

Potential der dezentralen Abwasserwärmerückgewinnung



Univ.-Prof. Dr.-Ing. Marten F. Brunk, Lehrstuhl für Baubetrieb und Gebäudetechnik
RWTH Aachen University



Dipl.-Wirt.-Ing. Christopher Seybold, Lehrstuhl für Baubetrieb und Gebäudetechnik
RWTH Aachen University

Einführung

Etwa 5 % des gesamten Endenergieverbrauchs in Deutschland werden zur Trinkwarmwassererzeugung verwendet¹. Bezogen auf Gebäude beträgt der Anteil des Endenergieverbrauchs für Warmwasser ca. 11%². Diese Wärmemenge wird größtenteils ungenutzt über das Abwasser in die Entwässerungssysteme eingeleitet. Vor dem Hintergrund der deutschen Klimaschutzziele, die Treibhausgasemissionen und den Anteil fossiler Energieträger zu reduzieren und gleichzeitig die Effizienz des Energieeinsatzes zu steigern, liegt in der Abwasserwärmerückgewinnung ein großes, bisher

weitgehend ungenutztes Potenzial zur Entwicklung von ressourcenoptimierten gebäudetechnischen Anlagen vor. Eine weitere Absenkung der Wärmemenge im Abwasser durch Einsparungen im Warmwasserverbrauch ist aufgrund der hohen Hygiene- und Komfortansprüche der Nutzer nicht zu erwarten.

Die Idee der Wärmerückgewinnung aus Abwasser ist nicht neu. Seit Ende der 80er-Jahre gibt es in Deutschland und der Schweiz Anlagen, welche die Abwasserwärme zentral aus der Straßenkanalisation nutzen. Hierbei werden Wärmeübertrager in die Kanalsole eingelegt und die Wärme über ein Wärmeträgermedium entnommen. Die Abwassertemperaturen betragen in den Hauptabwassersammlern ganzjährig 10 bis 15 °C. Aufgrund zahlreicher einschränkender technischer Randbedingungen ist eine breite Einführung der zentralen Abwasserwärmerückgewinnung in Deutschland bisher nicht zu beobachten.

Im Gegensatz zu diesem zentralen Ansatz wird im Rahmen des unter der Forschungsinitiative Zukunft Bau vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung geförderten Forschungsvorhabens³ „Dezentrale Wärmerückgewinnung aus häuslichem Abwasser“ das Ziel verfolgt, die Wärme der gesamten Abwasserströme dezentral innerhalb der Gebäude vor dem Einleiten in die Straßenkanalisation mit wesentlicher Energieabgabe ans Erdreich zu nutzen. Aufgrund der hohen Abwassertemperaturen im Gebäude von durchschnittlich 23 bis 26 °C kann die Effizienz und Wirtschaftlichkeit eines verwendeten Wärmepumpensystems erheblich gesteigert werden. Es bietet sich an, die Wärmepumpe zur Erzeugung des Trinkwarmwassers des Gebäudes zu nutzen und somit einen Wärmekreislauf aufzubauen, worin sich Energieangebot und Energienachfrage größtmäßig ausgleichen. Neben der hohen Wärmequellentemperatur und der direkten Nähe eines geeigneten Wärmeabnehmers sind als weitere Vorteile der dezentralen Abwasserwärmerückgewinnung die relativ einfache Implementierung in

den Gebäudebestand und die klar abgegrenzte rechtliche Situation zu nennen. Darüber hinaus bestehen insbesondere für kleinere Wohngebäude effiziente Kombinationsmöglichkeiten der Abwasserwärmequelle mit weiteren regenerativen Energiequellen, beispielsweise der Geothermie.

Messkonzept

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wird vom Lehrstuhl für Baubetrieb und Gebäudetechnik der RWTH Aachen eine detaillierte messtechnische Potentialanalyse der Energiequelle Abwasser durchgeführt. Hierzu werden in zwei Studentenwohnheimen, einem Hotel und einem Krankenhaus, wie in **Abbildung 1** dargestellt, die Trinkkaltwassermengen und die Abwassertemperaturen gemessen. Die Trinkwassermenge, welche mittels Impulsgebern mit der Wertigkeit von 10 Litern gemessen wird, stellt hierbei den Schätzwert für die Abwassermenge dar. Die Abwassertemperaturen werden mit jeweils zwei Temperaturanlegefühlern an den Abwasserleitungen redundant gemessen. Die Messstellen hierfür befinden sich an den Hauptabwassersträngen nachdem alle gebäudeinter-

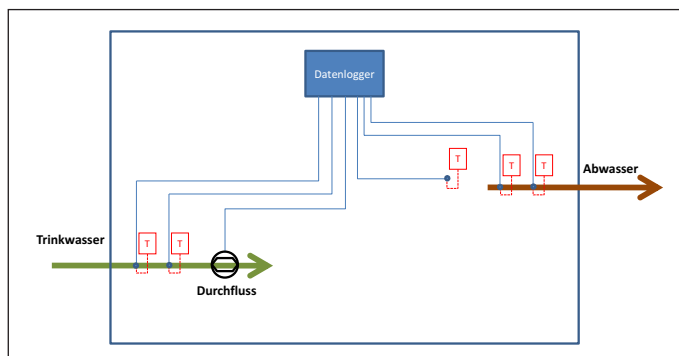


Abbildung 1: Monitoringkonzept.

¹ Vgl. AG Energiebilanzen e.V., Anwendungsbilanzen für die Endenergiesektoren in Deutschland im Jahr 2008, Berlin, 2011, S. 23.

² Vgl. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, CO₂ Gebäudereport 2007, Berlin, 2007, S. 17.

³ Förderkennzeichen: SF-10.08.18.7-10.4, Bewilligungszeitraum: Juni 2010 – Oktober 2011, Projektleitung: Lehrstuhl für Baubetrieb und Gebäudetechnik RWTH Aachen University

nen Abwasserleitungen zusammengeführt werden und bevor das Abwasser an die Straßenkanalisation übergeben wird. Zusätzlich werden die Raumtemperaturen in den Räumen mit den Messstellen des Trinkwasserdurchflusses und der Abwassertemperatur gemessen sowie die Trinkkaltwassertemperatur mit zwei weiteren Anlegefühlern aufgezeichnet. Als Temperaturfühler werden ausschließlich Platin-Widerstandsthermometer mit 1000 Ohm verwendet. Der Anschluss an den Datenlogger erfolgt mittels kurzen Leitungen in Zweileiterschaltung. Alle Temperatursensoren wurden im Vorfeld am Institut mit Hochpräzisionsmessinstrumenten kalibriert, um die Widerstandserhöhung durch die Leitungslängen des Fühlers zum Datenlogger zu berücksichtigen. Das Mess- und Speicherintervall beträgt bei allen Messungen fünf Sekunden.

Ziel des Monitorings ist die Ermittlung von repräsentativen Ganglinien von Abwassertemperatur und Durchfluss verschiedener Gebäudetypen und Nutzung zur Identifikation des energetischen Potentials der Abwasserströme. Zur Bildung der repräsentativen Ganglinien einzelner Wochentage werden die im Fünfsekundenintervall ermittelten Messdaten in Stundenwerte transformiert und statistisch ausgewertet. Der Stundenmittelwert des Durchflusses ergibt sich aus der Summe der aufgezeichneten Impulse innerhalb einer vollen Stunde und wird in Liter pro Stunde und Person bzw. Liter pro Stunde und Zimmer (Hotel) oder Liter pro Stunde und Bett (Krankenhaus) angegeben. Die Berechnung des Stundenmittelwertes der Abwassertemperatur erfolgt nicht durch eine zeitliche Gewichtung der Fünfsekundenwerte, sondern durch eine mengenmäßige Gewichtung

mit dem zeitgleich gemessenen Fünfsekundenwert des Durchflusses und wird in °C angegeben.

Die vier Monitoringobjekte befinden sich alle im Aachener Stadtgebiet. Das Theodore von Kármán Haus ist ein 1968 erbautes Studentenwohnheim, welches 1988/89 saniert

wurde. Das Haus bietet auf 16 Etagen Platz für 246 Bewohner. Das Otto Petersen Haus ist ebenfalls ein vollständig vermietetes Studentenwohnheim in der Rüttscher Straße in Aachen, welches 1965 gebaut und 1988/89 saniert wurde. Das Haus hat 18 Etagen und beherbergt 209 Bewohner. Bei dem Hotelgebäude handelt es

sich um einen Hotelneubau mit 150 Zimmern, welches vorrangig von Geschäftsreisenden besucht wird. Das Luisenhospital ist ein modernes Krankenhaus der Regelversorgung der Stadt Aachen mit 348 Planbetten und acht Fachabteilungen.

In den Diagrammen 1 bis 4 ist der repräsentative Tages-

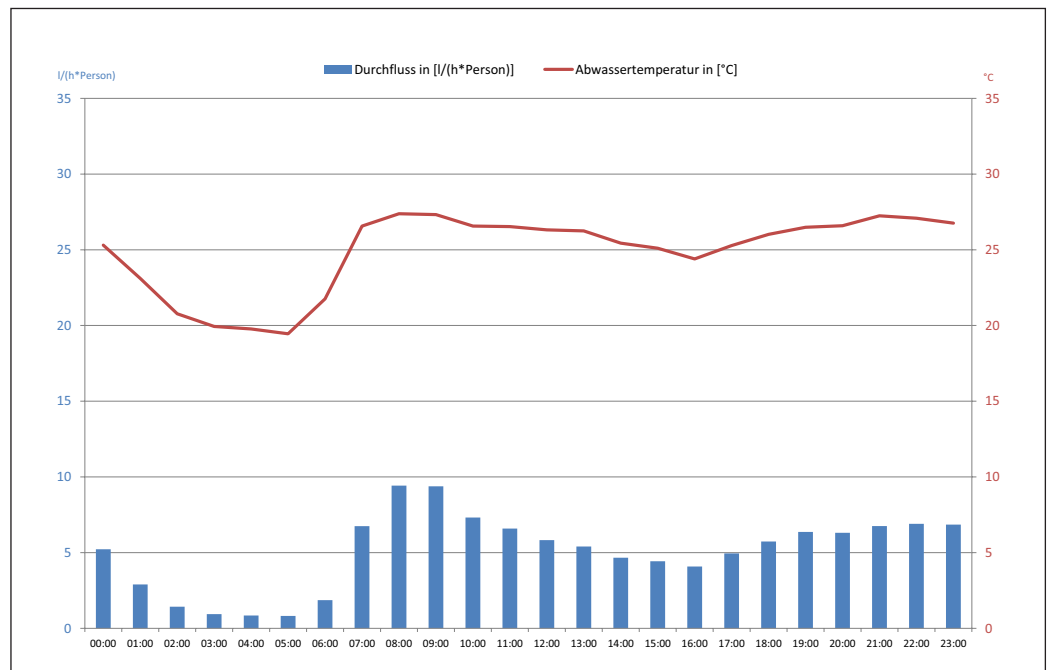


Diagramm 1: Theodore von Kármán Haus, Ganglinie Montag bis Freitag.

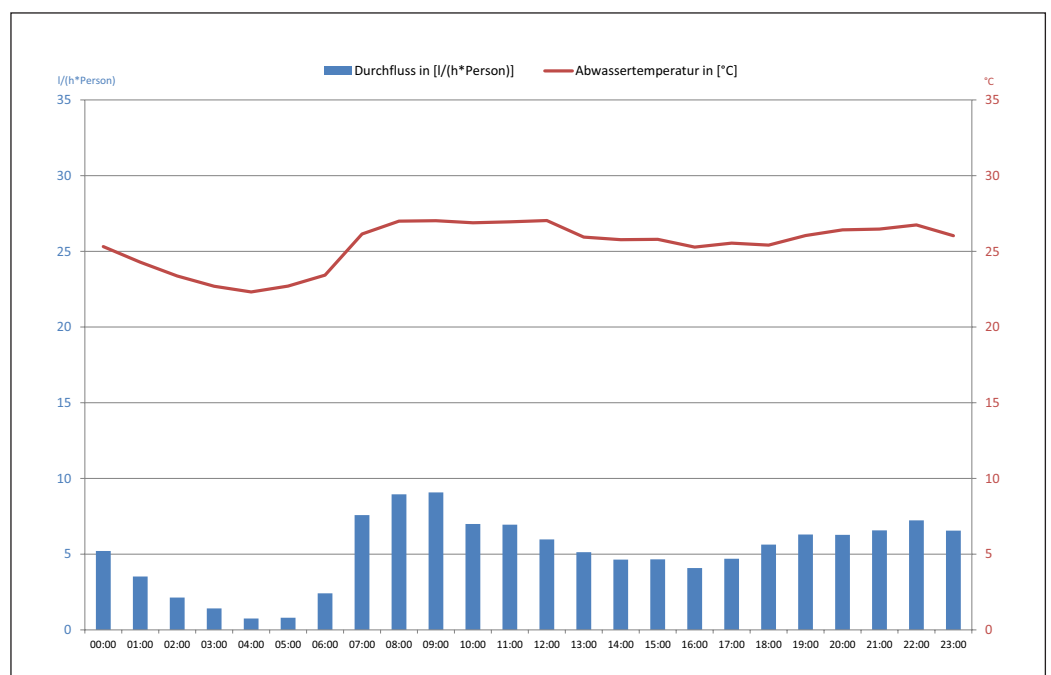


Diagramm 2: Otto Petersen Haus, Ganglinie Montag bis Freitag.

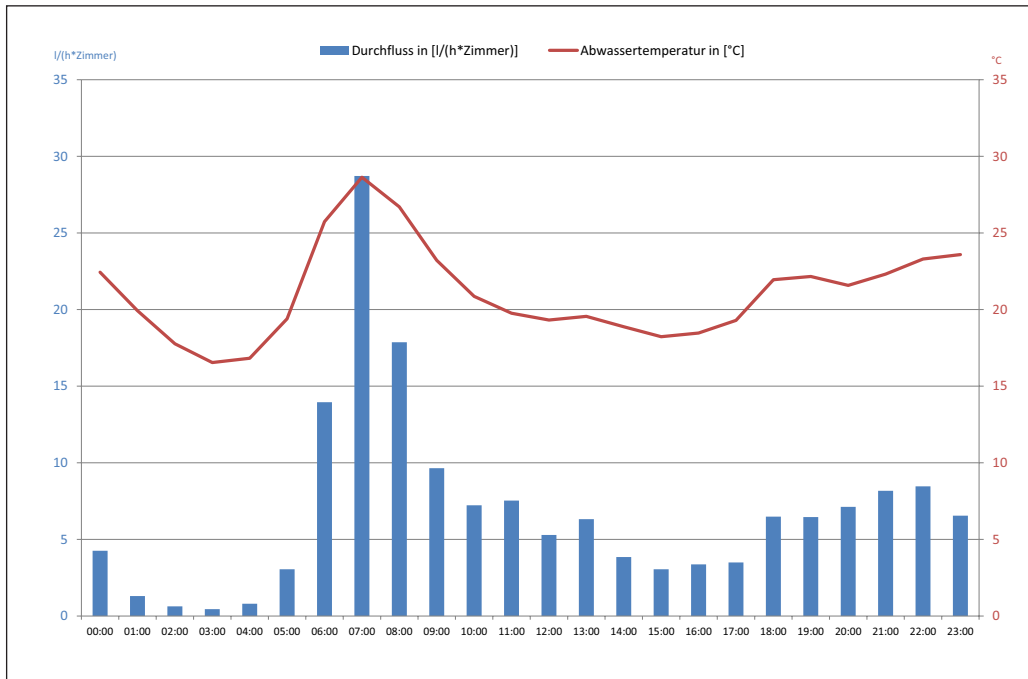


Diagramm 3: Hotel, Ganglinie Dienstag bis Freitag.

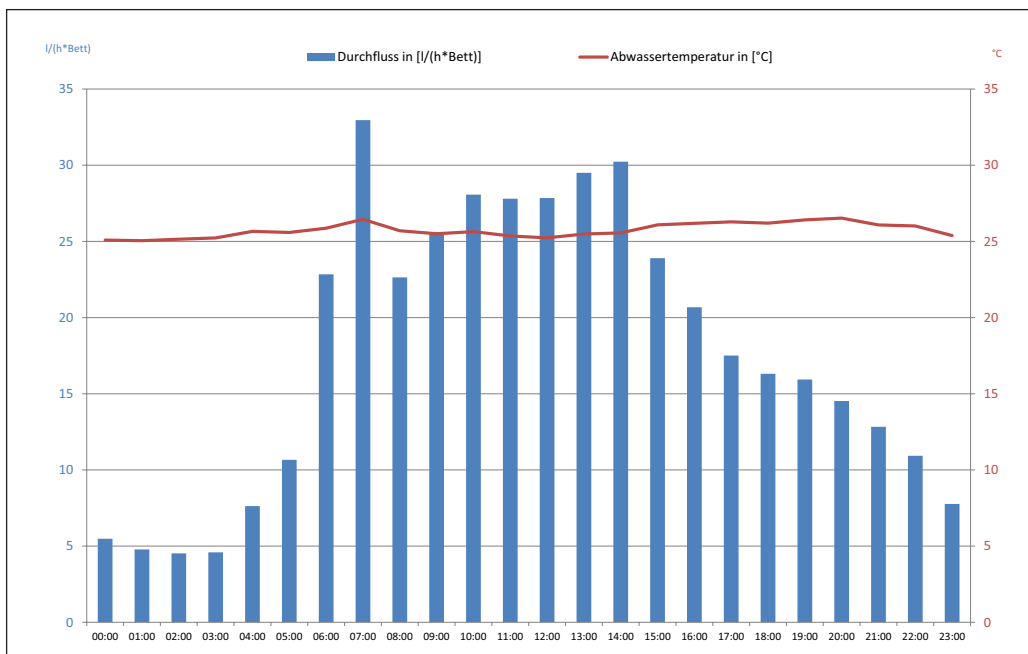


Diagramm 4: Luisenhospital, Ganglinie Montag bis Freitag.

gang von Trinkwasserentnahme und Abwassertemperatur der vier untersuchten Objekte für einen Werktag auf Grundlage von arithmetischen Mittelwerten dargestellt. Auf der Abszisse ist der Tag aufgeteilt in 24 Stundenwerte aufgetragen. Der Durchfluss ist als Balkendiagramm dargestellt und bezieht sich auf die linke

Ordinate. Als Liniendiagramm ist die dazugehörige durchschnittliche Abwassertemperatur abgebildet, welche sich auf die rechte Ordinate bezieht.

Ergebnisse Theodore von Kármán Haus

Für das Studentenwohnheim Theodore von Kármán

Haus ergeben sich aus den Messdaten von Februar bis Juni 2011 für einen charakteristischen Werktag von Montag bis Freitag ein durchschnittlicher Trinkwasserverbrauch von 121,8 Liter pro Tag und Person bzw. 29,95 m³ pro Tag und eine durchschnittliche Abwassertemperatur von 26,3 °C. In Diagramm 1 ist

der repräsentative Tagesgang von Durchfluss und Abwassertemperatur dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die morgendlichen Trinkwasserzapfungen ab 6:00 Uhr beginnen und zwischen 8:00 und 10:00 Uhr mit ca. 9 Liter pro Stunde und Person das Maximum erreichen. In den Nachmittagsstunden ist zwischen 16:00 und 17:00 Uhr eine Senke zu erkennen, worauf in den Abendstunden eine zweite, schwächere Spitze von 22:00 bis 23:00 Uhr mit ca. 7 Liter pro Stunde und Person folgt. Der Verlauf der Abwassertemperaturen weist einen ähnlichen Verlauf auf. Mit der morgendlichen Verbrauchsspitze ist zwischen 8:00 und 9:00 Uhr der höchste Stundenwert mit 27,4 °C zu beobachten. In den Nachtstunden fällt die Temperatur auf 19,5 °C zwischen 5:00 und 6:00 Uhr ab. Der Verlauf der Abwassertemperatur zeigt, dass in Zeitperioden mit hohem Durchfluss größere Warmwassermengen verbraucht werden als in Zeiträumen mit geringem Durchfluss. An den Wochenendtagen Samstag und Sonntag (hier bildlich nicht wiedergegeben) ergeben sich abweichende Profile. So beginnt beispielsweise die morgendliche Verbrauchsspitze an einem Samstag mit einer einstündigen und an einem Sonntag mit einer zweistündigen Verzögerung.

Ergebnisse Otto Petersen Haus

Für das zweite Studentenwohnheim, das Otto Petersen Haus, ergibt sich trotz abweichender Ausstattung ein nahezu identisches Verbrauchsprofil. An Werktagen werden für den Messzeitraum Februar bis Juni 2011 durchschnittliche Werte des Trinkwasserverbrauchs von 123,6 Liter pro Tag und Person bzw. 25,83 m³ pro Tag und eine Abwassertemperatur von 26,2 °C erreicht. Der Ganglinie

in **Diagramm 2** ist zu entnehmen, dass die morgendliche Verbrauchsspitze ebenfalls zwischen 8:00 und 10:00 Uhr mit ca. 9 Liter pro Stunde und Person liegt. Wie beim zuvor beschriebenen Gebäude sind auch die nachmittägliche Senke zwischen 16:00 und 17:00 Uhr sowie die zweite, schwächere Verbrauchsspitze zwischen 22:00 und 23:00 Uhr mit ca. 7 Liter pro Stunde und Person zu erkennen.

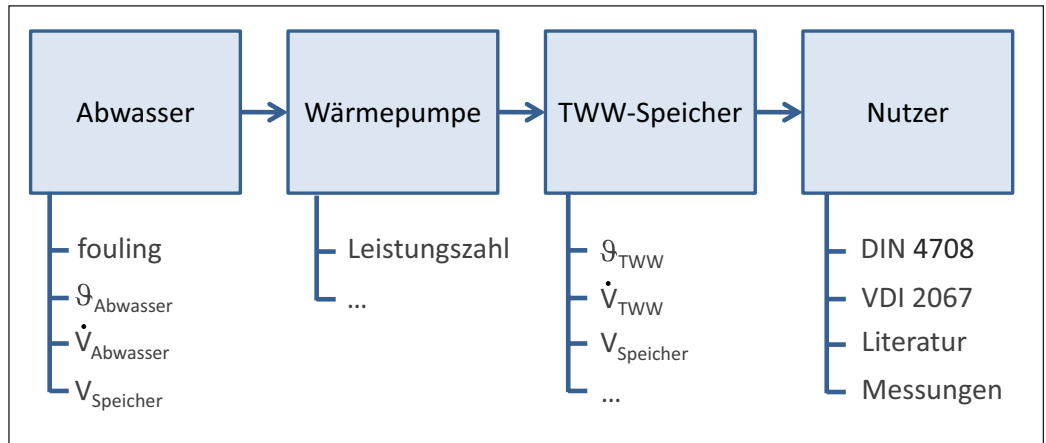


Abbildung 2: Analysekonzept zur Wärmerückgewinnung aus Abwasser.

Ergebnisse Business-Hotel

Die Messdaten des Hotelgebäudes zeigen für den Messzeitraum Januar bis Juni 2011 für einen charakteristischen Werktag von Dienstag bis Freitag einen durchschnittlichen Trinkwasserverbrauch von 164,1 Liter pro Tag und Zimmer bzw. 25,27 m³ pro Tag und eine durchschnittlicher Abwassertemperatur von 23,70°C. In **Diagramm 3** ist die Ganglinie für den Werktag dargestellt. Es ist zu erkennen, dass zwischen 7:00 und 8:00 Uhr eine große Trinkwasserverbrauchsspitze mit 28,7 Liter pro Stunde und Zimmer auftritt. In den restlichen Tagesstunden wird wesentlich weniger Trinkwasser nachgefragt, bis in den Abendstunden zwischen 22:00 und 23:00 Uhr mit ca. 8 Liter pro Stunde und Zimmer eine zweite, schwächere Verbrauchsspitze auftritt. Der Verlauf der Abwassertemperatur folgt diesem Profil mit einem Höchstwert von 28,6°C zwischen 7:00 und 8:00 Uhr und niedrigen Werten von unter 20°C in den Nachmittags- und Nachtstunden. Die Montage, Samstag und Sonntage zeigen wesentlich geringer ausgeprägte morgendliche Verbrauchsspitzen, was auf die Nutzung als Business-Hotel zurückzuführen ist. Daneben verschiebt sich die morgend-

liche Spitze an Samstagen und Sonntagen um eine Stunde zeitlich nach hinten.

Ergebnisse Luisenhospital

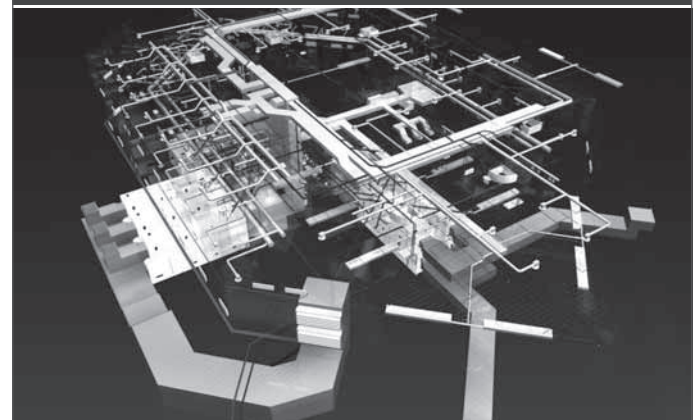
Bei der messtechnischen Ausrüstung des Krankenhauses ergibt sich die Besonderheit, dass das Abwasser des Gebäudes über vier Abwasserteilstränge in die Straßenkanalisation eingeleitet wird, jedoch nur eine Wasseruhr zur Messung der gesamten Trinkwassermenge zur Verfügung steht. Zur Aufteilung der gemessenen Trinkkaltwassermenge auf die vier Teilstränge erfolgte eine Aufnahme aller Entwässerungsgegenstände des Gebäudes und der zugehörigen Nutzungsprofile, auf dessen Grundlage zu jedem Fünfskundenwert des Durchflusses ein Verteilungsschlüssel auf die vier Abwasserteilstränge berechnet wird. Die auf diese Weise erstellte mittlere Ganglinie für den Messzeitraum Mai bis Juli 2011 zeigt **Diagramm 4**. An einem Werktag Montag bis Freitag ist ein durchschnittlicher Trinkwasserverbrauch von 425,6 Liter pro Tag und Bett bzw. 148,1 m³ pro Tag feststellbar. Die durchschnittliche Abwassertemperatur beträgt an Werktagen 25,8°C. Der Ganglinie ist eine morgendliche Verbrauchsspitze zwischen 7:00 und 8:00 Uhr von ca. 33 Liter pro Stunde

und Bett zu entnehmen. Zwischen 14:00 und 15:00 Uhr ist eine zweite Spitze mit ca. 30 Liter pro Stunde und Bett zu erkennen. Ab 15:00 Uhr findet ein stetiges Absinken des Trinkwasserverbrauchs bis in die Nacht statt. Die Abwas-

sertemperatur ist ganztägig auf einem hohen Niveau von über 25°C. An Samstagen und Sonntagen ist ein geringerer Trinkwasserverbrauch festzustellen, die Abwassertemperaturen bleiben auf dem 25°C-Niveau.

DDS-CAD Haustechnik

Planen | Berechnen | Simulieren | Dokumentieren



Ihre maßgeschneiderte CAD-Planungssoftware für:

- Ingenieur- und Planungsbüros
- Industrie
- Handwerksbetriebe
- Instandhaltung
- Energieberatung
- Ausbildung

Tel.: 0800-20 10 600
Fax: 0800-20 10 500

info@dds-cad.de
www.dds-cad.de



DATA DESIGN SYSTEM®

⁴ Vgl. Statistisches Bundesamt, Statistisches Jahrbuch 2010, Wiesbaden, 2010, S. 307.

Auswertung

Zusammenfassend ist festzustellen, dass alle vorgestellten Ganglinien in den Morgenstunden eine ausgeprägte Trinkwasserverbrauchsspitze zeigen. Bei der Wohn- und Hotelnutzung kommt es abends zu einer zweiten, schwächeren Verbrauchsspitze. Beim Krankenhaus sind über den gesamten Tag hohe Wasserverbräuche zu erkennen. Während bei der Wohnnutzung die durchschnittliche tägliche Pro-Kopf-Trinkwasserverbrauchsmenge von 122 Litern, welche vom Statistischen Bundesamt für Deutschland herausgegeben wird, erreicht wird, sind bei der Hotel- und Krankenhausnutzung höhere Verbrauchswerte festzustellen.⁴ Die durchschnittlichen Abwassertemperaturen von 23 bis 26 °C zeigen das im Vergleich zu anderen regenerativen Energiequellen hohe Temperaturniveau der Wärmequelle Abwasser.

Die Analyse der Messungen unterstreicht das hohe energetische Potential des Abwassers innerhalb von Gebäuden. Abwasser stellt aufgrund des Temperaturniveaus eine ideale Wärmequelle für eine Wärmepumpe dar. Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde entsprechend **Abbildung 2** ein Analysekonzept entwickelt, um eine energetische Beurteilung einer Wärmerückgewinnung aus Abwasser zu ermöglichen. Hierbei werden die ermittelten Ganglinien als Basis verwendet. Erste Ergebnisse lassen hohe Leistungszahlen der Wärmepumpen erwarten, die hochgerechnet auf ein Betriebsjahr in Jahres-

arbeitszahlen (JAZ) von 3,0 bis 4,7 enden. Weitere Ergebnisse werden dem Abschlussbericht des Forschungsvorhabens, der ab Mitte 2012 zur Verfügung stehen wird, zu entnehmen sein. Die Abkühlung des Abwassers durch die Wärmepumpe bewegt sich mit durchschnittlich 10 K in einem moderaten Bereich, sodass von keiner Beeinträchtigung der nachgeschalteten Abwasserreinigungsprozesse auszugehen ist. Am abwasserseitigen Wärmeübertrager ist aufgrund des Nährstoffreichtums im Abwasser die Bildung von Biofilm zu erwarten, welcher durch eine isolierende Wirkung den Wärmedurchgang vom Abwasser zum Wärmeträgermedium erheblich behindert. Der Biofilm besteht vorrangig aus mehreren Schichten von Mikroorganismen, darüber hinaus sind auch vereinzelt anorganische Ablagerungen zu beobachten.⁵ Die Reduktion der Biofilmbildung beispielsweise durch automatisierte Reinigungsverfahren ist maßgebend für die Systemeffizienz.

Ausblick

In dem ebenfalls vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung geförderten Folgeforschungsvorhaben⁶ zur dezentralen Abwasserwärmerückgewinnung werden neben weitreichenden Simulationsrechnungen neue Wohngebäude in das Monitoring aufgenommen. Der Fokus liegt hierbei auf kleine Mehrfamilienhäuser, um die Ganglinien auf Wohngebäude mit geringerer Nutzerzahl zu erweitern. Es ist zu erwarten, dass Gebäude mit geringer Bewohnerzahl aufgrund der größeren zeitlichen Diskrepanz zwischen Trinkwarmwasserzapfung und Abwasseranfall höhere Anforderungen an die Speicherkonzepte stellen. Zusätzlich werden die Messungen an den bisherigen Monitoringob-

jekten fortgeführt, um an allen Gebäuden eine vollständige Jahresperiode zu vermessen und eine Aussage über jahreszeitliche Schwankungen von Abwassermenge und Abwassertemperatur zu ermöglichen und die maßgeblichen Einflussgrößen wie beispielsweise eine jahreszeitliche Schwankung der Trinkkaltwassertemperatur zu identifizieren. Ziel des Projektes ist die weitreichende Nutzung des Wertstoffs Abwasser. Die dezentrale Abwasserwärmerückgewinnung stellt eine zukunftsweisende Technologie zur Steigerung der Energie- und Ressourceneffizienz von gebäudetechnischen Anlagen dar. ◀

⁴ Vgl. Wanner, O., Wärmerückgewinnung aus Abwassersystemen, 2004, S. 37ff.

⁶ Förderkennzeichen: SF-10.08.18.7-11.38, Bewilligungszeitraum: Dezember 2011 – Mai 2013, Projektleitung: Lehrstuhl für Baubetrieb und Gebäudetechnik RWTH Aachen University



Mit einem Klick alles im Blick.

Thinking Buildings Universe –
das Online-Portal für Gebäudeplaner



Das Grundfos-Portal Thinking Buildings Universe für den Bereich Gebäudetechnik bietet Ihnen umfassendes Wissen und die erforderlichen Werkzeuge zur Auslegung und Gestaltung von zuverlässigen und energieeffizienten Pumpenlösungen.