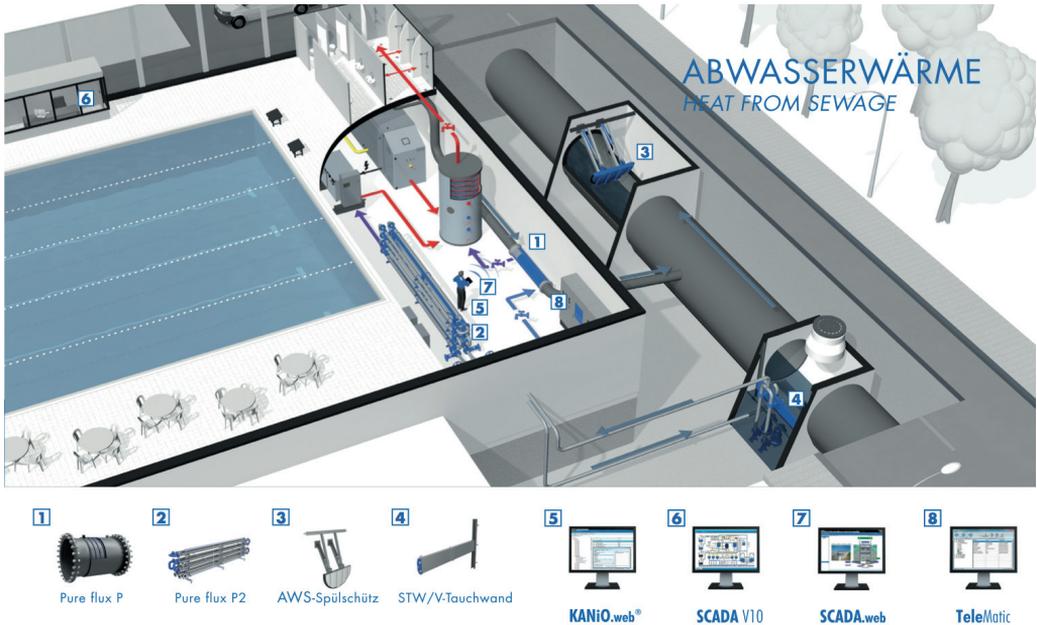


Wärme aus Abwasser - Die Zukunft einer unterschätzten Energiequelle liegt in der digitalen Transformation zu KOMMUNAL 4.0.

Autoren: Günter Müller-Czygan, Christian Hellwig ¹⁾



1. Einleitung

Seit mehr als 40 Jahren ist die Wärmenutzung aus Abwasser bekannt und hat sich seitdem kontinuierlich weiter entwickelt. Den wenigsten ist allerdings bekannt und auch bewusst, welches Energiepotential tagtäglich unter Ihnen hindurchfließt. Die im Abwasser enthaltene Energie würde ausreichen, um in Deutschland jedes zehnte Gebäude auf Basis der Wärmepumpentechnologie zu beheizen. Pro Abkühlung um 1° Kelvin kann 1 m³ Abwasser bis zu 1,1 kW Wärme entzogen werden [1]. Durchschnittlich verbraucht jeder Einwohner in Deutschland täglich 130 Liter Wasser. Dabei entsteht Abwasser mit einer Abflusstemperatur von bis zu 20°C. Es fallen so täglich aus allen Haushalten einige Millionen m³ Abwasser an, die selbst in kalten Wintermonaten mit mindestens 10°C als Energiequelle im Abwasserkanal zur Verfügung stehen. Für die Wärmepumpentechnologie stellt dieses Energiepotential damit eine ideale und über das Jahr konstante

¹⁾ HST SYSTEMTECHNIK GMBH & CO. KG, D- MESCHEDE

Wärmequelle dar. Das Potential ist also riesig, der Bedarf an Wärme ebenfalls. Der Energieverbrauch der Privathaushalte stellt ungefähr 75 % des gesamten Wärmemarktes in Deutschland dar. Wird die Warmwasseraufbereitung noch dazu addiert, beträgt die Wärmeanwendung in den Privathaushalten ca. 90 % des Energieverbrauchs.

Mangel an konkreten Informationen außerhalb der Fachwelt nach wie vor vorhanden

In Expertenkreisen wird das Thema schon lange intensiv diskutiert, bei den Betreibern von Kanalnetzen, Kläranlagen und anderen kommunalen Einrichtungen, wo große Mengen an Abwasser anfallen, wird das Thema nach wie vor unterschätzt, nicht zuletzt aufgrund der seit Jahren relativ geringen Bezugskosten fossiler Energieträger. Aber man weiß auch zu wenig über die Technologie, über die Einsatzmöglichkeiten und die Wirtschaftlichkeit. Dem gegenüber steht eine vergleichsweise hohe Informationskenntnis zum Thema Solar- und Windenergie sowie zur Geothermie. Letztere Erkenntnis aus der Befragung ist vor allem vor dem Hintergrund interessant, dass beide Verfahren – Geothermie und Wärme aus Abwasser – technologisch sehr ähnlich sind, was vielen nicht bekannt sein dürfte. Das sind einige Erkenntnisse von vielen weiteren Ergebnissen einer Umfrage zum Bekanntheitsgrad der Abwasserwärmenutzung bei rund 5000 deutschen Kommunen [2]. Obwohl rund 70 % der befragten Kommunalvertreter, die sich mit dem Thema bereits auseinandergesetzt haben, in den nächsten 10 Jahren einen wachsenden Markt erwarten, sagen davon aber mehr als 50 %, dass sie derzeit keine konkreten Projekte für die Abwasserwärmenutzung planen. Auch wenn es wieder einzelne Förderprogramme gibt, die u.a. die Nutzung der Abwasserwärme unterstützen, ist die Anwendung trotz des nachweislich hohen Potentials in der Breite noch nicht angekommen. Was spricht für die Anwendung der Abwasserwärmenutzung und was blockiert die Auseinandersetzung hiermit?

2. Technologie und Auswahlkriterien

Grundlage der Wärmenutzung aus Abwasser ist der Einsatz einer Wärmepumpe. Diese wandelt die Wärme aus der entsprechenden Quelle unter Energieeinsatz von einem niedrigen auf ein höheres Temperaturniveau. Hierbei ist der Energieeinsatz deutlich geringer als der Energiegewinn aus dem Wandlungsprozess. Je höher die Wärmeenergie (Temperatur) der Wärme-

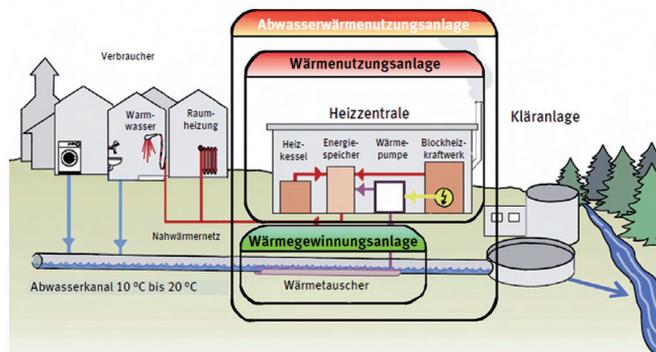


Abb. 1: Abwasserwärmenutzung [1]

quelle ist, desto effizienter wird die Wärmepumpe arbeiten. Abwasser stellt mit seiner ganzjährig konstanten hohen Wassertemperatur (10-20 °C) prinzipiell eine sehr gute Wärmequelle dar. Maßgeblich bei der Nutzung dieses Potentials ist die Wahl des richtigen Wärmeübertragungssystems sowie die Bewertung des Anlagenstandorts und die Lage der Wärmenutzung.

Je nach Standortbedingungen können verschiedene Wärmenutzungssysteme Anwendung finden:

- Flächige Wärmetauscher auf der Sohle von Kanalrohren an das jeweilige Rohrprofil angepasst (als nachträgliche Installation oder werkseitig im Kanalrohr integriert)
- Wärmetauscher außerhalb von Kanälen z.B. Rohr- oder Plattenwärmetauscher, meist durch Entnahme eines Teilstromes aus dem Kanal als Bypass realisiert.

Bereits bei der Standortbewertung wird die Effizienz der Abwasserwärmenutzung mit entschieden. Die Hauptkosten der Abwasserwärmenutzung werden nicht durch die Wahl des Wärmepumpentyps oder des Wärmenutzungssystems verursacht. Diese entstehen vorwiegend durch notwendige peripheren Einrichtungen der Anlagentechnik, durch bauliche Maßnahmen sowie der Bewertung der betrieblichen Aufwendungen für Betrieb und Wartung des Systems. Lösungen, die im Hauptstrom direkt auf der Kanalsohle angebracht werden, erfordern z.B. keine zusätzlichen technischen Räume oder Förderpumpen, wie dies bei den so genannten Bypasslösungen der Fall ist. Allerdings müssen die Wärmenutzungssysteme in diesem Fall meist individuell für die örtlichen Gegebenheiten hergestellt und unter erheblichem Aufwand installiert werden. Aufgrund der geringen Kosten, einfachen Inbetriebnahme und Wartung sowie der Möglichkeit, eine Testphase vorzunehmen, werden zunehmend oberirdisch aufgestellte Lösungen bevorzugt.

Selbst wenn unter Abwägung aller Vor- und Nachteile das richtige Wärmenutzungssystem am idealen Standort gefunden wurde, bleibt noch die Frage nach dem Wärmeabnehmer. Dieser Punkt stellt sich in vielen Fällen als die am schwierigsten zu lösende Fragestellung dar, weil es entweder keinen geeigneten Abnehmer gibt oder der ideale Standort des Wärmenutzungssystems so weit vom Abnehmer entfernt liegt, dass die zum Wärmetransport erforderliche Infrastruktur das Projekt ineffizient machen. Erfahrungen zeigen, dass der Prozess bei der Suche nach einem geeigneten Standort und dem dazu gehörigen geeigneten Wärmeabnehmer oft durch mangelnden Informationsfluss und ungeeignetem Kartenmaterial erschwert wird [3].

Im Ergebnis werden Maßnahmen als nicht-effizient bewertet. Bei Vorhandensein von ausreichendem Informationsmaterial hätte sich ggf. gezeigt, dass es doch bessere Standorte und geeignete Wärmeabnehmer im Zielgebiet gibt als auf Basis vorhandener, aber reduzierter Informationen. Hinzu kommt, dass die gemäß [1] aufgeführten Vor- und Nachteile verschiedener Standorte zur Wärmegegewinnung (z.B. Gebäude, im Entwässerungssystem, auf oder nach einer Kläranlage) nur dann objektiv bewertbar sind, wenn ausreichend Informationen zu jedem einzelnen Bewertungskriterium vorliegen.

3. Informationsmenge und -qualität bestimmen die Bewertung

Betrachten wir die Auswahl geeigneter Abwasserwärmenutzungssysteme einmal genauer unter dem Blickwinkel erforderlicher Informationsmenge und -qualität. Das Land Bayern hat beispielsweise einen eigenen Leitfaden für Kommunen erstellt, wie diese bei dem Thema Abwärmenutzung (und damit auch beim Thema Abwasserwärme) vorgehen sollen. In der Einführung wird folgendes angeführt [4]:

„Die Bewertung von Abwärmeprojekten erfolgt im Regelfall über die Wirtschaftlichkeit auf Basis von Jahreskosten bzw. spezifischen Nutzwärmegestehungskosten. Nur die Projekte, die die benötigte Nutzenergie kostengünstiger bereitstellen als die derzeit vorhandenen Anlagen, haben üblicherweise eine Realisierungschance.

Die Grobermittlung von Abwärmepotentialen und die Entwicklung eines Abwärmenutzungsprojektes kann in folgenden Schritten abgewickelt werden:

- 1. Ermitteln der Standorte von Industriebetrieben im Untersuchungsgebiet*
- 2. Ermittlung/Abschätzung des Abwärmepotentials (Abwärmeangebot)*
- 3. Ermittlung/Abschätzung des Abwärmenutzungspotentials (Wärmekunden)*
- 4. Ermittlung/Abschätzung der Abwärmegewinnungs- und -transportaufwendungen
(Investitionen in die erforderliche Anlagentechnik)*
- 5. Abschätzung der ökonomischen Rahmenbedingungen (Wirtschaftlichkeitsberechnung)*
- 6. Abschätzung der ökologischen Rahmenbedingungen (Emissionseinsparungsprognose)*
- 7. Projektentwicklung zur Umsetzung der ermittelten Abwärmenutzungsmöglichkeiten“*

Die dargestellte Vorgehensweise entspricht gängigen Bearbeitungsschritten zur Bewertung von Investitionen im Bereich von öffentlichen Infrastrukturmaßnahmen. Der zuvor beschriebene Aspekt, dass bei kommunalen und auch privaten Verantwortlichen die Abwasserwärmenutzung sehr schnell als wenig effektiv angesehen und damit ad acta gelegt wird, ist in der Natur der Bewertungsermittlung bereits begründet. Sobald eine Grobermittlung als Bewertungsgrundlage ausreicht, werden beispielweise in neuartigen Lösungssystemen im Regelfall höhere Risiken und weniger Chancen gesehen, da keine ausreichenden Erfahrungen (= mangelnde Informationen) vorliegen, die eine zumeist subjektive Grobeinschätzung ersetzen können. Systeme, deren Benefit bei erster Betrachtung nur in geringem Maße höher liegt als der von etablierten Lösungen, fallen aufgrund der oftmals aus dem Bauch stammenden Risikozuschläge meist durch. Fünf der zuvor aufgeführten sieben Bearbeitungsschritte beinhalten Schätzungen. Stellen wir uns die Auswirkungen einmal in einem Beispiel vor. Die Bearbeiter weichen bei ihrer Schätzungen in allen Punkten jeweils um 20 % zum Nachteil der Abwasserwärmenutzung ab.

Eine Kommune prüft den Einsatz eines Wärmetauschers und geht analog den Vorgaben der bayrischen Landesregierung vor.

	Realer Wert	Schätzwert
1. Abwärmepotential	1.000 kWh/d	800 kWh/d
2. Abwärmenutzungspotential 80 %	800 kWh/d	640 kWh/d
3. Investitionskosten WT und Transport	- 70.000 €	- 84.000 €
4. Zus. Betriebskosten gegenüber konv. Lösung	- 10.000 €/a	- 12.000 €/a
5. Einsparpotential gegenüber konv. Lösung	500 kWh/d	400 kWh/d

Nun werden die ermittelten Energiepotentiale der Einfachheit halber mit einem fiktiven Gegenwert von 0,10 €/kWh monetär bewertet.

	Realer Wert	Schätzwert
1. Abwärmepotential	100 €/d	100 €/d
2. Abwärmennutzungspotential 80 %	80 €/d	64 €/d
3. Investitionskosten WT und Transport	- 70.000 €	- 84.000 €
4. Zus. Betriebskosten gegenüber konv. Lösung	- 10.000 €/a	- 12.000 €/a
5. Einsparpotential gegenüber konv. Lösung	50 €/d	40 €/d

Unter der Annahme, dass das Abwasserwärmenutzungssystem 300 Tage im Jahr läuft, ergibt sich folgende Bilanz:

	Realer Wert	Schätzwert
1. Investitionskosten	- 70.000 €	- 84.000 €
2. Zus. Betriebskosten gegenüber konv. Lösung	- 10.000 €/a	- 12.000 €/a
3. Einsparpotential gegenüber konv. Lösung	15.000 €/a	12.000 €/d

An diesem Beispiel wird deutlich, dass sich die Lösung auf Basis der Schätzung nicht rechnen wird, da hier die jährlichen zusätzlichen Betriebskosten das Einsparpotential aufwiegen. Wäre bei ausreichender Datenbasis mit realen Werten gerechnet worden, zeigt sich eine Amortisation nach ca. 14 Jahren und kann, je nach vollständig bekannten Rahmenbedingungen, auch kürzer sein.

4. Digitale Transformation verbessert die Bewertungsbasis für Abwasserwärmenutzung

Es ist deutlich geworden, dass die vorhandene Informationsbasis maßgeblich das Bewertungsergebnis bei der Beurteilung der Effizienz bzw. Amortisation von Abwasserwärmenutzungssystemen beeinflusst. Um das unbestritten vorhandene Potential der Abwasserwärmenutzung besser nutzen zu können, ist kein technologischer Sprung erforderlich, sondern die Sicherstellung einer ausreichenden Datenbasis. Hierzu bieten sich innovative Lösungen unter dem Stichwort KOMMUNAL 4.0 an, welche die Wasserbranche in das Zeitalter der digitalen Transformation führen werden. Basierend auf webbasierten Datenplattformen werden alle erfassten Informationen (u.a. GIS-Daten) aus einem Kanalnetz z.B. mittels der Betriebsführungslösung KANiO.web per GPRS oder anderen drahtlosen Systemen auf eine Datenplattform transferiert. Zusätzlich werden auch mögliche Wärmeabnehmer in das System eingepflegt. Speziell entwickelte Applikationen für die Ermittlung und Analyse von Abwasserwärmepotentialen werten die Daten aus und erstellen ein genaues Profil möglicher Nutzungsstandorte und Effizienzpotentiale. Diese werden dann mit den potentiellen Wärmeabnehmern abgeglichen und entsprechende Ergebnisreports

erstellt. Entscheidend hierbei ist, dass auch Daten mit berücksichtigt werden können, die in bisherigen Betrachtungen keine Rolle spielten oder aus Unkenntnis nicht in Betracht kamen.

Am Beispiel eines Wärmetauschers in einer Abwasserleitung zwischen einer Molkerei und einer kommunalen Kläranlage soll diese Zukunftstechnologie einmal näher beschrieben werden.

Eine Stadt führt an einer Zwischenstation der Pumpenzuleitung von Molkereiabwasser zur öffentlichen Kläranlage mehrere Jahre eine Testanwendung verschiedener Systeme zur Abwasserwärmenutzung durch. Ziel ist es, neben der Feststellung der geeigneten Wärmetauschertechnologie auch eine optimale Betriebsführung mit maximaler Wärmeausbeute zu erreichen, bevor es zu einer dauerhaften Installation kommen sollte. Maßgebend für die Betrachtungen bei der Bewertung der eingesetzten Wärmetauschersysteme sind neben der Schichtdicke, der Dauer und anschließende Beseitigung von Biofilmen auf den Innenflächen der Tauschersysteme auch die zugehörigen Reinigungsmethoden und die konstruktive Gestaltung des Systems. Biofilme verringern oder verhindern an den Grenzflächen die Wärmeübertragung aus dem Abwasser auf das Tauschmedium (hier sauberes Wasser) und lassen sich nicht vollständig verhindern. Nicht berücksichtigt werden in den Versuchen langzeitbasierte Einflüsse aus einem abgestimmten und optimierten Zusammenspiel der dezentralen Einflussgrößen Molkereisammelbecken, Zuleitungspumpen auf

Molkereiseite, pH-Messung auf Molkereiseite, Wärmetauscher nebst Peripherie, die Bedingungen auf Seiten des Wärmeabnehmers, sowie das Sammelbecken und die Flotation der Kläranlage auf die Wirtschaftlichkeit des Tauschersystems bzw. auf alle beteiligten Stellen und Organisationen. Eine solche Langezeitbetrachtung mit Echtzeitdaten war bislang nicht möglich.

Die in diesem Beispiel vorliegende dezentrale Struktur ist ein typischer und damit idealer Anwendungsfall für die digitalen Lösungen von KOMMUNAL 4.0. Es enden alle relevanten Daten aus den dezentralen Einheiten (siehe nachfolgende Abbildung) auf die Datenplattform übertragen, wo



Abb. 2: Abwasser-Wärmerückgewinnungsanlage

eine entsprechende Datenstrukturierung stattfindet, anschließend werden die Daten auf die Serviceplattform übertragen.

Ein genau auf den beschriebenen Fall entwickeltes Anwendungstool kann mit folgenden wesentlichen Zielen auf der Serviceplattform realisiert werden:

- Optimierte Betriebsführung des Wärmetauschers zur Minimierung der Biofilmbildung
- Analyse der Leitungsverluste von Wärmetauscher zu Wärmeabnehmer
- Optimierung der Pufferspeicher und Reduzierung der Entlastungsfälle auf Seiten der Molkerei

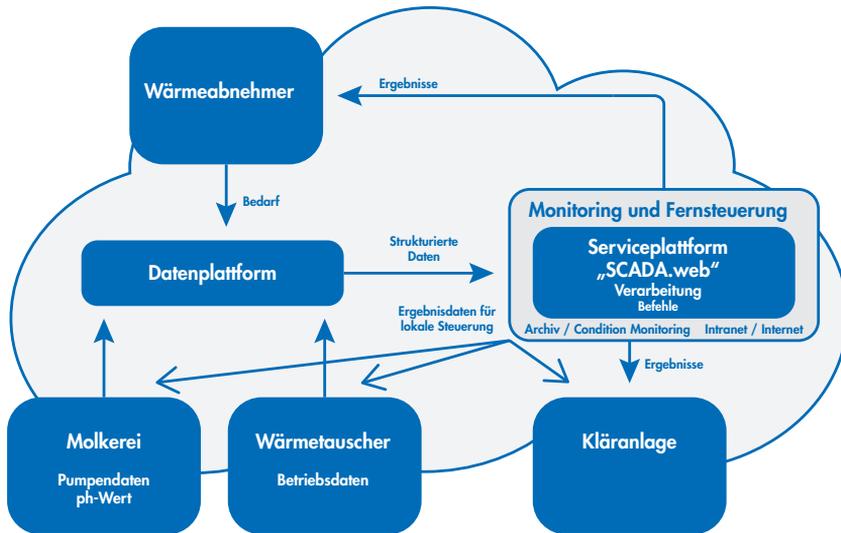


Abb. 3: Plattformkonzept „Effizienzsteigerung eines Wärmetauschers“

Im Einzelnen sind folgende Bausteine vorzusehen:

- *Optimierte Betriebsführung des Wärmetauschers zur Reduzierung der Eigenenergie und zur Minimierung der Biofilmbildung*
 - Bei Betriebszuständen, die eine Nutzung des Wärmetauschers nicht erfordern (z.B. bei zu geringer Wärmeentnahme oder nicht erforderlicher Abnahme), soll eine Bypassführung installiert werden, um unnötige Eigenverbräuche des WT (Wärmepumpe) zu verhindern und gleichzeitig unnötige Biofilmbildung zu vermeiden.
 - Selbstreinigung durch pH-Erfassung Zulauf; ein steigender pH-Wert fällt an, wenn seitens der Molkerei Reinigungslauge eingesetzt wird, die auch die Biofilmbildung im Wärmetauscher reduziert
- *Analyse der Leitungsverluste von Wärmetauscher zu Wärmeabnehmer*
 - Bei der Wärmeabgabe entstehen zwischen Wärmetauscher und Wärmenutzungsstellen nicht unerhebliche Wärmeverluste. Hierzu lagen keine Daten vor, daher sind durch ergänzende Messsonden Daten zu erfassen und zu prüfen, um Maßnahmen zur Verlustsenkung entwickeln zu können

- *Optimierung der Pufferspeicher und Reduzierung der Entlastungsfälle auf Seiten der Molkerei*

- Durch den autarken Betrieb der Molkerei wird der Pufferspeicher auf der Seite der Molkerei unabhängig anderer Parameter gefüllt und entleert. Solange keine Daten der anderen dezentralen Teilnehmer vorliegen, kommt es bei Kapazitätsengpässen auf der Kläranlagen-seite oder Störungen in der Molkerei dazu, dass bei Vollfüllung ungereinigtes Abwasser in den Kanal entlastet wird. Dies soll durch eine Datenauswertung und einem gezielten Puffermanagement (z.B. früheres Entleeren, wenn auf der KA genug Kapazität vorhanden ist) auf ein Minimum reduziert werden.

Wie relevant eine gute und vollständige Datenerfassung verschiedener dezentraler Objekte sein kann, hat sich im Rahmen eines Projektes gezeigt, bei dem ein Rohrwärmetauscher hinter einem Pumpwerk angeordnet wurde. Aufgrund der Abwasserzusammensetzung kam es immer wieder zu einer massiven Biofilmbildung, die nur durch entsprechende chemische Zugabemittel von den Wärmetauscheroberflächen entfernt werden konnte. Zum Glück verfügte das Wärmetauschersystem über eine webbasierte Prozessleittechnik (SCADA.web), an der auch die Pumpen des Pumpwerks mit angeschlossen waren.

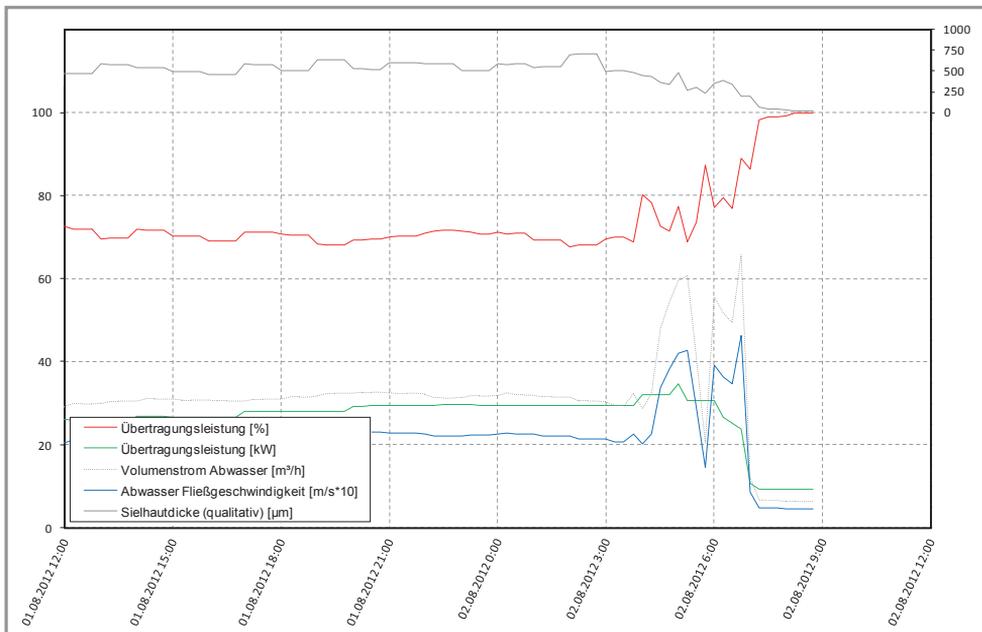


Abb. 4: Langzeitauswertungsergebnisse

Im Zuge der regelmäßigen Auswertung des Wärmetauscherbetriebs per Fernzugriff konnten die betreuenden Ingenieure eine interessante Entdeckung machen. Zu unterschiedlichen Zeiten wurden die Pumpen in einem erhöhten Betriebsmodus gefahren, auf den die Betreiber des Wärme-

tauschers keinen Einfluss hatte, da das Pumpwerk einige Kilometer entfernt war. Dieser spezielle Pumpenbetrieb fand unregelmäßig statt. Die Datenauswertung zeigte, dass die Wärmeübertragungsrates immer dann stark anstieg, wenn genau dieser erhöhte Betriebsmodus gefahren wurde. Durch die Datenerfassung konnten auch die Fließgeschwindigkeiten im Wärmetauscher ermittelt werden und es stellte sich heraus, dass im erhöhten Betriebsmodus die Fließgeschwindigkeiten stark zunahmen. Dadurch veränderten sich die Scherkräfte im Rohrsystem, was zu einer unerwarteten selbständigen Abreinigung des Biofilms führte. Diese Entdeckung wurde anschließend länger beobachtet und bestätigte sich.

Ohne die Datenerfassung sowie die Nutzung eines webbasierten Prozessleitsystems, der eine jederzeitige Kontrolle der Anlage erlaubte, wäre das zuvor beschriebene Phänomen nicht festgestellt worden. Nun ist das Ingenieurteam in der Lage, in Abstimmung mit dem Betreiber des Pumpwerks die Pumpensteuerung so anzupassen, dass bei sich reduzierender Wärmeübertragung die Pumpen in einen erhöhten Betriebsmodus gefahren werden, um eine automatische Abreinigung des Biofilms sicherzustellen, ganz ohne Chemie. Eine Langzeitauswertung wird zeigen, wie die Pumpen zu steuern sind, damit sich erst gar kein signifikanter Biofilm bilden kann.

Datum	Übertragungsleistung		Fließgeschwindigkeit		Dauer [Stunden]
	Ursprung [%]	Endwert [%]	Ursprung [m/s]	Endwert [m/s]	
12.05.2012	40	75	1,5	1,8	3
25.07.2012	60	70	1,8	2,8	28
27.07.2012	60	80	1,8	4,0	66
02.08.2012	70	85	2,2	4,5	1

Mit Hilfe der digitalen Datenaggregation lassen sich zukünftig die zuvor beschriebene und weitreichendere Analysen erstellen. Bei der Effizienzbewertung der Abwasserwärmenutzung können weitere, bislang nicht bedachte Einflussgrößen erfasst und in die Bewertung einbezogen werden. Nebeneffekte wie die zuvor beschriebene Reduzierung von Entlastungsereignissen stellen sich zusätzlich zu Bewertungsergebnissen ein, die der Realität so nah wie möglich kommen werden. Die im Zuge von KOMMUNAL 4.0 erfassten Daten und Informationen erlauben den Betreibern zukünftig eine umfassende Darstellung ihrer Infrastruktursysteme und damit eine weitaus sicherere Investitionsanalyse als bisher. Dies wird auch für die Bewertung und Auswahl von Abwasserwärmenutzungssystemen der Fall sein.

Quellen:

- [1] Merkblatt DWA-M 114, Energie aus Abwasser - Wärme- und Lageenergie, Juni 2009
- [2] Umfrage zum Bekanntheitsgrad der Abwasserwärmenutzung bei rund 5000 deutschen Kommunen, die an der Fachhochschule Südwestfalen - Standort Meschede - von einem Diplomanden des Unternehmens HST Systemtechnik GmbH & Co. KG im Frühjahr 2011 durchgeführt wurde.
- [3] Adrian Treis, Michael Becker, „Wärmegewinnung aus Abwasser – Wärmeangebote und Potentiale, Standortanalysen und Anlagenumsetzung im Emschergebiet“, http://www.eglv.de/fileadmin/EmscherGenossenschaft/2.2_Ueber_uns/2.2.7_Kooperationen___Projekte/120815_tr_bk_Koelner-Kanalkolloquium.pdf
- [4] Leitfaden zur Abwärmenutzung in Kommunen, Herausgeber: Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), 2008, http://www.lfu.bayern.de/energie/co2_minderung/doc/leitfaden_abwaermenutzung.pdf