

Abschlussbericht

Modulare, mobile Wärmeübertrageranlage zur Abwärmegewinnung aus warmem, verschmutztem Abwasser

gefördert durch



Deutsche Bundesstiftung Umwelt

www.dbu.de

unter dem AZ: 29469

Jaske & Wolf
Verfahrenstechnik GmbH

Am Alten Flugplatz 16

49811 Lingen

Mai 2016

Projektkennblatt
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Az 29469		Referat 24/2	Fördersumme 51.372 €
Antragstitel Modulare, mobile Wärmeübertrageranlage zur Abwärmegewinnung aus warmem, verschmutztem Abwasser			
Stichworte			
Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)
4 Jahre	01.03.2012	29.02.2016	1
Abschlussbericht	2		
Bewilligungsempfänger	Jaske & Wolf Verfahrenstechnik GmbH Am Alten Flugplatz 16 49811 Lingen		Tel 05919154110 Fax 05919154112
			Projektleitung Dr. Peter Wolf
			Bearbeiter Dr. Peter Wolf
Kooperationspartner	Hochschule Osnabrück, Labor für Innovative Energiesysteme Von Prof. Dr.-Ing Matthias Reckzüge		

Zielsetzung und Anlass des Vorhabens

Dieses Projekt soll die Markteinführung des von uns entwickelten und international patentierten, hocheffizienten Wärmerückgewinnungssystems DUPUR[®], das sich automatisch reinigt und daher in der Lage ist, aus verschmutztem wie auch biologisch aktivem, warmem Wasser durch Entwärmen die Wärmeenergie zurück zu gewinnen, unterstützen.

Innerhalb dieses Vorhabens sind vier Ziele definiert worden.

1. Optimierung des Berechnungsprogramms zur hydraulisch, thermischen Auslegung des Systems.
2. Erstellung eines mobilen Wärmerückgewinnungssystems zu Versuchszwecken.
3. Ausleuchtung der rechtlichen Rahmenbedingungen und Partizipation bei der Entwicklung rechtlicher Rahmenbedingungen bei Einsatz einer Wärmerückgewinnung aus Abwasser oder natürlichen Quellen.
4. Erstellung der Grundlagen zu einem Wärmemanagementsystem und einer „to do-Liste“ als Arbeitsgrundlage.

Die Wärmerückgewinnung aus Abwasser ist ein komplett neues Geschäftsfeld. Es hat bisher den Forschungs- und Projektstatus gerade hinter sich gelassen. Wir haben ein effizient arbeitendes System entwickelt und den Status des Prototyps überwunden.

Der Vorteil der Wärmerückgewinnung aus verschmutzten Medien ist auf Grund des Einsparungspotenzials an Primärenergie leicht vermittelbar. Allerdings sind bei der Umsetzung eine Reihe von Rahmenbedingungen einzuhalten, damit ein Projekt auch zum gewünschten Erfolg führt. Dieses Vorhaben verfolgt das Ziel, ein mobiles Wärmerückgewinnungssystem als Versuchsanlage anzubieten, das die Funktion einer Wärmerückgewinnung nachweist und der Nutzen sich durch den Betrieb des Systems leicht erschließt. Des Weiteren ist vorangehende Testphase immer dann sinnvoll, wenn die verfahrenstechnischen oder / und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen noch nicht bekannt sind.

Die zurück gewonnene Wärme kann z. B. direkt im Produktionsprozess zur Vorwärmung von Frischwasser, aber auch in vor- oder nachgelagerten Prozessen oder z. B. auch zum Heizen von Räumen verwendet werden. Alle Verwendungen erfordern unterschiedliche Konzepte der angeschlossenen weiterführenden Anlagentechnik, Wärmeführung und Beachtung gesetzlicher Vorgaben. Im Rahmen dieses Vorhabens wird daher ein Fragenkatalog zur Bestimmung der Situation sowie der Vorstellungen der Wärmeverwendung beim Anwender erstellt.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Zunächst galt es, die notwendige Mess-, Auswert- und Kommunikationstechnik festzulegen. Es bieten sich hier verschiedene Möglichkeiten an. Zum einen gibt es als Paket erhältliche Messtechnik mit Kommunikationstechnik und Software und zum anderen besteht die Möglichkeit die Messtechnik mit einer selbst gewählten Datenverarbeitung, Steuerung und Kommunikation zu verknüpfen. Letzteres ergibt mehr Freiheiten bei der Variation insbesondere im Hinblick auf die Kommunikation und der Datenbereitstellung (M-Bus, Modem, VPN-Tunnel) und wurde von daher favorisiert. Die erweiterten Möglichkeiten rechtfertigten den zusätzlichen Programmieraufwand.

Da uns eine technische Vorläuferanlage im Moskaubad in Osnabrück zur Erfassung von Messdaten zur Verfügung stand, haben wir dort im Rahmen dieses Projekts die Auswahl der Messtechnik geprüft. Dabei wurden über Pumpendruck- und Temperaturmessungen die geförderte Wasser- und Wärmemenge bestimmt und mit einem Wärmemengenzähler verifiziert. Zur Abrufung der Daten wurde eine Datenfernübertragung eingerichtet. Es hat sich herausgestellt, dass die direkte Messung über Temperaturfühler und die Überwachung des Pumpendrucks mit Drucksensoren genauso gut funktioniert wie die Messwertaufnahme über einen Wärmemengenzähler und zudem, da die Daten sowieso zur Steuerung benötigt werden, noch kostengünstiger ist. Daraus resultiert, dass keine Messtechnik im Abwasserstrom installiert sein muss und somit ein sicherer und wartungsarmer Betrieb gewährleistet werden kann.

Parallel zu diesem Projekt wurde auch das Wärmeübertragungssystem weiterentwickelt. Das gesamte Rohrsystem ist im Gegensatz zu den ursprünglichen verschweißten Systemen verschraubt konstruiert, so dass dieser dann bei Verschmutzung zerlegt und gereinigt werden kann. Und da das in einem Container zu Versuchszwecken eingesetzte DUPUR[®]-Wärmerückgewinnungssystem unter den verschiedensten Bedingungen arbeiten soll und dadurch die Gefahr besteht, dass eine nicht so ohne weiteres zu entfernende Verschmutzung eintritt, ist dieses System eingebaut worden. Die Planung und Realisierung dieses Systems hat erheblichen Mehraufwand, als ursprünglich geplant, erzeugt.

Die Planung, die Durchführung und die Auswertung des Messprogramms orientierten sich an einer möglichst schlanken aber aussagekräftigen Datenlage. Es wurde daher darauf verzichtet, zeitlich getaktete Daten zu erfassen. Die Steuerung ermöglicht die Einstellung, Daten zu erfassen, wenn eine Änderung des Messwertes über einen bestimmten Schwellenwert stattfindet. Die erfassten Daten werden im CSV-Format gespeichert und können über die Datenfernübertragung ausgelesen werden. Des Weiteren werden die Messwerte zur Steuerung der Anlage verwendet.

Die Wärmeleitfähigkeit von Wärmeübertragern ist im Wesentlichen von der Hydraulik der wärmeübertragenden Flüssigkeiten abhängig. Dabei spielen zum einen die Flüssigkeitseigenschaften, aber zum anderen auch die bauartbedingten geometrischen Verhältnisse eine Rolle. Während die Flüssigkeitseigenschaften messbar bzw. bekannt sind, sind die sich einstellenden geometrischen Verhältnisse heterogen und schwerer zu fassen und müssen daher in einem zu berechnenden Modell angepasst werden, zu dem die Formeln nicht erst entwickelt werden müssen. Das entwickelte Berechnungsmodell wurde durch die Erhebung von Messwerten im Rahmen einer Bachelorarbeit überprüft. Die Übereinstimmung der Messung zu den Berechnungen betrug 95 %.

Ergebnisse und Diskussion

Die Herstellung eines mobilen Wärmerückgewinnungssystems in einem Container als Versuchsanlage ist Teil der Markteinführung eines Konzepts zur Rückgewinnung von Wärme aus verschmutztem Wasser unterschiedlicher Herkunft, wie z. B. Abwasser, natürlichem Oberflächenwasser und Grundwasser.

Die Wärmerückgewinnung aus Abwasser kann zu nicht vorhersehbaren Ereignissen führen, so dass ein Versuchsbetrieb dringend anzuraten ist. Im Rahmen der Planung einer mobilen Anlage wurde auf Basis bisheriger Erfahrungen, die vorhandene Konstruktion optimiert und überarbeitet, damit nicht vorhersehbaren Umständen begegnet werden kann. Die Anlage ist derart konzipiert, dass sie alle Vorgaben, die uns im Rahmen der Akquisition unseres Systems gestellt wurden, erfüllt. Das Wärmerückgewinnungssystem ist mit einem Kühler als Verbraucher ausgestattet und benötigt lediglich einen Stromanschluss. Die Steuerung wird über eine Datenfernübertragung überwacht. Die Daten werden gespeichert, können abgerufen und verarbeitet werden. Es können unterschiedliche Zugriffsrechte vergeben werden, so dass auch der Kunde und Betreiber den Betriebszustand verfolgen kann bzw. ein definiertes Zugriffsrecht bekommt.

Neben der reinen Anlagenplanung wurde ein Berechnungsprogramm zur Auslegung unserer Wärmeübertrager entwickelt, so dass mit den Angaben, die über ein von uns erarbeitetes Formblatt ermittelt werden, ein Wärmerückgewinnungssystem auslegt werden kann. Die Qualität des Berechnungsprogramms wurde in einer Bachelorarbeit, die mit sehr gut bewertet wurde, verifiziert.

Neben den rein technischen Entwicklungsschritten wurde auch auf der politischen Ebene die Wärmerückgewinnung als der schlafende Energieriese bekannt gemacht und auf verschiedenen Veranstaltungen zuletzt im Umweltausschuss des Landtags (Niedersachsen) über die Möglichkeiten der Wärmerückgewinnung aus Abwasser und Schmutzwasser informiert.

Im Rahmen dieses Projekts ist unser DUPUR[®]-Wärmerückgewinnungssystem auf dem Gelände eines Pharma - Industrieparks in ihrem ersten Feldversuch eingesetzt worden.

Die Gewinnung von Wärmeenergie aus Abwasser ist ein spannendes Thema. Aufgrund schlechter Erfahrungen besteht allerdings große Skepsis gegenüber bislang eingesetzter Technologien. Des Weiteren muss für eine Wärmesenke gesorgt werden, damit die zurück gewonnene Wärme auch genutzt werden kann. Der Betrieb einer Versuchsanlage ist daher sinnvoll und oft auch notwendig. Mit den erarbeiteten Referenzen wird eine weitere Verbreitung des Systems und des Themas Wärmerückgewinnung / Energieeffizienz allgemein erheblich einfacher erreicht.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Die Firma Jaske & Wolf Verfahrenstechnik GmbH ist Mitglied der DENEFF und hat das System ab 2011 regelmäßig auf der Hannovermesse und 2014 auf der IFAT vorgestellt. Politisch wurde das Thema der Wärmerückgewinnung aus Abwasser bei mehreren Gelegenheiten bekannt gemacht. Erster Höhepunkt war ein Treffen bei der DENEFF Auftaktveranstaltung 2014 mit der Umweltministerin Barbara Hendricks, der ein von uns aufgesetztes Strategiepapier zur Bewertung von Energiesparmaßnahmen übergeben wurde. Dies führte dazu, dass wir ins Umweltministerium eingeladen wurden und wir dort die Gelegenheit hatten, das Potential der Energierückgewinnung aus Abwasser mit dem dazugehörigen CO₂ – Einsparungspotential vorzustellen. Eine weitere Einladung zur Information über die Möglichkeiten der Wärmerückgewinnung aus verschmutztem Wasser des Umweltausschusses des niedersächsischen Landtags erfolgte zum 22.02.2016. Des Weiteren wurde das Wärmerückgewinnungssystem zum European Geothermal Innovation Award 2016, dessen Vergabe am 25.02.2016 in Offenburg auf der Geotherm stattfand, nominiert.

Fazit

Der Bau des mobilen DUPUR[®]-Wärmerückgewinnungssystems mit den dazu gehörenden weiteren Arbeitsfeldern kann als sehr erfolgreich beurteilt werden. Die erste Anwendung auf dem Gelände eines Pharma - Industrieparks, auf dem das Abwasser aus einem Abwasserschacht gepumpt werden muss, hat den Kunden schon in den ersten Betriebstagen überzeugt. Weitere Versuchsstandorte konnten leider erst nach Ende des Förderzeitraums (z. B Thermalschwimmbad) akquiriert werden.

Inhaltsverzeichnis

Projektkennblatt.....	2
Inhaltsverzeichnis.....	5
Verzeichnis der Abbildungen	6
1. Zusammenfassung.....	7
2. Einleitung.....	8
3. Ziele des Vorhabens	9
4. Durchführung der Entwicklungsarbeit	10
4.1 Definition des hydraulischen Systems	10
4.2 Ökologische und ökonomische Bilanzierung des Wärmerück- gewinnungssystems in Abgrenzung zum Stand der Technik	11
4.2.1 Grundlagen des Wärmeübergangs in flüssig-flüssig-Systemen	11
4.2.2 Der Stand der Technik der Wärmerückgewinnungsanlagen zur Wärmerückgewinnung aus verschmutzten Medien	13
4.2.3 Wirtschaftlichkeit des DUPUR® Wärmeübertragungssystems	14
4.2.3.1 Volkswirtschaftlicher und Hintergrund	14
4.2.3.2 Betriebswirtschaftlicher Hintergrund	14
4.3 Technische Realisierung der mobilen Containeranlage	18
4.4 Akquisition von Demonstrationsprojekten	20
4.4.1 Versuchsbetrieb am praktischen Beispiel eines Pharma - Industrieparks	20
4.4.2 Weitere Projekte	22
4.4.3 Projektanalyse	23
5. Erstellung eines Fragenkatalogs zur Bewertung des zu nutzenden Energiepotentials im Abwasser.	23
6. Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation.....	24
7. Ergebnis und Fazit	25
8. Anhang.....	27

Verzeichnis der Abbildungen

- Abb. 1: Fragenkatalog zur Wärmerückgewinnung aus Abwasser
- Abb. 2: Eingabe – und Ergebnismaske zur Auslegung eines Wärmübertragungssystems
- Abb. 3: Einsatzbereiter Versuchscontainer
- Abb. 4: Der Versuchscontainer am Einsatzort
- Abb. 5: Kabelbinder und Kunststoffteilchen wurden in der Pumpe vor dem Schneidwerk gefunden.
- Abb. 6: Dichtungsringe mit Faserzopf wurden mit angesaugt
- Abb. 7: Verstopfung der Tauchpumpe durch eine Brandschutz-/Schweißschutzdecke und Putzlappen
- Abb. 8: Email – Korrespondenz zur Entwicklung der Förderung der Wärmerückgewinnung aus Abwasser
- Abb. 9: Stellungnahme zur Anhörung des Ausschusses für Umwelt, Energie und Klimaschutz
- Abb. 10: Kurzvortrag Perpetuum Preisverleihung 2016
- Abb. 11: Folie Vorstellung des Funktionsprinzips des Wärmerückgewinnungssystems zur Preisverleihung des European Geothermal Innovation Award 2016 während der Geothermietagung in Offenburg
- Abb. 12: Vortrag zur Anhörung des Ausschusses für Umwelt, Energie und Klimaschutz

1. Zusammenfassung

Der vorliegende Abschlussbericht beschreibt die Herstellung eines mobilen Wärmerückgewinnungssystems im Rahmen der Entwicklung des Geschäftsfelds der Wärmerückgewinnung aus Abwasser bzw. biologisch und chemisch aktivem Wasser aus Gewässern und Grundwasser. Das DUPUR[®]-Wärmerückgewinnungssystem besteht aus einem 4-Rohr-in-Rohr Wärmeübertrager, an dem ein Molchventil angeschlossen ist, das über eine Steuerung die Reinigung der Rohre mittels Molche (Abb. 1) ermöglicht.

Die Rückgewinnung von Wärme aus oben genannten Quellen ist ein sehr heterogenes Betätigungsfeld, da mit einer hohen Zahl Variablen mit einer großen Varianz umgegangen werden muss. Diesem Umstand ist mit einer komplexen Steuerung, die wiederum relativ einfach strukturiert sein muss und einer guten Konzeption hinsichtlich des Prozessablaufs zu begegnen.

Der Prozess der Abwicklung eines Projekts beginnt mit der gezielten Aufnahme der relevanten Prozessdaten. Daher wurde ein Fragenkatalog entwickelt, der einen umfassenden Überblick über das Wärmepotential des Abwassers und der Randbedingungen erlaubt.

Das DUPUR[®]-Wärmerückgewinnungssystem selbst arbeitet autark und benötigt lediglich einen Stromanschluss. Die Überwachung erfolgt über ein Datenfernüberwachungssystem, auf dem über das Internet zugegriffen werden kann. Die durch den Versuch erhobenen Daten werden auf einer Speicherkarte gespeichert und können zur Auswertung abgerufen werden.

Im Rahmen dieses Projekts sollte das DUPUR[®]-Wärmerückgewinnungssystem an fünf verschiedenen Standorten getestet werden.

Das Vorhaben wurde von der DBU unter der Fördernummer 29469 gefördert.

2. Einleitung

In den 70er Jahren des vorigen Jahrhunderts wurden schon die ersten umfassenden Untersuchungen und Modellrechnungen zu den Auswirkungen anthropogener Wärmeemissionen auf die Umwelt erstellt, da schon bekannt war, dass die Wärmebelastung z. B. von Flüssen durch das Kühlwasser der Kraftwerke seine Grenzen erreicht hatte [Bartholomäi]. Die Untersuchung hatte vordringlich das Ziel eine Modellgrundlage zur Berechnung klimatischer Auswirkungen der Wärmebelastung zu erstellen.

In jüngerer Zeit wurde, auf Grund der im Kyoto-Protokoll und Folgekonferenzen festgelegten Klimaziele, mehr Augenmerk auf die Möglichkeiten der Nutzbarkeit erzeugter Abwärme gelegt. Die Untersuchungen ergaben, dass die Rückgewinnung der Wärme aus Abwärmequellen ein riesiges Einsparpotential hinsichtlich des Verbrauchs fossiler Brennstoffe in sich birgt. In diesem Zusammenhang wurden auch die Hemmnisse zur Entwicklung einer umfassenden Wärmerückgewinnung aufgezeigt. Ein Aspekt der aufgeführten Hemmnisse, neben der Akzeptanz die Wärmerückgewinnung als einen Teil des Produktionsprozesses zu begreifen, ist die Verfügbarkeit von Technologie, die eine Wärmerückgewinnung ermöglicht. [Pehnt] Daraus lässt sich entnehmen, dass die Entwicklung einer umfassenden Wärmerückgewinnung noch einige Jahre in Anspruch nehmen wird. Mit der Entwicklung eines funktionierenden, sich selbst reinigenden Wärmerückgewinnungssystems wird ein Beitrag zur Weiterentwicklung dieses Bausteins zur Energiewende geleistet.

Die Wärmerückgewinnung aus Abwasser im Rahmen komplexer Energiekonzepte ist ein relativ neues Geschäftsfeld. Es hat bisher den Forschungs- und Projektstatus gerade hinter sich gelassen. Die meisten aktuell verfügbaren Systeme sind durch ihre technischen und thermodynamischen Unzulänglichkeiten bei den derzeitigen Energiepreisen nicht wirtschaftlich zu betreiben. Wirtschaftlichkeit und damit Akzeptanz setzt eine effiziente Wärmerückgewinnung und entsprechende Nutzungsmöglichkeiten voraus. Die Entwicklung des Geschäftsfelds Wärmerückgewinnung muss daher auch die konzeptionelle Entwicklung der Wärmenutzung beinhalten.

Im Vorfeld dieses Antrags wurde ein erster Prototyp mit großem Erfolg in einem Schwimmbad zur Wärmerückgewinnung aus Filterrückspülwasser eingesetzt.

Es stellte sich im Zuge der Akquisition, wie in der Literatur schon beschrieben [Pehnt], heraus, dass die Bereitschaft, sich in neuen Technologien zu engagieren, gering ist. Daher ist es notwendig, vertrauensbildende Maßnahmen zu ergreifen. Dies erreicht man durch Bereitstellung einer Anlage, die Funktionalität und Wirtschaftlichkeit unter realen Betriebsbedingungen dokumentiert.

Neben der rein technischen Lösung ist auch die Überprüfung der Machbarkeit einer Wärmerückgewinnung im Vorfeld zu klären. Eine Wärmerückgewinnung muss wirtschaftlich darstellbar sein. Zur Beurteilung der Situation vor Ort wurde ein Fragenkatalog entwickelt (Abb. 1).

Neben diesem Vorhaben wurden weitere Entwicklungen in der Systematik der Wärmerückgewinnung, die die Attraktivität noch erheblich verbessern, voran getrieben. Insbesondere im Zusammenhang mit der Verwendung von Wärmepumpen, die die im unteren Temperaturbereich zurück gewonnene Wärme wieder auf ein nutzbares Verbrauchsniveau anheben.

Weitergehende Entwicklungen in der Nutzung zurück gewonnener Wärmeenergie sind dann auf Basis stabiler Betriebs- und Prozessbedingungen der Rückgewinnung möglich, In Folge kann auch zu kritischen potenziellen Nutzern ein nachhaltiges Vertrauensverhältnis aufgebaut werden kann.

3. Ziele des Vorhabens

Die Ziele dieses Vorhabens sind:

1. Optimierung des Berechnungsprogramms zur hydraulisch, thermischen Auslegung des Systems.
2. Erstellung einer mobilen Wärmerückgewinnungsanlage zu Versuchszwecken.
3. Ausleuchtung der rechtlichen Rahmenbedingungen und Partizipation bei der Entwicklung rechtlicher Rahmenbedingungen bei Einsatz einer Wärmerückgewinnung aus Abwasser oder natürlichen Quellen.

4. Erstellung der Grundlagen zu einem Wärmemanagementsystem und einer „to do-Liste“ als Arbeitsgrundlage.

Dieses Vorhaben ist Teil einer Gesamtkonzeption zur Markteinführung des selbst entwickelten und international patentierten Wärmerückgewinnungssystems DUPUR® zur Wärmerückgewinnung aus industriellem Abwasser und anderen zur Belagbildung auf wärmeübertragenden Flächen neigenden Medien eingebunden.

Auf der technischen Seite werden parallel zu diesem Vorhaben Wärmenutzungskonzepte entwickelt und realisiert, die eine wirtschaftliche Wärmerückgewinnung unter verschiedenen Anforderungen ermöglicht.

Des Weiteren wird flankierend über politische Kontakte und Netzwerke das Thema Wärmerückgewinnung aus Abwasser und dessen ökologische und gesamtökonomische Relevanz weiter fokussiert.

4. Durchführung der Entwicklungsarbeit

4.1 Definition des hydraulischen Systems

Im Rahmen dieses Projekts wurde ein Modell zur Berechnung des Wärmeübergangs unserer Mehrfach-Rohr-in-Rohr-Systeme entwickelt. Dieses Modell spiegelt über vereinfachte und dadurch berechenbare geometrische Verhältnisse den komplexen Aufbau beliebiger Mehrfach-Rohr-in-Rohr-Systeme wider. Die Verknüpfung der geometrischen mit den hydraulischen und stofflich relevanten Daten ermöglicht dabei, lediglich durch Eingabe der Parameter Temperaturen und Pumpmengen eine Auslegung unseres DUPUR®-Wärmerückgewinnungssystems. Als Ergebnis enthält man die zu installierende Tauscherfläche mit allen wesentlichen Werten, wie Druckverlust, spezifische Wärmeleitung und sich einstellende Temperaturdifferenz beider Fluidströme (Abb. 2).

Dieses Modell wurde im Rahmen einer Bachelorarbeit als Forschungsprojekt mit dem Kompetenzzentrum Energie, eine Kooperation der Hochschule und der Stadtwerke Osnabrück das erste Mal mit einem kompletten gemessenen Datensatz verifiziert. Die Ausle-

gungsdaten, die zur Planung herangezogen wurden, wurden mit einer Übereinstimmung von $\geq 95\%$ eingehalten und sind somit hinreichend genau.

Der Hauptgegenstand der Bachelorarbeit war eine neue hydraulische Schaltung, die eine 100%ige Ausnutzung des Temperaturbandes zwischen dem ablaufenden Abwasser und dem zulaufenden Frischwasser erlaubt. Diese Arbeit wurde mit „sehr gut“ bewertet. Die von uns als DUPUR[®] active bezeichnete Schaltung, wurde international unter dem Aktenzeichen EP000002965013A1 zum Patent angemeldet.

4.2 Ökologische und ökonomische Bilanzierung des Wärmerückgewinnungssystems in Abgrenzung zum Stand der Technik

4.2.1 Grundlagen des Wärmeübergangs in flüssig-flüssig-Systemen

Die Qualität des Wärmeübergangs von einem flüssigen Wärmeträger durch eine Trennwand auf einen zweiten flüssigen kälteren Wärmeübernehmer wird von der Strömungsturbulenz und der Dichte der Flüssigkeiten, der Wärmeleitfähigkeit der Trennwand, den Verschmutzungsfaktoren der Trennwandoberflächen unter den bestehenden Bedingungen und den relativen Strömungsrichtungen der Flüssigkeiten zueinander bestimmt. Die zu erreichende Strömungsturbulenz wiederum wird von der Viskosität der Flüssigkeit und der Strömungsgeschwindigkeit bestimmt.

Bei den Strömungsrichtungen unterscheidet man drei Grenzfälle, den Gleichstrom den Kreuzstrom und den Gegenstrom. Wärmeübertrager im Gegenstrom arbeiten am effektivsten, da sich zwischen den beiden Flüssigkeitsströmen immer die optimale mittlere Temperaturdifferenz einstellen kann. Die übertragbare Wärmemenge berechnet sich über die Summe der sich einstellenden Wärmeübertragungswiderstände der Flüssigkeiten deren Menge und der Fläche sowie der Dicke der Trennwand. Der Wärmeübertragungswiderstand der Trennwand nimmt durch Ablagerungen, die sich aus den Inhaltsstoffen der Flüssigkeiten bilden, mit der Zeit zu. Im Allgemeinen ist die Wärmeleitfähigkeit der Ablagerungen geringer als die des Wandmaterials, so dass dünne Schichten schon zu einer erheblich verminderte Wärmeleitfähigkeit führen.

Der von uns entwickelte Wärmeübertrager hat eine Flächenleistung von 2 bis 3 kW/m²K. Die folgende Beispielrechnung gibt einen Hinweis auf den negativen Einfluss von Belegungen der wärmeübertragenden Fläche.

Beispiel: Die Flüssigkeitsströme haben einen Wärmeübergangskoeffizienten von 7 kW/m²K, das ist die Übertragungsleistung der Flüssigkeiten unter bestimmten Betriebsbedingungen. Als Wandmaterial wird Edelstahl verwendet mit einer Wärmeleitzahl, auch Wärmedurchgangskoeffizient genannt, von 15 W/mK. Dies ist eine stoffspezifische Größe und gibt an, wie viel Wärme (J) auf einer Fläche von 1 m² mit einer Strecke von 1 m pro Sekunde transportiert werden kann. Ist die Wandstärke eines Wärmeübertragers 1,5 mm dick, können 15 W/mK / 0,0015 m = 10.000 W/m²K übertragen werden.

Die Kehrwerte der Wärmeübergangskoeffizienten sind die Übergangswiderstände

$$1/7000 \text{ m}^2\text{K/W} = 0,000143 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$1/10000 \text{ m}^2\text{K/W} = 0,0001 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Der Gesamtwiderstand ist die Summe aller Widerstände:

$$0,000143 \text{ m}^2\text{K/W} + 0,000143 \text{ m}^2\text{K/W} + 0,0001 \text{ m}^2\text{K/W} = 0,000386 \text{ m}^2\text{K/W}$$

und die Gesamtübertragungsleistung eines Quadratmeters dieses Systems beträgt dann:

$$1/0,000386 \text{ W/m}^2\text{K} = 2590,67 \text{ W/m}^2\text{K} = 2,59 \text{ kW/m}^2\text{K}$$

Wird diese Fläche mit einer 0,1 mm dicken Ölschicht mit einem Wärmedurchgangskoeffizienten von 0,15 W/mK belegt und einen zusätzlichen Widerstand von 0,000666 m²K/W erzeugt, ergibt sich:

$$0,000386 \text{ m}^2\text{K/W} + 0,000666 \text{ m}^2\text{K/W} = 0,001052 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$1/0,001052 \text{ W/m}^2\text{K} = 0,951 \text{ kW/m}^2\text{K}$$

Die Leistung des Wärmeübertragers bricht auf 36 % der ursprünglichen Leistung ein.

Die Bildung von Ablagerungen auf den wärmeübertragenden Flächen aus mineralreichen oder verschmutzten Wärmeträgern stellte bisher einen wesentlichen Hinderungsgrund zur Nutzung von Wärme aus Schmutz- oder Grundwasser dar. Die zurück zu gewinnende Wärmemenge in einem zur Verfügung stehenden Arbeitsbereich, der durch die Eingangstemperaturen der im Wärmetausch stehenden Flüssigkeiten gebildet wird, verringert sich. Gleichzeitig sinkt die Temperatur der zu erwärmenden Wärmesenke und damit die Qualität der zurück gewonnenen Wärme.

Bei Verwendung anderer Flüssigkeiten als reines Wasser z. B. beim Zusatz von Frostschutzmitteln, die eine höhere Viskosität verursachen, nimmt die Wärmeleitfähigkeit der Flüssigkeit ab und die Wärmeübertrager müssen größer ausgelegt werden. Eine Halbierung des Wärmeübertragungskoeffizienten auf einer Flüssigkeitsseite führt zu einem Leistungseinbruch von 25 – 30 %.

4.2.2 Der Stand der Technik der Wärmerückgewinnungsanlagen zur Wärmerückgewinnung aus verschmutzten Medien

Alle Systeme, die aus verschmutztem, biologisch aktivem und / oder mineralhaltigem Wasser Wärme gewinnen, müssen in regelmäßigen, oftmals kurzen Abständen gereinigt werden. Nur in bestimmten Anwendungsbereichen wie z. B. der Wärmerückgewinnung aus Abwasserkanälen wird ein tolerierbarer Verschmutzungsgrad in Kauf genommen und die Wärmeübertrager nur ein- bis zweimal im Jahr gereinigt. Dies ist auf Grund der geringen Wärmeentnahme aus einem großen Volumenstrom in einen kleinen Volumenstrom zu vertreten, stellt aber eine Ausnahmesituation dar und ist auch nur unter bestimmten Bedingungen rentabel. Im Allgemeinen muss bei einer rentablen Wärmerückgewinnung eine hohe Flächenleistung erreicht und die größte mögliche Menge der angebotenen Wärme aus dem Wärmeträger übernommen werden. Anlagen ohne automatische Reinigungssysteme können selten ökonomisch betrieben werden.

Das bekannteste Reinigungsprinzip für Wärmeübertragerrohre in Rohrbündelwärmeübertragern ist das Taprogge-System, das in den 50er Jahren des 20. Jahrhunderts von Josef Taprogge erfunden wurde. Als Reinigungskörper werden Gummischaumkugeln, die

in statistischer Verteilung durch die Rohre geschickt und über eine Auffang- und Beschickungseinrichtung im Kreis geführt. Dieses Verfahren wird, auch heutzutage, hauptsächlich in Kühlanlagen für Kraftwerke und anderen Anwendungen eingesetzt, in denen ein großes mittleres ΔT in der Wärmeübertragung tolerierbar ist. Das Verfahren wurde für herkömmliche Rohrbündelwärmeübertrager entwickelt. Diese sind derart konstruiert, dass viele Rohre parallel angeordnet sind, durch die große Wassermengen mit möglichst geringem Strömungswiderstand, gepumpt werden.

Bekannt sind weiterhin Reinigungsanlagen mit mechanischen Reinigungseinrichtungen wie Abstreifern, Bürsten und Reinigungskörpern, die kleiner als der Rohrdurchmesser sind. Nachteile dieser Reinigungseinrichtungen sind, dass sie zum einen sehr viel Raum auf der Schmutzwasser führenden Seite in Anspruch nehmen und daher keine optimale Geometrie und Strömung zur Gewährleistung einer optimalen Wärmeübertragung hergestellt werden kann und zum anderen die Anlagen mit Reinigungskörpern, die kleiner als der Rohrdurchmesser sind, ähnlich dem Taprogge-System aufwändige Auffang- und Aufbewahrungseinrichtungen für die Reinigungskörper benötigen, damit sie nicht ausgetragen werden. Die Entwicklungsphilosophie war bislang immer, Reinigungssysteme für bekannte, am Markt etablierte Bauformen zu entwickeln.

Auf Grund aller bekannten Nachteile wurde von vorn herein eine andere Entwicklungsphilosophie verfolgt und ein Wärmeübertragungssystem nach optimalen thermodynamischen Anforderungen der Wärmeübertragung entwickelt. Das DUPUR[®] Wärmeübertragungssystem arbeitet z. B. streng im Gegenstromprinzip.

Das Reinigungssystem musste sich nach diesen Anforderungen richten. Die Reinigungskörper sind mit Reinigungslippen im Durchmesser des Rohres (siehe z. B. Abb. 11) ausgestattet. Jeder Rohrleitung ist ein Reinigungskörper fest zugeordnet. Die Reinigungskörper werden hydraulisch mit dem Abwasser durch die Rohre gefördert, so dass von den Rohren entfernte Ablagerungen sofort abtransportiert werden. Die Neuheit dieses Prinzips wurde durch die Erteilung des europäischen Patents EP000002012942B1 bestätigt.

Die Reinigungsintervalle werden individuell an die gegebenen Umstände angepasst.

4.2.3 Wirtschaftlichkeit des DUPUR® Wärmeübertragungssystems

4.2.3.1 Volkswirtschaftlicher und Hintergrund

Der Energieverbrauch in Deutschland betrug 2014 insgesamt 8.648 PJ. Davon wurden 27 % für Raumwärme, 5 % für Warmwasser und 22 % für Prozesswärme verwendet. Der Energieverbrauch für Beleuchtung liegt bei 3 % und für mechanische Energie bei 40 %. Daraus lässt sich ersehen, wie groß das Rückgewinnungspotential der Wärmerückgewinnung aus Wasser sein kann [BMW]. Nimmt man eine Rückgewinnungsquote von 1 % der Energie für die Wärmeerzeugung an, beläuft sich die Einsparung auf:

$$8.648 \text{ PJ} \times 0,54 = 4670 \text{ PJ}$$

$$4.670 \text{ PJ} \times 0,01 = 46,7 \text{ PJ}$$

$$1 \text{ PJ} = 278 \text{ GWh}$$

$$46,7 \times 278 \text{ GWh} = \underline{12.980 \text{ GWh}}$$

$$12980 \text{ GWh} / 8760 \text{ h} = \underline{1,48 \text{ GW}}$$

Was ungefähr der Verbrennung von 100.000 Kilogramm Methan pro Sekunde entspricht.

4.2.3.2 Betriebswirtschaftlicher Hintergrund

Die Wirtschaftlichkeit von Wärmerückgewinnungsanlagen berechnet sich aus den Gesamtkosten (Finanz- und Betriebskosten) im Verhältnis zu der zurück gewinnbaren Gesamtenergiemenge über die Laufzeit der Anlage, **Total Lifecycle Profit**.

Beispiel:

Ein Kubikmeter Wasser enthält etwa 1,16 kWh Energie pro Kelvin. Bei einer Abkühlung von 10 Kelvin sind dies 11,6 kWh. Die Energiemenge liegt im Bereich der Verbrennungsenthalpie von einem Normkubikmeter Erdgas und verhindert bei der Rückgewinnung der Energie die Entstehung von etwa 2,0 kg Kohlenstoffdioxid (CO₂).

Die Kosten des Wärmerückgewinnungssystems incl. Installation liegen im Bereich von 4000 – 5000 €/m² installierter Tauscherfläche. Diese Kosten amortisieren sich bei dem hier vorgestellten Konzept im Bereich von 0,5 - 3 Jahren, je nachdem wie groß die spezifische Flächenleistung ist. Bei einer geringeren Grädigkeit (= Temperaturdifferenz zwischen

den Flüssigkeitsströmen) steigen die Amortisationszeiten auf Grund der daraus resultierenden geringen Flächenleistung, wobei dadurch in nachgelagerten Prozessen hier nichtberücksichtigte Effizienzsteigerungen (z. B. Wärmepumpen) erzielt werden.

Beispielrechnung: Ein Wärmeübertragungssystem hat auf Grund seiner hydraulischen Belastung einen Wärmeübergangskoeffizienten von $2,5 \text{ kW/m}^2\text{K}$ und eine mittlere Temperaturdifferenz ΔT von 4 K . 1 m^2 kann demnach in einer Stunde 10 kWh übertragen. Legt man einen Wärmepreis von $0,05 \text{ €/kWh}$ fest, dann erwirtschaftet 1 m^2 Tauscherfläche $0,5 \text{ €/h}$. Pro 1.000 Betriebsstunden werden 500 € vor Kosten erwirtschaftet. Legt man z. B. wie in der Industrie üblich 8.000 Volllaststunden zugrunde, werden $4.000 \text{ €/m}^2/\text{a}$ erwirtschaftet.

Die Gesamtkosten ergeben sich aus den Finanzkosten für Abschreibung und Zinsen sowie den Betriebskosten für Service & Wartung und den Energiekosten für elektrische Verbraucher.

Kalkulationsgrundlage (1. Jahr)

Abschreibung: 10 Jahre = 10 % linear

Finanzierung / Zinsen: aktuell ca. 3 %

Stromverbrauch: ca. 2 % der thermischen Leistung (empirisch gemittelt)

Service & Wartung: ca. 4.000 €/a

Kalkulation:

Leistung: 400 kW

Betriebsstunden: 8.000 h/a

Energiemenge: $3.200.000 \text{ kWh/a}$

Wärmepreis: $0,05 \text{ €/kWh}$

Einsparung $3.200.000 \text{ kWh/a} \times 0,05 \text{ €/kWh}$: 160.000 €/a

Investitionssumme: 200.000 €

Abschreibung: 20.000 €/a

Zinsen: 6.000 €/a

Strom ($3.200.000 \text{ kWh} \times 0,02 \times 0,15 \text{ €/kWh}$): 9.600 €/a

Service & Wartung:	4.000 €/a
Kosten Gesamt:	39.600 €/a
Gewinn:	120.400 €/a

Ergebnis:

Die Amortisation einer Wärmerückgewinnungsanlage erfolgt über die Einsparung fossiler Brennstoffe. Der Amortisationszeitraum wird im Wesentlichen von der Effizienz und den geleisteten Volllaststunden bestimmt.

Da die Wärmerückgewinnung oftmals mit einer Anhebung der zurück gewonnenen Energie auf ein höheres Temperaturniveau verbunden ist und dieses mit einer Wärmepumpe erfolgt, führt eine durch mehr installierte Tauscherfläche herbeigeführte geringe Grädigkeit zwischen der Abwärmequelle und der Wärmepumpe zu Einsparungen im Stromverbrauch der Wärmepumpe, da deren Wirkungsgrad steigt. Als Faustregel allgemein anerkannt gilt, je °C höherer Eintrittstemperatur am Verdampfer einer Wärmepumpe steigt der Gesamtwirkungsgrad (COP) bei gleicher Heizungsvorlauftemperatur um ca. 2,5 % oder umgekehrt ausgedrückt, sinkt der Energiebedarf für die Antriebsleistung der Wärmepumpe um diesen Faktor.

Des Weiteren ist jede Wärmerückgewinnung auch als Vorwärmung von Brauchwasser zu nutzen und kann mit fossil betriebenen Anlagen auf die Nutzungstemperatur gebracht werden. Die Konzeption einer Wärmerückgewinnung richtet sich nach den individuellen Möglichkeiten der Entfallstelle. Hierbei wird um den prozentualen Anteil der zurück gewonnenen Wärmeenergie, Primärenergie eingespart.

Das gesamte Wärmerückgewinnungssystem ist modular aufgebaut. Dadurch kann jeder Leistungsbereich ab einer derzeit wirtschaftlichen Untergrenze von ca. 10 kW abgedeckt werden. Die Modulbauweise des Wärmerückgewinnungssystems erlaubt einen flexiblen Einsatz in allen gestellten Wärmeübertragungsaufgaben.

Neben den technischen Anforderungen einer wirtschaftlichen Wärmerückgewinnung liegt eine weitere in der konzeptionellen Ausarbeitung der Wärmerückgewinnung und die Ein-

bindung in ein Wärmekonzept. Idealerweise kann die Wärme wirtschaftlich direkt an der Entfallstelle wieder verwendet und z. B. auf einen Frischwasserstrom zur Vorwärmung des eigenen Brauchwassers übertragen werden. Eine Wärmerückgewinnung bzw. Wärmege-
winnung ist in einem größeren Maßstab besonders sinnvoll, wenn Wärmeerzeuger und
–verbraucher räumlich in der Nähe liegen. Hieraus ergibt sich eine Hierarchie der Abwär-
menutzung.

1. Innerbetriebliche Nutzung im direkten Entstehungsprozess
2. Innerbetriebliche Nutzung für anderweitige Prozesse
3. Externe Nutzung wie z. B. Energetische Nachbarschaften usw.

4.3 Technische Realisierung des mobilen Wärmerückgewinnungssystems

Zu Beginn der Planungsphase zur Entwicklung eines mobilen Wärmerückgewinnungssystems als Containeranlage wurde auf Basis der bisherigen Erkenntnisse ein Anforderungsprofil erstellt, welche Betriebsbedingungen zu erwarten sind und welchen Anforderungen die installierte Technik standhalten muss. Das Anforderungsprofil wurde bei der Konstruktion vollumfänglich berücksichtigt. Eine Anforderung z. B. ist, dass, im Fall eines worst case, bei einer festgestellten Nichteignung der Anlage oder des Mediums, die zu einer Unbrauchbarkeit der wärmetauschenden Innenrohre führt, der Schaden möglichst klein gehalten werden kann.

Da weder das Aufkommen noch die Zusammensetzung des Abwassers in irgendeiner Weise durchgängig planbar ist, noch die möglichen Herausforderungen in Gänze übersehen werden können, wurde die Anlage so konstruiert, dass das Wärmeübertragungssystem verträglich gegenüber jeder Form der Andienung des Abwassers ist und dass zu jeder Zeit alle Medium führenden Bauteile voll zugänglich sind.

Die Bandbreite der hydraulischen Verhältnisse der Abwasserandienung, bewegt sich von einer Andienungsunterbrechung bis zu einer Spitzenbelastung. Das heißt, dass die Anlage gegen Trockenlauf auf der einen Seite des Einsatzspektrums sowie auch gegen Überdruck im Fall einer Abwasserdruckleitung im Zulauf der Innenrohre auf der anderen Seite

gesichert werden muss. Dazu wurden entsprechende Drucküberwachungs- und Druckausgleichssysteme implementiert. Die Diagnostik ist in der SPS – Steuerung der Anlage integriert.

Einer potentiell eintretenden Unbrauchbarkeit der wärmetauschenden Rohre durch z. B. korrosive Medien wird derart begegnet, dass für bisher dem Stand der Technik entsprechend, verwendeten Schweißverbindungen oder dem Einwalzen der Innenrohre, ein komplett neues, ebenfalls unter dem Aktenzeichen DE 102011114326.6 zum Patent angemeldetes Rohrleitungssystem entwickelt wurde. Das Rohrleitungssystem wird gesteckt und ist komplett zerlegbar. Das Rohrleitungssystem wird lediglich über spezielle Schraubsteckverbindungen (Kreuzlochmuffen) an den Flanschen verbunden. Jede einzelne Rohrleitung kann separat ohne großen Aufwand ersetzt werden. Es gibt keine Schweißnähte im gesamten Abwasser führenden Bereich und das Risiko einer Lochfraß- oder interkristallinen Korrosion ist weitgehend minimiert. Dadurch können z. B. auch niedriger legierte Stähle eingesetzt werden, was wiederum wertvolle Ressourcen schont. Das Rohrleitungssystem ist nach vorheriger Machbarkeitsprüfung realisiert und eingebaut worden.

Die bei der Konstruktion des mobilen Wärmeübertragungssystems gefundenen Verbesserungen im Aufbau des Wärmeübertragers dienen als Grundlage der aktuellen Serienfertigung.

Nach Festlegung des Wärmeübertragerdesigns und des Platzbedarfs, wurde die Wärmeübertragerinstallation, die der Ver- und Entsorgungsleitungen usw. im Container festgelegt. Als eine für den Versuchsbetrieb sinnvolle Größe wurde eine Leistung im Bereich von 120 kW, die mit einer Tauscherfläche von 12 m² realisiert wird, ausgewählt.

Belastbare Daten der Wärmerückgewinnung sind am aussagekräftigsten, wenn sie unter möglichst realistischen Betriebsbedingungen der zukünftigen Anwendung ermittelt werden. Das bedeutet, dass das Wärmerückgewinnungssystem während des Versuchsbetriebs im etwa gleichen Temperaturband wie bei der zukünftigen Anwendung betrieben und ein möglichst hoher Energieentzug d. h. eine möglichst hohe Abkühlung des Abwassers erreicht wird. Dazu wurde die Anlage mit einem eigenen, Umgebungstemperatur abhängi-

gen Kühlsystem ausgestattet, mit der eine Wärmesenke simuliert werden kann. Zusätzlich besteht die Option, als Verbraucher eine Wärmepumpe als Kühlanlage einzusetzen, die die angelieferte Wärme auf ein höheres Temperaturniveau als die Umgebungstemperatur anhebt und dadurch mit einem Luft-Wasser-Kühler abgeführt werden kann.

4.4 Akquisition von Demonstrationsprojekten

4.4.1 Versuchsbetrieb am praktischen Beispiel eines Pharma - Industrieparks

Von Ende Januar bis Mai 2015 war das mobile Wärmerückgewinnungssystem an den Abwasserablauf eines Pharma - Industrieparks angeschlossen. An dem Standort arbeiten ca. 5.000 Mitarbeiter in der pharmazeutischen Produktion. Bei dieser fällt ganzjährig 20 bis 24 °C warmes Abwasser an. Die Menge schwankt produktionsbedingt zwischen 30 und 80 m³/h. Die im Abwasser enthaltene Wärmeenergie soll genutzt werden, die Gebäude zu heizen und die Warmwasserproduktion zu unterstützen.

Neben der verfahrenstechnischen Eignung wurde auf das Energieangebot hinsichtlich Verfügbarkeit im zeitlichen Verlauf untersucht. Ebenfalls sollten im Versuchszeitraum Erkenntnisse über den Anfall nicht produktionspezifischer Inhaltstoffe im Abwasser sowie sich das daraus ergebende Störpotential ermittelt werden. Derartigen Fremdeinträgen und Vorfällen kann durch gezielte Arbeitsanweisungen und Verhaltensregeln angemessen begegnet werden.

Die durchgeführte Versuchsreihe diente dem Nachweis der Eignung unserer Technik und der Klärung, welche Abwasserinhaltsstoffe die Wärmerückgewinnung beeinflussen. Bevor das Abwasser das Betriebsgelände verlässt wird es in einem Sammelbecken neutralisiert. Der Versuchscontainer wurde neben dem Sammelbecken aufgestellt. Das Wasser wurde über eine Saugpumpe aus dem Becken herausgesaugt und dem Container zugeführt. Dort wurde das Abwasser über eine weitere Förderpumpe durch das Wärmerückgewinnungssystem zurück in das Becken gepumpt. Um einen Eindruck von der Schmutzfracht des Abwassers zu erhalten und potentielle Störstoffe besser erfassen zu können wurde eine Saugpumpe **ohne** Schneidwerk und Vorfilter eingesetzt.

Mit zunehmender Versuchsdauer stellte sich nach ca. 4 - 5 Wochen heraus, dass es sich bei dem Abwasser entgegen vorheriger Informationen an der Entnahmestelle nicht um reines Produktionsabwasser, sondern um ein Gemisch aller Abwasserstränge des Geländes handelt. Es wies teilweise vergleichbare Eigenschaften wie ein kommunales Abwasser auf. Insbesondere die Fasern aus Hygieneartikeln aber auch Putzlappen, Dichtungsringe und Kabelbinder führten vor allem zu den Hauptreinigungszeiten im Werk (Wochenende) zu unterschiedlichen Störungen des Betriebsablaufs. Faserstoffe neigten zur Zopf- bildung im Wärmeübertrager und behinderten den Reinigungsprozess durch die Molche, Dichtungsringe und Kabelbinder verkeilten sich im Schneidwerk der Förderpumpe und Putzlappen verstopften die Ansaugleitung der Pumpe (vgl. Abbildungen). Nach manueller Reinigung des Systems lief die Anlage wieder mit hoher Wärmeübertragungsrate.

Am Ende verschiedener ergriffener Maßnahmen konnte festgestellt werden, dass die Wärmerückgewinnung aus diesem Abwasser in Verbindung mit einem Entnahmebauwerk, wodurch die gröbereren Störstoffe abgehalten werden, sicher zu Betreiben ist.

Die Wärmerückgewinnungsanlage stellte sich im Betrieb trotz der störenden Einflüsse als sehr robust heraus. Durch konstruktive Optimierungen im Molchventil konnte die Empfindlichkeit gegenüber Faserstoffen noch weiter verringert werden.

Die Versuchsreihe wurde planmäßig durchgeführt.

Die Wärmeübertragung konnte trotz der hohen Verschmutzung durch tägliches Molchen der Rohrbündel auf konstant hohem Niveau gehalten werden.

Auf Grund der positiven Ergebnisse des Versuchs, des hohen Energiegehalts des Abwassers und des hohen Rückgewinnungspotentials der Wärme wird das Projekt weiter verfolgt. Konkret wurde bereits mit der Projektentwicklung und Planung eines kalten Nahwärmenetzes auf dem Betriebsgelände begonnen. Eine Realisierung des Projekts wird 2017 angestrebt.

4.4.2 Weitere Projekte

Außerhalb des Rahmens dieses Projekts sind neben dem oben erwähnten Projekt zwischenzeitlich zwei weitere Wärmerückgewinnungsvorhaben realisiert worden. Bei allen Projekten stand die Verwendung der zurück gewonnenen Energie fest.

Projekt 1:

Eine kommerzielle Anlage gewinnt Wärmeenergie aus Sumpfungswasser, das ist etwa 25 °C warmes Grundwasser aus der Wasserhaltung des Braunkohletagebaus. Dieses Wasser wird aus verschiedenen Bereichen einer Grube über ein Rohrleitungssystem abgeleitet. Auf Grund der unterschiedlichen Inhaltsstoffe zum einen und einem hohen Eisen- und Mangangehalt zum anderen, neigt dieses Wasser dazu, Wärmeübertrager sehr schnell zu belegen (Verockerung) und dann zu verstopfen. Die zurück gewonnene Wärme wird über Wärmepumpen auf ein Nutzungsniveau bis 65 °C angehoben. Die Anlage wurde in zwei Bauabschnitten (Inbetriebnahmen 02.2014 und 02.2015) realisiert. Der erste Bauabschnitt läuft seit etwa 14.000 h störungsfrei. Die Anlagen sind in dieser Anwendung die ersten einwandfrei funktionierenden und dabei thermodynamisch hocheffizient arbeitenden Systeme am Markt.

Projekt 2:

In Aurich wurde ein so genanntes Kaltes Nahwärmenetz (KNW) installiert. Das KNW soll die Abwärme aus dem Abwasser der Molkerei Rücker, das über eine direkte Verbindung zur städtischen Kläranlage geleitet wird, zur Beheizung öffentlicher Gebäude wie z. B. einer Mehrzweckhalle zur Verfügung stellen. Zum Einsatz kamen in einer ersten Auslegung konventionelle Plattenwärmeübertrager zum Einsatz. Die Plattenwärmeübertrager erwiesen sich für diesen Einsatz als untauglich. In einem Vergleichstest wurden 6, speziell für Abwasser entwickelte Wärmerückgewinnungssysteme unterschiedlicher Hersteller getestet. Nach Beendigung der vergleichenden Versuchsreihen erwies sich unser DUPUR®-Wärmerückgewinnungssystem als das leistungsfähigste und zuverlässigste, so dass inzwischen auch das neu gebaute Schwimmbad [Ostfriesische Nachrichten] mit angeschlossen werden soll.

Die Akquisition weiterer Standorte für Probetriebe wird intensiv weiter geführt.

4.4.3 Potentialanalyse

Im Rahmen der Akquisition des Wärmerückgewinnungssystems ist insbesondere das Thema der Verwendung der Energie in den Fokus geraten. Die Temperatur des Abwassers liegt immer mehr oder weniger unter der Nutzungstemperatur. Des Weiteren besteht oftmals aus den verschiedensten Gründen ein Überangebot an zu regenerierender Energie, wenn diese nicht in den Produktionsprozess zurück geführt werden kann bzw. dort nicht benötigt wird oder große Mengen Energie nur in relativ kurzen Zeitfenstern anfallen. Das ganze Thema ist sehr komplex und zu einer Energierückgewinnung ist im Allgemeinen ein Energieverwendungskonzept mit zu erarbeiten. Dies führt dazu, dass die Bereitschaft sich an einem Versuch zu beteiligen, erst wächst, wenn eine Perspektive der Energienutzung vorhanden ist. Durch die geführten Gespräche ergaben sich immer Möglichkeiten der Wärmeenergienutzung, da auch schon die Vorwärmung des kalten Wassers im Zulauf eine Energienutzung darstellt, die im Allgemeinen nicht gesehen wird.

5. Erstellung eines Fragenkatalogs zur Bewertung des zu nutzenden Energiepotentials im Abwasser.

Die Erstellung des Fragenkatalogs (Abb. 1) begründete sich aus der Erfahrung heraus, dass die meisten Interessenten unseres DUPUR[®]-Wärmerückgewinnungssystems, keine Kenntnisse hinsichtlich ihres Abwassers im allgemeinen und erst recht nicht im speziellen hatten / haben und eine Erfassung aller relevanter Parameter in einem ersten Telefongespräch nicht zu leisten war / ist. Durch die Beschäftigung mit dem Fragenkatalog werden die Abwasserproduzenten geschult und das weitere Vorgehen wird gefördert.

Die Gestaltung des Fragenkatalogs befindet sich in einem dynamischen Prozess und wird über die praktische Anwendung weiter entwickelt.

6. Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Das DUPUR[®]-Wärmerückgewinnungssystem wurde regelmäßig seit 2011 auf der Hannovermesse ausgestellt und war 2014 auch auf der IFAT in München präsent. Die Messeauftritte haben das System einem größeren Publikum bekannt gemacht und es sind einige Kontakte entstanden, die auch weiterhin Bestand haben. Auf verschiedenen Veranstaltungen wie z.B. beim IRO in Oldenburg oder dem Verband der Stadtwerke in NRW wurde das

DUPUR[®]-Wärmerückgewinnungssystem über Vorträge vorgestellt. Des Weiteren ist die Jaske & Wolf Verfahrenstechnik GmbH Mitglied der DENEFF und dem INAR und arbeitet weiterhin mit dem der Hochschule Osnabrück, Kompetenzzentrum Energie zusammen. Neben der Vorstellung des DUPUR[®]-Wärmerückgewinnungssystems auf unserer Internetseite erschien ein Beitrag in dem Buch „Wärmeübertrager-Reinigungssysteme“ Herausgegeben von Prof. Dr. Dr. H. Müller-Steinhagen bei Publico Publications Essen 2013.

Die ersten Schritte, das DUPUR[®]-Wärmerückgewinnungssystem auf politischer Ebene bekannt zu machen, wurden im Jahr 2012 mit einem Brief an damaligen Staatssekretär Manfred Kues eingeleitet, da Wärmerückgewinnung aus Abwasser in das damalige Programm der BAFA zur Förderung von Querschnittstechnologien nicht mit aufgenommen wurde. Dieses wurde dann 2014 erstmals nachgeholt. Seit 2016 haben sich die Fördermöglichkeiten deutlich verbessert. Sowohl über das BAFA, als auch über die KFW gibt speziell für die Nutzung von Abwärme neue geeignete Förderprogramme. An der Weiterentwicklung dieser Förderrichtlinien haben wir mitgearbeitet (siehe Abb. 8)

Neue Förderprogramme:

Im Rahmen des Nationalen Aktionsplans Energieeffizienz (NAPE) sind seit dem 01.05.2016 zwei Förderrichtlinien in Kraft getreten. Dabei handelt es sich um eine neu überarbeitete Richtlinie für Investitionszuschüsse zum Einsatz hocheffizienter Querschnittstechnologie (BANZ AT 10.05.2016 B1) und die Richtlinie für die Förderung zur Abwärmevermeidung und Abwärmennutzung in gewerblichen Unternehmen (siehe www.bmwi.de, bzw. https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/F%C3%B6rderprogramme%28Inlandsf%C3%B6rderung%29/PDF-Dokumente/6000003691_M_294_Abwaerme.pdf). In beide Richtlinien sind im Bereich Abwärmennutzung von uns vorgebrachte Anregungen eingeflossen.

Auf der Jahresauftaktveranstaltung 2014 der DENEFF wurde der Umweltministerin Barbara Hendricks ein Strategiepapier mit dem Titel „Energieeffizienz im volkswirtschaftlichen Kontext“ überreicht (Abb. 8), in dem weitergehende Vorschläge zur Förderung der Energierückgewinnung aus Abwasser gemacht werden. Auf Grundlage dieses Schreibens wurde dann mit dem Staatssekretär Wolfgang Müller im Bundesministerium für Umwelt Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit ein informelles Gespräch geführt.

Eine weitere Einladung zur Information über die Möglichkeiten der Wärmerückgewinnung aus verschmutztem Wasser des Umweltausschusses des niedersächsischen Landtags erfolgte zum 22.02.2016 (siehe auch Abb. 9). Das Wärmerückgewinnungssystem wurde von der DENEFF für den Innovationspreis für Energieeffizienzlösungen Perpetuum 2016 dessen Verleihung am 24.02.2016 in Berlin und zum European Geothermal Innovation Award 2016, dessen Vergabe am 25.02.2016 in Offenburg auf der Geotherm stattfand, nominiert.

7. Ergebnis und Fazit

Die neue Konstruktion des vollständig zerlegbaren Wärmeübertragers hat erfolgreich seine Bewährungsprobe bestanden. Das mobile Wärmerückgewinnungssystem ist fertig gestellt und im Einsatz. Die Leistung der Anlage erfüllt alle Erwartungen. Der Kunde ist nach wenigen Betriebstagen mit der erzielten Wärmerückgewinnungsleistung und der Gesamtfunktion sehr zufrieden und wird die gewonnenen Erkenntnisse in die weitere Planung der zukünftigen Wärmenutzung einfließen lassen.

Die Entwicklung des Fragebogens dient allen Beteiligten als Planungshilfe zur Realisierung eines Wärmerückgewinnungssystems. Der Kunde gibt erste Hinweise auf das Nutzungspotential der Abwärme, so dass darauf hin konkret Vorschläge zur Realisierung ausgearbeitet werden können.

Durch die intensive Öffentlichkeitsarbeit und der Realisierung erster Projekte ist das DUPUR[®]-Wärmerückgewinnungssystem in mehreren Bereichen wie z. B. der Nutzung von Sumpfungs- und Grubenwasser, Filtrückspülwasser im Schwimmbad, Wärmerecycling aus Produktionsabwasser der Lebensmittelindustrie, Kalte Nahwärme usw. so erfolgreich, dass Empfehlungen für unser System ausgesprochen werden. Die jeweiligen Anwendungen dienen als Referenzen und unterliegen einem ständigen Datenmonitoring. Die Daten sind verfügbar. Der gesamte Bereich der Wärmerückgewinnung aus Abwasser befindet sich noch in der Entwicklung. Die Erkenntnis, dass für die Wärmerückgewinnung aus Abwasser besondere und daher von den Kosten her mit klassischen Wärmeübertragern nicht zu vergleichende Investitionen in Wärmerückgewinnungssysteme zu tätigen sind, zugleich aber hohe Renditen zu erwirtschaften sind, muss noch reifen.

Durch die begleitende intensive politische Arbeit konnten wir einen Beitrag leisten, dass Wärmerecycling, insbesondere die hocheffiziente Wärmerückgewinnung aus Abwasser, soweit in das öffentlich politische Bewusstsein vorgedrungen ist, dass die Investition in eine effiziente Wärmerückgewinnung gefördert wird. Gleichzeitig verfolgen wir den Ansatz, Abwärme als wieder verwertbaren Abfall zu deklarieren. Abwärmerecycling passt hervorragend in die Logik der Abfallgesetzgebung. Kreislaufwirtschaft und Ressourcenschonung sind die wesentlichen Faktoren. Alle möglichen Materialien wie . z. B. Papier, Altglas usw. werden recycelt. Warum recyceln wir nicht Wärme? (Abb. 10)

8. Anhang

Fragenkatalog: Wärmerückgewinnung aus Abwasser

Frischwasser

1. Wofür wird warmes Wasser benötigt?
 Produktionsprozess Trocknung Reinigung Heizung
2. Wie viel warmes Frischwasser wird benötigt?
m³/h
3. Wird Frischwasser auf unterschiedlichem Temperaturniveau benötigt?
 ja nein Menge und Temperaturen:
m³/h °C, m³/h °C, m³/h °C
4. Verlässt das Wasser nach Gebrauch den Prozess wieder?
 ja nein ja nein ja nein
5. Wenn ja mit welcher Temperatur?
°C, °C, °C
6. Sind die Wärmemengen der einzelnen Verwendungen bekannt?
 ja nein
7. Ist der Verlauf des Wärmebedarfs einzelner Verwendungen bekannt?
 ja nein

Abwasser

1. Aus welchem Prozess stammt das Abwasser?
 Produktionsprozess Reinigungsprozess Körperhygiene sonstige

2. Mit welcher Art Verschmutzung ist das Wasser belastet?
 grobe Feststoffe emulgierte Flüssigkeiten suspendierte Feststoffe
 gelöste Stoffe Salze Fette sonstige
3. Gibt es Analysedaten?
 ja nein
4. Bilden die Inhaltsstoffe Ablagerungen? Wenn ja welche?
 harte Krusten weiche Ablagerungen
5. Besteht die Möglichkeit von prozessfremden Einträgen z. B. über Gitterroste?
 ja nein
6. Gibt es interne unterschiedliche Abwasserentfallstellen?
 ja nein
7. Wenn ja, werden sie zusammengeführt?
 ja nein
8. Sind sie separat nutzbar?
 ja nein
9. Mit welcher Temperatur wird das Abwasser abgegeben?
 °C
10. Wie viel Abwasser steht für die Wärmerückgewinnung zur Verfügung?
 m³/h an Wochentagen
11. In welcher zeitlichen Verteilung fällt es am Tag an?
 von Uhr m³/h
 von Uhr m³/h

12. Werden säure-, chlor- oder ozonhaltige Reinigungs- und Desinfektionsmittel verwendet?

- ja nein wenn ja Produktname:

Wärmebereitstellung

8. Was für Anlagen werden für die Wärmegewinnung verwendet?

- Dampfkessel Niedertemperaturkessel Solaranlage Wärmepumpe
 elektrische Anlage sonstige

9. Wird die zurück gewonnene Wärme kontinuierlich benötigt? Wenn ja auf welchem Temperaturniveau?

- ja nein °C

10. Wird die Wärme in Intervallen benötigt? Wenn ja auf welchem Temperaturniveau?

- ja nein °C

11. Wird der Wärmebedarf einzelner Prozesse kontinuierlich messtechnisch erfasst?

- ja nein

Wärmerückgewinnung

1. Wird bereits Wärme aus Abwärmequellen gewonnen?

- ja nein

2. Wird bereits Wärme aus Abwasser gewonnen?

- ja nein

3. Wenn ja, wo wird die Wärme wieder verwendet?

- Produktionsprozess Trocknung Reinigung Heizung

4. Wird die Wärme zwischengespeichert?

- ja nein

5. Wofür soll die zukünftig zurück gewonnene Wärme genutzt werden?
- im Prozess
 - zur Reinigung
 - zum Heizen
 - sonstige

Energiemanagement

1. Gibt es im Betrieb ein Energiemanagementsystem z. B. nach 50 001?
- ja
 - nein
2. Ist die Einrichtung eines Energiemanagementsystems geplant?
- ja
 - nein
3. Gibt es eine Übersicht des Energieverbrauchs der verschiedenen Energieträger?
- ja
 - nein

Abb. 1: Fragenkatalog zur Wärmerückgewinnung aus Abwasser

**Tabelle 4-Rohrsystem
Beispiel**

Datum

Warmwasserseitig (Innenrohr):

Eingabe der Warmwasserdaten

	Eingang WT	Ausgang WT
Temperaturband ein/aus °C	25,0	17,00
Schmutzwasser m ³ h ⁻¹	14,5	
Übertragungsleistung kW	134,69	

Kühlkreislauf (Mantelrohr):

Eingabe der Kühlwasserdaten

	Eingang WT	Ausgang WT
Temperaturband ein/aus °C	13,00	21,00
Kühlwasser m ³ h ⁻¹	14,5	
Übertragungsleistung kW	134,69	

Anwendungsauslegung / Kenndaten:

Warmwasserseitig (Innenrohre):

Strömungsgeschwindigkeit m s ⁻¹	2,05
Druckverlust bar	1,07
Übertragungsleistung kW	135,15

Kühlkreislauf (Mantelrohr):

Strömungsgeschwindigkeit m s ⁻¹	0,84
Druckverlust bar	0,71
Übertragungsleistung kW	135,15

Kenndaten Wärmetauscher:

mittlere Temperaturdifferenz ΔT °C	4,00
Anzahl der Module à 6 m	8
Wärmetauscherfläche m ²	15,98
α -Wert kW m ⁻² K ⁻¹	2,11
Flächenleistung kW m ⁻²	8,45

	Eingabefeld
	Ergebnisfeld
	Ergebnisfeld

Abb. 2: Eingabe – und Ergebnismaske zur Auslegung eines Wärmüber-



Abb.3: Einsatzbereiter Versuchscontainer



Abb. 4: Der Versuchscontainer am Einsatzort



Abb. 5: Kabelbinder und Kunststoffteilchen wurden in der Pumpe vor dem Schneidwerk gefunden.



Abb. 6: Dichtungsringe mit Faserzopf wurden mit angesaugt



Abb. 7: Verstopfung der Tauchpumpe durch eine Brandschutz-/Schweißschutzdecke und Putzlappen

Jaske & Wolf Verfahrenstechnik GmbH
Am Alten Flugplatz 16, D-49811 Lingen

Ihr Ansprechpartner:
Dr. Peter Wolf

Telefon: 05203 949-100

E-Mail: wolf@jaske-wolf.de

Frau Bundesumweltministerin
Dr. Barbara Hendricks
Stresemannstr. 128 - 130
10117 Berlin

11.03.2014

Energieeffizienz im volkswirtschaftlichen Kontext

Sehr geehrte Frau Bundesumweltministerin Dr. Hendricks,

Vielen Dank für die Möglichkeit, Ihnen unser Anliegen vortragen zu dürfen.

Wir befassen uns als innovatives Entwicklungsunternehmen seit mehr als 10 Jahren mit Energieeffizienz in den Bereichen Energie und Umwelt. Wir haben seitdem mehr als 20 neue Technologien zum Patent angemeldet, mehrere Preise gewonnen und arbeiten z. B. mit der Bundesstiftung Umwelt (DBU) der DENEFF und mehreren Hochschulen zusammen, um nur einige zu nennen.

Trotzdem ist es schwierig als kleines Unternehmen Gehör zu finden. Umso mehr freut es uns, dass der Begriff vom schlafenden Riesen „Wärme“ immer näher in den Fokus rückt.

Unser Anliegen:

Wir schlagen vor, die Energie – und Umweltziele sowie der damit verbundenen Förderung, nach ihrem volkswirtschaftlichen Nutzen unter Berücksichtigung ökologischer Aspekte zu organisieren. Bislang ist z. B. die Energiewende einfach zu teuer und die Auswirkungen gestalten sich sozial und volkswirtschaftlich schwierig. Bislang wurde die Ressource Kapital zu wenig berücksichtigt

Getreu dem Pareto – Prinzip wäre es sinnvoll, zuerst die ökologisch sinnvollen Energieeffizienzmaßnahmen umzusetzen, die mit möglichst geringem, auch finanziellem Aufwand, den größten Effekt erzielen.

Zielführend wäre ein flexibles Benchmarking, in dem Technologien und deren wirtschaftliche Nutzung unter technologieübergreifend, vergleichbaren Kenngrößen bewertet werden könnten.

Um eine Vergleichsmöglichkeit zu schaffen eignet sich das klimaschädliche CO₂ als Bewertungsmaßstab sehr gut, da jede Technologie einen mehr oder minder großen Effekt in seiner CO₂ – Bilanz hat. Die zweite, volkswirtschaftliche Bezugsgröße ist Kapital. In der Verknüpfung dieser beiden Bezugsgrößen kann dann die volkswirtschaftlich und ökologisch effizienteste Technologie ermittelt und gezielt gefördert werden.

Um eine Bewertung zu erreichen sind folgende Werte zu ermitteln:

1. € Invest / Tonne CO₂ Einsparung pro Jahr
2. Kapitalkosten in € / Tonne CO₂ Einsparung pro Jahr
3. Betriebskosten in € / Tonne CO₂ Einsparung pro Jahr

Weitere Punkte die berücksichtigt werden können, sind die Auswirkungen der jeweiligen Technologien auf die Umwelt wie z. B. Boden, Wasser, Luft.

Anhand der o. g. Werte lässt sich eine gezieltes und effizientes Voranbringen der effektivsten Technologien durch Schaffung einer geeigneten Förderhierarchie erreichen.

Über eine weitere Diskussion zu so einem Benchmarksystem in den Bereichen Energie und Umwelt mit dem Umweltministerium würden wir uns sehr freuen.

Vielen Dank im Voraus

Wolfgang Jaske

Sehr geehrter Frau Warbek,
anbei erhalten Sie unsere Stellungnahme für die Anhörung am Montag. Da wir die ganze Woche außer Haus
waren kommen klappt das erst heute.
Vielen Dank für Ihre Bemühungen.
Für Rückfragen stehen wir Ihnen gerne zur Verfügung.
Mit freundlichen Grüßen
Uwe Fritsch
0171 5160290

Von: Warbek, Heike [<mailto:Heike.Warbek@lt.niedersachsen.de>]
Gesendet: Dienstag, 2. Februar 2016 18:35
An: 'info@jaske-wolf.de'
Betreff: Anhörung des Ausschusses für Umwelt, Energie und Klimaschutz im Niedersächsischen Landtag
Wichtigkeit: Hoch

Sehr geehrter Herr Jaske,

beigefügte Unterlagen zu einer öffentlichen Anhörung des Ausschusses für Umwelt, Energie und Klimaschutz
am 22. Februar 2016 übersende ich Ihnen mit der Bitte um Kenntnisnahme und weitere Veranlassung.

Für eventuelle Rückfragen stehe ich gerne zur Verfügung. Ich bitte um kurze Bestätigung des Erhalts meiner
Mail.

Mit freundlichen Grüßen
Im Auftrage
Heike Warbek

Heike Warbek
Niedersächsischer Landtag
- Landtagsverwaltung -
Referat 7
Hannah-Arendt-Platz 1
30159 Hannover
Telefon: 0511/3030-2189
Fax: 0511/3030-99-2189
E-Mail: heike.warbek@lt.niedersachsen.de

Abb. 8: Email – Korrespondenz zur Entwicklung der Förderung der Wärmerückgewinnung
aus Abwasser

Antrag

Fraktion der CDU

Hannover, den 30.09.2015

Die Energie im Abwasser nutzen und damit die Wärmewende unterstützen

Der Landtag wolle beschließen:

Entschließung

Die Nutzung der Wärme in Abwässern stellt unter dem Gesichtspunkt einer klimafreundlichen Energieversorgung ein Potenzial dar, das es zu nutzen gilt. Innovative Unternehmen, forschungsin intensive Institute und kooperative Firmen haben die Basis einer Technologie erarbeitet, die vorhandene Energie nutzt, um klimafreundlich Energie zu wandeln und diese als Raumwärme zu nutzen.

Durch die Nutzung von Wärmeenergie aus Abwasser lassen sich große Mengen an Primärenergie einsparen, die importiert wird. Die Nutzung von Abwärme unterstützt die Energieeffizienz sowie die CO₂-Einsparung und damit die Dekarbonisierung der Energieversorgung. Ergebnisse von Studien (ReWIN, PlnA, technische und wirtschaftliche Machbarkeit von energetischen Nachbarschaften) zeigen, dass das Potenzial zur Etablierung von Energie-Kooperationen einerseits kaum bekannt und andererseits regional sehr unterschiedlich ist.

Daher fordert der Landtag die Landesregierung auf,

- die Erkenntnisse der in den vorliegenden Studien beschriebenen Potenziale für eine klimafreundliche Wärmewende zu nutzen,
- Kooperationen zwischen Institutionen (Unternehmen, öffentliche Einrichtungen usw.) bei geeigneten wärmetechnischen Randbedingungen zu fördern und zu fordern,
- die Datenfreigabe bei wärmerlevanten Verbrauchs- und Versorgungsdaten für die Gestaltung energetischer Verbünde zu forcieren,
- Methoden und Werkzeuge zu entwickeln, die auf regionaler Ebene genutzt werden können, um ein integriertes, anwendungsorientiertes Konzept zur synergetischen Wärmenutzung oder Unternehmensprozesse umzusetzen,
- bei der Landesplanung und bei landeseigenen Neubauten den Aspekt der kooperativen Wärme- und Energieversorgung künftig stärker zu berücksichtigen,
- Projekte, die eine energieeffiziente, regionale und kooperative Wärmenutzung zum Ziel haben, zu fördern,
- einen technischen Maßnahmenkatalog zur Energiekooperation in Gewerbe- und Industriegebieten zu erstellen und zu pflegen sowie diesen um Best-Practice-Beispiele und aktuelle Entwicklungen zeitnah zu aktualisieren,
- regional begrenzte Maßnahmen zum Energie-Monitoring für die Prüfung der Eignungshöflichkeit von Energiekooperationen zu unterstützen und zu fördern.

Begründung

Studien zufolge könnten bis zu 2 Millionen Wohnungen mit Wärme aus Abwässern beheizt werden. Der Bundesverband Wärmepumpe geht sogar von bis zu 4 Millionen Haushalten aus. Die Energie-wende wird nur gelingen, wenn neben der sogenannten Stromwende auch die „Wärmewende“ vermehrt in den Blick genommen wird und Potenziale auf diesem Gebiet genutzt werden.

Eine weitere aktuelle Studie besagt, dass ca. 50 % des Energieverbrauchs in Deutschland und damit ca. 45 % der energiebedingten CO₂-Emissionen in 2013 auf den Wärmebereich entfielen.

Innovative Unternehmen in Niedersachsen bieten Lösungen an, die sich auf den Erhalt und die Schaffung von Arbeitsplätzen positiv auswirken und so zur Wertschöpfung im Land beitragen.

Zur weiteren Identifizierung der regionalen Potenziale müssen aufgrund der bereits durchgeführten Untersuchungen weitere Erhebungen durchgeführt und mögliche technische Umsetzungspfade aufgezeigt werden. Ohne die Betrachtung der Wärme bei der Realisierung der Maßnahmen zur Energiewende können die von der Bundesregierung vorgestellten Zielkorridore nicht eingehalten werden.

Björn Thümler
Fraktionsvorsitzender

Jaske & Wolf Verfahrenstechnik GmbH
Laxener Straße 14, D-49811 Lingen

Ihr Ansprechpartner:
Dr. Peter Wolf

Telefon: 0591 / 91 54 110
Fax: 0591 / 91 54 112
E-Mail: info@jaske-wolf.de

16. Februar 2016

Stellungnahme der Jaske & Wolf Verfahrenstechnik GmbH (Lingen/Ems) für die Anhörung des Ausschusses für Umwelt, Energie & Umweltschutz (Drs. 17/4324)

Der Begriff Energiewende hat in den letzten 15 Jahren in der öffentlichen Diskussion einen großen Raum eingenommen. In diesem Zusammenhang gab es eine Vielzahl von Forschungs- und Entwicklungs-Vorhaben, umfangreiche Förderprogramme für Gebietskörperschaften, Institute sowie Hersteller und Anwender von Effizienztechnologien als auch für die regenerative Erzeugung von Strom.

Wenn man von der Energiewende sprach hatte man bisher immer den elektrischen Strom im Focus.

Mittlerweile sind viele Technologien etabliert, am Markt verfügbar und gelten als Stand der Technik. (z.B. LED-Beleuchtung, Frequenzumrichter bei elektrischen Antrieben bei Maschinen, Pumpen und Lüftungsanlagen, PV, Windkraftanlagen, KWK-Lösungen, Lastmanagement, Smart-Grids, etc.) Durch den Einsatz von Effizienztechnologien und intelligenter Steuerung konnten erhebliche Einsparungen beim Stromverbrauch erzielt werden. Der Aufwand, die Einsparungen weiter zu erhöhen wird in Zukunft weiter ansteigen.

Bei der Betrachtung der gesamten energiebedingten CO₂-Emissionen in Deutschland stellt man fest, dass ca. 45% der CO₂-Emissionen durch die Erzeugung von Prozesswärme entstehen. Hierfür werden rund 50% des Endenergieverbrauchs eingesetzt.

In der öffentlichen Diskussion reift zunehmend die Erkenntnis, dass allein mit dem Verzicht von fossilen Brennstoffen zur Stromerzeugung und Einsparung von elektrischem Strom durch Energieeffizienzmaßnahmen die erforderlichen Klimaschutzziele nicht ansatzweise erreicht werden können

"Wärme ist der schlafende Riese der Energiewende! Wir brauchen eine Wärmewende"

Ministerpräsident Stephan Weil bei der Podiumsdiskussion im Rahmen der Preisverleihung des Deutschen Umweltpreises 2013 in Osnabrück.

Ein wichtiger Baustein der Wärmewende ist die Nutzung von Abwärme. Im Gegensatz zu elektrischem Strom der nach dem Einsatz im wahrsten Sinne des Wortes "verbraucht" ist, kann die Abwärme aus Produktions-, Waschprozessen sinnvoll wieder genutzt werden. Große Abwärme-Potentiale sind vorhanden z.B. in der fleischverarbeitenden Industrie, in der gesamten Lebensmittelproduktion, Brauereien, Wäschereien, große Hotels, Krankenhäuser, Erzeugung und Verarbeitung von Metallen, etc. Weitere ergiebige Wärmequellen sind Kläranlagen und Schwimmbäder.

Für die Abwärme gibt es verschiedene Nutzungsstrategien. Liegt sie auf hohem Niveau vor ($> 200\text{ °C}$) kann sie verstromt oder zur Kühlung genutzt werden. Abwärme aus Luft und Abwasser kann für interne Prozesse im Betrieb weiter genutzt werden oder über Fernwärmenetze externen Verbrauchern zugeführt werden (Beispiele siehe Anhang). Abwasser bietet hierbei den Vorteil einer hohen Energiedichte - stellt jedoch hohe Anforderungen an das Wärmetauscher-System. Durch Reststoffe im Abwasser (z.B. Schwebestoffe, Fett, Eiweiß, Fasern, Haare, Papier, Mineralien, Reste von Farbe, Harze, Kleber, etc.) entsteht sogenanntes "Fouling" auf den wärmeübertragenden Flächen. D.h. es baut sich eine Schicht auf, die den Wärmeübergang deutlich reduziert. In der Studie "Die Nutzung industrieller Abwärme" (2010, BMUB - Begleitforschung Klimaschutzinitiative) wird dies als "technisches Hemmnis" dargestellt.

Mittlerweile gibt es technische Lösungen, die dem "Fouling" entgegen wirken bzw. dieses vermeiden. Eine Lösung wurde in Niedersachsen von Jaske & Wolf Verfahrenstechnik GmbH entwickelt und zur Serienreife gebracht.

Technische Lösung

Das Abwärmerückgewinnungs-System DUPUR[®] löst das Fouling-Problem durch regelmäßiges Reinigen der wärmeübertragenden Flächen. Das System wurde speziell zur Rückgewinnung von Abwärme aus schwebstoffhaltigen, stark pigmentierten, zur Verschmutzung neigenden Abwässern entwickelt.

Das Wärmetauschersystem besteht aus einem Mehrfach-Rohr-in-Rohrbündel dessen innere, Schmutzwasser führende Rohre mittels sogenannter Molche mit Reinigungslippen regelmäßig gereinigt werden. Der Molchvorgang erfolgt automatisch durch eine SPS-Steuerung.

Herzstück des Systems ist ein intelligentes Molchventil, das das gleichzeitige Molchen (reinigen) aller schmutzführenden Rohrleitungen im Rohrbündel während des Betriebs ermöglicht. Die Molche bewegen sich mit dem Schmutzwasser als Antriebsmedium durch die Rohrleitungen und reinigen diese. Jeder Rohrleitung ist ein Molch fest zugeordnet.



Reinigungs-Molche für verschiedene Anwendungen



Reinigungs-Molch in aufgeschnittenem Rohr
(Schmutzwasserführendes Innenrohr)

Dabei werden die Ablagerungen von den Rohrwänden abgerieben und mit dem Wasser über den Abfluss abgeleitet. Die Reinigungskörper verbleiben während des Betriebs des Wärmetauschers in einer Parkstation innerhalb des Ventils im System.

Die Reinigungsintervalle können wahlweise über vordefinierte Zeiten, die Änderung der Temperaturen oder einer Überschreitung des Systemdrucks gesteuert bzw. eingeleitet werden. Ein Reinigungszyklus dauert abhängig von der Größe des Wärmetauschers wenige Minuten.

Anwendungen

Das System kam erstmals 2011 bei den Stadtwerken Osnabrück im Moskaubad zum Einsatz.

2011: **Stadtwerke Osnabrück**: Abwärme-Rückgewinnung aus dem Filter-Rückspülwasser im Moskaubad. (ca. 150 kW)

2013: Geothermie: Nutzung von warmen Grundwasser aus dem Braunkohletagebergbau (2 DUPUR Anlagen von Jaske & Wolf in Kombination mit 2 Wärmepumpen, insg. 620 kW Heizleistung für ein Nahwärmenetz). Gelieferte Energiemenge 1.200 MWh / Jahr => CO₂-Einsparung 292 to / Jahr (CO₂-Bindung von ca. 30 ha Mischwald ≈ 41 Fußballfelder)

2012: Versuchs-Reihe Kalte Fernwärme **Aurich** *: erfolgreich abgeschlossen

2014: Dauerlauf-Versuch mit 150 kW: erfolgreich abgeschlossen.

Das Abwasser der **Molkerei Rücker** wird über eine Pumpleitung zur Kläranlage gefördert. (ca. 100 m³/h bei einer Temperatur zwischen 20 und 27 °C, Entnahmepotential ca. 1 MW Wärmeleistung) Das Abwasser enthält Fett, Eiweiß, Produktreste.

2014: Stadtwerke Osnabrück: Inbetriebnahme einer hocheffizienten Lösungen zur Abwasserwärme-Rückgewinnung (vgl. Pressemitteilung im Anhang)

2015: Abwassernutzung aus der pharmazeutischen Produktion der Behringwerke / Novartis in Marburg. Machbarkeitsstudie im Rahmen eines von der Bundesstiftung Umwelt geförderten Projekts zur Nutzung von Abwasserwärme. Potential ca. 1,2 MW Wärmeleistung. Aktuell erfolgt die Planung der Einbindung der Wärme zu Brauchwassererwärmung und Beheizung von Gebäuden.

Ausblick / aktuelle Projekte mit Beteiligung in Vorbereitung:

- Schwimmbad Aquantik in **Goslar**: Wärmerückgewinnung aus dem Abwasser des Schwimmbads *
- Waldbad ("Ökobad") in **Lohne** (bei Dinklage): Das "Ökobad" soll mit 100% erneuerbarer Energie beheizt werden. Lösung: Thermische Nutzung der Wärmeenergie eines Regenrückhaltebeckens in Kombination mit Nutzung der Abwärme aus dem Abwasser des Bads und solarthermischer Unterstützung*
- "Meerwasser-Freizeit und Erlebnisbad" auf der **Insel Langeoog**: Nutzung der Abwärme aus dem Abwasser des Bads *
- Abwärme-Nutzung auf **Kläranlagen** zur Trocknung von Klärschlamm *
(FuE-Projekt in Vorbereitung in Zusammenarbeit mit dem efzn - Energieforschungszentrum Niedersachsen, Goslar.
- Stadt **Lingen**: Aufbau Kompetenz-Netzwerk "Lingen-Energy-Valley" als Instrument zur Standortsicherung unter Einbindung aller relevanten Akteure (Unternehmen, Hochschule OS; KEAN, efzn, etc.) Energie, Effizienz & Abwärmenutzung

* Projekte in Niedersachsen

Ausblick / Herausforderungen

Die Nutzung von Abwärmern ist noch nicht in der erforderlichen Maße im Bewusstsein von Unternehmen, Betreibern, Planern, Ingenieur-Büros, Verwaltungen und weiteren relevanten Beteiligten vorhanden.

Leuchtturm-Projekt sind vorhanden, die Umsetzung und breite Nutzung ist noch zäh. Die Rahmenbedingungen sind noch zu verbessern.

Hierbei wäre u.a. der Aufbau einer "Modellregion(en) Wärmewende" in Niedersachsen hilfreich.

Quellen:

1. Kompetenzzentrum Energie der Hochschule Osnabrück, Prof. Dr.-Ing. Matthias Reckzügel
2. Studie "Die Nutzung industrieller Abwärme - technisch-wirtschaftliche Potentiale und energiepolitische Umsetzung (FKZ 03KSW016A und B) aus dem Jahr 2010
Erstellt durch Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung, Karlsruhe,
ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung, Heidelberg; Dr. Martin Pehnt
Institut für Ressourcen-Effizienz und Energiestrategien, Karlsruhe, Prof. Dr. Eberhard Jochem

Anhang:

1. Pressemitteilung Stadtwerke Osnabrück vom 04.11.2015
2. Roll-up DUPUR active - "Heizen mit Gewinn"
3. Jaske & Wolf Reinigungswirkung vorher-nachher

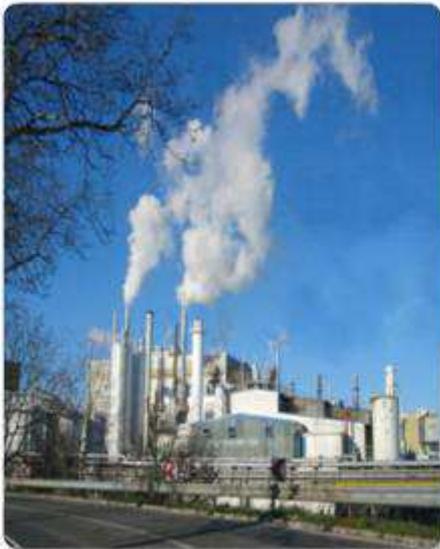


Quelle: Umweltbundesamt 2013

Wir recyceln heute :

- Altglas (87 %)
- Papier (85 %)
- Metalle (88 %)
- Batterien (80%)
- Kunststoffe (42 %)
- ...

Und was ist mit Wärme ... ?



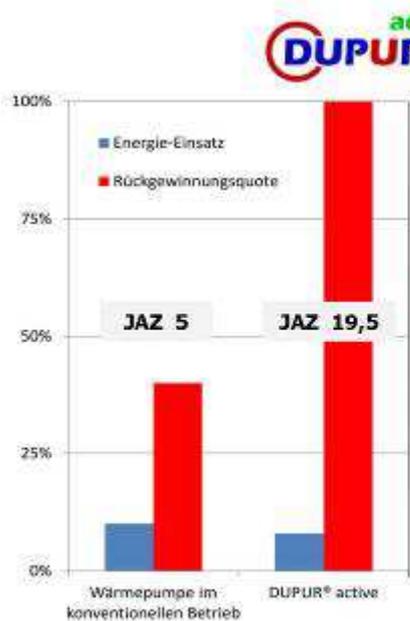
Quelle: Kompetenzzentrum Energie

Warum Wärme ?

- 50% des Endenergieverbrauchs in Deutschland entfallen auf industrielle Prozesswärme
- 45 % der CO₂-Emissionen

Wärme ist der schlafende Riese der Energiewende !

Warum wird das so wenig gemacht ?



- Rückgewinnungsquote = 100%
- CO₂ – Einsparung ≈ 85 %
- Energieeinsparung ≈ 95%
- Primärenergieeinsatz < 1 ct. / kWh Wärme !

Jaske & Wolf
Verfahrenstechnik GmbH

Wir nennen das

Heizen mit Gewinn !

Abb. 10: Kurzvortrag Perpetuum Preisverleihung 2016

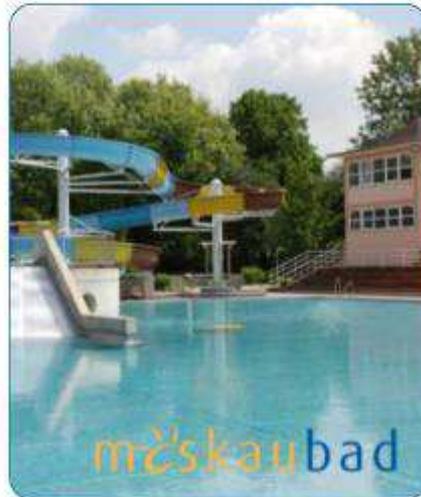
Funktionsprinzip selbstreinigender Abwasserwärmetauscher



© 2015 Jaske & Wolf Verfahrenstechnik GmbH

Abb. 11: Folie Vorstellung des Funktionsprinzips des Wärmerückgewinnungssystems zur Preisverleihung des European Geothermal Innovation Award 2016 während der Geothermietagung in Offenburg

Abwärmenutzung im Schwimmbad



© 2016 Jaske & Wolf Verfahrenstechnik GmbH

02 / 2016 PW / 03 / LF

Jaske & Wolf Verfahrenstechnik GmbH * Am Alten Flagplatz 16 * 49811 Lingen * Fon: +49 591 / 91 54 110 * www.jaske-wolf.de * info@jaske-wolf.de

Problem: Fouling durch Molkereiabwasser



oben links:
Molkereiabwasser

rechts & links:
Verschmutzter
Platten-Wärmetauscher
nach ca. 1 Woche



Quelle: Stadt Aurich

© 2016 Jaske & Wolf Verfahrenstechnik GmbH

02 / 2016 PW / 03 / LF

Jaske & Wolf Verfahrenstechnik GmbH * Am Alten Flagplatz 16 * 49811 Lingen * Fon: +49 591 / 91 54 110 * www.jaske-wolf.de * info@jaske-wolf.de

Molkereiabwasser: Verschmutzter Platten-Wärmetauscher

Jaske & Wolf
Verfahrenstechnik GmbH



nach ca. 2 Wochen

Quelle: Stadt Aurich

© 2016 Jaske & Wolf Verfahrenstechnik GmbH

02 / 2016 PW / 03 / LF

Jaske & Wolf Verfahrenstechnik GmbH * Am Alten Flagplatz 16 * 49811 Lingen * Fon: +49 591 / 91 56 110 * www.jaske-wolf.de * info@jaske-wolf.de

Molkerei-Abwasser: Projekt in NL - Anlagencheck nach 6 Wochen

Jaske & Wolf
Verfahrenstechnik GmbH



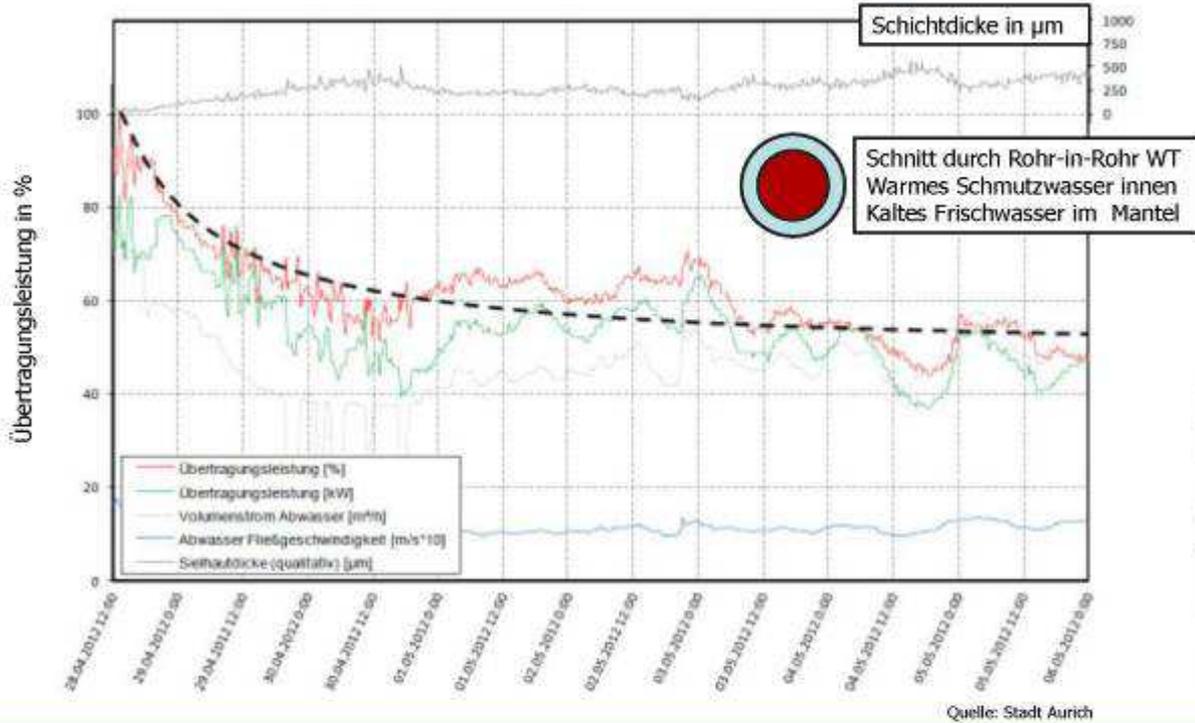
Quelle: Stadt Aurich

© 2016 Jaske & Wolf Verfahrenstechnik GmbH

02 / 2016 PW / 03 / LF

Jaske & Wolf Verfahrenstechnik GmbH * Am Alten Flagplatz 16 * 49811 Lingen * Fon: +49 591 / 91 56 110 * www.jaske-wolf.de * info@jaske-wolf.de

Herkömmlicher Rohr-in-Rohr-Wärmetauscher beim Einsatz mit Molkerei-Abwasser

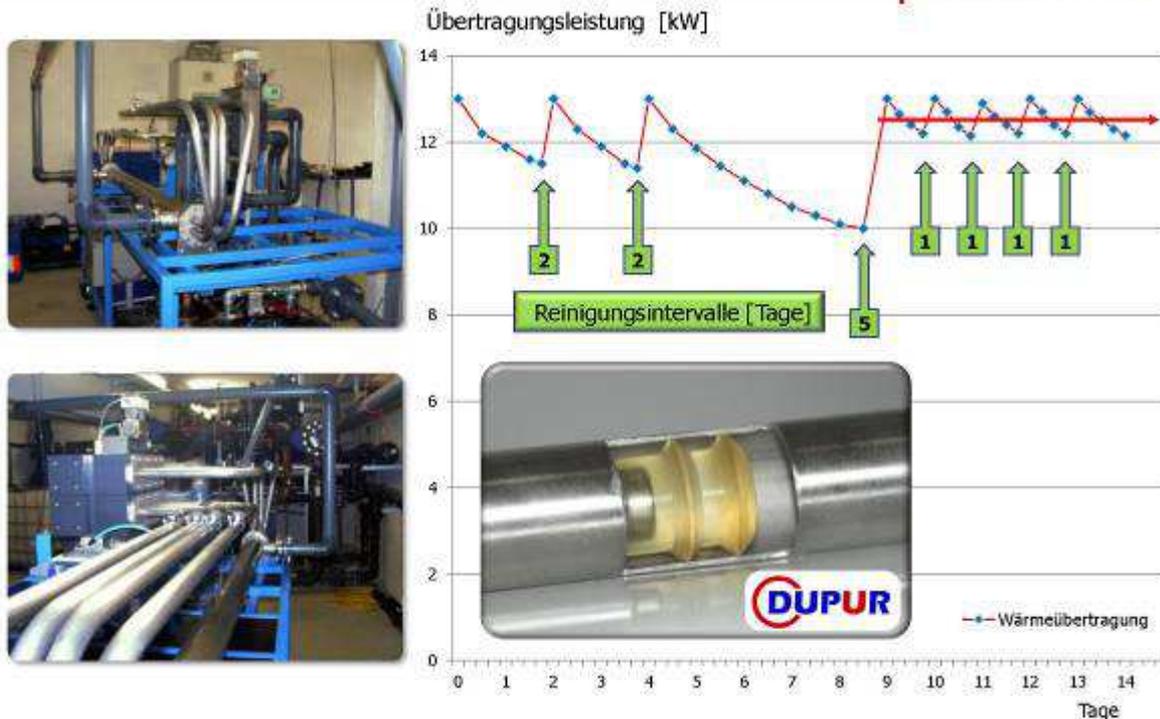


92 / 2016 PW / 03 / LF

Jaske & Wolf Verfahrenstechnik GmbH * Am Alten Flagplatz 16 * 49811 Lingen * Fon: +49 591 / 91 54 110 * www.jaske-wolf.de * info@jaske-wolf.de

© 2016 Jaske & Wolf Verfahrenstechnik GmbH

Vergleichstest Wärmetauschersysteme mit Molkerei-Abwasser

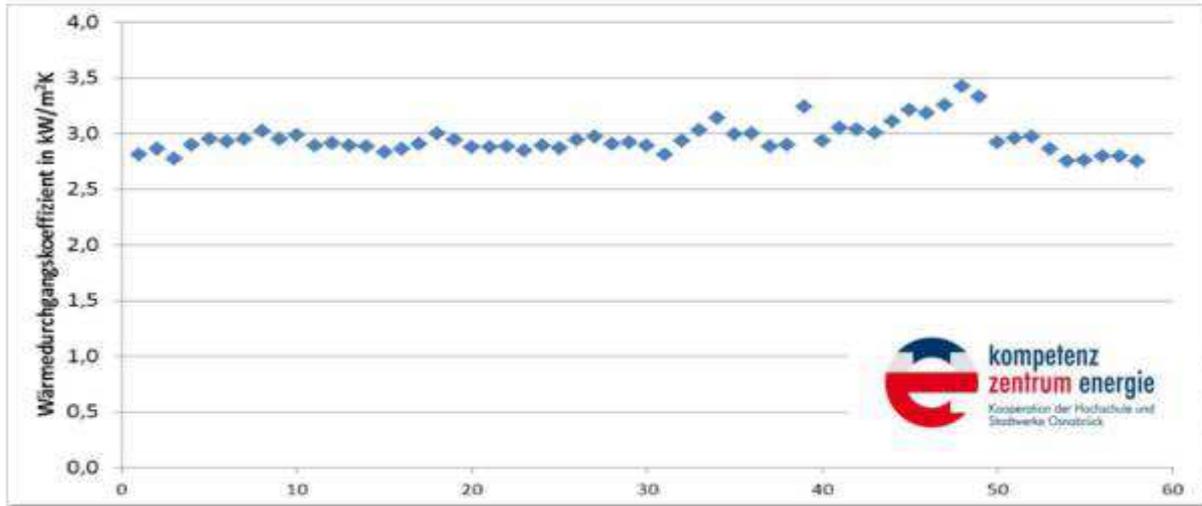


92 / 2016 PW / 03 / LF

Jaske & Wolf Verfahrenstechnik GmbH * Am Alten Flagplatz 16 * 49811 Lingen * Fon: +49 591 / 91 54 110 * www.jaske-wolf.de * info@jaske-wolf.de

© 2016 Jaske & Wolf Verfahrenstechnik GmbH

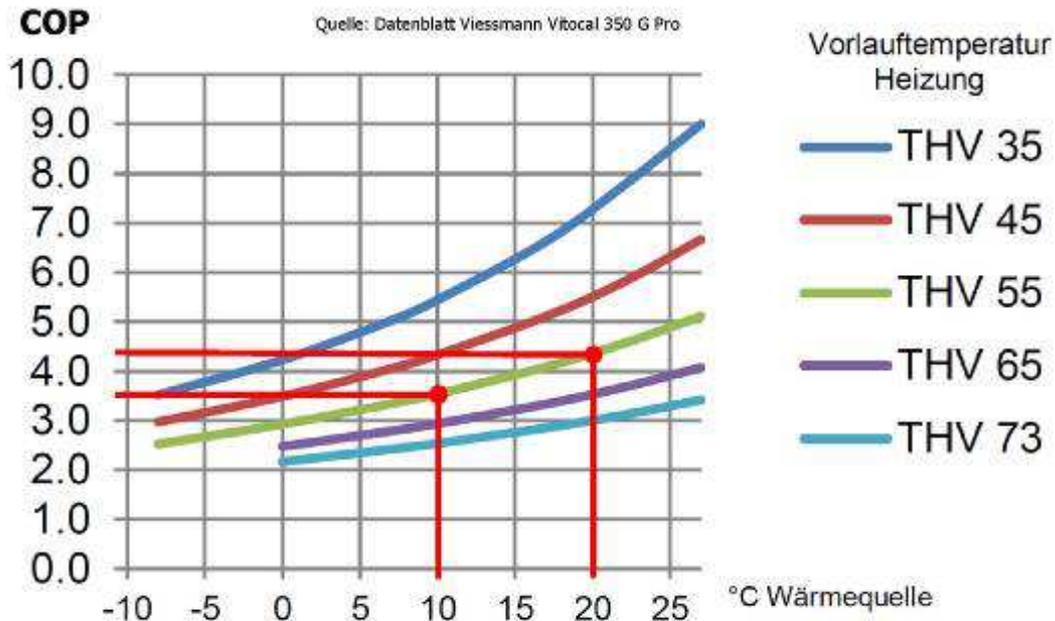
Wärmeübertragungsleistung (Messkampagnen 2011)



Die spezifische Übertragungsleistung des DUPUR®-Wärmetauscher Systems liegt während des gesamten Betriebs konstant im Bereich um 3.000 W / m²K (Mess-Kampagnen jeweils 60 Tage)

© 2016 Jaske & Wolf Verfahrenstechnik GmbH

Qualitativer Einfluss der Quelltemperatur auf den COP

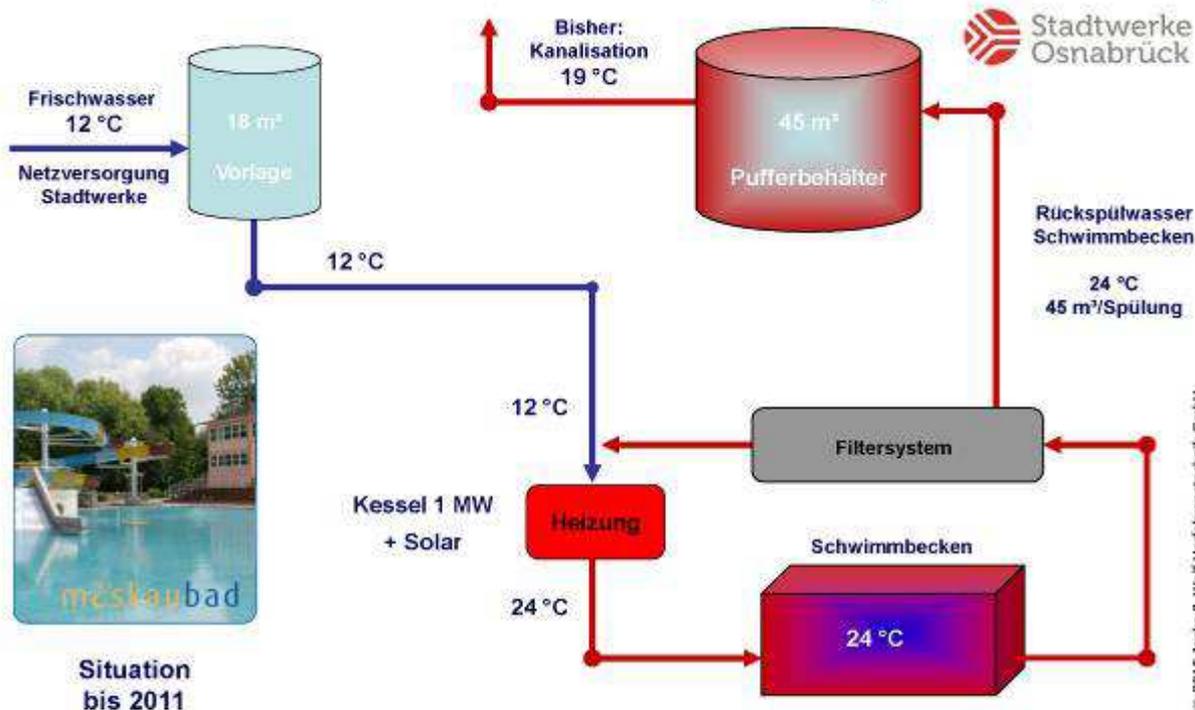


Je höher die Eingangstemperatur (korreliert zur mittleren Verdampfungstemperatur) desto besser wird die Arbeitszahl der Wärmepumpe (=> 2,5% Verbesserung pro K)

© 2016 Jaske & Wolf Verfahrenstechnik GmbH

Blockschaltbild Schwimmbad ohne Energierückgewinnung

Jaske & Wolf
Verfahrenstechnik GmbH

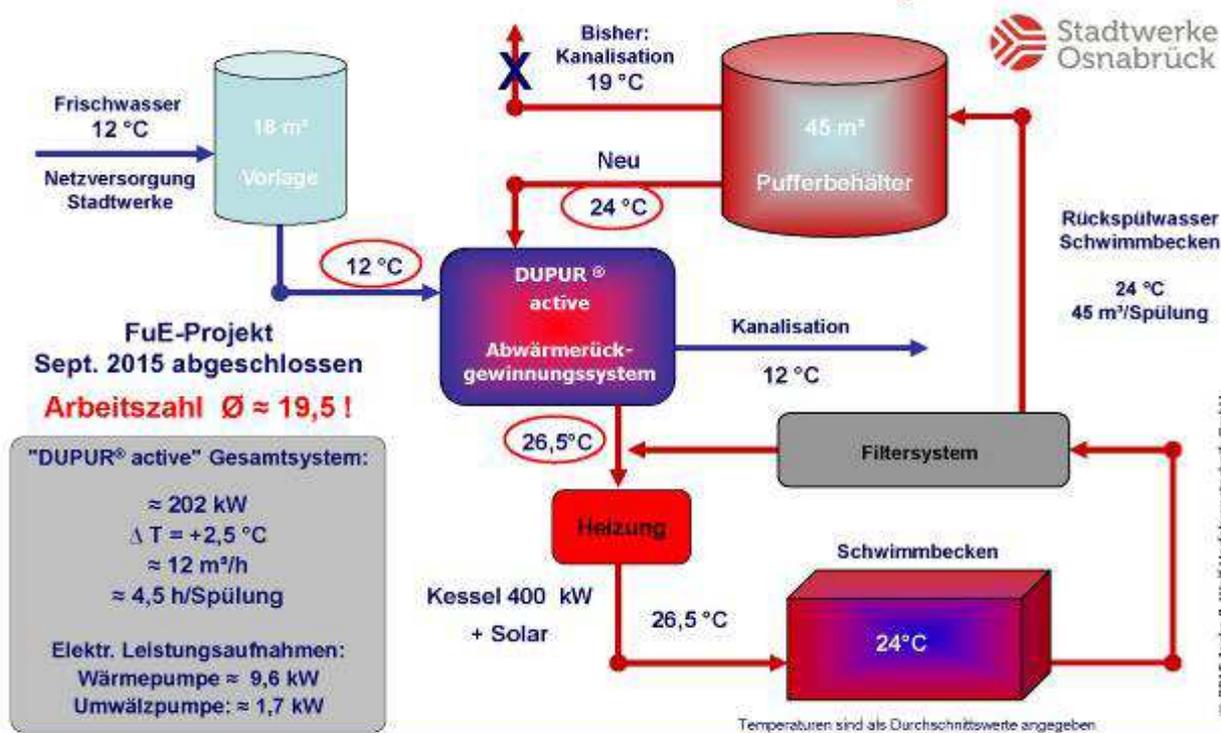


92 / 2016 PW / 101 / UF

Jaske & Wolf Verfahrenstechnik GmbH * Am Alten Flaggplatz 16 * 49811 Lingen * Fon: +49 591 / 91 54 110 * www.jaske-wolf.de * info@jaske-wolf.de

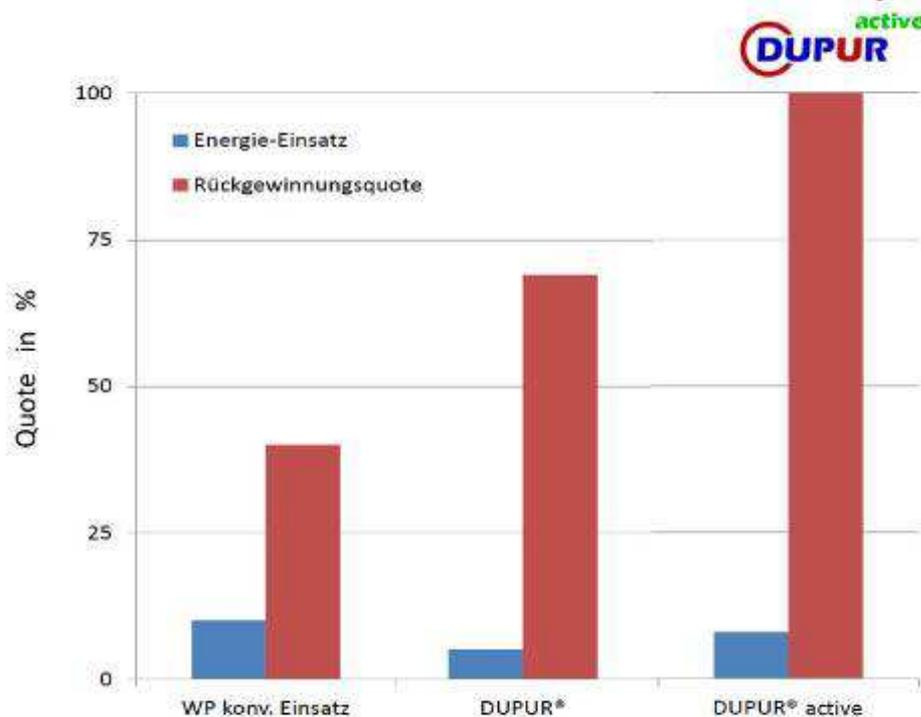
Umsetzung DUPUR® active im Moskaubad (2014)

Jaske & Wolf
Verfahrenstechnik GmbH



92 / 2016 PW / 101 / UF

Jaske & Wolf Verfahrenstechnik GmbH * Am Alten Flaggplatz 16 * 49811 Lingen * Fon: +49 591 / 91 54 110 * www.jaske-wolf.de * info@jaske-wolf.de



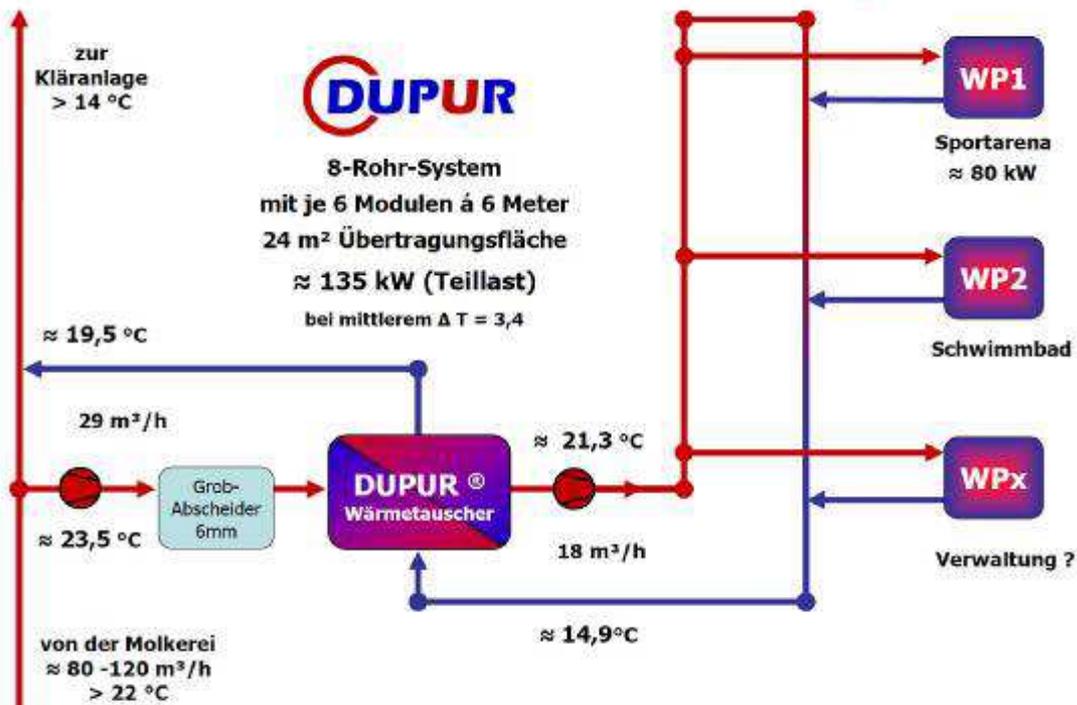
Monitoring – ^{active}DUPUR Wärmerückgewinnung (02.07.2015 - 05.09.2015)

Wärmerückgewinnung	=	100 %
Energie-Einsparung	≈	95 %
CO ₂ -Reduzierung	≈	von 27,5 auf 3,5 to (24 to)
CO ₂ -Einsparung	≈	87 % entspricht Waldfläche von ca. 3 Fußballfelder
Jahresarbeitszahl	≈	19,5
Primärenergiekosten	≈	0,6 ct. / kWh Wärme
Einsparung Energiekosten	≈	6.285 Euro in 600 Betriebsstunden

⇒ "Heizen mit Gewinn"



Fließschema: "Kalte Nahwärme" Aurich mit Betriebstemperaturen



DUPUR Wärmerückgewinnungs-System im 40 Fuß Container



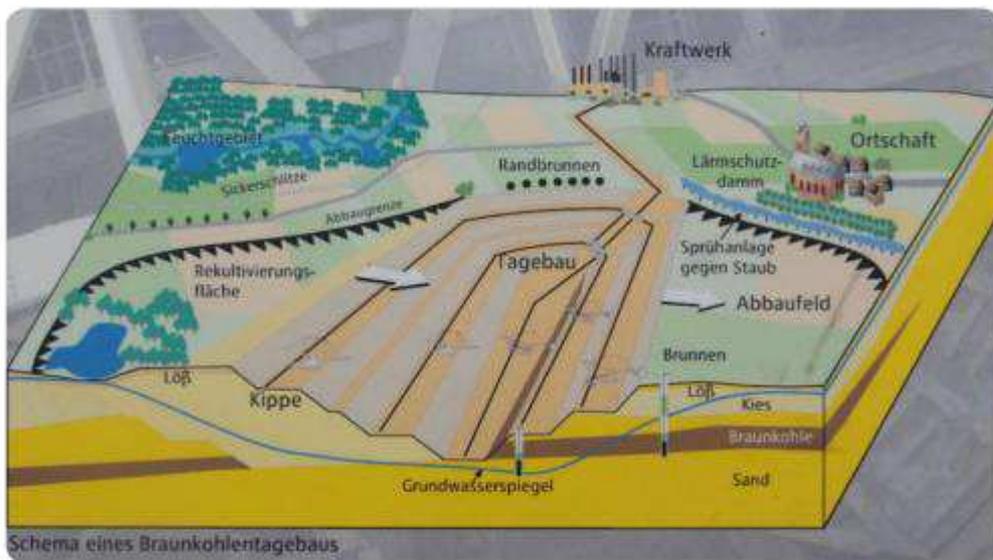
Oben: Container mit DUPUR® Abwärmerückgewinnungssystem an der Wärmeübertragungs-Station.



Rechts: DUPUR® 8 Rohr-System mit 6 Modulen und Steuerung für automatisches Reinigungssystem.

© 2016 Jaske & Wolf Verfahrenstechnik GmbH

Anwendung Grubenwasser aus dem Braunkohletagebergbau



Schema eines Braunkohletagebaus

© 2016 Jaske & Wolf Verfahrenstechnik GmbH

Sümpfungswasser Pumpleitung Wiebach in Bergheim



Sümpfungswasserleitung mit Entlüftungsventil
Entnahmestelle für Probetrieb (Schlauch)



Sümpfungswasser (klar)



Sümpfungswasser (trüb)

© 2016 Jaske & Wolf Verfahrenstechnik GmbH

02 / 2016 PW / 03 / LF

Jaske & Wolf Verfahrenstechnik GmbH * Am Alten Flaggplatz 16 * 49811 Lingen * Fon: +49 591 / 91 54 110 * www.jaske-wolf.de * info@jaske-wolf.de

Funktionsprinzip selbstreinigender Abwasserwärmetauscher

Problem



Konventioneller Wärmetauscher mit
Verschmutzung ("Fouling").
Die Wärmeübertragung wird erheblich
vermindert.
(Molkereiabwasser nach ca. 3 Wochen Betrieb)

Lösung



Reinigungs-Molch in einem Rohr
des Rohrbündels

Ergebnis



Endoskopie in die sauberen, weil
regelmäßig mit Molchen gereinigten
Rohrleitungen des Wärmetauschers

© 2016 Jaske & Wolf Verfahrenstechnik GmbH

02 / 2016 PW / 03 / LF

Jaske & Wolf Verfahrenstechnik GmbH * Am Alten Flaggplatz 16 * 49811 Lingen * Fon: +49 591 / 91 54 110 * www.jaske-wolf.de * info@jaske-wolf.de

Arbmatk

23.Sep.2014 - 23:07:00

<p>Schmptungswasser</p> <p>23.20 °C Einlauf</p> <p>21.30 °C Auslauf</p> <p>1.64 bar Vordruck</p> <p>3.50 bar Pumpedruck</p>	<p>Wärmepumpe akre Is laif Wärmetauscher</p> <p>20.70 °C Einlauf</p> <p>22.20 °C Auslauf</p>	<p>Außeitemperatur</p> <p>8 °C</p> <p>Temperatur Wiesack</p> <p>23 °C</p> <p>Durchfluss</p> <p>33 m³/h</p>
<p>Molkeerdri- gänge</p> <p>120</p>	<p>Zeitbis zum Molke</p> <p>9 Std.</p>	<p>Arbmatk- betrieb</p> <p>2998 Std.</p> <p>49 Min.</p>

Molke

Pumpe

Logout

© 2016 Jaske & Wolf Verfahrenstechnik GmbH



© 2016 Jaske & Wolf Verfahrenstechnik GmbH

DBU – Mobiler Wärmetauscher - Meßcontainer nach Fertigstellung

Jaske & Wolf
Verfahrenstechnik GmbH



gefördert durch



www.dbu.de

Oben:
DUPUR® 20' Versuchscontainer mit Rückkühler

Rechts:
Blick in den Container mit Rohrleitungssystem,
Molchventil und Schaltschrank mit Steuerung.



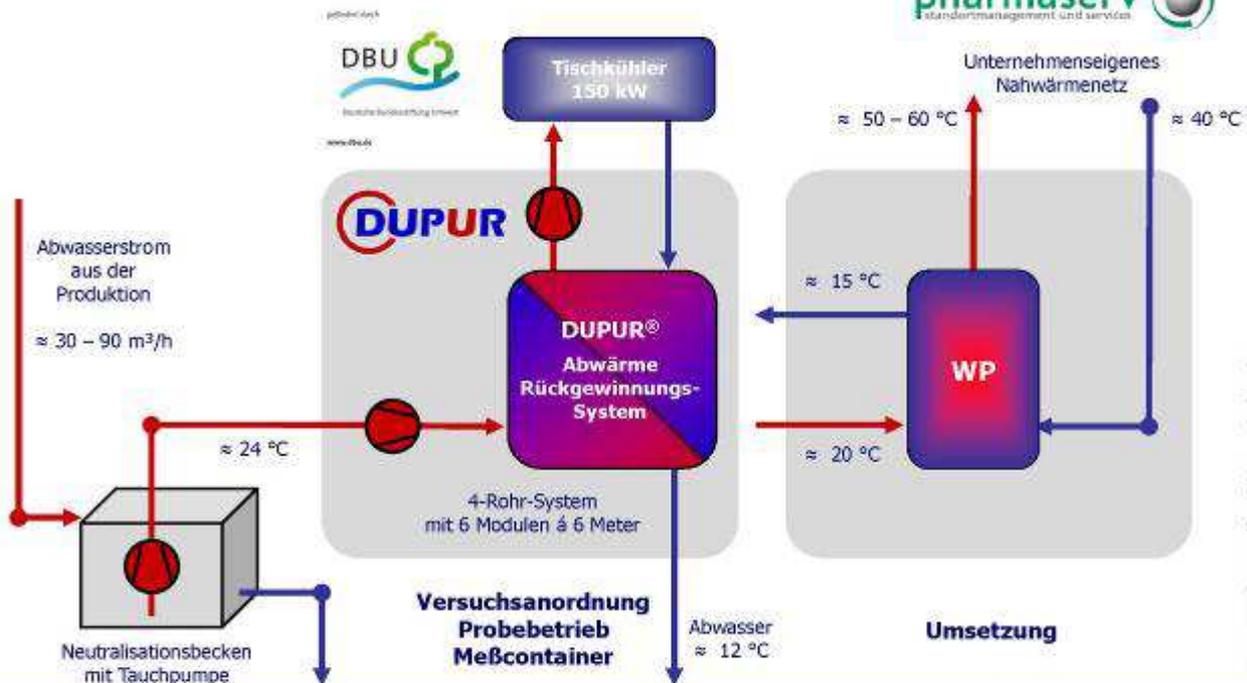
© 2016 Jaske & Wolf Verfahrenstechnik GmbH

02 / 2016 PW / 03 / LF

Jaske & Wolf Verfahrenstechnik GmbH * Am Alten Flaggplatz 16 * 49811 Lingen * Fon: +49 591 / 91 54 110 * www.jaske-wolf.de * info@jaske-wolf.de

Energetische Nutzung aus pharmazeutischem Produktionsabwasser

Jaske & Wolf
Verfahrenstechnik GmbH



02 / 2016 PW / 03 / LF

Jaske & Wolf Verfahrenstechnik GmbH * Am Alten Flaggplatz 16 * 49811 Lingen * Fon: +49 591 / 91 54 110 * www.jaske-wolf.de * info@jaske-wolf.de

Pharmaserv testet neues Verfahren
am Standort Behringwerke in Marburg,
das Energie aus Abwasser erzeugt.



Die Projektbeteiligten der Abwasser-Wärme-
gewinnung am Standort Behringwerke
Marburg: V.r.n. l.: Wolfgang Jaske,
Carsten Schneider, Produktmanager Facilities
Pharmaserv und Thomas Janssen,
Geschäftsführer Pharmaserv

© 2016 Jaske & Wolf Verfahrenstechnik GmbH

**Vielen Dank für
Ihre Aufmerksamkeit !**



Weitere Informationen

Jaske & Wolf Verfahrenstechnik GmbH

**Am Alten Flugplatz 16
49811 Lingen**

info@jaske-wolf.de

© 2016 Jaske & Wolf Verfahrenstechnik GmbH

Literatur:

[BMWi]

Energiedaten: Gesamtausgabe Stand: Mai 2016

<https://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/E/energiestatistiken-grafiken,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf>

[Bartholomäi]

G. Bartholomäi, W. Kinzelbach, Methoden zur Erstellung eines Abwärmekatasters und ihre Anwendung auf die Kreise Rastatt, Baden-Baden und Karlsruhe-Stadt, Kernforschungszentrum Karlsruhe, Juni 1978

[Pehnt]

Dr. Martin Pehnt, Jan Bödeker ifeu/ Marlene Arens Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung/ Prof. Dr. Eberhard Jochem, Farikha Idrissova IREES GmbH/ Die Nutzung industrieller Abwärme – technisch-wirtschaftliche Potentiale und energiepolitische Umsetzung, Heidelberg, Karlsruhe 13. Juli 2010, FKZ 03KSW016A und B

[Ostfriesische Nachrichten]

[Ostfriesische Nachrichten, 11.06.2016, Molkerei heizt Bad]