

# **EINFLUSS EINES HYDRAULISCH ENTKOPPELTEN KÄLTEVERTEILERS IN ZORTSTRÖM-TECHNOLOGIE AUF DEN PUMPENERGIEAUFWAND IM KÄLTEVERTEILSYSTEM**

Bericht TAG1-DWy-1305-E01

# EINFLUSS EINES HYDRAULISCH ENTKOPPELTEN KÄLTEVERTEILERS IN ZORTSTRÖM-TECHNOLOGIE AUF DEN PUMPENENERGIEAUFWAND IM KÄLTEVERTEILSYSTEM

Bericht TAG1-DWy-1305-E01

## **Auftraggeber**

ZORTEA Gebäudetechnik GmbH  
Rudolf von Ems Straße 32  
6845 Hohenems – AUSTRIA

## **Auftragnehmer**

Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme ISE  
Bereich Thermische Anlagen und Gebäudetechnik  
Abteilung Solares Bauen  
Heidenhofstr. 2  
79110 Freiburg

Angebots-Nr.: AN12-0995 – Position 2  
Angebots-Datum: 10.08.2012

## **Bearbeitung**

Dipl.-Ing. Dominik Wystrcil  
Dipl.-Ing. (FH) Martin Sonntag  
Andreas Weigend, M.Eng.

Dieser Bericht umfasst 13 Seiten. Eine Veröffentlichung der Ergebnisse darf nicht unvollständig oder in sinnentstellendem Zusammenhang erfolgen.

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme  
Bereich Thermische Anlagen und Gebäudetechnik  
Abteilung Solares Bauen  
Telefon +49 761 4588-5125  
E-Mail: dominik.wystrcil@ise.fraunhofer.de

Freiburg, 8. Oktober 2013

Dominik Wystrcil  
Projektbearbeitung

Dr. Doreen Kalz  
Gruppenleitung Energiekonzepte und Gebäudeanalyse

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Das Wichtigste in Kürze .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Zielstellung und Vorgehensweise .....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Kälteversorgung am inHaus2.....</b>	<b>6</b>
3.1	Kälteverteilsystem mit Stangenverteiler .....	6
3.2	Kälteverteilsystem mit Verteiler in Zortström-Technologie.....	6
3.3	Das Monitoring-System des inHaus2 .....	7
<b>4</b>	<b>Auswertung der Messdaten.....</b>	<b>8</b>
4.1	Betriebspunkte im Pumpenkennfeld.....	8
4.2	Pumpenenergieeinsparung.....	11
4.2.1	Erweiterte Auswertung für die Betriebsperiode 2013 .....	12

# 1

## Das Wichtigste in Kürze

Die Fa. Zortea entwickelt individuell auf die Rahmenbedingungen eines Wärme- und Kälteverteilsystems angepasste Verteiler in Zortströmtechnologie zur Wärme- und Kälteverteilung, welche die Eigenschaften eines Verteilers, einer hydraulischen Weiche und eines Pufferspeichers übernehmen können.

Im Rahmen dieses Projekts wird gezeigt, welchen Einfluss ein Verteiler in Zortströmtechnologie auf den elektrischen Pumpenenergieaufwand im Verteilsystem hat. Dies wird am Beispiel des Kälteverteilsystems des inHaus2 in Duisburg durchgeführt. In diesem Demonstrationsgebäude wurde die Kälteverteilung zwischen den Kühlperioden 2011 und 2012 umgebaut. Ein konventioneller Stangenverteiler und –sammler (8 Abgänge) in Kombination mit einem Kälte-Pufferspeicher (1000 Liter) wurde durch einen Verteiler in Zortströmtechnologie ersetzt. Die Kälteversorgungsanlage ist mit Messtechnik ausgerüstet u.a. mit Sensoren für die elektrischen Leistungsaufnahmen aller Pumpen und Volumenströme aller hydraulischen Kreise. Die Messdaten der Kühlperiode 2011 (mit konventionellem Verteiler) und 2012 (mit Verteiler in Zortströmtechnologie) werden bezüglich des Pumpenenergieaufwands und Volumenströme in drei repräsentativen hydraulischen Kreisen (Betonkerntemperierung, Umluftkühlung und Kühldecke) aufbereitet, analysiert und ausgewertet. Der direkte Vergleich der Auswertungen zeigt, dass die Leistungsaufnahmen der Pumpen um 26, 24 bzw. 42% gesenkt und gleichzeitig um 36, 37 bzw. 5,6% höhere Volumenströme in den Nennbetriebspunkten erreicht werden konnten.

## 2 Zielstellung und Vorgehensweise

Im Rahmen des Projekts soll gezeigt werden, welchen Einfluss ein Verteiler in Zortströmtechnologie auf den Pumpenenergieaufwand eines Kälteverteilsystems im Vergleich zu einem konventionellen Stangenverteiler- bzw. -sammler hat.

Die Untersuchung gliedert sich in drei Teile: Zunächst wird das Kälteverteilsystem am inHaus2 in Duisburg dargestellt, zum einen mit konventionellem Stangenverteiler- bzw. -sammler und zum anderen mit Verteiler in Zortströmtechnologie. Ebenso wird das Messwerterfassungssystem kurz erläutert.

In einem zweiten Teil werden die Ergebnisse der Messdatenauswertung für die Kühlperioden 2011 und 2012 präsentiert. Dazu werden die relevanten Betriebspunkte der Umwälzpumpen aus Förderhöhe und gefördertem Volumenstrom im Pumpenkennfeld (Herstellerangaben aus den Produktspezifikationen) dargestellt. In einem abschließenden Teil werden die ausgewerteten Daten für die Kühlperioden 2011 und 2012 bezüglich der an den Pumpen eingestellten Förderhöhen, der resultierenden Volumenströme und der elektrischen Leistungsaufnahmen in den Nennbetriebspunkten interpretiert.

Anmerkung: Beim inHaus2 handelt es sich um ein Forschungsgebäude der Fraunhofer Gesellschaft. Dort werden in unregelmäßigen Abständen Versuche mit der Wärme- und Kälteversorgungsanlage durchgeführt, welche ebenfalls Änderungen u.a. auch in den hydraulischen Systemen zur Folge haben können und hatten. Daraus resultieren Abweichungen in den Betriebszuständen des Kälteverteilsystems z.B. bezüglich eingestellter Förderhöhen oder Ventilstellungen in hydraulischen Kreisen. Die hier durchgeführten Untersuchungen beziehen sich daher auf gemessene Nennbetriebspunkte, bei denen vergleichbare Randbedingungen vorgelegen haben.

## 3 Kälteversorgung am inHaus2

Im Energiekonzept des inHaus2 in Duisburg sind zur Wärme- und Kälteversorgung unterschiedliche Wärme- und Kälteabgabesysteme integriert. Diese sind thermoaktive Bauteilsysteme (TABS) in Form einer Betonkerntemperierung (BKT), Kühldecken (KD), eine RLT-Anlage, zwei Fassadentemperiersysteme (Integrierte Fassade (IF) sowie Cli-Fi) und ein Umluftkühler (ULK) zur Serverkühlung.

### 3.1 Kälteverteilsystem mit Stangenverteiler

Die Kälteabgabesysteme wurden im ursprünglichen Konzept - vor dem Umbau des Kälteverteilsystems - über einen konventionellen, nicht differenzdruckbehafteten Stangenverteiler bzw. -sammler mit dem Kälteerzeuger bzw. dem Kälte-Pufferspeicher gekoppelt. Jeder hydraulische Kreis der Kälteabgabesysteme besaß jeweils eine eigene Umwälzpumpe entsprechend der folgenden Tabelle.

Abgabesystem	Pl.Bez.	Pumpentyp	Nennleistung
BKT	1P1	Wilo Stratos 80/1-12	1550 W
IF-Fassade	2P1	Wilo Stratos 25/1-6	85 W
Cli-Fi-Fassade	3P1	Wilo Stratos 40/1-12	450 W
Kühldecken (iRoom)	5P1	Wilo Stratos 30/1-12	310 W
RLT-Anlage	6P1	Wilo Stratos 30/1-8	130 W
ULK-EDV	7P1	Wilo Stratos 30/1-12	310 W

### 3.2 Kälteverteilsystem mit Verteiler in Zortström-Technologie

Während der Heizperiode im Winter 2011/2012 wurde das Kälteverteilsystem des in-Haus2 umgebaut. Der Stangenverteiler bzw. -sammler wurde durch einen Verteiler in Zortström-Technologie ersetzt. An den Zortströmverteiler werden die jeweiligen Kälteabgabesysteme und zusätzlich auch ein zweiter Kälteerzeuger hydraulisch eingebunden (siehe Abbildung 1). Die Dimensionierung und Auslegung des Zortströmverteiler erfolgte durch die Fa. Zortea. Jeder hydraulische Kreis der Kälteabgabesysteme enthält weiterhin dieselbe Umwälzpumpe wie vor dem Umbau. Die hydraulischen Systeme der Betonkerntemperierung, der Kühldecken sowie der Cli-Fi-Fassade sind in Beimischschaltung ausgeführt. Die anderen Systeme sind in Drosselschaltungen ausgeführt.

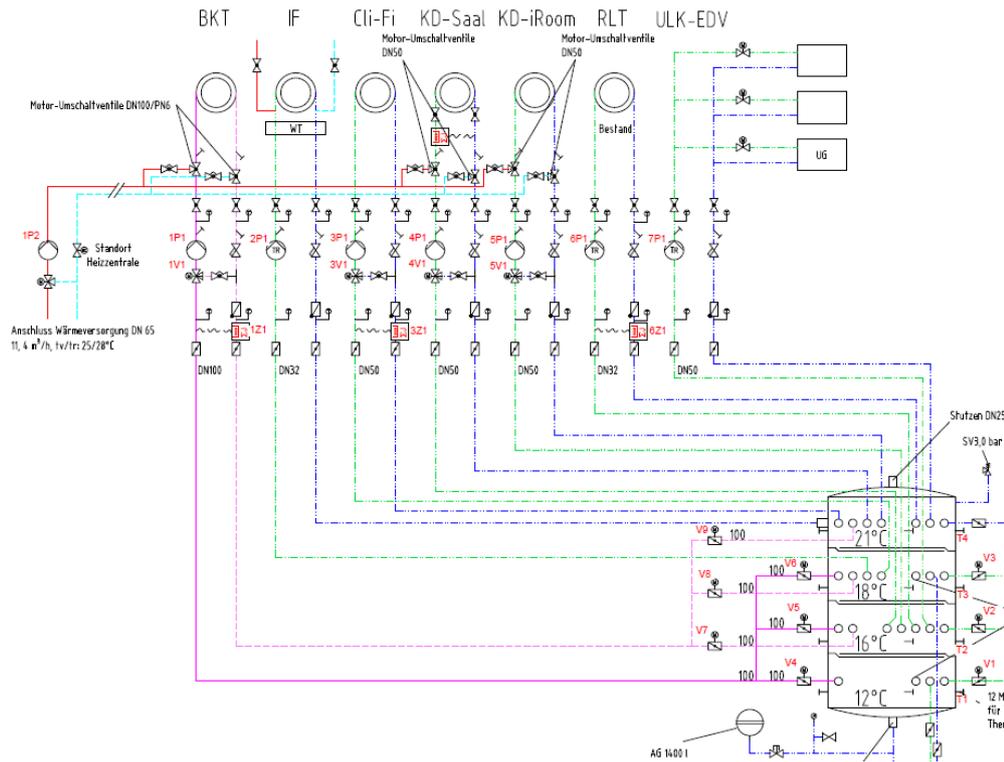


Abbildung 1: Schema Kälteverteilung inHaus2 mit Zortströmverteiler (Fa. Rehms 25.10.11)

### 3.3 Das Monitoring-System des inHaus2

Im inHaus2 ist ein Monitoringsystem integriert, welches u.a. die elektrischen Leistungsaufnahmen aller Erzeuger- und Verbraucherkreispumpen sowie die Volumenströme in den jeweiligen hydraulischen Systemen zeitlich hochaufgelöst aufzeichnet (wertdiskret mit sehr niedrigen Schwellwerten). Alle Umwälzpumpen werden im Modus „Konstantdruckregelung“ betrieben. Die hierfür in der GLT vorgegebenen Soll-Förderhöhen jeder Pumpe stehen ebenfalls als zusätzlich aufgezeichnete Datenpunkte zur Verfügung. Die vorhandenen Messdatenreihen werden im Folgenden für die Ermittlung der elektrischen Leistungsaufnahme in den jeweiligen Betriebspunkten verwendet.

Die Messdaten aus der Kühlperiode für 2011 (April bis September) mit bestehendem konventionellen Stangenverteiler und -sammler sowie der Kühlperiode für 2012 (Juli bis September) mit dem neu implementierten Verteiler in Zortström-Technologie wurden für die Bewertung bezüglich des elektrischen Pumpenenergieaufwands analysiert. Dafür wurden zunächst die relevanten Betriebspunkte aus eingestellter Förderhöhe und gemessenem Volumenstrom gemäß deren Häufigkeitsverteilung im Kennfeld der jeweiligen Pumpen dargestellt. Anhand von Referenzbetriebspunkten wurden anschließend die elektrischen Leistungsaufnahmen quantifiziert.

## 4.1

### Betriebspunkte im Pumpenkennfeld

Im Folgenden werden die Auswertungen für die Pumpen der Betonkerntemperierung (BKT, 1550  $W_{el,nenn}$ ), der Umluftkühlung (ULK, 310  $W_{el,nenn}$ ) sowie der Kühldecken (KD-iRoom, 310  $W_{el,nenn}$ ), welche zu den leistungsstärksten Umwälzpumpen im Kälteverteilungssystem gehören, dargestellt. Die Abbildungen 2 bis 4 zeigen die Betriebspunkte in den jeweiligen Pumpenkennfeldern, die während den Kühlperioden 2011 (blau) sowie 2012 (rot) aufgetreten sind. Die Größe der Punkte repräsentiert die aufgetretene Häufigkeit während den Betriebsperioden.

Anmerkung: Alle Pumpen werden zwar in Konstantdruckregelung betrieben und über die GLT gesteuert. Da es sich beim inHaus2 allerdings um ein Forschungsgebäude handelt an dem unterschiedliche Versuche durchgeführt werden, wurden während den Betriebsperioden u.a. in unregelmäßigen Abständen die eingestellten Förderhöhen variiert, was die zum Teil verstreuten Betriebspunkte im Kennfeld erklärt.

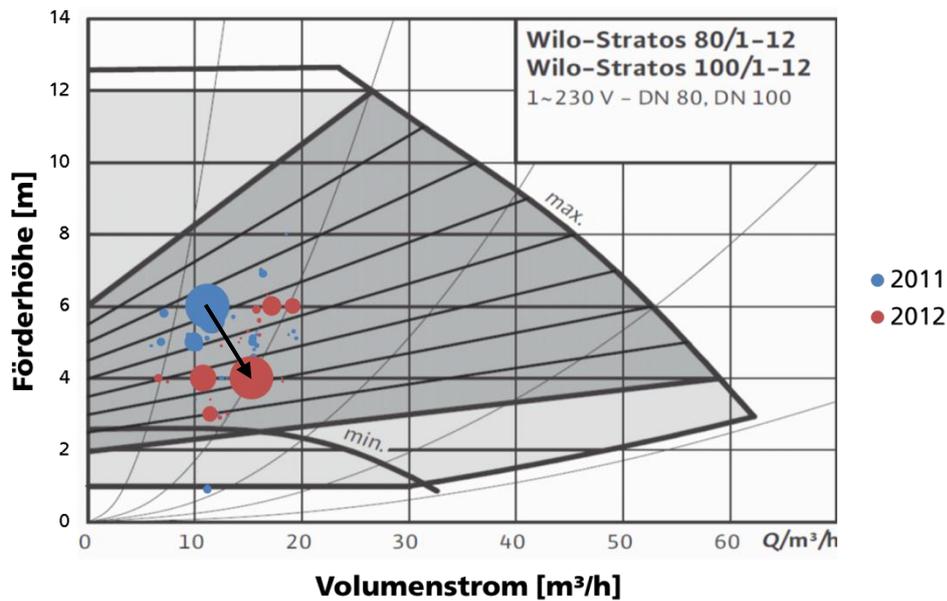


Abbildung 2: Betriebspunkte der BKT-Pumpe der Messperioden 2011 und 2012 im Pumpenkennfeld

In Abbildung 2 ist deutlich zu erkennen, dass in der Betriebsperiode 2012 (rot) bei gleichen Volumenströmen deutlich geringere Förderhöhen der Pumpen gegenüber der Betriebsperiode 2011 (blau) ausreichen, um die Druckverluste im hydraulischen Kreis der Betonkerntemperierung zu überwinden. Für die Betriebspunkte mit der höchsten Häufigkeit (symbolisiert durch den Pfeil) kann die Förderhöhe um 2 m bzw. 33 % reduziert werden. Weiterhin kann durch den hydraulischen Umbau ein um ca. 4 m³/h bzw. 36% höherer Volumenstrom im BKT-Kreis gefördert werden. Die horizontale Verteilung der Betriebspunkte bei gleich eingestellten Förderhöhen repräsentiert die während des Betriebs auftretenden Teillastbetriebspunkte mit vom Nennbetriebspunkt abweichenden Ventilstellungen im hydraulischen Kreis.

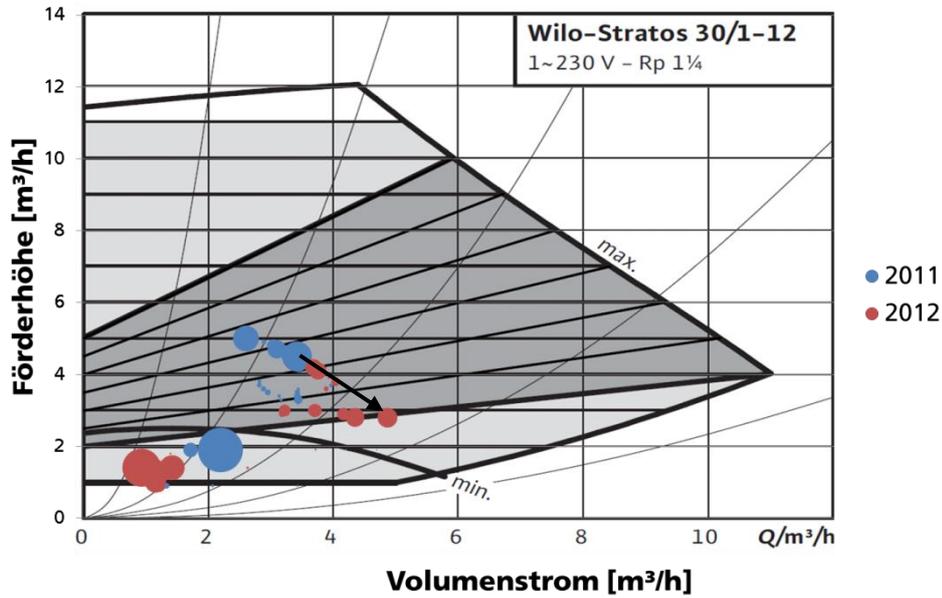


Abbildung 3: Betriebspunkte der ULK-Pumpe der Messperioden 2011 und 2012 im Pumpenkennfeld

Für die Pumpe der Umluftkühler der EDV kann eine ähnliche Veränderung beobachtet werden. In den Nennbetriebspunkten mit Nennvolumenstrom (mit Pfeil gekennzeichnet in Abbildung 3) kann anhand der Messdaten eine Reduzierung der Förderhöhe von 5 auf 3 m (-40 %) bei jetzt höheren Nennvolumenströmen von 3,5 auf 4,8 m³/h (+37%) festgestellt werden.

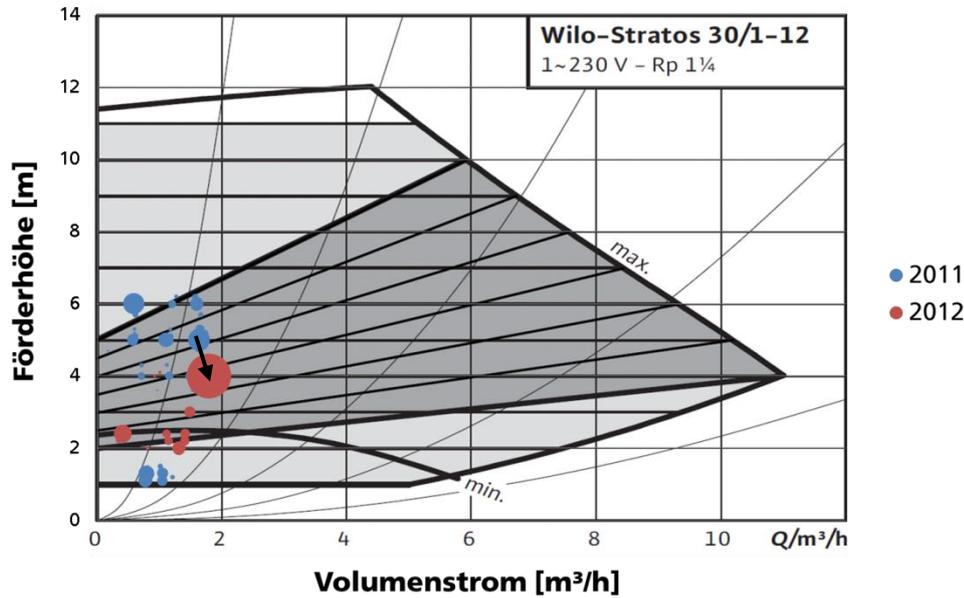


Abbildung 4: Betriebspunkte der KD-iRoom-Pumpe der Messperioden 2011 und 2012 im Pumpenkennfeld

Im Kühldeckenkreis (iRoom) verschiebt sich ebenfalls der Nennbetriebspunkt von einer Förderhöhe von 5 auf 4 m (-20 %) bei einem leicht höheren Volumenstrom von 1,8 auf 1,9 m³/h (siehe Abbildung 4).

## 4.2 Pumpenenergieeinsparung

Vor bzw. nach dem Umbau der Kälteverteilung wurden die elektrischen Leistungsaufnahmen in den Nennbetriebspunkten für die drei untersuchten hydraulischen Systeme Betonkerntemperierung, Umluftkühler (EDV) sowie Kühldecke (KD-iRoom) gemessen. Die ermittelten Daten sind in folgender Tabelle dargestellt. Aufgrund der reduzierten Druckverluste im System durch den eingesetzten Verteiler in Zortström-Technologie ergibt sich eine rechnerische Einsparung der elektrischen Pumpenleistung von 26, 24 bzw. 42% unter Nennbedingungen gegenüber der Systemvariante mit konventionellem Stangenverteiler bzw. -sammler.

Anmerkung: Die Einsparungen bezüglich der Leistungsaufnahme der Pumpen wurden aus den Messdaten des inHaus2 ermittelt. Die Ergebnisse gelten nur für die spezielle Systemkonfiguration, welche am inHaus2 vorliegt. Eine Generalisierung der Ergebnisse auf andere Versorgungskonzepte ist nicht möglich. Eine deutliche Reduzierung des Druckverlustes ist allerdings zu erwarten, muss aber für den speziellen Anwendungsfall überprüft werden.

Tabelle 1: Zusammenfassung der Förderhöhe, Volumenstrom und Leistungsaufnahme in den Nennbetriebspunkten.

Pumpe		Nennförderhöhe [m]	Nennvolumenstrom [m <sup>3</sup> /h]	Leistungsauf- nahme bei Nennlast [W]
<b>BKT</b>	2011	6	11	432
	2012	4	15	318
	2013	3	11,9	188
	<b>Einsparung Veränderung (2012)</b>	-33%	+36%	<b>-26%</b>
<b>Einsparung Veränderung (2013)</b>	-50%	+8%	<b>-56%</b>	
<b>ULK</b>	2011	5	3,5	102
	2012	3	4,8	78
	2013	1,5	0,95	11,4
	<b>Einsparung Veränderung (2012)</b>	-40%	+37%	<b>-24%</b>
<b>Einsparung Veränderung (2013)</b>	-70%	-73%	<b>-89,6%</b>	
<b>KD-iRoom</b>	2011	5	1,8	74
	2012	4	1,9	43
	<b>Einsparung Veränderung (2012)</b>	-20%	+5,6%	<b>-42%</b>

#### 4.2.1 Erweiterte Auswertung für die Betriebsperiode 2013

##### Förderhöhenanpassung der BKT-Pumpe in 2013

Aufgrund der geänderten Druckverhältnisse im hydraulischen Kälteverteilssystem nach Einbau des Zortströmverteilers und Beibehaltung der Umwälzpumpen ergaben sich für die Betriebsperiode 2012 (nach dem Umbau) im Vergleich zur Betriebsperiode 2011 (vor dem Umbau) erhöhte Volumenströme. Für die Pumpe der Betonkerntemperierung ergab sich ein um 36 % erhöhter Volumenstrom. Die Energieeinsparung bezifferte sich dadurch auf 26 %. Für einen direkten Vergleich mit der Betriebsperiode 2011 unter Verwendung vergleichbarer Volumenströme wurde die Förderhöhe für den Zeitraum 01.07.2013 bis 01.08.2013 auf 3 m gesenkt. Dadurch ergab sich lediglich noch eine Volumenstromerhöhung von 8 %. Bei den nun vergleichbaren Volumenströmen beträgt die Energieeinsparung der Umwälzpumpe für die Betonkerntemperierung in den Nennbetriebspunkten 56 % (vgl. Tabelle 1).

Zeitgleich mit dem Umbau der Kältezentrale des inHaus2 wurde ebenfalls die Kälteversorgungsanlage bezüglich der Umluftkühlung der EDV-Serverräume umgebaut. Dadurch ergaben sich die folgenden Änderungen im System:

- Der hydraulische Kaltwasserkreis wurde um zwei weitere auf nun insgesamt drei EDV-Umluft-Kühlregister erweitert, diese werden über die ULK-Pumpe versorgt.
- Die einzelnen Umluftkühler wurden zusätzlich mit einem Drosselventil ausgerüstet, um bei fehlender Kälteanforderung der EDV-Serverräume den Volumenstrom zu reduzieren.
- Eine zusätzliche Kältemaschine (Fa. Menerga, Typ. 98-Kaltwassersatz) wurde zur Kälteversorgung mit eingebunden, welche auch niedrigere Vorlauftemperaturen liefern kann. (Betriebsbeginn 28. Juni 2012)
- Die Temperatursollwerte für die Schichten im Zortströmverteiler wurden herabgesetzt. (ab 04. Oktober 2012)

In Tabelle **1** sind die Förderhöhen, die Förderströme und die Leistungsaufnahmen der ULK-Pumpe für die Betriebsperiode 2013 dargestellt. Ebenfalls sind die prozentualen Veränderungen gegenüber der Betriebsperiode 2011 aufgezeigt. Nach Betriebsbeginn der zweiten Kältemaschine ergab sich eine Reduzierung der Volumenströme um 73 % (von 3,5 m<sup>3</sup>/h in 2011 auf 0,95 m<sup>3</sup>/h in 2013). Dies liegt vermutlich an den niedrigeren Vorlauftemperaturen (im Mittel 10 °C statt 16 °C) und den dadurch höheren erreichbaren Temperaturspreizung zwischen Vor- und Rücklauf bei gleichbleibender Wärmeübertragungsleistung<sup>1</sup>. Unter den gegebenen Randbedingungen reduzierte sich die Leistungsaufnahme der ULK-Pumpe um 89,6 % gegenüber der Betriebsperiode 2011.

---

<sup>1</sup> Im Vergleich zu den hydraulischen Kreisen der Betonkerntemperierung und der Kühldecken sind im Kreis der Umluftkühlung keine Beimischventile zur Vorlauftemperaturregelung eingebaut.