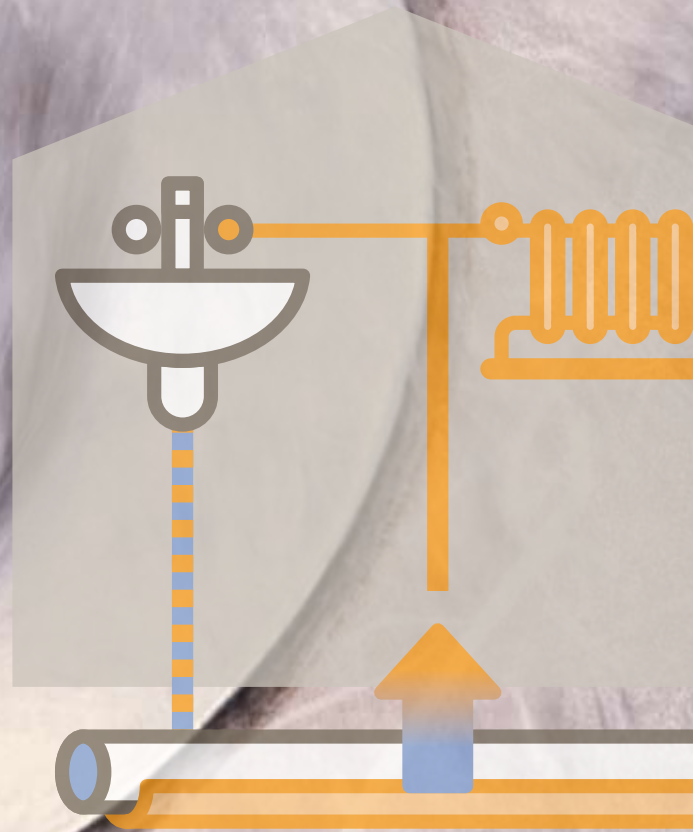


[www.berliner-netzwerk-e.de](http://www.berliner-netzwerk-e.de)



## Gebäudebezogene Nutzung von Abwasserwärme

## Aus Ideen Projekte machen

Das Berliner NetzwerkE bringt Energiedienstleister, Technologieunternehmen, aber auch Großanwender von Energie und Einrichtungen der Wissenschaft aus Berlin zu den Themen Erneuerbare Energie und Energieeffizienz an einen Tisch.

Die Plattform nutzt die unterschiedlichen Kompetenzen der Netzwerkpartner, um innovative Technologien bekannt zu machen und weiterzuentwickeln, neue Arbeitsplätze zu erschließen und damit den Energiestandort Berlin zu stärken.

Ziel der Netzwerkarbeit ist es, durch den Austausch von Erfahrungen gemeinsame Projektideen zu identifizieren und diese konkret umzusetzen. Zu diesem Zweck werden innerhalb des Netzwerks vielfältige Möglichkeiten zur Förderung und Anwendung innovativer Energietechnologien aufgezeigt.

In konkreten Projekten sollen innovative Lösungen zur Anwendung kommen. Themenschwerpunkte des Netzwerks liegen im Bereich Gebäudeleittechnik, Kraft-Wärme-(Kälte-)Kopplung, Solarthermie, Geothermie, städtische Windenergienutzung sowie Abwärme- und Biomassenutzung.

Das Berliner NetzwerkE wird mit finanziellen Mitteln der Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der regionalen Wirtschaftsstruktur“ unterstützt.

### Das Berliner NetzwerkE

- entwickelt Berliner Konzepte, Produkte und Dienstleistungen durch die Arbeit im Netzwerk weiter,
- startet konkrete Projekte mit innovativen Technologien und unterstützt auf diese Weise deren Anwendung und Vermarktung,
- zeigt den Partnerunternehmen Wege auf, Energie einzusparen, und
- ist ein offenes Netzwerk.

## Vorwort

### Klimaschutzziele verwirklichen!



Bis zum Jahr 2020 wollen wir in Berlin als unseren Beitrag zum Klimaschutz 4,3 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> weniger ausstoßen als noch im Jahr 1990. Das ist eine Reduzierung um 40 Prozent. Als Berliner Senat sind wir davon überzeugt, dass wir dieses ambitionierte Ziel nur erreichen können, wenn wir auch auf unterschiedliche Technologien setzen.

Gerade in einer Stadt, die komplexe Anforderungen an die Energieversorgung stellt, brauchen wir maßgeschneiderte Lösungen für ein breites Spektrum von Anwendungen.

Eine nachhaltige und dezentrale Energieversorgung aus erneuerbaren Energien gewinnt dabei immer weiter an Bedeutung. Die Senatsverwaltung für Wirtschaft hat es sich zur Aufgabe gemacht, das in Berlin vorhandene Potenzial – dazu gehören vor allem die vielen zukunftsorientierten Unternehmen und die breite Forschungslandschaft – noch besser zu nutzen. Das von uns unterstützte Berliner NetzwerkE ist ein wichtiger Baustein, um Kompetenzen zu bündeln. Es hat sich zum Ziel gesetzt, innovative Zukunftstechnologien bis zur Praxisreife weiterzuentwickeln und Leuchtturmprojekte umzusetzen. 15 Berliner Unternehmen haben sich zusammengetan. Sie tauschen Erfahrungen aus und verabreden untereinander gemeinsame Projekte zur effizienten Energienutzung und zum Einsatz erneuerbarer Energien.

Die vorliegende Broschüre porträtiert mit der gebäudeintegrierten Abwasserwärmenutzung einen Weg, Energie auf intelligente Weise zu gewinnen.

Viele solcher Beispiele können Berlin insgesamt voranbringen und die Stadt zu einem Vorbild in Deutschland und darüber hinaus werden lassen.

#### **Almuth Nehring-Venus**

Staatssekretärin in der Senatsverwaltung für Wirtschaft, Technologie und Frauen

### Einsparpotenziale durch Abwasserwärmenutzung realisieren



Wer eine umweltfreundliche und nachhaltige Energieversorgung sicherstellen will, der steht insbesondere in urbanen Ballungsgebieten vor einer großen Herausforderung. Maßnahmen zur effizienten Energienutzung oder zum Einsatz erneuerbarer Energien sind im Gebäudebestand ungleich komplizierter als im Neubau. Während im Neubau von Anfang an neue Technologien im Rahmen eines Gesamtkonzeptes Verwendung finden, müssen im Bestand die vorhandenen Strukturen berücksichtigt werden. Jedes Gebäude ist anders. Daher ist es wichtig, für jedes Gebäude den richtigen Lösungsansatz für die Absenkung von Energieverbrauch, Energiekosten und CO<sub>2</sub>-Ausstoß zu finden.

Berlin verfügt über einen Bestand von rund 1,9 Millionen Wohnungen in 310.000 Gebäuden. Die Neubauquote liegt bei unter einem Prozent pro Jahr. Gemeinsam suchen das Land Berlin und die im Berliner NetzwerkE zusammengesetzten Partner nach Wegen, Einsparpotenziale in Bestandsgebäuden zu verwirklichen. Eine Möglichkeit ist die Nutzung von Abwasserwärme. Mit Wärmetauschern und Wärmepumpen kann die im Abwasser gespeicherte Energie genutzt und der Einsatz fossiler Energieträger reduziert werden. Die gewonnene Energie dient zum Beispiel zum Heizen oder zur Warmwasserbereitung.

Die vorliegende Broschüre beschreibt einen Weg, wie das Land Berlin seine Klimaziele erreichen kann. Neben einer kurzen Einführung in das Thema zeigen wir auf, um welche Wärmemengen es sich handelt und welche Technologien auf dem Markt sind, um diese Wärme – zumindest teilweise – wieder nutzbar zu machen. Außerdem befasst sich die Broschüre mit praktischen Beispielen und zeigt Erfahrungen mit der Technologie auf.

#### **Michael Geißler**

Geschäftsführer der Berliner Energieagentur GmbH

# Inhalt

<b>Berliner Netzwerke</b>	<b>2</b>
<b>Vorwort</b>	<b>3</b>
<b>Abwasserwärmenutzung allgemein</b>	<b>5</b>
<b>Wärmequellen im Vergleich</b>	<b>6</b>
Temperaturbereiche verschiedener Wärmequellen	6
Temperaturverläufe im Abwasser eines Wohnhochhauses	7
<b>Wärmeübertrager im Gebäude</b>	<b>10</b>
Halbschalen-Absorber	10
Druckrohrwärmeübertrager	11
AquaCond	11
Flexibler Wärmeübertrager	12
Wärmeübertrager mit offener Strömung	12
FEKA-Modul	13
Aqua-Re-Energie-Trichter®	13
Wärmeübertrager für Einzelduschen	14
<b>Pufferspeicher und Wärmepumpen</b>	<b>15</b>
Notwendigkeit und Dimensionierung	15
<b>Beispiele der gebäudebezogenen Abwasserwärmenutzung in Berlin</b>	<b>16</b>
Pilotanlage in einem Wohnhochhaus (HOWOGE)	16
Wärmerückgewinnung im Mehrfamilienhaus	18
Betriebshof mit Abwasserwärmerückgewinnung (BSR)	20
<b>Quellen</b>	<b>22</b>
<b>Impressum / Notizen</b>	<b>23</b>

## Abwasserwärmenutzung allgemein

Das Abwasser trägt, genau wie die Abluft, Energie aus dem Gebäude. Je nach Massenstrom und Temperaturniveau kann sich hier ein „Energieleck“ befinden, das zwingend Abhilfe erforderlich macht. Bei der Belüftung ist es bereits die Regel, eine Wärmerückgewinnung für den das Haus verlassenden Luftstrom einzuplanen. Jetzt rückt auch das Abwasser als bisher nahezu ungenutzte Energiequelle immer mehr in den Fokus des öffentlichen Interesses.

In der Praxis lässt sich die Wärmerückgewinnung aus Abwasser in Bezug auf den Ort der Energieentnahme in drei Kategorien unterteilen (vgl. Abbildung 1): Im Gebäude selbst, in der Kanalisation oder auf bzw. nach der Kläranlage [Mue 2005, S. 24; DWA 2009, S. 14].

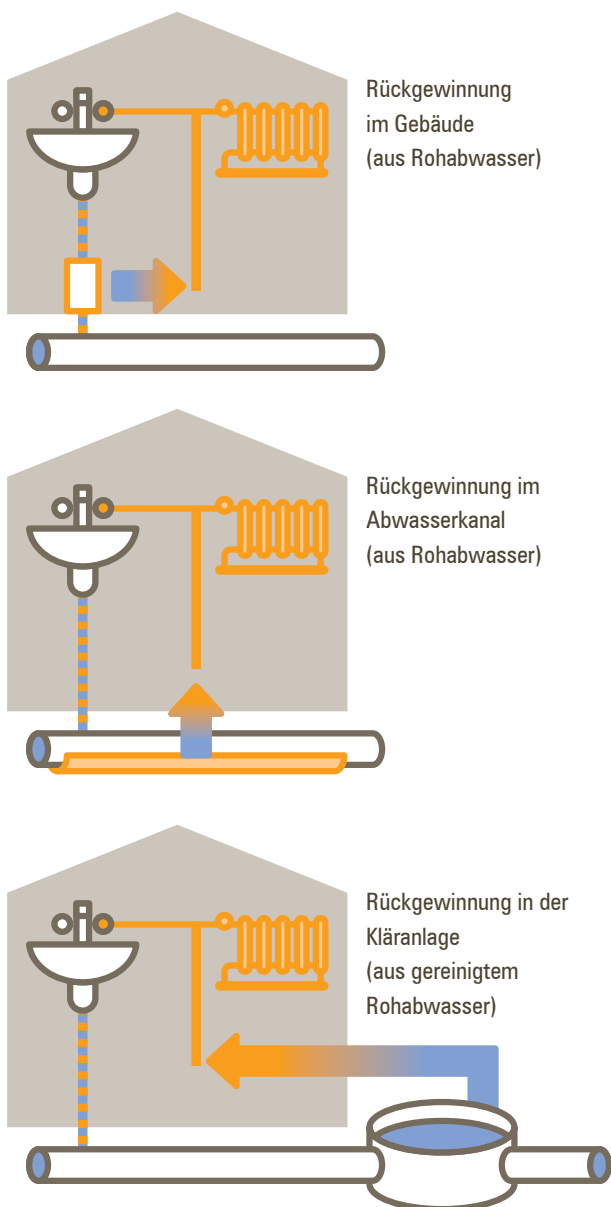


Abbildung 1: Orte der Energieentnahme aus Abwasser [Mue 2005]

**Innerhalb des Gebäudes** kann die Abwasserwärme noch vor der Einleitung des Abwassers in das öffentliche Kanalisationsnetz zurückgewonnen werden.

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> <li>• relativ hohe Temperaturen des Abwassers</li> <li>• Nähe zur Wärmenutzungsanlage</li> <li>• netzunabhängiger Betrieb (Betreiber = Verbraucher)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• geringe Abwassermengen</li> <li>• große tageszeitliche Schwankungen</li> <li>• evtl. störende Inhaltsstoffe</li> </ul>

**In der Kanalisation** kann die Abwasserwärme in größeren Abwasserkanälen oder Abwasser-Druckleitungen gewonnen werden.

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperaturen auf relativ konstantem Niveau oberhalb von Umweltwärme</li> <li>• ausreichend und stetig vorhandene Abwassermengen</li> <li>• Kombinationsmöglichkeiten von großen Verbrauchern mit nahe gelegenen Abwasserkanälen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperaturen geringer als im Gebäude</li> <li>• Abhängigkeit von den Netzbetreibern</li> <li>• Einbauten im (öffentlichen) Abwasserkanal notwendig</li> </ul>

**Am Standort Kläranlage** erfolgt die Abwasserwärmerückgewinnung in der Regel aus gereinigtem Abwasser im Ablauf der Kläranlage.

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wärmeentnahme einfacher (gereinigtes Abwasser)</li> <li>• großes Wärmeangebot</li> <li>• keine Beeinflussung der Abwasserreinigung</li> <li>• Abwasserabkühlung günstig für Gewässer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperaturen geringer als im Gebäude</li> <li>• große Entfernungen zwischen Wärmeerzeugung und Wärmeabnehmern</li> <li>• Abhängigkeit vom Anlagenbetreiber</li> </ul>

Gemäß Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. umfasst das theoretische Abwasserwärmepotenzial die Beheizung von 10 % aller Gebäude [DWA, 2009].

## Wärmequellen im Vergleich

Abwasserwärme kann durch den Einsatz von Wärmepumpen nutzbar gemacht werden, um auf diese Weise Primärenergie bei der Wärmebereitstellung einzusparen. Dabei wird unter Einsatz von Strom oder Gas als Hilfsenergie die Temperatur auf ein nutzbares Niveau angehoben. Man spricht hier von der Nutzung von Niedertemperaturwärme. Die Wärme kann z. B. zur Gebäudeheizung oder zur Trinkwarmwasserbereitung genutzt werden. In vielen Fällen wird auch lediglich eine Vorerwärmung realisiert. Das Abwasser muss sich hier dem Vergleich mit anderen (Niedertemperatur-)Wärmequellen stellen. Bekannt ist die Nutzung natürlicher Wärmequellen wie Erdreich, Grund- und Oberflächenwasser sowie Umgebungsluft.

Ein wichtiges Vergleichskriterium solcher Wärmequellen ist das Temperaturniveau. Je geringer die Differenz zwischen Ausgangstemperatur und der benötigten Temperatur, desto weniger Hilfsenergie muss von der Wärmepumpe aufgewendet werden.

Um hohe Erträge aus den Wärmequellen zu erwirtschaften, ist insbesondere die Verfügbarkeit zu berücksichtigen. Dazu gehören die Speicherfähigkeit bzw. die Wärmekapazität und die Gleichzeitigkeit von Wärmeangebot und Wärmebedarf. Außerdem müssen auch die Erschließung der Wärmequelle und die Wartung des Systems dem Vergleich standhalten. Hier können evtl. Schwierigkeiten chemischer oder physikalischer Art Kosten bei der Umsetzung verursachen (z. B. Luftverschmutzungen, Altlasten, Salze, spezifische Gegebenheiten der Erdschichten). Und nicht zuletzt sollten auch die ökologischen Nebenwirkungen der Systeme bei der Herstellung und im Betrieb verglichen werden.

### Kriterien für Wärmequellen nach [Joos 2004]

- Temperaturniveau
- Verfügbarkeit (Wärmespeicherfähigkeit, Regeneration, Übereinstimmung von Wärmebedarf und -angebot)
- Erschließungskosten (Aufwand, Platzbedarf, Verbrauchernähe)
- Wartungsaufwand
- stoffliche Schwierigkeiten
- ökologische Auswirkungen

## Temperaturbereiche verschiedener Wärmequellen

Der Temperatur als wichtigem Kriterium wird besondere Aufmerksamkeit gewidmet. In der folgenden Tabelle sind Temperaturbereiche verschiedener Wärmequellen, die für die Wärmeversorgung mittels Wärmepumpe genutzt werden, im Vergleich dargestellt.

Wärmequellen (in der Heizperiode)		
Bereich		Temp. (°C)
Erdreich	horizontal indirekt	-5 bis +15
	vertikal indirekt	-2 bis +10
	Energiepfahl Grabenkollektor	-2 bis +10
Wasser	Grundwasser	+8 bis +15
	Binnen- und Fließgewässer	-2 bis +15
	Meerwasser in 25 m Tiefe	+5 bis +8
Außenluft		-25 bis +15
Abwasser	im Gebäude (Wohnhaus)	+15 bis +25
	Kanalisation/ Kläranlage	+10 bis +15
	industrielles Abwasser	bis 60

Tabelle 1: Temperaturen verschiedener Wärmequellen erweitert nach [BAU 2007]

Es wird deutlich, dass Abwasser in der Regel das ganze Jahr hindurch über ein relativ konstantes Mindesttemperaturniveau verfügt. Daher stellt es eine sinnvolle und in Betracht zu ziehende Option für eine effiziente Wärmegegewinnung dar [DWA 2009, S. 16]. Selbst bei steigendem Wärmebedarf im Winter hat Abwasser – verglichen mit den oben genannten natürlichen Wärmequellen – relativ hohe Temperaturen zu bieten.

Im Hinblick auf die energetische Nutzung von Abwasser kann grundsätzlich zwischen industriellen und häuslichen Abwässern unterschieden werden. Aufgrund der Anteile an Prozess- oder auch Warmwasser weist Abwasser eine verhältnismäßig hohe Temperatur auf. Auch im Winter liegen die Temperaturen des Abwassers in der Regel zwischen 10 °C und 15 °C in den Kanalisationsrohren oder in der Kläranlage [DWA 2009, S. 3]. Industrielle Abwässer können

durchschnittliche Jahrestemperaturen von 40 °C erreichen [Hei We 2006, S. 4]. Das Schweizer Bundesamt für Energie spricht von Temperaturen in Industrieabwässern von bis zu 60 °C [Kunz 2008, S. 33].

Zu Abwassertemperaturen in Hausanschlussleitungen gibt es wenige Erfahrungen. Die Temperaturen liegen sicher deutlich höher als in der kommunalen Kanalisation. Nachteilig können sich die geringeren Durchflussmengen und deren größere Schwankungen auswirken. Um Anhaltspunkte für Potenziale aus Wohnhäusern zu gewinnen, wurden die Abwassertemperaturen eines Wohnhochhauses in Berlin ausgewertet.

### Temperaturverläufe im Abwasser eines Wohnhochhauses

In einem Doppelhochhaus der Berliner Wohnungsbaugesellschaft HOWOGE mit ca. 300 Wohneinheiten in Berlin-Hohenschönhausen wird seit Dezember 2008 von der HOWOGE Wärme GmbH eine Abwasserwärmenutzungsanlage betrieben. Aus zwei Abwassersammelleitungen wird Wärme zurückgewonnen und mittels einer Wärmepumpe (8 kW) zur Trinkwasservorwärmung nutzbar gemacht.

Zur Bewertung der Anlage werden verschiedene Messwerte kontinuierlich erfasst, unter anderem auch die Abwassertemperaturen. Die Temperatur wird jeweils im Zu- und Ablauf der beiden Abwassersammelleitungen mittels Schleppfühler gemessen. Im Folgenden werden für die Erstellung repräsentativer Temperaturganglinien nur die Abwassertemperaturen des Zulaufs, d. h. vor der Wärmeentnahme, über den Betrachtungszeitraum vom 21.02.2009 bis 20.02.2010 genutzt.

Die Temperaturganglinien wurden nach den Kriterien Werktag und Sonntag sowie Übergangs-, Sommer- und Winterzeit in insgesamt sechs Kategorien unterteilt. Die ermittelten Temperaturganglinien repräsentieren dabei den typischen Verlauf der Abwassertemperaturen aller Tage der jeweiligen Typkategorie. In der Tabelle 1 ist die Systematik der zugrunde gelegten Typkategorien<sup>1</sup> dargestellt.

Für die Ermittlung der Tages-Temperaturganglinien wurde zunächst für die jeweilige Typkategorie der Mittelwert der Abwassertemperaturen zu jedem Messzeitpunkt aller zugeordneten Tage gebildet. In der Regel wird pro Minute ein Messwert erfasst, sodass pro Tag 1.440 Messzeitpunkte bzw. Temperaturmesswerte vorliegen. Nach der Ermittlung der Temperaturmittelwerte wurde der gleitende Durchschnitt

Systematik der Typkategorien		
	Werktag W	Sonntag So
Sommer ( $T > 15\text{ °C}$ )	SW	SSo
Übergang ( $5\text{ °C} \leq T \leq 15\text{ °C}$ )	ÜW	ÜSo
Winter ( $T < 5\text{ °C}$ )	WW	WSo

Tabelle 2: Systematik der Typkategorien für Abwasser-Temperaturganglinien

mit einer Bandweite von jeweils 20 Messzeitpunkten gebildet. In beiden Abwassersammelleitungen des betrachteten Objektes ergaben sich sehr ähnliche Verläufe, sodass hier nur die Abwassertemperaturen eines der beiden Häuser mit etwa 160 Wohneinheiten und einem mittleren Abwasseraufkommen von etwa 28 m<sup>3</sup> pro Tag dargestellt werden.<sup>2</sup> Die folgenden zwei Diagramme zeigen die Tages-Temperaturganglinien für Werktage und Sonntage zu den verschiedenen Jahreszeiten.

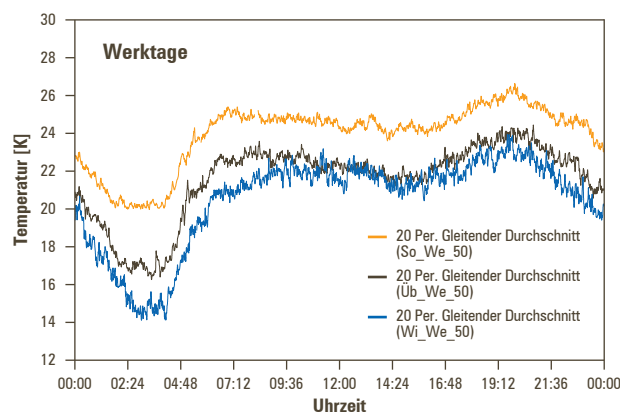


Abbildung 2: Temperaturganglinien der Typkategorien SW, ÜW und WW

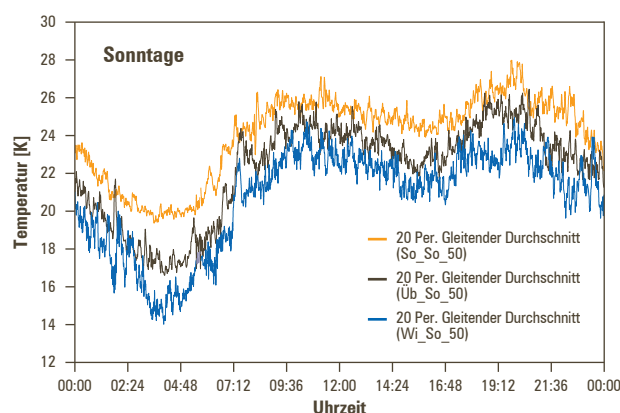


Abbildung 3: Temperaturganglinien der Typkategorien SSo, ÜSo und WSo

<sup>1</sup> Eine Typkategorie bezeichnet eine nach festgelegten Kriterien zusammengehörige Art von Tagen (VDI 4655, S. 6). Die Unterteilung in die verschiedenen Jahreszeiten wurde mittels der Außenluft-Tagesmitteltemperatur vorgenommen. Für die Einteilung nach Werk- und Sonntagen wurde die kalendarische Zuordnung aus dem Betrachtungszeitraum herangezogen. Dabei gelten auch alle gesetzlichen Feiertage als Sonntage.

<sup>2</sup> In dem zweiten Haus sind etwa 135 Wohneinheiten mit einem mittleren Abwasseraufkommen von etwa 24 m<sup>3</sup> pro Tag vorhanden.

Beim Vergleich der Temperaturganglinien der unterschiedlichen Typkategorien wird deutlich, dass sich während der verschiedenen Jahreszeiten über einen Tag hinweg sehr ähnliche Verläufe ergeben. Als jahreszeitlich spezifische Ausprägung kann lediglich das Temperaturniveau in den Vordergrund gestellt werden. An Werktagen sind die Abwassertemperaturen im Sommer um durchschnittlich etwa 2,5 K bzw. 3,5 K höher als in der Übergangs- bzw. Winterzeit. An Sonntagen ergibt sich ein Temperaturunterschied von etwa 1,5 K bzw. 3 K zwischen Sommer und Übergangszeit bzw. Winter. Dieser deutliche Temperaturunterschied ist in erster Linie auf die jahreszeitspezifische Trinkwassertemperatur zurückzuführen. Diese wirkt sich auch auf die Abwassertemperatur aus, zumal sie sich aus etwa einem Drittel Warmtrinkwasser und zwei Drittel Kalttrinkwasser zusammensetzt. Über die ermittelten Temperaturganglinien kann allgemein abgeleitet werden, dass nachts die niedrigsten Abwassertemperaturen vorliegen, während vormittags die Temperaturen rapide ansteigen, nachmittags wieder leicht abflachen und abends ihren durchschnittlich höchsten Wert erreichen.

Der Temperaturverlauf an Werktagen unterscheidet sich vom Verlauf an Sonntagen insbesondere durch die Verschiebung der tageszeitlichen Schwankungen. Dies ist im folgenden Diagramm deutlich zu erkennen, das die Temperaturganglinien von Werktagen und Sonntagen im Sommer wiedergibt.

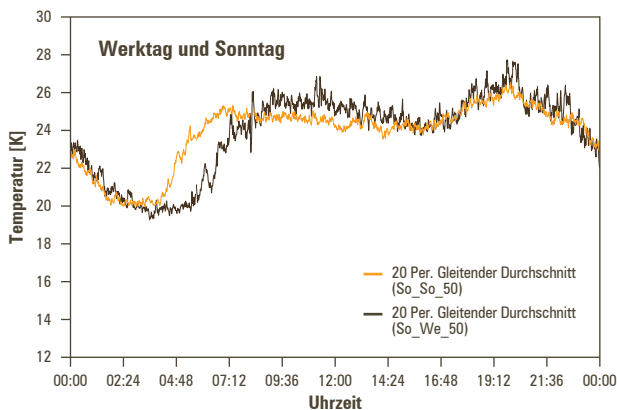


Abbildung 4: Temperaturganglinien der Typkategorien SW und SSo

Während an Werktagen die vormittäglichen Höchsttemperaturen zwischen 7 Uhr und 8 Uhr erreicht werden, stellt sich dieser Vormittags-Peak an Sonntagen erst zwischen 9 Uhr und 12 Uhr ein. Abends verhalten sich die Schwankungen wieder sehr ähnlich.

Insgesamt wurden stark schwankende Abwassertemperaturen im Bereich zwischen 8 °C und 52 °C festgestellt. Dabei sind die Extremtemperaturen absolute Einzelfälle. Die mittlere Abwassertemperatur liegt im Sommer bei etwa 24 °C, in der Übergangszeit bei etwa 21,5 °C, im Winter bei etwa 20,5 °C und über das ganze Jahr betrachtet bei etwa 22 °C.

Im folgenden Diagramm ist die Jahresdauerlinie der Abwassertemperaturen dargestellt.

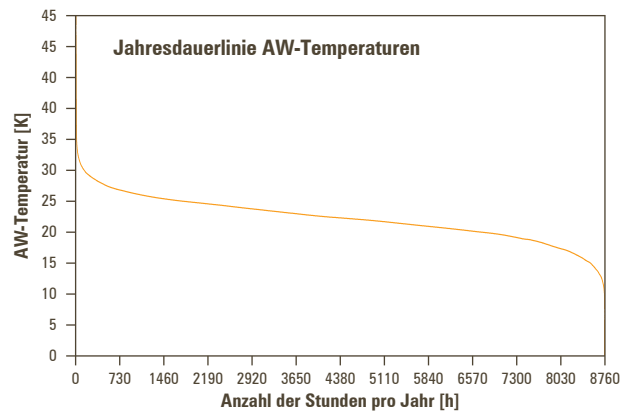


Abbildung 5: Jahresdauerlinie der Abwassertemperaturen

Anhand dieser Jahresdauerlinie ist ein stabiler Temperaturbereich zwischen 12 °C und 35 °C zu erkennen. Etwa 97 % der Zeit liegen die Abwassertemperaturen bei mindestens 15 °C und etwa 75 % des ganzen Jahres bei mindestens 20 °C.

### Volumenstrom

Um eine Aussage über die zur Verfügung stehende Leistung zu treffen, ist im Zusammenhang mit der Temperatur noch der Volumenstrom wichtig. Dieser wurde nur kumulativ erfasst (durchschnittlich 28 m<sup>3</sup>/Tag bei 160 Wohneinheiten). Eine Verteilung des Volumenstroms auf die verschiedenen Tageszeiten kann annäherungsweise über die Temperaturdifferenz vor und nach dem Wärmeübertrager bestimmt werden. Ist die Temperaturdifferenz groß, weist das auf einen kleinen Volumenstrom hin, da eine kleine Masse Wasser schneller abkühlt als eine große Masse Wasser, der die gleiche Menge Wärme entzogen wird.

Im folgenden Diagramm sind die Abwassertemperaturen der Kategorie WW und die entsprechende Abwasserabkühlung nach der Wärmeentnahme dargestellt. Die durchschnittliche Abkühlung des Abwassers beträgt etwa 2 K. Es ist auch ein Zusammenhang der Temperaturdifferenz mit dem Temperaturniveau des Abwassers erkennbar, das sich analog zu dessen Verlauf verhält. Zu Tageszeiten, in denen niedrige Abwassertemperaturen herrschen, liegen größere Temperaturdifferenzen (also geringere Volumenströme) vor als zu Zeiten mit hohen Abwassertemperaturen.

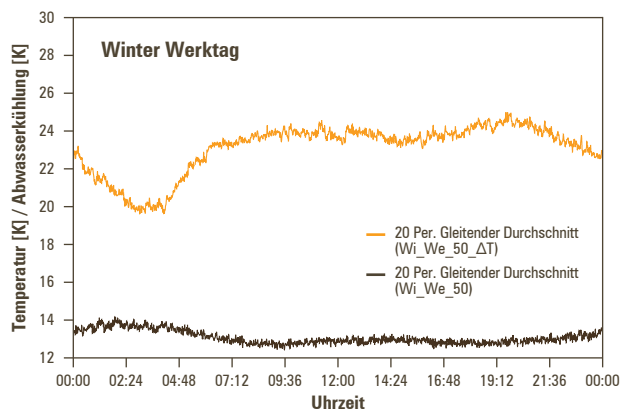


Abbildung 6: Abwassertemperaturen und Abkühlung des Abwassers durch den Wärmetauscher der Kategorie WW im Vergleich

Das folgende Diagramm zeigt die Abkühlung durch den Wärmeübertrager über den Tagesverlauf etwas genauer und stellt auch die Streubreite der zugrunde liegenden Werte dar.

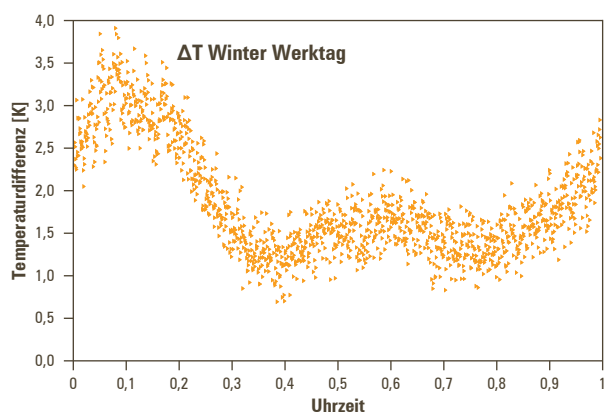


Abbildung 7: Temperaturdifferenz vor und nach dem Wärmeübertrager

Fazit der Temperaturmessungen ist, dass sich sehr konstante Temperaturwerte ergeben. In diesem Fall (160 Wohneinheiten) ergibt sich tagsüber ein relativ gleichmäßiger Abwasservolumenstrom. Nachts ist zwischen 0 Uhr und 5 Uhr ein stark reduzierter Volumenstrom zu erkennen.

Messungen in einem Wohnhausabfluss eines weiteren Gebäudes mit 20 Wohneinheiten zeigen sehr ähnliche Verläufe mit etwas größeren Schwankungsbreiten. Hier wurden bisher keine statistischen Auswertungen vorgenommen, sodass auf diese Messungen hier nicht weiter eingegangen wird.

Bei der Auswahl des Wärmeübertragersystems für den speziellen Fall sollte insbesondere die Konstanz des Volumenstroms berücksichtigt werden. Hier bieten verschiedene Modelle die Möglichkeit, durch Zwischenspeicherung auch die Energie aus Abwasser mit stark schwankenden Volumenströmen zu nutzen.

Die für die Wärmerückgewinnung zur Verfügung stehende Energie setzt sich aus der schon im Trinkwasser vorhandenen Wärme (Temperaturniveau ca. 10 °C) und aus der für die Erhitzung des warmen Trinkwassers zugeführten Wärme zusammen. Da jedoch keine Abkühlung unter 10 °C erfolgt, beziehen sich die Angaben des Wirkungsgrads für die Wärmerückgewinnung in der Regel nur auf die zugeführte Wärmemenge.

Aufgrund der gesamten gezapften Warmwassermenge im betrachteten Hochhaus ergibt sich ein durchschnittlicher Warmwasserbedarf (60 °C) von 55 Litern je Wohneinheit (WE). Das entspricht einer täglichen Wärmemenge von ca. 3 kWh/WE. Der Rückgewinnungswirkungsgrad ist abhängig vom Volumenstrom und der Verweildauer (bzw. der Wärmeübertragerlänge) sowie von der Wärmeleitfähigkeit des Wärmeübertragers. Deshalb wird bei den Systemen in der Regel nur ein Wirkungsgrad angegeben, wenn die Randbedingungen klar sind. Ansonsten müssen den technischen Datenblättern die Wärmeübertragereigenschaften entnommen werden.

## Wärmeübertrager im Gebäude

In diesem Kapitel werden verschiedene Systeme vorgestellt, um im Bereich vor der öffentlichen Kanalisation – also „gebäudebezogen“ – dem Abwasser Wärme zu entziehen.

Die nachfolgende Vorstellung von Wärmeübertragertypen ist das Ergebnis einer Recherche. Sie stellt keine Empfehlung dar und erhebt auch keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Bei einigen Wärmeübertragern werden Grau- und Schwarzwasser getrennt betrachtet, deshalb hier eine kurze Begriffserklärung:

- Grauwasser: fäkalienfreie Haushaltsabwässer (Dusche, Bad, Waschbecken, Waschmaschine) – in der Regel ohne Küchenabwässer, da dort oft höhere Belastungen vorkommen
- Schwarzwasser: Toilettenabwasser

### Halbschalen-Absorber

Der Doppelmantelwärmeübertrager („Halbschalen-Absorber“) aus Kupfer wird von außen an (bestehende) Abwassersammelleitungen (SML-Gussrohr) angebracht. Die Wärmeübertragerelemente haben jeweils eine Länge von 1 m. Die Abwasserleitungen werden mit je zweien der speziell gefertigten Halbschalen-Absorber mittels Wärmeleitpaste und Rohrschellen außen bündig umhüllt, um einen größtmöglichen Wärmeentzug zu erzielen. Auf diese Weise kann auch die Kondensationswärme des in der Abwasserleitung verdunsteten Abwassers genutzt werden. Weiterhin wird durch die Leitfähigkeit der SML-Gussrohre die Wärme über die ganze Oberfläche der Rohre bereitgestellt. Um Wärmeverluste am Doppelmantelwärmeübertrager zu verringern, gehören angepasste, Wasser abweisende Dämmelemente aus PUR-Schaum zu dem System.

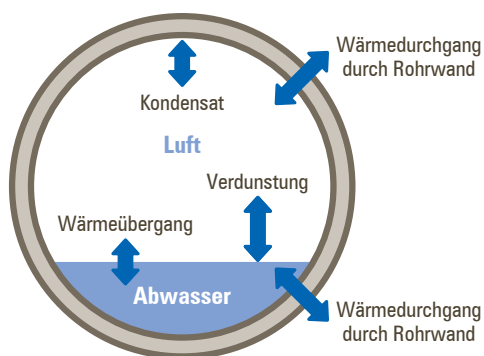


Abbildung 8: Wärmeaustauschprozess im Abwasserrohr [Buri und Kobel 2005]

Den Doppelmantelwärmeübertrager gibt es bisher für Abwasserrohre mit einer Nennweite von DN 150. Er kann an bestehenden Anlagen ohne eine Öffnung der Abwasserrohre montiert werden. Das Abwassersystem kann aber auch für den Einsatz des Wärmeübertragers optimiert werden, indem z. B. der untere Abschnitt gebündelter Fallrohrleitungen durch ein Register mit horizontalen Leitungen ersetzt wird. Insbesondere bei einer bevorstehenden Sanierung des Abwasserentsorgungssystems in einem Gebäude können die Abwasserleitungen an dieses Wärmeübertragungssystem bestmöglich angepasst werden.



Foto 1: Wärmeübertragungsregister zum Einsatz in Sammelleitungen

Der hier vorgestellte Absorber sowie das Register wurden von der PEWO Energietechnik GmbH zusammen mit dem Ingenieurbüro Lang entwickelt.

## Druckrohrwärmeübertrager

Speziell für Prozessabwässer aus der Industrie gibt es einen Druckrohrwärmeübertrager. Der aus einer sehr wärmeleitfähigen (25 – 29 W/mK) Edelstahllegierung bestehende Wärmeübertrager steht z. Z. für Abwasserrohre mit Nennweiten von DN 200 bis DN 2000 zur Verfügung.



Foto 2: Abwasserdruckrohrwärmeübertrager

Hier wird die benötigte Länge des Druckrohres durch den Wärmeübertrager ersetzt. In der Doppelwand des Druckrohrwärmeübertragers kann nun Wasser im Gegenstrom die Wärme des Abwassers aufnehmen. Beispielsweise wird die Wärme von 40 °C warmem Prozessabwasser aus der Autoindustrie durch den Wärmeübertrager für den weiteren Einsatz zurückgewonnen.

Der hier beschriebene und abgebildete Wärmeübertrager wurde von der Firma Rabtherm entwickelt.

## AquaCond

Das Gerät AquaCond dient der Wärmerückgewinnung aus Abwässern beispielsweise aus Schwimmbädern, Wäschereien, Großküchen etc. Das zuvor von groben Verunreinigungen gefilterte Abwasser durchläuft in diesem Gerät einen zweistufigen Prozess: Zunächst durchströmt es einen Doppelrohrwärmeübertrager aus einer korrosionsbeständigen Kupfer-Nickel-Legierung, in dem es einen Großteil der Wärme direkt an das Frischwasser abgibt. Im nächsten Schritt wird dem Abwasser über die integrierte Wärmepumpe zusätzliche Wärme entzogen, wobei ein Einfrieren des Abwassers durch die integrierte Regelung verhindert wird. Die im zweiten Schritt gewonnene Wärme wird durch die Wärmepumpe auf das gewünschte Temperaturniveau gebracht und dient der weiteren Erwärmung des Frischwassers. Bei schmutzbelastetem Abwasser verfügt die Wärmerückgewinnungsanlage über eine zusätzliche automatische Reinigung. Hierzu werden sogenannte Reinigungskörper verwendet, die in regelmäßigen Abständen mittels Umkehrung der Strömungsrichtung des Abwassers durch die Wärmeübertrager gedrückt werden (vgl. Abbildung 9). So werden Ablagerungen an der Wärmeübertrageroberfläche auf der Abwasserseite mithilfe der Reinigungskörper entfernt und damit eine Verminderung der Wärmeübertragerleistung aufgrund von Verschmutzungen auf dessen Oberflächen gering gehalten.

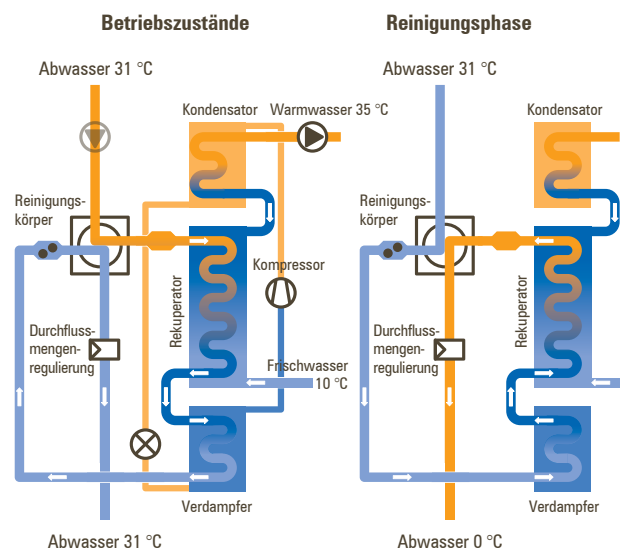


Abbildung 9: Funktionsschema des AquaCond mit Reinigungsphase<sup>3</sup>

Für die Integration des Wärmeübertragers finden Sie noch ein Einsatzbeispiel weiter unten.

Das hier vorgestellte Gerät wurde von der Firma menerga [men 2010] entwickelt.

<sup>3</sup> aus [http://katalogi.menerga.lv/Menerga\\_Tehniskie\\_Katalogi/Notekudenu\\_siltuma\\_atgusanas\\_iekartas/43-Tips\\_AquaCond/Menerga\\_AquaCond\\_Type-43\\_Techn\\_Kat\\_DE.pdf](http://katalogi.menerga.lv/Menerga_Tehniskie_Katalogi/Notekudenu_siltuma_atgusanas_iekartas/43-Tips_AquaCond/Menerga_AquaCond_Type-43_Techn_Kat_DE.pdf)

## Flexibler Wärmeübertrager

Der flexible Wärmeübertrager wurde insbesondere für stark verunreinigte, feststoffbelastete und aggressive Medien bzw. Abwässer entwickelt. Die Wärmeübertragungselemente kann man sich wie lang gestreckte Wasserpflanzen in Fließgewässern vorstellen. So können sie sich den Strömungsverhältnissen anpassen, großen Verunreinigungen ausweichen und Verstopfungserscheinungen entgegenwirken sowie die Bildung von Belägen hemmen. Sie sind einseitig fixiert – an diesem Punkt ist auch der Vor- und Rücklaufverteiler angebracht. Bei den Abwässern können Verunreinigungen durch Feststoffe, Kristalle oder Fasern bis hin zur Gülle vorliegen, wie es in der Regel in industriellen und landwirtschaftlichen Produktionsprozessen der Fall ist.

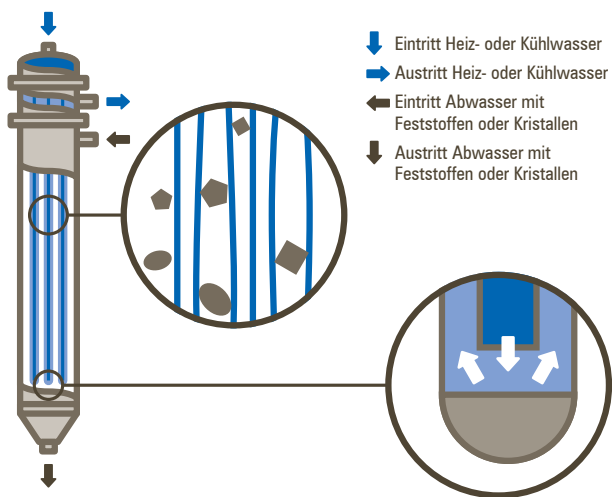


Abbildung 10: Prinzipskizze des flexiblen Wärmeübertragers [Cal 2009]

Der flexible Wärmeübertrager hat aufgrund der eingesetzten Werkstoffe (z. B. Polyethylen oder Polyvinylidenfluorid) eine hohe Beständigkeit gegenüber aggressiven und korrosionsfördernden Medien.

Die relativ geringe Wärmeleitfähigkeit der Kunststoffrohre wird durch viele dünnwandige Rohre mit kleinem Außendurchmesser kompensiert. Die sich daraus ergebende große Wärmeübertragungsfläche ermöglicht dem Wärmeübertrager eine relativ hohe Entzugsleistung.

Für die Wartung gibt es die Möglichkeit der einfachen Demontage des flexiblen Rohrbündels, um eine Reinigung mit Druckwasser, Dampf oder auf chemische Weise durchzuführen. Durch das Pendeln der frei beweglichen Kunststoffübertragungselemente ergibt sich jedoch auch ein Selbstreinigungseffekt.

Der hier vorgestellte flexible Wärmeübertrager wurde vom Ingenieurbüro Lang (Berlin) entwickelt und wird von der Firma Calorplast [Cal 2009] hergestellt.

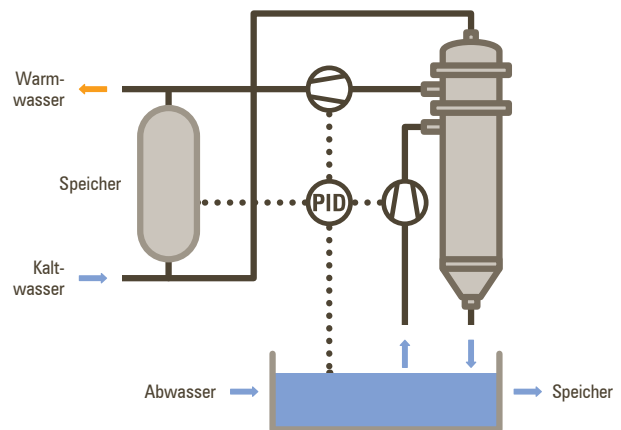


Abbildung 11: Schaltungsbeispiel flexibler Wärmeübertrager [Cal 2009]

## Wärmeübertrager mit offener Strömung

Die offenen Wärmeübertrager zeichnen sich dadurch aus, dass das Abwasser auf freier Oberfläche über eine Wärmeübertragerplatte strömt und die Wärme an die darunter verlaufenden Frischwasserleitungen abgibt. Die Anlagen sind in der Regel aus rostfreiem Edelstahl. Die Bauweise begünstigt Verwirbelungen zur Optimierung des Wärmeübergangs und zur Selbstreinigung der Fließrinne. Auch grobe Verunreinigungen des Abwassers durch Fasern, Flusen (z. B. bei Wäschereien, Fabriken), Kleinstpartikel oder größere mechanische Teile (z. B. Obstkerne beim Maischen in der Destillerie) sollen kein Hindernis sein. Wenn sich dennoch einmal Ablagerungen innerhalb des Wärmeübertragers bilden, kann während des laufenden Betriebes gereinigt werden.

Von der Firma Fercher sind offene Wärmeübertrager sowohl für einzelne Duschen erhältlich wie auch für Industrieanlagen mit stündlichen Abwasserdurchflüssen von bis zu 120 m<sup>3</sup> [Fer 2010].

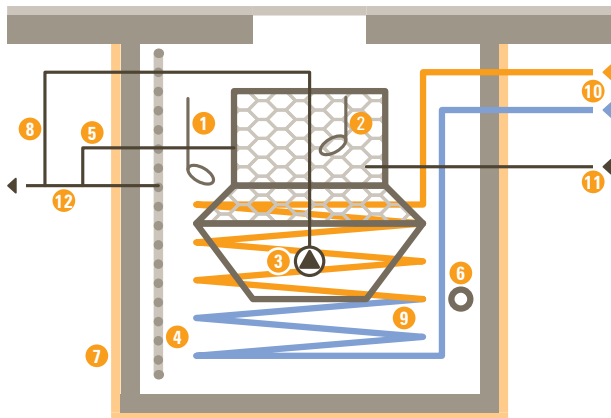


Foto 3: Schmutzwasserwärmeübertrager

## FEKA-Modul

Das FEKA-System besteht aus Wärmepumpe, Steuerung und Filter/Wärmtauscher (FEKA-Modul). Hier findet der Wärmeaustausch nicht direkt im Abflussrohr statt, sondern in einem zwischengeschalteten Behälter. Der Rohrbündel-Wärmeübertrager wird in einen speziell errichteten Schacht eingebaut, in dem das Abwasser gesammelt wird. Vor der Zuleitung in den Schacht wird das Abwasser zunächst gefiltert. Dabei werden Fäkal- sowie grobe Schmutzstoffe zurückgehalten und in regelmäßigen Reinigungszyklen mittels einer Spülpumpe direkt in die Kanalisation befördert [FEKA 2009]. Um Verstopfungen des Grobfilters zu vermeiden, findet täglich eine automatische Rückspülung statt [Pil 2007, S. 11]. Über den Schacht, in dem das Wasser des Gebäudekomplexes gesammelt wird, findet mittels des Wärmeübertragers die Wärmeentnahme statt. Nach der Wärmeabgabe beginnt die Ableitung des Abwassers in die Kanalisation. Zur Erzielung eines optimalen Wärmeübergangs wird der Schacht stets bis zu einem bestimmten Niveau (Überlauf) mit Abwasser befüllt. Zudem besteht der eingesetzte Wärmeübertrager aus einem speziellen Wellrohr, das auch bei Verunreinigung bzw. Biofilmbildung einen guten Wärmeübergang zulässt [Wan 2009, S. 12].

Einsatzgebiete für den Wärmeübertrager sind beispielsweise Schwimmbäder, Seniorenheime, Krankenhäuser, Hotels sowie Wohnsiedlungen.



- |                                   |                                    |
|-----------------------------------|------------------------------------|
| 1 Niveaubirne Wasserstand minimal | 7 Abwasserschacht                  |
| 2 Niveaubirne Wasserstand zu hoch | 8 Be- und Entlüftung               |
| 3 Spülpumpe                       | 9 Wärmetauscher                    |
| 4 Kommunikationsrohr              | 10 Soleleitung zur FEKA-Wärmepumpe |
| 5 Überlaufleitung                 | 11 Abwasser Zulauf                 |
| 6 Temperaturfühler                | 12 Abwasser zur Kanalisation       |

Abbildung 12: Schema des FEKA-Moduls mit integriertem Filter und Wärmeübertrager im Abwasserschacht [FEKA 2009]

Die hier gezeigte Anlage stammt von der Firma FEKA Energiesysteme AG.

## Aqua-Re-Energie-Trichter®

Auch der für häusliche oder industrielle Abwässer entwickelte Aqua-Re-Energie-Trichter staut das Abwasser zunächst auf, um den Wärmeübergang zu ermöglichen. Das Abwasser gelangt über einen Zulauf in einen Trichter. Hier findet mittels eines Außenwandwärmeübertragers der Wärmeaustausch durch Direktverdampfung statt.

Die Trichterform erzielt beim Abwasserdurchfluss einen Selbstreinigungseffekt. Mittels Sog- und Strudelwirkung beim Öffnen des Auslassventils werden Verschmutzungen mitgerissen, sodass keine oder nur geringe Ablagerungen an den steilen Wänden des Trichters zurückbleiben. Bei sehr starken Verschmutzungen des Abwassers kommen ein Grobteilfilter im Schmutzwasserzulauf und ein im Trichter integrierter Rotationsdüsenstock (integraler Reinigungsmechanismus) zum Einsatz. Der Trichter wird in Abhängigkeit von den anfallenden Abwassermengen größer oder kleiner dimensioniert.

Der Aqua-Re-Energie-Trichter ist sowohl in Wohnhäusern als auch in gewerblichen oder industriellen Betrieben mit hohem Wasserverbrauch und stark verschmutztem Abwasser einsetzbar.

Die folgende Abbildung zeigt ein Grobschema für den Einbau des Aqua-Re-Energie-Trichters.

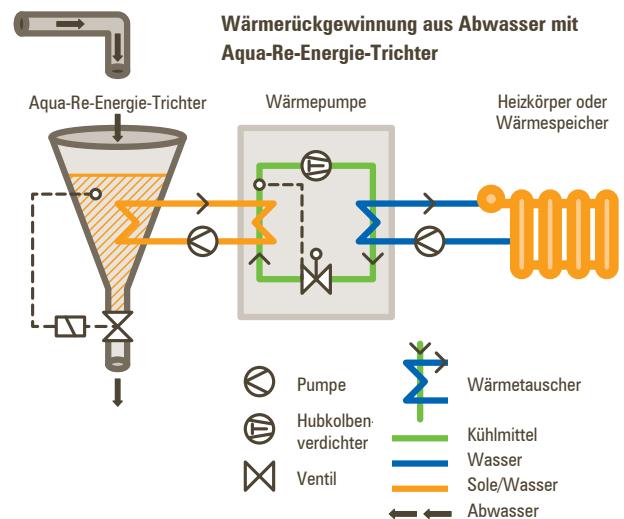


Abbildung 13: Aqua-Re-Energie-Trichter [DeTec 2009]

Der Aqua-Re-Energie-Trichter ist ein Produkt der Firma DeTec GmbH.

## Wärmeübertrager für Einzelduschen

Die wohl kleinste Form der Abwasserwärmenutzung kann für eine einzelne Dusche installiert werden. Neben dem oben vorgestellten offenen Wärmeübertrager werden dazu noch zwei weitere Wärmeübertragerarten angeboten. Die Wärmeübertrager geben die Wärme direkt wieder an das Duschwasser ab, indem sie es der Kaltwasserseite der Mischbatterie zuführen. Der Hersteller empfiehlt, das erwärmte Wasser sowohl der Dusche wie auch dem Heizkesselvorlauf zuzuführen. Hier wird im Einzelfall die Leitungsführung ausschlaggebend für die Entscheidung sein.

Für Duschen in oberen Stockwerken kann zu diesem Zweck ein Doppelrohrwärmeübertrager einen Teil des Fallrohrs für das Duschabwasser ersetzen. Dafür müssen Schwarz- und Grauwasserrohre getrennt werden.



Foto 4: Doppelrohrwärmeübertrager für Grauwasser

Die zweite Möglichkeit besteht darin, den Wärmeübertrager in der Duschwanne zu installieren. Dies setzt den Ersatz der Duschwanne voraus.

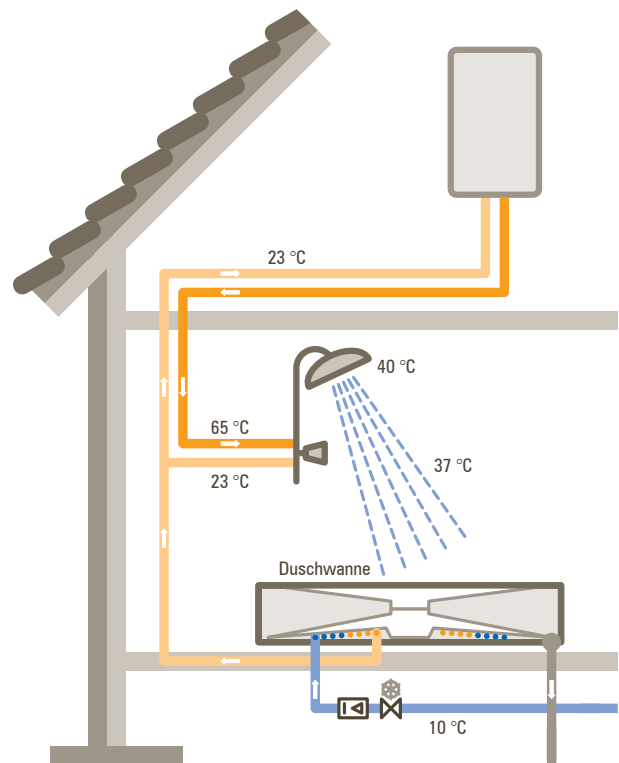


Abbildung 14: Fließschema Abwasserwärmerückgewinnung an einem Einzelverbraucher [Firma Hei-Tech]

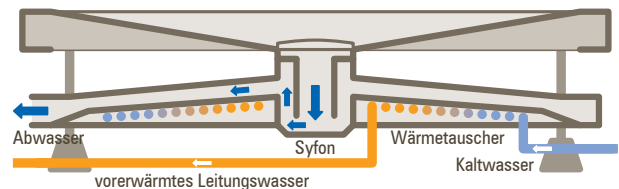


Abbildung 15: Wärmerückgewinnung in der Duschwanne [Firma Hei-Tech]

Die beiden hier vorgestellten Modelle stammen von der niederländischen Firma Hei-tech B.V., die einen Rückgewinnungswirkungsgrad von 50 % dafür angibt [Hei 2010]. Das ist in diesem Fall möglich, da der Volumenstrom annähernd bekannt ist.

# Pufferspeicher und Wärmepumpen

## Notwendigkeit und Dimensionierung

### Pufferspeicher

Um die zeitliche Abhängigkeit von Wärmeerzeugung und Wärmebedarf zu entkoppeln, können Pufferspeicher eingesetzt werden. Damit kann der wirtschaftliche Betrieb einer Wärmepumpenanlage wesentlich verbessert werden [Dubbel 2007, S. 80]. Pufferspeicher können in das Heiznetz eingebunden werden und insbesondere bei Schwachlast sicherstellen, dass die notwendigen Mindestlaufzeiten der Wärmepumpe erzielt werden. Temporär auftretende Leistungsschwankungen können folglich durch den Einsatz eines Pufferspeichers abgefangen werden. Die Wärmepumpe kann stets mit voller Leistung gefahren werden, da sie durch den Speicher von der Wärmenutzungsanlage entkoppelt werden kann.

Der Betrieb des Pufferspeichers kann mit einer Stufenladung oder einer Schichtladung erfolgen.

- Bei einer Stufenladung wird der Speicherinhalt mehrmals umgewälzt, bis die gewünschte Entladetemperatur im Speicher erreicht wird.
- Bei einer Schichtladung mit geregelter Vorlauftemperatur wird die Ladung ab Ladebeginn auf dem gewünschten Temperaturniveau für die Entladung gehalten.

Nachteilig bei der Einbindung eines Pufferspeichers sind die zusätzlichen Investitionskosten sowie der höhere Stromverbrauch für den Pumpbedarf.

### Wärmepumpen

Die vorgestellten Wärmeübertragungssysteme werden in der Regel in Kombination mit Wärmepumpen genutzt. Alternativ könnten sie auch der reinen Vorwärmung des in der Folge konventionell erhitzten Wassers dienen.

Wärmepumpen in Kombination mit sinnvoll gewählten Wärmequellen bieten die Möglichkeit, den konventionellen Energiebedarf für die Raumwärme sowie die Trinkwassererwärmung entscheidend zu verringern. Beim Einsatz einer Elektrowärmepumpe muss jedoch der Aspekt einer effizienten Stromerzeugung in Kraftwerken in Betracht gezogen werden. Bei gasbetriebenen Wärmepumpen sollte neben dem Vergleich des Gasverbrauchs zu alternativen Kesselsystemen noch die Pumpenleistung zur Durchströmung des Wärmeübertragers beachtet werden. Hierzu wird ein Vergleich über die Jahresarbeitszahl (JAZ)<sup>4</sup> vorgenommen.

Um die tatsächliche primärenergetische Relevanz gegenüber anderen Systemen zu ermitteln, sollte eine Bilanz des Primärenergiebedarfs und der CO<sub>2</sub>-Emissionsmengen erstellt werden. Hierzu können der Primärenergiefaktor und das CO<sub>2</sub>-Äquivalent herangezogen werden.

Primärenergiefaktor		
Energieträger	Faktor [kWh <sub>Prim</sub> /kWh <sub>End</sub> ]	CO <sub>2</sub> -Äquivalent [g/kWh <sub>End</sub> ]
Erdgas	1,1	0,234
Flüssiggas	1,1	0,2773
Biogas	0	0,0576
Heizöl	1,1	0,313
Strommix Deutschland	2,7	0,649

Quelle: Primärenergiefaktoren nach EnEV 2009 / CO<sub>2</sub>-Äquivalent nach GEMIS 4.5

Tabelle 3: Primärenergiefaktoren und CO<sub>2</sub>-Äquivalente

<sup>4</sup> JAZ = Die Jahresarbeitszahl errechnet sich nach der VDI 4650 aus dem Verhältnis der abgegebenen Nutzwärme pro Jahr bezogen auf die eingesetzte elektrische Energie für den Antrieb des Verdichters und der Hilfsantriebe [VDI 4650, S. 5]. Bei 75 % abgegebener Nutzwärme und 25 % eingesetzter elektrischer Energie ergibt sich beispielsweise eine JAZ von 4.

## Beispiele der gebäudebezogenen Abwasserwärmenutzung in Berlin



Foto 5: Doppelhochhaus in der Seefelder Str. 48/50

### Pilotanlage in einem Wohnhochhaus (HOWOGE)

Seit Dezember 2008 betreibt die HOWOGE Wärme GmbH eine gebäudeintegrierte Abwasserwärmenutzungsanlage im Doppelhochhaus der HOWOGE Wohnungsbaugesellschaft mbH in der Seefelder Str. 48/50 in Berlin-Hohenschönhausen. Das 1984 errichtete Gebäude mit 294 Wohnungen hat einen Abwasseranfall von etwa 52 m<sup>3</sup> pro Tag.

Im Rahmen dieses Pilotprojektes wurde untersucht, ob ein Wärmepumpeneinsatz in Verbindung mit einer Abwärmenutzung aus häuslichem Abwasser im Bereich des Wohnungsbaus nicht nur ökologisch sinnvoll ist, sondern auch positive wirtschaftliche Effekte bringt. Die Auswertung der Anlage bringt Erkenntnisse für eine optimale Auslegung sowie Anpassung künftig zu errichtender Anlagen.

#### Einbindung

Die Wärmeentnahme erfolgt an den beiden Abwassersammelleitungen, in denen die 18 Falleitungen des Hauses zusammenlaufen. Sie befinden sich freihängend in je einem Kanal unterhalb der Hausflure zu den Gebäudeausgängen. Hier sind jeweils 4 m der SML-Gussrohr-Sammelleitungen

mit Halbschalen-Absorbern umhüllt (Funktionsbeschreibung siehe oben).

Eine Wärmepumpe mit einer Heizleistung von 8 kW erwärmt das Trinkwasser im Teilstrom auf 30 °C. Der Teilstrom ist als Bypass im Hauptstrang des Kaltwasserzulaufs zur Warmwasserbereitung realisiert worden, um einen geringeren Volumenstrom für die entsprechend ausgelegte Wärmepumpenanlage zu erzielen.

Das erwärmte Wasser wird dem Hauptstrom zugeführt, bevor dieser von der vorhandenen konventionellen Trinkwasser-Erwärmungsanlage auf die erforderliche Temperatur von 60 °C erwärmt wird.

#### Funktionsschema

Über einen Zwischenkreislauf wird die dem Abwasser entzogene Wärme an den Verdampfer der Wärmepumpe abgegeben. Derzeit wird im Zwischenkreislauf als Arbeitsmedium ein Glykolwassergemisch eingesetzt. Dieses nimmt mittels der oben beschriebenen Wärmeübertrager die Wärme des Abwassers auf und leitet diese über gedämmte Rohrleitungen (Kupfer, DN 25) zum Verdampfer des Wärmepumpenmoduls. Um die Abwassersammelleitungen bautechnisch

bzw. den Rohrquerschnitt nicht zu beeinflussen, wurde die Idee eines außen anliegenden Wärmeübertragers verwirklicht. Dadurch wird eine Beeinträchtigung des Abwasserabflusses während der Montage und des Betriebs der Anlage vermieden.

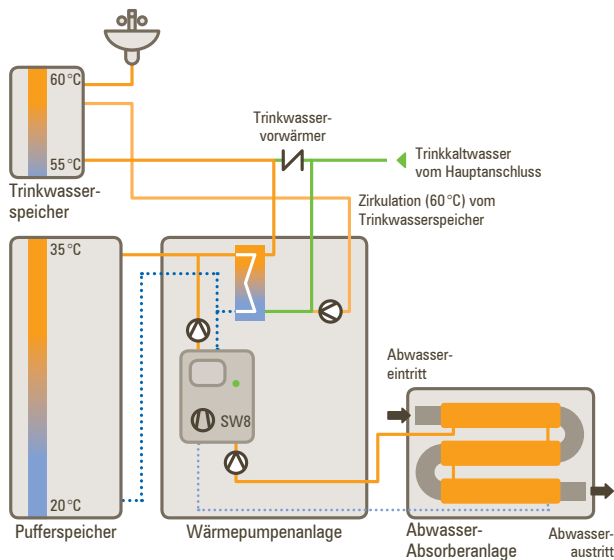


Abbildung 16: Grobschema Abwasserwärmenutzung der HOWOGE Wärme GmbH [Lang]

Als Steuergröße für die Regelung der Wärmepumpe dient die Temperatur des verdampferseitigen Solekreislaufs (Zwei-Punkt-Regelung). Wird eine Temperatur in Höhe von 2 °C erreicht, so wird die Wärmepumpe abgeschaltet, während der Solekreislauf weiterhin umgewälzt wird. Bei einer Temperatur des Solekreislaufs von 9 °C schaltet die Wärmepumpe wieder ein.

Auf der kalten Seite bzw. im Zwischenkreislauf ist die Einbindung eines Pufferspeichers überflüssig, da ein relativ stetiges Abwasservorkommen vorhanden ist. Puffernd wirken u. a. die Abwassergussrohre (SML), die Wärme speichern. Hinzu kommen die Absorber sowie die hohe Anzahl der Abflussleitungen in den Gebäuden, die durch ihre Längen für einen stetigen Abwasserdurchfluss sorgen. Aufgrund des kontinuierlichen Abwasseranfalls kann eine hohe jährliche Laufzeit der Wärmepumpe gewährleistet werden.

Im Gegensatz dazu ist auf der warmen Seite ein Pufferspeicher mit einem Volumen von 500 Litern im Einsatz. Dieser findet in den Zeiten Verwendung, in denen kein Warmwasserbedarf vorhanden ist.

Da das Trinkwasser nur auf 30 °C vorgewärmt wird, erfolgt als Maßnahme zur Vermeidung des Legionellenwachstums im 24-Stunden-Takt eine Aufheizung auf 60 °C. Dabei werden der Wärmeübertrager und die Verbindungsleitungen

(Vorwärmungskreislauf) nachts um 2 Uhr für etwa eine Stunde thermisch entkeimt.

### Monitoring und Visualisierung

Zu Zwecken der Übertragung und Dokumentation der Messwerte ist die Anlage mit einer Gebäudeleittechnik ausgestattet. Die erfassten Messwerte können jederzeit online abgerufen werden. Für die Bewohner der beiden Hochhäuser ist zum Zweck der Visualisierung im Eingangsbereich eine Tafel angebracht. Sie veranschaulicht die Wärmerückgewinnung aus dem Abwasser der beiden Gebäude durch Angabe der Temperaturen in den beiden Abwassersammelleitungen und der durchschnittlichen Anzahl der Wohnungen, die im Moment der Messung jeweils aktuell durch die bereitgestellte Wärmemenge mit Warmwasser versorgt werden.

Derzeit wird eine Jahresarbeitszahl von 4,15 erreicht.

Ökologisch betrachtet kann bei der Kombination mit einem Gasbrennwertkessel eine Einsparung von über 10 % sowohl primärenergetisch als auch hinsichtlich der CO<sub>2</sub>-Emissionen erzielt werden. Die wirtschaftliche Betrachtung zeigt, dass bei den momentanen Energiepreisen die Kostenparität noch knapp verfehlt wird.

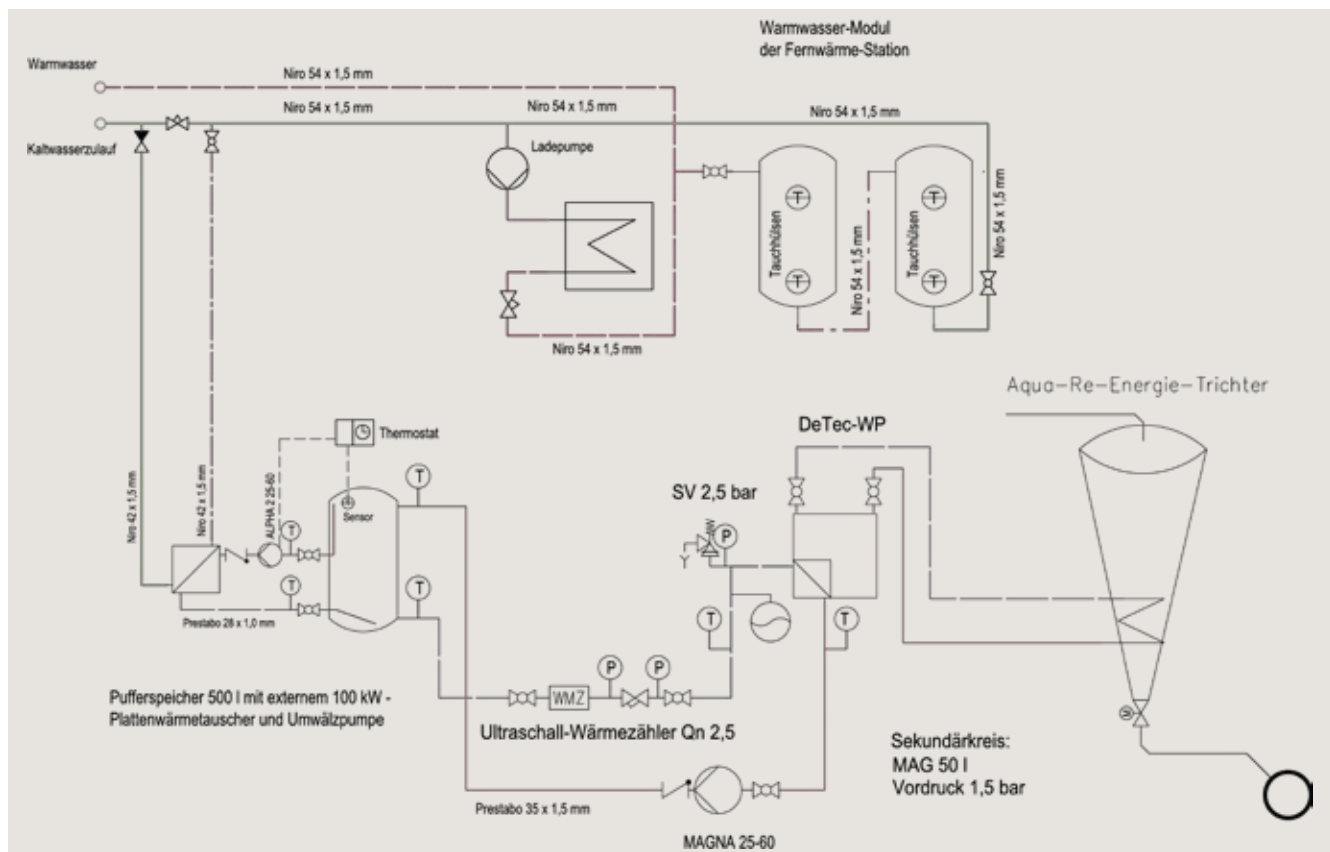


Abbildung 17: Anlagenschema der Abwasserwärmenutzungsanlage in der Ernst-Ludwig-Heim-Straße in Berlin-Buch [Planungsbüro Barthel]

## Wärmerückgewinnung im Mehrfamilienhaus

Wie bereits erläutert, wurde das System „Aqua-Re-Energie-Trichter“ für die Wärmerückgewinnung (WRG) aus Abwasser im großen Maßstab, beispielsweise in der Industrie, entwickelt. Im Jahr 2009 wurde dieses System erstmals in kleinerem Maßstab im Wohnungsbaubereich eingesetzt. Die Erste Wohnungsgenossenschaft Berlin-Pankow eG (EWG) startete ein Pilotprojekt zur Wärmerückgewinnung aus häuslichem Abwasser zur Unterstützung der Trinkwassererwärmung in der Ernst-Ludwig-Heim-Straße in Berlin-Buch. Bei diesem Standort handelt es sich um einen Mehrfamilien-Gebäudekomplex mit 120 Wohneinheiten. Aus bautechnischen Gründen sind nur 20 Wohnungen an das WRG-System angeschlossen. Der Warmwasserverbrauch beträgt durchschnittlich 40 bis 45 Liter und der Kaltwasserbedarf 95 bis 100 Liter pro Tag und Wohnung. Somit stehen für die Wärmerückgewinnung zwischen 2.700 und 2.900 Liter Abwasser pro Tag zur Verfügung.

### Einbindung

Es wurden insgesamt vier Abwassersammelleitungen der jeweils fünfgeschossigen Wohnhäuser zusammengeführt, um das aus 20 Wohnungen stammende Abwasser dem Trichter zuzuleiten. Eine Temperaturmessung des Abwassers

erfolgt dabei nicht in der gebündelten Abwasserleitung, sondern direkt im Trichter. Die mittlere Abwassertemperatur beträgt zwischen 20 und 25 °C vor und zwischen 5 und 10 °C nach der Wärmeübertragung.

Die aus dem Abwasser gewonnene Wärmeenergie wird durch eine Wärmepumpe auf ein höheres Temperaturniveau gebracht und zur Vorerwärmung des Trinkwassers auf etwa 40 °C genutzt. Die Wärmepumpe hat eine Heizleistung von 7 kW thermisch bei einer elektrischen Anschlussleistung von 1,55 kW. Sie ist in einem Bypass an der Hauptleitung des Kaltwasserzulaufs zur Warmwasserbereitung eingebunden. Das Trinkwasser wird nach der Vorerwärmung durch die Wärmepumpe der konventionellen Trinkwassererwärmungsanlage zugeführt und mittels Fernwärme weiter erwärmt.

### Funktionsschema

Wie bereits im Abschnitt über die Wärmeübertrager erläutert, verfügt dieses System über keinen Zwischenkreislauf. Das Kältemittel der Wärmepumpe wird von dem Abwasser direkt verdampft.

Das von der Wärmepumpe mit 40 °C abgegebene Warmwasser wird in einem 500-Liter-Pufferspeicher zwischengespeichert. Der Speicher gibt die thermische Energie über

einen Plattenwärmeübertrager mit einer Leistung von 100 kW an das vorzuwärmende Trinkwasser ab. Für die temperaturabhängig geschaltete Umwälzung sorgt eine Hocheffizienzpumpe.

Das vorgewärmte Trinkwasser wird zur Nacherwärmung auf die erforderlichen 60 °C dem Warmwassermodule der Fernheizstation zugeleitet. Zur Abdeckung von Spitzenlasten stehen 1.500 Liter Pufferspeicher zur Verfügung.

Da die Trinkwasservorwärmung im Durchfluss erfolgt und damit kein zusätzliches, niedrig temperiertes Speichervolumen vorliegt, können die hygienischen Bedingungen für die Warmwasserbereitung gewährleistet werden. Zur Verhinderung des Legionellenwachstums wird sowohl ganztägig eine Sollwert-Warmwasservorlauftemperatur von 60 °C gefahren als auch die Trinkwarmwasserspeicher auf diesem Niveau gehalten.

Zusätzlich zu den bereits erläuterten Reinigungseffekten des Trichters erfolgt nach jeder Entleerung eine Innenreinigung mittels Fächerdüse. Zusätzlich zur regulären, temperaturgesteuerten Entleerung ist eine Zwangsentleerung programmiert, die das Abwasser ablässt, wenn in 24 Stunden keine reguläre Abflussfreigabe stattfand.



Foto 6: Zuleitung der gebündelten Abwassersammelleitung in den Aqua-Re-Energie-Trichter



Foto 7: Isolierter Aqua-Re-Energie-Trichter und Wärmepumpe

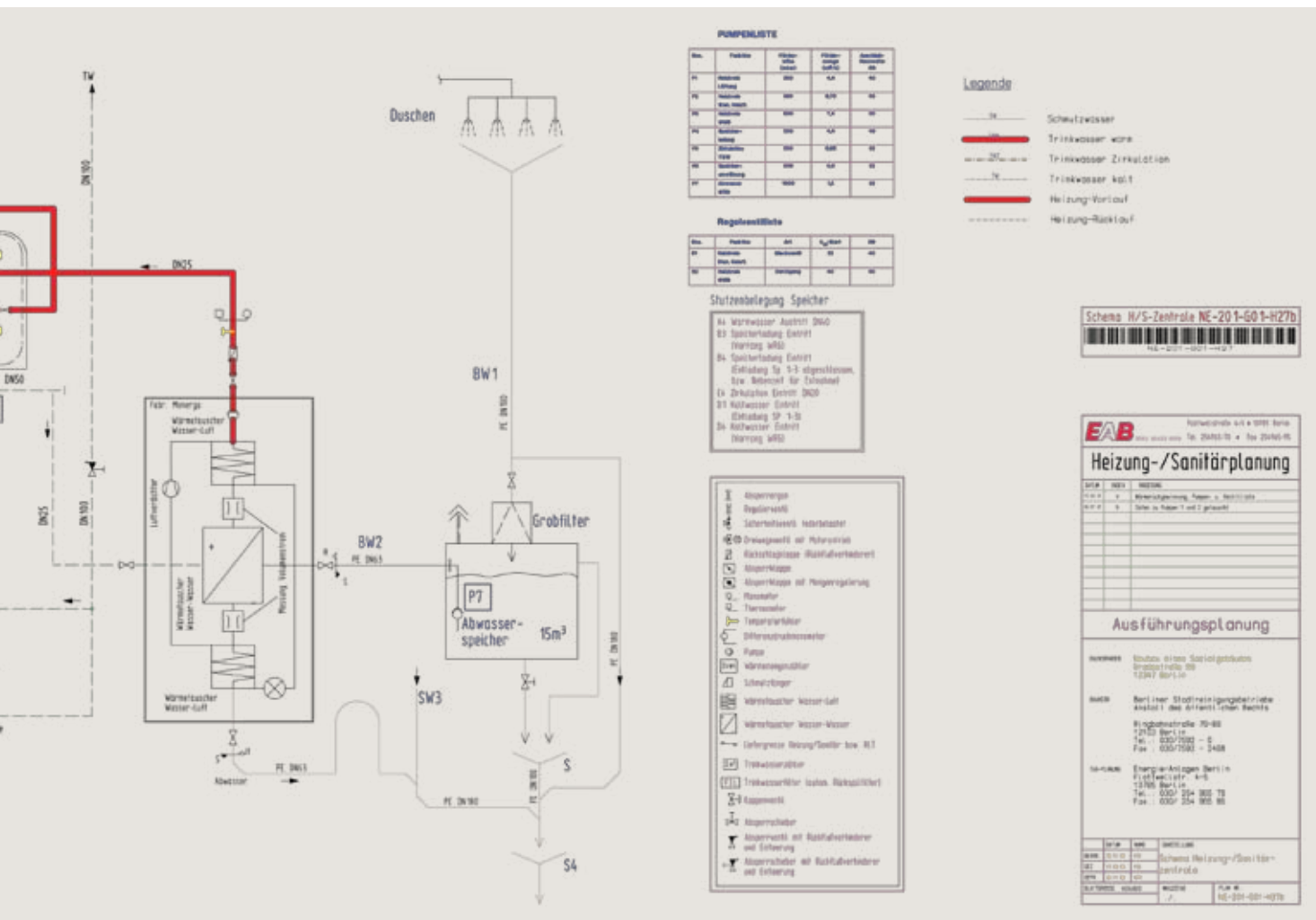
### Warme Seite der WP



Foto 8: Pufferspeicher und Plattenwärmeübertrager im Heizkreislauf der Wärmepumpe

Die Anlage wurde am 18.05.2009 in Betrieb genommen. Laut Anlagenbetreiber liegt die momentan erreichte Jahresarbeitszahl etwa bei 3.





den Wärmeübertrager und anschließend den Kondensator der Wärmepumpe. Aufgrund dieser Konfiguration erfolgt im Wärmeübertrager eine direkte Wärmeübertragung eines großen Teils der Abwasserwärme auf das Trinkwasser. Bei Bedarf wird das so auf ca. 37w°C vorgewärmte Trinkwasser mittels einer konventionellen Gaskesselanlage weiter auf die erforderliche Temperatur von 50 °C erwärmt.

**Funktionsschema**

Im Heizkreislauf der Wärmepumpe sind vier Pufferspeicher mit einem Fassungsvermögen von jeweils 2.000 Litern eingebunden. Diese sind in Reihe geschaltet und werden während des Betriebs der Wärmepumpenanlage kontinuierlich befüllt.

Die mit dem vorgewärmten Trinkwasser beladenen Pufferspeicher werden bei Bedarf nach und nach entladen. Zur weiteren Erwärmung auf 50 °C wird das Trinkwasser nach dem Durchflussprinzip durch einen Plattenwärmeübertrager geleitet. Die zusätzlich benötigte Wärmeenergie wird von

einer Gaskesselanlage bereitgestellt. Sobald die Entleerung des letzten Pufferspeichers einsetzt, wird das Wärmerückgewinnungsgerät wieder in Betrieb genommen. Die Anlage ist so eingestellt, dass der Wärmerückgewinnungsprozess bis um 6 Uhr des nächsten Tages stattfinden kann. Danach wird über die Gaskesselanlage nachgeheizt.

Da das Trinkwasser in den Pufferspeichern bei einer maximalen Temperatur von 37 °C zwischengespeichert wird, besteht die Gefahr von Legionellenwachstum. Um dies zu vermeiden, erfolgt einmal pro Woche eine Aufheizung des Trinkwassers in den Pufferspeichern auf etwa 75 °C.

## Quellen

### [BAU 2007]

Baumann, M.; Laue, H.-J.; Müller, P.: Wärmepumpen. Heizen mit Umweltenergie.

4., erweiterte und vollständig überarbeitete Auflage,

BINE Informationsdienst, Verlag Solarpraxis, Berlin, 2007.

### [Buri und Kobel 2005]

Buri, R.; Kobel, B.: Energie aus Kanalabwasser. Leitfaden für Ingenieure und Planer. Ryser Ingenieure AG, Institut Energie in Infrastrukturanlagen, ECO.S Energieconsulting Stodtmeister (Red.), Osnabrück/Bern, 2005.

[www.dbu.de](http://www.dbu.de) oder [www.infrastrukturanlagen.de](http://www.infrastrukturanlagen.de)

### [Cal 2009]

Calorplast Wärmetechnik GmbH: Flexibler Wärmetauscher.

Krefeld, 2009.

<http://www.calorplast.de> (Zugriff am 01.11.2009)

### [DeTec 2009]

DeTec GmbH: Kälte-, Klima-, Umwelt-, Druckluft-, Energie-, Solar-, Heiztechnik. Aqua-Re-Energie-Trichter. Detmold.

<http://www.de-tec.net> (Zugriff am 31.10.2009)

### [Dubbel 2007]

Dubbel: Taschenbuch für den Maschinenbau. Grote, K.-H.; Feldhusen, J. (Hrsg.).

22., neubearbeitete und erweiterte Auflage, Springer-Verlag, Berlin, 2007.

### [DWA 2009]

Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (Hrsg.): DWA-Regelwerk. Merkblatt DWA-M114. Energie aus Abwasser – Wärme- und Lageenergie. Hennef, Juni 2009.

### [Feka 2009]

Feka Energiesysteme AG: Energie aus Abwasser. Schulungsunterlagen TS., Bad Ragaz SG, Schweiz.

<http://www.feka.ch/content/view/15/11/> (Zugriff am 15.10.2009)

### [Fer 2010]

<http://www.fercher.at/> (letzter Zugriff 22.02.2010)

### [Hei 2010]

<http://www.hei-tech.nl> (letzter Zugriff:25.01.2010)

### [Hei We 2006]

Heimann, S.; Wehnert, T.: Strategische kommunale Energiepolitik zur Nutzung Erneuerbarer Energieträger. Arbeitspapier 5. Erneuerbare Energie Technologien. Geothermie und Abwasserwärmenutzung. Ein Kurzüberblick. Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung (Hrsg.), Berlin, 2006.

URL [http://www2.izt.de/pdfs/SKEP/SKEP\\_AP5\\_Technologiereport.pdf](http://www2.izt.de/pdfs/SKEP/SKEP_AP5_Technologiereport.pdf) (Zugriff am 26.08.2009)

### [Joos 2004]

Joos, L. (Hrsg.): Energieeinsparung in Gebäuden. Stand der Technik, Entwicklungstendenzen. 2. Auflage, Vulkan-Verlag, Essen, 2004.

### [Kunz 2008]

Kunz, P.; Afjei, T.; Betschart, W.; Hubacher, P.; Löhner, R.; Müller, A.; Prochaska, V.: Wärmepumpen. Planung, Optimierung, Betrieb, Wartung. Bundesamt für Energie (Hrsg.), Bern, Januar 2008.

### [Lang 2000]

Lang, J.: The flexible heat exchanger. A heat transfer system for severely contaminated media. In: Müller-Steinhagen, H. (Hrsg.): Handbook Heat Exchanger Fouling. Mitigation and Cleaning Technologies. (Wärmetauscher-Fouling. Verminderung und Reinigungssysteme.) PUBLICO Publications, Essen, 2000, S. 302-307.

### [Men 2010]

<http://www.menerga.com> (<http://www.menerga.com/AquaCond-Typ-43-44.168.0.html>) und [http://katalogi.menerga.lv/Menerga\\_Tehniskie\\_Katalogi/Notekudenu\\_siltuma\\_atgusanas\\_iekartas/43-Tips\\_AquaCond/Menerga\\_AquaCond\\_Type-43\\_Techn\\_Kat\\_DE.pdf](http://katalogi.menerga.lv/Menerga_Tehniskie_Katalogi/Notekudenu_siltuma_atgusanas_iekartas/43-Tips_AquaCond/Menerga_AquaCond_Type-43_Techn_Kat_DE.pdf)

### [Mue 2005]

Müller, E. A.; Schmid, F.; Stodtmeister, W.; Kobel, B.: Heizen und Kühlen mit Abwasser. Ratgeber für Bauherren und Kommunen. Bundesverband WärmePumpe (BWP) e. V., Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Arbeitsgemeinschaft für sparsame Energie- und Wasserverwendung (ASEW) im Verband kommunaler Unternehmen, Institut Energie in Infrastrukturanlagen (Hrsg.), Oktober 2005.

Bezug: Bundesverband WärmePumpe (BWP) e. V.; Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU).

### [Piller et al. 2007]

Piller, S.; Unger, F.; Bucar, G.; Schinnerl, D.: AbwasserWärmeNutzung. Leitfaden zur Projektentwicklung. Berliner Energieagentur, Grazer Energieagentur (Hrsg.), Projekt WasteWaterHeat. Berlin, Graz, 12/2007.

### [rab 2010]

<http://www.rabtherm.com>

### [VDI 4650]

Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.): Berechnung von Wärmepumpen. Kurzverfahren zur Berechnung der Jahresarbeitszahl von Wärmepumpenanlagen. Elektro-Wärmepumpen zur Raumheizung und Warmwasserbereitung. Düsseldorf, Stand 03/2009.

### [Wanner 2009]

Wanner, O.: Wärmerückgewinnung aus Abwasser. Wärmetauscher Verschmutzung: Auswirkungen und Gegenmaßnahmen.

Eawag (Hrsg.): Das Wasserforschungs-Institut des ETH-Bereichs. Schriftenreihe der Eawag Nr. 19, Dübendorf, 2009.

## Impressum

### **Berliner Netzwerke**

c/o Berliner Energieagentur GmbH  
Französische Str. 23  
10117 Berlin

**Telefon** 030 / 293330 - 85

**E-Mail** [info@berliner-netzwerk-e.de](mailto:info@berliner-netzwerk-e.de)

[www.berliner-netzwerk-e.de](http://www.berliner-netzwerk-e.de)

**Redaktion:** Berit Müller, Silvia Tastekin, Achim Neuhäuser,  
Kirsten Schindler

**Bezug:** Direkt bei den Herausgebern oder im Internet unter  
[www.berliner-netzwerk-e.de](http://www.berliner-netzwerk-e.de)

**Gestaltung:** Berno Hellmann  
[www.bernoh.de](http://www.bernoh.de)

**Fotonachweis:** Ingenieurbüro Lang (Foto 1), Firma RABTHERM GmbH Deutschland (Foto 2), Firma Bernhard FERCHER (Foto 3), Firma Hei-Tech (Foto 4), HOWOGE Wohnungsbaugesellschaft mbH (Foto 5), Planungsbüro Barthel (Fotos 6, 7, 8), Senatsverwaltung für Wirtschaft, Technologie und Frauen (Foto Vorwort links), Berliner Energieagentur (Foto Vorwort rechts), Fotolia.de (Foto Titel)

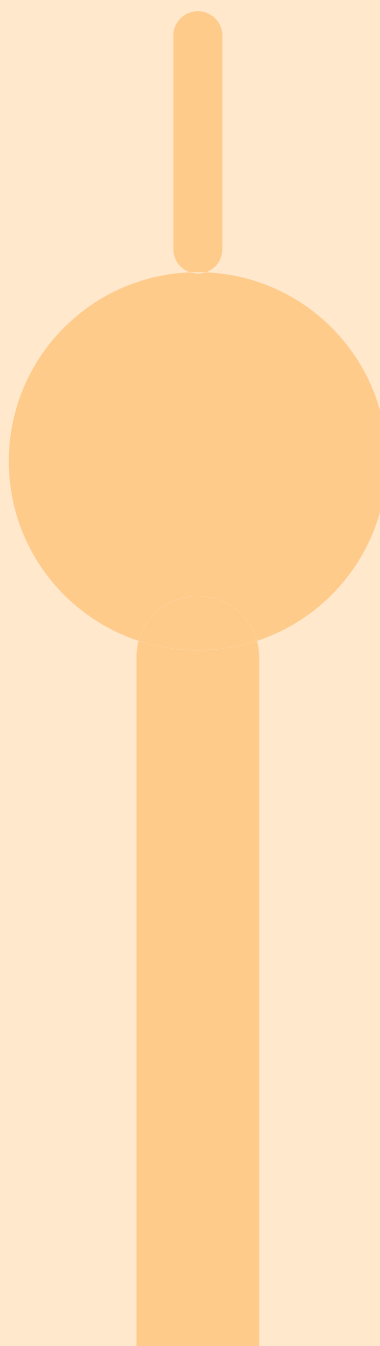
**Copyright:** Berliner Energieagentur GmbH

**Ausgabe:** 01/2011

### **Haftungsausschluss:**

Trotz sorgfältiger Prüfung sämtlicher Beiträge in diesem Werk sind Fehler nicht auszuschließen. Die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität des Inhalts ist daher ohne Gewähr. Eine Haftung der Herausgeber und AutorInnen auch für die mit dem Inhalt verbundenen potenziellen Folgen ist ausgeschlossen. Das Copyright für Inhalte, Grafiken und Texte liegt, sofern nicht anders gekennzeichnet, bei der Berliner Energieagentur.

## Notizen





Berliner NetzwerkE  
c/o Berliner Energieagentur GmbH  
Französische Str. 23  
10117 Berlin

Telefon 030 / 293330 - 85  
Telefax 030 / 293330 - 93

[info@berliner-netzwerk-e.de](mailto:info@berliner-netzwerk-e.de)  
[www.berliner-netzwerk-e.de](http://www.berliner-netzwerk-e.de)

