, wird die elektrische Wärmepumpe zugeschaltet – gespeist vom Strom, den das BHKW produziert. Bei darüber hinausgehendem Wärmebedarf der Wohnhäuser oder der Sporthalle wird der Gaskessel der Heizzentrale zugeschaltet. Der Spitzenbedarf des Gymnasiums wird dezentral über die dort bestehenden

Objekt	Wärmeverbrauch [kWh/a]
Wohngebäude ^{*)}	280 000
Melanchthon-Gymnasium	1 355 000
Sporthalle TV Bretten	140 000
Wärmeverlust Nahwärmeleitungen	70 000
Summe	1 845 000

^{*)} sieben Mehrfamilienhäuser und sechs Doppelhaushälften

Tabelle 1: Heizwärmebedarf inklusive Warmwasserbedarf der versorgten Objekte

Gaskessel gedeckt. Die insgesamt im Jahr benötigte Wärmemenge beträgt 1 845 000 kWh/a. Die Deckungsanteile der Wärmeerzeuger betragen dabei

- 32 % für das BHKW,
- 25 % für die Wärmepumpe und
- 43 % für den Gaskessel.

Der Vorteil des Einsatzes eines BHKW liegt darin, dass kein Strom benötigt wird und dass die Abwärme aus dem BHKW auf einem hohen Temperaturniveau (85 °C) anfällt. Mit dieser Abwärme können auch höhere Temperaturbedürfnisse (zum Beispiel für Warmwasser) gedeckt werden. Wenn die Wärmepumpe diese hohen Temperaturen nicht abdecken muss, kann sie eine höhere Jahresarbeitszahl erreichen.

3.2 Wärmeverteilung

Die Heizzentrale, die eigens für dieses Projekt erstellt wurde, konnte in unmittelbarer Nähe zu den Wärmetauschern, also noch auf dem Gelände des RÜB Saarstraße angeordnet werden (vgl. Abbildung 1). Die Wärmeerzeugung findet zentral dort statt, für die Wohnhäuser wie auch für das Gymnasium. Die Verteilung zu den Objekten wird über zwei neu erstellte Nahwärmenetze realisiert.

Die Wärmeverteilung geschieht somit über ein sogenanntes „warmes Nahwärmenetz“. Der offenkundige Nachteil dieser

Wärmeversorgung, der Wärmeverlust in den Wärmeverteilungsleitungen, hat sich in der Planung als weniger bedeutsam herausgestellt als die Vorteile: Die in den Leitungen zu pumpende Wassermenge ist aufgrund des höheren Temperaturniveaus geringer, und es muss nur eine einzige Zentrale zur Wärmeerzeugung gebaut werden.

3.3 CO₂-Bilanz

Im Rahmen der Machbarkeitsstudie, in der mehrere Varianten der Wärmeversorgung untersucht wurden, wurde auch eine CO₂-Bilanz dieser Varianten berechnet. Für die später umgesetzte Lösung mit Abwasserwärmenutzung ergibt sich gegenüber konventionellen Gaseinzelheizungen eine CO₂-Einsparung von 129 t/a oder rund 24 %. Die Berechnungen umfassen noch nicht die Versorgung der Sporthalle, die erst im Lauf der Entwurfsplanung in das Gesamtkonzept aufgenommen wurde. Die angegebenen Werte liegen damit, was die Einsparung betrifft, auf der sicheren Seite.

4 Kosten

Die Netto-Investitionskosten, gegliedert in die drei Hauptpositionen, betragen jeweils inklusive der Nebenkosten:

- | | | |
|-------------------|-----------|--------|
| ● Wärmeerzeugung | 310 000 € | (33 %) |
| ● Wärmeverteilung | 271 000 € | (29 %) |

Position	Jahreskosten [€/a]
Kapitalkosten	64 500
vermiedene Kapitalkosten durch Förderung und Anschluss	- 16 100
Betriebskosten	21 500
Erdgaskosten	80 500
Stromerlöse BHKW	- 23 800
Summe Jahreskosten	126 600
● spezifischer Wärmepreis inkl. Förderung	6,65 Cent/kWh
● (spezifischer Wärmepreis ohne Förderung)	(7,49 Cent/kWh)

Tabelle 2: Jahreskosten der Gesamtanlage

- Bauliches/Abwasserwärmetauscher 350 000 € (38 %)
- Insgesamt 931 000 € (100 %)

Positiv schlugen zwei Förderungen zu Buche: Das Umweltministerium Baden-Württemberg förderte die Wärmepumpe mit Unterstützung des Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung (EFRE) mit zusammen 40 950 €. Für das BHKW wurden 40 650 € über das Förderprogramm Klimaschutz Plus des gleichen Ministeriums bewilligt. Außerdem konnten Anschlusskosten für die Wohnhäuser eingespart werden, die sonst bei einer Erneuerung der Gasleitungen angefallen wären.

Für die Wirtschaftlichkeit entscheidend sind letztendlich die Jahreskosten, die sich aus den kapitalisierten Investitionskosten abzüglich Förderungen ergeben sowie aus den Betriebskosten, den Erdgaskosten und dem Stromerlös des BHKW. Diese sind in Tabelle 2 zusammengestellt. In der Summe ergeben sich damit Jahreskosten von 126 600 €/a. Der Wärmepreis beträgt 6,65 Cent pro kWh Wärmebedarf (ohne Berücksichtigung der Förderung 7,49 ct/kWh), was bereits bei heutigen Energiepreisen durchaus konkurrenzfähig zu einer Erdgasheizung ist. Der Vorteil wächst bei zukünftig steigenden Energiepreisen, wovon ausgegangen werden kann.

5 Fazit

Als Beispiel einer Anlage zur Abwasserwärmenutzung wurde das Projekt in Bretten (Baden-Württemberg) vorgestellt, dessen Probetrieb im Dezember 2009 startete. Das besondere dieser Anlage ist der Einbauort in der Schlangennrinne eines Regenüberlaufbeckens. Die Entzugsleistung der Wärmetauscher beträgt 120 kW, die über eine Fläche von 87 m² dem Abwasser entzogen werden. Unmittelbar neben dem Becken wurde die Heizzentrale errichtet, in der ein BHKW, die Wärmepumpe und ein Gaskessel als Wärmeerzeuger stehen. Zwei

Stränge „warmer Nahwärme“ verteilen die produzierte Wärme an die Nutzer: ein Gymnasium, eine Sporthalle und mehrere Wohnhäuser.

Literatur

- [1] E. A. Müller, J. A. Butz: Abwasserwärmenutzung in Deutschland – aktueller Stand und Ausblick, KA 2010, 57 (5), 437–442
- [2] E. A. Müller, F. Schmid, B. Kobel: *Heizen und Kühlen mit Abwasser – Ratgeber für Bauträger und Kommunen*, im Auftrag der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, Zürich/Osnabrück/Berlin, 2005 bzw. 2009
- [3] Merkblatt DWA-M 114: *Energie aus Abwasser – Wärme- und Lageenergie*, Hennef, 2009
- [4] O. Wanner, P. Delavy, J. Eugster, V. Panagiotidis, H. Siegrist: *Wärmerückgewinnung aus Abwassersystemen*, BFE-Projekt Nr. 44177, Schlussbericht, Dübendorf, 2004
- [5] *Machbarkeitsstudie „Wärme aus Abwasser“*, Erläuterungsbericht, Ingenieurbüro Klinger und Partner (Stuttgart) und Ingenieurbüro Schuler (Bietigheim-Bissingen), Stadtwerke Bretten, 2008
- [6] H. Klinger, S. Weber: Wärmetauscher im Kanal – theoretische Grundlagen, KA 2004, 51 (6), 608–612
- [7] E. A. Müller, B. Kobel, G. Levy, R. Moser et al: *Handbuch „Energie in ARA“*, im Auftrag von VSA und EnergieSchweiz, Zürich/Bern 2008 (Kapitel „Heizen und Kühlen mit Abwasser“ folgt 2010)
- [8] E. A. Müller, B. Kobel, K. Müller, J. Lambauer: *Untersuchung der Voraussetzungen für Projekte zur Wärmerückgewinnung aus dem Abwasser*, laufendes Forschungsprogramm im Auftrag des Umweltbundesamts, Zürich/Aachen/Bern/Stuttgart, Fertigstellung für 2010 geplant
- [9] *Anpassung einer Software zur Simulation der Abwassertemperatur auf Baden-Württembergische Verhältnisse und Anschubfinanzierung zur Reaktivierung eines bestehenden Abwasserwärmetauschers*, Forschungsprojekt der Universität Stuttgart (Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft), des Ingenieurbüros Klinger und Partner GmbH (Stuttgart) und des Steinbeis-Transferzentrums Technische Beratung an der Hochschule Esslingen, Förderung durch das Umweltministerium Baden-Württemberg

Autoren

Dr.-Ing. Jan A. Butz
Klinger und Partner Ingenieurbüro für Bauwesen
und Umwelttechnik GmbH
Friolzheimer Straße 3, 70499 Stuttgart

Dipl.-Geogr. Ernst A. Müller
Leiter Institut Energie in Infrastrukturanlagen
Geschäftsführer InfraWatt
Gessnerallee 38a
8001 Zürich, Schweiz

E-Mail: jan.butz@klinger-partner.de

