

Diplomarbeit

Thema der Diplomarbeit:

Untersuchung und Bewertung hydraulischer Optimierungsmöglichkeiten am Kälteverbundsystem des Universitätsklinikums Dresden.

Bearbeitungsschwerpunkte:

- Berechnung der Dimensionen (Nachdimensionierung)
- Gegenüberstellung Bestandssituation / Auslegung
- Aufzeigen von Optimierungsmöglichkeiten
- Wirtschaftlichkeitsbetrachtung
- Präsentation der Ergebnisse der Abteilung- Technik des Universitätsklinikums

Vorgelegt am: 19. August 2013

Von: Thomas Landgraf
An den Eichen 38
09125 Chemnitz

Studiengang: VU10/1

Studienrichtung: Versorgungs- und Umwelttechnik

Matrikelnummer: 4100382

Praxispartner: Planungsbüro Waidhas GmbH
Neefestraße 42
09119 Chemnitz

Gutachter: Herr Dipl. Ing. (BA) Mattias Koban
(Planungsbüro Waidhas GmbH)

Herr Prof. Dr. Holger Hahn
(Staatliche Studienakademie Glauchau)

Danksagung

Diese Arbeit wurde im Studiengang „Versorgungs- und Umwelttechnik“ der Berufsakademie Glauchau angefertigt.

Mein Dank gilt dem gesamten Lehrstuhl, vor allem Herrn Dr. Prof. Holger Hahn für die Betreuung dieser Arbeit.

Weiterhin möchte ich mich auch bei meinen betrieblichen Betreuern Herrn Dipl. Ing. Mattias Koban und Herr Dipl. Ing. Wolfgang Schobner des Planungsbüros Waidhas bedanken.

Desweiteren bedanke ich mich bei der Technischen Abteilung des Uniklinikums Dresden für die hervorragende technische und fachliche Unterstützung bei Anfertigung meiner Diplomarbeit. Besonders zu erwähnen ist hier der Einsatz von Marcel Hanusch, der ein absoluter Fachmann auf seinem Gebiet ist.

Außerdem gilt mein Dank Herrn Fischer-Uhrig von der Firma STANET für die große Hilfsbereitschaft bei der Unterstützung zur rechnerischen Simulation des Kälteverbundes.

Für die kooperative Zusammenarbeit, exzellente Auslegung und hydraulische Kompetenz möchte ich die Vertreter der Pumpenhersteller, Herr Rüdiger Gerbert von Wilo und Herr Michael Wirth von Grundfos ausdrücklich erwähnen.

Ein besonderer Dank gilt auch meiner Familie und Freunden, die mir stets bei meinem Studium zur Seite standen.

Chemnitz, den 27. Juli 2013

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis	VII
Formelverzeichnis	VIII
Abkürzungsverzeichnis	IX
1. Kälteverbundsystem des Uniklinikums Dresden	1
1.1. Standort Universitätsklinikum Carl Gustav Carus Dresden	1
1.2. Historie des Universitätsklinikums Carl Gustav Carus Dresden	1
1.3. Aufgabenstellung der Diplomarbeit	2
1.4. Aufbau des Kälteverbundsystems	2
1.5. Kälteerzeugung im Kälteverbund	4
1.6. Pufferspeicher	5
1.7. Volumen des Kälteverbundes	7
1.8. Leistungs- und Temperaturverluste des Kälteverbundes	8
1.9. Druckhaltung	9
1.10. Messtechnik	10
1.11. Allgemeines Regelkonzept des Verbundsystems	11
1.12. Erzeugerprioritäten	11
1.13. Schlechtpunktregelung	12
2. Theoretische Grundlagen	15
2.1. Strömungstechnik	15
2.1.1. Allgemeines	15
2.1.2. Grundbegriffe der Strömungstechnik	15
2.1.3. Strömung ohne Reibung	16
2.1.4. Kontinuitätsgleichung	16
2.1.5. Gesetz von Bernoulli	16
2.1.6. Kreisströmung	18
2.1.7. Reale Strömung	19
2.1.8. Viskosität	20
2.1.9. Strömungsarten	21
2.1.10. Strömungsablösung	22
2.1.11. Rohrreibungszahl λ	23
2.1.12. Hydraulischer (gleichwertiger) Durchmesser	25
2.1.13. Einzelwiderstände	25
2.1.14. Gesamtdruckverlust eines Rohrleitungssystems	26
2.2. Pumpen	27
2.2.1. Allgemeines	27

2.2.2	Definitionen zum Druck	27
2.2.3	Kavitation.....	28
2.2.4	Förderstrom und Förderhöhe	29
2.2.5	Pumpenleistungsberechnung.....	29
2.2.6	Pumpenwirkungsgrad.....	30
2.2.7	Anlagenkennlinie	30
2.2.8	Pumpenkennlinie.....	31
2.2.9.	Betriebspunkt	31
2.2.10	Pumpendrehzahlregelung	32
2.3	Armaturen.....	34
2.3.1	kv- und kvs-Wert.....	34
2.3.2	Die Ventilautorität	35
2.3.3	Durchgangstellventile mit elektrischem Antrieb	35
2.3.4	Absperrklappen	36
2.3.5	Schmutzfänger	37
2.3.6	Rückschlagklappen	38
2.3.7	Kugelhahn	39
2.3.8	Membranventile.....	39
2.3.9	Strangreguliertventile.....	40
2.4	Wärme- und Kältemengenzähler	40
2.5	Plattenwärmeübertrager	41
3.	Hydraulische Erfassung und Bewertung des Kälteverbundes	44
3.1	Auswertung der Verbrauchsmessungen.....	44
3.2	Druckverluste im Kälteverbund.....	47
3.3	Kältemengenzähler im System.....	48
3.4	Aufnahme der Netzeinspeisepumpen.....	50
3.5	Hydraulische Schaltung im Kälteverbund	51
4.	Allgemeine Beurteilung des Kälteverbundes	52
5.	Berechnungen zum Kälteverbundnetz.....	53
5.1	Dimensionierung, Druckgefälle und Leitungsverluste.....	53
5.2	Vergleich des Bestandsnetzes mit dem berechneten Netz	56
6.	Optimierungspotential des Kälteverbundes	57
6.1	Drehzahlgeregelte Pumpen im Kälteverbund	57
6.1.1	Pumpensubstitution	57
6.1.2	Schlechtpunktregelung.....	57
6.2	Hydraulische Schaltungen.....	61
6.3	Netzoptimierung durch Ringzusammenschluss.....	62
6.4	Zentrale Einspeisung in das Kälteverbundnetz	64
6.5	Einsatz von Kaltwasserspeichern im Kälteverbund	67

6.6	Analyse der Kältemengenzähler.....	71
7.	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Optimierungsmöglichkeiten.....	73
7.1	Schlechtpunktabsenkung	73
7.2	Hydraulische Schaltung.....	78
7.3	Ringzusammenschluss.....	79
7.4	Kurzzeit-Kältespeicher.....	83
7.5	Kältezähler	85
8.	Zusammenfassung und Schlussfolgerung.....	87
	Thesenblatt.....	XII
	Literatur- und Quellenverzeichnis	XII
	Anhangverzeichnis	XIV
	Freigabeerklärung	XV
	Ehrenwörtliche Erklärung.....	XVI

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Carl Gustav Carus	1
Abbildung 2	Übersicht Kälteverbund	3
Abbildung 3	Prinzipschaltung Netzeinspeisung/Netzentnahme.....	4
Abbildung 4	Pufferspeicher Haus 25	6
Abbildung 5	Auszug MH-Isometrie Kälteverbund	7
Abbildung 6	Dämmung Kollektorgang	8
Abbildung 7	Dämmung Kältezentrale	8
Abbildung 8	Kompressordruckhaltung.....	9
Abbildung 9	Vakuumentgasungsanlage	9
Abbildung 10	Zentrale Druckhaltung Kälteverbund	10
Abbildung 11	Rohrfeder-Manometer	10
Abbildung 12	Bimetall-Thermometer	10
Abbildung 13	Turboverdichter Haus 40	13
Abbildung 14	Hubkolbenverdichter Haus 25.....	14
Abbildung 15	Absorber Haus 34.....	14
Abbildung 16	Stromlinienbild	15
Abbildung 17	Kontinuitätsgesetz	16
Abbildung 18	Gesetz von Bernoulli.....	18
Abbildung 19	Geschwindigkeitsverteilung bei Kreisströmung.....	18
Abbildung 20	Druckverlust in geraden Rohrstrecken.....	19
Abbildung 21	Laminare Strömung	21
Abbildung 22	Turbulente Strömung	21
Abbildung 23	Kritische Geschwindigkeiten	22
Abbildung 24	Grenzschichtausbildung	22
Abbildung 25	Ablösung an der Kante	23
Abbildung 26	Ablösung hinter Hindernis.....	23
Abbildung 27	Unebenheiten an der Rohrwand	24
Abbildung 28	Rauheitstabelle	24
Abbildung 29	Moody-Diagramm	24
Abbildung 30	Hydraulischer Durchmesser.....	25
Abbildung 31	Allgemeine Widerstandsbeiwerte.....	26
Abbildung 32	Druckaufbau	28
Abbildung 33	Kavitation	29
Abbildung 34	Anlagenkennlinie	30
Abbildung 35	Pumpenkennlinie	31
Abbildung 36	Betriebspunkt.....	31
Abbildung 37	p-c-Regelung	33

Abbildung 38	p-v-Regelung	33
Abbildung 39	Differenztemperaturregelung und Schema	34
Abbildung 40	kvs-Wert	34
Abbildung 41	Durchgangsventil Sauter	35
Abbildung 42	Durchgangsmotorventile Haus 40.....	35
Abbildung 43	Durchflussdiagramm.....	36
Abbildung 44	Zeta-Werte Klappen.....	36
Abbildung 45	Zwischenflanschklappe.....	37
Abbildung 46	Klappe mit elektrischem Antrieb	37
Abbildung 47	Schmutzfänger.....	37
Abbildung 48	Übersicht Zeta-Werte Schmutzfänger.....	38
Abbildung 49	Druckverlustdiagramm Rückschlagklappe.....	38
Abbildung 50	Druckverlustdiagramm Kugelhahn.....	39
Abbildung 51	Membranventil	39
Abbildung 52	Durchflussdiagramm.....	40
Abbildung 53	Strangreguliertventil ARI	40
Abbildung 54	Kältezähler	41
Abbildung 55	Schnitt Kältezähler.....	41
Abbildung 56	Schema PWÜ	42
Abbildung 57	Übertragerplatte.....	42
Abbildung 58	Diagramm Gleichstrom	43
Abbildung 59	Diagramm Gegenstrom	43
Abbildung 60	Technische Daten Kältezähler.....	48
Abbildung 61	Durchflussdiagramm Kältezähler	49
Abbildung 62	Drosselschaltung im Kälteverbund Haus 40	51
Abbildung 63	Übersichtsplan im Berechnungsprogramm STANET	55
Abbildung 64	Anschlussleitung Haus 33	56
Abbildung 65	Einteilung Deutschlands in Klimaregionen.....	60
Abbildung 66	Gegenüberstellung der hydraulischen Schaltungen	61
Abbildung 67	Trassenverlauf beim Ringzusammenschluss.....	63
Abbildung 68	Kälteverbund mit zentraler Kälteerzeugung im Schwachlastfall.....	64
Abbildung 69	Auszug zentrale Einspeisung Haus 90 (Mammutfalle)	66
Abbildung 70	Einfluss der Antriebstemperatur bei Absorptionskältemaschinen	67
Abbildung 71	EER-Werte bei Turbokälteerzeugern.....	67
Abbildung 72	Darstellung Speicheraufbau.....	70
Abbildung 73	Ultraschallzähler USFM-3030 von Krohne.....	72
Abbildung 74	WILO IP-E80/140-7,5/2-R1	73
Abbildung 75	Diagramm Betriebskosteneinsparung.....	75
Abbildung 76	Pumpenkennlinie Schlechtpunkt konstant	76

Abbildung 77	Pumpenkennlinie Schlechtpunkt gleitend abgesenkt.....	77
Abbildung 78	Ringzusammenschluss Haus 21 und 25.....	79
Abbildung 79	Pumpenkennlinie Haus 25.....	81
Abbildung 80	Pumpenkennlinie Haus 21.....	81

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Prioritätenliste	11
Tabelle 2	Übersicht Schlechtpunkte	12
Tabelle 3	Viskositäten	20
Tabelle 4	Übersicht Ermittlung Rohrreibungszahl.....	23
Tabelle 5	Auszug Dampfdrucktabelle	29
Tabelle 6	Übersicht Kälteerzeuger	44
Tabelle 7	Übersicht Volllast	45
Tabelle 8	Übersicht Teillast	46
Tabelle 9	Ventilkennwerte	47
Tabelle 10	Druckverluste Kältezähler	49
Tabelle 11	Pumpenübersicht	50
Tabelle 12	Schlechtpunktetabelle mit abgesenkten Werten	58
Tabelle 13	Übersicht Kälteleistungen Schwachlastfall.....	66
Tabelle 14	Betriebskosteneinsparung	75
Tabelle 15	Wirtschaftlichkeitsberechnung hydraulische Schaltung	78
Tabelle 16	Investitionskostenermittlung Ringzusammenschluss	80
Tabelle 17	Einsparung Pumpenenergie durch Ringzusammenschluss.....	82
Tabelle 18:	Amortisationsdauer Ringzusammenschluss	82
Tabelle 19:	Wirtschaftlichkeit Kurzzeit-Kältespeicher	84
Tabelle 20	Investitionskosten Kältezähler	85
Tabelle 21	Berechnung der Refinanzierung	86

Formelverzeichnis

Formel 1	Mindestvolumen Pufferspeicher	5
Formel 2	Nutzungszeit Pufferenergieinhalt	6
Formel 3	Masse	7
Formel 4	Kältemenge	7
Formel 5	mittlerer Wärmeverlust	8
Formel 6	Kontinuitätsgleichung	16
Formel 7	Bernoullischer Satz	17
Formel 8	dynamischer Druck	17
Formel 9	Höhendruckdifferenz	17
Formel 10	Druckgleichung Bernoulli	17
Formel 11	Druckverlust im geraden Rohr	19
Formel 12	Druckabfall Pascal pro Meter	19
Formel 13	kinematische Viskosität	20
Formel 14	Reynoldszahl	21
Formel 15	Druckverlust durch Einzelwiderstände	25
Formel 16	Gesamtdruckverlust	26
Formel 17	maximale Saughöhe	28
Formel 18	Pumpenleistung $v=\text{konst}$	29
Formel 19	reale Pumpenleistung	29
Formel 20	Pumpenwirkungsgrad	30
Formel 21	hydraulischer Pumpenwirkungsgrad	30
Formel 22	Proportionalgesetz	32
Formel 23	Ventilkennwert	34
Formel 24	Ventilautorität	35
Formel 25	Berechnung Wärmeleistung	40
Formel 26	Kälteleistung in W	42
Formel 27	logarithmische Temperaturdifferenz	42
Formel 28	Pumpenleistung	59
Formel 29	Gesamtwirkungsgrad der Pumpe	59
Formel 30	Volumen Kurzzeitspeicher	68
Formel 31	Speicherkapazität	69
Formel 32	Lastabhängiger Energiebedarf	74
Formel 33	Gesamtenergiebedarf	74
Formel 34	Energiekosten pro Jahr	74

Abkürzungsverzeichnis

- % Prozent
- °C Grad Celsius
- 3-D dreidimensional
- bar Bar - Maßeinheit des Drucks
- CT Computertomographie
- dgl gleichwertige hydraulische Durchmesser
- dhyd hydraulischer Durchmesser
- DN Diameter Nominal
- DN Nennweite (*engl. Diameter Nominal*)
- GLT Gebäudeleittechnik
- h Stunde
- K Kelvin
- k Rauigkeit
- KM Kältemaschine
- km Kilometer
- konst. konstant
- KV Kälteverbundnetz
- kW Kilowatt
- kWh Kilowattstunde
- m Meter
- m³ Kubikmeter
- min Minuten
- mm Millimeter
- MRT Magnetresonanztomographie
- N/mm² Newton pro Quadratmillimeter
- OP Operation
- Pa Pascal
- PWÜ Plattenwärmeübertrager
- RZ Rechenzentrum
- s Sekunde
- U Umfang
- UKD Uniklinikum Dresden
- usw. und so weiter
- VDI Verein deutscher Ingenieure
- W Watt
- WMZ Wärmemengenzähler

1. Kälteverbundsystem des Uniklinikums Dresden

1.1. Standort Universitätsklinikum Carl Gustav Carus Dresden

Das Uniklinikumsgebiet befindet sich im östlichen Teil der Dresdener Altstadt in Johannstadt. Das Klinikum liegt nicht weit entfernt von der Elbe in Höhe der Waldschlößchenbrücke.

Das Krankenhaus erhebt die Versorgungsstufe der Maximalversorgung und deckt somit die gesamte Bandbreite der Medizinischen Versorgung ab. Es besteht aus insgesamt 21 Fachkliniken, neun interdisziplinären Zentren und drei Instituten, welche eng mit der Medizinischen Fakultät zusammenarbeiten. Das Uniklinikum bietet als größtes Krankenhaus der Stadt 1255 Patientenbetten und 135 Tagesplätze. Etwa 700 Ärzte sowie 1600 Pfleger und Krankenschwestern kümmern sich um das Wohl der Patienten.

1.2 Historie des Universitätsklinikums Carl Gustav Carus Dresden

1748 wurde das *Collegium medico-chirurgicum*, als Militärische-Medizinische Ausbildungsstätte gegründet. Im Jahre 1815 wurde der Vorläufer der Medizinischen Akademie die *Königlich Chirurgisch-Medicinische Akademie* gegründet und man berief den später namensgebenden Carl Gustav Carus zu einer Professur an der Akademie. Das Stadtkrankenhaus Dresden-Johannstadt wurde am 02.12.1901 eröffnet. Es besteht aus den Abteilungen Chirurgie, Innere Medizin und Augenklinik. Im Jahr 1903 wurde die Königliche Frauenklinik angebaut. Bei den Alliierten Luftangriffen im Februar 1945 wurden große Teile des Klinikums zerstört. Die zerstörten Gebäude wurden in Nachkriegsjahren neu- oder wiederaufgebaut und stehen heute unter Denkmalschutz. Im Jahr 1954 wurde die Medizinische Akademie eröffnet. Bis 1993 wurden hier zirka 6000 Ärzte klinisch ausgebildet.

Seit dem 1. Oktober 1993 wurde die Medizinisch Akademie als Medizinische Fakultät und Universitätsklinikum in die Technische Universität Dresden eingegliedert.

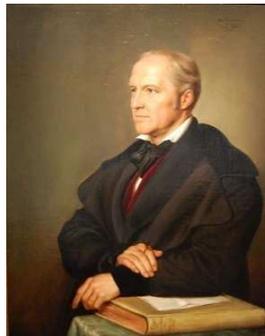


Abbildung 1 Carl Gustav Carus¹

http://de.wikipedia.org/wiki/Carl_Gustav_Carus; 07.02.2013

1.3 Aufgabenstellung der Diplomarbeit

Ziel der vorliegenden Arbeit ist, die Untersuchung und Bewertung hydraulischer Optimierungsmöglichkeiten für das Kälteverbundsystem. Basierend auf einer exakten Bestandserfassung, die alle Verbraucher und Erzeuger sowie deren anlagentechnischen Verbindungskomponenten umfasst, wurde zu den Optimierungsmöglichkeiten eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung durchgeführt.

1.4 Aufbau des Kälteverbundsystems

Das Kälteverbundsystem des Uniklinikums Dresden ist ein geschichtlich gewachsener Zusammenschluss von 7 Kälteerzeugern und 16 Verbrauchsstellen, die durch ein Rohrnetz technisch zusammengeschlossen wurden. Dieser Verbund versorgt alle für den medizinischen Klinikbetrieb notwendigen Verbraucher wie Rechenzentren, OP-Räume, MRT-Räume, CT-Räume, Büroräume, Küchen und Kantinen usw. mit Kälte. Das Kälteverbundnetz ist ein Zweileitersystem aus geschweißtem Stahlrohr mit Kälteisolation aus Schaumstoff und Blechummantelung. Die Rohrleitungsbefestigungen sind mit speziellen Kälterohrschellen ausgeführt. Das gesamte Verbundsystem hat eine Länge von zirka 2,4 Kilometern. Es verläuft größtenteils durch Kollektorgänge, aber auch erdverlegt von den Zentralen zu den Verbrauchern der einzelnen Klinikseinheiten. Die kleinste Rohrdimension des Kälteverbundnetzes ist DN 65 und die Größte DN 300. Die mittlere Spreizung des Kaltwassers beträgt 6 Kelvin bei einer Vorlauftemperatur von 6°C und einem Rücklauf von 12°C. Die Hauptaufgabe des Verbundsystems ist es die Versorgungssicherheit bei Havarien oder Instandhaltungsmaßnahmen an den verschiedenen Kälteerzeugern maßgeblich zu erhöhen. Somit bleibt auch die medizinische Versorgungssicherheit bei anlagentechnischen Störungen gewährleistet. Desweiteren bietet der Kälteverbund die Möglichkeit einer wirtschaftlich optimierten und effizienten Fahrweise der Erzeugungsanlagen je nach Lastanfall. Mögliche Unterversorgungen einzelner Gebäude mit Kälte werden energieeffizient ausgeglichen. Damit der Kälteverbund die beschriebenen Hauptaufgaben erfüllen kann, ist eine uneingeschränkt hydraulische Funktionsweise erforderlich. Der Anlagenbetreiber hat bisher keine eindeutigen Erkenntnisse zu den theoretischen Strömungsverhältnissen im Kälteverbundsystem. Für die Betrachtung der hydraulischen Verhältnisse im Rohrleitungssystem sind sowohl der Auslegungsfall bei Volllast als auch der Teillastfall in der Übergangszeit relevant. Jeder Kälteerzeuger fördert Kaltwasser mit separaten Netzeinspeisepumpen in den Verbund. Im realen Betrieb lässt sich aus den Messanzeigen der Gebäudeleittechnik schlussfolgern, dass im Kältenetz die Strömungsrichtung nicht eindeutig definiert werden kann. Die Net-

zeinspeisepumpen arbeiten bei bestimmten Lastfällen teilweise gegeneinander. In Folge dessen

0kommt es zu Unterversorgung einzelner Kälteabnehmer. Für den Vollastfall ist eine Einspeisung in den Kälteverbund nicht möglich, da die Energie direkt nach dem Erzeuger eigenverbraucht wird. Für diesen Betriebsfall ist der Zweck des Kälteverbundnetzes fraglich. Weil zukünftig weitere Kälteverbraucher ohne Eigenversorgung angeschlossen werden sollen, ist eine hydraulische Analyse zur Ermittlung der tatsächlichen Volumenstromaufteilung erforderlich. Die Untersuchungen des Bestandsnetzes erfolgen ab den Pufferspeichern vom Netzeinspeisekreis bis zu den Plattenwärmeübertragern des Abnehmers.



Legende: — Kälteverbund
 ■ Kälteerzeuger

Abbildung 2 Übersicht Kälteverbund

1.5 Kälteerzeugung im Kälteverbund

Die Kälteerzeuger befinden sich in den Zentralen der einzelnen Funktionsgebäude:

- Haus 33 (Augenklinik)
- Haus 59 (Chirurgische Klinik)
- Haus 58 (Intensivtherapie)
- Haus 21 (Kinder- und Frauenklinik)
- Haus 27 (DINZ=Diagnostisch-Internistisch-Neurologisch-Zentrum)
- Haus 25 (Kinder und Poliklinik für Psychiatrie)
- Haus 40 (Forschung)
- Haus 130 (OGZ Protonenforschung, noch nicht im Betrieb)

Jedes dieser aufgeführten Gebäude hat eine eigene Kälteerzeugung mit einer oder mehreren Kältemaschinen, siehe Tabelle 1. Die Kälteerzeugerkreise sind durch Pufferspeicher hydraulisch vom Kälteverbundnetz entkoppelt. Auch die Netzentnahme-seite ist gemäß Abbildung 3 über einen Plattenwärmeübertrager hydraulisch vom Kälteverbund getrennt.

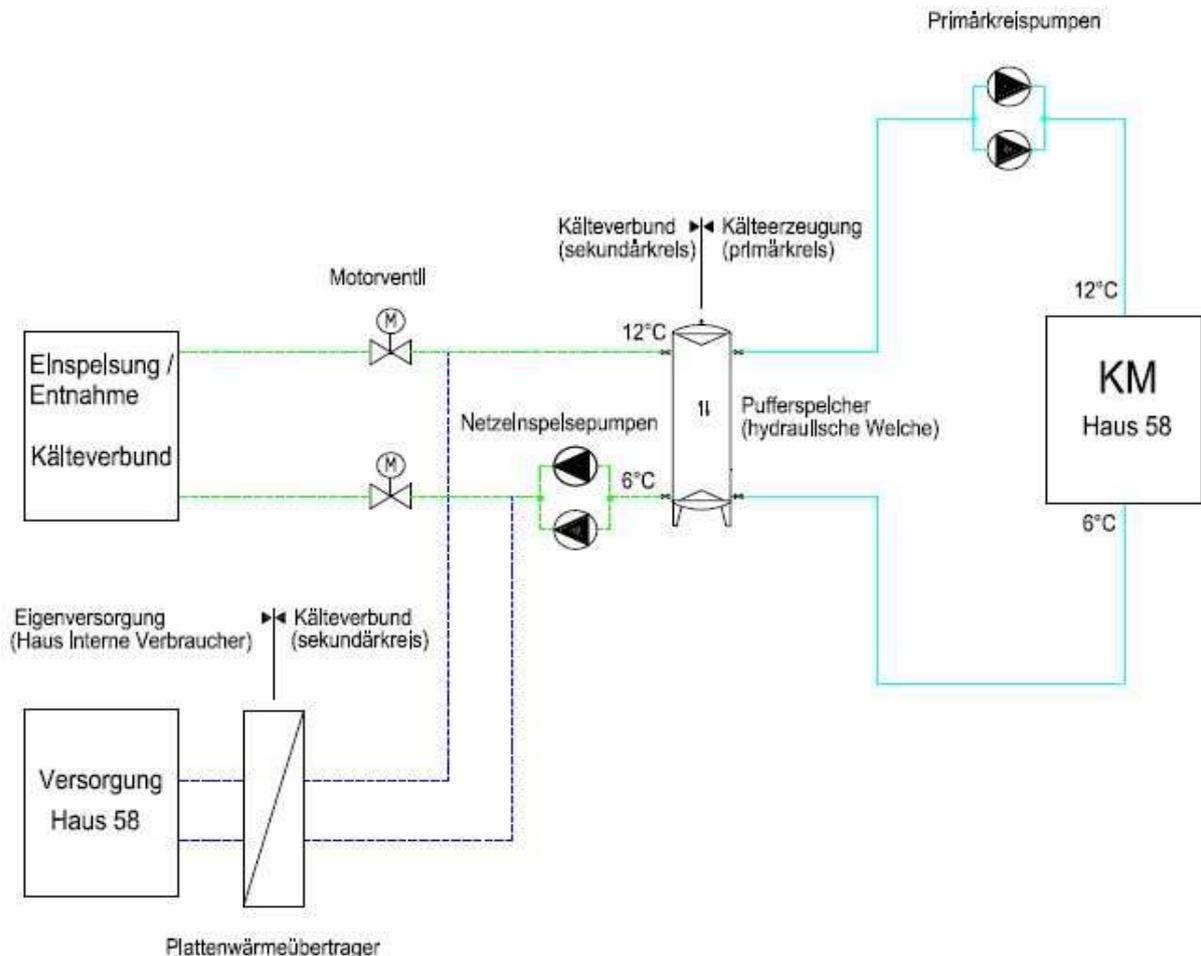


Abbildung 3 Prinzipschaltung Netzeinspeisung/Netzentnahme

Zur Vervollständigung der Bestandsaufnahme wurde ein Übersichtsschema der Kälteerzeugung erstellt, siehe Anhang A1. Auf diesem Übersichtsschema sind alle Kälteerzeuger und Netzentnahme-Plattenwärmeübertrager dargestellt. Desweiteren sind alle hydraulisch relevanten Verbrauchsstellen aufgeführt. Die Kälteerzeugerseite bis zum Pufferspeicher, grau dargestellt, ist bei der hydraulischen Bewertung nicht berücksichtigt. Alle Netzentnahmekreise mit den hydraulischen Druckverlusten sind in blau gekennzeichnet. Der Kaltwasser Vor- bzw. Rücklauf ist grün bzw. orange abgebildet.

1.6 Pufferspeicher

Ziel des Pufferspeichers ist es, die Wirtschaftlichkeit und Betriebssicherheit zu optimieren und zu gewährleisten, lange Ein- und Ausschaltzyklen und damit Lauf- bzw. Stillstandszeiten für den Kaltwassererzeuger sowie die hydraulische Entkopplung von Kälteerzeuger und Kälteverbund zu erreichen. Mittels Düsenrohren und Schichtungsblechen im Pufferspeicher sowie mit einer äußeren Schaumstoffisolierung wird dessen Effizienz erhöht. Die Mindestlaufzeit in einer Speicherladeperiode sollte gemäß den Kälteherstellern mindestens 20 bis 60 Minuten betragen.

Die Größe des Pufferspeichers errechnet sich wie folgt:

$$V_{Pu} = \frac{m}{\rho} = \frac{Q_k \cdot t_{\min}}{c \cdot \Delta\vartheta}$$

Formel 1 Mindestvolumen Pufferspeicher

V_{Pu} = Volumen Pufferspeicher [m^3]

m = Masse [kg]

ρ = Dichte [kg/m^3]

Q_k = Kälteleistung [W]

t_{\min} = Mindestlaufzeit [min]

c = spez. Wärmekapazität Wasser [Wh/kg*K]

$\Delta\vartheta$ = Temperaturdifferenz Vorlauf/Rücklauf [K]

Aus dem Beispiel der Berechnung des Pufferspeichers von Haus 25 ergibt sich:

$$V_{Pu} = \frac{m}{\rho} = \frac{250000 \text{ W} \cdot 0,33 \text{ h} \cdot \text{kg} \cdot \text{K}}{1,163 \text{ Wh} \cdot 6 \text{ K}} = 11823 \text{ kg}$$

$$V_{Pu} = \frac{11823 \text{ kg} \cdot m^3}{999,7 \text{ kg}} = 11,8 \text{ m}^3$$

Eine berechnete Pufferspeichergröße von ca. 12 m^3 ist unter Berücksichtigung der örtlichen Gegebenheiten nicht realisierbar. Das rechnerische große Puffervolumen ergibt sich bei der Kältespeicherung aus der geringen Temperaturspreizung. Der tatsächlich Installierte Pufferspeicher in Haus 25 hat ein Volumen von 1500 Litern. Da-

raus ist ersichtlich, dass dessen Hauptrolle die hydraulische Entkopplung der Kältekreisläufe ist. Die Leistung des Kälteerzeugers von 250 kW kann mit dem Pufferspeichervolumen von 1500 Litern lediglich für 2,51 Minuten gespeichert werden. Dies trifft ebenfalls auf alle im Kälteverbund eingesetzten Pufferspeicher zu.

$$t_{min} = \frac{\rho \cdot V_{Pu} \cdot c \cdot \Delta\vartheta}{Q_k}$$

Formel 2 Nutzungszeit Pufferenergieinhalt

t_{min} = Nutzungszeit Pufferspeicher [min]

ρ = Dichte [kg/m³]

V_{Pu} = Volumen Pufferspeicher [m³]

c = spez. Wärmekapazität Wasser [Wh/kg*K]

$\Delta\vartheta$ = Temperaturdifferenz Vorlauf/Rücklauf [K]

Q_k = Kälteleistung [W]

$$t_{Nutz} = \frac{1,5 \text{ m}^3 \cdot 999,7 \text{ kg} \cdot 1,163 \text{ Wh} \cdot 6 \text{ K}}{\text{m}^3 \cdot \text{kg} \cdot \text{K} \cdot 250000 \text{ W}} = 0,04 \text{ h} \cdot \frac{60 \text{ min}}{\text{h}} = 2,51 \text{ min}$$



Abbildung 4 Pufferspeicher Haus 25

1.7 Volumen des Kälteverbundes

Auf der Grundlage von CAD-Revisionszeichnungen, nicht vollständiger Bestandspläne und der Vorortbestandsaufnahmen bei denen alle Formstücke und Armaturen berücksichtigt wurden, ist das Bestandsnetz mit MH-Software in 3D nachmodelliert und berechnet wurden. Aus diesem Modell wurden der Wasserinhalt sowie der Temperaturverlust des Kälteverbundnetzes bestimmt. Danach beträgt das Wasservolumen des kompletten Verbundnetzes 160,157 m³. Bei einer angenommen mittleren Spreizung von 6 Kelvin wird der Energieinhalt des Kälteverbundes ermittelt.

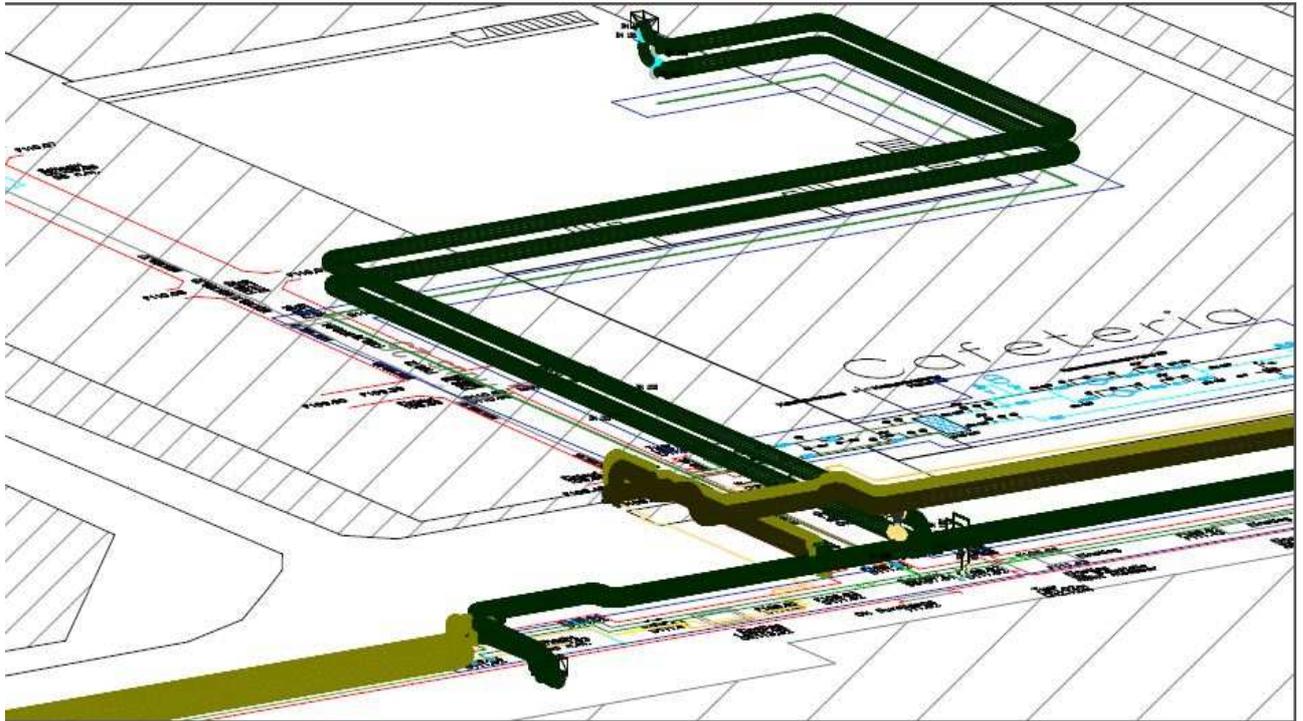


Abbildung 5 Auszug MH-Isometrie Kälteverbund

$$m = \rho * V$$

Formel 3 Masse

m = Masse [kg]

ρ = Dichte [kg/m³]

V = Volumen [m³]

$$m = 999,7 \frac{kg}{m^3} * 160,157 m^3 = 160108,95 kg$$

$$Q = m * c * \Delta\vartheta$$

Formel 4 Kältemenge

Q = Kältemenge [kWh]

m = Masse [kg]

c = spez. Wärmekapazität [Wh/kg*K]

$\Delta\vartheta$ = Temperaturdifferenz VL/RL [K]

$$Q = 160108,95 kg * 1,163 \frac{Wh}{kg * K} * 6 K = 1117,24 kWh$$

Der Energieinhalt des Kälteverbundes beträgt 1117 kWh. Dabei wirkt der Wasserinhalt des Kälteverbundsystems mit 160 m³ als eigentlicher Pufferspeicher. Der relativ große Energieinhalt des Netzes sorgt für eine stabileres Ein- und Ausschaltverhalten der Kälteerzeuger. Durch die zusätzliche Einbindung von Großkältespeichern kann eine weitere Optimierung der Kälteaggregate erzielt werden. Die Kältemaschinen können über längere Zeitabschnitte mit bestem Wirkungsgrad betrieben werden.

1.8 Leistungs- und Temperaturverluste des Kälteverbundes

Das gesamte Rohrleitungssystem des Kälteverbundes besitzt eine Schaumstoffisolierung mit einer mittleren Dämmschichtstärke von 22 mm. Die Rohrbefestigung ist mit speziellen Kälterohrschellen ausgeführt. Zu ungefähr 80 % verläuft der Kälteverbund in unterirdischen und unbeheizten Kollektorgängen. Zusätzlich ist eine Blechummantelung angebracht. Die mittlere Temperatur im Kollektorgang beträgt Sommer wie Winter zirka 20 °C. Etwa 2% des Kälteverbundes verlaufen erdverlegt. Die restlichen 18 % des Rohrnetzes befinden sich in den Kältezentralen. Hier herrscht im Jahresmittel eine Temperatur um die 24 °C, und nur die stoßgefährdeten Bereiche sind mit Blech ummantelt. Die Wärmeverlustberechnung mit MH-Software ergab bei dem 2,4 km langen Rohrnetz einen Wärmeverlust von zirka 25 kW. Der vernachlässigbare geringe Netzverlust und die kaum veränderte Medientemperaturen beruhen auf den unwesentlichen Temperaturdifferenzen zwischen Vorlauf- und Rücklauf-temperatur sowie zwischen Medium und der Umgebung. Es ergibt sich ein mittlerer Wärmeverlust von 5,2 W/m.

$$Q_{mit} = \frac{Q_V}{l_{Netz}}$$

$$Q_{mit} = \frac{25000 \text{ W}}{4800 \text{ m}} = 5,2 \frac{\text{W}}{\text{m}}$$

Formel 5 mittlerer Wärmeverlust

Q_{mit} = mittlerer Wärmeverlust [W/m]

Q_V = Wärmeverlust [W]

l_{Netz} = Länge Kälteverbund (VL+RL) [m]



Abbildung 6 Dämmung Kollektorgang



Abbildung 7 Dämmung Kältezentrale

1.9 Druckhaltung

In der Anlage im Haus 59 befindet sich eine zentrale Druckhaltung für den Kälteverbund. Die Hauptaufgabe der Druckhaltung ist es den Anlagendruck konstant zu halten und das Ausdehnungsvolumen des Kälteverbundnetzes zum kompensieren. Bei Überschreitung des eingestellten Druckes von 2,4 bar öffnet das Überströmventil und lässt Luft aus dem Ausdehnungsgefäß ab. Durch den Druckabfall auf der Luftseite strömt Wasser in das Ausdehnungsgefäß. Folglich fällt der Systemdruck. Bei Unterschreitung des eingestellten Druckes von 2,1 bar schaltet sich der Kompressor ein und fördert Luft in das Ausdehnungsgefäß. Dadurch wird das Wasser in das System verdrängt, der Wasserspiegel im Gefäß fällt und der Druck im System steigt. Das Nennvolumen des Druckhaltegefäßes beträgt 1500 Liter. Außerdem hat die zentrale Druckhaltung im UKD eine integrierte automatische Nachspeisung, die bei Leitungsverlusten des Umlaufwassers automatisch nachspeist. Das Nachfüllwasser muss der Qualität nach VDI 2035 entsprechen. Deshalb ist eine vorgeschaltete Wasseraufbereitungsanlage notwendig. Zur Gewährleistung des Sauerstoffkorrosionsschutzes ist eine Vakuumentgasungsanlage installiert. Die Funktionsweise ist Anhand der Abbildung 9 schematisch dargestellt.

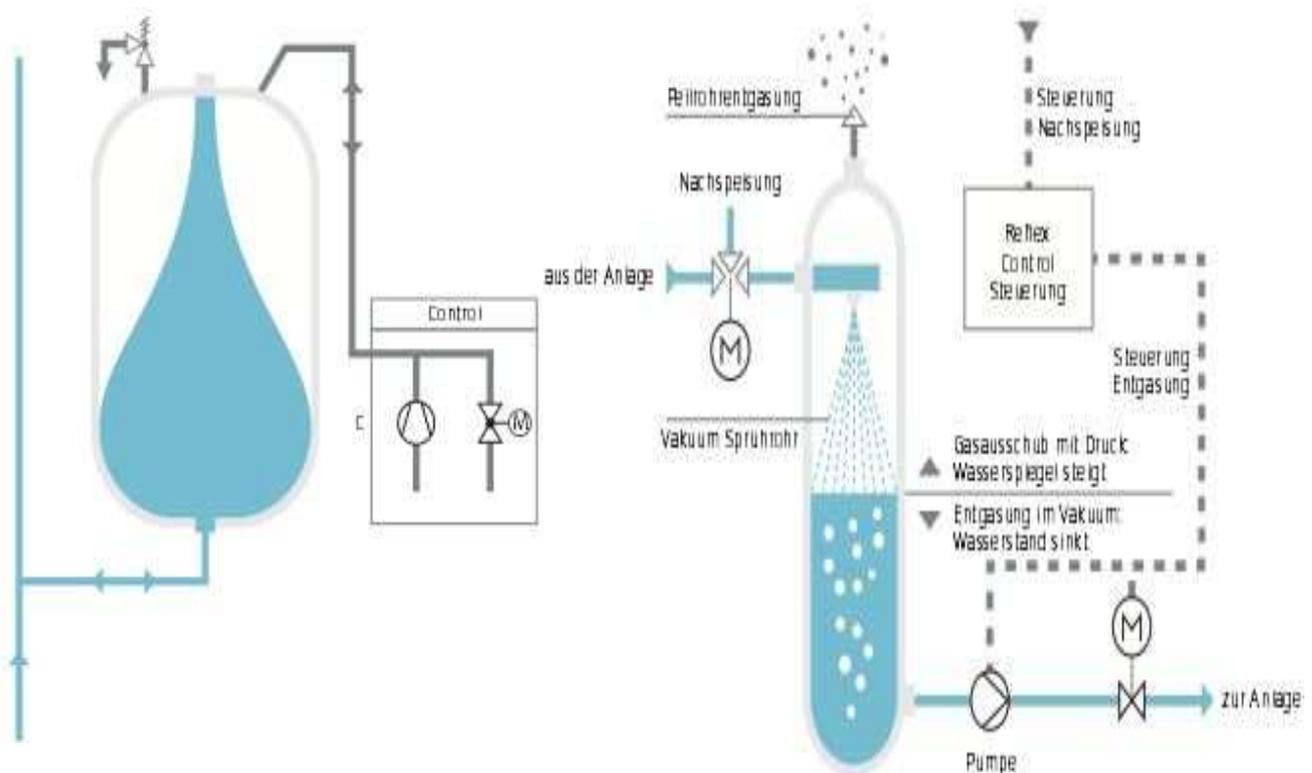


Abbildung 8 Kompressordruckhaltung² Abbildung 9 Vakuumentgasungsanlage³

² <http://www.reflex.de;21.03.2012>

³ <http://www.reflex.de;21.03.2012>



Abbildung 10 Zentrale Druckhaltung Kälteverbund

1. 10 Messtechnik

Zur technischen Sichtprüfung der Anlagen sind an allen erforderlichen Positionen im Kälteverbund Bimetall-Thermometer und Rohrfedermanometer installiert. Mit Hilfe der ablesbaren Medienparameter kann das technische Personal des Uniklinikums Vorort eine erste Systemanalyse durchführen.



Abbildung 11 Rohrfeder-Manometer⁴



Abbildung 12 Bimetall-Thermometer

⁴ <http://de-de.wika.de>

1.11 Allgemeines Regelkonzept des Verbundsystems

Die Infrastruktur des Kälteverbundes im Uniklinikum Dresden mit den Kälteerzeugern und Kälteverbrauchern wurde übergreifend im Gesamtsystem der Gebäudeautomation so verknüpft, dass eine direkte Kommunikation der zugeordneten Automations-ebene im BAC-Netz möglich ist. Dadurch wird ein automatischer Betrieb für die Kälteerzeugeranlagen und die Netzeinspeisung über eine veränderbare Erzeugerpriorität realisiert. Der Automatikbetrieb umfasst:

- Freigabe von Kälteerzeugern nach Kriterien des Bedarfs und der Anlageneffizienz
- Schlechtpunktregelung nach Differenzdruck auf der Entnahmeseite durch automatische Drehzahlanpassung der Netzeinspeisepumpen
- Automatisierung der Redundanzschaltung bei Anlagenausfällen

1.12 Erzeugerprioritäten

Ziel der Erzeugerprioritäten ist es, immer nur so viele Kälteerzeuger zu betreiben, die erforderlich sind um den Betrieb mit höchstmöglicher Energieeffizienz sicherzustellen. Energetisch betrachtet sind Absorptionskältemaschinen die effizientesten Anlagen. Jedoch sind die Kälteleistungen der Absorber zu gering um die Grundlast zu decken. Außerdem führt der abgelaufene Sonderwärmetarif der DREWAG zur Minderung der Wirtschaftlichkeit, deshalb nur Priorität 3.

Erzeugerstandort	Erzeugerart	zugeordnete Verbraucher	Prioritäten Zuordnung
Haus 40	Turbokälte mit Wasserrückkühlung	Haus 40 Haus 65/66	1
Haus 25	Turbokälte mit Wasserrückkühlung	Haus 25 RZ	1
Haus 27	Turbokälte mit Wasserrückkühlung	Haus 27 Allgemein Haus 27 MRT Haus 27 RZ Haus 19 Haus 21 MRT Haus 58 Haus 30 Haus 20	1
Haus 21	Absorptionskältemaschine	Haus 21 Allgemein Haus 21 Bistro	3
Haus 58	Hubkolbenverdichter	Haus 58	2
Haus 59	Turbokälte mit Wasserrückkühlung	Haus 59	1
Haus 33	Absorptionskältemaschine	Haus 33	3

Tabelle 1 Prioritätenliste

Die Kälteerzeugungsanlagen im Verbundsystem werden derzeit in drei Prioritäten unterteilt. Priorität 1 steht für sehr effiziente Anlagen, die die Grundlast abdecken. Die Priorität 2 umfasst die Kälteerzeuger, die ab einer Außentemperatur größer 25°C zur Grundlast zugeschalteten werden. In der Priorität 3 wird mit weniger energieeffizienten Anlagen die Spitzenlast abgedeckt. Entsprechend den drei Prioritätsstufen sind den zugeschalteten Kälteerzeugern definierte Verbraucher zugeordnet. Wenn die maximal mögliche Erzeugerleistung nicht mehr ausreicht um die im Betrieb befindlichen Kälteverbraucher zu versorgen, werden wiederum die Verbraucher mit den niedrigsten Prioritäten abgeschaltet.

1.13 Schlechtpunktregelung

Das Kälteverbundsystem wird über eine Schlechtpunktregelung mit dynamischer Schlechtpunktermittlung geregelt. Damit wird ein Volumenstromabgleich auf Erzeuger- und Verbraucherseite gewährleistet.

Gebäude	max. Leistung am WÜ [kW]	max. Volumenstrom [m³/h]	dp Soll [bar]
Haus 40	200	28,6	0,5
Haus 65/66	500	71,4	0,5
Haus 27	1.600	229,3	0,5
Haus 27 MRT	91	13,3	0,5
Haus 27 RZ	96	13,8	0,5
Haus 25 MRZ	300	43,0	0,5
Haus 25	100	15,0	0,5
Haus 21	500	71,2	0,5
Haus 21 Bistro	120	17,2	0,5
Haus 21 MRT	60	8,6	0,5
Haus 19	560	80,3	0,5
Haus 58	1.060	151,9	0,5
Haus 30	100	14,8	0,5
Haus 59	750	107,5	0,5
Haus 20 PACS	76	10,9	0,5
Haus 33	240	34,4	0,5

Tabelle 2 Übersicht Schlechtpunkte

Über Differenzdruckfühler an der Netzentnahmegruppe (Wärmeübertrager) wird ständig der Druckverlust gemessen und an den Sollwert angeglichen. In der Regelung ist eine Schlechtpunktabelle hinterlegt, aus der für jeden Verbraucherkreis die Voreinstellung des Sollwertes für den Differenzdruck des Schlechtpunktes entnommen wird. Eine Veränderung des Sollwertes kann für jeden Verbraucherkreis separat über die Leitzentrale vorgenommen werden. In zyklischen Abständen wird in der Leitzentrale aus der Schlechtpunktabelle eine Minimalauswahl der Differenzen von Soll- und Ist-Druck getroffen. Das Ziel dieser Funktion soll das exakte Erreichen des Sollwertes am jeweiligen Netzschlechtpunkt sein.

Bei Druckunterschreitung am Schlechtpunkt wird die Pumpendrehzahl der Netzeinspeisepumpen des zugehörigen Kälteerzeugers erhöht, bei Drucküberschreitung wird die Motordrehzahl der Pumpe gedrosselt. Dabei ist auf eine ausreichende Dämpfung zu achten, weil sich die Drehzahländerung auch auf die anderen Netzeinspeisepumpen auswirkt. Der Schlechtpunkt-Sollwert von 0,5 bar wird bei jedem Betriebszustand mit Motorstellventilen und Strangreguliertventilen im Netzentnahmekreis gleich gehalten.

Beispielanlagen der Kältemaschinen im UKD:



Abbildung 13 Turboverdichter Haus 40



Abbildung 14 Hubkolbenverdichter Haus 25



Abbildung 15 Absorber Haus 34

Aufgrund des beträchtlichen Umfanges wird nicht näher auf die Grundlagen der Kälteerzeugung eingegangen. Hauptaufgabe dieser Arbeit ist die die hydraulische Beurteilung und Optimierung.

2. Theoretische Grundlagen

Im Folgenden werden die theoretischen Grundlagen der Strömungstechnik und Pumpentechnik behandelt, um eine exakte hydraulische Bewertung des Kälteverbundsystems durchzuführen. Zugleich dienen die grundlegenden Gesetzmäßigkeiten der Hydraulik für eine Bestandsberechnung und somit als Basis für neue optimierte hydraulische Lösungen im Kälteverbundsystem.

2.1 Strömungstechnik

2.1.1 Allgemeines

Die Strömungslehre befasst sich mit den Gesetzmäßigkeiten strömender Flüssigkeiten. Die nachfolgenden theoretischen Grundlagen der Strömungslehre dienen zum Verständnis der hydraulischen Berechnung von Kälterohrnetzen.

2.1.2 Grundbegriffe der Strömungstechnik

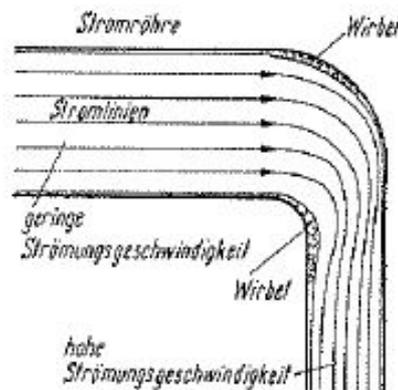


Abbildung 16 Stromlinienbild⁵
der nebeneinander vorhandenen Geschwindigkeitsschichtung

Stationäre Strömung:

Die Geschwindigkeit bleibt an einem bestimmten Ort zeitlich konstant, System mit konstanter Fördermenge.

Instationäre Strömung:

Die Geschwindigkeit bleibt an einem bestimmten Ort nicht konstant, System mit variabler Fördermenge.

⁵ Wolfgang Kalide, Einführung in die Technische Strömungslehre, 7.Auflage

2.1.3 Strömung ohne Reibung

Zur vereinfachten Darstellung der Bewegungsvorgänge hat man den Begriff der „idealen Flüssigkeiten“ eingeführt. Ideale Flüssigkeiten werden inkompressibel und reibungsfrei betrachtet. Unter Flüssigkeiten versteht man im weiteren Sinne auch Luft und andere Gase, wobei die durch Druckunterschiede hervorgerufenen Dichteänderungen vernachlässigt werden. Eine ideale Flüssigkeit bewegt sich danach ohne Reibungsverluste und widerstandsfrei durch eine Rohrleitung. In der Strömung befindliche Körper werden ebenso widerstandsfrei umflossen. Mathematisch ist die Strömung idealer Flüssigkeiten auch dadurch gekennzeichnet, dass die einzelnen unendlich kleinen Fluidteilchen in der Strömung zwar durch Zusammenstoßen verformt werden, aber durch die fehlende innere Reibung nicht um ihre eigene Achse gedreht werden können. Man nennt diese Strömungen auch reibungs- und dehnungsfrei oder Potenzialströmung.

2.1.4 Kontinuitätsgleichung

Nach dem Satz der Erhaltung der Masse ist bei konstanter Dichte eines Fluides auch sein Volumen an jeder Querschnittsfläche gleich.

$$A_1 \cdot \omega_1 = A_2 \cdot \omega_2$$

Formel 6 Kontinuitätsgleichung

A_1 = Querschnitt an Stelle 1 [m²]

A_2 = Querschnitt an Stelle 2 [m²]

ω_1 = Strömungsgeschwindigkeit 1 [m/s]

ω_2 = Strömungsgeschwindigkeit 2 [m/s]

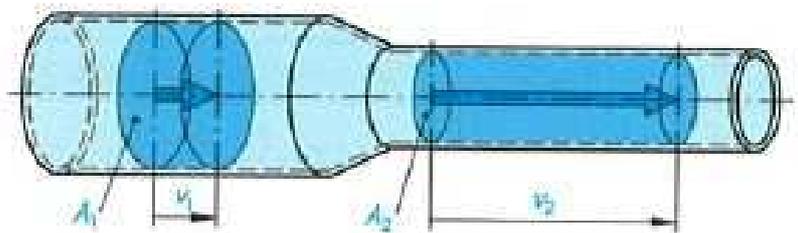


Abbildung 17 Kontinuitätsgesetz⁶

2.1.5 Gesetz von Bernoulli

Der statische oder hydrostatische Druck p_{st} ist die Gewichtskraft einer Flüssigkeitssäule, die auf eine darunterliegende Fläche wirkt. Der statische Druck ist auch der

⁶ Tabellenbuch Ihle-Bader-Golla Sanitär-Heizung-Klima/Lüftung 5.Auflage

Druck, den ein parallel zu einer Rohrleitungswand strömendes Fluid auf die Wand ausübt. Der dynamische oder auch hydrodynamische Druck p_d ist dagegen der von einem bewegtem Fluid hervorgerufene Druck, wenn es z.B. gegen ein Hindernis strömt und dort seine Bewegungsenergie dagegen drückt. Der dynamische Druck wird auch Stau- oder Geschwindigkeitsdruck genannt. Der Gesamtdruck p_{ges} in einer waagerechten Rohrleitung ist die Summe aus statischen und dynamischen Druck. Bei Höhendifferenzen in der Rohrleitung kommt noch die Gewichtskraft des Fluides, der Höhendifferenzdruck p_h hinzu. Die Gleichung nach Bernoulli drückt aus, dass bei stationärer, reibungsfreier Strömung die Gesamtenergie einer Strömung unabhängig vom Querschnitt an allen Punkten gleich groß ist:

$$p_{st} + p_d + p_h = \text{konst.}$$

Formel 7 Bernoullischer Satz

p_{st} = statischer Druck [Pa]

p_d = dynamischer Druck [Pa]

p_h = Höhendifferenzdruck [Pa]

Der dynamische Druck berechnet sich aus:

$$p_d = \rho * \frac{\omega^2}{2}$$

Formel 8 dynamischer Druck

p_d = dynamischer Druck [Pa]

ρ = Dichte des Mediums [kg/m³]

ω = Strömungsgeschwindigkeit [m/s]

Die Höhendruckdifferenz berechnet sich wie folgt:

$$p_h = \rho * g * H$$

Formel 9 Höhendruckdifferenz

p_h = Höhendifferenzdruck [Pa]

ρ = Dichte des Mediums [kg/m³]

g = Fallbeschleunigung [m/s²]

H = geodätische Höhe [m]

Die Bernoullische Gleichung als Druckgleichung:

$$p = p_{st} + \rho * \frac{\omega^2}{2} + \rho * g * H = \text{konst.}$$

Formel 10 Druckgleichung Bernoulli

p = Totaldruck [Pa]

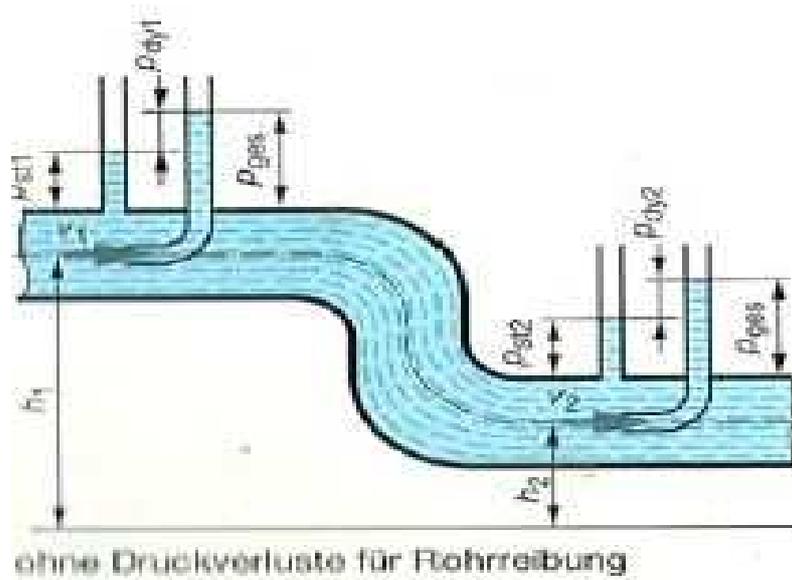
p_{st} = statischer Druck [Pa]

ρ = Dichte des Mediums [kg/m³]

ω = Strömungsgeschwindigkeit [m/s]

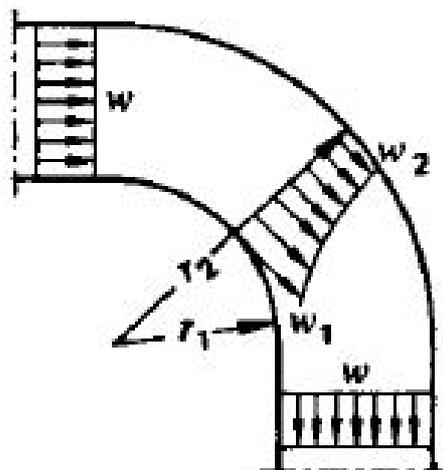
g = Fallbeschleunigung [m/s²]

H = geodätische Höhe [m]

Abbildung 18 Gesetz von Bernoulli⁷

2.1.6 Kreisströmung

Bewegt sich ein Fluid im Kreis, so wird durch die Zentrifugalkraft nach außen ein steigender Druck erzeugt. Aufgrund dieser Druckverteilung nimmt nach dem Gesetz von Bernoulli die Strömungsgeschwindigkeit nach außen hin ab. Dagegen wird ganz Innen im Kreisradius die Strömungsgeschwindigkeit theoretisch unendlich groß.

Abbildung 19 Geschwindigkeitsverteilung bei Kreisströmung⁸

⁷ Tabellenbuch Anlagenmechanik für Sanitär-, Heizungs- und Klimatechnik, 2007

⁸ Hermann Recknagel/Eberhard Sprenger/Ernst-Rudolf Schramek 76. Auflage 2012

2.1.7 Reale Strömung

Bei der realen Flüssigkeit tritt im Gegensatz zum idealen Fluid eine innere Reibung auf. Bei der inneren Reibung findet eine Umwandlung von mechanischer Energie in Wärmeenergie und einem geringen Anteil an Schall statt. Der Gesamtdruck nimmt demzufolge entlang des Strömungsweges fortwährend ab. Wenn sich die Fluidteilchen an der Rohrwand entlang bewegen, wird ein Druckverlust durch den Rohrreibungswiderstand erzeugt. Der durch den Rohrreibungswiderstand hervorgerufene Druckverlust ist nur auf den dynamischen Druck zu beziehen. Der Gesamtdruckverlust wird wie folgt aus den Teilen Reibung und Summe der Einzelwiderstände zusammengesetzt:

$$\Delta p = R \cdot l = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \rho \cdot \frac{\omega^2}{2}$$

Formel 11 Druckverlust im geraden Rohr

Δp = Druckverlust [Pa]

R = Druckabfall [Pa/m]

λ = Rohrreibungszahl

l = Länge der Rohrleitung [m]

d = Durchmesser der Rohrleitung [m]

ρ = Dichte des Mediums [kg/m³]

ω = Strömungsgeschwindigkeit [m/s]

$$R = \lambda \cdot \frac{1}{d} \cdot \rho \cdot \frac{\omega^2}{2}$$

Formel 12 Druckabfall Pascal pro Meter

R = Druckabfall [Pa]

λ = Rohrreibungszahl

d = Durchmesser der Rohrleitung [m]

ρ = Dichte des Mediums [kg/m³]

ω = Strömungsgeschwindigkeit [m/s]

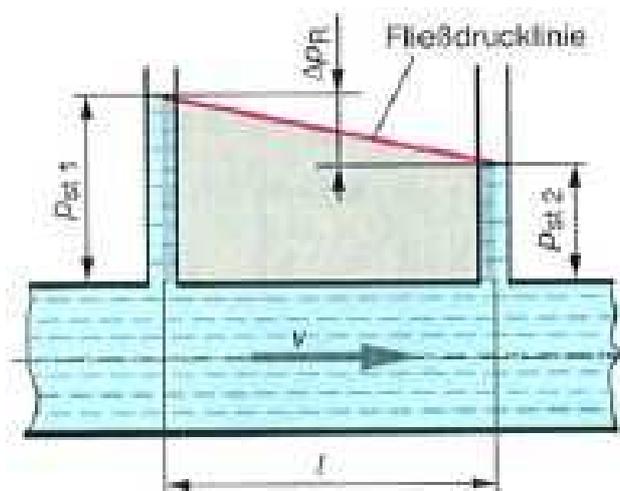


Abbildung 20 Druckverlust in geraden Rohrstrecken⁹

⁹ Tabellenbuch Anlagenmechanik für Sanitär-, Heizungs- und Klimatechnik, 2007

2.1.8 Viskosität

Reale Flüssigkeiten strömen wegen ihrer inneren Reibung nicht verlustlos. Viskosität ist die Zähflüssigkeit eines Fluides. Der gegenseitigen laminaren Verschiebung zweier aufeinanderliegender Flüssigkeitsschichten wird eine innere Reibung entgegengesetzt. Die Viskosität ist druck- und temperaturabhängig. Man unterscheidet die dynamische Viskosität und die kinematische Viskosität.

Die kinematische Viskosität berechnet sich aus:

$$v = \frac{\eta}{\rho}$$

Formel 13 kinematische Viskosität

v = kinematische Viskosität [m^2/s]

η = dynamische Viskosität [$\text{kg}/\text{m}\cdot\text{s}$]

ρ = Dichte des Mediums [kg/m^3]

Wasser			
Temperatur [°C]	dyn. Viskosität η_w [Pa·s]	kinem. Viskosität ¹ ν_w [m^2/s]	Dichte (bei 1 bar) ρ_w [kg/m^3]
0	$1,7887 \cdot 10^{-3}$	$1,7890 \cdot 10^{-6}$	999,841
10	$1,3061 \cdot 10^{-3}$	$1,3065 \cdot 10^{-6}$	999,700
20	$1,0046 \cdot 10^{-3}$	$1,0064 \cdot 10^{-6}$	998,203
30	$0,8019 \cdot 10^{-3}$	$0,8054 \cdot 10^{-6}$	995,646
Luft			
Temperatur [°C]	dyn. Viskosität η_a [Pa·s]	kinem. Viskosität ¹ ν_a [m^2/s]	Dichte (bei 1 bar) ρ_a [kg/m^3]
0	$17,10 \cdot 10^{-7}$	$13,33 \cdot 10^{-6}$	1,293
10	$17,60 \cdot 10^{-7}$	$14,11 \cdot 10^{-6}$	1,247
20	$18,09 \cdot 10^{-7}$	$15,01 \cdot 10^{-6}$	1,205
30	$18,57 \cdot 10^{-7}$	$15,94 \cdot 10^{-6}$	1,165
Wasser/Luft			
Temperatur [°C]	η_w/η_a [-]	ν_w/ν_a [-]	ρ_w/ρ_a [-]
0	104,6	0,134	773,27
10	74,2	0,093	801,68
20	55,5	0,067	828,38
30	43,2	0,051	854,63

$$^1 v = \eta/\rho$$

Tabelle 3 Viskositäten¹⁰

¹⁰ http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/10038/tab2_11.gif; 11.02.2013

2.1.9 Strömungsarten

Laminare oder geschichtete Strömung ist die Bewegung eines Fluides. Bei dieser Strömungsart gleiten die Flüssigkeitsschichten aufeinander ohne sich miteinander vermischen. Es entstehen keine sichtbaren Turbulenzen.

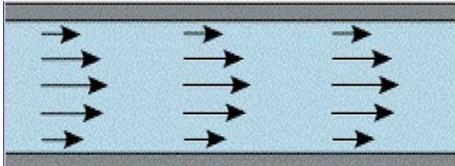


Abbildung 21 Laminare Strömung¹¹

Turbulente oder ungeordnete Strömung ist eine unregelmäßige verlaufende Strömung mit Wirbelbildung. In der turbulenten Phase ist die Strömung räumlich und zeitlich verwirbelt.

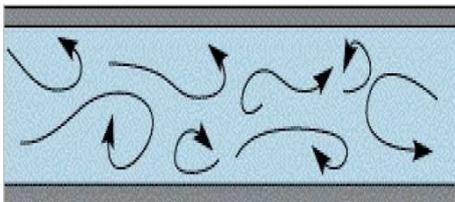


Abbildung 22 Turbulente Strömung¹²

Der Strömungszustand, laminar oder turbulent, wird durch die dimensionslose Reynoldszahl gekennzeichnet:

$$\text{Re} = \frac{\omega \cdot d}{\nu} = \frac{\omega \cdot d \cdot \rho}{\eta}$$

Formel 14 Reynoldszahl

Re = Reynoldszahl

ω = Strömungsgeschwindigkeit [m/s]

d = Durchmesser der Rohrleitung [m]

ν = kinematische Viskosität [m²/s]

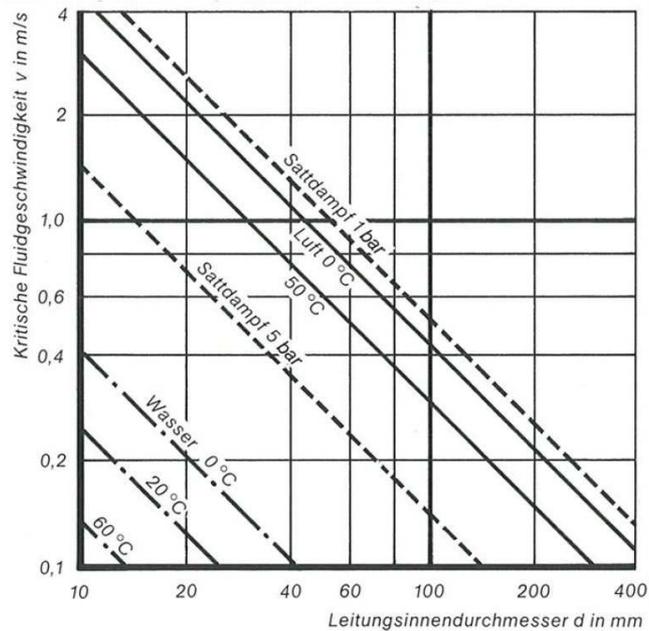
η = dynamische Viskosität [kg/m*s]

ρ = Dichte des Mediums [kg/m³]

Der Umschlagpunkt von laminarer zu turbulenter Strömung liegt bei $\text{Re} = 2320$. Das aufgeführte Diagramm zeigt die kritischen Geschwindigkeiten verschiedener Medien in Abhängigkeit vom Rohrrinnendurchmesser. An diesen Grenzkurven findet der Umschlag von laminarer in turbulenter Strömung statt.

¹¹ <http://homepages.uni-paderborn.de/wgs/Dlehre/Stroemung.pdf>; 11.02.2013

¹² <http://homepages.uni-paderborn.de/wgs/Dlehre/Stroemung.pdf>; 11.02.2013

Abbildung 23 kritische Geschwindigkeiten¹³

2.1.10 Strömungsablösung

Reale Strömungen bilden an der Rohrwand eine langsame Grenzschicht aus, die laminar oder turbulent sein kann. Eine dünne Randschicht bleibt stets laminar. In Richtung der Rohrachse wird die Geschwindigkeit gemäß dem Geschwindigkeitsprofil der realen Strömung größer. Bei un stetig begrenzten Rohrleitungen, besonders an Kanten, plötzlichen Erweiterungen oder hinter umströmten Körpern, löst sich die Strömung realer Fluide von der Rohrwand ab. Zwischen der Rohrwand und der fließenden Strömung bilden sich sogenannte „Toträume“. Diese Räume sind mit verwirbelter Flüssigkeit ausgefüllt. Diese Verwirbelung vernichtet Energie, die dem strömenden Fluid entzogen wird.

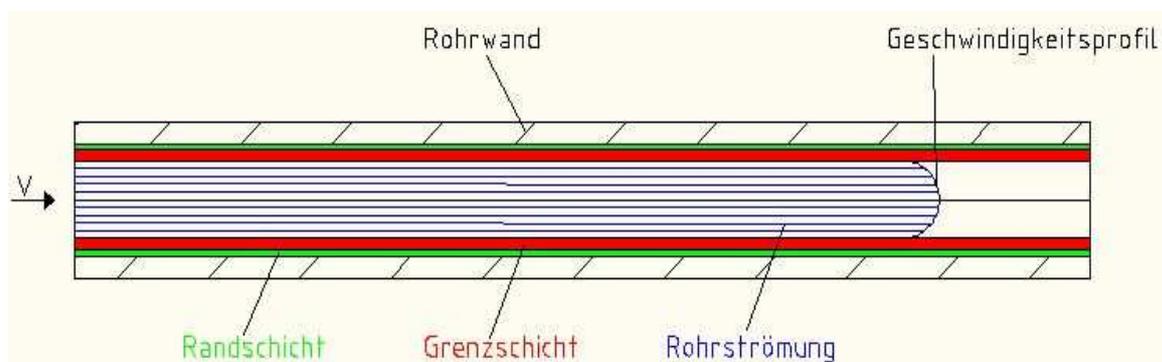


Abbildung 24 Grenzschichtausbildung

¹³ Handbuch für Heizungstechnik, 33. Auflage 1994

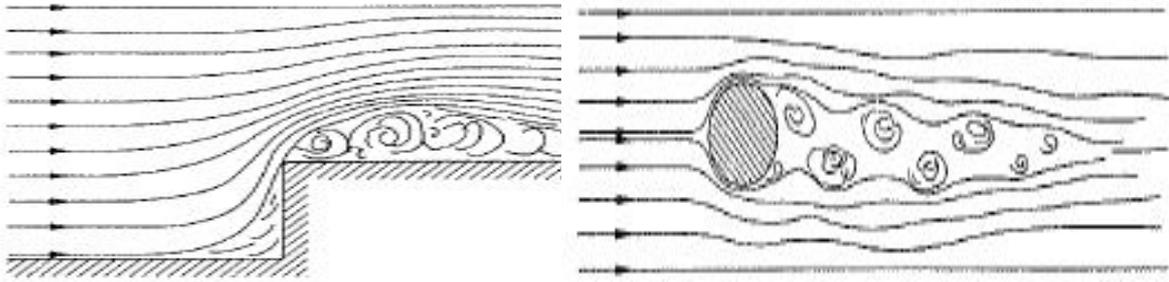


Abbildung 25 Ablösung an der Kante¹⁴ Abbildung 26 Ablösung hinter Hindernis¹⁵

2.1.11 Rohrreibungszahl λ

Zunächst durch experimentelle Untersuchungen und später durch mathematische Untersetzung durch Prandtl und anderen Strömungsforschern wurde die Abhängigkeit der Rohrreibungszahl λ von der Reynoldszahl Re und der Rauigkeit k ermittelt.

Strömungszustand	Ermittlung der Rohrreibungszahl λ	Formelentwickler
$Re < 2320$ (laminar)	$\lambda = \frac{64}{Re}$	Hagen-Poiseulle
$Re > 2320$ (turbulent) hydraulisches glattes Rohr	$\lambda = \frac{0,3164}{Re^{0,25}}$	nach Blasius
Übergangsbereich	$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log_{10} \left(\frac{251}{Re \sqrt{\lambda}} + \frac{k}{371 * d} \right)$	nach Colebrook
hydraulisch rauher Rohr	$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \lg \frac{3,71 * d}{k}$	nach Nikuradse
Grenze zwischen Übergangs und rauhem Bereich	$Re * \sqrt{k} * \frac{k}{d} = 200$	nach Mbody

Tabelle 4 Übersicht Ermittlung Rohrreibungszahl

Die Rauheit k von Rohrwandungen kann man aus entsprechenden Tabellen entnehmen. Die absolute Rauigkeit k ist der Mittelwert der Rauheitserhebungen an der Rohrwand.

¹⁴ Wolfgang Kalide, Einführung in die Technische Strömungslehre, 7. Auflage

¹⁵ Wolfgang Kalide, Einführung in die Technische Strömungslehre, 7. Auflage

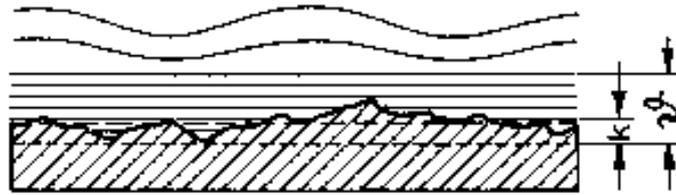


Abbildung 27 Unebenheiten an der Rohrwand¹⁶

Rohrart	Rauigkeit ϵ in mm
Gezogene Rohre (Messing u. a.)	0,0015
PVC- und PE-Rohre	0,007
Asbest-Zement-Rohre (neu)	0,05...0,1
Handelsübliche Stahlrohre	0,045
Verzinkte Stahlrohre	0,15
Stahlrohre, angerostet	0,15...1,0
Stahlrohre, stark verrostet	1,0...3,0
Gußeiserne Rohre	0,4...0,6
Gußeiserne Rohre, asphaltiert	0,125
Blechkanäle, gefalzt	0,15
Flexible Schläuche	0,6...0,8, teilweise auch höher bis 2,0
Rabitz, glatt	1,5
Gemauerte Kanäle	3,0...5,0
Holzkanäle	0,2...1,0
Betonkanäle, roh	1,0...3,0

Abbildung 28 Rauheitstabelle¹⁷

Zur Veranschaulichung ist das Moody-Diagramm optimal geeignet.

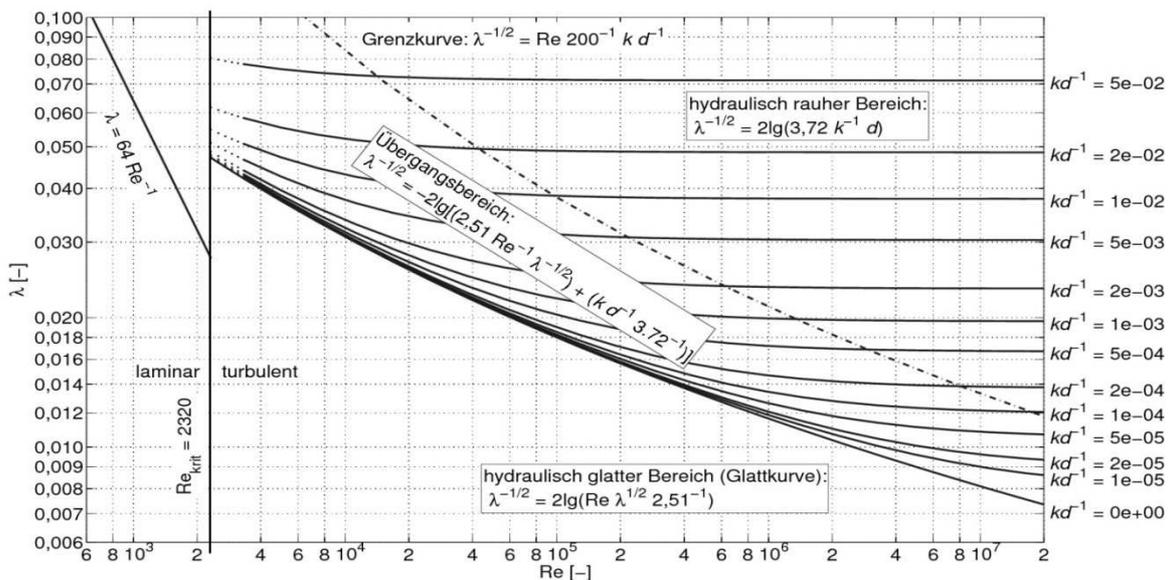


Abbildung 29 Moody-Diagramm¹⁸

¹⁶ <http://www.ikz.de/1996-2005/1997/05/bilde;15.02.2013>

¹⁷ Hermann Recknagel/Eberhard Sprenger/Ernst-Rudolf Schramek 76. Auflage 2012

¹⁸ http://www.fhluebeck.de/Inhalt/02_Studierende/FB_Bauwesen/03/Wasserbaulabor./jpg;12.02.2013

2.1.12 Hydraulischer (gleichwertiger) Durchmesser

Die Diagramme und Gleichungen beziehen sich auf Leitungen mit einem kreisförmigen Querschnitt. Bei Leitungsanlagen mit abweichenden Querschnitten ist eine einfache rechnerische Näherung über den hydraulisch gleichwertigen Durchmesser möglich.

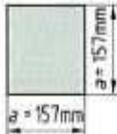
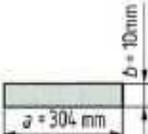
21.5 Hydraulischer Durchmesser (gleichwertiger Durchmesser) DIN 1304-5				
für beliebige Querschnittsform	$d_0 = \frac{4 \cdot A}{U}$			
für Rechteckform	$d_0 = \frac{2 \cdot a \cdot b}{a + b}$			
d_0 gleichwertiger Durchmesser in mm oder m		$U = 628 \text{ mm}$	$U = 628 \text{ mm}$	$U = 628 \text{ mm}$
A Querschnittsfläche in mm^2 oder m^2		$A = 31416 \text{ mm}^2$	$A = 24649 \text{ mm}^2$	$A = 3040 \text{ mm}^2$
U benetzter Umfang der Leitung in mm oder m		$d_0 = 200 \text{ mm}$	$d_0 = 157 \text{ mm}$	$d_0 = 19,4 \text{ mm}$
$a; b$ Kanalabmessungen in mm oder m				

Abbildung 30 Hydraulischer Durchmesser¹⁹

2.1.13 Einzelwiderstände

Neben dem Druckverlust im geraden Rohr endstehen weitere Verluste durch Formstücke, Querschnittsänderungen, Armaturen usw.

Die Energieverluste bestimmen die Hersteller der Einbauteile durch Versuche an den Produkten. Der von den Herstellern ermittelte Widerstandsbeiwert ζ dient der Druckverlustberechnung der Einbauten im speziellen Anwendungsfall je nach Dichte und Geschwindigkeit des strömenden Mediums.

$$\Delta p_z = Z = \sum \zeta \cdot \frac{\rho}{2} \cdot \omega^2$$

Formel 15 Druckverlust durch Einzelwiderstände

$\Delta p_z = Z$ = Druckverlust durch Einzelwiderstände [Pa]

ζ = Widerstandsbeiwert [dimensionslos]

ρ = Dichte des Mediums [kg/m^3]

ω = Strömungsgeschwindigkeit [m/s]

Für Berechnung von herstellerunabhängigen Anlagen können auch allgemeine ζ -Werte angewendet werden.

¹⁹ Tabellenbuch Ihle-Bader-Golla Sanitär-Heizung-Klima/Lüftung 5.Auflage

Abzweig Trennung		Durchgang bei Stromtrennung		Abzweig Vereinigung		Durchgang Vereinigung		
$\zeta_{AT} = 1,5$		$\zeta_{AD} = 0$		$\zeta_{AV} = 1,0$		$\zeta_{DV} = 0,5$		
		Gegenlauf Trennung				Gegenlauf Vereinigung		
		$\zeta_{GA} = 3,0$				$\zeta_{GV} = 3,0$		
		Bogen $r/d = 1$				Ausbiegestück		
		$\zeta_B = 0,5$				$\zeta = 0,5$		
Geradsitzventil				Schieber				
DN	10 bis 15	20	25	32	DN	10 bis 15	20 bis 25	> 25
ζ	10,0	8,5	7,0	6,0	ζ	1,0	0,5	0,3
Eckventil				Hahn				
DN	15	20 bis 50	25	32	DN	10 bis 15	> 15	
ζ	4,0	2,0	7,0	6,0	ζ	1,5	2,0	
Schrägsitzventil								
DN	15	20	25 bis 50					
ζ	3,5	2,5	2,0					

Abbildung 31 Allgemeine Widerstandsbeiwerte²⁰

2.1.14 Gesamtdruckverlust eines Rohrleitungssystems

Alle Einzeldruckverluste, die jeweils proportional der kinetischen Energie sind, summieren sich zum Gesamtdruckverlust.

$$\Delta p_{ges} = \left(\sum \zeta + \frac{\lambda}{d} \sum * l \right) * \frac{\omega^2 * \rho}{2} + \Delta p_{AP}$$

Formel 16 Gesamtdruckverlust

Δp_{ges} = Gesamtdruckverlust [Pa]

ζ = Widerstandsbeiwert [dimensionslos]

d = Durchmesser der Rohrleitung [m]

ρ = Dichte des Mediums [kg/m³]

ω = Strömungsgeschwindigkeit [m/s]

λ = Rohrreibungszahl

l = Länge der Rohrleitung [m]

Δp_{AP} = Druckverlust Apparate, Einbauten [Pa]

²⁰ Vorlesung-Unterlagen-Heizungstechnik, Dipl. Ing. Ingolf Tiator

Übersicht zur Druckverlustberechnung:

1. Berechnung der Reynoldszahl
2. Bestimmung der absoluten und relativen Rauigkeiten k
3. Bestimmung der Strömungsformen
4. Ermittlung der Rohrreibungszahl λ
5. Bestimmung und Addition der Einzelwiderstände ζ
6. Berechnung des Gesamtdruckverlustes Δp_{ges}

2.2 Pumpen

2.2.1 Allgemeines

Pumpen arbeiten auf der Grundlage des Impulssatzes. In Kälteverbundsystemen sind aufgrund der geringen Temperaturspreizung zwischen Vor- und Rücklauf relativ große Strömungsmaschinen erforderlich, um die notwendige Leistung mit dem Transportmedium Wasser zum Verbraucher zu schaffen. Um dieses große Potential zur energetischen Verbesserung der Systeme zu erschließen, werden nachfolgend die erforderlichen Grundlagen dargestellt.

2.2.2 Definitionen zum Druck

Ruhedruck

ist der statische Druck, wenn kein Medium fließt. Der Ruhedruck ist die Füllhöhe über dem jeweiligen Messpunkt und Grundlage für den Vordruck im Membranausdehnungsgefäß

Fließdruck

ist der dynamische Druck, wenn ein Medium strömt einschließlich der Druckverlustes.

Pumpendruck

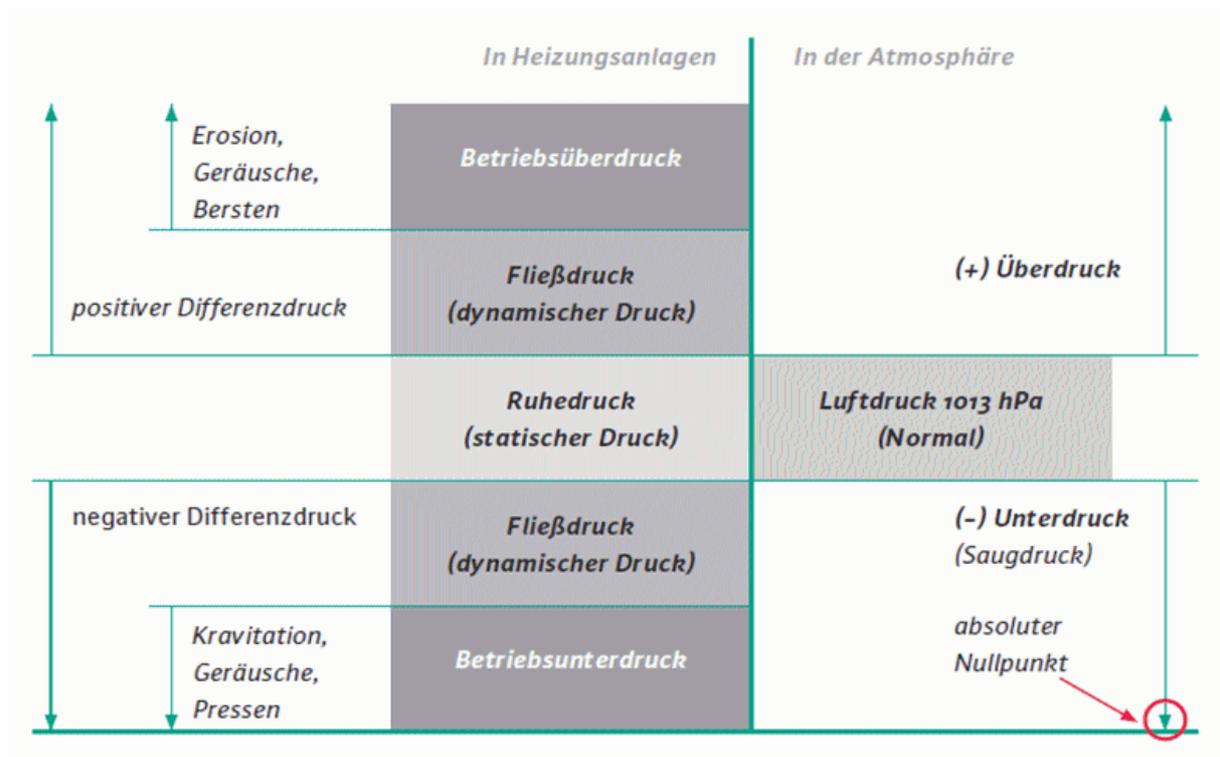
ist der Druck, der auf der Druckseite der Pumpe bei Betrieb erzeugt wird. Dieser Wert kann anlagenbedingt vom Differenzdruck abweichen.

Differenzdruck

ist der Druck, der zur Überwindung aller im Rohrleitungssystem befindlichen Widerstände erzeugt wird.

Betriebsdruck

ist der Druck, der beim Betrieb einer Anlage oder einzelner Teilabschnitte herrscht oder entstehen kann.

Abbildung 32 Druckaufbau²¹

2.2.3 Kavitation

Unter Kavitation versteht man die Blasenbildung durch zu hohe Strömungsgeschwindigkeit und dem daraus folgenden Abreißen der Strömung. Bei der Kavitation implodieren die gebildeten Dampfblasen (Hohlräume) infolge der örtlichen Unterdruckbildung. Der Absolutdruck wird an einer Stelle des Rohrleitungssystems kleiner als der Dampfdruck des strömenden Mediums. Der Dampfdruck ist der Druck, der notwendig ist, um z.B. Wasser in der flüssigen Phase zu halten. Die durch die Kavitation hervorgerufenen Miniimplosionen führen zu Schäden an dem Pumpeninneren, Armaturen und Rohrwänden sowie zum Leistungsabfall der Förderhöhe. Die Pumpenlaufeigenschaften werden sich enorm verschlechtern.

Eine wichtige Kenngröße für Pumpen ist der NPSH-Wert (Net Positive Suction Head). Er gibt den Mindestdruck am Pumpenzulauf an, der notwendig ist damit die Pumpe kavitationsfrei arbeiten kann.

Um Kavitation zu verhindern muss der Saugdruck größer als der Sättigungsdruck sein. Die maximal mögliche Saughöhe (Unterdruck) berechnet sich wie folgt:

$$h_{max} = p_b - \Delta p_S - NPSH - p_{DF} - SF$$

Formel 17 maximale Saughöhe

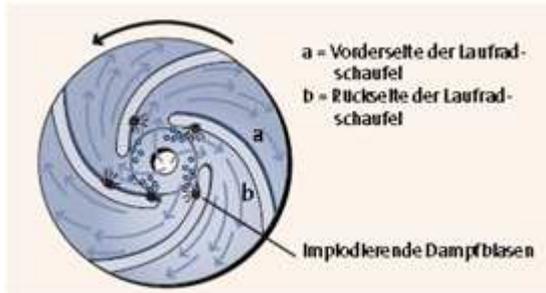
h_{max} = maximale Saughöhe [m]

p_b = theoretische maximale Saughöhe am Ort [m]

²¹ Wilo-Pumpenfibel 09/2009

Δp_s = Reibungsverlust in Saugleitung [Pa]
 NPSH = Haltedruckhöhe [mWS]
 p_{DF} = Dampfdruck der Flüssigkeit [Pa]
 SF = Sicherheitsfaktor 0,5...1 m

Der NPSH-Wert ist die erforderliche Druckhöhe vor Pumpe.



Temperatur in °C	Dampfdruck in Pa
10	1227,5
50	12334
100	101320

Abbildung 33 Kavitation²²

Tabelle 5 Auszug Dampfdrucktabelle

2.2.4 Förderstrom und Förderhöhe

Die grundlegenden Auslegungsparameter für eine Pumpe sind der Förderstrom und die Förderhöhe. Der Förderstrom errechnet sich aus der erforderlichen Leistung und dem Temperaturunterschied zwischen Vor- und Rücklauf. Die Förderhöhe setzt sich aus den Widerständen im Rohrleitungssystem zusammen.

2.2.5 Pumpenleistungsberechnung

Die Leistungsberechnung erfolgt über die Energiedifferenz ΔE zwischen Saug- und Druckseite der Pumpe unter Berücksichtigung des Förderstromes:

$$p_{th} = \dot{V} * (p_2 - p_1) \text{ in } \frac{Nm}{s} = W$$

Formel 18 Pumpenleistung $v=\text{konst}$

p_{th} = theoretische Pumpenleistung [W]

\dot{V} = Volumenstrom [m³/h]

p_2 = Druck am Druckstutzen [N/m²]

p_1 = Druck am Saugstutzen [N/

Die reale Pumpenleistung wird unter Berücksichtigung des Wirkungsgrades η_p berechnet:

$$P_{real} = \frac{P_{th}}{\eta_p}$$

Formel 19 reale Pumpenleistung

p_{real} = reale Pumpenleistung [W]

p_{th} = theoretische Pumpenleistung [W]

η_p = Pumpenwirkungsgrad

²² Grundfos-Pumpenhandbuch 2004

2.2.6 Pumpenwirkungsgrad

Der Wirkungsgrad einer Strömungsmaschine ist das Verhältnis der abgegebenen Leistung zur aufgenommenen Leistung. Da es keinen verlustfreien Antrieb gibt, ist der Wirkungsgrad immer kleiner 1. Der Gesamtwirkungsgrad der Pumpe setzt sich aus Motorwirkungsgrad (Elektromotor) und dem hydraulischen Wirkungsgrad zusammen.

$$\eta_p = \eta_M * \eta_h$$

Formel 20 Pumpenwirkungsgrad

η_p = Pumpenwirkungsgrad

η_M = Motorwirkungsgrad (elektrisch, mechanisch)

η_h = hydraulischer Pumpenwirkungsgrad

$$\eta_h = \frac{V * \dot{H} * \rho}{367 * P}$$

Formel 21 hydraulischer Pumpenwirkungsgrad

V = Volumenstrom [m³/h]

H = Förderhöhe [m]

ρ = Dichte des Fördermediums [kg/m³]

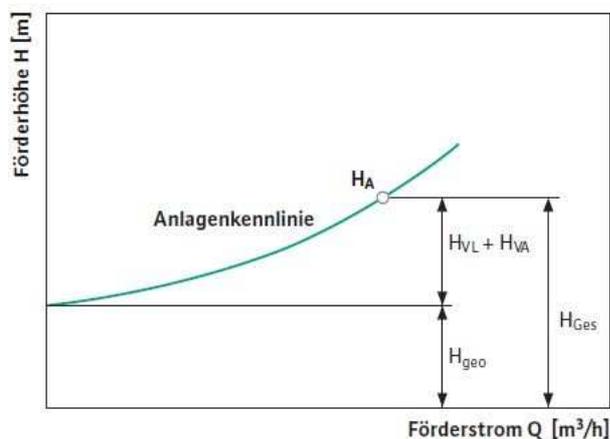
367 = Umrechnungskonstante

P = Leistung an der Pumpenwelle [kW]

Bei Nassläufern ergibt sich je nach Bauart und Größe ein Wirkungsgrad η_p zwischen 5% und 60%. Bei Trockenläufern beträgt η_p zwischen 30% und 80%.

2.2.7 Anlagenkennlinie

Die Anlagenkennlinie beschreibt das Verhältnis zwischen dem Förderstrom und der Förderhöhe im Rohrleitungssystem.



Abkürzung Beschreibung

H_A	Benötigte Förderhöhe der Anlage
H_{VL}	Druckverluste in Rohrleitungen
H_{VA}	Druckverluste in Armaturen
H_{geo}	Geodätische Höhendifferenz (zu überwindende geodätische Höhe)
H_{Ges}	Gesamthöhenverluste

Abbildung 34 Anlagenkennlinie²³

²³ Wilo-Pumpenfibel, 09/2009

2.2.8 Pumpenkennlinie

Die Förderleistung einer Strömungsmaschine wird durch eine Kennlinie graphisch im Diagramm dargestellt. Der Verlauf der Pumpenkennlinie ist von der Bauart und Bauform der der Pumpe abhängig. In der Pumpenkennlinie ist die Abhängigkeit des Förderstromes und der Förderhöhe dargestellt. Jede Änderung der Förderhöhe hat eine Änderung des Förderstromes zur Folge. Die Pumpenförderhöhe muss so hoch sein, um die Summe der Rohrleitungswiderstände zu überwinden.

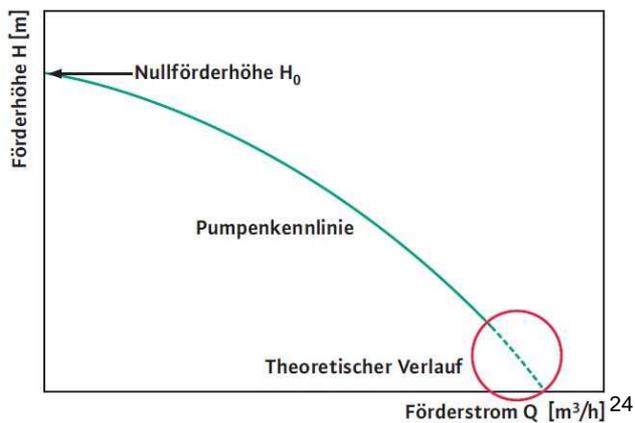


Abbildung 35 Pumpenkennlinie

2.2.9. Betriebspunkt

Den Schnittpunkt von Anlagenkennlinie und Pumpenkennlinie nennt man Betriebspunkt. Der Betriebspunkt stellt das Gleichgewicht zwischen Leistung der Pumpe und Leistungsverbrauch des Rohrnetzes dar.

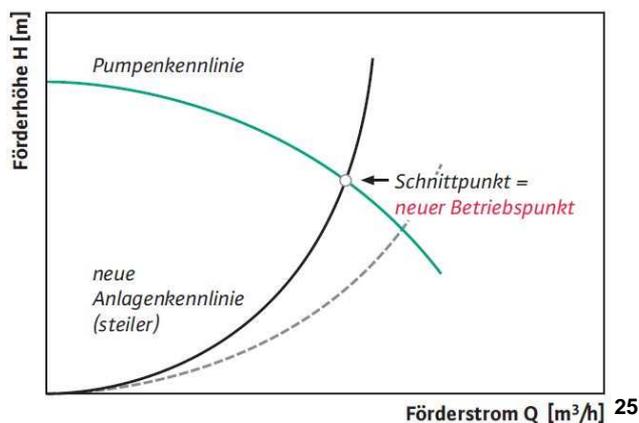


Abbildung 36 Betriebspunkt

²⁴ Wilo-Pumpenfibel,09/2009

²⁵ Wilo-Pumpenfibel,09/2009

Alle Betriebspunkte im realen Betrieb müssen links neben dem Auslegungspunkt liegen. Die Verschiebung des Betriebspunktes nach links auf der Anlagenkennlinie hat zur Folge, dass die Förderhöhe steigt und diese im Rohrleitungssystem vernichtet wird. Zur Anpassung der Förderhöhe und des Förderstromes an den tatsächlichen Bedarf werden drehzahlgeregelte Pumpen eingesetzt, die Antriebsenergie und somit Betriebskosten einsparen.

Das Proportionalgesetz veranschaulicht diese Zusammenhänge:

$$\frac{H_1}{H_2} = \frac{\dot{V}_1^2}{\dot{V}_2^2}$$

Formel 22 Proportionalgesetz

H_1 = Förderhöhe Betriebspunkt 1 [m]

H_2 = Förderhöhe Betriebspunkt 2 [m]

\dot{V}_1 = Volumenstrom Betriebspunkt 1 [m³/h]

\dot{V}_2 = Volumenstrom Betriebspunkt 2 [m³/h]

Eine Verdoppelung der Drehzahl ergibt:

- Förderstrom steigt um das Doppelte
- Förderhöhe erreicht den 4-fachen Wert
- Elektrische Antriebsleistung steigt um das 8 fache

2.2.10 Pumpendrehzahlregelung

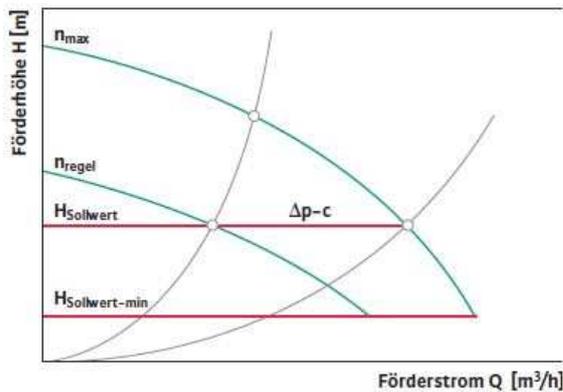
Der geförderte Volumenstrom ist abhängig von der jeweils anfallenden Leistung der Anlage.

Wird die Drehzahl der Pumpe reduziert, nehmen sowohl der Förderstrom als auch die Förderhöhe ab. Aus diesem Grund ist eine energieeffizientere Betriebsweise der Anlage möglich. Es gibt Pumpen mit von Hand schaltbaren Drehzahlstufen, doch im Laufe des technischen Fortschritts sind stufenlose Drehzahlschaltungen bei Pumpen Stand der Technik.

Die elektronisch geregelten Pumpen weisen verschiedene einstellbare Betriebs- und Regelarten auf. Im Folgenden wird ein Überblick der Regelungsarten aufgeführt.

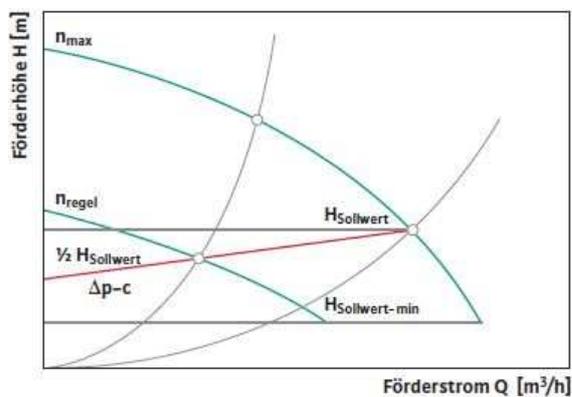
Reglungsart Δp -c (Differenzdruck konstant)

Der von der Pumpe erzeugte Differenzdruck wird über den zulässigen Fördervolumenstrombereich konstant auf den eingestellten Differenzdruck-Sollwert. Der Rohrleitungswiderstand ist Vergleich zum Widerstand der Regelarmaturen gering. Diese Regelungsart ist anzuwenden, wenn unabhängig von den Regelarmaturen weitestgehend der gleiche Differenzdruck benötigt wird.

Abbildung 37 p-c-Regelung²⁶

Reglungsart $\Delta p-v$ (Differenzdruck variabel)

Die Elektronik verändert den von der Pumpe einzuhaltenden Differenzdruck-Sollwert linear bis auf die halbe Förderhöhe. Der Differenzdruck-Sollwert nimmt mit dem Förderstrom ab bzw. zu. Der Rohrleitungswiderstand ist größer als der Widerstand der Regelarmaturen. Der benötigte Differenzdruck nimmt mit geringer werdenden Volumenstrom ständig ab. In den ungünstigsten Fällen entsteht eine Unterversorgung.

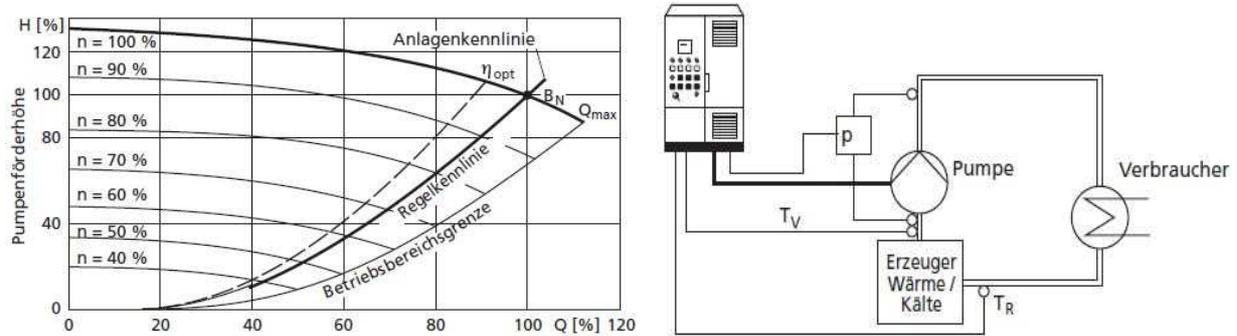
Abbildung 38 p-v-Regelung²⁷

Differenztemperatur ΔT abhängige Regelung

Die differenztemperaturabhängige Regelung von Pumpen ist verbrauchsabhängig vom Betriebspunkt der Pumpe. Sie wird dort sinnvoll eingesetzt, wo keine variable Rohrnetzkenlinie vorhanden ist, Anlagen mit konstantem Volumenstrom. Die Temperaturspreizung zwischen Vor- und Rücklauf erfasst den Lastbedarf des Verbrauchers direkt. Die Drehzahl wird automatisch bei abnehmender Temperaturdifferenz gedrosselt somit auch die Pumpenleistungsaufnahme.

²⁶ Wilo-Pumpenfibel,09/2009

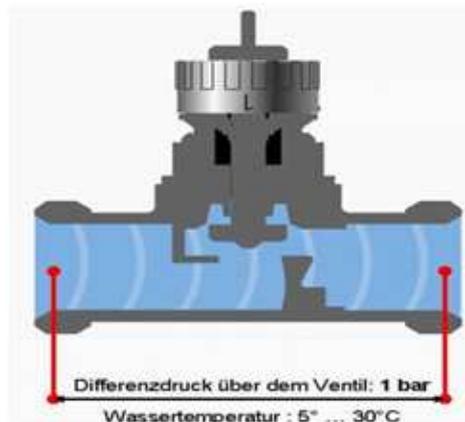
²⁷ Wilo-Pumpenfibel,09/2009

Abbildung 39 Differenztemperaturregelung und Schema²⁸

2.3 Armaturen

2.3.1 kv- und kvs-Wert

Der kv-Wert wird auch als Durchflusskoeffizient eines Ventils bezeichnet. Es ist der gemessene Durchfluss in m³/h von Wasser bei einer Dichte von 1000 kg/m³, einem Druckabfall von 1 bar und dem jeweiligen Hub. Er dient zur Auswahl und Dimensionierung von Ventilen.

Abbildung 40 kvs-Wert²⁹

Gibt den Volumenstrom bei vollgeöffneten Ventil in m³/h an, bei 100% Ventilhub, nennt man den Durchflusswert „kvs-Wert“.

$$Kv = \dot{V} \sqrt{\frac{\rho}{\Delta p_v \cdot 1000}}$$

Formel 23 Ventilkennwert

kv = Ventilkennwert [m³/h]

\dot{V} = Volumenstrom [m³/h]

Δp_v = Druckabfall über dem Ventil [bar]

ρ = Dichte des Mediums [kg/m³]

²⁸ KSB-Pumpenreglung / Anlagenautomation 07/2010

²⁹ <http://www.hydraulischer-abgleich.de>; 23.04.2013

2.3.2 Die Ventilautorität

Unter Ventilautorität versteht man das Verhältnis des Differenzdruckes des Ventils bei voll geöffnetem Querschnitt und des maximal auftretenden Differenzdruckes im volumenstromvariablen Versorgungskreis (Strang).

Gemäß dem Stand der Technik sollte die Ventilautorität bei Heizungs- und Kälteanlagen zwischen 30 und 70 % liegen. Damit erhält man eine ausreichend gute Regelgüte, die wichtig ist für einen wirtschaftlichen und komfortablen Betrieb. Bei einer Ventilautorität unter 30 % wird der Einfluss des schließenden Ventilkegels so gering, dass das Ventil die Leistung nicht ordnungsgemäß regeln kann. Es würde ständig öffnen und schließen. Deshalb sollte der Mindestdruckverlust über dem Ventil nicht unter 4000 Pascal liegen. Bei Werten über 30 % für die Ventilautorität fällt relativ viel Druck am Ventil ab. Dadurch werden die Regelungseigenschaften des Ventils verbessert. Über 70 % steigt der Gesamtdruckverlust der Anlage in einen Bereich, dass zu viel elektrische Leistung von den Pumpen verbraucht und die Anlage unwirtschaftlich wird. Außerdem steigen die Fließgeschwindigkeiten und Strömungsgeräusche entstehen. Pfeifende Thermostatventile an hydraulisch schlecht abgeglichenen Heizungskreisläufen sind ein bekanntes Beispiel. Zur Vermeidung von Strömungsgeräuschen ist ein Druckabfall am Ventil von 100 mbar oder 10000 Pa einwandfrei. 20000 Pa sollten jedoch nicht überschritten werden. Die Ventilautorität berechnet man mit nachfolgender Formel:

$$a_v = \frac{\Delta p_v}{\Delta p}$$

Formel 24 Ventilautorität

a_v = Ventilautorität

Δp_v = Druckverlust über Ventil [Pa]

Δp = Gesamtdruckverlust des Kreises [Pa]

2.3.3 Durchgangstellventile mit elektrischem Antrieb

Ventile mit elektrischem Antrieb können in jede beliebige Zwischenstellung gesteuert werden. Sie werden für die Regelung von Temperaturen in Verbindung mit den zugehörigen Durchflüssen verwendet.



Abbildung 41 Durchgangsventil Sauter³⁰



Abbildung 42 Durchgangsmotorventile Haus 40

³⁰ <http://www.sauter-cumulus.de;21.03.2013>

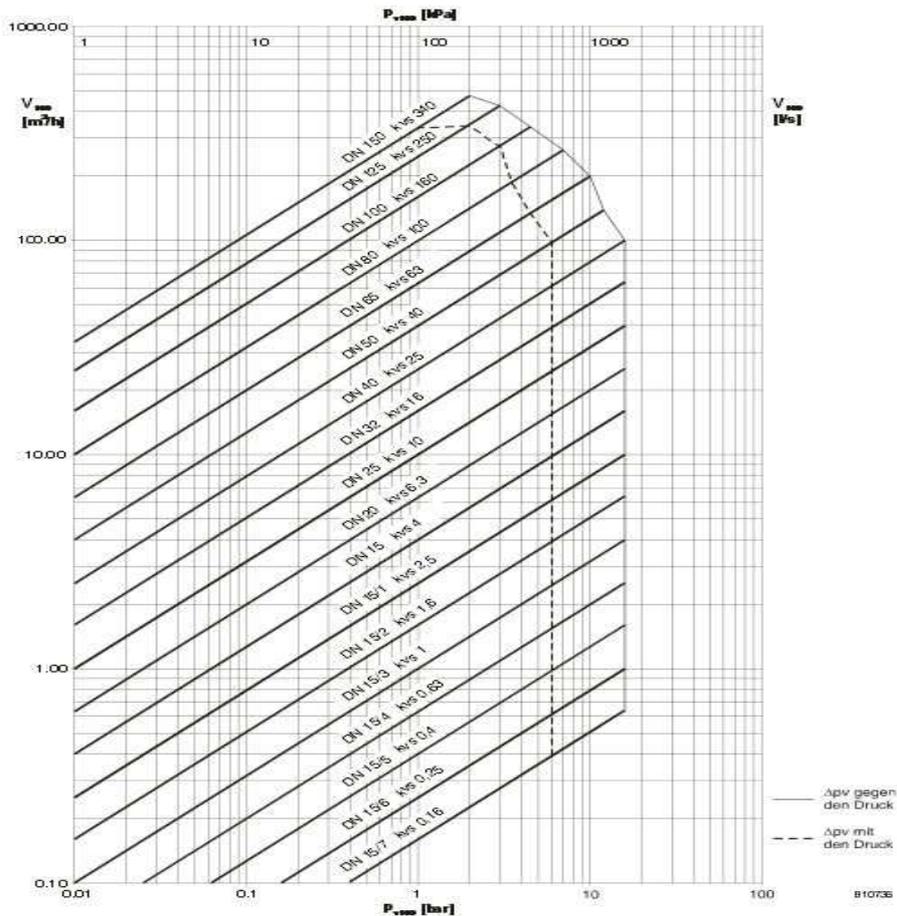


Abbildung 43 Durchflussdiagramm

2.3.4 Absperrklappen

Im Kälteverbund wurden Absperrklappen von ARI verschiedenster Ausführungen eingesetzt.

Wartungsfreie und weichdichtende Zwischenflanschklappen mit Rasthebel oder elektrischem Antrieb bieten als Absperrorgane den großen Vorteil, dass sie fast druckverlustneutral sind.

	DN	25	32	40	50	65	80	100	125	150	200	250	300
L	(mm)	33	33	33	43	46	46	52	56	56	60	68	78
H	(mm)	128	128	134	140	150	158	179	196	212	246	273	302
E	(mm)	58	58	66	69	81	100	109	124	140	167	203	232
I	(mm)	15	15	15	15	15	15	15	18	18	18	24	24
SW	(mm)	11	11	11	11	11	11	11	17	17	17	22	22
Kvs-Wert	(m³/h)	26	26,5	49,6	116	259	377	763	1030	1790	3460	5070	7430
Zeta-Wert	–	0,93	2,4	1,7	0,75	0,43	0,46	0,27	0,37	0,25	0,21	0,24	0,23

Abbildung 44 Zeta-Werte Klappen³¹

³¹ <http://www.ari-armaturen.de>;21.03.2013



Abbildung 45 Zwischenflanschklappe³²



Abbildung 46 Klappe mit elektrischem Antrieb³³

2.3.5 Schmutzfänger

Sie dienen zum Schutz von Armaturen und Einbauten vor Funktionsstörungen und Korrosionsschäden durch Eintrag von Schmutzpartikel, Rost, oder Dichtungsmaterialien. Im Kälteverbund sind vor und nach jedem Schmutzfänger Manometer installiert. Diese zeigen den Verschmutzungsgrad an. Bei einem Druckverlust von maximal 0,5 bar erfolgt eine Wartungsmeldung auf die GLT.



Abbildung 47 Schmutzfänger³⁴

³² <http://www.ari-armaturen.de>;21.03.2013

³³ <http://www.ari-armaturen.de>;21.03.2013

³⁴ <http://www.ari-armaturen.de>;21.03.2013

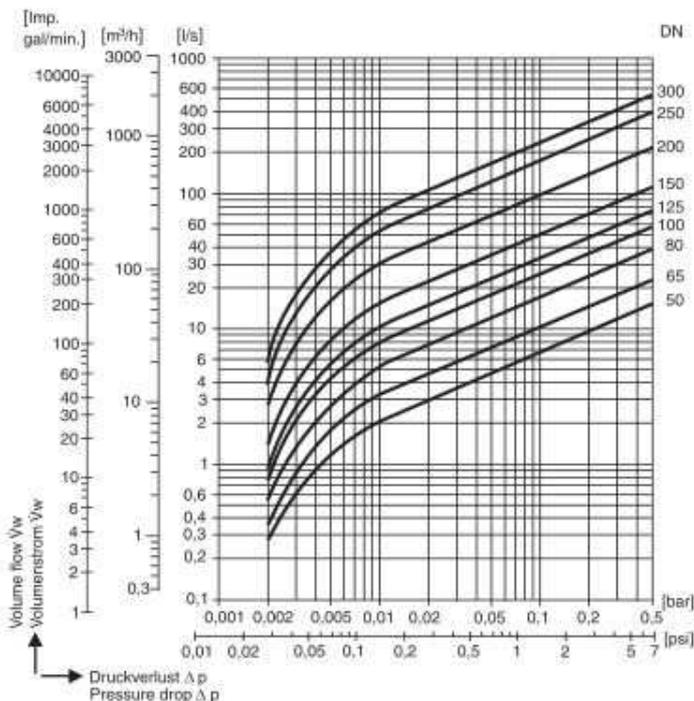
		DN	15	20	25	32	40	50	65	80	100	125	150	200	250	300
L		(mm)	130	150	180	180	200	230	290	310	350	400	480	600	730	850
H		(mm)	90	100	115	125	150	160	180	215	235	275	305	390	540	680
H1		(mm)	135	150	180	205	235	250	285	330	365	425	480	610	915	1110
B		(mm)	10	10	25	35	45	45	25	40	55	65	50	80	230	350
l1		(mm)	56	68	82	98	114	119	134	149	169	199	224	284	434	555
Ødt		(mm)	23	28	36	42	50	61,5	78,5	89,5	109,5	137,5	160	210	258	308
Normalsieb	Maschenweite	(mm)	1	1	1	1	1	1	1,25	1,25	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
	Kvs-Wert ¹⁾	(m³/h)	6,9	10,8	17,8	26,1	36,7	61	98,6	146	234	376	394	652	1225	1873
	Zeta-Wert	–	1,7	2,2	2	2,5	3	2,7	2,9	3,1	2,9	2,8	5,2	6	4,2	3,7
Feinsieb	Maschenweite	(mm)	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
	Kvs-Wert ¹⁾	(m³/h)	6,2	10,1	16,8	24,3	32,9	49,5	80,3	115	189	303	405	590	1231	1883
	Zeta-Wert	–	2,1	2,5	2,2	2,8	3,8	4,1	4,4	4,9	4,4	4,5	4,9	7,3	4,1	3,6

Abbildung 48 Übersicht Zeta-Werte Schmutzfänger³⁵

2.3.6 Rückschlagklappen

Die Aufgabe der Rückschlagklappe ist es, die korrekte Strömungsrichtung des Mediums zu gewährleisten. Sie schützen somit auch elektrische Einbauten vor Zerstörung.

CB 14



Öffnungsdrücke

Druckdifferenzen bei Volumenstrom Null.

Typ	DN	Öffnungsdrücke [mbar]		
		Durchflussrichtung der Klappe		
		↑	→	↓
CB 14	50 – 150	8	0	1)
	200 – 300	15	0	

Abbildung 49 Druckverlustdiagramm Rückschlagklappe³⁶

³⁵ <http://www.ari-armaturen.de;21.03.2013>

³⁶ <http://www.gestra.de;21.03.2013>

2.3.7 Kugelhahn

Bei dieser Absperrarmatur. erfolgt die Auf-Zustellung durch eine 90° Drehung des Hebelgriffes. Auch sie haben einen sehr geringen Druckverlust.

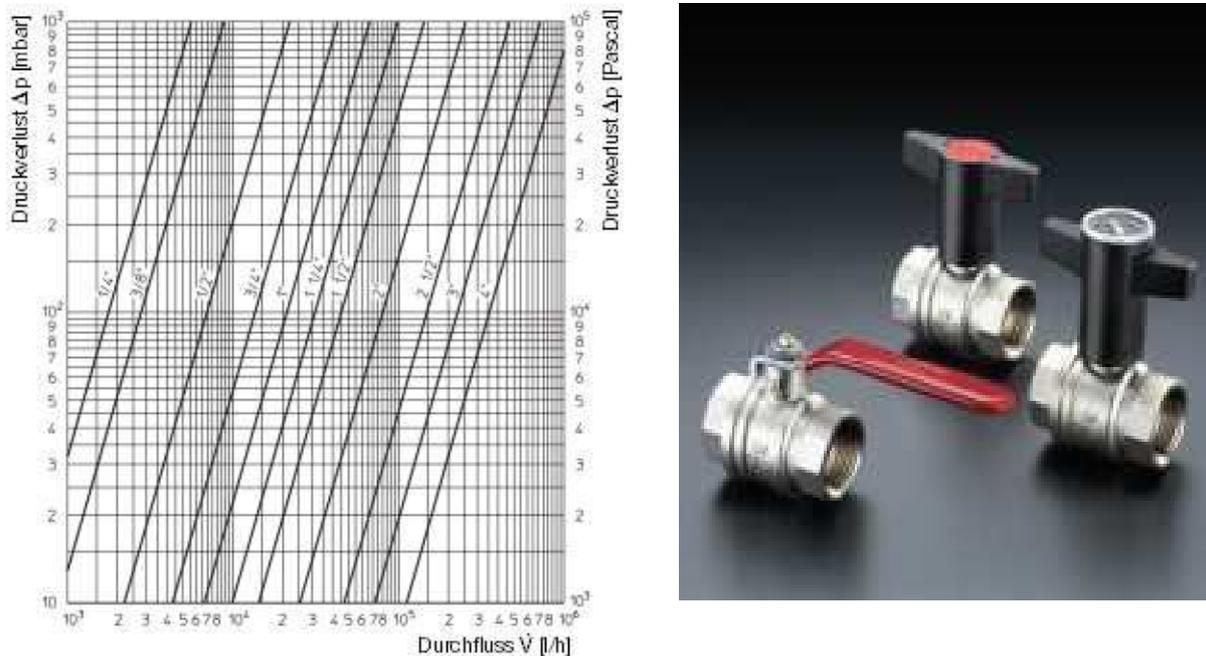


Abbildung 50 Druckverlustdiagramm Kugelhahn³⁷

2.3.8 Membranventile

Membranventile sind stopfbuchsenlose Ventile in Durchgangsform. Die dichtschießende Membrane erzeugt Dichtheit auch unter Druck oder Vakuum. Membranventile eignen sich auch zur Durchflussregelung.



Abbildung 51 Membranventil³⁸

³⁷ <http://www.oventrop.de>;21.03.2013

³⁸ <http://www.armaturen-schulte.de>;27.03.2013

2.3.9 Strangreguliertventile

Strangreguliertventile werden zum Vorregulieren des Volumenstromes in den Rohrleitungssträngen untereinander eingesetzt. Es handelt sich um eine Kombination aus voreinstellbarem und absperrbarem Ventil. Der voreingestellte Wert am Ventil definiert einen festen Druckverlust.

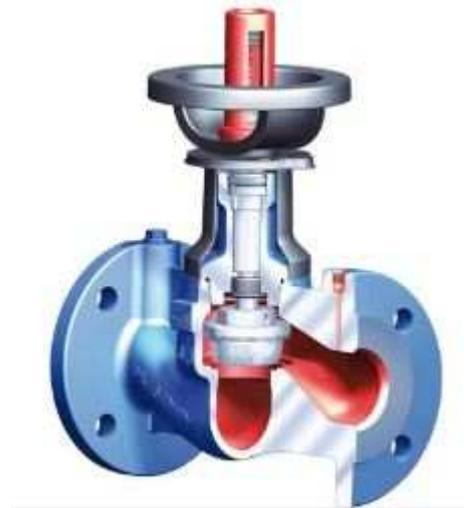
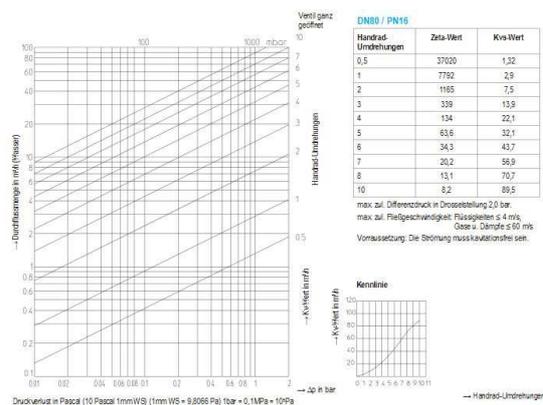


Abbildung 52 Durchflussdiagramm³⁹

Abbildung 53 Strangreguliertventil AR1⁴⁰

2.4 Wärme- und Kältemengenzähler

In der Regel bestehen die Zähleinrichtungen aus den Komponenten, Volumenmessteil, Temperaturfühlerpaar und Rechenwerk. Aus den gemessenen Werten von Durchfluss und Temperaturdifferenz erfolgt die Berechnung der Leistung und über das Zeitglied die verrichtete Arbeit.

$$Q = V * \rho * c * (\vartheta_{KV} - \vartheta_{KR})$$

Formel 25 Berechnung Wärmeleistung

Q = Kältemenge [Wh]

V = Volumen [m³]

ρ = Dichte [kg/m³]

c = spez. Wärmekapazität [Wh/kg*K]

Δϑ = Temperaturdifferenz VL/RL [K]

³⁹ <http://www.ari-armaturen.de>;22.03.2013

⁴⁰ <http://www.ari-armaturen.de>;22.03.2013

Die bekanntesten Bauarten sind Flügelrad- und Ultraschallzähler. Da im betrachteten Kälteverbund ausnahmslos Schwingstrahl-Kältezähler der Firma Sontex eingesetzt sind, soll deren Funktion genauer erläutert werden.



Abbildung 54 Kältezähler⁴¹

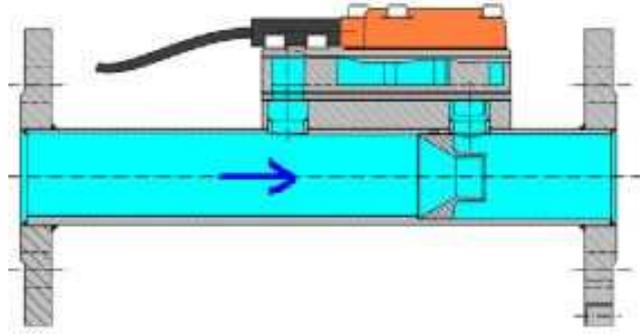


Abbildung 55 Schnitt Kältezähler⁴²

Die Flüssigkeit wird über die im Rohr befindliche Venturi-Düse geleitet. Diese erzeugt eine Druckdifferenz, so dass ein Teil der Flüssigkeit über den Bypass-Kanal geleitet wird. In diesem Bypass-Kanal liegt der Oszillator mit dem Abtastsensor in Form eines Piezo-Sensors. Im Oszillator wird die Flüssigkeit zu einer Düse geleitet und dort zu einem Schwingstrahl beschleunigt. Durch eine der Düse gegenüberliegende Zunge wird der Strahl nach links oder rechts in einen Kanal umgeleitet, der zum Piezo-Sensor führt. Die Flüssigkeit erzeugt durch den Druck auf den Piezo-Sensor einen elektrischen Impuls und fließt wieder zurück ins Rohr und lenkt beim Zurückfließen den Strahl in die andere Richtung durch den anderen Kanal.

Die Vorteile des Schwingstrahlzählers sind Verschleißfreiheit, Unempfindlichkeit gegen Schmutz und schlechte Wasserqualität sowie Vernachlässigung der Einlaufstrecken bis Nennweite 100.

2.5 Plattenwärmeübertrager

Wie bereits beschrieben, ist jeder Netzentnahmekreis durch einen Plattenwärmeübertrager vom Kälteverbund getrennt. Aufgrund der Druckverluste der Plattenwärmeübertrager ist seine hydraulische Betrachtung von großer Bedeutung.

Der Plattenwärmeübertrager ist eine spezielle Bauform eines Wärmeübertragers. Wellenförmig profilierte Platten werden so aneinander montiert, dass in den aufei-

⁴¹ <http://www.sontex.ch>;22.03.2013

⁴² <http://www.sontex.ch>;22.03.2013

einanderfolgenden Zwischenräumen Wärme aufgenommen und danach Wärme abgegeben wird. Man unterscheidet Plattenwärmeübertrager nach den Bauformen gedichtet oder geschraubt, gelötet, verschweißt und in Fusionstechnik.

Im Kälteverbund sind überwiegend geschraubte Wärmeübertrager eingesetzt. Hier ist die Wartung bei Verschmutzung durch reinigen der einzelnen Platten möglich. Desweiteren kann man bei geschraubten Wärmeübertragern eine Leistungserweiterung durchführen.

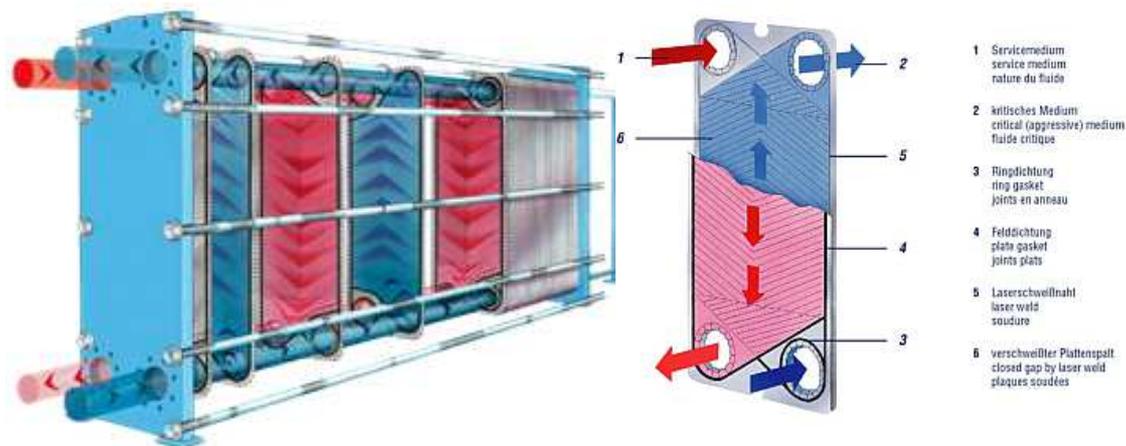


Abbildung 56 Schema PWÜ⁴³

Abbildung 57 Überträgerplatte⁴⁴

Die Druckverluste der einzelnen Plattenwärmeübertrager werden explizit von den jeweiligen Herstellern ausgelegt. Nur die Hersteller der PWÜ verfügen über die notwendigen Kenntnisse zu den Wärmeübergang und Wärmedurchgangszahlen. Desweiteren kennen nur die Hersteller die genaue Form der einzelnen Überträgerplatten, welche für die Druckverlustberechnung von entscheidender Rolle ist. Die Grundgleichung für transportierte Leistung über die Wärmeüberträgerfläche lautet:

$$Q_K = U_D * A_{WÜ} * \Delta\vartheta_m$$

Formel 26 Kälteleistung in W

Q_k = Kälteleistung [W]

U_D = Wärmedurchgangszahl [W/m²*K]

$A_{WÜ}$ = Wärmeüberträgerfläche [m²]

$\Delta\vartheta_m$ = logarithmische mittlere Temperaturdifferenz [K]

$$\Delta\vartheta_m = \frac{\Delta\vartheta_{gr} - \Delta\vartheta_{kl}}{\ln \frac{\Delta\vartheta_{gr}}{\Delta\vartheta_{kl}}}$$

Formel 27 logarithmische Temperaturdifferenz

$\Delta\vartheta_m$ = logarithmische mittlere Temperaturdifferenz [K]

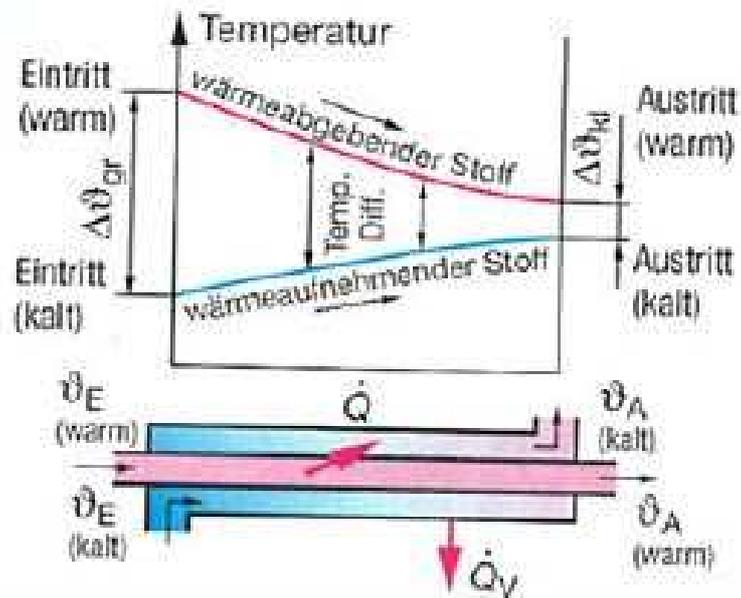
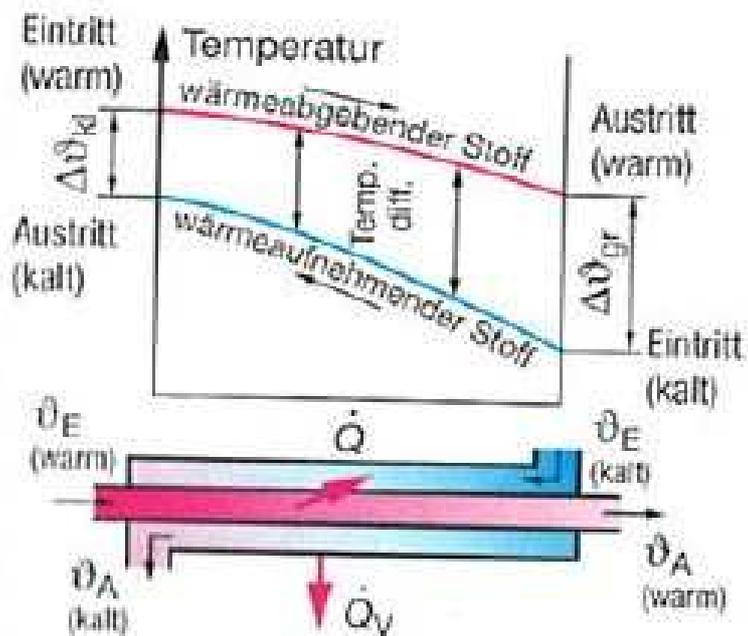
$\Delta\vartheta_{gr}$ = große Temperaturdifferenz [K]

$\Delta\vartheta_{kl}$ = kleine Temperaturdifferenz [K]

⁴³ <http://www.tranter.com>;22.03.2013

⁴⁴ <http://www.sachverstand-gutachten.de>;22.03.2013

Wärmestromprinzipien von Wärmeübertragern

Abbildung 58 Diagramm Gleichstrom⁴⁵Abbildung 59 Diagramm Gegenstrom⁴⁶⁴⁵ Tabellenbuch Anlagenmechanik für Sanitär-, Heizungs- und Klimatechnik, 2007⁴⁶ Tabellenbuch Anlagenmechanik für Sanitär-, Heizungs- und Klimatechnik, 2007

3. Hydraulische Erfassung und Bewertung des Kälteverbundes

3.1 Auswertung der Verbrauchsmessungen

In der Tabelle 6 sind die einzelnen Kälteerzeuger und die maximal möglichen Entnahmeleistungen an den Plattenwärmeübertragern der Abnehmer aufgeführt. Die Registrierung der Wärmeübertragerleistungen erfolgte im Rahmen der Bestandsaufnahme von den Typenschildern. Danach beträgt deren Summe 6353 kW. Dagegen steht eine maximale Gesamtleistung der sieben Kälteerzeuger des Verbundsystems von 4900 kW. Die Überdimensionierung der installierten Plattenwärmeübertrager von 1453 kW resultiert aus dem Leistungsspektrum der Wärmetauscher in Verbindung mit den hydraulischen Aspekten und gewährleistet gleichzeitig eine problemlose Erweiterung des Verbundnetzes bei paralleler Erhöhung der Erzeugerleistung.

Gebäude	Kälteerzeugerart	Installierte Kälteerzeugerleistung [kW]	Installierte Entnahme Wärmeübertrager [kW]
Haus 33	Absorptionskältemaschine	230	H 33 = 240
Haus 59	wassergekühlte Turbokältemaschine	500	H 59 = 750 H 20 = 76
Haus 58	Hubkolbenverdichter	390	H 58 = 1060 H 30 = 100
Haus 21	Absorptionskältemaschine	480	H 21A = 500 H 21 Bistro = 120 H 21 MRT = 60
Haus 27	wassergekühlte Turbokältemaschine	2 x 1150 = 2300	H 27A = 1600 H 27 RZ = 96 H 27 MRT = 91 H 19 = 560
Haus 25	wassergekühlte Turbokältemaschine	2 x 250 100 % Redundanz	H 25A = 100 H 25 MRZ = 300
Haus 40	wassergekühlte Turbokältemaschine	250 - 500 = 750	H 40 = 200 H 65/66 = 500
Gesamt		4900	6353

Tabelle 6 Übersicht Kälteerzeuger

Zur optimalen hydraulischen Berechnung und Bewertung des Kälteverbundsystems unter realen Bedingungen stehen die statistischen Messwerte der übergeordneten Gebäudeleittechnik zur Verfügung. Dazu wurde eine Trendwerterfassung der Leistungen der Kälteerzeuger und Verbraucher eines Volllastfalles vom 20.08. bis 22.08.2012 und eines typischen Teillastfalles vom 11.09. bis 17.09.2012 durchgeführt. Der Außentemperaturverlauf und die Niederschläge für die beiden Zeiträume sind im Diagramm des Anhangs A2 detailliert aufgeführt. In Absprache mit dem Auftraggeber wurden diese beiden Zeiträume mit den zugehörigen Parametern für Bewertung des Systems abgestimmt. Die Messwerte an den Netzentnahmestellen werden als Grundlage für weiterführende Berechnungen herangezogen. Um die tabellarisch erfassten Messwerte anschaulich darzustellen wurden diese graphisch in Diagrammen dargestellt und sind im Anhang A3 beigefügt. Die Diagramme befinden sich zusätzlich auch auf dem Übersichtsschema an den zugehörigen Entnahmestellen. In den Tabellen 7 und 8 sind die maximalen theoretischen Kälteerzeugerleistungen den tatsächlichen Kälteverbraucherleistungen zugeordnet. Diese zugeordneten Leistungsparameter sind die Grundlage für eine hydraulische Berechnung.

Gebäude	Kälteerzeugerart	theoretische Erzeugerleistung [kW]	tatsächlicher Kälteverbrauch an PWT [kW]	KM AN / AUS
Haus 33	Absorptionskältemaschine	230	H 33 = 50	AN 22%
Haus 59	wassergekühlte Turbokältemaschine	500	H 59 = 490 H 20 = 76 aus KV von H 27 = 70	AN 100%
Haus 58	Hubkolbenverdichter	390	H 58 = 662 H 30 = 50 aus KV = 320 von H 27	AN 100 %
Haus 21	Absorptionskältemaschine	480	H 21 A = 356 H 21 Bistro = 120 H 21 MRT = 60 aus KV von H 27	AN 100%
Haus 27	wassergekühlte Turbokältemaschine	2300	H 27 = 1611 H27 RZ = 96 H27 MRT = 91 in KV = 350 aus H 27 über KV zu H 19 = 152	AN 100%
Haus 25	wassergekühlte Turbokältemaschine	250	H 25 MRZ = 254 H 25 = 100 von KV H 40/27	AN 100%
Haus 40	wassergekühlte Turbokältemaschine	750	H 40 = 200 H 65/66 = 500 in KV zu H 25A = 50	AN 100%
Gesamt		4900	4868	

Tabelle 7 Übersicht Volllast

Im Vollastfall ist eine geringe Überdeckung der Kälteleistung auf der Erzeugerseite vorhanden. Im Betriebszustand ergibt sich also nahezu eine vollständige Auslastung der Kältemaschinen.

Gebäude	Kälteerzeugerart	theoretische Erzeugerleistung [kW]	tatsächlicher Kälteverbrauch an PWT [kW]	KM AN / AUS
Haus 33	Absorptionskältemaschine	230	H 33 = 40 aus KV von H 59	AUS
Haus 59	Wassergekühlte Turbokälte	500	H 59 = 362 H 20 = 76 in KV 40	AN 100%
Haus 58	Hubkolben Verdichter	390	H 58 = 587 H 30 = 40 aus KV = 237 von H 27	AN 100 %
Haus 21	Absorptionskältemaschine	480	H 21 A = 263 aus KV von H 27 H 21 Bistro = 120 aus KV von H 27 H 21 MRT = 60 aus KV von H 27	AUS
Haus 27	Wassergekühlte Turbokälte	2300	H 27 = 1180 H27 RZ = 96 H27 MRT = 91 in KV = 832 aus H 27 über KV zu H 19 = 152	AN 95%
Haus 25	Wassergekühlte Turbokälte	250	H 25 MRZ = 254 H 25 = 100 aus KV von H 40	AN 100%
Haus 40	Wassergekühlte Turbokälte	750	H 40 = 150 H 65/66 = 190 in KV = 100	AN 59%
Gesamt		4900	3680	

Tabelle 8 Übersicht Teillast

Im Teillastfall sind die Turbokältemaschinen und der Hubkolbenverdichter gut ausgelastet. Dagegen sind die Absorptionskältemaschinen auf der Grundlage der Prioritätenliste nicht in Betrieb. Nach Aussage des Auftraggebers treten in diesem speziellen Teillastfall die meisten hydraulischen Probleme im Kälteverbundsystem auf.

Aufgrund der Prioritätenliste arbeiten dabei Kälteerzeuger, die sich nicht in unmittelbarer Nähe der Verbraucher befinden. Beispielsweise muss ein Großteil der erzeugten Leistung des Kälteerzeugers vom Haus 27 bis zu den weitentfernten Häusern 33, 58 und 21 des Kälteverbundes transportiert werden. Speziell in diesem Fall treten die vom Auftraggeber geschilderten konträren Strömungsrichtungen auf. Diese sind im späteren Prozess der Optimierung konkret zu bestimmen.

Eine Begründung für plötzliche Lastspitzen und Lastsenken, wie in den Übersichtsdigrammen des Anhangs 3 erkennbar, liegt in der Charakteristik der installierten Medizintechnik. So tritt bei der Benutzung von Computertechnischer Graphologischer Geräte (CT/MRT) eine unmittelbare Lastabnahme ein.

3.2 Druckverluste im Kälteverbund

Im Übersichtsschema sind die errechneten Druckverluste aller Einbauteile aufgeführt. Diese wurden auf der Basis der Hersteller-Unterlagen berechnet. Die folgende Tabelle zeigt beispielsweise die berechneten Ventilkennwerte der im Kälteverbund eingebauten Durchgangsmotorventile der Firma Sauter.

Nr.	Benennung Netzentnahme	Leistung in kW	Spreizung	Volumenstrom [m ³ /h]	Kv errechnet [m ³ /h]	Kvs gewählt [m ³ /h]	Druckverlust am Ventil [kPa]	DN Ventil
1	Haus 40	200	6,00	28,66	90,64	100	8,21	80
2	Haus 65/66	500	6,00	71,65	226,59	240	8,91	125
3	Haus 27 RZ	96	6,00	13,76	43,51	40	11,83	50
4	Haus 27 MRT V = 2/3	60	6,00	8,60	27,19	28	9,43	50
5	Haus 27 MRT V = 1/3	31	6,00	4,44	14,05	16	7,71	32
6	Haus 27 A V = 2/3	1.056	6,00	151,33	478,56	350	18,70	150
7	Haus 27 A V = 1/3	544	6,00	77,96	246,53	240	10,55	125
8	Haus 25	100	6,00	14,33	45,32	40	12,84	50
9	Haus 25 MRZ	300	6,00	42,99	135,95	160	7,22	100
10	Haus 21	500	6,00	71,65	226,59	240	8,91	125
11	Haus 21 Bistro	120	6,00	17,20	54,38	63	7,45	65
12	Haus 21 MRT	60	6,00	8,60	27,19	28	9,43	50
13	Haus 19 V = 2/3	370	6,00	53,02	167,68	160	10,98	100
14	Haus 19 V = 1/3	190	6,00	27,23	86,10	100	7,41	80
15	Haus 58	1.060	6,00	151,91	480,37	350	18,84	150
16	Haus 30	100	6,00	14,33	45,32	40	12,84	50
17	Haus 59	750	6,00	107,48	339,88	350	9,43	150
18	Haus 20	76	6,00	10,89	34,44	40	7,41	50
19	Haus 33 V = 2/3	159	6,00	22,79	72,06	63	13,08	65
20	Haus 33 V = 1/3	81	6,00	11,61	36,71	40	8,42	50

Tabelle 9 Ventilkennwerte

Diese Werte sind auch im Übersichtsschema Kälteverbund angetragen. Anhand der berechneten Druckverluste kann eine Aussage zur Auslegung der Durchgangsmotorventile im Kälteverbund nach den anerkannten Regeln der Technik getroffen werden. Danach liegen diese im korrekten Druckverlustbereich und auch die erforderliche Ventilautorität wurde eingehalten. Die Durchgangsmotorventile haben in Verbindung mit der Schlechtpunkt-Regelung die Aufgabe, dass bei jedem Lastfall der Druckverlustsollwert von 0,5 bar über dem Entnahmekreis eingehalten wird.

Im Rahmen der Optimierung des Kälteverbundes ist auch zu überprüfen, ob dieser Druckverlust von 0,5 bar über jeden Entnahmekreis korrekt ist.

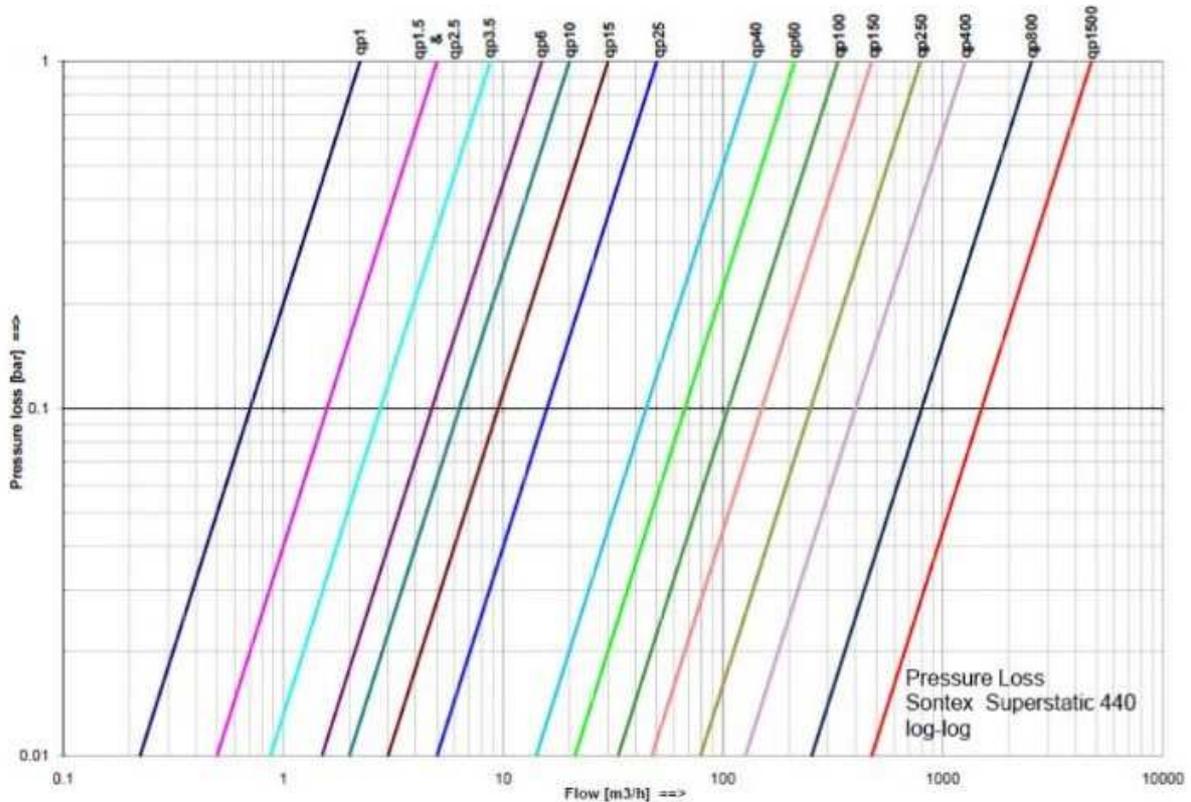
3.3 Kältemengenzähler im System

Eine korrekte Auswahl der Kältemengenzähler für das Verbundsystem ist die Grundlage für eine exakte Datenerfassung und Bewertung der hydraulischen Verhältnisse. Außerdem beeinflussen die Zähler mit den zugehörigen Druckverlusten die Hydraulik im Kälteverbund. In den folgenden Abbildungen sind die Daten und Druckverluste der verwendeten Schwingstrahl-Kältezähler der Firma Sontex aufgeführt

Nenn-durchfluss qp	Gewinde-anschluss	Flansch-anschluss	PN	Einbau- länge	Maximal- durchfluss qs	Minimal- durchfluss qi	Ansprech- grenze (50°C)	Druck- abfall bei qp	F hier- einbau- platz	Gewicht	Material
m ³ /h	G"	DN	PN	mm	m ³ /h	l/h	l/h	bar		kg	
1	3/4"	(15)	16/25	110	2	10	4	0.2	Ja	2.5	Messing
1	1"	(20)	16/25	190	2	10	4	0.2	Ja	3.4	Messing
1.5	3/4"	(15)	16/25	110	3	15	10	0.09	Ja	2.5	Messing
1.5	1"	(20)	16/25	190	3	15	10	0.09	Ja	3.4	Messing
2.5	1"	(20)	16/25	190	5	25	10	0.25	Ja	3.5	Messing
3.5	1 1/4"	(25)	16/25	260	7	35	15	0.16	Ja	4	Messing
3.5		25	16/25	260	7	35	15	0.16		6	Messing
6	1 1/4"	(25)	16/25	260	12	60	30	0.16	Ja	4	Messing
6		25	16/25	260	12	60	30	0.16		6	Messing
10	2"	(40)	16/25	300	20	100	50	0.25	Ja	5.5	Messing
10		40	16/25	300	20	100	50	0.25		8.5	Messing
15		50	16/25	270	30	150	75	0.25		10	ss/ci
25		65	16/25	300	50	250	125	0.25		12.5	ss/ci
40		80	16/25	225	80	800	400	0.09		14	ss/ci
40		80	16/25	300	80	800	400	0.09		15.5	ss/ci
60		100	16/25	250	120	1200	600	0.1		17	ss/ci
60		100	16/25	360	120	1200	600	0.1		20	ss/ci
100		125	16/25	250	200	2000	1000	0.1		18.5	ss
150		150	16/25	300	300	3000	1500	0.1		24	ss
150		150	16/25	500	300	3000	1500	0.1		27	ss
250		200	16/25	350	500	5000	2500	0.1		42	ss
400		250	16/25	450	800	8000	4000	0.1		58	ss

Abbildung 60 Technische Daten Kältezähler⁴⁷

⁴⁷ <http://www.sontex.ch>;22.03.2013


 Abbildung 61 Durchflussdiagramm Kältezähler⁴⁸

Dementsprechend sind die abgeleiteten Druckverluste sind für die real installierten Kältezähler in der nachfolgenden Tabelle aufgeführt.

Nr. in Schema	Gebäude	Volumenstrom [m ³ /h]	DN Zähler	Δp Zähler [Pa]
1	Haus 40	100,0	200	700
7	zu Haus 25	15,0	150	20
8	Haus 25 MRZ	43,0	125	350
9	Haus 27 MRT	13,3	80	250
10	Haus 27 RZ	13,8	80	300
11	Haus 27	229,3	250	2.200
13	Haus 21 Gesamt	100,0	125	3.000
14	Haus 21	71,2	125	1.900
15	Haus 19	80,3	150	1.800
17	Haus 58	152,0	150	1.900
18	Haus 59	119,0	150	3.000
21	Haus 33	35,0	100	1.800

Tabelle 10 Druckverluste Kältezähler

⁴⁸ <http://www.sontex.ch>;22.03.2013

Die auftretenden Druckverluste bei den jeweiligen Volumenströmen sind durch die korrekte Auswahl der Kältezähler sehr gering. Die zugehörigen Zählernummern finden sich im Übersichts-Schema wieder.

3.4 Aufnahme der Netzeinspeisepumpen

In der folgenden Tabelle sind die im Kälteverbund installierten Netzeinspeisepumpen aufgelistet.

	Haus 40	Haus 27	Haus 25	Haus 21	Haus 59	Haus 58	Haus 33
Leistung Kältemaschine [kW]	750	2360	250	482	500	950	230
Kälteverbraucher [kW]	H 40 = 200 H 65/66 = 500		400	680	826	1160	230
Priorität	1	1	1	3	2	2	3
Pumpenhersteller	Grundfos	WILO	Grundfos	Grundfos	Wilo	Grundfos	WILO
Pumpentyp	TPE 80-250/2S		TPE 65-110/2S		IL-E80/140-7,5/2-R1		DL-E 65/6-24PLR
Förderstrom [m³/h]	107	340	36	68,9	54,3	135,8	33
Förderhöhe [mWS]	22	17,9	22	22	34,7	32	26
Pumpen Stutzen [DN]	80	200	65	125	80	100	65
Anzahl Pumpen (redundanz)	3	2	2	2	2	2	2
Vollastfall	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Teillastfall	7	7	7	7	7	7	7
Schwachlastfall	67	67	67	67	67	67	67
Grundlastfall	25	25	25	25	25	25	25
[kWh/a]					30829		
Betriebskosten [€]					4932,64		
Motordrehzahl [min-1]	350-3510	2900	2880	2880	360-2910	2900	2900
Motorleistung [kW]	7,5	30	7,5	7,5	7,5	11	5,5

Tabelle 11 Pumpenübersicht

Auslegung und Einsatz der Pumpen erfolgte nach der maximalen Kühllast des Kälteerzeugers im Verbund. Diese ist abhängig von den klimatischen Bedingung der Umwelt sowie dem Nutzungsverhalten im Uniklinikum. Dabei wurden ausschließlich drehzahlgeregelte Pumpen für die Netzeinspeisungen eingesetzt.

Im Kälteverbund müssen die Pumpen die Summe der Reibungsverluste von Rohrleitungen, Ventilen, Wärmeübertragern und sonstigen Armaturen und Einbauteilen un-

unterschiedlichster Art und Dimensionierung überwinden. Dieser Gesamtdruckverlust und der leistungsabhängige maximale Volumenstrom sind die Auslegungsparameter für die Umwälzpumpen. Bei drehzahlgeregelten Pumpen wird die Leistung über einen Frequenzumrichter entsprechend dem jeweiligen Lastanfall im System geregelt. Bei der Auslegung der Pumpe muss unbedingt darauf geachtet werden, dass der Betriebspunkt der Pumpe im Bereich des höchsten Wirkungsgrades liegt. Besonders dieser Sachverhalt wird bei den Optimierungspotential des Kälteverbundes begutachtet werden.

3.5 Hydraulische Schaltung im Kälteverbund

Zur Regelung der erforderlichen Kälteleistung an den Netzentnahmekreisen wird die Drosselschaltung angewendet. Die Leistungsanpassung erfolgt über das Drosseln des Volumenstromes mit einem Durchgangsventil, wie es unter Punkt 2.10 beschrieben wurde. Die Beeinflussung des Volumenstroms führt zu einer Differenzdruckänderung an den zugeordneten Plattenwärmeübertragern und einer Verschiebung der Betriebspunkte der Netzeinspeisepumpen. Durch einen definierten Druckverlust im Entnahmekreis wird der Volumenstrom über die Pumpendrehzahl geregelt.

Die Drosselschaltung ist prinzipiell für die Anwendung im Kälteverbund geeignet. Dennoch wird in Anbetracht der Optimierungsmöglichkeiten geprüft, ob nicht andere hydraulische Schaltungen besser geeignet sind.

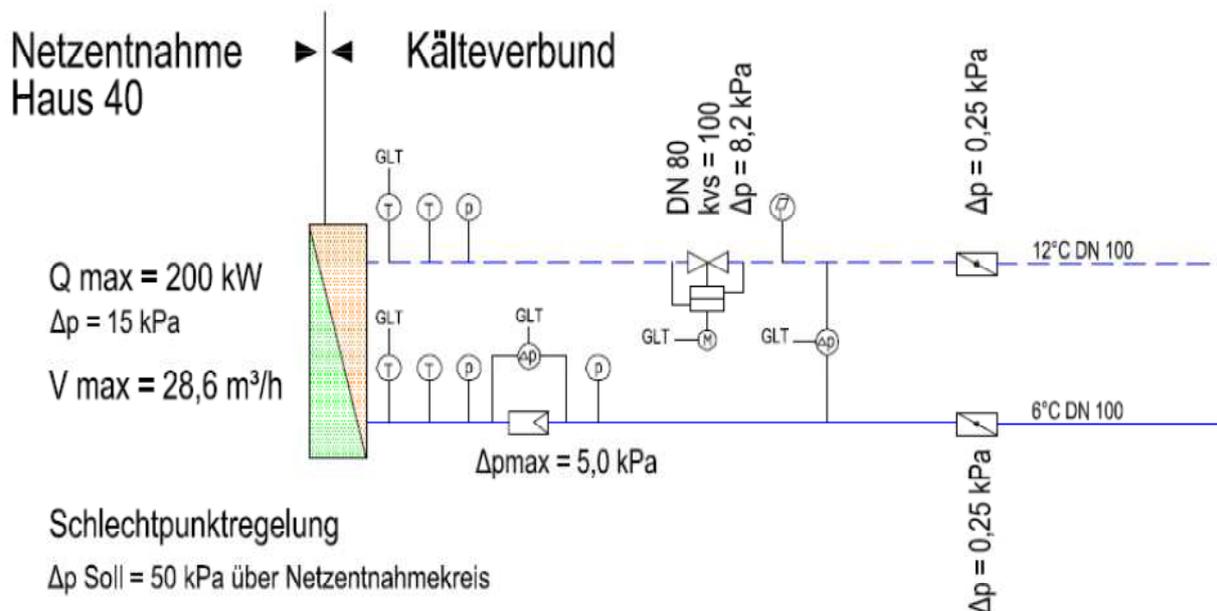


Abbildung 62 Drosselschaltung im Kälteverbund Haus 40

4. Allgemeine Beurteilung des Kälteverbundes

Auf der Grundlage von Revisionszeichnungen und Bestandsplänen der Planungsbüros und Ausführungsfirmen wurde der hydraulische Ist-Zustand des Kälteverbundes erfasst. Maßgeblich waren dabei der Übersichtsplan des Kollektorgrundrisses und die Kälteschemata der einzelnen Häuser sowie Angaben von der Technischen Abteilung des Uniklinikums.

Um den Kälteverbund hydraulisch zu bewerten, wurden die einzelnen Entnahme- und Einspeisestellen mit der MH-Software unter Berücksichtigung der tatsächlichen Längen und Formstücke aus den Bestandsunterlagen sowie durch Aufmaße Vorort nachdimensioniert. Dabei wurde festgestellt, dass die Rohrabschnitte auf der Entnahmeseite in den einzelnen Häusern relativ großzügig dimensioniert sind. Im Durchschnitt liegt das Rohrreibungsgefälle der Entnahmekreise zwischen 30 bis 150 Pa/m und die maximale Fließgeschwindigkeit liegt bei 1,6 m/s.

Dagegen war die Berechnung der Kälteverbund-Netzeinspeisungen mit einer handelsüblichen Software nicht möglich. Branchenübliche Softwarelösungen sind nicht in der Lage vermaschte Rohrnetzsysteme, in denen zusätzlich je nach Lastfall unterschiedliche Fließrichtungen herrschen, zu berechnen. Die konträren Medienströme werden durch die Messwerte der GLT nachgewiesen. Eines der wenigen Programme, das in der Lage ist verzweigte Rohrleitungsnetze mit mehreren Erzeugern in verschiedenen Zuständen zu berechnen, ist STANET. Dieses Berechnungsprogramm wird hauptsächlich von den großen Versorgungsunternehmen verwendet.

Grundsätzlich gilt die Diagnose, dass der Kälteverbund mit ausreichender Reserve zum Transport von Kälteleistung dimensioniert ist.

Hauptaufgabe der Diplomarbeit ist eine detaillierte Berechnung des Rohrnetzes als Grundlage für konkrete Optimierungsvorschläge des Kälteverbundnetzes sein. Eine erste Bewertung der eingesetzten Netzeinspeisepumpen ergab, dass diese mit der angewandten Drosselschaltung harmonisieren. Die Pumpen sind nach der Rohrnetzberechnung mit der Pumpenkennlinie abzugleichen um mögliche Optimierungen durchzuführen.

5. Berechnungen zum Kälteverbundnetz

5.1 Dimensionierung, Druckgefälle und Leitungsverluste

Mit dem Berechnungsprogramm STANET, das als kostenfreie Studentenlizenz vom Ingenieurbüro Fischer-Uhrig aus Berlin zur Verfügung gestellt wurde, hatte ich die Möglichkeit das verzweigte Kälteverbundnetz mit mehreren Erzeugern computergestützt zu simulieren und zu berechnen. Die detaillierten Berechnungsergebnisse sind im Anhang A4 aufgeführt. In diesem Abschnitt wird eine zusammenfassende Auswertung durchgeführt. Die Berechnung der verschiedenen Lastfälle erfolgte auf Grundlage der Auswertung der Verbrauchsmessungen sowie des Masterplans des Kälteverbundes.

Die hydraulische Berechnung mit STANET gab Aufschluss über folgende physikalische Parameter des Kälterohrleitungssystems im Uniklinikum Dresden:

1. Die Druckverluste und berechneten Drücke im Netz liegen im grünen Bereich der Auslegungsvorgaben eines Kältenetzes. Das Rohreibungsgefälle liegt zwischen 30 und 150 Pascal pro Meter. Richtwerte für derartige Verbundnetze werden zwischen 30 und 350 Pascal pro Meter angesetzt. Damit befindet sich das Netz des Uniklinikums am guten unteren Rand der Skala.
2. Die Rohrleitungsdimensionen sind in allen Lastfällen mit genügend Reserve dimensioniert. Die Strömungsgeschwindigkeiten im Kälteverbund liegen zwischen 0,3 und 1,7 Meter pro Sekunde, und befinden sich somit im technisch richtigen Bereich. Richtwerte für Strömungsgeschwindigkeit in Kälteverbundnetzen werden von 0,4 bis 2,5 Meter pro Sekunde veranschlagt.
3. Die Temperatur- und Leistungsverluste sind aufgrund der guten und vollständig ausgeführten Isolierung sehr gering. Ein weiterer Aspekt für die niedrigen Verluste ist der überwiegende Rohrleitungsverlauf im Erdreich und in Kollektorgängen. Dadurch sind die Temperaturdifferenzen zwischen Medium und Umgebung sehr gering. Das Berechnungsprogramm ermittelte einen Wärmeverlust von 5 Watt pro Meter.
4. Die Aussage über konträre Volumenstromrichtungen in bestimmten Lastfällen aufgrund gegeneinander drückender Pumpen konnte bei der durchgeführten Simulation nicht bestätigt werden. Die Ursache für die Abweichung zwischen theoretischer Berechnung und Beobachtungen in der Praxis des Kälteverbundes könnte damit begründet werden, dass genau dieser spezielle Lastfall

bei der messtechnischen Erfassungen nicht berücksichtigt wurde, und somit auch nicht simuliert werden konnte. Ein weiterer Grund könnte sein, dass es bei der Beobachtung zu Fehlern im Messsystem gekommen ist, und dadurch die abgelesenen Werte falsch interpretiert wurden. Diese Ursache, wurde durch die Techniker des Uniklinikums häufig angesprochen und teilweise auch dokumentiert, dass eine Anzeige von extrem abweichenden, teilweise unrealistischen Messwerten zum realen Anlagengeschehen erfolgte. Eine weitere Möglichkeit für die Widersprüchlichkeit zwischen Beobachtungen und Berechnung sind denkbare versteckte Fehlerquellen innerhalb des Rohrleitungssystems, die bei der Kalkulation nicht berücksichtigt wurden. Bei der Größe und Komplexität des Netzes könnte diese Fehlerquelle durchaus realistisch sein.

Grundlegendes Fazit der Netzberechnung ist, dass die Hydraulik des Kälteverbundes exakt geplant und ausgeführt wurde. Dabei ist zu berücksichtigen, dass im Laufe der Jahre ständig Erweiterungen und Umbauten erfolgten. Deshalb erscheint das Netz als zusammengepuzzelt und an verschiedenen Stellen hätte es wohl beim Wissen um die Vergrößerung anders ausgeführt werden können. Die Kälteversorgung über das Verbundnetz des Uniklinikums funktioniert reibungslos und stellt eine enorme Verbesserung bei der Versorgungssicherheit dar. Im fortwährenden Prozess der Erweiterung des Kälteverbundes müssen die hydraulischen Schaltungen der Neueinbindungen an den Stand der Technik angepasst werden, um sofort hydraulische Probleme zu vermeiden. Überdies sollte im Zuge des Netzausbaus die Möglichkeit der Ringzusammenschlüsse in Hinblick auf die erforderlichen Drücke im Kälteverbundnetz betrachtet werden. Die Durchmesseroptimierung der Rohrleitungen wird im folgenden Abschnitt ausgewertet und präsentiert.

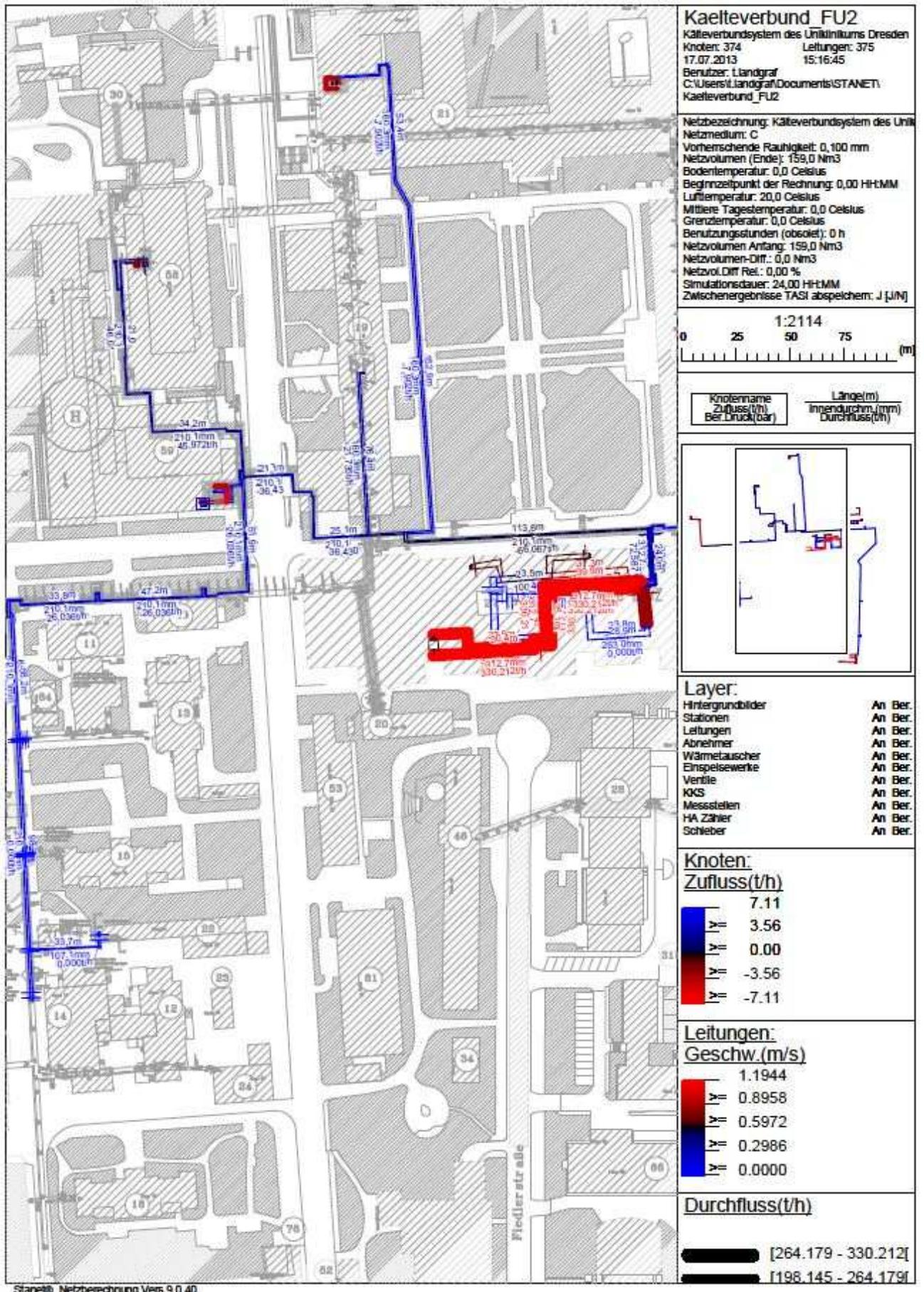


Abbildung 63 Übersichtsplan im Berechnungsprogramm STANET

5.2 Vergleich des Bestandsnetzes mit dem berechneten Netz

Die wesentlichen Merkmale der Rohrnetzberechnung beruhen auf den physikalischen Zusammenhängen nach Bernoulli. Wichtige Faktoren für die Bewertung von Rohrnetzen sind der Druckverlust oder auch Rohrreibungsgefälle in Pascal pro Meter, die Strömungsgeschwindigkeit in Meter pro Sekunde und der Temperaturverlust in Watt pro Meter. Der Ist-Zustand des Kälteverbundes entspricht mit kleineren Abweichungen nahezu dem berechneten Rohrnetz, das unter den technischen Richtwerten nach dem Stand der Technik dimensioniert wurde. Im Bestandsnetz des Kälteverbundes sind die Leitungswege zu den Kälteverbrauchern so dimensioniert, dass auch bei technischen Problemen und Ausfällen von in einzelnen Erzeugeranlagen eine ausreichende Versorgung der Verbraucher gewährleistet ist. Demzufolge sind die Rohrleitungen im Verbundnetz für entsprechend große Volumenströme ausgelegt. Zur Verbesserung der Netzhydraulik wurde eine Durchmesseroptimierung durchgeführt mit dem Ergebnis, dass die Rohrleitungen des Bestandsnetzes fast durchgängig im Rahmen technisch sinnvoller Parameter dimensioniert sind. Lediglich im Bereich Haus 33 liegt bei einem Rohrdurchmesser von DN 80 die Strömungsgeschwindigkeit bei Volllast mit 1,71 Meter pro Sekunde und das Rohrreibungsgefälle mit 360 Pascal pro Meter leicht über den Richtwerten. Bei einer denkbaren Erweiterung des Verbrauchers sind nicht genügend Leistungsreserven über das Rohrnetz vorhanden. Deshalb wäre dort eine Erhöhung der Rohrdimension auf DN 125 empfehlenswert.

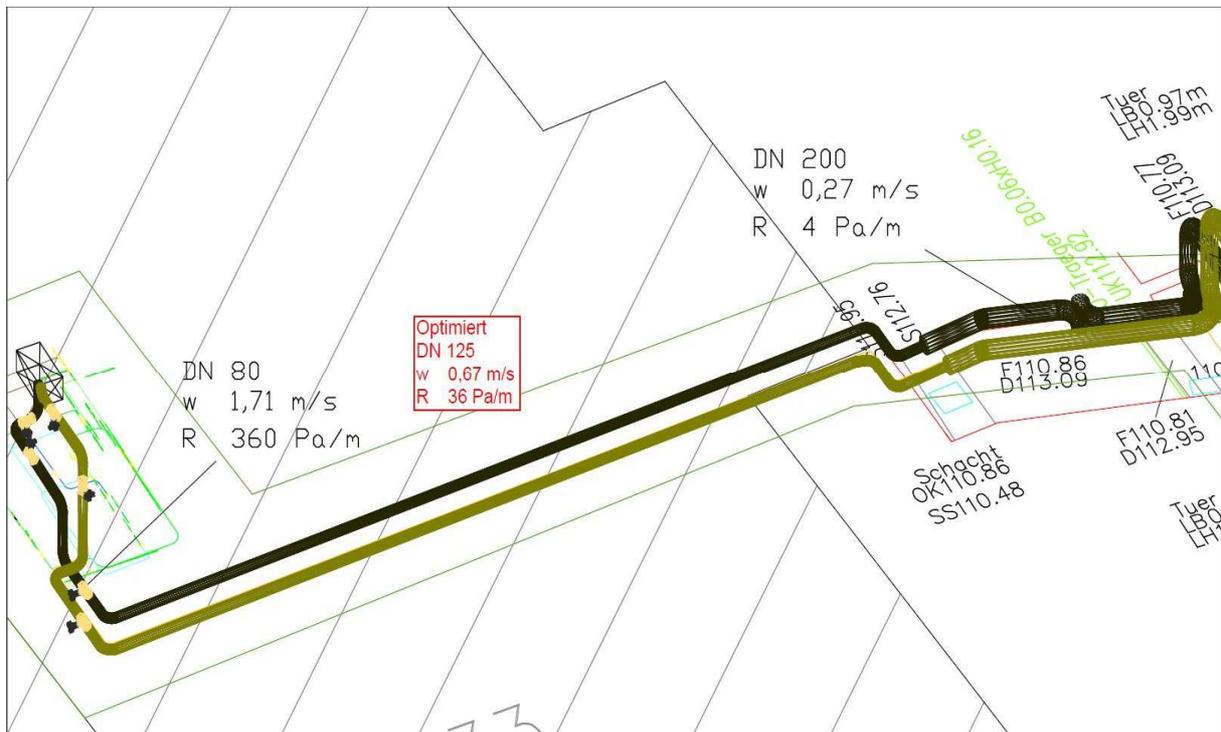


Abbildung 64 Anschlussleitung Haus 33

6. Optimierungspotential des Kälteverbundes

- Netzeinspeisepumpen und Schlechtpunktregelung
- Hydraulische Schaltungen
- Ringzusammenschluss
- Zentrale Einspeisung
- Kältepufferspeicher
- Kältemengenzähler

6.1 Drehzahlgeregelte Pumpen im Kälteverbund

6.1.1 Pumpensubstitution

Ein Austausch der vorhandenen Netzpumpen mit Hocheffizienzpumpen der neusten Generation, Typ Magna 3 oder Stratos der führenden Hersteller Grundfos oder Wilo, lässt sich aufgrund des geringen Einsparpotentials an Elektroenergie im Vergleich zu den hohen Anschaffungskosten unter technischen und wirtschaftlichen Aspekten nicht darstellen.

6.1.2 Schlechtpunktregelung

Für die Schlechtpunktregelung im Kälteverbund sind derzeit gleiche feststehende Sollwerte für den Differenzdruck über alle Netzentnahmekreise hinterlegt. Diese könnten entsprechend den jeweiligen Anforderungen für jeden Entnahmekreis separat definiert werden. Die maximalen erforderlichen Differenzdrücke zur Gewährleistung der ausreichenden Versorgung mit Kälte ergeben sich aus dem Massestrom bei Vollast und einer Temperaturspreizung zwischen Vor- und Rücklauf von 6 Kelvin. Außerhalb der Sommerspitzen insbesondere im Winter ist die erforderliche Kälteleistung geringer. Demzufolge werden bei relativ konstanter Temperaturspreizung die notwendigen Volumenströme und somit auch die Differenzdrücke über den Verbrauchern geringer. Die Anwendung neu definierten Differenzdrücke ab einer festgelegten Außentemperatur unterhalb des Vollastbetriebs in Form einer gleitenden Schlechtpunktabelle würde in allen Teillastfällen Antriebsenergie der Pumpen einsparen. Die entsprechenden Differenzdrücke bei gleitend abgesenkten Schlechtpunkt sind in der Tabelle 12 aufgeführt.

Als Beispiel für die Auslegung des erforderlichen Differenzdruckes wurde die Netzentnahme im Haus 59 auf der Basis des entsprechenden Übersichtsschemas gewählt. Dabei wurden die tatsächlichen Rohrlängen sowie die Anzahl aller Formteile und Armaturen berücksichtigt.

Die Druckverlustberechnung der eingesetzten Wärmeübertrager wurde mit Unterstützung der Firma Heat-Transfer durchgeführt. Somit konnten die Druckverluste der Wärmetauscher im Voll- und Teillastfall ermittelt werden. Die Berechnungen der Differenzdrücke wurden mit der MH-Software durchgeführt. Sie ergab, dass der Schlechtpunkt über dem Entnahmekreis im Haus 59, der unter Vollastbedingungen mit einem Differenzdruck von 0,5 bar definiert ist, im Teillastbereich auf 0,19 bar reduziert werden kann. Im Grund- und Schwachlastbereich ist eine weitere Absenkung möglich. Da aber für diese Lastfälle keine Messergebnisse zur Verfügung stehen, sind diese nicht mit berechnet worden. Die detaillierten Ergebnisse der absenkbaren Differenzdrücke für das Beispiel Haus 59 befinden sich im Anhang A5. Die analogen Schlechtpunktabsenkungen für die Teillastbedingungen der anderen Objekte sind in der Tabelle 12 zusammengefasst.

Gebäude	max. Leistung am WÜ [kW]	max. Volumenstrom [m ³ /h]	dp max. Soll [bar]	dp min. abgesenkt [bar]
Haus 40	200	28,6	0,5	0,2
Haus 65/66	500	71,4	0,5	0,2
Haus 27	1.600	229,3	0,5	0,2
Haus 27 MRT	91	13,3	0,5	0,3
Haus 27 RZ	96	13,8	0,5	0,3
Haus 25 MRZ	300	43,0	0,5	0,3
Haus 25	100	15,0	0,5	0,2
Haus 21	500	71,2	0,5	0,2
Haus 21 Bistro	120	17,2	0,5	0,3
Haus 21 MRT	60	8,6	0,5	0,3
Haus 19	560	80,3	0,5	0,3
Haus 58	1.060	151,9	0,5	0,2
Haus 30	100	14,8	0,5	0,2
Haus 59	750	107,5	0,5	0,2
Haus 20 PACS	76	10,9	0,5	0,2
Haus 33	240	34,4	0,5	0,2

Tabelle 12 Schlechtpunktetabelle mit abgesenkten Werten

Diese durchführbare Reduzierung der Differenzdrucksollwerte muss Anlass sein, eine gleitende Schlechtpunktabsenkung im Kälteverbund einzuführen. Im Unterschied zum Pumpenaustausch ist für diese Umstellung außer den notwendigen Arbeitsleistungen im Rahmen der Neuparametrierung keine Investition zu tätigen.

Berechnung des Pumpeneinsparpotentials:

$$P_{Elt} = \frac{V * \Delta p_{Diff}}{3600 * \eta_{ges}}$$

Formel 28 Pumpenleistung

P_{Elt} = Pumpenleistung [W]

V = Volumenstrom [m³/h]

Δp_{Diff} = notwendiger Differdruck [Pa]

3600 = Umrechnung [s/h]

η_{ges} = Gesamtwirkungsgrad

$$\eta_{ges} = \eta_P * \eta_M$$

Formel 29 Gesamtwirkungsgrad der Pumpe

η_{ges} = Gesamtwirkungsgrad

η_P = Pumpenwirkungsgrad

η_M = Motorwirkungsgrad

Für die Berechnung des Pumpeneinsparpotentials sind die Jahresnutzungsstunden der Pumpen von grundlegender Bedeutung.

Zur Ermittlung der Jahresbenutzungsstunden für einen speziellen Lastfall nutzt man das Test-Referenz-Jahr, kurz TRY. Danach erfolgt die Einteilung Deutschlands in 15 TRY-Klimaregionen, wobei sich Dresden in der Klimaregion 4 befindet.

Die Testreferenzjahre sind speziell zusammengestellte Datensätze, die für jede Stunde eines Jahres verschiedene meteorologische Daten enthalten. Sie sollen einen mittleren, aber für das Jahr und eine bestimmte Region typischen Witterungsverlauf repräsentieren. Solche Datensätze werden vor allem für Simulationen und Berechnungen von Heizungs- und raumluftechnischen Anlagen von Planern und Ingenieuren genutzt. Im speziellen Fall des Kälteverbundnetzes werden hier die Jahresstunden ab einer festgelegten Außentemperatur als Vollastfall definiert. Diese anfallenden Stunden ab der festgelegten Außentemperatur werden über das gesamte Jahr addiert und resultieren zu den Jahresnutzungsstunden für den jeweiligen Lastfall. Die lastabhängigen Jahresnutzungsstunden wurden gemeinsam mit dem Uniklinikum festgelegt. Der Vollastfall gilt ab einer Außentemperatur größer 26 °C. Daraus ergibt sich eine Summe von 100 Stunden Vollast pro Jahr. Der Teillastfall gilt bei Außentemperaturen von 20°C bis kleiner 26°C. Er tritt nach dem Test-Referenz-Jahr 602 Stunden pro Jahr ein. Der Grundlastfall, bei Außentemperaturen von 12°C bis kleiner 20 °C, wird gemäß TRY 2134 Stunden pro Jahr entstehen, und der Schwachlastfall ab einer Außentemperatur unter 12°C demzufolge 5924 Stunden pro Jahr. Im Anhang A6 ist die Auswahl der Jahresstunden nach dem Test-Referenz-Jahr (TRY) beispielhaft aufgeführt.

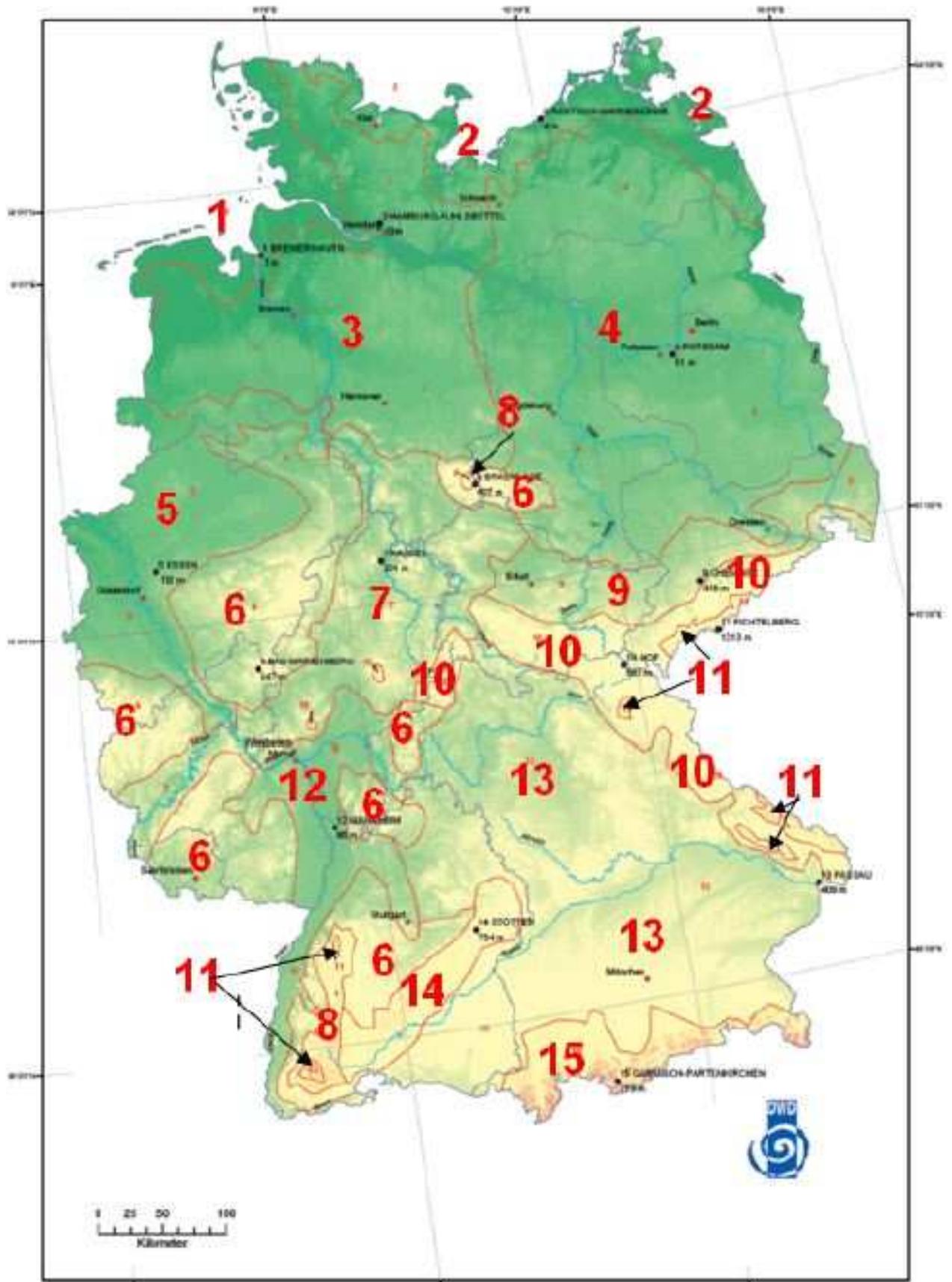


Abbildung 65 Einteilung Deutschlands in Klimaregionen⁴⁹

⁴⁹ <http://www.irb.fraunhofer.de/bauforschung/baufolit/projekt/20118035316>; 11.07.2013

6.2 Hydraulische Schaltungen

Im Kälteverbund des Uniklinikums Dresden wird die Leistungsanpassung augenblicklich über eine Drosselregelung realisiert. Diese Schaltungsvariante ist unter energetischen Aspekten nicht unbedingt optimal, denn bei dieser Regelungsvariante wird Antriebsenergie der Pumpen geradezu vernichtet. Außerdem erfordert sie hier eine Fahrweise der Netzeinspeisepumpen mit konstantem Differenzdruck. Dabei bietet der Pumpenbetrieb mit variablem Differenzdruck, wie er mit gleitend abgesenkten Schlechtpunkt möglich ist, eine beträchtliche energetische Verbesserung. Grundlegend ist festzustellen, dass im Fall des Kälteverbundes die Drosselschaltung funktioniert, aber keine zeitgemäße Regelungsart darstellt. Eine Alternative und auch nach dem Stand der Technik wesentlich bessere Variante ist die Einspritzung über einen drucklosen Verteiler. Dabei wird der erforderliche Volumenstrom bei Volllast über eine Einzelkreispumpe aus dem Kälteverbund gezogen. Bei geringeren Lastanforderungen versorgen die Netzeinspeisepumpen über einen Bypass weiterhin direkt den Netzentnahmekreis. Eine Motorklappe sorgt dafür, dass dabei die Einzelkreispumpe nicht vom Volumenstrom durchflossen sondern über den Bypass geleitet wird. Die Einzelkreispumpe wird über die Temperaturdifferenz der Netzentnahmeseite geregelt. Erzeuger- und Verbraucherkreis erhalten konstante Durchflussmengen. Ein weiterer großer Vorteil dieser Schaltungsvariante ist, dass mehrere Verbraucherkreise ohne gegenseitige Beeinflussung angeschlossen werden können.

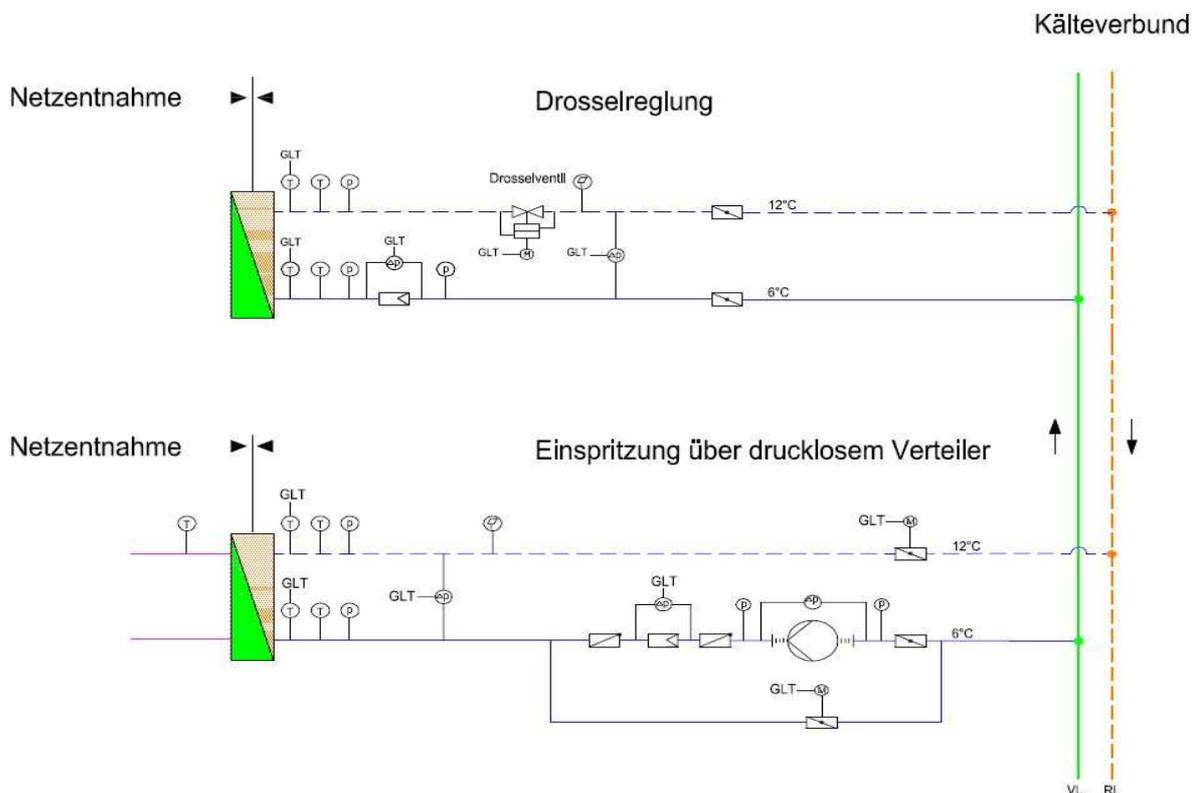


Abbildung 66 Gegenüberstellung der hydraulischen Schaltungen

6.3 Netzoptimierung durch Ringzusammenschluss

Eine gewagte Optimierungsthese ist die Herstellung eines Ringzusammenschlusses im Kälteverbund. Dadurch ist zweifellos eine bessere und optimierte Volumenstromverteilung im Kälteverbund möglich, denn je nach Anforderung kann über den kürzesten Weg der erforderliche Volumenstrom zum entsprechenden Verbraucher gelangen. Die leistungsbedingten Druckverluste werden dabei erheblich reduziert.

Indessen wird aufgrund der aktuellen Bestandssituation der bauliche Aufwand in keinem Verhältnis zu den Einsparungen stehen. Das Verbundnetz verläuft unterirdisch und in Kollektorgängen über das gesamte Gelände Uniklinikums. Die Zusammenführung dieses verzweigten Netzes zu einem Kälteversorgungsring ist technologisch sehr kompliziert und aufwendig. Unabhängig von konkreten Kostenvoranschlägen kann an dieser Stelle eingeschätzt werden, dass die erforderlichen Investitionen in keinem Verhältnis zum Einsparpotential stehen.

Mit dem Berechnungsprogramm STANET vom Ingenieurbüro Fischer-Uhrig wurde die Dimensionierung des Ringnetzes durchgeführt. Die im Anhang A7 beigefügten Ergebnisse zeigen, dass ein Ringaufbau grundsätzlich möglich ist und auch die Volumenstromverteilung sowie die Redundanz bei Anlagenausfällen und Havarien sowie bei Instandhaltungsmaßnahmen stark verbessern würde.

In der Praxis des Kälteverbundes werden zunächst an speziell dafür geeigneten Punkten, wie aktuell zwischen Haus 21 und Haus 25, kleine Ringnetze aufgebaut. Die Auswertung der Ergebnisse aus diesem Pilotprojekt wird Aufschluss über Funktionsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit geben, und schließlich auch über den weiteren Ausbau mehrerer kleinerer oder eines lückenlosen Kälteversorgungsringnetzes entscheiden.

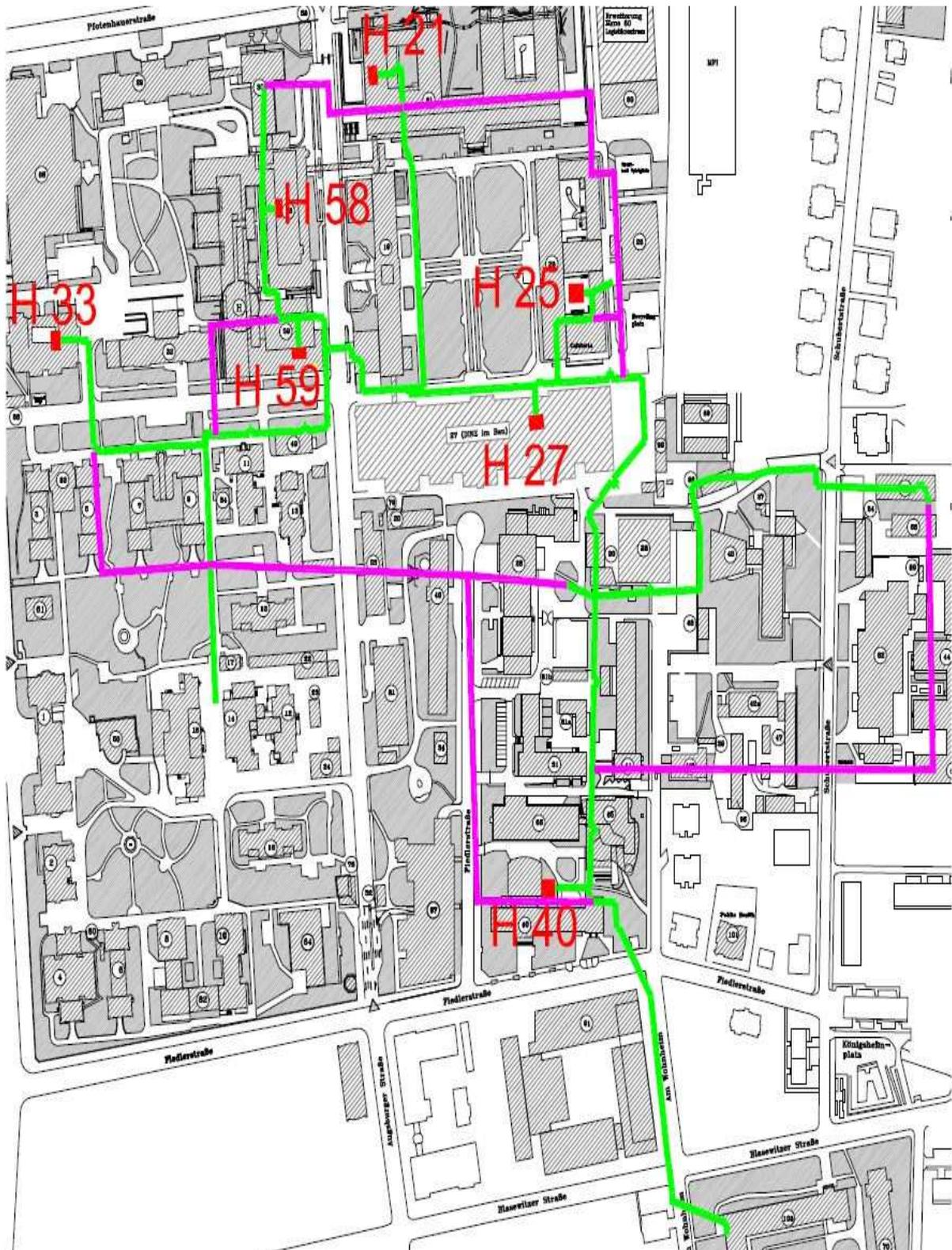


Abbildung 67 Trassenverlauf beim Ringzusammenschluss

- Legende:
- Kälteverbund-Bestand
 - Kälteerzeuger
 - Ringzusammenschluss

6.4 Zentrale Einspeisung in das Kälteverbundnetz

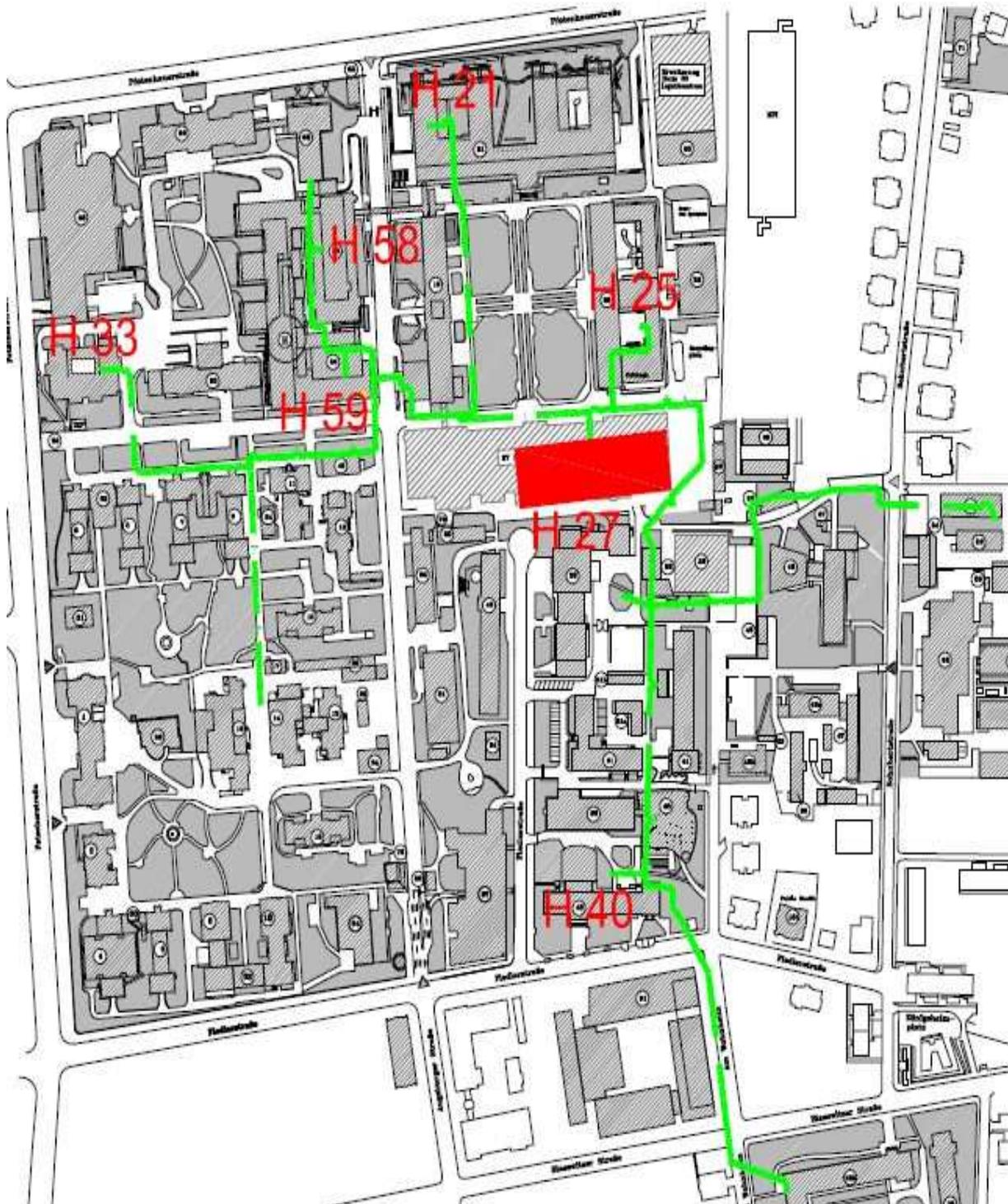


Abbildung 68 Kälteverbund mit zentraler Kälterzeugung im Schwachlastfall

- Legende:
- Kälteverbund-Bestand
 - zentrale Kälterzeuger im Haus 27 DINZ $Q_K = 2,3 \text{ MW}$
für Schwachlastfall alle anderen Kälterzeuger sind nicht
in Betrieb

Eine prinzipielle Überlegung zur Verbesserung der Hydraulik und Effizienz des Kälteverbundes ist die Errichtung einer einzigen zentralen Kälteerzeugung mit der Option zur Erweiterungsfähigkeit. Diese Zentrale sollte möglichst im Mittelpunkt des Klinikgeländes und zur Gewährleistung der Versorgungssicherheit auf jeden Fall redundant geplant werden. Die Vorteile einer zentralen Kälteerzeugung wären vielfältig. Beginnend bei der enormen Platzeinsparung bezogen auf die Gesamtfläche der existierenden separaten Kälteerzeugungen bis hin zur Organisation und Durchführung von Betreuung, Betrieb, Steuerung und Wartung. Selbstverständlich würden in einer neuen Zentrale ausschließlich moderne hocheffiziente Aggregate zum Einsatz kommen. Die Realisierung eines solchen Projekts im historisch gewachsenen Kälteverbund wird höchstwahrscheinlich unmöglich und auch wirtschaftlich nicht darstellbar sein. Der gesamte Kälteverbund müsste im laufenden Klinikbetrieb umgebaut werden und ein zusätzliches Gebäude als Kältezentrale in das Gelände des Klinikums integriert werden. Dabei müssen auch ausreichend verfügbare Rückkühlflächen, der hohe Lärmpegel und die besondere Baustatik berücksichtigt werden. Wenngleich die Errichtung einer einzelnen großen neuen Kältezentrale unrealistisch ist, kann eine zentrale Einspeisung im Schwachlastfall eine durchführbare Modifikation sein. Diese Anwendung könnte beispielweise von der Kältezentrale im Haus 27 DINZ ausgeführt werden. Dafür müsste lediglich die Prioritätenprogrammierung im Schwachlastfall so angepasst werden, dass alle anderen Kälteerzeuger im Schwachlastbetrieb ausgeschaltet sind. Damit würde sich der Wirkungsgrad des Turboverdichters im Haus 27 und somit des gesamten Netzes im speziellen Lastfall erhöhen. Außerdem wird insgesamt wesentlich weniger elektrische Energie für Kälteerzeuger, Pumpen, Ventilsteuerungen und Nebenaggregate erforderlich. Diese zentrale Einspeisung von Haus 27 bei Schwachlast sollte mit relativ wenig Aufwand und unter realen Bedingungen versuchsweise geprüft werden, um das energetische Einsparpotential nachzuweisen. Die rechnerische Überprüfung der zentralen Einspeisung wurde mit der MH-Software durchgeführt, mit dem Ergebnis, dass die zentrale Einspeisung im Schwachlastfall grundsätzlich kein hydraulisches Problem darstellt. Die notwendigen Druckdifferenzen und Volumenströme sind mit den vorhandenen Pumpen bei technisch korrekten Fließgeschwindigkeiten im bestehenden Rohrnetz durchführbar.

Da für den Schwachlastfall keine Messwerte zur Verfügung standen, wurde in Zusammenarbeit mit der Technischen Abteilung des Uniklinikums die Netzentnahmelleistungen für diesen Betriebsfall festgelegt. Eine Übersicht zu den Kälteerzeugerleistungen im Schwachlastfall bietet die Tabelle 13. Eine Ausnahme bildet das Rechenzentrum, das weiterhin über die Kälteerzeugung im Haus 25 versorgt wird. Im Haus 25 wurde extra dafür eine spezielle redundante Anlage errichtet.

Die Berechnungsergebnisse der Software für die hydraulische Funktionsweise der zentralen Einspeisung sind im Anhang A8 ersichtlich.

Gebäude	Kälteerzeugerart	theoretische Erzeugerleistung [kW]	tatsächlicher Kälteverbrauch an PWT [kW]	KM AN / AUS
Haus 33	Absorptionskältemaschine	230	H 33 = 20 aus KV von H 59 aus KV = 20 von H 27	AUS
Haus 59	Wassergekühlte Turbokälte	500	H 59 = 140 H 20 = 76 aus KV = 216 von H 27	AUS
Haus 58	Hubkolben Verdichter	390	H 58 = 120 H 30 = 40 aus KV = 160 von H 27	AUS
Haus 21	Absorptionskältemaschine	480	H 21 A = 50 aus KV von H 27 H 21 Bistro = 120 aus KV von H 27 H 21 MRT = 60 aus KV von H 27	AUS
Haus 27	Wassergekühlte Turbokälte	2300	H 27 = 400 H27 RZ = 96 H27 MRT = 91 in KV = 796 aus H 27 über KV zu H 19 = 25	AN 61 %
Haus 25	Wassergekühlte Turbokälte	250	H 25 MRZ = 254 H 25 = 0	AN 100 %
Haus 40	Wassergekühlte Turbokälte	750	H 40 = 50 H 65/66 = 120 aus KV = 170 von H 27	AUS
Gesamt		4900		1408

Tabelle 13 Übersicht Kälteleistungen Schwachlastfall

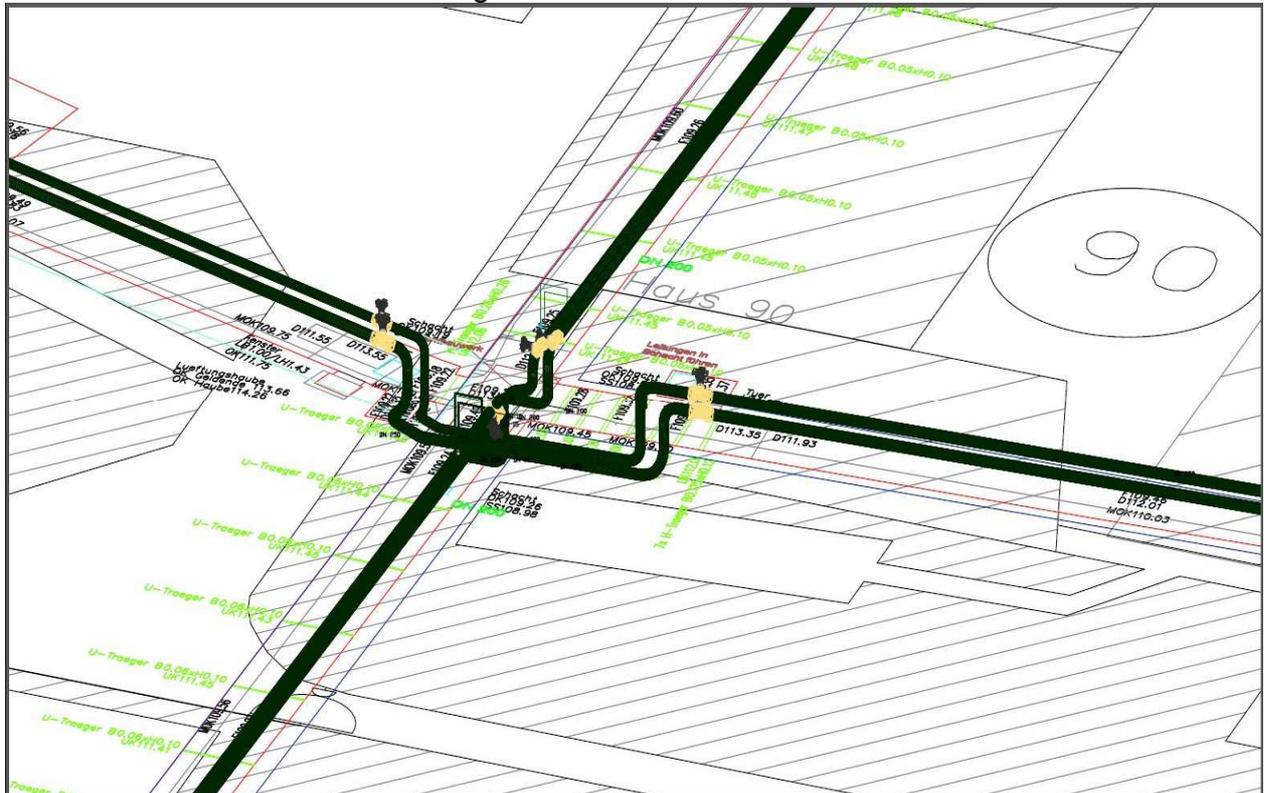


Abbildung 69 Auszug zentrale Einspeisung Haus 90 (Mammutfalle)

6.5 Einsatz von Kaltwasserspeichern im Kälteverbund

Zur energetischen Optimierung der Kältemaschinen ist die Fahrweise der Kälteerzeuger ausschlaggebend. Die Leistungszahl ist abhängig von Art und Typ des Kälteerzeugers. Beispielsweise haben Absorptionskältemaschinen nur im Volllastbereich eine hohe Leistungszahl. Dagegen sind Turbokältemaschinen auch im Teillastbetrieb sehr effektiv.

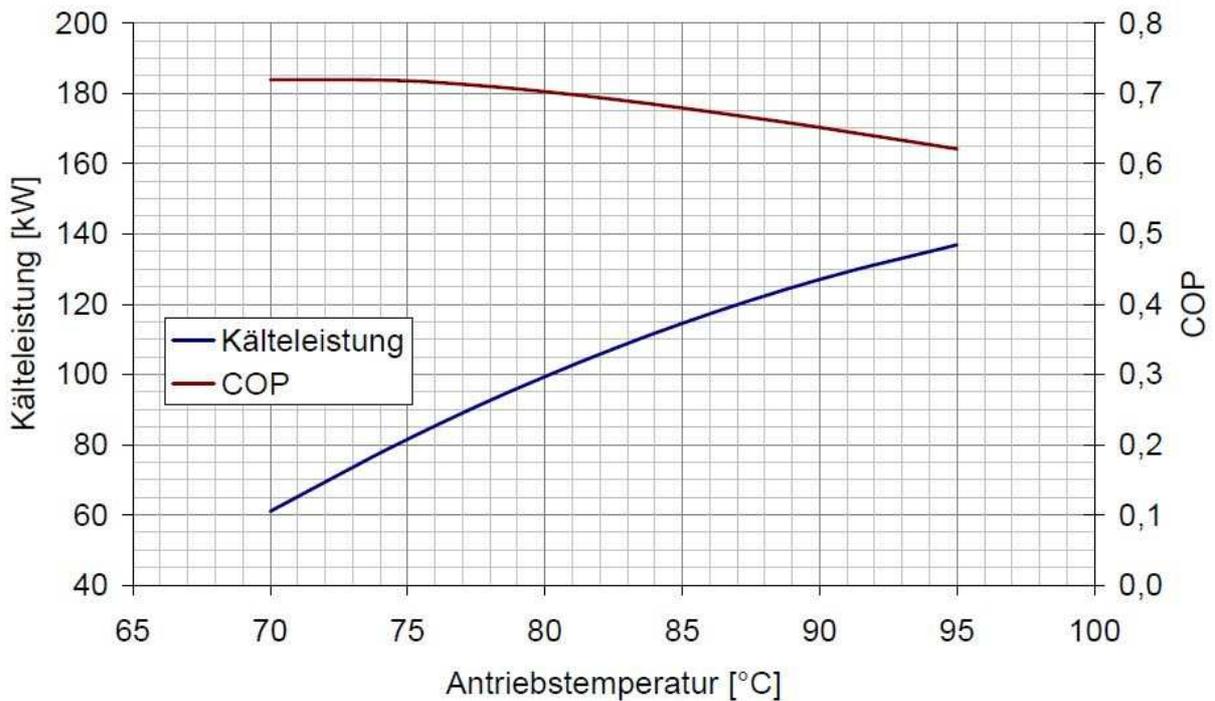


Abbildung 70 Einfluss der Antriebstemperatur bei Absorptionskältemaschinen⁵⁰



Abbildung 71 EER-Werte bei Turbokälteerzeugern⁵¹

⁵⁰ www.yazaki-airconditioning.com; 23.07.2013

⁵¹ www.cofley.de; 23.07.2013

Durch den Einsatz eines entsprechenden Großkältepufferspeichers könnte die Kälteerzeugung effizienter gestaltet werden. Von den Stadtwerken Chemnitz wurde 2007 ein Pilotprojekt zur Optimierung eines Fernkältenetzes durch den Einsatz eines Großkaltwasserspeichers realisiert. Die Planung und wissenschaftliche Auswertung wurde durch die Technische Universität Chemnitz begleitet und durchgeführt. Die Auswertung ergab eine positive Bilanz des Großkältespeichers. Die Erfahrungswerte aus diesem Projekt können für eine Kälteverbundoptimierung angewendet werden. Der Einsatz eines Kurzzeit-Großkältespeichers bietet folgende Vorteile für die im Kälteverbundnetz eingesetzten Kälteerzeuger:

- Betrieb der Kälteaggregate an optimalen Betriebspunkten,
- Erhöhung der verfügbaren Kälteleistung im Spitzenlastanfall,
- Steigerung der Leistungszahl,
- lange Laufzeiten mit geringen Verlusten im Vergleich zum taktenden Betrieb,
- Nutzung von Nachtstromtarifen der Energieversorger,
- stabiler Systembetrieb durch besserer Anpassung der Volumenströme und der Kälteleistungen
- Notversorgung des Kälteverbundes mit geringem Elektroenergiebedarf nur für Netzpumpen,
- Betrieb der Rückkühler bei günstigen Außenluftzuständen in der Nacht.

Als Beispiel für einen Kurzzeit-Großkältespeicher würde sich die zentrale Anlage im Haus 27 DINZ anbieten. Die zwei dort befindlichen Turbokältemaschinen mit je 1300 kW Leistung decken die Grundlast des gesamten Kälteverbundes ab. Durch die Einbindung eines Kältespeichers können die Kälteaggregate im effizientesten und energiesparenden Betriebspunkt Kälte erzeugen. Zusätzlich können die anfallenden Betriebskosten durch die Nutzung eines Nachtstromtarifes gesenkt werden. Die Dimensionierung des Kurzeit-Kältespeichers für den Verbund basiert auf der Planung der Stadtwerke Chemnitz. Entsprechend der Formel 30 kann das erforderliche Speichervolumen rechnerisch ermittelt werden. Die Mindestlaufzeit wird nach dem Erfahrungsbericht der Stadtwerke Chemnitz und TU-Chemnitz mit 5 Stunden angesetzt.

$$V_{KS} = \frac{m}{\rho} = \frac{Q_k \cdot t_{\min}}{c \cdot \Delta\vartheta}$$

Formel 30 Volumen Kurzzeitspeicher

V_{KS} = Volumen Pufferspeicher [m³]

m = Masse [kg]

ρ = Dichte [kg/m³]

Q_k = Kälteleistung [W]

t_{\min} = Mindestlaufzeit [min]

c = spez. Wärmekapazität Wasser [Wh/kg*K]

$\Delta\vartheta$ = Temperaturdifferenz Vorlauf/Rücklauf [K]

$$V_{KS} = \frac{m}{\rho} = \frac{2600000 \text{ Wh} * 5 \text{ h} * \text{kg} * \text{K}}{1,163 \text{ Wh} * 6 \text{ K}} = 1862998 \text{ kg}$$

$$V_{KS} = \frac{1862998 \text{ kg} * \text{m}^3}{999,7 \text{ kg}} = 1864 \text{ m}^3$$

Damit beträgt das Kältespeichervolumen 1864 Kubikmeter.

Die Speicherkapazität wird nach Formel 31 bestimmt:

$$Q = m * c * \Delta\vartheta$$

Formel 31 Speicherkapazität

Q = Speichermenge [MWh]

m = Masse [kg]

c = spez. Wärmekapazität [Wh/kg*K]

$\Delta\vartheta$ = Temperaturdifferenz VL/RL [K]

$$Q = 1862998 \text{ kg} * 1,163 \frac{\text{Wh}}{\text{kg} * \text{K}} * 6 \text{ K} = 13 \text{ MWh}$$

Der Kurzzeit-Kältespeicher hat eine Kapazität von 13 MWh. Das bedeutet, der Speicher kann theoretisch ohne Neubeladung z.B. im Havariefall in einer Stunde eine Leistung von 13 Megawatt Kälteenergie in den Kälteverbund einspeisen. Da selbst im Vollastfall die Leistungsanforderung mit zirka 5 MW viel geringer ist, kann der Kurzzeit-Kältespeicher selbst bei Vollast ungefähr 2,5 Stunden den gesamten Kälteverbund versorgen.

Für den Aufbau des Kurzzeit-Kaltwasserspeichers lassen sich die Erfahrungen des Pilotprojektes der Stadtwerke Chemnitz nutzen.

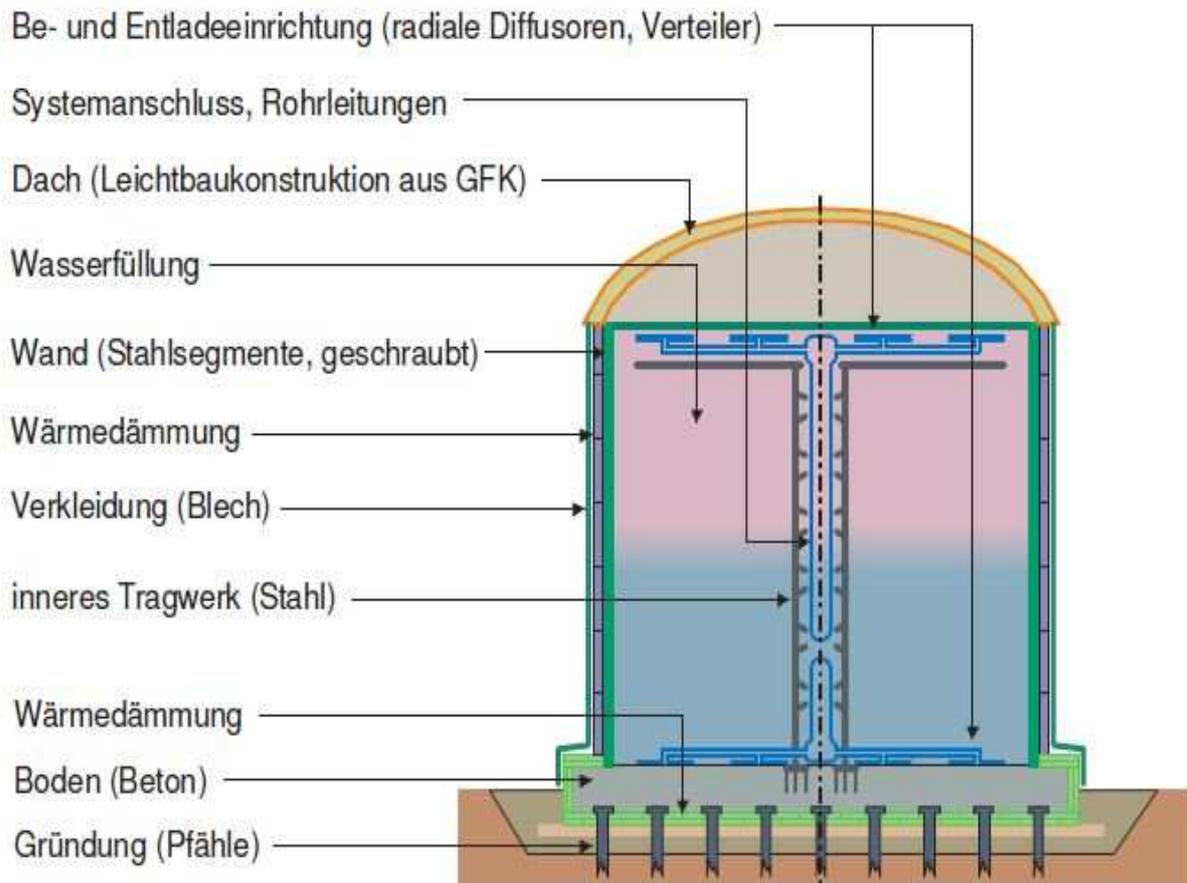


Abbildung 72 Darstellung Speicheraufbau⁵²

Die Variante eines Kurzzeit-Kaltwasserspeichers sollte im Rahmen der Erweiterung des Kälteverbundes zumindest in Betracht gezogen werden, denn eine Optimierungsmöglichkeit ist durchaus gegeben. In Anbetracht der Tatsache, dass für die Absorptionskältemaschinen mit dem Ablauf des Sonderwärmearif der DREWAG keine kostfreie Abwärme mehr zur Verfügung steht, bietet der Kurzzeit-Kältespeicher eine Alternative die effektiveren Turbokältemaschinen auszulasten. Grundsätzlich sollten die Absorber im Zuge der Sanierungen durch wirtschaftlichere Kältemaschinen ersetzt werden.

Eine vereinfachte Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zur Errichtung des Großkältepufferspeichers erfolgt im Abschnitt 7.4.

⁵² Pilotprojekt zur Optimierung von großen Versorgungssystemen auf Basis der Kraft-Wärme-Kopplung mittels Kältespeicherung, TU Chemnitz

6.6 Analyse der Kältemengenzähler

Die Vorteile der im Kälteverbund ausnahmslos eingesetzten Schwingstrahlzähler vom Hersteller Sontex, die gleichermaßen für Ultraschallzähler gelten, sind Verschleißfreiheit, Unempfindlichkeit gegen verschmutzte und trübe Wässer sowie Anordnung ohne oder nur kurzer Ein- und Auslaufstrecken. Der größte Vorzug im Vergleich zu den modernen Ultraschallzählern sind die günstigeren Anschaffungskosten. Dagegen wiegen die Nachteile gegenüber anderer Zählerarten, besonders den Ultraschallzählern schwer. So sind Mindestdurchflüsse zu garantieren, um exakte Messergebnisse zu erzielen. Damit liegt die Vermutung nahe, dass in Schwachlastfällen der Mindestvolumenstrom an den Messpunkten des Kälteverbundes nicht eingehalten wird, und so fehlerhafte Messungen ausgegeben werden. Außerdem sind diese Zähler durch ihren Aufbau an die Durchflussrichtung gebunden, und können somit keine Strömung gegen die Durchflussrichtung erfassen. Auf diese Weise lassen sich auch die Widersprüche bei der Auswertung der Messergebnisse erklären. Generell haben sich die Schwingstrahlzähler in der Branche Wärme- und Kälteversorgung nicht etabliert. Hierzu wurde seitens der Großnetzbetreiber immer wieder die Bemerkung angeführt, dass diese Art von Zählern aufgrund der günstigen Investitionskosten getestet wurde. Nach relativ kurzer Betriebszeit wurden hauptsächlich im Kleinlastbereich große Fehler festgestellt. Als Konsequenz wurden diese Zähler wieder durch bewährte Zählerarten ersetzt. Dabei sind die Ultraschallzähler mit diversen Spezifikationen absoluter Favorit und Stand der Technik.

Eine exakte und fehlerfreie messtechnische Erfassung der Parameter und Zustände im Kälteverbundnetz mittels der eingesetzten Kältezähler bildet die Grundlage für die optimale hydraulische Regelung und somit für einen effektiven und ökonomischen Betrieb. Doch wenn an diesem Punkt durch den Einsatz der Schwingstrahlzähler Ungenauigkeiten vorprogrammiert sind, kann eine zielgerechte Verbesserung der Effizienz des Kälteverbundes nicht stattfinden.

Aus diesem Grunde sollte der erste Schritt zur Optimierung des Kälteverbundnetzes des Uniklinikums Dresdens der Austausch der Kältemengenzähler sein.

Aufgrund der Wichtigkeit der Kältemessungen für Regelung, GLT, Analysen und hydraulischen Korrekturen soll an dieser Stelle eine echte Alternative für den momentan eingesetzten Schwingstrahlzähler vorgestellt werden. Der Ultraschallzähler USFM-3030 der Firma Krohne wird in der Industrie und bei Versorgungsunternehmen im Bereich Kälte häufig eingesetzt und hat sich mit folgenden Vorteilen ausgezeichnet:

- keine beweglichen Teile,
- misst unabhängig von elektrischer Leitfähigkeit, Viskosität, Temperatur, Dichte und Druck
- kein Verschleiß, kein Drift, kein Druckverlust,

- Anzeige der Durchflussrichtung,
- kein Minstdurchfluss erforderlich,
- exzellente Langzeitstabilität und Zuverlässigkeit,
- unempfindliche gegenüber korrosiven und aggressiven Medien,
- keine regelmäßigen Neukalibrierungen,
- drei Messpfade ermöglichen eine zuverlässige, vom Strömungsprofil unabhängige, Messung,
- optional sind Druck- und Temperatureingänge zur Berechnung von Standardvolumendurchfluss oder Massendurchfluss möglich.



Abbildung 73 Ultraschallzähler USFM-3030 von Krohne⁵³

⁵³ Technisches Datenblatt Krohne USFM-3030

7. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Optimierungsmöglichkeiten

7.1 Schlechtpunktabsenkung

Eine Berechnung zur Einsparung bei abgesenkter Schlechtpunktregelung wurde am Beispiel der Netzpumpen im Haus 59 durchgeführt. Hier sind zwei parallel geschaltete Pumpen, Fabrikat WILO, Typ IL-E80/140-7,5/2-R1, installiert. Die Pumpenberechnung wurde mit der Auslegungssoftware WILO Select durchgeführt. Die Berechnungsergebnisse sind im Anhang A9 dargestellt. Anhand der Pumpenkennlinie lassen sich die Leistungsaufnahmen bei den diversen Betriebsfällen ablesen. Die jeweiligen Lastfälle sind nach dem Test-Referenz-Jahr mit Voll-, Teil-, Schwach- und Grundlast definiert. Eine Berechnung des Einsparpotentials kann im Fall der Absenkung der Schlechtpunktregelung ohne weitere Investitionskosten und daraus anfallenden Zinsen betrachtet werden. Im laufenden Betrieb ist es wahrscheinlich die effektivste Möglichkeit Betriebskosten einzusparen, weil keine Investitionen oder Umbaumaßnahmen erforderlich sind.

Nutzungsdauer der Pumpen:	10 Jahre
Volllast lt. TRY $\geq 26^{\circ}\text{C}$ AT:	100 h/a
Teillast lt. TRY $< 26^{\circ}\text{C} \geq 20^{\circ}\text{C}$ AT:	602 h/a
Grundlast lt. TRY $< 20^{\circ}\text{C} \geq 12^{\circ}\text{C}$ AT:	2134 h/a
Schwachlast lt. $< 12^{\circ}\text{C}$ AT:	5926 h/a



Abbildung 74 WILO IP-E80/140-7,5/2-R1⁵⁴

⁵⁴ Abbildung aus Wilo-Select, Version 3.1.12

$$Q_{h,Last} = th * P_1$$

Formel 32 Lastabhängiger Energiebedarf

$Q_{h,Last}$ = lastabhängiger Energiebedarf [kWh/a]

th = lastbedingte Jahresnutzungsstunden [h/a]

P_1 = elektrische Leistungsaufnahme [kW]

Gesamtenergiebedarf pro Jahr

$$Q_{h,ges} = Q_{h,Teillast} + Q_{h,Vollast} \\ + Q_{h,Grundlast} \\ + Q_{h,Schwachlast}$$

Formel 33 Gesamtenergiebedarf

$Q_{h,ges}$ = Gesamtenergiebedarf [kWh/a]

$Q_{h,Teillast}$ = Energiebedarf im Teillastfall [kWh/a]

$Q_{h,Vollast}$ = Energiebedarf im Vollastfall [kWh/a]

$Q_{h,Grundlast}$ = Energiebedarf im Grundastfall [kWh/a]

$Q_{h,Schwachlast}$ = Energiebedarf im Schwachastfall [kWh/a]

Lastabhängiger Energiebedarf mit gleitend abgesenkten Schlechtpunkt:

$$Q_{h,Vollast} = 100 \text{ h/a} * 7,19 \text{ kW} = 719 \text{ kWh/a}$$

$$Q_{h,Teillast} = 602 \text{ h/a} * 4,78 \text{ kW} = 2878 \text{ kWh/a}$$

$$Q_{h,Grundlast} = 2134 \text{ h/a} * 3,03 \text{ kW} = 6466 \text{ kWh/a}$$

$$Q_{h,Schwachlast} = 5926 \text{ h/a} * 1,86 \text{ kW} = 11022 \text{ kWh/a}$$

$$Q_{h,ges,abgsenkt} = 21085 \text{ kWh/a}$$

Lastabhängiger Energiebedarf mit konstanten Schlechtpunkt:

$$Q_{h,Vollast} = 100 \text{ h/a} * 7,17 \text{ kW} = 717 \text{ kWh/a}$$

$$Q_{h,Teillast} = 602 \text{ h/a} * 5,34 \text{ kW} = 3215 \text{ kWh/a}$$

$$Q_{h,Grundlast} = 2134 \text{ h/a} * 4,01 \text{ kW} = 8557 \text{ kWh/a}$$

$$Q_{h,Schwachlast} = 5926 \text{ h/a} * 3,11 \text{ kW} = 18430 \text{ kWh/a}$$

$$Q_{h,ges,konstant} = 30829 \text{ kWh/a}$$

$$\eta_{ges} = 66,8\%$$

$$k_{Strom} = 0,16 \text{ €/kWh}$$

Berechnung Pumpenantriebsleistung:

$$P_{Elt} = \frac{100 \text{ m}^3 * h * 160000 \text{ N}}{3600 \text{ s} * h * 0,67 * \text{m}^2} = 7190 \text{ W}$$

$$E_N = k_{Strom} * Q_{h,ges}$$

Formel 34 Energiekosten pro Jahr

E_N = lastabhängige Betriebskosten [€/a]

k_{Strom} =Energiepreis Strom [€/kWh]

$Q_{h,ges}$ = Gesamtenergiebedarf [kWh/a]

Energiekosten mit gleitend abgesenkten Schlechtpunkt pro Jahr:

$$E_{N,abgesenkt} = 0,16 \text{ €/kWh} \cdot 21085 \text{ kWh/a} = 3373,60 \text{ €/a}$$

Energiekosten pro Jahr mit konstanten Schlechtpunkt:

$$E_N = 0,16 \text{ €/kWh} \cdot 30829 \text{ kWh/a} = 4932,64 \text{ €/a}$$

Theoretische Betriebskosteneinsparung durch gleitende Schlechtpunktabsenkung nur am Beispiel Haus 59

	Kosten [€/a]
Slechtpunkt 0,5 bar	4932,64
Slechtpunkt abgesenkt	3373,60
Einsparung	1559,04

Tabelle 14 Betriebskosteneinsparung

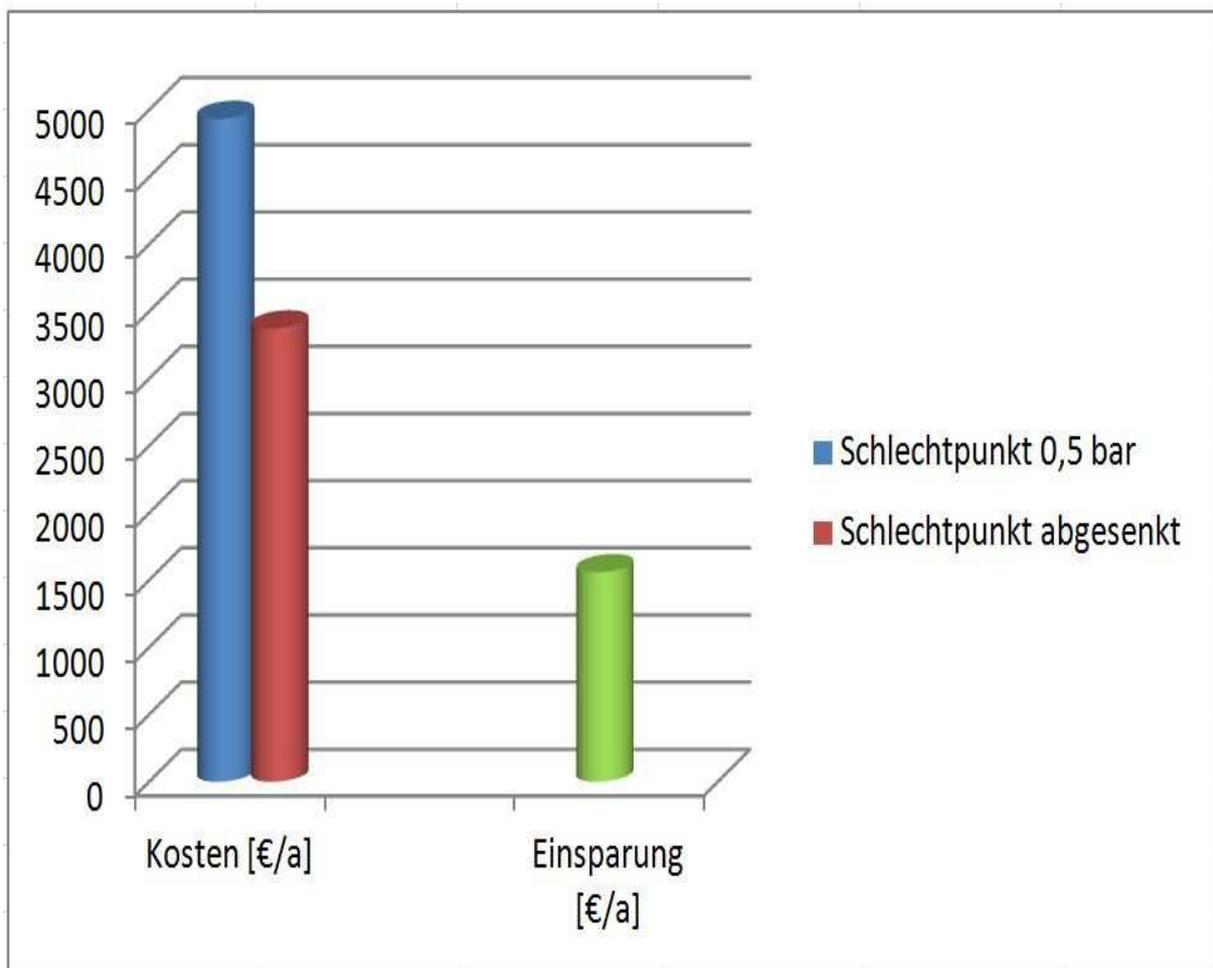


Abbildung 75 Diagramm Betriebskosteneinsparung

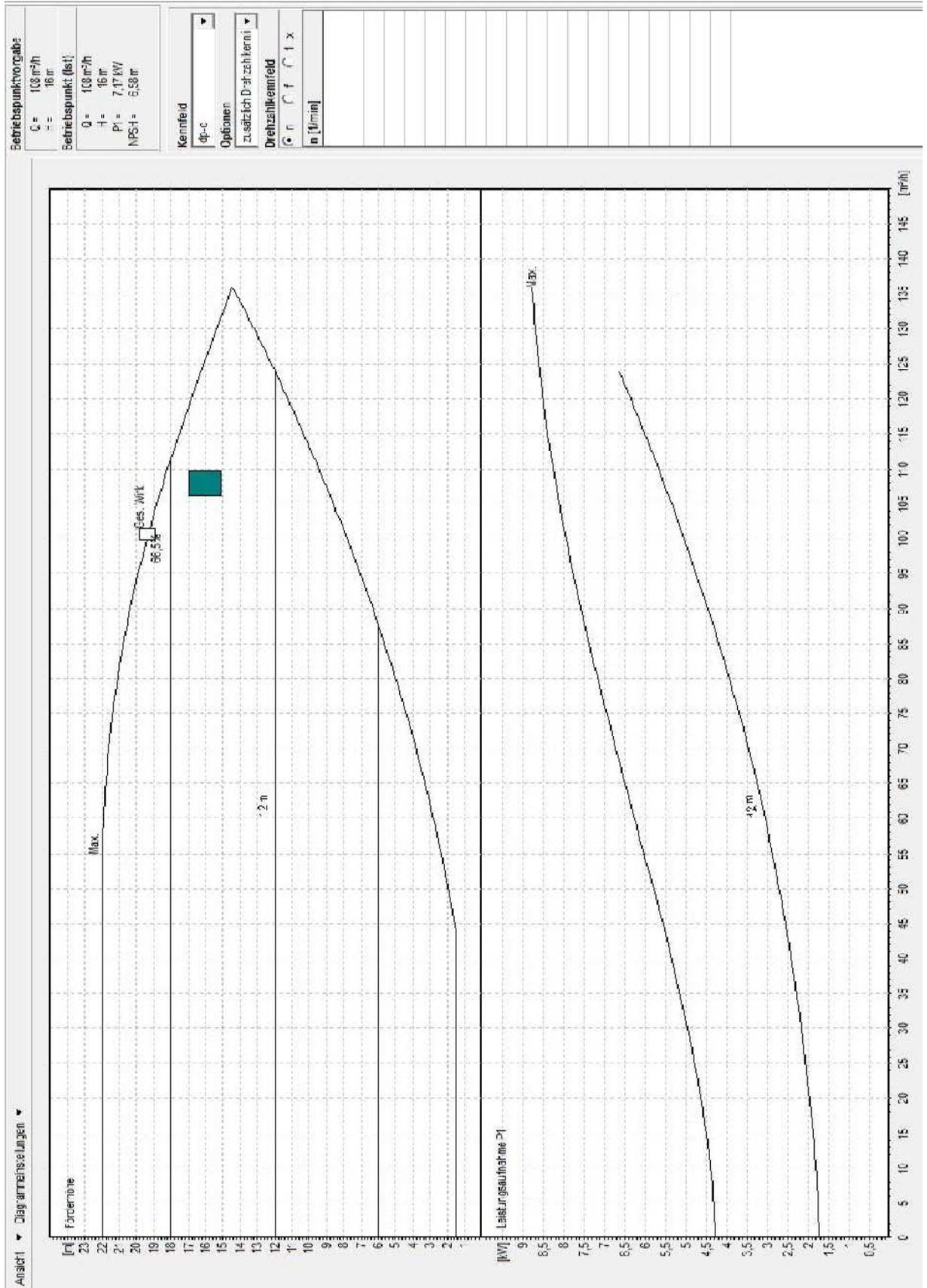


Abbildung 76 Pumpenkennlinie Schlechtpunkt konstant⁵⁵

⁵⁵ Abbildung aus Wilo-Select, Version 3.1.12

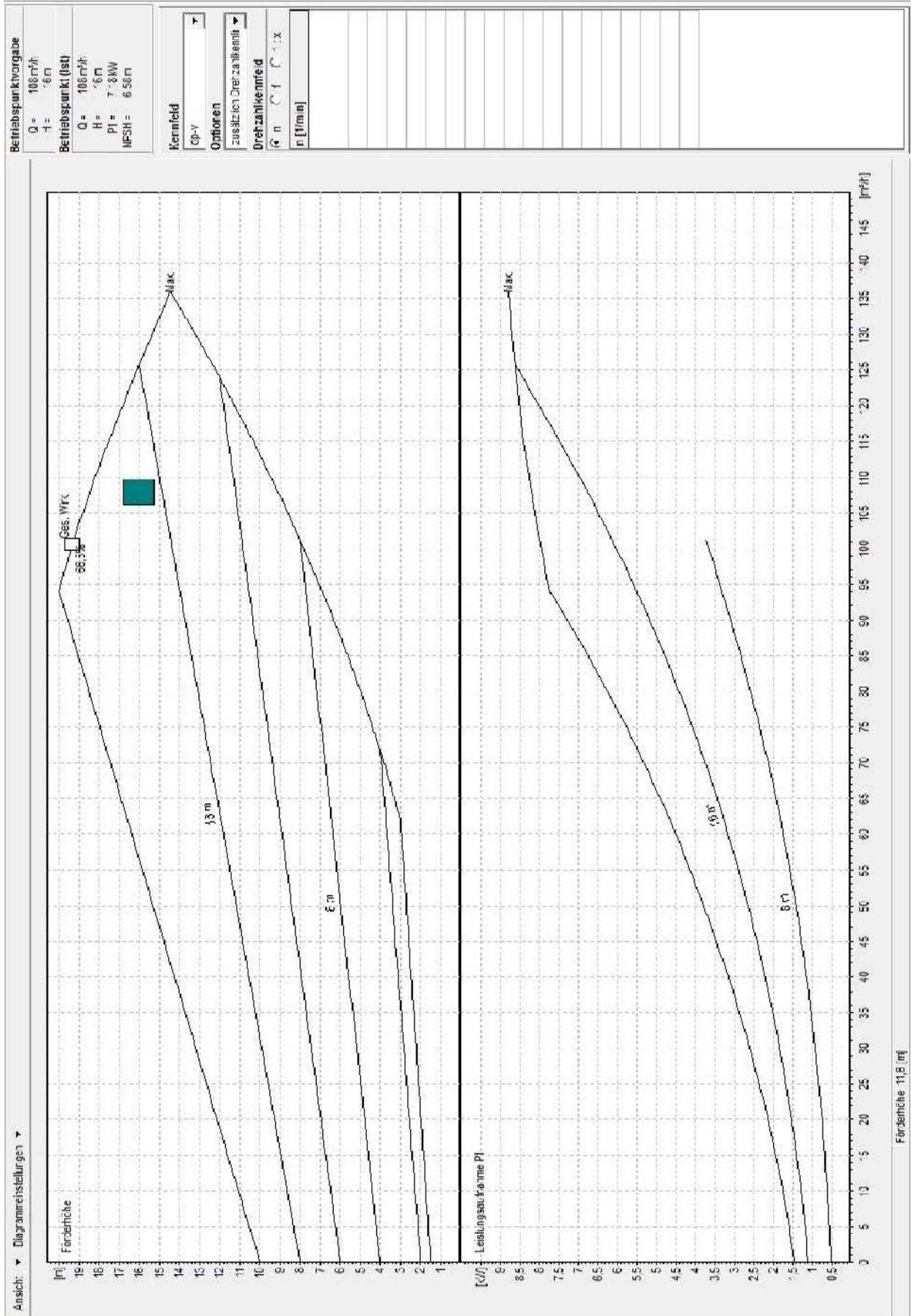


Abbildung 77 Pumpenkennlinie Schlechtpunkt gleitend abgesenkt⁵⁶

⁵⁶ Abbildung aus Wilo-Select, Version 3.1.12

7.2 Hydraulische Schaltung

Der Umbau der momentan installierten Drosselschaltung auf die technisch vorteilhaftere Einspritzschaltung lässt sich aufgrund der sehr langen Amortisationszeiten nicht wirtschaftlich darstellen. Dennoch wäre ein kontinuierlicher Austausch im Rahmen des ständigen stattfindenden Sanierungsprozesses im Kälteverbund als sinnvoll zu betrachten.

Die Investitionskosten für die Einspritzung aus einem drucklosen Verteiler ergeben sich aus den Preisen für Umwälzpumpe, Absperrklappen, Rückschlagventil, Motorstellklappen, den zugehörigen Fühlern mit Verkabelung sowie aus Arbeitslöhnen für Demontage, Entsorgung und Neuinstallation. Diese Summe wurde mit rund 5000 € angesetzt. Das Einsparpotential resultiert aus dem geringeren Energieverbrauch der großen Netzeinspeisepumpen. Auf der Basis von Erfahrungswerten des Uniklinikums wurde 10% Elektroenergieerduzierung zugrundegelegt. Eine Berechnung der Amortisation wurde am Beispiel eines Umbaus im Haus 40 durchgeführt.

Bezeichnung	Variante 1	Variante 2	Einheit
	Drosselschaltung	Einspritzung aus drucklosen Verteiler	
Verbrauchsmengen			
Anschlussleistung Kälte	760	760	kW
Einsparung durch verbesserte Schaltung	0	3.063	kWh/a
Elektroenergieverbrauch der Netzpumpen im Jahr	30.630	27.567	kWh/a
JÄHRLICHE KOSTEN:			
Investitionsgebundene Kosten			
Investitionssumme	0	5.000	€
Betrachtungszeitraum	20	20	a
Zinssatz i	3	3	%
Preissteigerung r	5	5	%
Annuitätsfaktor a	0,07	0,07	-
Barwertfaktor b	23	23	-
preisdynamischer Annuitätsfaktor ba	1,5764	1,5764	-
Summe Jährliche Kosten	0	336	€/a
SUMME Investitionsgebundene Kosten:	0	336	€/a
Verbrauchsgebundene Kosten			
Energiebedarf Fernwärme/Elektro:	30.630	27.567	kWh/a
Arbeitspreis Elektro	0,16	0,16	€/kWh
Summe Elektroenergiekosten jährlich	4.900,80	4.410,72	€/a
SUMME Verbrauchsg. Kosten preisdyn.	4.901	4.411	€/a
Betriebsgebundene Kosten			
Instandhaltungskosten	150,00	50,00	€/a
SUMME Betriebsg. Kosten preisd.:	236	79	€/a
SUMME JÄHRLICHE KOSTEN:	5.137	4.826	€/a
Jährliche Einsparung gegenüber Variante 1:	-	312	€/a
Amortisationszeit der Investitionssumme von Variante 2 gegenüber Variante 1		16,04	a

Tabelle 15 Wirtschaftlichkeitsberechnung hydraulische Schaltung

7.3 Ringzusammenschluss

Eine detaillierte Wirtschaftlichkeitsberechnung zur Herstellung eines Ringzusammenschlusses ist nicht sinnvoll, da einfach zu viele unbekannte Einflussfaktoren berücksichtigt werden müssten. Eine Grobkostenschätzung auf der Grundlage spezifischer Kostenwerte des Uniklinikums ist hingegen zielführender für eine zweckmäßige wirtschaftliche Bewertung der Optimierungsmaßnahme. Zinssatz und Preissteigerungen wurden bei dieser Kostenschätzung nicht berücksichtigt.

Am Beispiel des im Bau befindlichen Ringzusammenschlusses zwischen Haus 21 und Haus 25 soll die Wirtschaftlichkeit eines Ringzusammenschlusses geprüft werden.



Abbildung 78 Ringzusammenschluss Haus 21 und 25

Massenbestimmung neuer Rohrleitungen für den Ringzusammenschluss:

- 170 m DN 150 Vor- und Rücklaufleitungen
- 760 m DN 100 Vor- und Rücklaufleitungen

Daraus ergibt sich eine Trassenlänge von insgesamt 465 Metern. Davon müssen 15 Trassenmeter als Kunststoffmantelrohr in der Erde verlegt werden. Die restliche Kälte-trasse kann in den bestehenden und in 10 Meter neu zu errichtenden begehbaren Kollektor errichtet werden.

Die aufgeführten spezifischen Baukosten sind Angaben der Technischen Abteilung des Klinikums basierend auf bereits durchgeführte Maßnahmen:

- Neubau eines begehbaren Kollektor zirka 6000 €/m,
- Rohrleitungen erdverlegt bis DN 150 zirka 500 €/m Trasse,
- Stahlrohrleitung inklusive Armaturen, Befestigungen und Isolierung, verlegt im bestehenden oder neuen Kollektor bis DN 200 zirka 250 €/m Trasse.

	Kollektor neu [10m]	erdverlegte Trasse neu [15m]	Trasse in Kollektor neu [450m]
Neubau Kollektor [6000€/m]	60000		
erdverlegte Trasse [500€/m]		7500	
Trasse in Kollektor [250€/m]			112500
Gesamt [€]	180000		

Tabelle 16 Investitionskostenermittlung Ringzusammenschluss

Das Einsparpotential des Ringzusammenschlusses ergibt sich aus den kürzeren Versorgungswegen der erforderlichen Volumenströme und Kälteleistungen. Im konkreten Fall des Ringzusammenschlusses Haus 21 und 25 im Kälteverbundnetz des Uniklinikums wurde die Betriebskosteneinsparung in Form der Pumpenantriebsenergie unter Berücksichtigung des höheren Wartungsaufwands mit einem Mittelwert von 25 % der Stromaufnahme für die Netzeinspeisungen festgelegt.

Die Netzeinspeisepumpen von Haus 25 sind zwei parallele und vollredundante Grundfos-Pumpen vom Typ TP 65-340/2. Sie versorgen das Rechenzentrum des Klinikums fast ganzjährig konstant im Volllastbetrieb. Aus der aufgeführten Pumpenkennlinie lässt sich der Pumpenwirkungsgrad ablesen und somit die Leistungsaufnahme nach Formel 28 ermitteln. Die Berechnung des Jahresenergieverbrauchs wurde mit der Software WINCAPS von der Firma Grundfos durchgeführt. Dabei wurden die Jahresnutzungsstunden für das Rechenzentrum im Volllastbetrieb auf 8700 Stunden festgelegt. Lediglich 60 Stunden im Jahr werden in Teillast mit 75 % gefahren.

Die Netzeinspeisepumpen im Haus 21 sind zwei parallel geschaltete Pumpen vom Typ TPE 80/270-4S des Herstellers Grundfos. Der Jahresenergieverbrauch wurde auf der Grundlage der im Abschnitt 6.1 aufgeführten Jahresnutzungsstunden berechnet. Die ausführlichen Berechnungsergebnisse mit der Software WINCAPS sind im Anhang A10 beigelegt.

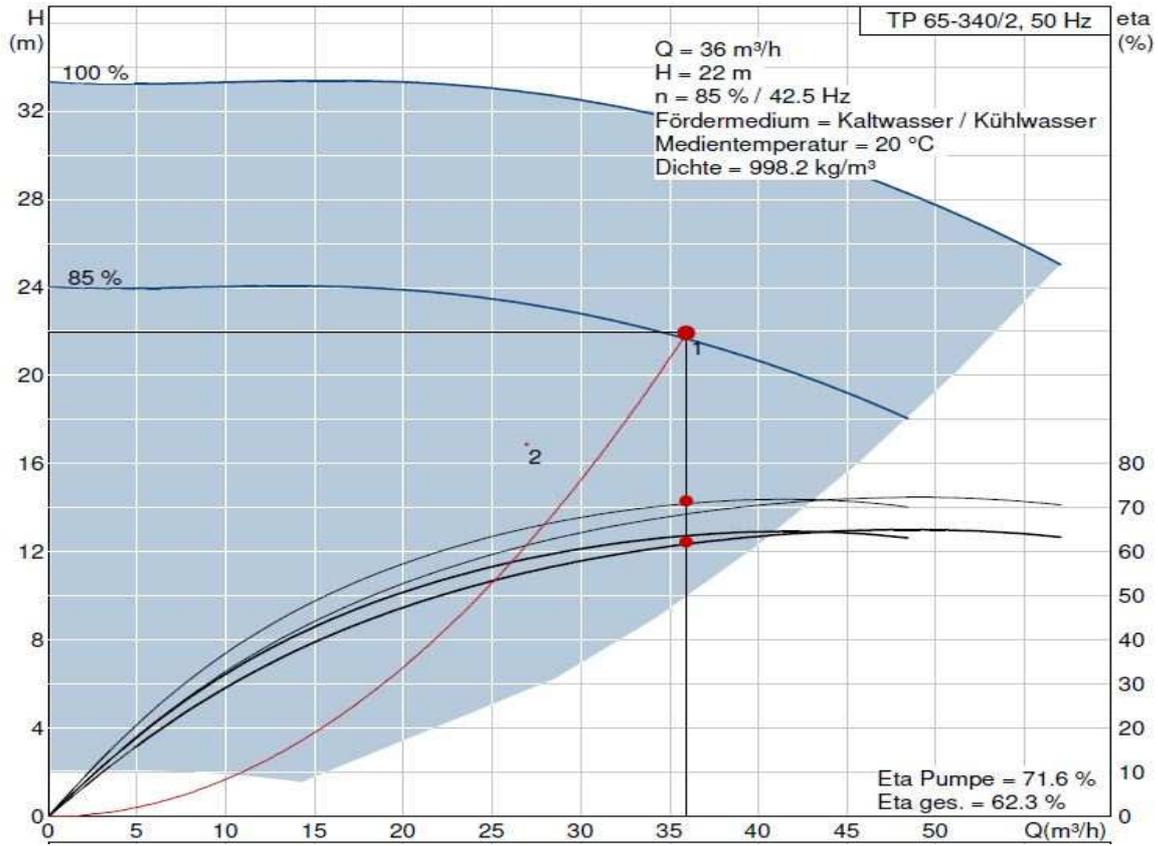


Abbildung 79 Pumpenkennlinie Haus 25⁵⁷

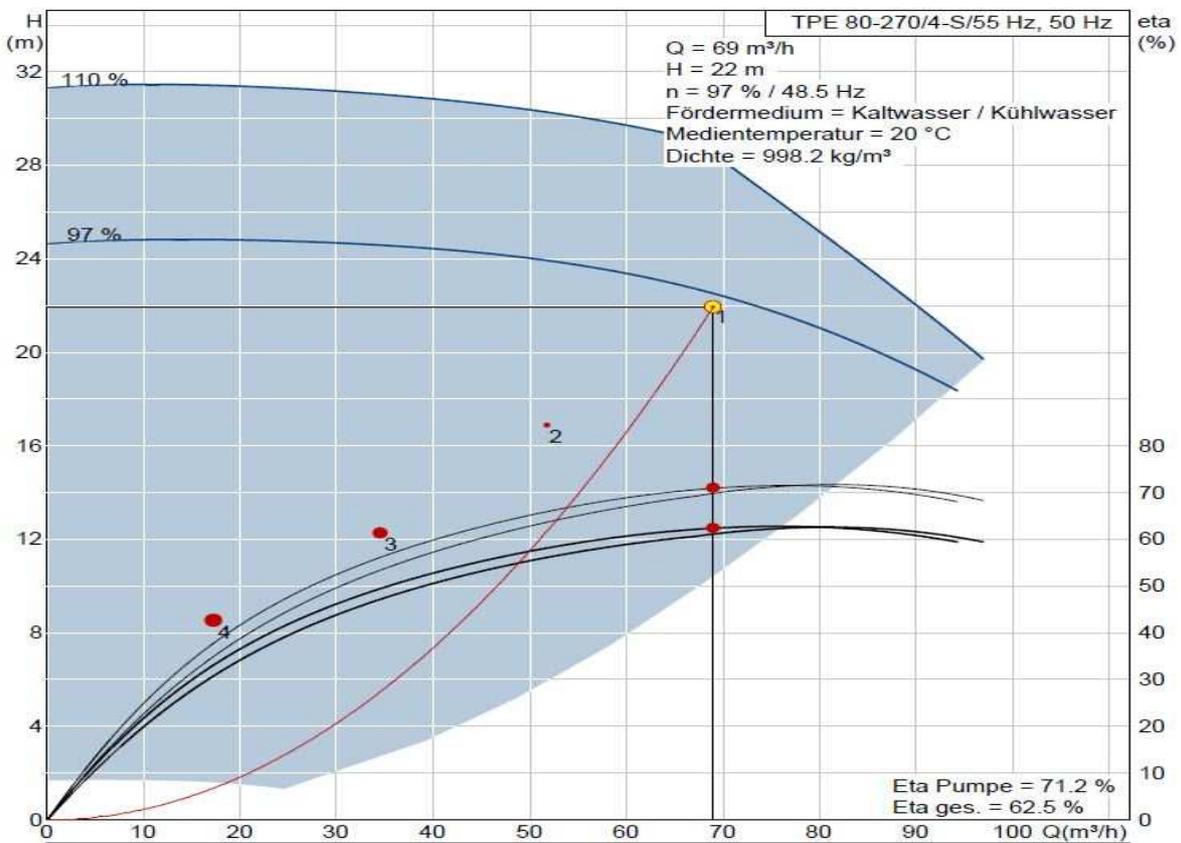


Abbildung 80 Pumpenkennlinie Haus 21⁵⁸

⁵⁷ Abbildung Grundfos Caps; Version 2012.04.041

⁵⁸ Abbildung Grundfos Caps; Version 2012.04.041

Pumpe	Typ	Stromaufnahme [kWh/a]	Betriebskosten [€/a]	Betriebskostensenkung um 25% durch Ringzusammenschluss
Haus 25	TP 65-340/2	30108	4817,28	3612,96
Haus 21	TPE 80-270/4S	13652	2184,32	1638,24
Gesamt		43760	7001,60	5251,20
Einsparung in [€/a]				1750,40

Tabelle 17 Einsparung Pumpenenergie durch Ringzusammenschluss

Bei der Amortisationsberechnung wurden die Elektroenergiekosten mit 0,16 €/kWh angesetzt:

Investitionskosten [€]	180000
Betriebskosten Einsparung [€/a]	1750,4
Amortationsdauer [a]	103

Tabelle 18: Amortisationsdauer Ringzusammenschluss

Als Fazit für die Durchführung eines Ringzusammenschlusses gilt, dass wie beim betrachteten Beispiel eine rechnerische Amortisation von 103 Jahren die eigentliche Lebensdauer des Kälteverbundnetzes übersteigt und somit einfach unrentabel ist. Auch wenn durch den Ringzusammenschluss eine höhere Betriebssicherheit erreicht wird, stehen Investitionskosten und Einsparungen bei Betriebskosten in absolut keinem Verhältnis.

Die bereits im Abschnitt 6.3 vermutete Unwirtschaftlichkeit des Ringzusammenschlusses wurde hiermit rechnerisch bestätigt.

Dessen ungeachtet sollte die Realisierung von partiellen Ringzusammenschlüssen im Zuge von Neuerschließungen oder erforderlichen Netzsanierungen geprüft werden und gegebenenfalls zur Anwendung kommen.

7.4 Kurzzeit-Kältespeicher

Für die ökonomische Bewertung des Großwasserkältespeichers sind die Baukosten und der Aufwand für die steuer- und regelungstechnische Einbindung in den Kälteverbund ausschlaggebend. In der Regel werden die Kosten für derart große Speicher über Ausschreibungen mit zugehörigem Leistungsverzeichnis der hydraulischen Gruppen und Regelungstechnik ermittelt. Die Firma cupasol GmbH, die insbesondere Großspeicher bis 5000 m³ baut, hat als Richtwert die Kosten für einen Speicher mit 2000 m³ Inhalt inklusive hydraulischer Einbindung und Regelung mit rund 865.000 € veranschlagt. Hinzu kommen noch die Kosten für das Fundament des Speichers von zirka 35.000 €. Um diese immense Investition auszugleichen, muss die Elektroenergie für die Kälteaggregate durch optimalen Betrieb und Nutzung von Nachtstromtarifen adäquat eingespart werden. Im Pilotprojekt der Stadtwerke Chemnitz wurde in den Jahren 2008 und 2009 eine Stromeinsparung für die Kälteerzeugung in Höhe von 3 bis 5 % erreicht. Der Elektroenergiebedarf für die Kälteerzeugung im Haus 27 DINZ betrug im Jahr 2012 gemäß der Betriebskostenabrechnung 1.206.850 kWh. Bei einem Elektroenergiepreis von 0,16 €/kWh belaufen sich die jährlichen Kosten für die Kälteerzeugung im Haus 27 auf 107.200 €/a. Nach der gewählten mittleren Einsparung von 4% gemäß den Erfahrungswerten aus dem Pilotprojekt der Stadtwerke Chemnitz wäre eine theoretische Amortisation durch die eingesparten Betriebskosten im Vergleich zur Errichtung einer neuen Kälteanlage nach 16 Jahren erreichbar. Unter dem Aspekt, dass sich im Allgemeinen in der Wirtschaft derartige Aufwendungen schon nach 5 bis maximal 10 Jahren rechnen müssen, ist die Errichtung eines Kurzzeit-Kältespeichers allein durch Einsparung der Betriebskosten nicht ökonomisch. Diese Relation ändert sich, wenn durch Erweiterung des Uniklinikums der Neubau einer Kälteerzeugeranlage leistungsbedingt erforderlich wird. Die Kosten für die Technik einer neuen Kältezentrale, ohne bauliche Aufwendungen für die Errichtung eines neuen Gebäudes, betragen zirka 850.000 € für 1000 kW Kälteleistung. Dieser Wert stützt sich auf Erfahrungen aus vorangegangenen Projekten des Uniklinikums. Hierbei sollte jedoch beachtet werden, dass die höhere zur Verfügung stehende Kälteleistung im Spitzenlastfall entgegen gerechnet werden kann. Der Vorteil einer neuen Kälteanlage, ist dass die Kälteleistung zeitunabhängig zur Verfügung gestellt werden kann. Jedoch der Nachteil es kommen weitere jährliche Betriebskosten hinzu. Anhand der theoretischen Betrachtung der Wirtschaftlichkeit des Kurzzeit-Kältespeichers kann man, je nach Anwendungsfall dies als eine mögliche Optimierungsmöglichkeit in Betracht ziehen. Tabelle 19 zeigt die detaillierte Wirtschaftlichkeitsbetrachtung nach VDI 2067. Hierbei ist zu beachten, dass Veränderungen der Investitionskosten das „Zünglein an der Waage“ bei der Amortisationszeit sind.

	Variante 1	Variante 2	
Bezeichnung	Großkältespeicher	äquivalente neue Kälteanlage bei Erhöhung der Spitzenlast	Einheit
Verbrauchsmengen			
Volumen-Speicher / Anschlussleistung Kälte	2.000	1.000	m³/kW
Einsparung durch optimierten Betrieb [4%]	26.800	keine	kWh/a
Elektroenergieverbrauch der Netzpumpen im Jahr	670.000	335.000	kWh/a
JÄHRLICHE KOSTEN:			
Investitionsgebundene Kosten			
Investitionssumme	900.000	850.000	€
Betrachtungszeitraum	20	20	a
Zinssatz i	3	3	%
Preissteigerung r	5	5	%
Annuitätsfaktor a	0,07	0,07	-
Barwertfaktor b	23	23	-
preisdynamischer Annuitätsfaktor ba	1,5764	1,5764	-
Summe Jährliche Kosten	60.494	57.133	€/a
SUMME Investitionsgebundene Kosten:	60.494	57.133	€/a
Verbrauchsgebundene Kosten			
Energiebedarf Elektro Haus 27 / Haus 27 + 1000 kW:	670.000	1.005.000	kWh/a
Arbeitspreis Elektro	0,16	0,16	€/kWh
Summe Elektroenergiekosten jährlich	107.200,00	160.800,00	€/a
Summe der Jares-Elektroenergiekosten bei 4 % Einsparung	4.288,00	-	
SUMME Verbrauchsg. Kosten preisdyn.	107.200	160.800	€/a
Betriebsgebundene Kosten			
Instandhaltungskosten	9.200,00	12.750,00	€/a
SUMME Betriebsg. Kosten preisd.:	14.503	20.100	€/a
SUMME JÄHRLICHE KOSTEN:	182.197	238.033	€/a
Jährliche Einsparung gegenüber Variante 2:	55.836		€/a

Tabelle 19: Wirtschaftlichkeit Kurzzeit-Kältespeicher

Die Betriebskostensparnis in 16 Jahren beträgt ca. 900.000 €, was der Investitionssumme entspricht.

7.5 Kältezähler

Bei den Kältezählern steht der wirtschaftliche Aspekt nicht wirklich im Vordergrund. Bedeutsamer ist die Genauigkeit der Messwerte im Kälteverbund, denn diese bilden das Grundgerüst um das System optimal und energieeffizient betreiben zu können. Mit der Güte und Qualität der Zähler steigt auch die Fehlerlosigkeit bei der Datenerfassung. Eine Gegenüberstellung der Investitionskosten für die im Kälteverbund momentan eingesetzten Schwingstrahlzähler und den vorgeschlagen Ultraschallzählern gibt Aufschluss über die bevorstehenden Kosten bei einem Austausch. Die Gegenüberstellung der Anschaffungskosten der Kältezähler basiert auf den aktuellen Listenpreisen der jeweiligen Hersteller.

Nr. in Schema	Gebäude	DN Zähler	Kosten [€] Sontex (Schwingstrahl)	Kosten [€] Krohne (Ultraschall)	Differenz Sontex vs Krohne [€]
1	Haus 40	200	3773,70	7325,00	3551,30
7	zu Haus 25	150	3132,40	6592,00	3459,60
8	Haus 25 MRZ	125	2819,60	6377,00	3557,40
9	Haus 27 MRT	80	2335,10	5872,00	3536,90
10	Haus 27 RZ	80	2335,10	5872,00	3536,90
11	Haus 27	250	4791,60	7709,00	2917,40
13	Haus 21 Gesamt	125	2819,60	6377,00	3557,40
14	Haus 21	125	2819,60	6377,00	3557,40
15	Haus 19	150	3132,40	6592,00	3459,60
17	Haus 58	150	3132,40	6592,00	3459,60
18	Haus 59	150	3132,40	6592,00	3459,60
21	Haus 33	100	2541,60	6128,00	3586,40
Summe			36765,50	78405,00	41639,50

Tabelle 20 Investitionskosten Kältezähler

Aus dem Preisvergleich wird ersichtlich, dass die Ultraschallzähler mehr als doppelt so teuer sind als die Schwingstrahlzähler. Diese Tatsache war höchstwahrscheinlich auch ausschlaggebend für die Auswahl der Schwingstrahlzähler als messtechnische Ausrüstung im Kälteverbund.

In der folgenden Wirtschaftlichkeitsbetrachtung soll, unabhängig von der Kenntnis über konkrete Betriebskosteneinsparungen im Kälteverbund durch die exakte Regelung, der Mehraufwand für den Einsatz von Ultraschallzähler den Elektroenergiekosten eines ganzen Jahres für Kälteerzeugung und Verteilung im Kälteverbund des Uniklinikums gegenübergestellt werden.

Dabei sind hier die Kältezähler keine abrechnungsrelevanten Bauteile, die der Eichpflicht unterliegen und turnusmäßig im Rahmen der Aufarbeitung und Neubeglaubigung gewechselt werden müssen. Die zusätzlichen Aufwendungen für Demontage der Altgeräte und Montage der Ultraschallzähler entsprechen ungefähr dem Rabatt auf den Listenpreis beim Kauf. In der folgenden Tabelle wird die prozentuale Einsparung der jährlichen Elektroenergiekosten berechnet, die für die Refinanzierung des kompletten Zählerwechsels, ohne Berücksichtigung von Zinsen und Preissteigerung, in zehn 10 Jahren erforderlich ist.

Investitionskosten Ultraschallzähler [€]	78.400
Elektroenergieverbrauch im gesamten Kälteverbund pro Jahr bei [kWh]	8.074.000 (Angabe UKD)
Stromkosten im Jahr bei 0,16 €/kWh [€]	1.291.840
Prozentale Einsparung des jährlichen Stromverbrauchs bei einer Amortisationszeit von 10 Jahren [%]	0,6

Tabelle 21 Berechnung der Refinanzierung

Eine Realisierung dieser knapp 1 %-igen Reduzierung des Jahresstromverbrauchs durch Ausschöpfung des größtmöglichen Optimierungspotentials mit einer exakten Messtechnik ist an dieser Stelle nicht absehbar.

Dennoch darf in Anbetracht der enormen Bedeutung des Kältemengenzählers mit zuverlässigen Messwerten als Voraussetzung für eine korrekte Regelung und einen effektiven Betrieb des Kälteverbundes der ökonomische Nutzen eines Zählertausch nicht im Vordergrund stehen.

8. Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Die Aufgabenstellung der Diplomarbeit, die Untersuchung und Bewertung des hydraulischen Optimierungspotentials im Kälteverbund, wurde mit einigen sehr guten und interessanten Ergebnissen detailliert durchgeführt. Technische Möglichkeiten und Varianten wurden im Abschnitt 6 ausführlich beschrieben. Bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung des gesamten Optimierungspotentials im Abschnitt 7 wurden die finanziellen Grenzen der diversen Vorschläge aufgezeigt und zwischen wertvollen Ideen und ungeeigneten Entwürfen unterschieden. Basis für die Erarbeitung der unterschiedlichen Optimierungsmöglichkeiten war die exakte Bestandserfassung der beeinflussenden Komponenten des Kälteverbundsystems, durchgeführt bei umfangreichen Anlagenbegehungen, ergänzt mit Hilfe der Bestands- und Revisionsunterlagen und schließlich im Abschnitt 3 detailliert ausgewertet. Um alle Varianten zur Effizienzsteigerung auszuschöpfen, wurden die theoretischen Grundlagen der Strömungstechnik und Hydraulik sowie der Aufbau und die Wirkungsweise von entscheidenden Bauteilen im Abschnitt 2 genauer betrachtet.

Im Ergebnis konnten die zur Aufgabenstellung führende und seitens des Uniklinikums Dresdens geschilderte hydraulische Problematik der gegensätzlichen Volumenströme nicht bestätigt werden.

Im Laufe der systematischen Untersuchung aller denkbaren Fehlerquellen kristallisierte sich die fehlerbehaftete Messwerterfassung durch die eingesetzten Kältemengenzähler als Hauptursache für die Widersprüche zwischen Theorie und Praxis heraus. Selbst die aufwendige computergestützte hydraulische Berechnung und Simulation des Kälteverbundnetzes hat nur kleine unbedeutende hydraulische Engstellen aufgezeigt. Die grundlegende Annahme von Fehlern in der Hydraulik des Verbundnetzes wurde auch damit nicht bestätigt.

Als erste Konsequenz sollte die vorhandenen Kältemengenzähler im Verbundsystem gegen hochwertige und präzise Messtechnik ausgetauscht werden. Erst im nächsten Schritt, auf der Basis zuverlässiger Messwerte, können die dargelegten Optimierungsmaßnahmen sinnvoll durchgeführt werden.

Dabei steht an erster Stelle aufgrund der hohen Wirtschaftlichkeit die Einführung der gleitenden Schlechtpunktregelung. Auch bei einer zentralen Einspeisung im Schwachlastfall durch die Kälteerzeugung im Haus 27 sind die Investitionskosten durch Programmieraufwand und betriebstechnische Überwachung der Funktionstüchtigkeit im realen Betrieb sehr gering und deshalb unbedingt der Erprobung wert.

Bei den kostenintensiven Optimierungsmöglichkeiten ist die Ablösung der Drosselschaltung durch die effizientere Einspritzung aus drucklosem Verteiler zu favorisieren.

Für die Optimierungsvariante der Ringzusammenschlüsse im Kälteverbund sollten zunächst die Ergebnisse des momentan laufenden Projektes des Zusammenschlusses von Haus 21 und Haus 25 ausgewertet werden, um weitere gleichartige Projekte im Verbundsystem zu berücksichtigen.

Die Errichtung eines Großwasserkältespeichers ist vor einer erforderlichen Erweiterung der Kältegesamtleistung erneut und detailliert zu analysieren.

Generell gilt für alle Optimierungsmöglichkeiten, dass sich mit der fortschreitenden Erhöhung der allgemeinen Betriebskosten, insbesondere der Energiepreise, die Wirtschaftlichkeit zu Gunsten der Investition verändert, und entsprechend den konkreten Anforderungen der spezielle Anwendungsfall auf technische und wirtschaftliche Plausibilität erneut überprüft werden muss.

„Der härteste und wichtigste Kampf des 21. Jahrhunderts wird ohne Waffen geführt. Die Werkzeuge dieses Kampfes heißen: Energieeffizienz, Energie sparen und erneuerbare Energien.“⁵⁹

⁵⁹ http://www.die-klimaschutz-baustelle.de/klimawandelzitate_energie.html; 01.05.2013

Thesenblatt

- Optimierung der Schlechtpunktregelung erspart Antriebsenergie ohne großen Investitionsaufwand.

- Umgestaltung der hydraulischen Schaltung von einer ineffizienten Drosselschaltung in eine zeitgemäße Einspritzung über drucklosen Verteiler.

- Aufbau eines Ringzusammenschluss des Kälteverbundes führt zur besseren und optimierten Volumenstromverteilung. Entsprechend der Anforderung gelangen über den kürzesten Weg die erforderlichen Kälteleistungen vom Erzeuger zum Verbraucher. Die leistungsbedingten Druckverluste werden dabei erheblich reduziert.

- Konzept einer einzigen zentralen Kälteerzeugung als grundsätzliche Überlegung zur Korrektur der hydraulischen Schwierigkeiten im Kälteverbund.

- Untersuchungen zum Einsatz eines entsprechend großen Kältepufferspeichers zur Erhöhung der Energieeffizienz im Kälteverbundsystem.

- Kritische Beurteilung der im Kälteverbund eingesetzten Schwingstrahlzähler in Bezug auf Messgenauigkeit und Toleranz.
Erstklassige Technik zur Ermittlung der erforderlichen Messwerte bildet das Fundament für mögliche Optimierungen.

Literatur- und Quellenverzeichnis

- Handbuch für Heizungstechnik 33. Auflage 1994
- Hermann Recknagel/Eberhard Sprenger/Ernst-Rudolf Schramek
76. Auflage 2012
- Der Heizungssingenieur Band 4; Klimatechnik mit Kältetechnik 3. Auflage 1996
- Dipl. Ing. Hans- Jürgen Ullrich, Klimatechnik Band III, 1999
- Tabellenbuch Anlagenmechanik für Sanitär-, Heizungs- und Klimatechnik,
2007
- Tabellenbuch Ihle-Bader-Golla Sanitär-Heizung-Klima/Lüftung 5.Auflage
- Wolfgang Kalide, Einführung in die Technische Strömungslehre, 7.Auflage
- Wilo-Pumpenfibel 09/2009
- Grundfos-Pumpenhandbuch 2004
- KSB-Pumpenreglung / Anlagenautomation 07/2010
- Energieumwandlung in Kraft- und Arbeitsmaschinen, Wolfgang Kalide, 9. Auf-
lage
- Die neue Meisterprüfung Heizungsanlagen, Prof. Dipl. Ing. Ingolf Tiator, 3., ak-
tualisierte und erweiterte Auflage
- Vorlesungsunterlagen Energetische Systemanalyse, Herr Prof. Dr. Scheibe
- Der Heizungsbauer, Ullrich Soller/Hartmut Munkelt
- Taschenbuch 2006, Kälte-Wärme-Klima, C.F. Müller
- <http://www.reflex.de/>
- <http://www.sauter-cumulus.de>
- <http://www.ari-armaturen.de>
- <http://www.gestra.de/>
- <http://www.oventrop.de>
- <http://www.sontex.ch>
- <http://www.tranter.com>
- Planungsunterlagen Alfa-Laval
- <http://www.sachverstand-gutachten.de>
- www.SINNETZ.de
- www.Siemsens.de
- <http://www.armaturen-schulte.de>
- www.wiku.de
- www.Stanet.de
- <http://www.dwd.de/>
- <http://www.fraunhofer.de/>
- <http://www.tranter.com>
- www.gea.com

- www.krohne.com
- Pilotprojekt zur Optimierung von großen Versorgungssystemen auf Basis der Kraft-Wärme-Kopplung mittels Kältespeicherung, der TU Chemnitz
- <http://www.btd-gmbh.de/>
- Gutachten Kältetechnik von GTD Dresden
- <http://cupasol.de>
- <http://www.eins-energie.de/>
- <http://www.carrier-refrigeration.com>
- <http://www.cofely.de>
- www.yazaki-airconditioning.com
- <http://www.carrier.com/carrier/en/de/products-and-services/commercial-refrigeration/>
- <http://www.heattransfer.de/>
- <http://www.urbana.ag/>
- www.eon.de
- Bericht zur Automatisierung des Kältebundes von Klemm Ingenieure GmbH & Co. KG
- <http://www.kieback-peter.de/>
- <http://www.belimo.de>
- EAW Energieanlagenbau Westenfeld GmbH, pdf; 24.07.2013
- Kuperjans, I.; Vollmer, U.: Lehrstuhl für Technische Thermodynamik der RTW Aachen
„Wärme- und Kältespeicher“
<http://kfserver.kaiserstadt.de/index.php?pageid=64>, 27.07.2013
- „Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Absorptionsmaschine – Allgemeine Betrachtung und Grunddaten,
<http://absorptionsmaschine.de/wirtschaftlichkeitsbetrachtung-der-absorptionsmaschine/allgemeine-betrachtung-und-grunddaten.html>;
26.07.2013
- <http://www.sortech.de>
- AGFW (Die Arbeitsgemeinschaft für Wärme und Heizkraftwirtschaft), Energetische Bewertung von Fernkälte

Anhangverzeichnis

A1	Übersichtsschema Kälteverbund
A2	Wetterdaten der Berechnungszeiträume
A3	Trendkurven der Last- und Volumenströme von Verbrauchern und Erzeugern
A4	Simulations-und Berechnungsergebnisse mit STANET
A5	MH-Berechnungsergebnisse für erforderliche Differenzdrücke
A6	TRY-Auswahl der Jahresnutzungsstunden nach Test Referenz Jahr
A7	Berechnungsergebnisse für Ringzusammenschluss im Kälteverbund
A8	Berechnungsergebnisse MH zentrale Einspeisung
A9	Pumpenberechnung mit Wirtschaftlichkeit
A10	Pumpenleistungsberechnung mit Wirtschaftlichkeit für Ringzusammenschluss

Freigabeerklärung

Hiermit erklären wir uns einverstanden, dass die Diplomarbeit des Studenten

Name, Vorname Thomas Landgraf

SG: VU10/1

zur öffentlichen Einsichtnahme durch den Dokumentenserver der Bibliothek der Staatlichen Studienakademie Glauchau bereitgestellt wird.

Thema der Arbeit:

Untersuchung und Bewertung hydraulischer Optimierungsmöglichkeiten am Kälteverbundsystem des Universitätsklinikums Dresden.

Chemnitz, 15.08.2013

Ort/Datum

Thomas Landgraf

Unterschrift Student

.....
Stempel, Unterschrift der Bildungsstätte

Ehrenwörtliche Erklärung

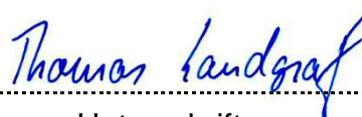
Ich erkläre hiermit ehrenwörtlich,

1. dass ich meine Diplomarbeit mit dem Thema „Untersuchung und Bewertung hydraulischer Optimierungsmöglichkeiten am Kälteverbundsystem des Universitätsklinikums Dresden“ ohne fremde Hilfe angefertigt habe,
2. dass ich die Übernahme wörtlicher Zitate aus der Literatur sowie die Verwendung der Gedanken anderer Autoren an den entsprechenden Stellen innerhalb der Arbeit gekennzeichnet habe und
3. dass ich meine Diplomarbeit bei keiner anderen Prüfung vorgelegt habe.

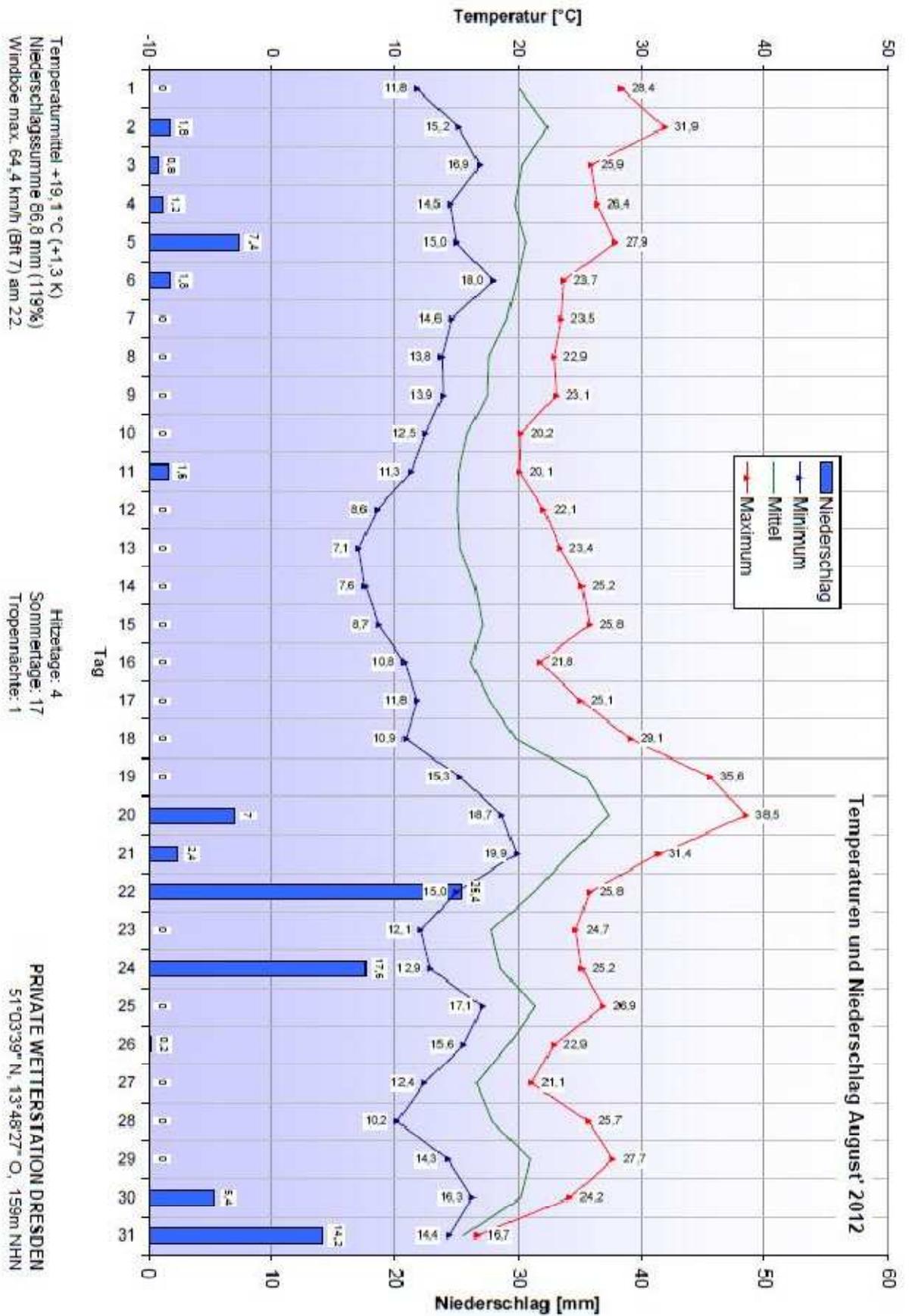
Ich bin mir bewusst, dass eine falsche Erklärung rechtliche Folgen haben wird.

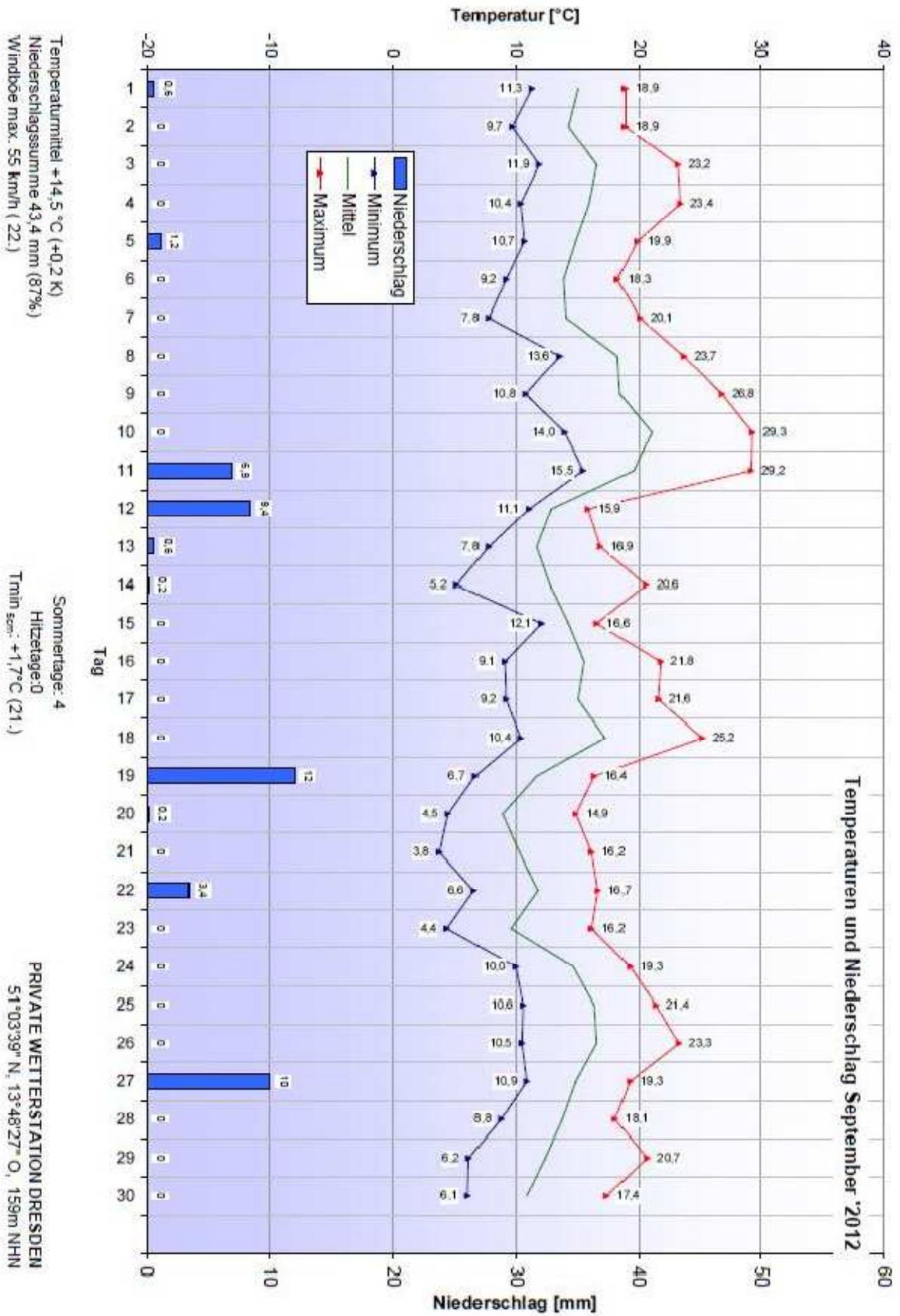
Chemnitz, 15.08.2013

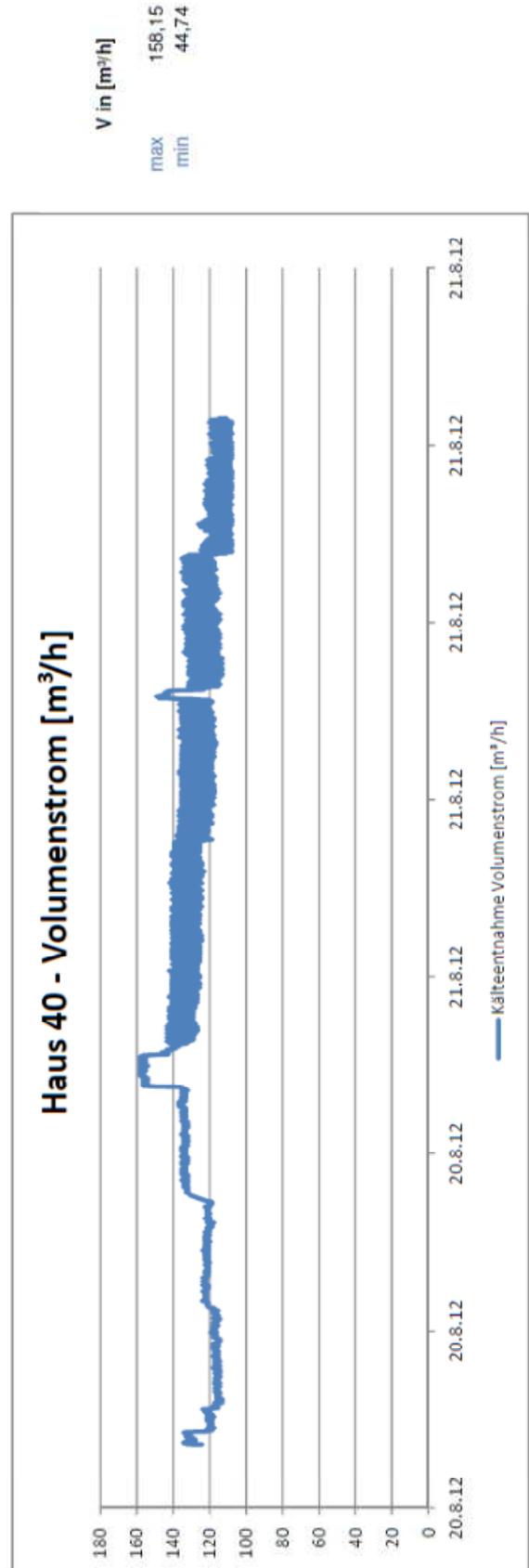
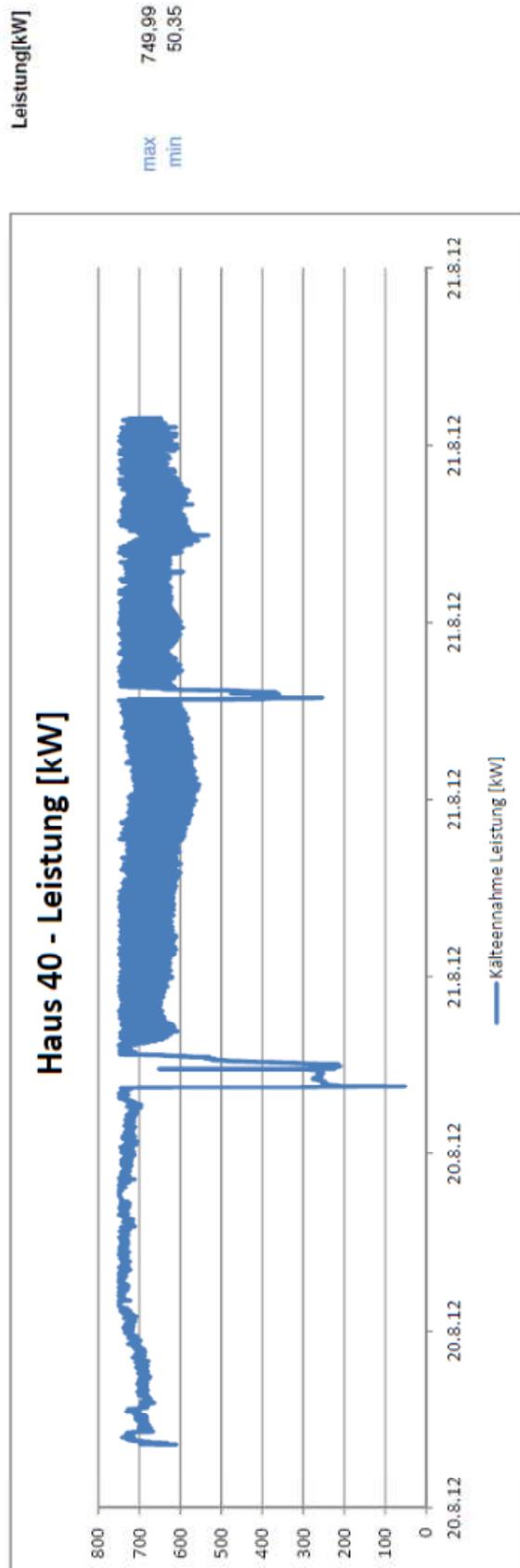
Ort, Datum

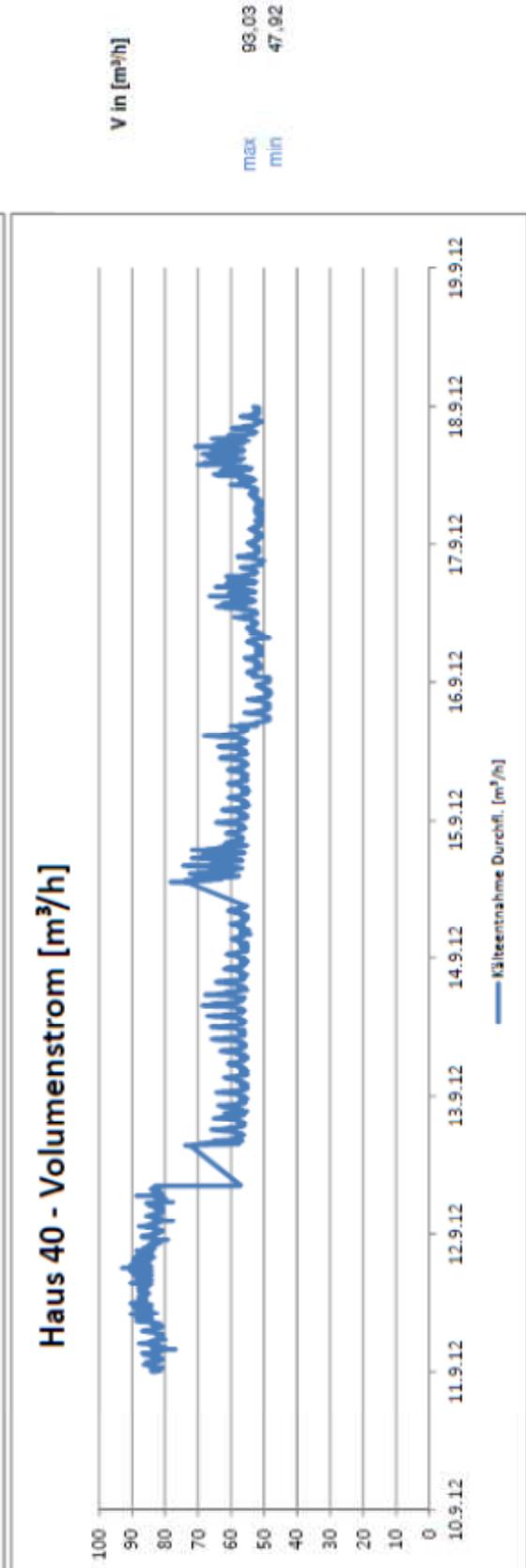
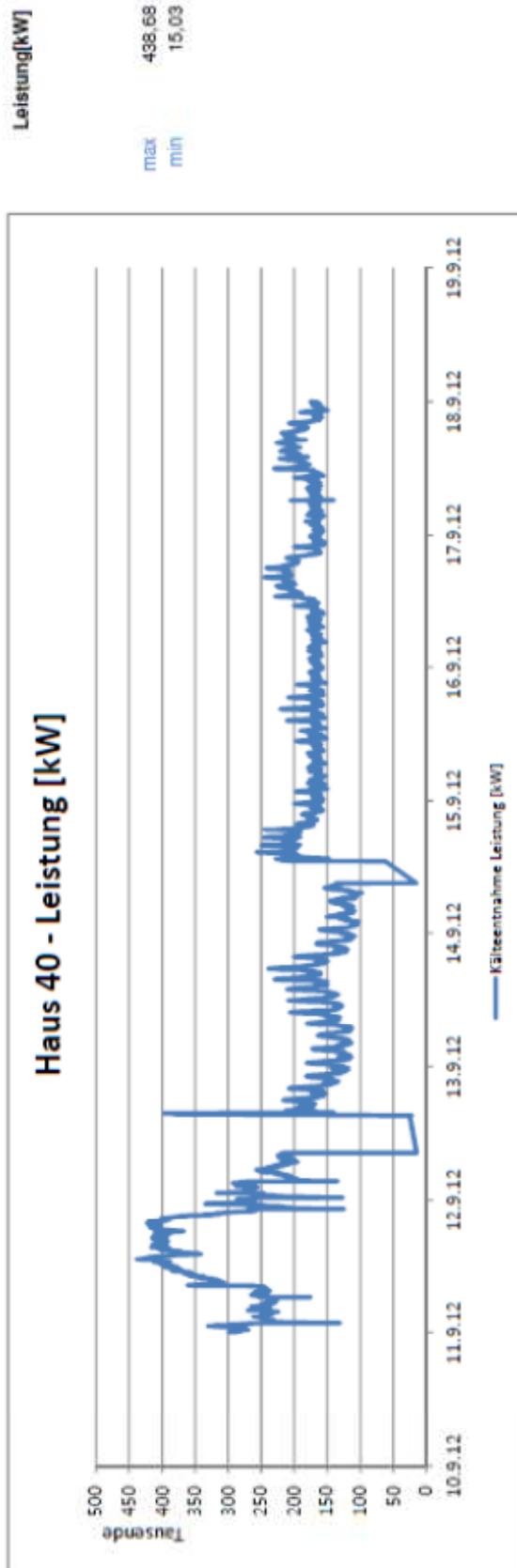


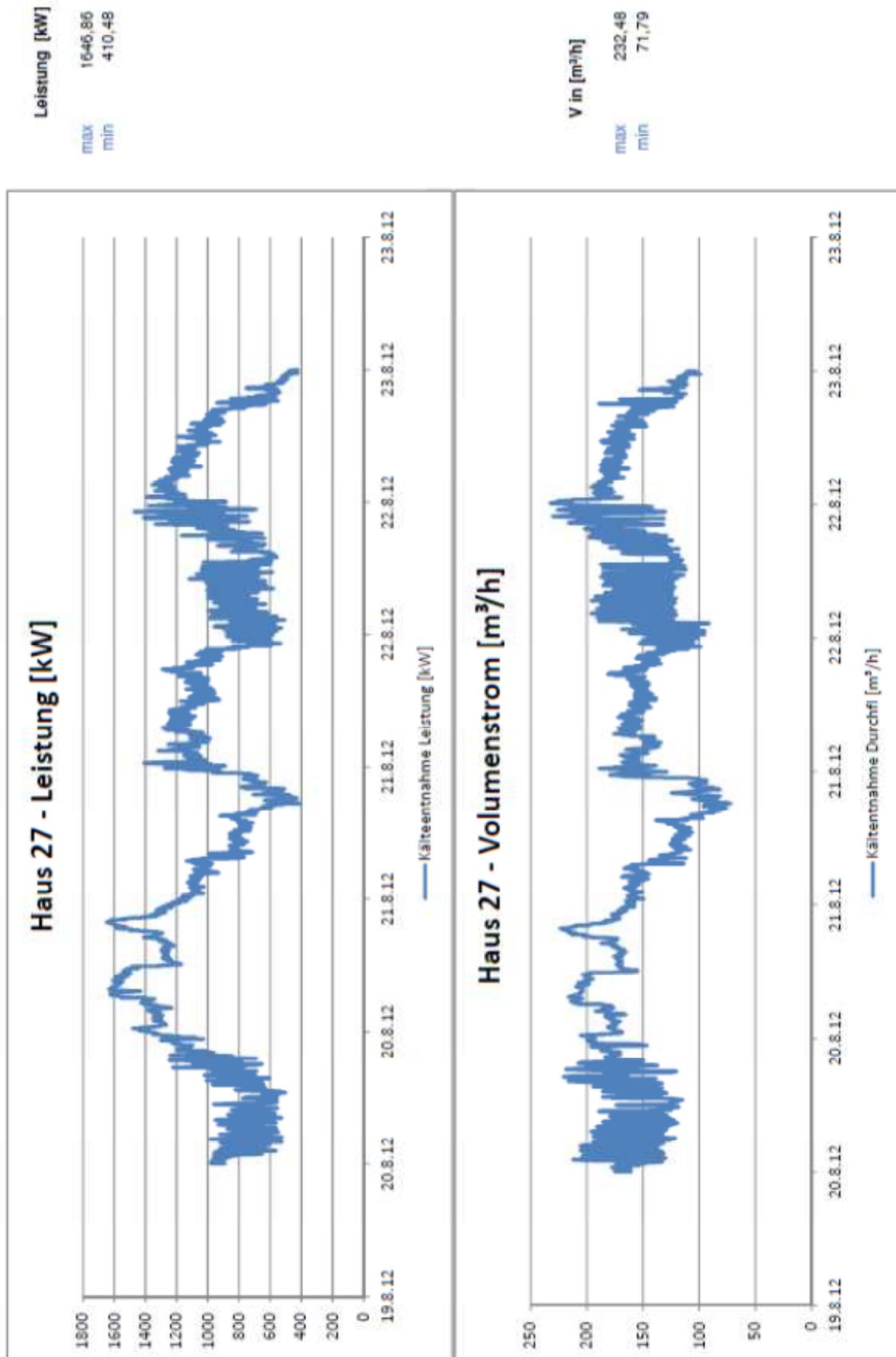
.....
Unterschrift

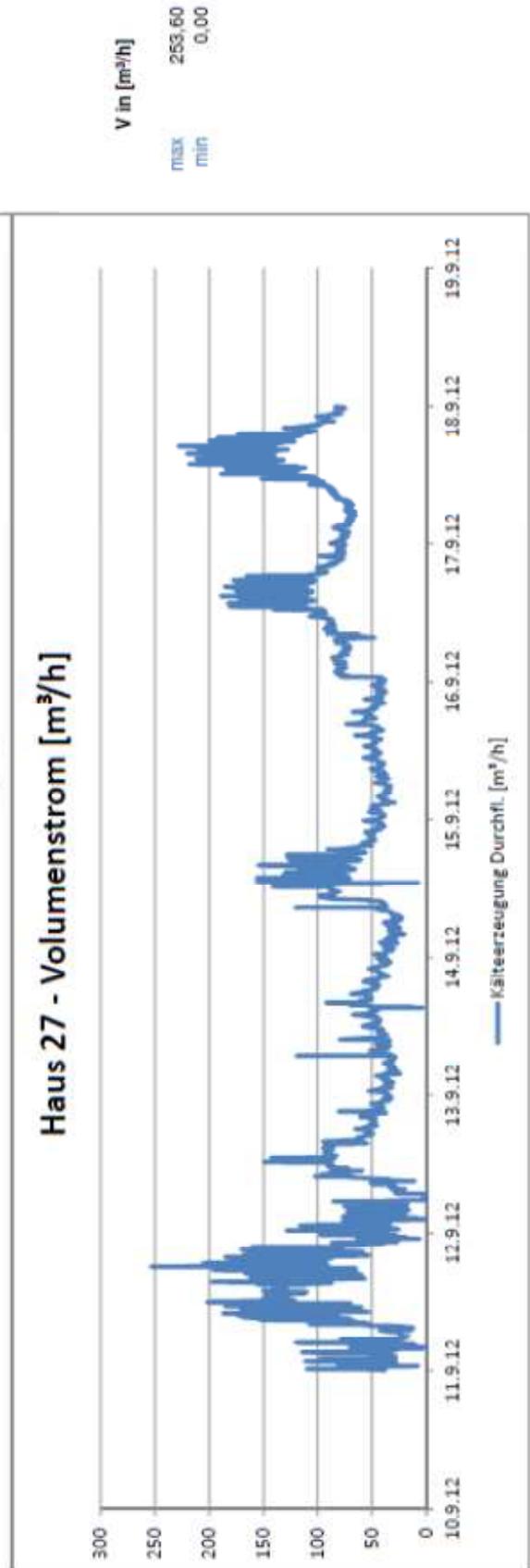
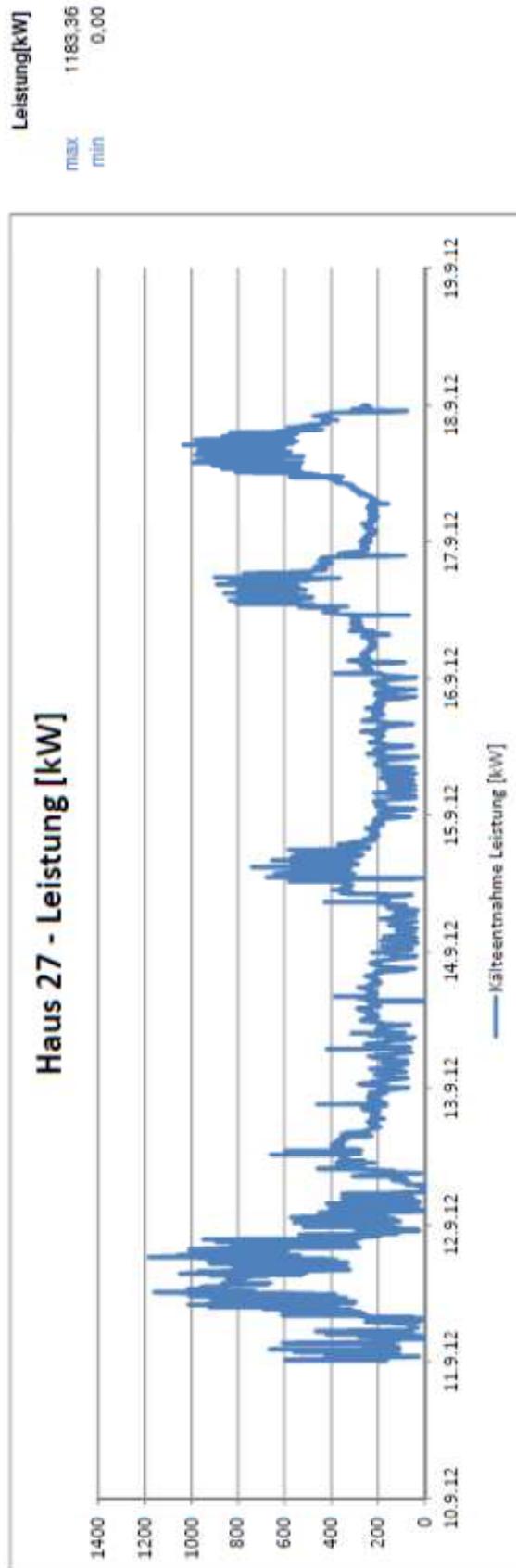


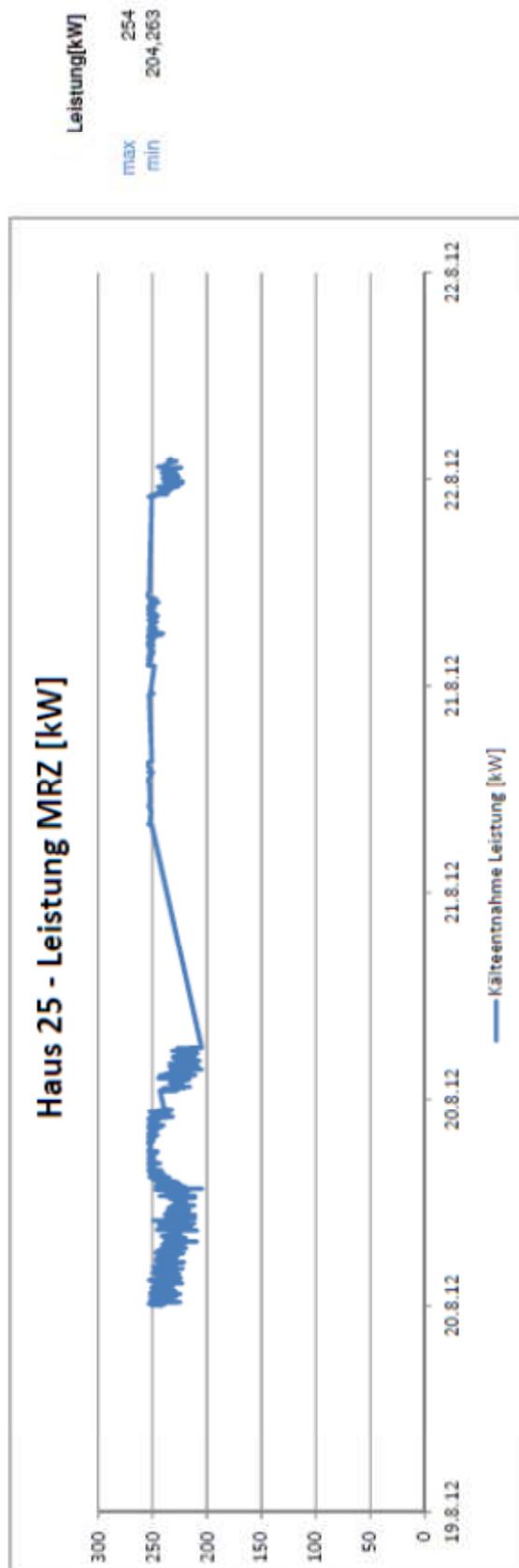


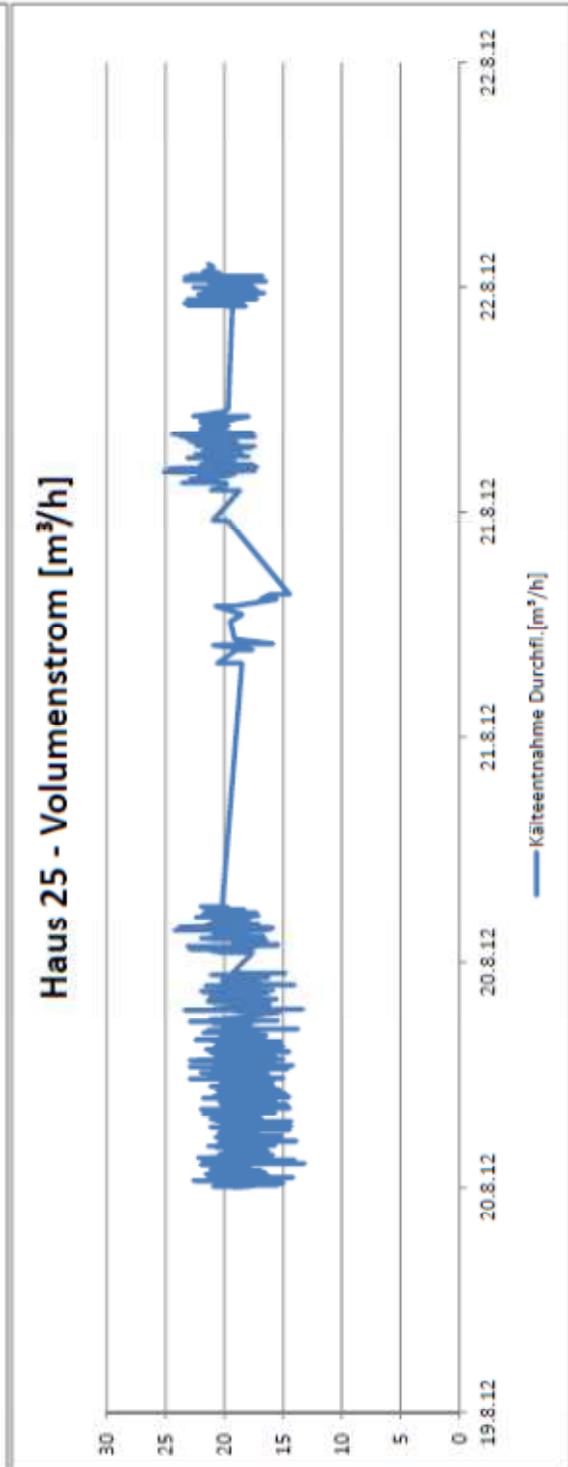


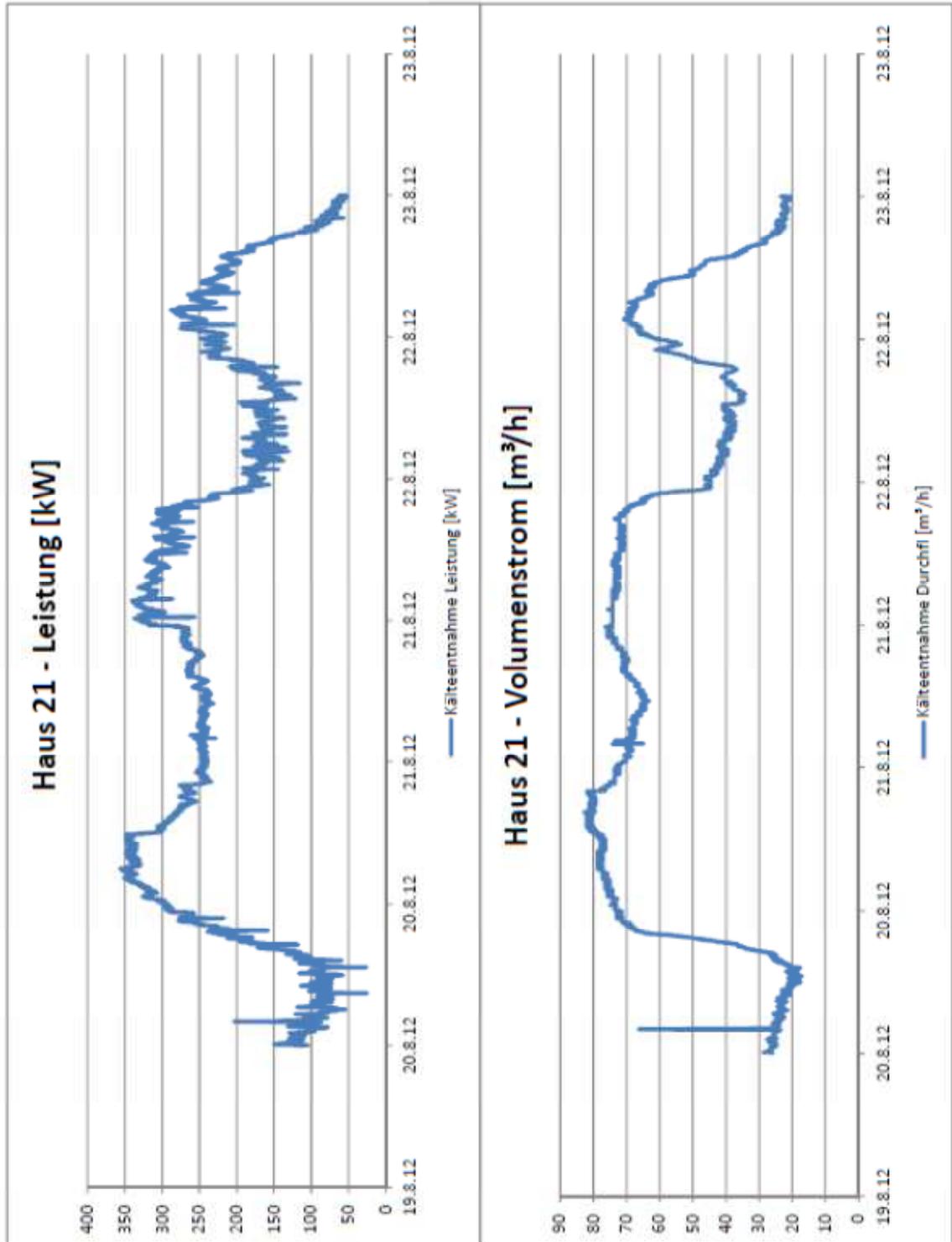


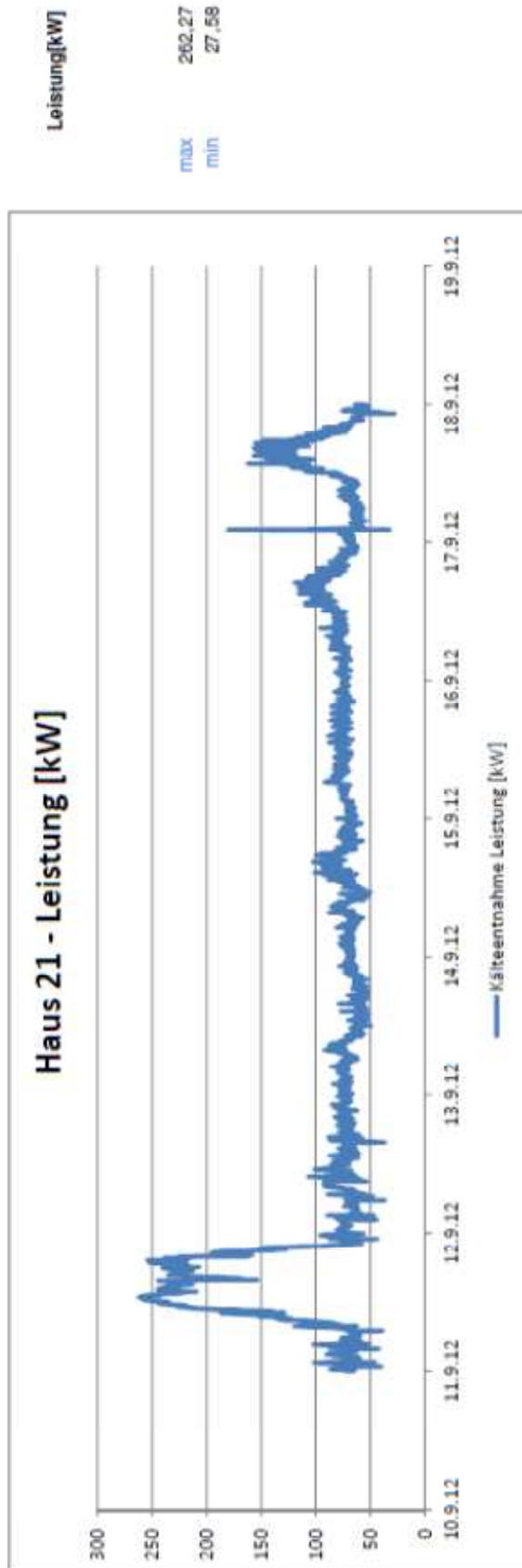


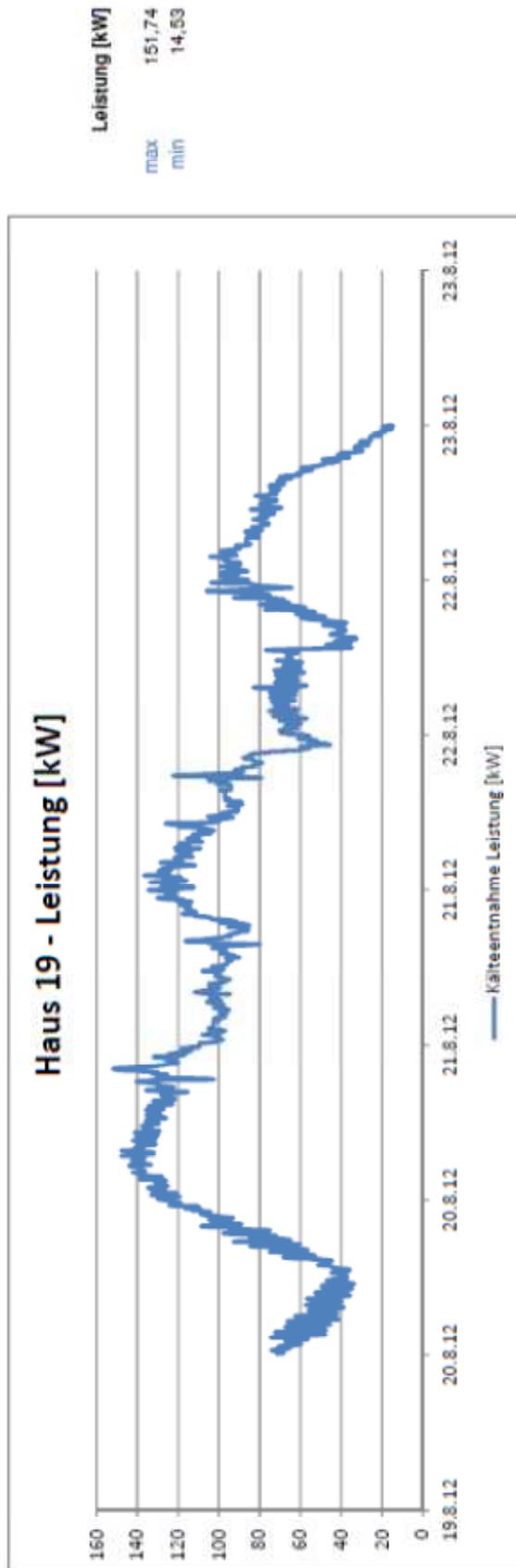


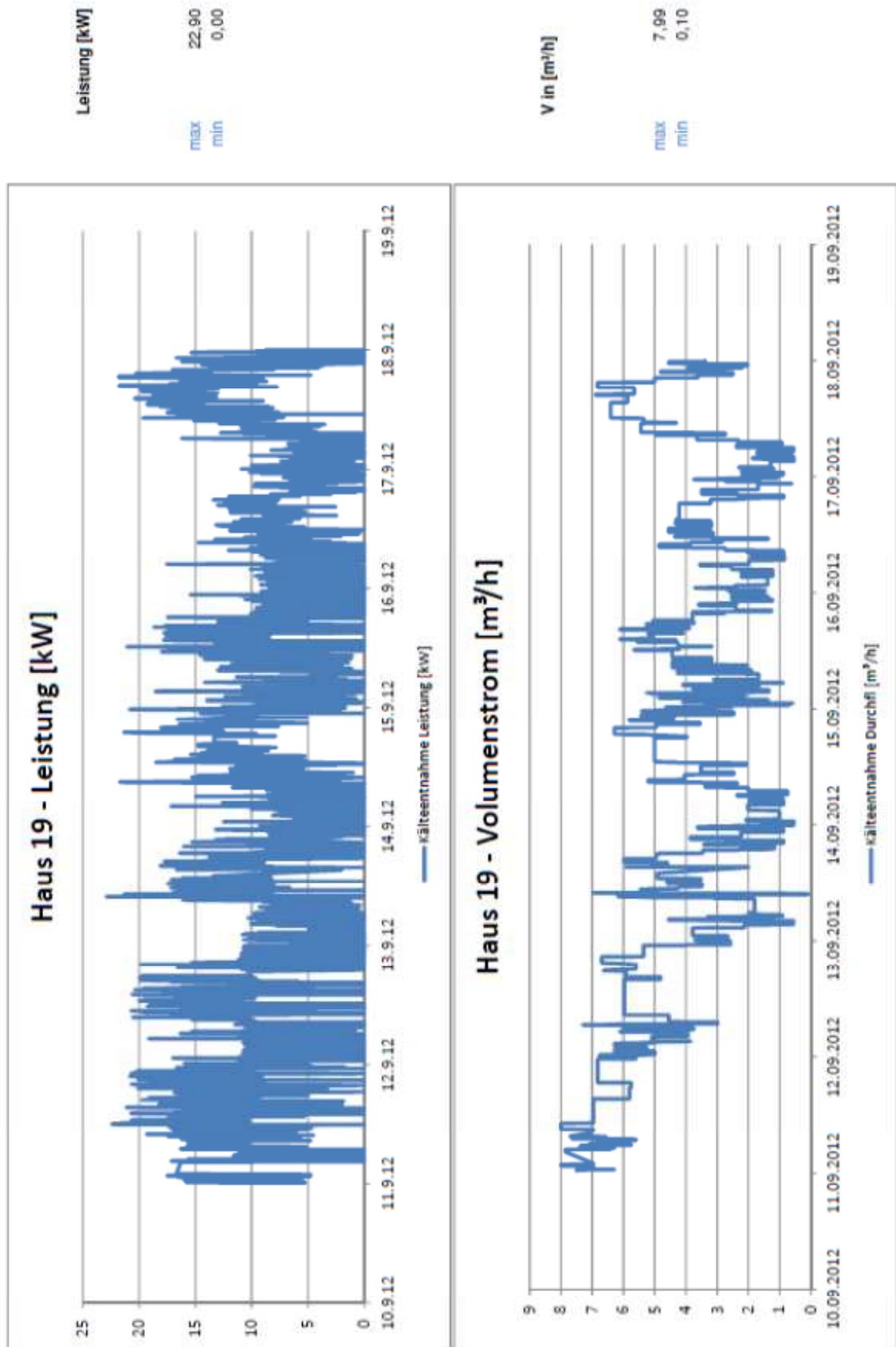


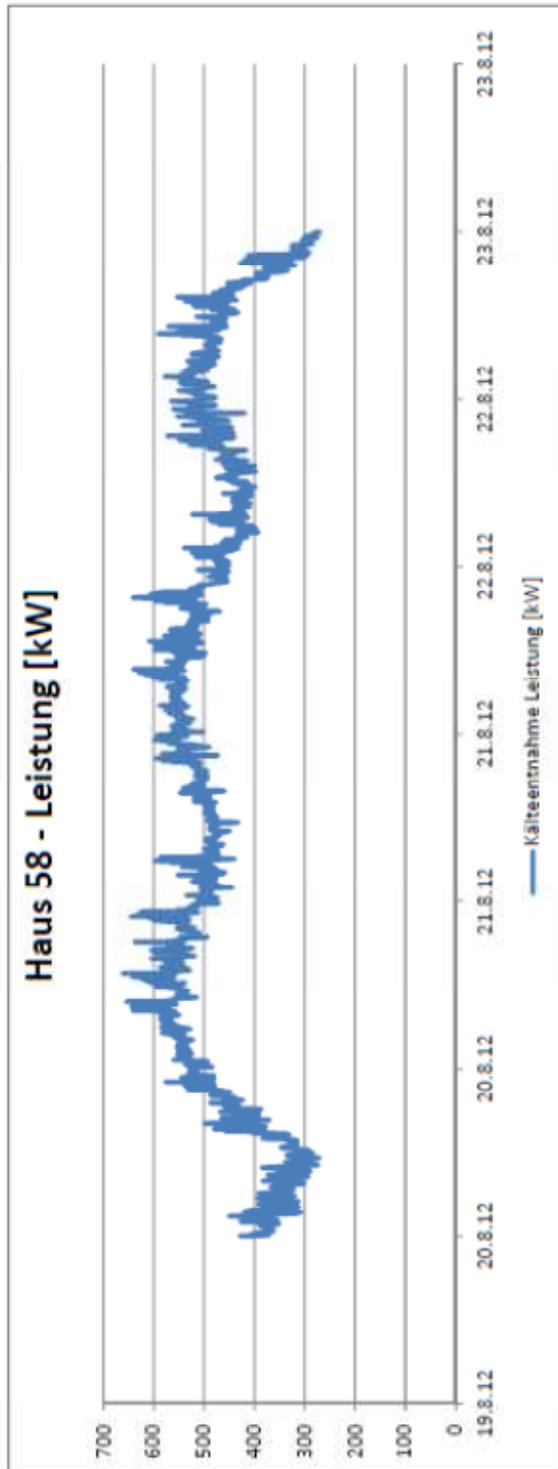


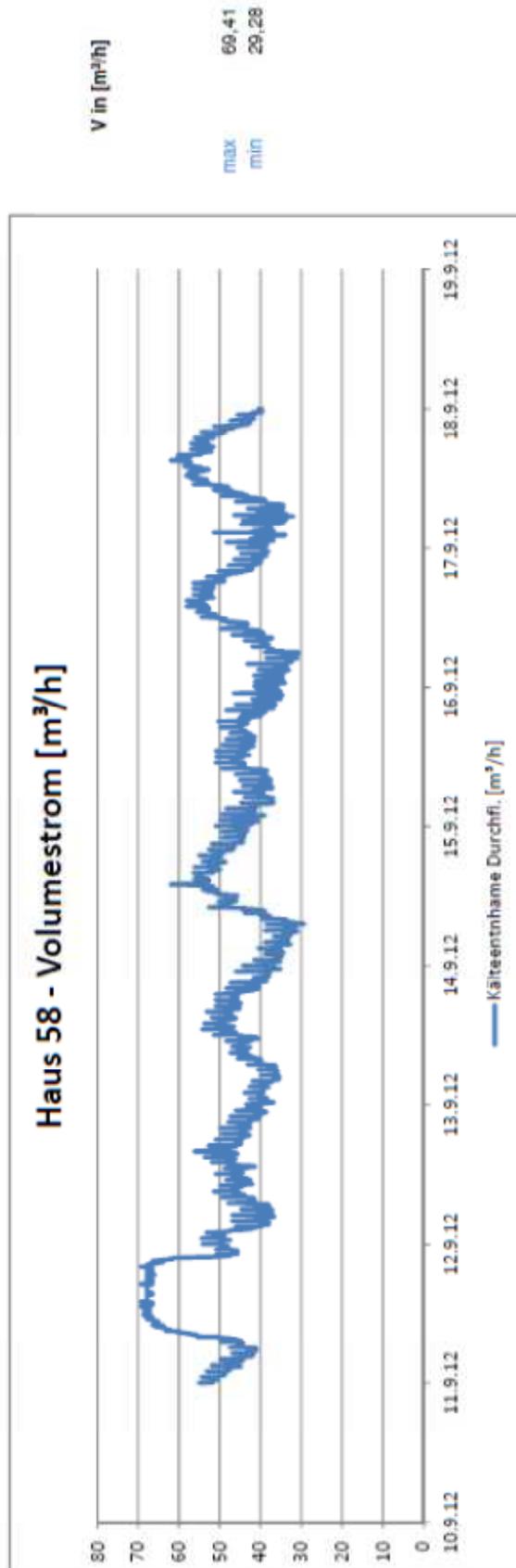
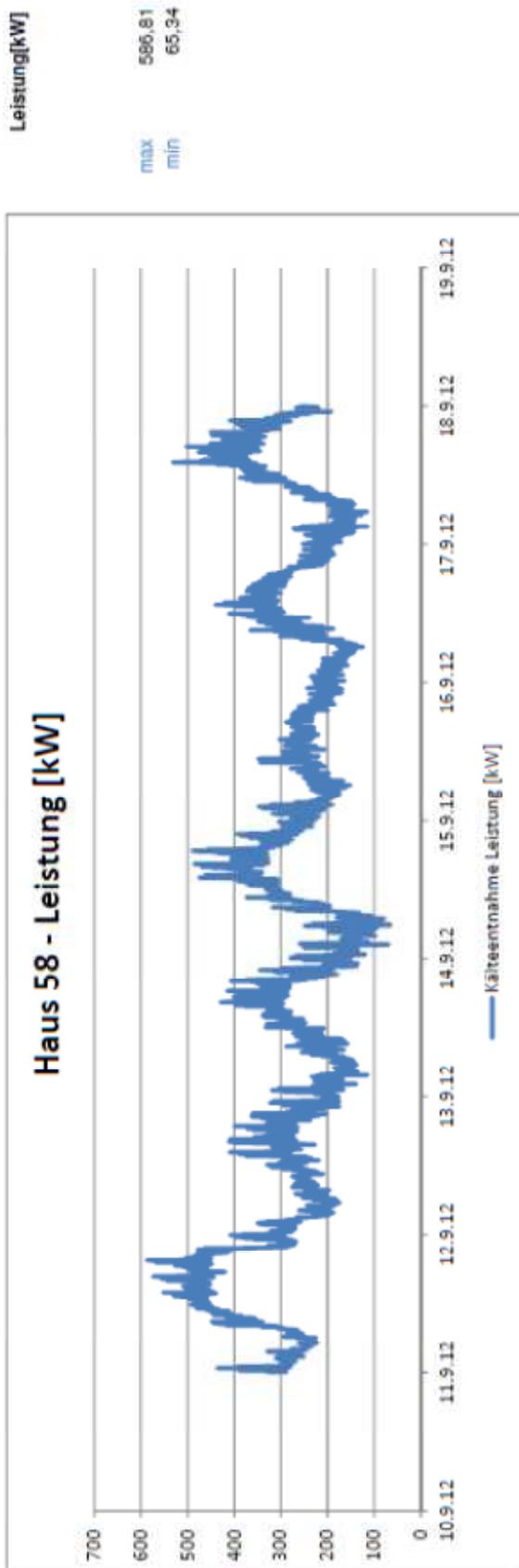


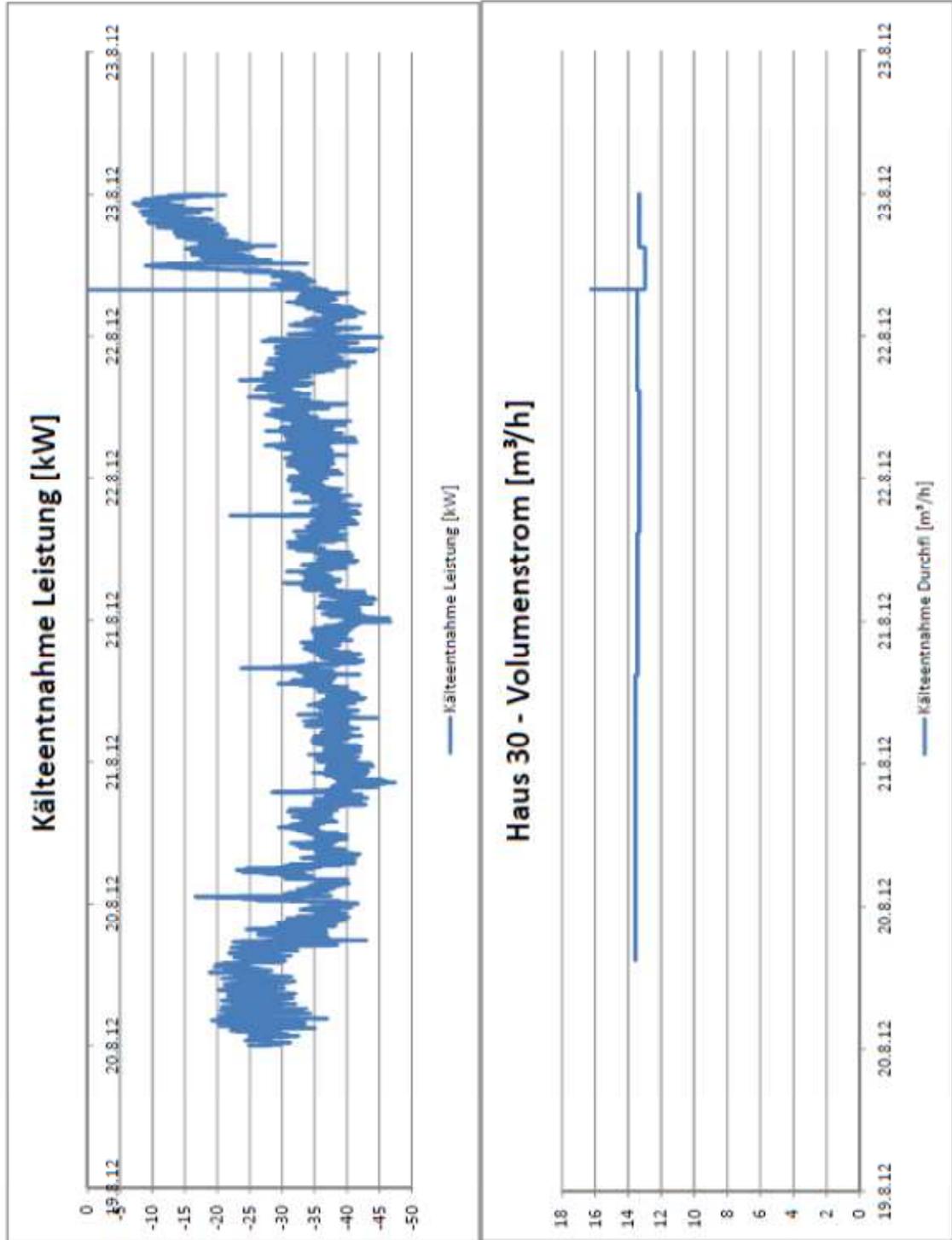


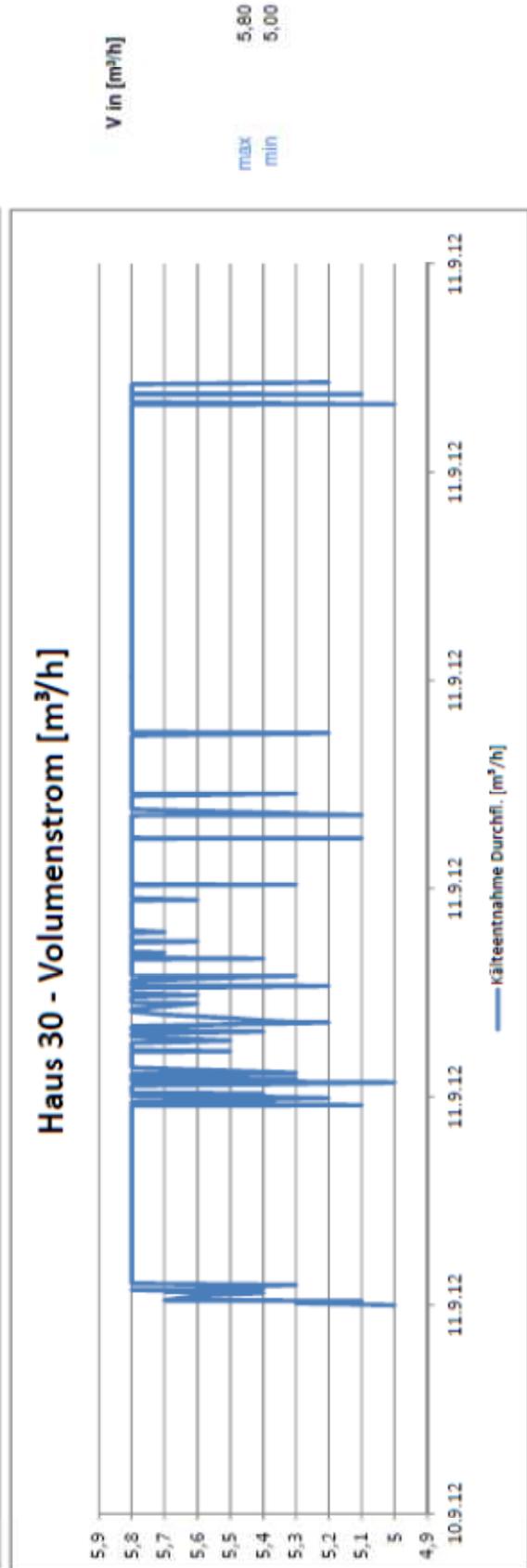
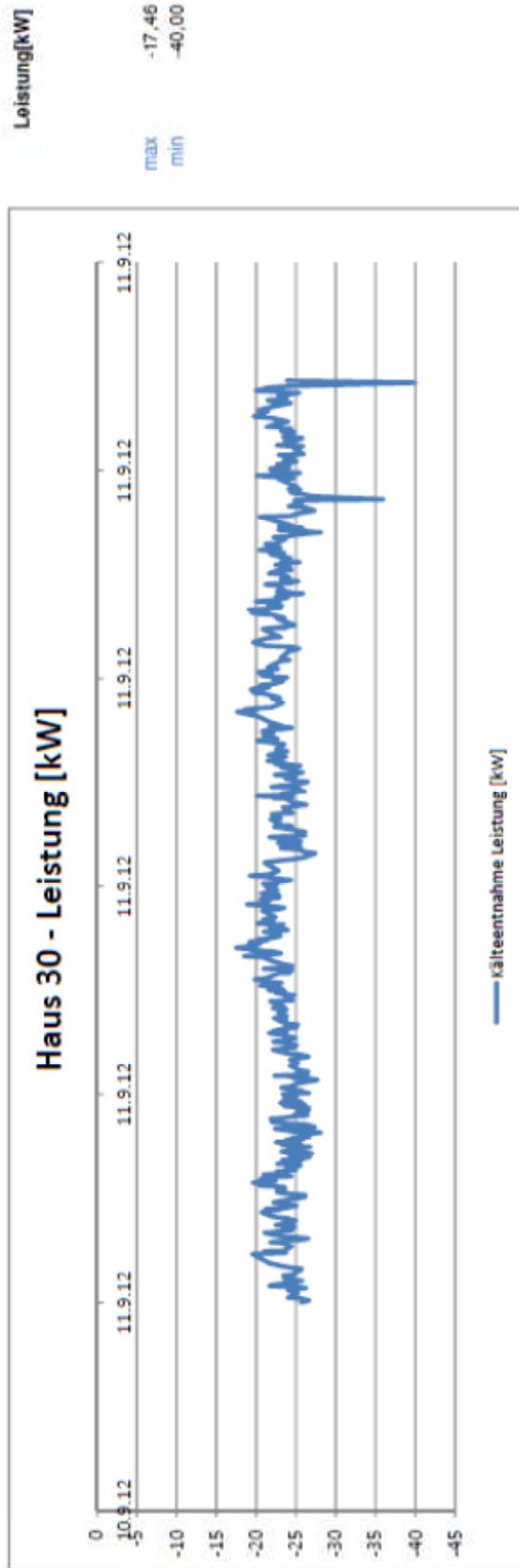




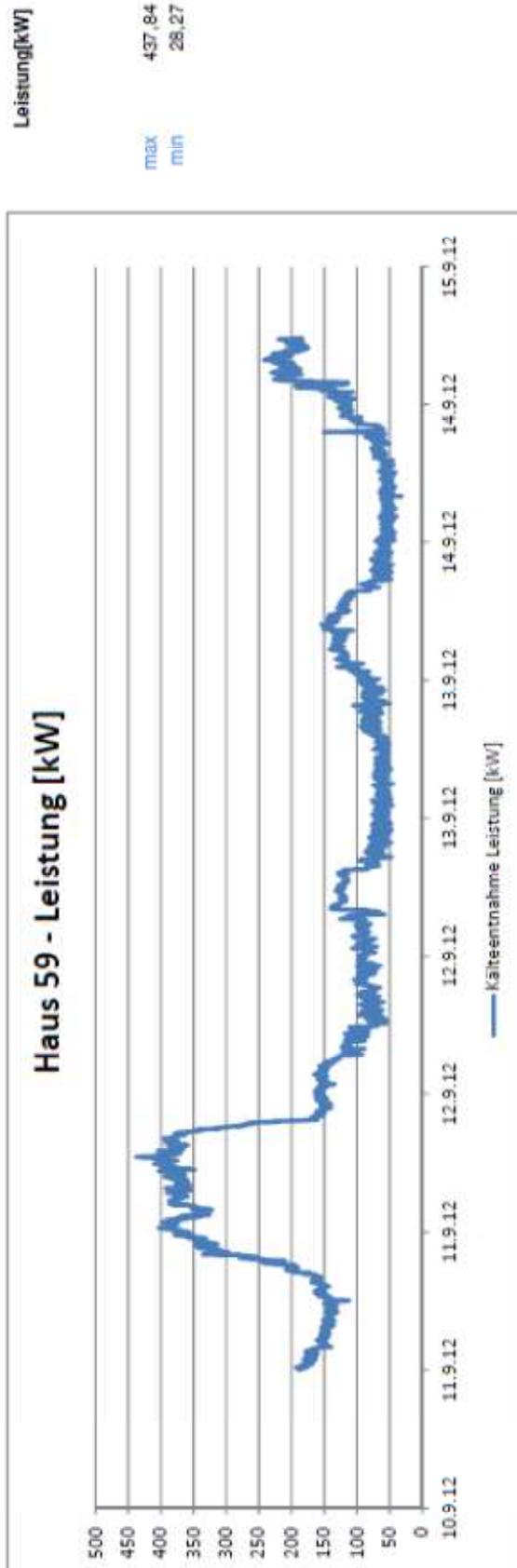


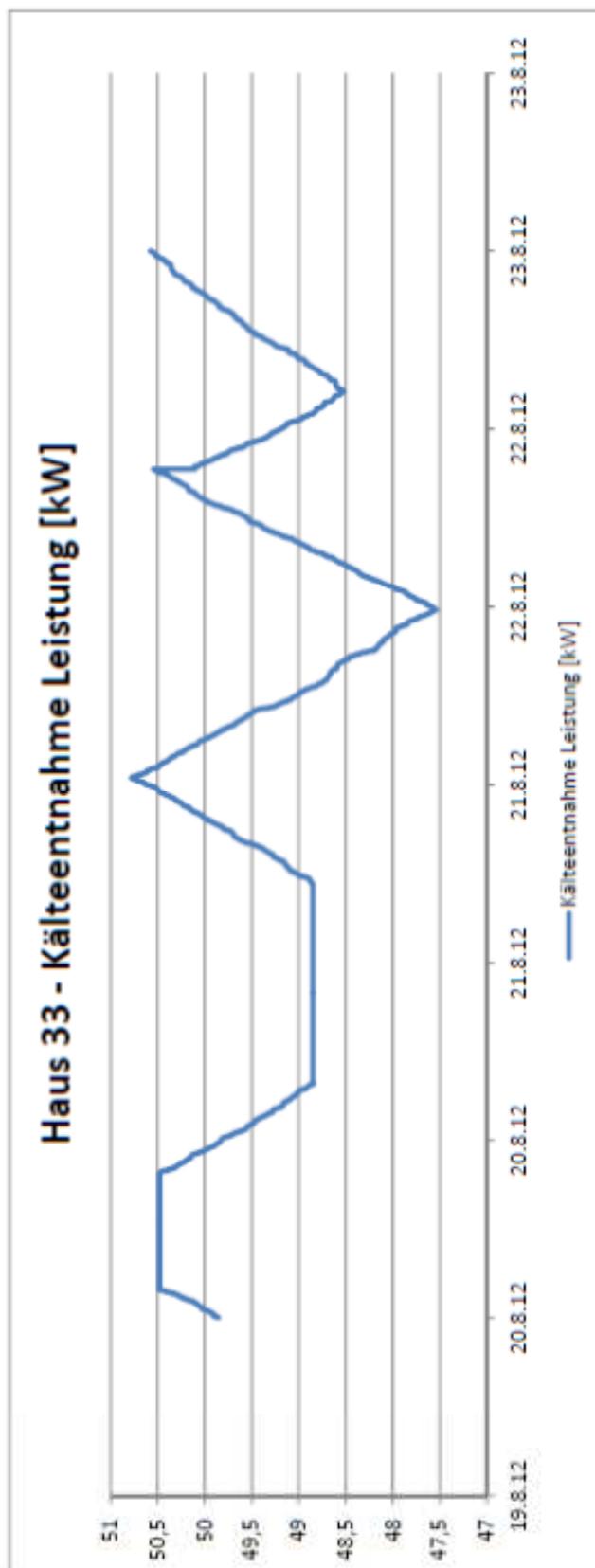






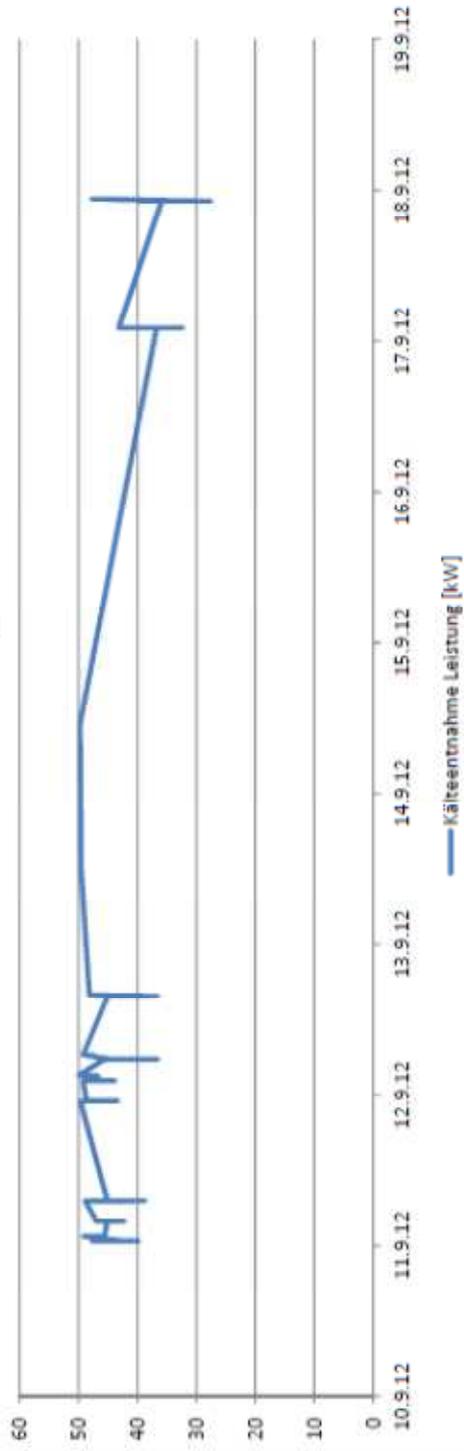






Haus 33 - Leistung [kW]

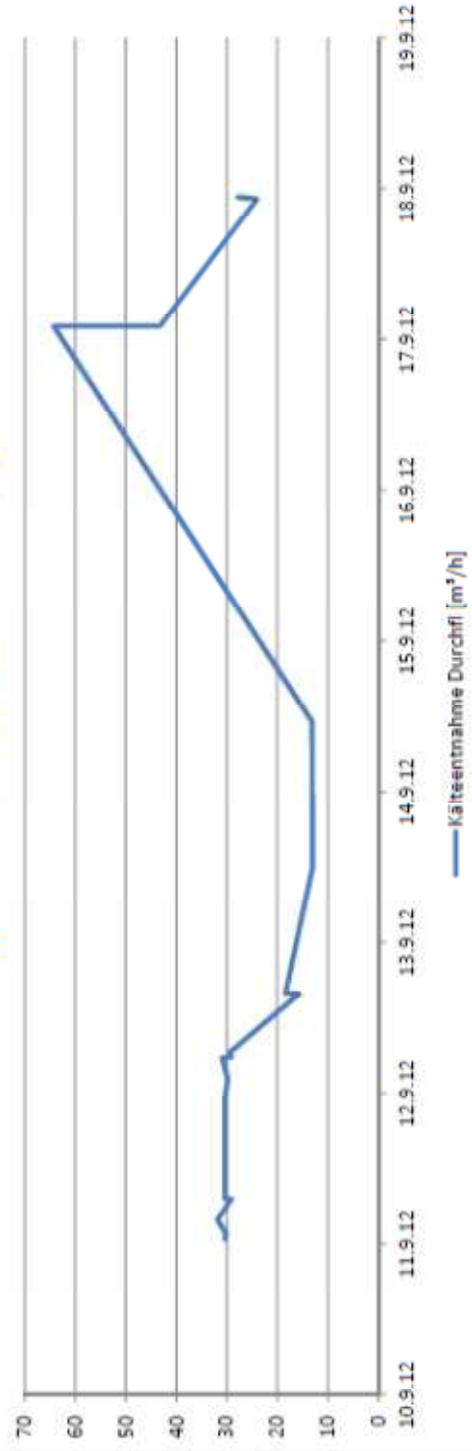
Leistung[kW]



max 49,09
min 27,58

Haus 33 - Volumenstrom [m³/h]

V in [m³/h]



max 64,29
min 12,99

Stanet® Netzberechnung Vers.9.0.40 19.07.2013 14:49:16		
Netz:	C:\Users\t.landgraf\Documents\STANET\Kaelteverbund_FU2-Optimiert	
Beschreibung:	Kälteverbundsystem des Uniklinikums Dresden	
Bericht:	Fernwaerme Leistungsbilanz	
Bearbeiter:	t.landgraf	
Knoten:	374	
Leitungen:	375	
Abnehmer:	16	
Schieber:	52	
Hintergrundbilder:	2	
Wärmetauscher:	16	
Einspeisewerke:	8	
Aufmaße:	1	
Summe Erzeugung:	4.914 MW	-703.591 t/h
Summe Abgabe:	-4.900 MW	703.589 t/h
Summe Verlust:	-0.014 MW	100.000 %
Abgabe + Verlust:	-4.914 MW	
Bilanzdifferenz:	-0.000 MW	-0.000 %
Min.Druckdiff.:	0.400 Bar	
Gleichzeitigkeitsfaktoren Simulationszeitpunkt: 0.000000 Uhr		
Profilname	Faktor	
7	1.000	
6	1.000	
5	1.000	
4	1.000	
3	1.000	
8	1.000	
2	1.000	
9	1.000	
9	1.000	
10	1.000	
10	1.000	
8	1.000	
7	1.000	
14	1.000	
6	1.000	
14	1.000	
5	1.000	
4	1.000	
19	1.000	
19	1.000	
3	1.000	
2	1.000	

Einspeisung Druckhaltung

Satz	Anfang	Ende	Name	Durchfluss	Delta p	Teilnetz
				t/h	bar	
6	K1380	K1379	Zentral Druckhal	-7,224	-0,6672	1

Sonstige Einspeisungen

Satz	Anfang	Ende	Name	Durchfluss	Delta p	Teilnetz
				t/h	bar	
1	K1163	K1162	Netzspeisung H	330,243	-0,8117	1
2	K1196	K1197	KE Haus 21	68,803	-0,6840	1
3	K1245	K1246	KE Haus 59	71,670	-0,6673	1
4	K1281	K1283	KE Haus 58	55,896	-0,6377	1
5	K1378	K1377	KE Haus 40	107,879	-0,7543	1

Kaelteverbund_FU2-Optimiert

Satz	Anfang	Ende	Name	Durchfluss	Delta p	Teilnetz
				t/h	bar	
7	K1372	K1371	KE Haus 33	33,241	-0,8759	1
8	K1394	K1393	KE Haus 25	35,858	-0,7398	1

Summe Sonstige Einspeisungen

Satz	Anfang	Ende	Name	Durchfluss	Delta p	Teilnetz
				t/h	bar	
Summe	-	-	-	703,589	-5,1706	7
Durch	-	-	-	100,513	-0,7387	1
Min	-	-	-	33,241	-0,8759	1
Max	-	-	-	330,243	-0,6377	1

Abnehmer Summe mittlere h-Leistung:

Satz	Knotenname	Verbrauch Norm	Name	Profil	Max.Abnahme
Summe	-	-4.864,0000	0	130.000	0,0000
Durch	-	-304,0000	0	8.12500	0,0000
Min	-	-1.611,0000	0	Ungültig	0,0000
Max	-	-50,0000	0	Ungültig	0,0000

Summe Leitungsverluste:

Satz	Optimieren	Anfang	Ende	Länge	Innendurchm.	Rauhigkeit	Durchfluss
	?			m	mm	mm	t/h
Summe	0	-	-	5.373,3	67.288,5	55,050	-402,668
Durch	0	-	-	14,3	179,4	0,147	-1,074
Min	0	-	-	0,1	82,5	0,000	-330,244
Max	0	-	-	152,9	312,7	0,150	330,244

Summe Abgabe

Satz	Netz-Kurzname
1	Kaeltev

Leitungen DN

Satz	Optimieren	Anfang	Ende	Länge	Innendurchm.	Rauhigkeit	Durchfluss
	?			m	mm	mm	t/h
1	?	K1013	K1014	10,3	210,1	0,150	107,879
2	?	K1014	K1015	15,6	160,3	0,150	71,633
3	?	K1017	K1018	4,4	210,1	0,150	-107,879
4	?	K1019	K1018	16,8	210,1	0,150	107,879
5		K1014	K1021	7,9	210,1	0,150	36,246
6		K1044	K1041	47,8	210,1	0,150	7,596
7		K1041	K1040	4,5	210,1	0,150	7,596
8		K1040	K1038	1,8	210,1	0,150	7,596
9		K1038	K1035	4,5	210,1	0,150	7,596
10		K1035	K1033	98,3	210,1	0,150	7,596
11		K1033	K1032	5,0	210,1	0,150	7,596
12		K1032	K1029	2,1	210,1	0,150	7,596
13		K1029	K1028	4,9	210,1	0,150	7,596
14		K1028	K1026	55,6	210,1	0,150	7,596
15		K1025	K1027	54,4	210,1	0,150	7,596
16		K1027	K1030	5,0	210,1	0,150	7,596
17		K1030	K1031	2,9	210,1	0,150	7,596
18		K1031	K1034	5,0	210,1	0,150	7,596
19		K1034	K1036	97,4	210,1	0,150	7,596
20		K1036	K1037	4,6	210,1	0,150	7,596
21		K1037	K1039	2,9	210,1	0,150	7,596
22		K1039	K1042	4,6	210,1	0,150	7,596
23		K1042	K1043	48,0	210,1	0,150	7,596
24		K1061	K1051	43,2	210,1	0,150	7,596

Seite 2

Kaelteverbund_FU2-Optimiert

Satz	Optimieren	Anfang	Ende	Länge	Innendurchm.	Rauigkeit	Durchfluss
	?			m	mm	mm	t/h
25		K1061	K1047	71,7	210,1	0,150	-7,596
26		K1047	K1045	14,0	210,1	0,150	-7,596
27		K1045	K1026	46,1	210,1	0,150	-7,596
28		K1025	K1046	46,9	210,1	0,150	-7,596
29		K1046	K1048	13,8	210,1	0,150	-7,596
30		K1048	K1049	71,8	210,1	0,150	-7,596
31		K1049	K1052	43,8	210,1	0,150	-7,596
32		K1052	K1064	27,5	210,1	0,150	-7,596
33		K1064	K1066	5,6	210,1	0,150	-7,596
34		K1066	K1069	2,0	210,1	0,150	-7,596
35		K1069	K1070	5,6	210,1	0,150	-7,596
36		K1070	K1086	46,0	210,1	0,150	-7,596
37		K1051	K1065	27,3	210,1	0,150	7,596
38		K1065	K1067	5,6	210,1	0,150	7,596
39		K1071	K1068	5,6	210,1	0,150	-7,596
40		K1067	K1068	1,1	210,1	0,150	7,596
41	?	K1082	K1019	19,6	160,3	0,150	71,633
42	?	K1021	K1023	16,6	107,1	0,150	28,650
43		K1085	K1071	46,5	210,1	0,150	-7,596
44		K1085	K1084	16,8	160,3	0,150	14,103
45		K1086	K1083	15,9	160,3	0,150	-14,103
46		K1090	K1401	2,8	160,3	0,150	-35,814
47		K1088	K1087	1,3	160,3	0,150	0,045
48		K1087	K1084	1,6	160,3	0,150	0,045
49		K1019	K1092	8,8	210,1	0,150	-36,246
50		K1021	K1044	10,0	210,1	0,150	7,596
51	?	K1092	K1024	24,6	107,1	0,150	-28,650
52		K1092	K1043	1,8	210,1	0,150	-7,596
53		K1083	K1402	9,4	160,3	0,150	0,045
54	?	K1084	K1094	25,7	82,5	0,150	14,147
55	?	K1095	K1083	26,0	82,5	0,150	14,147
56	?	K1095	K1097	33,5	82,5	0,150	-14,147
57	?	K1097	K1099	18,0	82,5	0,150	-14,147
58	?	K1099	K1100	7,5	82,5	0,150	-14,147
59	?	K1094	K1096	33,5	82,5	0,150	14,147
60	?	K1096	K1098	17,8	82,5	0,150	14,147
61	?	K1098	K1101	7,4	82,5	0,150	14,147
62		K1086	K1102	13,7	210,1	0,150	6,507
63		K1103	K1085	14,0	210,1	0,150	6,507
64		K1102	K1104	1,1	210,1	0,150	6,507
65		K1103	K1105	1,1	210,1	0,150	-6,507
66		K1105	K1106	4,7	210,1	0,150	-6,507
67		K1106	K1107	1,1	210,1	0,150	-6,507
68		K1107	K1108	1,1	312,7	0,150	-6,507
69		K1104	K1109	5,7	210,1	0,150	6,507
70		K1109	K1110	1,1	210,1	0,150	6,507
71		K1110	K1111	1,3	312,7	0,150	6,507
72		K1108	K1114	26,0	312,7	0,150	-72,632
73		K1111	K1118	24,0	312,7	0,150	72,632
74		K1119	K1118	5,3	312,7	0,150	-72,632
75		K1119	K1120	20,8	312,7	0,150	-230,840
76		K1122	K1117	10,7	312,7	0,150	-303,472
77		K1121	K1122	18,0	312,7	0,150	-230,840
78		K1122	K1114	5,0	312,7	0,150	72,632
79		K1123	K1119	4,9	312,7	0,150	-303,472
80		K1123	K1124	7,0	82,5	0,150	-26,772
81		K1117	K1125	7,5	82,5	0,150	26,772
82		K1125	K1127	31,3	82,5	0,150	26,772
83		K1124	K1126	37,3	82,5	0,150	-26,772
84	?	K1127	K1128	8,2	82,5	0,150	13,030
85	?	K1126	K1129	8,2	82,5	0,150	-13,030
86	?	K1128	K1131	16,8	82,5	0,150	13,030
87	?	K1129	K1130	20,0	82,5	0,150	-13,030
88		K1126	K1132	20,5	82,5	0,150	-13,742
89		K1127	K1133	23,5	82,5	0,150	13,742

Kaelteverbund_FU2-Optimiert

Satz	Optimieren	Anfang	Ende	Länge	Innendurchm.	Rauhigkeit	Durchfluss
	?			m	mm	mm	t/h
90	?	K1132	K1134	8,2	82,5	0,150	-13,742
91	?	K1133	K1135	7,7	82,5	0,150	13,742
92	?	K1134	K1136	13,9	82,5	0,150	-13,742
93	?	K1135	K1137	12,2	82,5	0,150	13,742
94		K1133	K1139	2,3	82,5	0,150	0,000
95		K1132	K1138	5,8	82,5	0,150	0,000
96		K1138	K1145	8,2	82,5	0,150	0,000
97		K1139	K1144	8,7	82,5	0,150	0,000
98		K1144	K1141	18,3	263,0	0,150	0,000
99		K1144	K1143	40,7	263,0	0,150	0,000
100		K1145	K1140	19,8	263,0	0,150	-0,000
101		K1142	K1145	46,4	263,0	0,150	0,000
102		K1143	K1147	19,4	263,0	0,150	0,000
103		K1142	K1146	18,9	263,0	0,150	0,000
104		K1146	K1148	23,8	263,0	0,150	0,000
105		K1120	K1148	2,5	263,0	0,150	0,000
106		K1147	K1149	28,9	263,0	0,150	0,000
107		K1149	K1121	5,5	263,0	0,150	0,000
108		K1140	K1150	19,7	312,7	0,150	0,000
109		K1141	K1153	14,0	312,7	0,150	0,000
110		K1150	K1407	2,2	312,7	0,150	0,000
111		K1154	K1159	27,9	312,7	0,150	-330,244
112		K1153	K1154	2,9	312,7	0,150	0,000
113		K1155	K1160	30,4	312,7	0,150	330,244
114		K1159	K1161	7,4	312,7	0,150	-330,244
115		K1160	K1163	16,2	312,7	0,150	330,244
116		K1161	K1162	15,7	312,7	0,150	-330,244
117		K1108	K1165	112,8	210,1	0,150	66,126
118		K1111	K1164	113,6	210,1	0,150	-66,126
119		K1166	K1165	4,1	210,1	0,150	-66,126
120		K1164	K1167	4,3	210,1	0,150	-66,126
121		K1167	K1169	12,7	160,3	0,150	-7,900
122		K1169	K1171	151,8	160,3	0,150	-7,900
123		K1171	K1173	13,3	160,3	0,150	-7,900
124		K1173	K1176	53,1	160,3	0,150	-7,900
125		K1176	K1177	0,5	160,3	0,150	-7,900
126		K1177	K1179	1,4	160,3	0,150	-7,900
127		K1179	K1180	0,3	160,3	0,150	-7,900
128		K1180	K1181	0,2	160,3	0,150	-7,900
129		K1181	K1185	2,9	160,3	0,150	-7,900
130		K1166	K1168	12,2	160,3	0,150	7,900
131		K1168	K1170	152,9	160,3	0,150	7,900
132		K1170	K1172	13,6	160,3	0,150	7,900
133		K1172	K1174	53,4	160,3	0,150	7,900
134		K1174	K1175	0,5	160,3	0,150	7,900
135		K1175	K1178	1,3	160,3	0,150	7,900
136		K1178	K1182	0,9	160,3	0,150	7,900
137		K1182	K1183	0,2	160,3	0,150	7,900
138		K1183	K1184	3,4	160,3	0,150	7,900
139		K1184	K1186	4,4	160,3	0,150	7,900
140		K1185	K1187	4,5	160,3	0,150	-7,900
141		K1187	K1198	18,6	160,3	0,150	-7,900
142	?	K1190	K1207	3,0	160,3	0,150	68,803
143	?	K1190	K1193	5,5	160,3	0,150	-68,803
144	?	K1194	K1195	4,7	160,3	0,150	-68,803
145	?	K1194	K1196	5,0	160,3	0,150	68,803
146	?	K1197	K1193	5,4	160,3	0,150	68,803
147		K1198	K1203	1,6	160,3	0,150	43,012
148	?	K1200	K1201	3,3	132,5	0,150	50,911
149	?	K1198	K1199	2,9	132,5	0,150	-50,911
150	?	K1205	K1202	3,2	107,1	0,150	-17,195
151	?	K1203	K1204	2,6	107,1	0,150	-17,195
152		K1206	K1209	2,5	82,5	0,150	-8,597
153		K1207	K1208	3,0	82,5	0,150	8,597
154		K1166	K1411	18,6	210,1	0,150	58,226

Kaelteverbund_FU2-Optimiert

Satz	Optimieren	Anfang	Ende	Länge	Innendurchm.	Rauigkeit	Durchfluss
	?			m	mm	mm	t/h
155		K1167	K1410	16,1	210,1	0,150	-58,226
156		K1210	K1212	19,6	210,1	0,150	-36,488
157		K1211	K1213	19,8	210,1	0,150	36,488
158		K1213	K1215	0,7	210,1	0,150	36,488
159		K1212	K1214	0,8	210,1	0,150	-36,488
160		K1214	K1217	2,0	210,1	0,150	-36,488
161		K1215	K1216	2,0	210,1	0,150	36,488
162		K1217	K1218	8,3	210,1	0,150	-36,488
163		K1216	K1219	8,3	210,1	0,150	36,488
164		K1218	K1220	8,2	210,1	0,150	-36,488
165		K1221	K1219	8,0	210,1	0,150	-36,488
166		K1220	K1222	22,7	210,1	0,150	-36,488
167		K1221	K1326	21,1	210,1	0,150	36,488
168		K1222	K1243	2,5	210,1	0,150	-62,564
169		K1223	K1244	3,4	210,1	0,150	62,564
170		K1224	K1226	6,8	210,1	0,150	-45,960
171		K1225	K1227	6,5	210,1	0,150	45,960
172		K1226	K1228	1,0	210,1	0,150	-45,960
173		K1227	K1229	1,1	210,1	0,150	45,960
174		K1228	K1230	34,1	210,1	0,150	-45,960
175		K1229	K1231	34,2	210,1	0,150	45,960
176		K1232	K1230	18,3	210,1	0,150	45,960
177		K1231	K1233	18,0	210,1	0,150	45,960
178		K1243	K1224	19,1	210,1	0,150	-45,960
179		K1236	K1243	1,4	160,3	0,150	16,604
180		K1244	K1225	18,0	210,1	0,150	45,960
181		K1235	K1244	1,6	160,3	0,150	-16,604
182		K1235	K1237	6,6	160,3	0,150	16,604
183		K1237	K1239	4,1	160,3	0,150	16,604
184		K1239	K1242	6,9	160,3	0,150	16,604
185		K1241	K1240	7,5	160,3	0,150	16,604
186		K1240	K1238	4,2	160,3	0,150	16,604
187		K1238	K1236	6,7	160,3	0,150	16,604
188		K1241	K1250	3,2	160,3	0,150	-16,604
189		K1242	K1249	1,6	160,3	0,150	16,604
190	?	K1249	K1246	10,9	160,3	0,150	-64,446
191		K1247	K1255	2,3	160,3	0,150	-70,168
192	?	K1250	K1245	9,8	160,3	0,150	64,446
193		K1248	K1256	2,6	160,3	0,150	70,168
194	?	K1247	K1251	5,9	160,3	0,150	70,168
195		K1248	K1252	5,1	160,3	0,150	-70,168
196	?	K1255	K1249	4,6	160,3	0,150	-81,050
197	?	K1253	K1255	6,0	82,5	0,150	-10,882
198	?	K1256	K1250	4,9	160,3	0,150	81,050
199	?	K1254	K1256	5,1	82,5	0,150	10,882
200		K1233	K1258	10,6	210,1	0,150	45,960
201		K1232	K1257	10,7	210,1	0,150	-45,960
202		K1258	K1260	5,2	210,1	0,150	45,960
203		K1262	K1260	0,4	210,1	0,150	-45,960
204		K1262	K1264	2,8	210,1	0,150	45,960
205		K1265	K1264	0,4	210,1	0,150	-45,960
206		K1265	K1267	8,8	210,1	0,150	45,960
207		K1267	K1268	0,4	210,1	0,150	45,960
208		K1268	K1271	21,2	210,1	0,150	45,960
209		K1257	K1259	4,5	210,1	0,150	-45,960
210		K1261	K1259	0,4	210,1	0,150	45,960
211		K1261	K1263	2,8	210,1	0,150	-45,960
212		K1263	K1266	0,4	210,1	0,150	-45,960
213		K1284	K1285	0,5	210,1	0,150	45,960
214		K1285	K1266	8,6	210,1	0,150	45,960
215		K1284	K1272	21,0	210,1	0,150	-45,960
216		K1272	K1273	0,8	210,1	0,150	-45,960
217		K1273	K1300	9,8	210,1	0,150	-45,960
218		K1276	K1287	6,8	210,1	0,150	-38,824
219		K1279	K1280	1,3	210,1	0,150	55,896

Kaelteverbund_FU2-Optimiert

Satz	Optimieren	Anfang	Ende	Länge	Innendurchm.	Rauhigkeit	Durchfluss
	?			m	mm	mm	t/h
220		K1280	K1281	1,8	210,1	0,150	55,896
221		K1271	K1274	0,8	210,1	0,150	45,960
222		K1274	K1275	3,3	210,1	0,150	45,960
223		K1275	K1301	6,8	210,1	0,150	45,960
224		K1277	K1286	8,4	210,1	0,150	38,824
225		K1278	K1282	3,3	210,1	0,150	-55,896
226		K1282	K1283	2,4	210,1	0,150	-55,896
227	?	K1286	K1289	3,4	210,1	0,150	94,720
228	?	K1287	K1288	2,0	210,1	0,150	-94,720
229		K1300	K1276	12,5	210,1	0,150	-38,824
230		K1300	K1291	2,1	82,5	0,150	-7,136
231		K1291	K1293	12,9	82,5	0,150	-7,136
232		K1293	K1294	0,5	82,5	0,150	-7,136
233		K1294	K1297	0,5	82,5	0,150	-7,136
234		K1297	K1299	1,0	82,5	0,150	-7,136
235		K1301	K1277	13,4	210,1	0,150	38,824
236		K1301	K1290	1,9	82,5	0,150	7,136
237		K1290	K1292	12,4	82,5	0,150	7,136
238		K1292	K1295	0,5	82,5	0,150	7,136
239		K1295	K1296	0,9	82,5	0,150	7,136
240		K1296	K1298	1,3	82,5	0,150	7,136
241		K1222	K1303	2,0	210,1	0,150	26,077
242		K1326	K1223	1,4	210,1	0,150	62,564
243		K1302	K1326	1,5	210,1	0,150	26,077
244		K1302	K1305	52,6	210,1	0,150	-26,077
245		K1305	K1307	14,3	210,1	0,150	-26,077
246		K1307	K1309	1,5	210,1	0,150	-26,077
247		K1309	K1311	5,0	210,1	0,150	-26,077
248		K1311	K1313	3,7	210,1	0,150	-26,077
249		K1313	K1314	1,1	210,1	0,150	-26,077
250		K1314	K1316	3,7	210,1	0,150	-26,077
251		K1316	K1319	48,3	210,1	0,150	-26,077
252		K1319	K1321	3,8	210,1	0,150	-26,077
253		K1321	K1322	1,0	210,1	0,150	-26,077
254		K1322	K1325	3,7	210,1	0,150	-26,077
255		K1303	K1304	51,9	210,1	0,150	26,077
256		K1304	K1306	13,5	210,1	0,150	26,077
257		K1306	K1308	1,4	210,1	0,150	26,077
258		K1308	K1310	4,4	210,1	0,150	26,077
259		K1310	K1312	3,6	210,1	0,150	26,077
260		K1312	K1315	2,2	210,1	0,150	26,077
261		K1315	K1317	3,6	210,1	0,150	26,077
262		K1317	K1318	47,2	210,1	0,150	26,077
263		K1318	K1320	3,7	210,1	0,150	26,077
264		K1320	K1323	2,1	210,1	0,150	26,077
265		K1323	K1324	3,7	210,1	0,150	26,077
266		K1325	K1329	35,4	210,1	0,150	-26,077
267		K1329	K1330	2,3	210,1	0,150	-26,077
268		K1330	K1332	4,8	210,1	0,150	-26,077
269		K1332	K1421	5,0	210,1	0,150	-26,077
270		K1334	K1336	12,0	132,5	0,150	-26,077
271		K1336	K1338	25,1	132,5	0,150	-26,077
272		K1338	K1339	17,2	132,5	0,150	-26,077
273		K1339	K1342	37,8	132,5	0,150	-26,077
274		K1342	K1344	6,8	132,5	0,150	-26,077
275		K1324	K1327	33,8	210,1	0,150	26,077
276		K1327	K1328	2,4	210,1	0,150	26,077
277		K1328	K1432	5,6	210,1	0,150	26,077
278		K1331	K1333	7,7	210,1	0,150	26,077
279		K1333	K1335	10,9	132,5	0,150	26,077
280		K1335	K1337	25,2	132,5	0,150	26,077
281		K1337	K1340	17,3	132,5	0,150	26,077
282		K1340	K1341	37,7	132,5	0,150	26,077
283		K1341	K1343	6,4	132,5	0,150	26,077
284		K1344	K1346	5,4	100,0	0,100	-26,077

Kaelteverbund_FU2-Optimiert

Satz	Optimieren	Anfang	Ende	Länge	Innendurchm.	Rauigkeit	Durchfluss
	?			m	mm	mm	t/h
285		K1346	K1348	1,4	100,0	0,100	-26,077
286		K1343	K1345	4,9	100,0	0,100	26,077
287		K1345	K1347	1,4	100,0	0,100	26,077
288		K1347	K1349	66,2	107,1	0,150	26,077
289		K1349	K1350	0,2	107,1	0,150	26,077
290		K1348	K1351	66,5	107,1	0,150	-26,077
291		K1351	K1352	0,1	107,1	0,150	-26,077
292		K1352	K1354	3,7	107,1	0,150	-26,077
293		K1354	K1356	4,4	107,1	0,150	-26,077
294		K1356	K1358	1,7	107,1	0,150	-26,077
295		K1358	K1359	0,5	107,1	0,150	-26,077
296		K1359	K1360	1,1	107,1	0,150	-26,077
297		K1360	K1376	14,7	107,1	0,150	-26,077
298	?	K1363	K1364	2,3	132,5	0,150	-33,241
299		K1350	K1353	4,0	107,1	0,150	26,077
300		K1353	K1355	5,0	107,1	0,150	26,077
301		K1355	K1357	1,7	107,1	0,150	26,077
302		K1357	K1361	0,9	107,1	0,150	26,077
303		K1361	K1373	15,9	107,1	0,150	26,077
304	?	K1362	K1365	1,6	132,5	0,150	33,241
305	?	K1364	K1367	3,8	132,5	0,150	-33,241
306	?	K1365	K1368	3,9	132,5	0,150	33,241
307	?	K1367	K1371	2,5	132,5	0,150	-33,241
308	?	K1368	K1372	2,2	132,5	0,150	33,241
309	?	K1373	K1362	1,9	132,5	0,150	33,241
310		K1373	K1374	1,9	107,1	0,150	-7,164
311	?	K1376	K1363	2,9	132,5	0,150	-33,241
312		K1375	K1376	2,2	107,1	0,150	-7,164
313	?	K1378	K1017	47,6	210,1	0,150	-107,879
314	?	K1013	K1377	47,7	210,1	0,150	-107,879
315		K1246	K1379	0,7	100,0	0,100	7,224
316		K1245	K1380	0,9	100,0	0,100	-7,224
317		K1286	K1278	4,1	210,1	0,150	-55,896
318		K1287	K1279	5,1	210,1	0,150	55,896
319		K1207	K1202	1,6	160,3	0,150	60,206
320	?	K1206	K1195	3,4	160,3	0,150	68,803
321		K1202	K1200	1,5	160,3	0,150	43,012
322		K1203	K1206	1,6	160,3	0,150	60,206
323		K1200	K1186	19,0	160,3	0,150	-7,900
324		K1090	K1381	6,4	160,3	0,150	0,000
325		K1381	K1388	0,9	160,3	0,150	0,000
326		K1388	K1390	6,2	160,3	0,150	0,000
327		K1390	K1392	0,9	160,3	0,150	0,000
328		K1392	K1391	0,9	160,3	0,150	0,000
329		K1391	K1389	6,3	160,3	0,150	0,000
330		K1389	K1381	0,9	160,3	0,150	0,000
331		K1392	K1385	4,4	160,3	0,150	0,000
332		K1385	K1386	1,5	160,3	0,150	0,000
333		K1093	K1382	4,0	160,3	0,150	0,000
334		K1382	K1383	0,7	160,3	0,150	0,000
335		K1383	K1384	13,6	160,3	0,150	0,000
336		K1384	K1387	3,9	160,3	0,150	0,000
337	?	K1393	K1395	3,5	132,5	0,150	35,858
338	?	K1395	K1396	1,0	132,5	0,150	35,858
339	?	K1394	K1397	3,7	132,5	0,150	-35,858
340	?	K1396	K1399	28,6	132,5	0,150	35,858
341	?	K1400	K1397	27,5	132,5	0,150	35,858
342		K1401	K1088	6,9	160,3	0,150	0,045
343	?	K1399	K1401	6,8	132,5	0,150	35,858
344		K1402	K1093	1,7	160,3	0,150	-35,814
345	?	K1400	K1402	7,8	132,5	0,150	-35,858
346		K1154	K1403	10,3	312,7	0,150	330,244
347		K1403	K1406	25,8	312,7	0,150	330,244
348		K1406	K1117	32,5	312,7	0,150	330,244
349		K1407	K1155	4,6	312,7	0,150	330,244

Kaelteverbund_FU2-Optimiert

Satz	Optimieren	Anfang	Ende	Länge	Innendurchm.	Rauhigkeit	Durchfluss
	?			m	mm	mm	t/h
350		K1407	K1404	5,5	312,7	0,150	-330,244
351		K1404	K1405	25,1	312,7	0,150	-330,244
352		K1405	K1123	39,9	312,7	0,150	-330,244
353		K1410	K1210	25,5	210,1	0,150	-36,488
354		K1409	K1410	75,0	160,3	0,150	21,738
355		K1411	K1211	25,1	210,1	0,150	36,488
356		K1408	K1411	76,4	160,3	0,150	-21,738
357		K1408	K1412	2,7	160,3	0,150	21,738
358		K1409	K1413	1,6	160,3	0,150	-21,738
359		K1421	K1334	2,6	210,1	0,150	-26,077
360		K1421	K1420	2,2	210,1	0,150	0,000
361		K1432	K1331	1,1	210,1	0,150	26,077
362		K1432	K1430	65,9	210,1	0,150	0,000
363		K1430	K1428	98,3	210,1	0,150	0,000
364		K1428	K1427	20,2	210,1	0,150	0,000
365		K1420	K1422	58,2	210,1	0,150	-0,000
366		K1422	K1425	98,2	210,1	0,150	0,000
367		K1425	K1426	20,7	210,1	0,150	0,000
368		K1424	K1433	1,6	107,1	0,150	0,000
369		K1429	K1434	1,5	107,1	0,150	0,000
370		K1425	K1435	31,7	107,1	0,150	0,000
371		K1435	K1438	4,4	107,1	0,150	0,000
372		K1428	K1436	33,7	107,1	0,150	0,000
373		K1436	K1437	4,8	107,1	0,150	0,000
374		K1422	K1423	1,9	100,0	0,100	0,000
375		K1430	K1439	2,0	100,0	0,100	0,000

Stanet® Netzberechnung Vers.9.0.40 19.07.2013 14:48:53		
Netz:	C:\Users\t.landgraf\Documents\STANET\Kaelteverbund_FU2-Optimiert	
Beschreibung:	Kälteverbundsystem des Uniklinikums Dresden	
Bericht:	Netzübersicht	
Bearbeiter:	t.landgraf	
Knoten:	374	
Leitungen:	375	
Abnehmer:	16	
Schieber:	52	
Hintergrundbilder:	2	
Wärmetauscher:	16	
Einspeisewerke:	8	
Aufmaße:	1	
Summe Erzeugung:	4.914 MW	-703.591 t/h
Summe Abgabe:	-4.900 MW	703.589 t/h
Summe Verlust:	-0.014 MW	100.000 %
Abgabe + Verlust:	-4.914 MW	
Bilanzdifferenz:	-0.000 MW	-0.000 %
Min.Druckdiff.:	0.400 Bar	
Gleichzeitigkeitsfaktoren		
Simulationszeitpunkt: 0.000000 Uhr		
Profilname	Faktor	
7	1.000	
6	1.000	
5	1.000	
4	1.000	
3	1.000	
8	1.000	
2	1.000	
9	1.000	
9	1.000	
10	1.000	
10	1.000	
8	1.000	
7	1.000	
14	1.000	
6	1.000	
14	1.000	
5	1.000	
4	1.000	
19	1.000	
19	1.000	
3	1.000	
2	1.000	

Alle Zuflussknoten

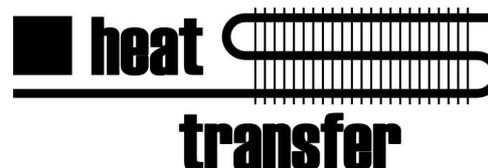
Satz	316
Knotenname	K1380
Zufluss (t/h)	7,22
Fluss-Status (?)	?
Druck-Status (!)	!
Temperatur (C)	12,0
Höhe (mNN)	0,00
Ber.Druck (bar)	2,0664
Vortlauf [J/N]	N

Gesamtabnahme:

Satz	1
Netz-Kurzname	Kaeltev
Netzbezeichnung	Kälteverbundsystem des Uniklinikums Dresden
Pfad für das Netz	
Lastfall	
(ungenutzt)	
Netzmedium	C
Netz reorganisiert [J/N]	T
Vorherrschende Rauigkeit (mm)	0,100
Vorherrschender Durchmesser (mm)	0,0
Vorherrschende Rohrlänge (m)	0,0
Dynamische Zähigkeit (E-6kg/ms)	1.793,00
Dichte des Mediums (kg/m3)	1.000,000
Luftdruck (bar)	1,013
Geodät. Höhe Luftdruckmessung (m)	112,0
Vorherrschende Mediumtemperatur (Grd. C.)	6,0
Druckfaktor Kompressibilität (1/bar)	0,00000
Iterations-Toleranz SWMM4	0,1000
Belastungsfaktor Zu-/Abfluss	1,000000
Steuerparameter Testausschriebe	1
Maximale Iterationszahl	25
KTOL	99
RTOL	0,00
Widerstandsgesetz [1-5]	1
Neuberechnung von Null [J/N]	J
Netzvolumen (Ende) (Nm3)	158,8
(ungenutzt)	0,000
Anzahl Iterationen	0
Eliminationsbereich-Faktor (z.B.3)	0
Minimale Reynoldszahl im Netz	0,0
Maximale Reynoldszahl im Netz	299.449,6
Rechenzeit (Sekunden)	1,2
BIASP	0,00
BIASQ	0,00
RPEG	0,0
RQPEG	0,0
LECKORT	0
LECKRATE	0,0
Simulationsschritte	0
Endgenauigkeit Druckabfall (bar)	0,000100
Endgenauigkeit Knotenfluss (m3/h, L/s)	0,01000
SP	0,0000
SQ	0,00
PMESS	0,0000
QMESS	0,0
Brennwert (kWh/m3)	0,0000
Zähigkeitsbeiwert TA (Grd. K)	506,0
Zähigkeitsbeiwert TB (Grd. K)	-150,0
Sutherlandkonstante Zähigkeit (Grd. K)	0,0
Zähigkeits-Bezugstemperatur (Grd. K)	273,2
Kondensation berechnen [J/N]	N
Dampfdichte (kg/m3)	0,000
Verdampfungswärme Kondensat (kJ/kg)	0,000
Wärmekapazität Medium (kJ/kg*K)	4,1868
Wärmekapazität Kondensat (kJ/kg*K)	0,0000
Wärmekapazität Dampf (kJ/kg*K)	0,0000
Vorherrsch. Wärmedurchgangszahl (W/(K*m2))	0,00
Bodentemperatur (Celsius)	0,0
Vorherrschende Feuchte (Prozent)	0,00
Name des Bearbeiters	T.Landgraf
GESNAME (ungenutzt)	
Vorherrschende Ventillänge (m)	1,0
Knotendatei wurde gepackt [J/N]	F
x-Koord. Start Katasterblätt.	0,00000
y-Koord. Start Katasterblätt.	50,00000

Seite 2

Satz	1
Katasterblattlänge x	5,00000
Katasterblattlänge y	5,00000
Anzahl Katasterblätter je Zeile	10
Gegenkathedenlänge Kata.drehung	0,00000
Hypotenusenlänge Kata.drehung	0,00000
Rücklauftemperatur (Celsius)	12,0
Beginnzeitpunkt der Rechnung (HH:MM)	0,00
Max. Druckfehler in Strecke (bar)	0,000000
Max. Flussfehler in Knoten (m3/h, L/s)	0,001683
Maximale Anzahl Teilnetze	0
Qualitäts-Verfolgung rechnen [J/N]	N
Weltkoordinaten Masseinheit Meter [J/N]	J
Temperatur berechnen [J/N]	J
Optimierung aktiviert [J/N]	N
GA Aktivieren (Genetischer Algorithmus) [J/N]	N
Individueller Durchmesser [J/N]	N
GA Anzahl Generationen	0
GA Populationsgrösse	0
GA MICROGA [J/N]	1
GA Jump Mutation Probability (0 = auto) (0...1)	0,0000
GA Crossover Probability (0.5...0.7)	0,0000
GA Creep Mutation [J/N]	1
GA Creep Mutation Probability (0 = auto) (0...1)	0,0000
GA Uniform Crossover (recommended) [J/N]	
GA Niching (Experimental) [J/N]	1
GA Elitism [J/N]	1
GA Childs per pair (1/2)	2
IRESTART	1
Population Number for test	
Last Population Number for test	
KOUNTMX	
NOWRITE	1
GA NICHFLG (Experimental)	1
IDUM	
PCON	0,00
PVAR	0,00
VCON	0,00
VVAR	0,00
Netz drehen Hypotenuse	0,00000
Netz drehen Gegenkathedenlänge	0,00000
CALCDIRTY	1
Abrechnungszeitraum aus Datum [J/N]	N
Default Abrechnungszeitraum (Tage)	365
Zeitschritt TASI (Minuten)	0,0
Lufttemperatur (Celsius)	20,0
Mittlere Tagestemperatur (Celsius)	0,0
Grenztemperatur (Celsius)	0,0
Benutzungsstunden (obsolet) (h)	0
Durchmesser-Opt. mit Routing [J/N]	N
Durchmesser-Opt. mit LP [J/N]	J
Gesamtabgabe (Nm3)	696,37
STANET Version	9.0.40
Netzvolumen Anfang (Nm3)	158,8
Gesamtzufluss (Nm3)	696,37
Datum	
Fehlercode	0
Netzvolumen-Diff. (Nm3)	0,0
Netzvol.Diff Rel. (%)	0,00
Relaxationsfaktor Druck [0...1]	
Relaxationsfaktor Fluss [0...1]	
Widerstandsfaktor	
Flusswerte TASI f.Folgestunde [J/N]	N
Max. Anzahl Reglerumschaltungen	0
Netzlänge (km)	5,37
Nur Vorlauf berechnen [J/N]	
Mindestlänge (m)	

**Angebotsnummer:****Datum:**

18.07.2013

Kundenposition:**Projekt / Referenz:**

UKD Kälte Teillast

Heattransfer Plattenwärmetauscher

Dichtungsloser Plattenwärmetauscher bestehend aus formgepreßten Edelstahlplatten, die in einem Spezialverfahren unter Vakuum mit Kupfer hartverlötet werden. Strömungsrichtung parallel im Gegenstrom. Gefertigt nach dem Qualitätsmanagementsystem DIN ISO 9002. Die Berechnung und Werkstoffe entsprechen dem Modul B+D, AFS 1999:4 der Europäischen Druckgeräterichtlinie 97/23/EG (CE).

Auslegungsdaten für 1 x M100-150-FF

Betriebsdaten	Seite A	Seite B	
Medium:	Wasser	Wasser	
Zustand:	flüssig	flüssig	
Leistung:		362	kW
Massenstrom:			
Volumenstrom:	51,79	51,92	m3/h
Temperatur Eintritt:	6	18	°C
Temperatur Austritt:	12	12	°C
Druckverlust:	14,25	13,89	kPa
Flächenreserve:		170,78	%
Gesamtinhalt:		74,5	l
Wärmeübertragungsfläche:		39,96	m2
Nenndruckstufe:		30	bar
Nenntemperatur:		204	°C

Konstruktive Daten

Größe (Höhe, Breite, Tiefe):		313	380	mm
Isolierungsausführung:	^{77R} keine			
Anschlußausführung:	FF			

Apparategrundpreis:

5.532,00

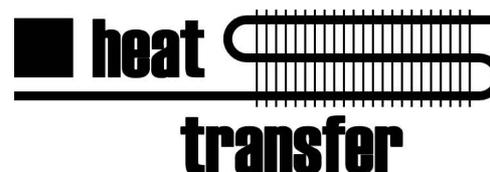
Zubehörteile:**Teilebezeichnung****Preise in €**

Mehrpreis Isolierung:

0,00

Gesamtpreis brutto:**5.532,00****Rabatt in %:****0,00****Gesamtpreis netto:****5.532,00**

€



Angebotsnummer:	Datum:	18.07.2013
Kundenposition:	Projekt / Referenz:	UKD Kälte Volllast

Heattransfer Plattenwärmetauscher

Dichtungsloser Plattenwärmetauscher bestehend aus formgepreßten Edelstahlplatten, die in einem Spezialverfahren unter Vakuum mit Kupfer hartverlötet werden. Strömungsrichtung parallel im Gegenstrom. Gefertigt nach dem Qualitätsmanagementsystem DIN ISO 9002. Die Berechnung und Werkstoffe entsprechen dem Modul B+D, AFS 1999:4 der Europäischen Druckgeräterichtlinie 97/23/EG (CE).

Auslegungsdaten für 1 x M100-150-FF

Betriebsdaten	Seite A	Seite B	
Medium:	Wasser	Wasser	
Zustand:	flüssig	flüssig	
Leistung:		490	kW
Massenstrom:			
Volumenstrom:	70,11	70,28	m3/h
Temperatur Eintritt:	6	18	°C
Temperatur Austritt:	12	12	°C
Druckverlust:	25,43	24,86	kPa
Flächenreserve:		144,67	%
Gesamtinhalt:		74,5	l
Wärmeübertragungsfläche:		39,96	m2
Nenndruckstufe:		30	bar
Nenntemperatur:		204	°C

Konstruktive Daten

Größe (Höhe, Breite, Tiefe):		313	380	mm
Isolierungsausführung:	^{77R} keine			
Anschlußausführung:	FF			

Apparategrundpreis: 5.532,00

Zubehörteile:

Teilebezeichnung	Preis	
Mehrpreis Isolierung:	0,00	
Stückpreis einschließlich Zubehör brutto:	5.532,00	
Rabatt in %:	0,00	
Stückpreis einschließlich Zubehör netto:	5.532,00	€



ROHRNETZBERECHNUNG Anlage: UKD Netzentnahme Haus 59-Teillast

Rohrnetzdaten

Berechnung für Startelement	KE Haus 59
Wärmeträger	Wasser
Vorlauftemperatur	6,0 °C
Rücklauftemperatur	12,0 °C
Realer Massenstrom	62690,8 kg/h
Idealer Massenstrom	62690,8 kg/h
Netto Wärmebedarf	438000 W
Gesamter Wärmeverlust	-6049 W
Gesamter Wasserinhalt Rohre	17428 l
Gesamter Wasserinhalt Verbraucher	0 l
Gesamter Wasserinhalt	17428 l
Gesamtgewicht der Rohre	16543,1 kg
Zusätzlicher Druckabfall im Kesselkreis	0 Pa
Gewicht Verbraucher	0,0 kg

Es wurden reale Verhältnisse berechnet
Wärmeverluste wurden berechnet und ausgeglichen

Pumpen

Ifd. Nr.	Obj. Nr.	Bezeichnung	m	pPumpe	Versorgung der Objekte	
			[kg/h]	[Pa]	Vorlauf	Rücklauf
7	70		62690,8	124852	92	122
zusätzlicher Pumpendruck erforderlich				0		



ROHRNETZBERECHNUNG Anlage: UKD Netzentnahme Haus 59-Teillast

Objektdaten

Typ: VL : Vorlauf	Q : Sollleistung am Verbraucher / Wärmeverluste der Rohre
RL : Rücklauf	pObj : Druckabfall des Objekts
VtI : Ventil	pStat : Statischer Druck
VB : Verbraucher	pStr : Druckabfall der Strecke
Kmp : Komponente	pRest : Zusätzlicher abzudrosselnder Druck
Pmp : Pumpe	
VtE : Einrohr-Ventil	

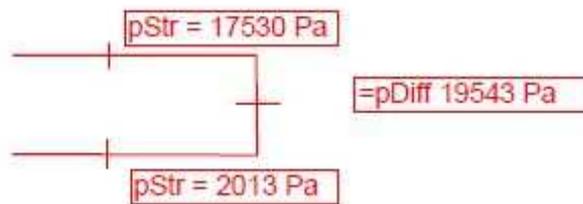
lfd. Nr.	Vorg/Nachf	Obj. Nr.	Typ	DN [mm]	Länge [m]	R [Pa/m]	w [m/s]	m [kg/h]	Q [W]	t [°C]	Zeta	pObj [Pa]	pStat [Pa]	pStr [Pa]	pRest [Pa]
1	KE Haus 59														
2	Start/4	1	VL	200	8,18	12,7	0,52	62690,8	-100	6,0	10,0		0	1499	
3	2	72	Vt	200				62690,8				64			
4	2/6	90	VL	125	3,56	117,5	1,28	62690,8	-29	6,0	2,5		-1499	3019	
5	4	76	Vt	125				62690,8				557			
6	4/7	92	VL	80	1,28	1221,4	3,26	62690,8	-7	6,0	0,0		-4518	1563	
7	6/8	70	Pmp					62690,8				124852			
8	7/9	71	VL	80	1,24	1221,4	3,26	62690,8	-7	6,0	0,0		118770	1515	
9	8/13	94	VL	125	7,00	117,5	1,28	62690,8	-58	6,0	2,5		117256	6750	
10	9	78	Vt	125				62690,8				557			
11	9	100	Vt	125				62690,8				2770			
12	9	80	Vt	125				62690,8				557			
13	9/16	2	VL	200	50,00	12,7	0,52	62690,8	-610	6,0	145		110506	20067	
14	9	82	Vt	200				62690,8				64			
15	9	84	Vt	200				62690,8				64			
16	13/17	8	VL	150	240,0	46,0	0,87	62690,8	-2321	6,0	24,0		90439	20196	
17	16/29+37	120	VL	200	20,00	12,7	0,52	62690,8	-243	6,0	9,0		70243	2328	
18	17	106	Vt	200				62690,8				748			
19	17	107	Vt	200				62690,8				64			
20	17	110	Vt	200				62690,8				64			
21	Start/25	25	RL	200	50,00	12,7	0,52	62690,8		12,1	100		-0	14140	0
22	21	74	Vt	200				62690,8				64			
23	21	88	Vt	200				62690,8				64			
24	21	86	Vt	200				62690,8				64			
25	21/26	32	RL	150	240,0	46,0	0,87	62690,8		12,1	26,0		14140	20960	0
26	25/32+39	122	RL	200	20,00	12,7	0,52	62690,8		12,1	9,0		35100	2264	0
27	26	105	Vt	200				62690,8				748			
28	26	108	Vt	200				62690,8				64			
29	17/36	18	VL	80	30,51	46,6	0,57	10877,9	-175	6,0	14,3		67914	25460	
30	29	104	Vt	80				10877,9				105			
31	29	113	Vt	50				10877,9				7397			
32	26/36	42	RL	80	33,21	46,6	0,57	10877,9		12,1	12,9		37364	5091	0
33	32	103	Vt	80				10877,9				105			
34	32	114	Vt	80				10877,9				822			
35	32	101	Vt	80				10877,9				552			
36	29/32	64	VB						76000	6,1	0,0	14250			



ROHRNETZBERECHNUNG Anlage: UKD Netzentnahme Haus 59-Teillast

lfd. Nr.	Vorg/Nachf	Obj. Nr.	Typ	DN [mm]	Länge [m]	R [Pa/m]	w [m/s]	m [kg/h]	Q [W]	t [°C]	Zeta	pObj [Pa]	pStat [Pa]	pStr [Pa]	pRest [Pa]
37	17/41	16	VL	200	20,00	9,0	0,43	51813,0	-243	6,0	10,0		67914	17530	
38	37	112	V8	150				51813,0				2192			
39	26/41	40	RL	200	50,00	9,0	0,43	51813,0		12,1	10,3		48371	2013	11007
40	39	102	V8	200				51813,0				631			
41	37/39	51	VB						362000	6,1	0,0	14250			

pStr Vortlauf und
Rücklauf
über
Wärmeübertrager





ROHRNETZBERECHNUNG Anlage: UKD Netzentnahme Haus 59

Rohrnetzdaten

Berechnung für Startelement	KE Haus 59
Wärmeträger	Wasser
Vorlauftemperatur	6,0 °C
Rücklauftemperatur	12,0 °C
Realer Massenstrom	81011,4 kg/h
Idealer Massenstrom	81011,4 kg/h
Netto Wärmebedarf	566000 W
Gesamter Wärmeverlust	-6055 W
Gesamter Wasserinhalt Rohre	17428 l
Gesamter Wasserinhalt Verbraucher	0 l
Gesamter Wasserinhalt	17428 l
Gesamtgewicht der Rohre	16543,1 kg
Zusätzlicher Druckabfall im Kesselkreis	0 Pa
Gewicht Verbraucher	0,0 kg

Es wurden reale Verhältnisse berechnet
Wärmeverluste wurden berechnet und ausgeglichen

Pumpen

lfd. Nr.	Obj. Nr.	Bezeichnung	m	pPumpe	Versorgung der Objekte	
			[kg/h]	[Pa]	Vorlauf	Rücklauf
7	70		81011,4	168048	92	122
zusätzlicher Pumpendruck erforderlich				0		



ROHRNETZBERECHNUNG Anlage: UKD Netzentnahme Haus 59

Objektdaten

Typ: VL : Vorlauf	Q : Sollleistung am Verbraucher / Wärmeverluste der Rohre
RL : Rücklauf	pObj : Druckabfall des Objekts
Vtl : Ventil	pStat : Statischer Druck
VB : Verbraucher	pStr : Druckabfall der Strecke
Kmp : Komponente	pRest : Zusätzlicher abzudrosselnder Druck
Pmp : Pumpe	
VtE : Einrohr-Ventil	

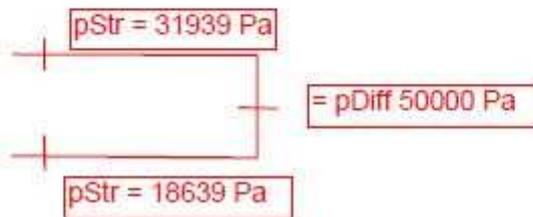
lfd. Nr.	Vorg/Nachf	Obj. Nr.	Typ	DN [mm]	Länge [m]	R [Pa/m]	w [m/s]	m [kg/h]	Q [W]	t [°C]	Zeta	pObj [Pa]	pStat [Pa]	pStr [Pa]	pRest [Pa]
1	KE Haus 59														
2	Start/4	1	VL	200	8,18	20,3	0,67	81011,4	-100	6,0	10,0		0	2496	
3	2	72	Vt	200				81011,4				108			
4	2/6	90	VL	125	3,56	190,0	1,65	81011,4	-29	6,0	2,5		-2496	5018	
5	4	76	Vt	125				81011,4				930			
6	4/7	92	VL	80	1,28	1998,5	4,21	81011,4	-7	6,0	0,0		-7515	2558	
7	6/8	70	Pmp					81011,4				168048			
8	7/9	71	VL	80	1,24	1998,5	4,21	81011,4	-7	6,0	0,0		157975	2478	
9	8/13	94	VL	125	7,00	190,0	1,65	81011,4	-58	6,0	2,5		155497	11228	
10	9	78	Vt	125				81011,4				930			
11	9	100	Vt	125				81011,4				4626			
12	9	80	Vt	125				81011,4				930			
13	9/16	2	VL	200	50,00	20,3	0,67	81011,4	-610	6,0	37,5		144269	9565	
14	9	82	Vt	200				81011,4				108			
15	9	84	Vt	200				81011,4				108			
16	13/17	8	VL	150	240,0	73,9	1,13	81011,4	-2322	6,0	24,0		134704	33046	
17	16/35+29	120	VL	200	20,00	20,3	0,67	81011,4	-243	6,0	9,0		101659	3870	
18	17	106	Vt	200				81011,4				1249			
19	17	107	Vt	200				81011,4				108			
20	17	110	Vt	200				81011,4				108			
21	Start/25	25	RL	200	50,00	20,3	0,67	81011,4		12,1	37,5		-0	9673	0
22	21	74	Vt	200				81011,4				108			
23	21	88	Vt	200				81011,4				108			
24	21	86	Vt	200				81011,4				108			
25	21/26	32	RL	150	240,0	73,9	1,13	81011,4		12,1	26,0		9673	34321	0
26	25/38+31	122	RL	200	20,00	20,3	0,67	81011,4		12,0	9,0		43993	3762	0
27	26	105	Vt	200				81011,4				1249			
28	26	108	Vt	200				81011,4				108			
29	17/34	16	VL	200	20,00	15,6	0,58	70133,6	-243	6,0	10,0		97788	31393	
30	29	112	Vt	150				70133,6				4016			
31	26/34	40	RL	200	50,00	15,6	0,58	70133,6		12,0	10,2		47756	18639	0
32	31	126	Kmp	0				70133,6			0,0	15000			
33	31	102	Vt	200				70133,6				1156			
34	29/31	51	VB						490000	6,0	0,0		25400		
35	17/42	18	VL	80	30,51	46,6	0,57	10877,9	-175	6,0	14,9		97788	36298	
36	35	104	Vt	80				10877,9				105			

31393
18639
pStr VL/RL über Wärmeübertrager



ROHRNETZBERECHNUNG Anlage: UKD Netzentnahme Haus 59

lfd. Nr.	Vorg/Nachf	Obj. Nr.	Typ	DN [mm]	Länge [m]	R [Pa/m]	w [m/s]	m [kg/h]	Q [W]	t [°C]	Zeta	pObj [Pa]	pStat [Pa]	pStr [Pa]	pRest [Pa]
37	35	113	V8	50				10877,9				7397			
38	26/42	42	RL	80	33,21	46,6	0,57	10877,9		12,1	12,4		56478	5012	8722
39	38	103	V8	80				10877,9				105			
40	38	114	V8	80				10877,9				822			
41	38	101	V8	80				10877,9				552			
42	35/38	64	VB						76000	6,0	0,0	25000			

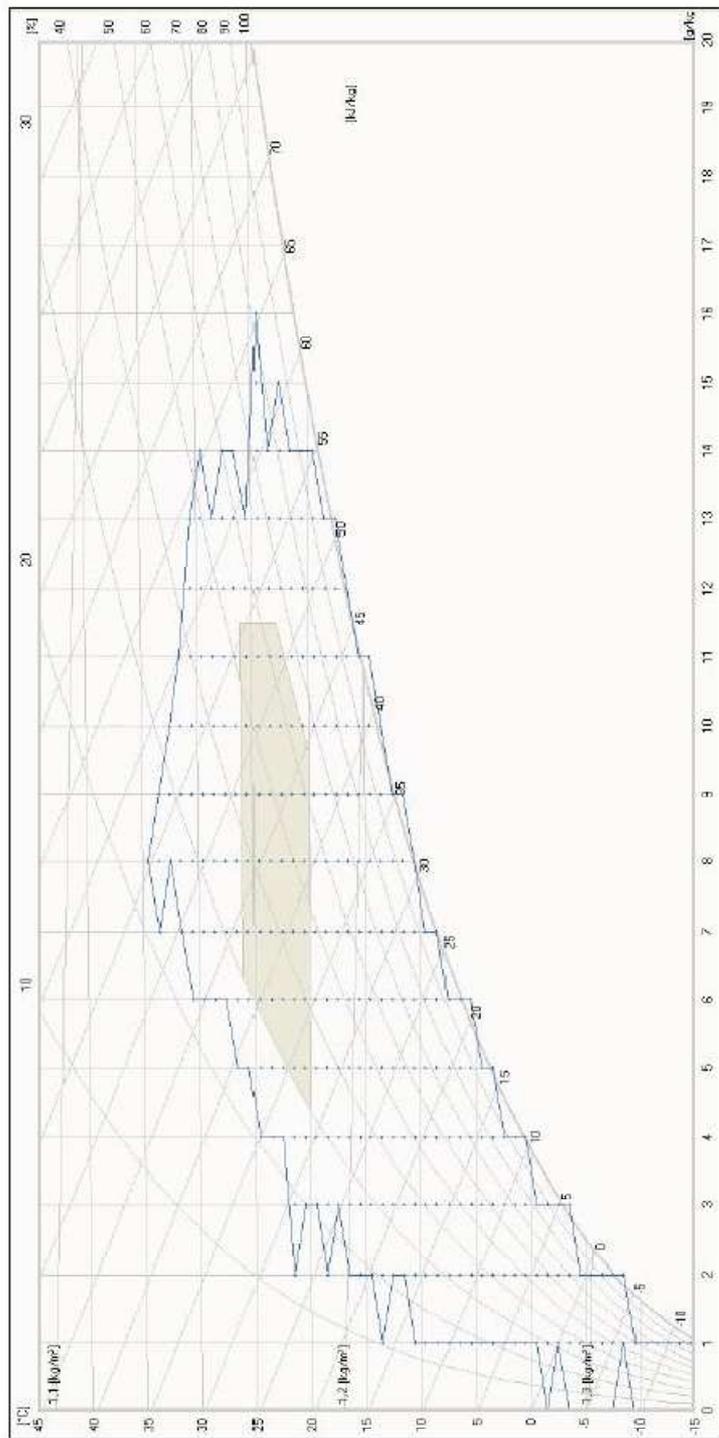


Temperatur-Tagesgang

Monat	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Januar	-1,7	-1,7	-1,8	-1,8	-1,9	-1,9	-1,9	-2,0	-1,9	-1,9	-0,9	-0,4	-0,1	0,1	-0,3	-0,7	-1,0	-1,1	-1,2	-1,3	-1,4	-1,4	-1,4	-1,6
Februar	-1,5	-1,6	-1,6	-1,7	-1,8	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,5	-0,7	0,7	1,1	1,3	1,3	1,0	0,5	-0,4	-0,6	-0,8	-1,0	-1,2	-1,3	-1,3
März	2,4	2,2	2,1	1,9	1,7	1,7	1,7	1,7	2,1	2,8	3,6	4,4	5,0	5,5	5,7	5,8	5,7	4,7	4,1	3,6	3,3	3,1	2,9	2,7
April	4,9	4,6	4,4	4,1	3,9	3,9	4,3	5,2	6,2	7,0	7,8	8,4	8,9	9,2	9,3	9,2	9,0	8,5	7,7	6,9	6,4	6,0	5,6	5,3
Mai	9,6	9,2	8,9	8,6	8,5	9,0	10,1	11,3	12,4	13,2	13,8	14,4	14,8	15,0	15,2	15,1	14,8	14,4	13,6	12,5	11,8	11,1	10,6	10,1
Juni	14,0	13,7	13,3	13,1	13,0	13,4	14,4	15,5	16,5	17,3	17,9	18,4	18,9	19,2	19,4	19,4	19,2	18,7	17,9	16,8	15,9	15,3	14,8	14,4
August	14,4	14,1	13,8	13,6	13,4	13,5	14,3	15,4	16,6	17,5	18,3	18,9	19,4	19,7	19,9	19,8	19,5	18,8	17,7	16,6	15,9	15,3	14,9	14,5
September	11,5	11,3	11,1	10,9	10,7	10,6	10,9	11,8	12,9	13,8	14,6	15,2	15,7	16,0	16,1	15,9	15,4	14,5	13,6	12,9	12,5	12,2	11,9	11,7
Oktober	8,2	8,1	7,9	7,7	7,6	7,5	7,6	8,0	9,0	10,1	11,0	11,7	12,0	12,2	12,0	11,5	10,6	9,9	9,4	9,1	8,8	8,6	8,4	8,2
November	3,1	2,9	2,9	2,8	2,7	2,7	2,7	2,7	3,1	3,8	4,4	4,9	5,3	5,4	5,1	4,6	4,1	3,7	3,5	3,4	3,2	3,1	3,0	2,9
Dezember	0,7	0,6	0,6	0,6	0,5	0,4	0,4	0,4	0,5	0,9	1,4	1,8	2,1	2,2	2,0	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0	0,9	0,8	0,8

Feuchte-Tagesgang

Monat	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Januar	3,1	3,1	3,1	3,1	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,1	3,1	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,1	3,1	3,1	3,1
Februar	3,1	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,1	3,1	3,1	3,2	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,2	3,2	3,1	3,1	3,1	3,1
März	3,9	3,9	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,9	4,0	4,0	4,1	4,1	4,1	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,1	4,1	4,0	4,0	4,0	3,9
April	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,3	4,3	4,4	4,5	4,6	4,6	4,6	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,6	4,6	4,6	4,5	4,5
Mai	6,1	6,0	6,0	5,9	5,9	6,0	6,3	6,4	6,4	6,4	6,4	6,3	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,5	6,4	6,3	6,2	6,2
Juni	7,7	7,6	7,6	7,5	7,5	7,7	7,9	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,1	8,2	8,1	8,0	7,9	7,8	7,8
Juli	8,4	8,3	8,3	8,2	8,2	8,3	8,6	8,8	8,8	8,7	8,6	8,6	8,5	8,5	8,6	8,6	8,7	8,8	8,9	8,8	8,7	8,6	8,5	8,5
August	8,6	8,5	8,5	8,5	8,4	8,5	8,7	9,0	9,0	9,0	8,9	8,8	8,8	8,7	8,7	8,7	8,7	8,8	8,9	8,9	8,8	8,8	8,7	8,6
September	7,5	7,4	7,4	7,3	7,3	7,2	7,3	7,6	7,7	7,8	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	7,8	7,8	7,8	7,7	7,7	7,6	7,5	7,5	7,5
Oktober	5,9	5,8	5,8	5,8	5,7	5,7	5,7	5,8	6,0	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,1	6,1	6,0	5,9	5,9	5,9	5,8
November	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,4	4,5	4,6	4,6	4,6	4,7	4,7	4,6	4,6	4,5	4,4	4,4	4,4	4,3	4,3	4,3
Dezember	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,7	3,7	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,7	3,7	3,7	3,7	3,6	3,6	3,6



Stanet® Netzberechnung Vers.9.0.40 19.07.2013 14:25:37		
Netz:	C:\Users\t.landgraf\Documents\STANET\Kaelteverbund_Ring	
Beschreibung:	Kälteverbundsystem des Uniklinikums Dresden	
Bericht:	Fernwaerme Leistungsbilanz	
Bearbeiter:	t.landgraf	
Knoten:	454	
Leitungen:	467	
Abnehmer:	16	
Schieber:	52	
Hintergrundbilder:	2	
Wärmetauscher:	16	
Diagramme Tagessimulation:	1	
Einspeisewerke:	8	
Summe Erzeugung:	4.924 MW	-704.482 t/h
Summe Abgabe:	-4.900 MW	704.480 t/h
Summe Verlust:	-0.024 MW	100.000 %
Abgabe + Verlust:	-4.924 MW	
Bilanzdifferenz:	-0.000 MW	-0.000 %
Min.Druckdiff.:	0.400 Bar	
Gleichzeitigkeitsfaktoren Simulationszeitpunkt: 0.000000 Uhr		
Profilname	Faktor	
7	1.000	
6	1.000	
5	1.000	
4	1.000	
3	1.000	
8	1.000	
2	1.000	
9	1.000	
9	1.000	
10	1.000	
10	1.000	
8	1.000	
7	1.000	
14	1.000	
6	1.000	
14	1.000	
5	1.000	
4	1.000	
19	1.000	
19	1.000	
3	1.000	
2	1.000	

Einspeisung Druckhaltung

Satz	Anfang	Ende	Name	Durchfluss	Delta p	Teilnetz
				t/h	bar	
6	K1380	K1379	Zentral Druckhal	-8,577	-0,6674	1

Sonstige Einspeisungen

Satz	Anfang	Ende	Name	Durchfluss	Delta p	Teilnetz
				t/h	bar	
1	K1163	K1162	Netzspeisung H	330,207	-0,7985	1
2	K1196	K1197	KE Haus 21	68,826	-0,6673	1
3	K1245	K1246	KE Haus 59	71,671	-0,6676	1
4	K1281	K1283	KE Haus 58	55,896	-0,6405	1
5	K1378	K1377	KE Haus 40	108,619	-0,7364	1

Kaelteverbund_Ring

Satz	Anfang	Ende	Name	Durchfluss	Delta p	Teilnetz
				t/h	bar	
7	K1372	K1371	KE Haus 33	33,220	-0,9408	1
8	K1394	K1393	KE Haus 25	36,041	-0,7012	1

Summe Sonstige Einspeisungen

Satz	Anfang	Ende	Name	Durchfluss	Delta p	Teilnetz
				t/h	bar	
Summe	-	-	-	704,480	-5,1523	7
Durch	-	-	-	100,640	-0,7360	1
Min	-	-	-	33,220	-0,9408	1
Max	-	-	-	330,207	-0,6405	1

Abnehmer Summe mittlere h-Leistung:

Satz	Knotenname	Verbrauch Norm	Name	Profil	Max.Abnahme
Summe	-	-4.864,0000	0	130.000	0,0000
Durch	-	-304,0000	0	8.12500	0,0000
Min	-	-1.611,0000	0	Ungültig	0,0000
Max	-	-50,0000	0	Ungültig	0,0000

Summe Leitungsverluste:

Satz	Optimieren	Anfang	Ende	Länge	Innendurchm.	Rauhigkeit	Durchfluss
	?			m	mm	mm	t/h
Summe	0	-	-	9.973,1	85.173,6	66,900	-536,263
Durch	0	-	-	21,4	182,4	0,143	-1,148
Min	0	-	-	0,1	82,5	0,000	-330,207
Max	0	-	-	334,9	312,7	0,150	330,207

Summe Abgabe

Satz	Netz-Kurzname
1	Kaeltev

Leitungen DN

Satz	Optimieren	Anfang	Ende	Länge	Innendurchm.	Rauhigkeit	Durchfluss
	?			m	mm	mm	t/h
1		K1013	K1014	10,3	210,1	0,150	104,778
2		K1014	K1015	15,6	160,3	0,150	71,636
3		K1017	K1018	4,4	210,1	0,150	-103,622
4		K1019	K1018	16,8	210,1	0,150	103,622
5		K1014	K1021	7,9	210,1	0,150	33,142
6		K1044	K1041	47,8	210,1	0,150	4,491
7		K1041	K1040	4,5	210,1	0,150	4,491
8		K1040	K1038	1,8	210,1	0,150	4,491
9		K1038	K1035	4,5	210,1	0,150	4,491
10		K1035	K1496	35,3	210,1	0,150	4,491
11		K1033	K1032	5,0	210,1	0,150	2,274
12		K1032	K1029	2,1	210,1	0,150	2,274
13		K1029	K1028	4,9	210,1	0,150	2,274
14		K1028	K1026	55,6	210,1	0,150	2,274
15		K1025	K1027	54,4	210,1	0,150	1,698
16		K1027	K1030	5,0	210,1	0,150	1,698
17		K1030	K1031	2,9	210,1	0,150	1,698
18		K1031	K1034	5,0	210,1	0,150	1,698
19		K1034	K1494	59,5	210,1	0,150	1,698
20		K1036	K1037	4,6	210,1	0,150	3,336
21		K1037	K1039	2,9	210,1	0,150	3,336
22		K1039	K1042	4,6	210,1	0,150	3,336
23		K1042	K1043	48,0	210,1	0,150	3,336
24		K1061	K1051	43,2	210,1	0,150	4,491

Seite 2

Kaelteverbund_Ring

Satz	Optimieren	Anfang	Ende	Länge	Innendurchm.	Rauhigkeit	Durchfluss
	?			m	mm	mm	t/h
25		K1061	K1047	71,7	210,1	0,150	-4,491
26		K1047	K1045	14,0	210,1	0,150	-4,491
27		K1045	K1026	46,1	210,1	0,150	-4,491
28		K1025	K1046	46,9	210,1	0,150	-3,336
29		K1046	K1048	13,8	210,1	0,150	-3,336
30		K1048	K1049	71,8	210,1	0,150	-3,336
31		K1049	K1052	43,8	210,1	0,150	-3,336
32		K1052	K1461	25,3	210,1	0,150	-3,336
33		K1064	K1066	5,6	210,1	0,150	-11,806
34		K1066	K1069	2,0	210,1	0,150	-11,806
35		K1069	K1070	5,6	210,1	0,150	-11,806
36		K1070	K1086	46,0	210,1	0,150	-11,806
37		K1051	K1455	22,7	210,1	0,150	4,491
38		K1065	K1067	5,6	210,1	0,150	12,495
39		K1071	K1068	5,6	210,1	0,150	-12,495
40		K1067	K1068	1,1	210,1	0,150	12,495
41		K1082	K1019	19,6	160,3	0,150	71,636
42		K1021	K1023	16,6	107,1	0,150	28,651
43		K1085	K1071	46,5	210,1	0,150	-12,495
44		K1085	K1084	16,8	160,3	0,150	27,736
45		K1086	K1083	15,9	160,3	0,150	-28,179
46		K1090	K1401	2,8	160,3	0,150	-35,617
47		K1088	K1087	1,3	160,3	0,150	-13,622
48		K1087	K1084	1,6	160,3	0,150	-13,622
49		K1019	K1092	8,8	210,1	0,150	-31,986
50		K1021	K1044	10,0	210,1	0,150	4,491
51		K1092	K1024	24,6	107,1	0,150	-28,651
52		K1092	K1043	1,8	210,1	0,150	-3,336
53		K1083	K1402	9,4	160,3	0,150	-14,065
54		K1084	K1094	25,7	82,5	0,150	14,114
55		K1095	K1083	26,0	82,5	0,150	14,114
56		K1095	K1097	33,5	82,5	0,150	-14,114
57		K1097	K1099	18,0	82,5	0,150	-14,114
58		K1099	K1100	7,5	82,5	0,150	-14,114
59		K1094	K1096	33,5	82,5	0,150	14,114
60		K1096	K1098	17,8	82,5	0,150	14,114
61		K1098	K1101	7,4	82,5	0,150	14,114
62		K1086	K1102	13,7	210,1	0,150	16,373
63		K1103	K1085	14,0	210,1	0,150	15,242
64		K1102	K1104	1,1	210,1	0,150	16,373
65		K1103	K1105	1,1	210,1	0,150	-15,242
66		K1105	K1106	4,7	210,1	0,150	-15,242
67		K1106	K1107	1,1	210,1	0,150	-15,242
68		K1107	K1108	1,1	312,7	0,150	-15,242
69		K1104	K1109	5,7	210,1	0,150	16,373
70		K1109	K1110	1,1	210,1	0,150	16,373
71		K1110	K1111	1,3	312,7	0,150	16,373
72		K1108	K1114	26,0	312,7	0,150	-72,595
73		K1111	K1118	24,0	312,7	0,150	72,595
74		K1119	K1118	5,3	312,7	0,150	-72,595
75		K1119	K1120	20,8	312,7	0,150	-230,839
76		K1122	K1117	10,7	312,7	0,150	-303,434
77		K1121	K1122	18,0	312,7	0,150	-230,839
78		K1122	K1114	5,0	312,7	0,150	72,595
79		K1123	K1119	4,9	312,7	0,150	-303,434
80		K1123	K1124	7,0	100,0	0,100	-26,774
81		K1117	K1125	7,5	82,5	0,150	26,774
82		K1125	K1127	31,3	82,5	0,150	26,774
83		K1124	K1126	37,3	82,5	0,150	-26,774
84		K1127	K1128	8,2	82,5	0,150	13,031
85		K1126	K1129	8,2	82,5	0,150	-13,031
86		K1128	K1131	16,8	82,5	0,150	13,031
87		K1129	K1130	20,0	82,5	0,150	-13,031
88		K1126	K1132	20,5	82,5	0,150	-13,743
89		K1127	K1133	23,5	82,5	0,150	13,743

Kaelteverbund_Ring

Satz	Optimieren	Anfang	Ende	Länge	Innendurchm.	Rauhigkeit	Durchfluss
	?			m	mm	mm	t/h
90		K1132	K1134	8,2	82,5	0,150	-13,743
91		K1133	K1135	7,7	82,5	0,150	13,743
92		K1134	K1136	13,9	82,5	0,150	-13,743
93		K1135	K1137	12,2	82,5	0,150	13,743
94		K1133	K1139	2,3	82,5	0,150	0,000
95		K1132	K1138	5,8	82,5	0,150	0,000
96		K1138	K1145	8,2	82,5	0,150	0,000
97		K1139	K1144	8,7	82,5	0,150	0,000
98		K1144	K1141	18,3	263,0	0,150	0,000
99		K1144	K1143	40,7	263,0	0,150	0,000
100		K1145	K1140	19,8	263,0	0,150	0,000
101		K1142	K1145	46,4	263,0	0,150	0,000
102		K1143	K1147	19,4	263,0	0,150	0,000
103		K1142	K1146	18,9	263,0	0,150	0,000
104		K1146	K1148	23,8	263,0	0,150	0,000
105		K1120	K1148	2,5	263,0	0,150	0,000
106		K1147	K1149	28,9	263,0	0,150	0,000
107		K1149	K1121	5,5	263,0	0,150	0,000
108		K1140	K1150	19,7	312,7	0,150	0,000
109		K1141	K1153	14,0	312,7	0,150	0,000
110		K1150	K1407	2,2	312,7	0,150	0,000
111		K1154	K1159	27,9	312,7	0,150	-330,207
112		K1153	K1154	2,9	312,7	0,150	0,000
113		K1155	K1160	30,4	312,7	0,150	330,207
114		K1159	K1161	7,4	312,7	0,150	-330,207
115		K1160	K1163	16,2	312,7	0,150	330,207
116		K1161	K1162	15,7	312,7	0,150	-330,207
117		K1108	K1165	112,8	210,1	0,150	57,353
118		K1111	K1164	113,6	210,1	0,150	-56,222
119		K1166	K1165	4,1	210,1	0,150	-57,353
120		K1164	K1167	4,3	210,1	0,150	-56,222
121		K1167	K1169	12,7	160,3	0,150	-6,231
122		K1169	K1171	151,8	160,3	0,150	-6,231
123		K1171	K1173	13,3	160,3	0,150	-6,231
124		K1173	K1460	19,6	160,3	0,150	-6,231
125		K1176	K1177	0,5	160,3	0,150	-12,250
126		K1177	K1179	1,4	160,3	0,150	-12,250
127		K1179	K1180	0,3	160,3	0,150	-12,250
128		K1180	K1181	0,2	160,3	0,150	-12,250
129		K1181	K1185	2,9	160,3	0,150	-12,250
130		K1166	K1168	12,2	160,3	0,150	6,338
131		K1168	K1170	152,9	160,3	0,150	6,338
132		K1170	K1172	13,6	160,3	0,150	6,338
133		K1172	K1456	20,9	160,3	0,150	6,338
134		K1174	K1175	0,5	160,3	0,150	12,381
135		K1175	K1178	1,3	160,3	0,150	12,381
136		K1178	K1182	0,9	160,3	0,150	12,381
137		K1182	K1183	0,2	160,3	0,150	12,381
138		K1183	K1184	3,4	160,3	0,150	12,381
139		K1184	K1186	4,4	160,3	0,150	12,381
140		K1185	K1187	4,5	160,3	0,150	-12,250
141		K1187	K1198	18,6	160,3	0,150	-12,250
142		K1190	K1207	3,0	160,3	0,150	64,269
143		K1190	K1193	5,5	160,3	0,150	-64,269
144		K1194	K1195	4,7	160,3	0,150	-64,400
145		K1194	K1196	5,0	160,3	0,150	68,826
146		K1197	K1193	5,4	160,3	0,150	68,826
147		K1198	K1203	1,6	160,3	0,150	38,607
148		K1200	K1201	3,3	132,5	0,150	50,857
149		K1198	K1199	2,9	132,5	0,150	-50,857
150		K1205	K1202	3,2	100,0	0,100	-17,195
151		K1203	K1204	2,6	100,0	0,100	-17,195
152		K1206	K1209	2,5	100,0	0,100	-8,598
153		K1207	K1208	3,0	100,0	0,100	8,598
154		K1166	K1411	18,6	210,1	0,150	51,015

Kaelteverbund_Ring

Satz	Optimieren	Anfang	Ende	Länge	Innendurchm.	Rauhigkeit	Durchfluss
	?			m	mm	mm	t/h
155		K1167	K1410	16,1	210,1	0,150	-49,990
156		K1210	K1212	19,6	210,1	0,150	-28,257
157		K1211	K1213	19,8	210,1	0,150	29,282
158		K1213	K1215	0,7	210,1	0,150	29,282
159		K1212	K1214	0,8	210,1	0,150	-28,257
160		K1214	K1217	2,0	210,1	0,150	-28,257
161		K1215	K1216	2,0	210,1	0,150	29,282
162		K1217	K1218	8,3	210,1	0,150	-28,257
163		K1216	K1219	8,3	210,1	0,150	29,282
164		K1218	K1220	8,2	210,1	0,150	-28,257
165		K1221	K1219	8,0	210,1	0,150	-29,282
166		K1220	K1222	22,7	210,1	0,150	-28,257
167		K1221	K1326	21,1	210,1	0,150	29,282
168		K1222	K1243	2,5	210,1	0,150	-55,394
169		K1223	K1244	3,4	210,1	0,150	56,342
170		K1224	K1226	6,8	210,1	0,150	-41,432
171		K1225	K1227	6,5	210,1	0,150	41,301
172		K1226	K1228	1,0	210,1	0,150	-41,432
173		K1227	K1229	1,1	210,1	0,150	41,301
174		K1228	K1230	34,1	210,1	0,150	-41,432
175		K1229	K1231	34,2	210,1	0,150	41,301
176		K1232	K1230	18,3	210,1	0,150	41,432
177		K1231	K1233	18,0	210,1	0,150	41,301
178		K1243	K1224	19,1	210,1	0,150	-41,432
179		K1236	K1243	1,4	160,3	0,150	13,962
180		K1244	K1225	18,0	210,1	0,150	41,301
181		K1235	K1244	1,6	160,3	0,150	-15,041
182		K1235	K1237	6,6	160,3	0,150	15,041
183		K1237	K1239	4,1	160,3	0,150	15,041
184		K1239	K1242	6,9	160,3	0,150	15,041
185		K1241	K1240	7,5	160,3	0,150	13,962
186		K1240	K1238	4,2	160,3	0,150	13,962
187		K1238	K1236	6,7	160,3	0,150	13,962
188		K1241	K1250	3,2	160,3	0,150	-13,962
189		K1242	K1249	1,6	160,3	0,150	15,041
190		K1249	K1246	10,9	160,3	0,150	-65,931
191		K1247	K1255	2,3	160,3	0,150	-70,101
192		K1250	K1245	9,8	160,3	0,150	67,010
193		K1248	K1256	2,6	160,3	0,150	70,101
194		K1247	K1251	5,9	160,3	0,150	70,101
195		K1248	K1252	5,1	160,3	0,150	-70,101
196		K1255	K1249	4,6	160,3	0,150	-80,972
197		K1253	K1255	6,0	160,3	0,150	-10,871
198		K1256	K1250	4,9	160,3	0,150	80,972
199		K1254	K1256	5,1	160,3	0,150	10,871
200		K1233	K1258	10,6	210,1	0,150	41,301
201		K1232	K1257	10,7	210,1	0,150	-41,432
202		K1258	K1260	5,2	210,1	0,150	41,301
203		K1262	K1260	0,4	210,1	0,150	-41,301
204		K1262	K1264	2,8	210,1	0,150	41,301
205		K1265	K1264	0,4	210,1	0,150	-41,301
206		K1265	K1267	8,8	210,1	0,150	41,301
207		K1267	K1268	0,4	210,1	0,150	41,301
208		K1268	K1271	21,2	210,1	0,150	41,301
209		K1257	K1259	4,5	210,1	0,150	-41,432
210		K1261	K1259	0,4	210,1	0,150	41,432
211		K1261	K1263	2,8	210,1	0,150	-41,432
212		K1263	K1266	0,4	210,1	0,150	-41,432
213		K1284	K1285	0,5	210,1	0,150	41,432
214		K1285	K1266	8,6	210,1	0,150	41,432
215		K1284	K1272	21,0	210,1	0,150	-41,432
216		K1272	K1273	0,8	210,1	0,150	-41,432
217		K1273	K1300	9,8	210,1	0,150	-41,432
218		K1276	K1287	6,8	210,1	0,150	-38,724
219		K1279	K1280	1,3	210,1	0,150	55,896

Kaelteverbund_Ring

Satz	Optimieren	Anfang	Ende	Länge	Innendurchm.	Rauhigkeit	Durchfluss
	?			m	mm	mm	t/h
220		K1280	K1281	1,8	210,1	0,150	55,896
221		K1271	K1274	0,8	210,1	0,150	41,301
222		K1274	K1275	3,3	210,1	0,150	41,301
223		K1275	K1301	6,8	210,1	0,150	41,301
224		K1277	K1286	8,4	210,1	0,150	38,724
225		K1278	K1282	3,3	210,1	0,150	-55,896
226		K1282	K1283	2,4	210,1	0,150	-55,896
227		K1286	K1289	3,4	210,1	0,150	94,620
228		K1287	K1288	2,0	210,1	0,150	-94,620
229		K1300	K1276	12,5	210,1	0,150	-38,724
230		K1300	K1291	2,1	82,5	0,150	-2,707
231		K1291	K1293	12,9	82,5	0,150	-2,707
232		K1293	K1294	0,5	82,5	0,150	-2,707
233		K1294	K1297	0,5	82,5	0,150	-2,707
234		K1297	K1299	1,0	82,5	0,150	-7,134
235		K1301	K1277	13,4	210,1	0,150	38,724
236		K1301	K1290	1,9	82,5	0,150	2,577
237		K1290	K1292	12,4	82,5	0,150	2,577
238		K1292	K1295	0,5	82,5	0,150	2,577
239		K1295	K1296	0,9	82,5	0,150	2,577
240		K1296	K1298	1,3	82,5	0,150	7,134
241		K1222	K1303	2,0	210,1	0,150	27,136
242		K1326	K1223	1,4	210,1	0,150	56,342
243		K1302	K1326	1,5	210,1	0,150	27,060
244		K1302	K1305	52,6	210,1	0,150	-27,060
245		K1305	K1307	14,3	210,1	0,150	-27,060
246		K1307	K1309	1,5	210,1	0,150	-27,060
247		K1309	K1311	5,0	210,1	0,150	-27,060
248		K1311	K1313	3,7	210,1	0,150	-27,060
249		K1313	K1314	1,1	210,1	0,150	-27,060
250		K1314	K1316	3,7	210,1	0,150	-27,060
251		K1316	K1319	48,3	210,1	0,150	-27,060
252		K1319	K1321	3,8	210,1	0,150	-27,060
253		K1321	K1322	1,0	210,1	0,150	-27,060
254		K1322	K1325	3,7	210,1	0,150	-27,060
255		K1303	K1304	51,9	210,1	0,150	27,136
256		K1304	K1306	13,5	210,1	0,150	27,136
257		K1306	K1308	1,4	210,1	0,150	27,136
258		K1308	K1310	4,4	210,1	0,150	27,136
259		K1310	K1312	3,6	210,1	0,150	27,136
260		K1312	K1315	2,2	210,1	0,150	27,136
261		K1315	K1317	3,6	210,1	0,150	27,136
262		K1317	K1318	47,2	210,1	0,150	27,136
263		K1318	K1320	3,7	210,1	0,150	27,136
264		K1320	K1323	2,1	210,1	0,150	27,136
265		K1323	K1324	3,7	210,1	0,150	27,136
266		K1325	K1329	35,4	210,1	0,150	-27,060
267		K1329	K1330	2,3	210,1	0,150	-27,060
268		K1330	K1332	4,8	210,1	0,150	-29,897
269		K1332	K1421	5,0	210,1	0,150	-29,897
270		K1334	K1336	12,0	132,5	0,150	-29,897
271		K1336	K1338	25,1	132,5	0,150	-29,897
272		K1338	K1339	17,2	132,5	0,150	-29,897
273		K1339	K1342	37,8	132,5	0,150	-29,897
274		K1342	K1344	6,8	132,5	0,150	-29,897
275		K1324	K1327	33,8	210,1	0,150	27,136
276		K1327	K1328	2,4	210,1	0,150	27,136
277		K1328	K1432	5,6	210,1	0,150	31,053
278		K1331	K1333	7,7	210,1	0,150	31,053
279		K1333	K1335	10,9	132,5	0,150	31,053
280		K1335	K1337	25,2	132,5	0,150	31,053
281		K1337	K1340	17,3	132,5	0,150	31,053
282		K1340	K1341	37,7	132,5	0,150	31,053
283		K1341	K1343	6,4	132,5	0,150	31,053
284		K1344	K1346	5,4	100,0	0,100	-26,056

Kaelteverbund_Ring

Satz	Optimieren	Anfang	Ende	Länge	Innendurchm.	Rauhigkeit	Durchfluss
	?			m	mm	mm	t/h
285		K1346	K1348	1,4	100,0	0,100	-26,056
286		K1343	K1345	4,9	100,0	0,100	26,056
287		K1345	K1347	1,4	100,0	0,100	26,056
288		K1347	K1349	66,2	100,0	0,100	26,056
289		K1349	K1350	0,2	100,0	0,100	26,056
290		K1348	K1351	66,5	100,0	0,100	-26,056
291		K1351	K1352	0,1	100,0	0,100	-26,056
292		K1352	K1354	3,7	107,1	0,150	-26,056
293		K1354	K1356	4,4	107,1	0,150	-26,056
294		K1356	K1358	1,7	107,1	0,150	-26,056
295		K1358	K1359	0,5	107,1	0,150	-26,056
296		K1359	K1360	1,1	107,1	0,150	-26,056
297		K1360	K1376	14,7	107,1	0,150	-26,056
298		K1363	K1364	2,3	107,1	0,150	-33,220
299		K1350	K1353	4,0	107,1	0,150	26,056
300		K1353	K1355	5,0	107,1	0,150	26,056
301		K1355	K1357	1,7	107,1	0,150	26,056
302		K1357	K1361	0,9	107,1	0,150	26,056
303		K1361	K1373	15,9	107,1	0,150	26,056
304		K1362	K1365	1,6	107,1	0,150	33,220
305		K1364	K1367	3,8	107,1	0,150	-33,220
306		K1365	K1368	3,9	107,1	0,150	33,220
307		K1367	K1371	2,5	107,1	0,150	-33,220
308		K1368	K1372	2,2	107,1	0,150	33,220
309		K1373	K1362	1,9	107,1	0,150	33,220
310		K1373	K1374	1,9	107,1	0,150	-7,165
311		K1376	K1363	2,9	107,1	0,150	-33,220
312		K1375	K1376	2,2	107,1	0,150	-7,165
313		K1378	K1017	47,6	210,1	0,150	-103,622
314		K1013	K1377	47,7	210,1	0,150	-104,778
315		K1246	K1379	0,7	100,0	0,100	8,577
316		K1245	K1380	0,9	100,0	0,100	-8,577
317		K1286	K1278	4,1	210,1	0,150	-55,896
318		K1287	K1279	5,1	210,1	0,150	55,896
319		K1207	K1202	1,6	160,3	0,150	55,671
320		K1206	K1195	3,4	160,3	0,150	64,400
321		K1202	K1200	1,5	160,3	0,150	38,476
322		K1203	K1206	1,6	160,3	0,150	55,802
323		K1200	K1186	19,0	160,3	0,150	-12,381
324		K1090	K1381	6,4	160,3	0,150	0,000
325		K1381	K1388	0,9	160,3	0,150	0,000
326		K1388	K1390	6,2	160,3	0,150	0,000
327		K1390	K1392	0,9	160,3	0,150	-0,000
328		K1392	K1391	0,9	160,3	0,150	0,000
329		K1391	K1389	6,3	160,3	0,150	0,000
330		K1389	K1381	0,9	160,3	0,150	-0,000
331		K1392	K1385	4,4	160,3	0,150	0,000
332		K1385	K1386	1,5	160,3	0,150	0,000
333		K1093	K1382	4,0	160,3	0,150	0,000
334		K1382	K1383	0,7	160,3	0,150	0,000
335		K1383	K1384	13,6	160,3	0,150	0,000
336		K1384	K1387	3,9	160,3	0,150	0,000
337		K1393	K1395	3,5	132,5	0,150	21,995
338		K1395	K1396	1,0	132,5	0,150	21,995
339		K1394	K1397	3,7	132,5	0,150	-21,553
340		K1396	K1399	28,6	132,5	0,150	21,995
341		K1400	K1397	27,5	132,5	0,150	21,553
342		K1401	K1088	6,9	160,3	0,150	-13,622
343		K1399	K1401	6,8	132,5	0,150	21,995
344		K1402	K1093	1,7	160,3	0,150	-35,617
345		K1400	K1402	7,8	132,5	0,150	-21,553
346		K1154	K1403	10,3	312,7	0,150	330,207
347		K1403	K1406	25,8	312,7	0,150	330,207
348		K1406	K1117	32,5	312,7	0,150	330,207
349		K1407	K1155	4,6	312,7	0,150	330,207

Kaelteverbund_Ring

Satz	Optimieren	Anfang	Ende	Länge	Innendurchm.	Rauigkeit	Durchfluss
	?			m	mm	mm	t/h
350		K1407	K1404	5,5	312,7	0,150	-330,207
351		K1404	K1405	25,1	312,7	0,150	-330,207
352		K1405	K1123	39,9	312,7	0,150	-330,207
353		K1410	K1210	25,5	210,1	0,150	-28,257
354		K1409	K1410	75,0	160,3	0,150	21,733
355		K1411	K1211	25,1	210,1	0,150	29,282
356		K1408	K1411	76,4	160,3	0,150	-21,733
357		K1408	K1412	2,7	160,3	0,150	21,733
358		K1409	K1413	1,6	160,3	0,150	-21,733
359		K1421	K1334	2,6	210,1	0,150	-29,897
360		K1421	K1420	2,2	210,1	0,150	0,000
361		K1432	K1331	1,1	210,1	0,150	31,053
362		K1432	K1430	65,9	210,1	0,150	0,000
363		K1430	K1428	98,3	210,1	0,150	0,000
364		K1428	K1427	20,2	210,1	0,150	0,000
365		K1420	K1422	58,2	210,1	0,150	0,000
366		K1422	K1425	98,2	210,1	0,150	0,000
367		K1425	K1426	20,7	210,1	0,150	0,000
368		K1424	K1433	1,6	107,1	0,150	0,000
369		K1429	K1434	1,5	107,1	0,150	0,000
370		K1425	K1435	31,7	107,1	0,150	0,000
371		K1435	K1438	4,4	107,1	0,150	0,000
372		K1428	K1436	33,7	107,1	0,150	0,000
373		K1436	K1437	4,8	107,1	0,150	0,000
374		K1422	K1423	1,9	100,0	0,100	0,000
375		K1430	K1439	2,0	100,0	0,100	0,000
376		K1455	K1065	4,6	210,1	0,150	12,495
377	?	K1454	K1462	117,6	107,1	0,150	-6,042
378	?	K1454	K1453	50,4	107,1	0,150	6,042
379	?	K1453	K1452	46,4	107,1	0,150	6,042
380		K1456	K1174	32,5	107,1	0,150	12,381
381		K1452	K1456	129,0	107,1	0,150	6,042
382		K1460	K1176	33,5	107,1	0,150	-12,250
383		K1457	K1460	127,3	107,1	0,150	-6,019
384		K1457	K1458	45,7	107,1	0,150	6,019
385		K1458	K1459	49,3	107,1	0,150	6,019
386		K1461	K1064	2,2	210,1	0,150	-11,806
387		K1459	K1463	116,4	107,1	0,150	6,019
388		K1462	K1455	26,2	107,1	0,150	8,004
389		K1393	K1462	11,4	107,1	0,150	14,046
390		K1463	K1461	24,1	107,1	0,150	-8,470
391		K1394	K1463	9,3	107,1	0,150	-14,489
392		K1477	K1476	4,5	312,7	0,150	2,217
393		K1476	K1475	4,8	312,7	0,150	2,217
394		K1475	K1474	4,5	312,7	0,150	2,217
395		K1474	K1473	7,4	312,7	0,150	2,217
396		K1473	K1472	2,6	312,7	0,150	2,217
397		K1472	K1471	89,8	312,7	0,150	2,217
398		K1471	K1470	12,1	312,7	0,150	2,217
399		K1470	K1469	41,8	312,7	0,150	2,217
400		K1469	K1468	17,7	312,7	0,150	2,217
401		K1468	K1467	32,5	312,7	0,150	2,217
402		K1467	K1466	21,5	312,7	0,150	2,217
403		K1466	K1465	31,3	312,7	0,150	2,217
404		K1465	K1464	40,6	312,7	0,150	2,217
405		K1026	K1464	94,8	312,7	0,150	-2,217
406		K1491	K1490	4,1	312,7	0,150	-1,638
407		K1490	K1489	4,9	312,7	0,150	-1,638
408		K1489	K1488	3,9	312,7	0,150	-1,638
409		K1488	K1487	5,4	312,7	0,150	-1,638
410		K1487	K1486	2,7	312,7	0,150	-1,638
411		K1486	K1485	92,0	312,7	0,150	-1,638
412		K1485	K1484	12,2	312,7	0,150	-1,638
413		K1484	K1483	40,4	312,7	0,150	-1,638
414		K1483	K1482	15,8	312,7	0,150	-1,638

Seite 8

Kaelteverbund_Ring

Satz	Optimieren	Anfang	Ende	Länge	Innendurchm.	Rauhigkeit	Durchfluss
	?			m	mm	mm	l/h
415		K1482	K1481	34,1	312,7	0,150	-1,638
416		K1481	K1480	20,6	312,7	0,150	-1,638
417		K1480	K1479	30,1	312,7	0,150	-1,638
418		K1479	K1478	42,6	312,7	0,150	-1,638
419		K1478	K1025	95,5	312,7	0,150	-1,638
420		K1491	K1492	176,3	312,7	0,150	1,638
421		K1494	K1036	37,9	210,1	0,150	3,336
422		K1492	K1494	292,5	312,7	0,150	1,638
423		K1495	K1477	182,3	312,7	0,150	2,217
424		K1496	K1033	63,0	210,1	0,150	2,274
425		K1495	K1496	298,1	312,7	0,150	-2,217
426		K1296	K1498	1,1	82,5	0,150	-4,557
427		K1498	K1499	0,6	82,5	0,150	-4,557
428		K1499	K1500	5,7	82,5	0,150	-4,557
429		K1500	K1501	1,1	82,5	0,150	-4,557
430		K1501	K1502	23,3	82,5	0,150	-4,557
431		K1502	K1503	6,0	82,5	0,150	-4,557
432		K1503	K1504	2,2	82,5	0,150	-4,557
433		K1504	K1505	2,0	82,5	0,150	-4,557
434		K1505	K1506	5,5	82,5	0,150	-4,557
435		K1506	K1507	4,2	82,5	0,150	-4,557
436		K1507	K1508	6,7	82,5	0,150	-4,557
437		K1297	K1509	1,1	82,5	0,150	4,426
438		K1509	K1510	0,5	82,5	0,150	4,426
439		K1510	K1511	6,3	82,5	0,150	4,426
440		K1511	K1512	1,1	82,5	0,150	4,426
441		K1512	K1513	22,9	82,5	0,150	4,426
442		K1513	K1514	5,6	82,5	0,150	4,426
443		K1514	K1515	2,2	82,5	0,150	4,426
444		K1515	K1516	2,5	82,5	0,150	4,426
445		K1516	K1517	5,5	82,5	0,150	4,426
446		K1517	K1518	4,2	82,5	0,150	4,426
447		K1518	K1519	6,7	82,5	0,150	4,426
448		K1508	K1522	30,2	100,0	0,100	-4,557
449		K1193	K1522	93,6	100,0	0,100	4,557
450		K1523	K1519	31,9	100,0	0,100	-4,426
451		K1194	K1523	93,5	100,0	0,100	-4,426
452		K1328	K1526	35,2	210,1	0,150	-3,916
453		K1526	K1524	88,9	210,1	0,150	-3,916
454		K1524	K1245	3,9	210,1	0,150	-3,916
455		K1330	K1527	37,3	210,1	0,150	2,837
456		K1527	K1528	86,9	210,1	0,150	2,837
457		K1528	K1529	5,4	210,1	0,150	2,837
458		K1529	K1530	4,0	210,1	0,150	2,837
459		K1530	K1246	2,0	210,1	0,150	2,837
460		K1531	K1344	81,9	210,1	0,150	3,842
461		K1534	K1343	81,6	210,1	0,150	-4,997
462		K1531	K1535	334,9	210,1	0,150	-3,842
463		K1535	K1536	260,3	210,1	0,150	-3,842
464		K1536	K1377	51,7	210,1	0,150	-3,842
465		K1539	K1537	268,0	210,1	0,150	4,997
466		K1537	K1378	54,0	210,1	0,150	4,997
467		K1539	K1534	325,1	210,1	0,150	-4,997

Stanet® Netzberechnung Vers.9.0.40 19.07.2013 14:25:09		
Netz:	C:\Users\t.landgraf\Documents\STANET\Kaelteverbund_Ring	
Beschreibung:	Kälteverbundsystem des Uniklinikums Dresden	
Bericht:	Netzübersicht	
Bearbeiter:	t.landgraf	
Knoten:	454	
Leitungen:	467	
Abnehmer:	16	
Schieber:	52	
Hintergrundbilder:	2	
Wärmetauscher:	16	
Diagramme Tagessimulation:	1	
Einspeisewerke:	8	
Summe Erzeugung:	4.924 MW	-704.482 t/h
Summe Abgabe:	-4.900 MW	704.480 t/h
Summe Verlust:	-0.024 MW	100.000 %
Abgabe + Verlust:	-4.924 MW	
Bilanzdifferenz:	-0.000 MW	-0.000 %
Min.Druckdiff.:	0.400 Bar	
Gleichzeitigkeitsfaktoren Simulationszeitpunkt: 0.000000 Uhr		
Profilname	Faktor	
7	1.000	
6	1.000	
5	1.000	
4	1.000	
3	1.000	
8	1.000	
2	1.000	
9	1.000	
9	1.000	
10	1.000	
10	1.000	
8	1.000	
7	1.000	
14	1.000	
6	1.000	
14	1.000	
5	1.000	
4	1.000	
19	1.000	
19	1.000	
3	1.000	
2	1.000	

Alle Zuflussknoten

Satz	316
Knotenname	K1380
Zufluss (t/h)	8,58
Fluss-Status (?)	?
Druck-Status (!)	!
Temperatur (C)	12,0
Höhe (mNN)	0,00
Ber.Druck (bar)	2,0663
Vorlauf [J/N]	N

Gesamtabnahme:

Satz	1
Netz-Kurzname	Kaeltev
Netzbezeichnung	Kälteverbundsystem des Uniklinikums Dresden
Pfad für das Netz	
Lastfall	
(ungenutzt)	
Netzmedium	C
Netz reorganisiert [J/N]	T
Vorherrschende Rauigkeit (mm)	0,100
Vorherrschender Durchmesser (mm)	0,0
Vorherrschende Rohrlänge (m)	0,0
Dynamische Zähigkeit (E-6kg/ms)	1.793,00
Dichte des Mediums (kg/m3)	1.000,000
Luftdruck (bar)	1,013
Geodät. Höhe Luftdruckmessung (m)	112,0
Vorherrschende Mediumtemperatur (Grd. C.)	6,0
Druckfaktor Kompressibilität (1/bar)	0,00000
Iterations-Toleranz SWMM4	0,1000
Belastungsfaktor Zu-/Abfluss	1,000000
Steuerparameter Testausschriebe	1
Maximale Iterationszahl	25
KTOL	99
RTOL	0,00
Widerstandsgesetz [1-5]	1
Neuberechnung von Null [J/N]	J
Netzvolumen (Ende) (Nm3)	362,1
(ungenutzt)	0,000
Anzahl Iterationen	0
Eliminationsbereich-Faktor (z.B.3)	0
Minimale Reynoldszahl im Netz	0,0
Maximale Reynoldszahl im Netz	299.421,3
Rechenzeit (Sekunden)	1,5
BIASP	0,00
BIASQ	0,00
RPEG	0,0
RQPEG	0,0
LECKORT	0
LECKRATE	0,0
Simulationsschritte	0
Endgenauigkeit Druckabfall (bar)	0,000100
Endgenauigkeit Knotenfluss (m3/h, L/s)	0,01000
SP	0,0000
SQ	0,00
PMESS	0,0000
QMESS	0,0
Brennwert (kWh/m3)	0,0000
Zähigkeitsbeiwert TA (Grd. K)	506,0
Zähigkeitsbeiwert TB (Grd. K)	-150,0
Sutherlandkonstante Zähigkeit (Grd. K)	0,0
Zähigkeits-Bezugstemperatur (Grd. K)	273,2
Kondensation berechnen [J/N]	N
Dampfdichte (kg/m3)	0,000
Verdampfungswärme Kondensat (kJ/kg)	0,000
Wärmekapazität Medium (kJ/kg*K)	4,1868
Wärmekapazität Kondensat (kJ/kg*K)	0,0000
Wärmekapazität Dampf (kJ/kg*K)	0,0000
Vorherrsch. Wärmedurchgangszahl (W/(K*m2))	0,00
Bodentemperatur (Celsius)	0,0
Vorherrschende Feuchte (Prozent)	0,00
Name des Bearbeiters	T.Landgraf
GESNAME (ungenutzt)	
Vorherrschende Ventillänge (m)	1,0
Knotendatei wurde gepackt [J/N]	F
x-Koord. Start Katasterblätt.	0,00000
y-Koord. Start Katasterblätt.	50,00000

Seite 2

Satz	1
Katasterblattlänge x	5,00000
Katasterblattlänge y	5,00000
Anzahl Katasterblätter je Zeile	10
Gegenkathedenlänge Kata.drehung	0,00000
Hypotenusenlänge Kata.drehung	0,00000
Rücklauftemperatur (Celsius)	12,0
Beginnzeitpunkt der Rechnung (HH:MM)	0,00
Max. Druckfehler in Strecke (bar)	0,000000
Max. Flussfehler in Knoten (m3/h, L/s)	0,000365
Maximale Anzahl Teilnetze	0
Qualitäts-Verfolgung rechnen [J/N]	N
Weltkoordinaten Masseinheit Meter [J/N]	J
Temperatur berechnen [J/N]	J
Optimierung aktiviert [J/N]	N
GA Aktivieren (Genetischer Algorithmus) [J/N]	N
Individueller Durchmesser [J/N]	N
GA Anzahl Generationen	0
GA Populationsgrösse	0
GA MICROGA [J/N]	1
GA Jump Mutation Probability (0 = auto) (0...1)	0,0000
GA Crossover Probability (0.5...0.7)	0,0000
GA Creep Mutation [J/N]	1
GA Creep Mutation Probability (0 = auto) (0...1)	0,0000
GA Uniform Crossover (recommended) [J/N]	
GA Niching (Experimental) [J/N]	1
GA Elitism [J/N]	1
GA Childs per pair (1/2)	2
IRESTART	1
Population Number for test	
Last Population Number for test	
KOUNTMX	
NOWRITE	1
GA NICHFLG (Experimental)	1
IDUM	
PCON	0,00
PVAR	0,00
VCON	0,00
VVAR	0,00
Netz drehen Hypotenuse	0,00000
Netz drehen Gegenkathedenlänge	0,00000
CALCDIRTY	0
Abrechnungszeitraum aus Datum [J/N]	N
Default Abrechnungszeitraum (Tage)	365
Zeitschritt TASI (Minuten)	0,0
Lufttemperatur (Celsius)	20,0
Mittlere Tagestemperatur (Celsius)	0,0
Grenztemperatur (Celsius)	0,0
Benutzungsstunden (obsolet) (h)	0
Durchmesser-Opt. mit Routing [J/N]	N
Durchmesser-Opt. mit LP [J/N]	J
Gesamtabgabe (Nm3)	695,90
STANET Version	9.0.40
Netzvolumen Anfang (Nm3)	362,1
Gesamtzufluss (Nm3)	695,90
Datum	
Fehlercode	0
Netzvolumen-Diff. (Nm3)	0,0
Netzvol.Diff Rel. (%)	0,00
Relaxationsfaktor Druck [0...1]	
Relaxationsfaktor Fluss [0...1]	
Widerstandsfaktor	
Flusswerte TASI f.Folgestunde [J/N]	N
Max. Anzahl Reglerumschaltungen	0
Netzlänge (km)	9,97
Nur Vorlauf berechnen [J/N]	
Mindestlänge (m)	

Kaelteverbund_Ring

Satz	1
Messwerte als Vorgaben verwenden [J/N]	J
Regularisierungs-Faktor Kalibrierung	
D.Q. Qualitaeten berechnen [J/N]	J
D.Q. Geschwindigkeits-Schwellwert (m/s)	
D.Q. Zeitschritt (Sekunden)	
D.Q. Laufzeit ermitteln [J/N]	N
D.Q. Temperatur ermitteln [J/N]	N
D.Q. Einspeise.Anteile ermitteln [J/N]	N
STANET 8.2 Layer verwenden [J/N]	J
Koordinatensystem f. Onlinekartographie (1-4)	0
Meridianstreifen/UTM Zone	0
D.Q. Zeit-Reserve (%)	0,0
D.Q. Temperatur-Reserve (%)	0,0
D.Q. Qualitaets-Reserve (%)	90,0
Datum Zeit der Simulation (UTC)	21.08.2013 00:00
Minimaler Zeitschritt TASI (Sec)	
Gesamtzufluss TASI (Nm3)	0,00
Gesamtabgabe TASI (Nm3)	0,00
Anfangszustand aus Ereignissen bilden [J/N]	J
Einheitlicher Rohrtyp pro Trasse [J/N]	N
Grenzwertverletzungen Druck	0
Grenzwertverletzungen (ausser Druck)	0
Vorherrschende Reglertoleranz (%)	2,0
Vorherrschende Bundesland	
Simulationsdauer (HH:MM)	24,00
Zwischenergebnisse TASI abspeichern [J/N]	J
Dateien kompaktiert (UPDATE ignorieren) [J/N]	N
Max Wiederholung f.Steuerungen	5
Max. Zeitabstand Messdaten zu Sim.Zeit (mm.ss)	90,00
Druckunterschreitungen als Fehler werten [J/N]	J
In Batch/TASI Sim. mit Fehler nicht verwenden [J/N]	N
Leitungsgefälle zu groß Warnung ab (0/00)	200
Leitungsgefälle prüfen ab Leitungslänge (m)	5,0
Qualitätsberechnung zyklisch mit Kreisfluss [J/N]	

Niedrigster Druck

Satz	308
Knotenname	K1372
Zufluss (t/h)	0,00
Fluss-Status (?)	
Druck-Status (!)	
Temperatur (C)	12,0
Höhe (mNN)	0,00
Ber.Druck (bar)	1,9307
Vorlauf [J/N]	N



Rohrnetzdaten

Berechnung für Startelement	Große Zentrale
Wärmeträger	Wasser
Vorlauftemperatur	6,0 °C
Rücklauftemperatur	12,0 °C
Realer Massenstrom	201526 kg/h
Idealer Massenstrom	201526 kg/h
Netto Wärmebedarf	1408001 W
Gesamter Wärmeverlust	-23894 W
Gesamter Wasserinhalt Rohre	138067 l
Gesamter Wasserinhalt Verbraucher	15000 l
Gesamter Wasserinhalt	153067 l
Gesamtgewicht der Rohre	123858 kg
Zusätzlicher Druckabfall im Kesselkreis	0 Pa
Gewicht Verbraucher	0,0 kg

Es wurden reale Verhältnisse berechnet

Wärmeverluste wurden berechnet und ausgeglichen



ROHRNETZBERECHNUNG Anlage: UKD Optimierung Kälteverbundnetz-zentrale Schwachlas

Pumpen

lfd. Nr.	Obj. Nr.	Bezeichnung	m	pPumpe	Versorgung der Objekte	
			[kg/h]	[Pa]	Vorlauf	Rücklauf
zusätzlicher Pumpendruck erforderlich				48083		



ROHRNETZBERECHNUNG Anlage: UKD Optimierung Kälteverbundnetz-zentrale Schwachlas

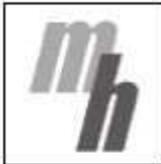
Objekt Daten

Typ: VL : Vorlauf	Q : Sollleistung am Verbraucher / Wärmeverluste der Röhre
RL : Rücklauf	pObj : Druckabfall des Objekts
Vtl : Ventil	pStat : Statischer Druck
VB : Verbraucher	pStr : Druckabfall der Strecke
Kmp : Komponente	pRest : Zusätzlicher abzudrosselnder Druck
Pmp : Pumpe	
VE : Einrohr-Ventil	

lfd. Nr.	Vorg/Nachf	Obj. Nr.	Typ	DN [mm]	Länge [m]	R [Pa/m]	w [m/s]	m [kg/h]	Q [W]	t [°C]	Zeta	pObj [Pa]	pStat [Pa]	pStr [Pa]	pRest [Pa]
1	Große Zentrale														
2	Start/26+4	2534	VL	250	20,90	35,6	1,05	201526	-89	6,0	0,0			0	745
3	Start/27+5	2537	RL	250	21,50	35,6	1,05	201526		12,1	0,0	48083		766	0
4	2/6+175	2536	VL	300	2,00	3,1	0,31	84017,2	-35	6,0	8,0	-745		390	
5	3/7+179	2539	RL	300	3,60	3,1	0,31	84017,2		12,0	7,5	47317		371	0
6	4/17+8	2451	VL	100	11,99	67,4	0,83	26765,3	-24	6,0	1,4	-1135		1267	
7	5/12+21	2448	RL	100	10,88	67,4	0,83	26765,3		12,0	0,9	46946		1055	0
8	6/16	2494	VL	80	4,90	71,3	0,71	13740,5	-8	6,0	4,3	-2402		40868	
9	8	2517	VE	80				13740,5				167			
10	8	2521	VE	40				13740,5				24086			
11	8	2518	VE	80				13740,5				167			
12	7/16	2490	RL	80	4,33	71,3	0,71	13740,5		12,0	4,3	45891		2621	0
13	12	2516	VE	80				13740,5				167			
14	12	2520	VE	80				13740,5				881			
15	12	2519	VE	80				13740,5				167			
16	8/12	2493	VB						96000	6,0	0,0	15000			
17	6/25	2454	VL	80	10,95	64,7	0,68	13024,8	-18	6,0	2,7	-2402		38276	
18	17	2522	VE	80				13024,8				150			
19	17	2527	VE	40				13024,8				21643			
20	17	2524	VE	80				13024,8				150			
21	7/25	2456	RL	80	10,04	64,7	0,68	13024,8		12,0	4,4	43417		2739	2474
22	21	2523	VE	80				13024,8				150			
23	21	2526	VE	80				13024,8				792			
24	21	2525	VE	80				13024,8				150			
25	17/21	2461	VB						91000	6,0	0,0	15000			
26	2/28+140	1967	VL	300	7,89	5,6	0,43	117509	-137	6,0	7,7	-745		767	
27	3/30+141	2400	RL	300	7,79	5,6	0,43	117509		12,2	3,8	44601		404	2716
28	26/261+32	624	VL	300	84,84	3,7	0,34	93177,5	-1472	6,0	3,6	-1512		553	
29	28	983	VE	300				93177,5				28			
30	27/284+33	1958	RL	300	86,85	3,7	0,34	93177,5		12,1	3,5	44197		558	2716
31	30	982	VE	300				93177,5				28			
32	28/60+34	975	VL	250	3,74	8,6	0,49	93177,5	-56	6,0	2,0	-2064		268	
33	30/61+37	773	RL	250	3,89	8,6	0,49	93177,5		12,1	2,1	43639		280	2716
34	32/35	865	VL	125	178,1	35,7	0,67	32919,8	-1471	6,0	8,2	-2332		8221	

Berechnet mit mh-software 17.07.2013

Seite 3



ROHRNETZBERECHNUNG Anlage: UKD Optimierung Kälteverbundnetz-zentrale Schwachlas

lfd. Nr.	Vorg/Nachf	Obj. Nr.	Typ	DN [mm]	Länge [m]	R [Pa/m]	w [m/s]	m [kg/h]	Q [W]	t [°C]	Zeta	pObj [Pa]	pStat [Pa]	pStr [Pa]	pRest [Pa]
35	34/40+51	853	VL	150	17,28	14,1	0,46	32919,8	-227	6,1	3,0		-10554	625	
36	35	964	Vß	150				32919,8				65			
37	33/38	784	RL	150	176,9	14,1	0,46	32919,8		12,1	11,7		-43360	3733	2716
38	37/41+55	800	RL	150	17,17	14,1	0,46	32919,8		12,1	3,5		-39627	676	2716
39	38	829	Vß	150				32919,8				65			
40	35/42+81	2292	VL	150	2,50	8,2	0,34	24332,1	-33	6,1	0,1		-11178	25	
41	38/46+85	2317	RL	150	2,50	8,2	0,34	24332,1		12,1	0,6		-38951	54	2716
42	40/50	2290	VL	80	4,95	107,4	0,89	17175,6	-38	6,1	2,4		-11203	18367	
43	42	2308	Vß	80				17175,6				261			
44	42	2310	Vß	80				17175,6				261			
45	42	2312	Vß	80				17175,6				1377			
46	41/50	2287	RL	80	5,10	107,4	0,89	17175,6		12,1	2,1		-38897	9327	2716
47	46	2309	Vß	80				17175,6				261			
48	46	2311	Vß	80				17175,6				261			
49	46	2313	Vß	65				17175,6				7434			
50	42/46	2293	VB						120000	6,1	0,0	15000			
51	35/59	2318	VL	80	4,95	30,4	0,45	8587,8	-38	6,1	3,0		-11178	15922	
52	51	2336	Vß	80				8587,8				65			
53	51	2338	Vß	80				8587,8				65			
54	51	2340	Vß	80				8587,8				344			
55	38/59	2315	RL	80	5,10	30,4	0,45	8587,8		12,1	1,6		-36959	9858	4708
56	55	2337	Vß	80				8587,8				65			
57	55	2339	Vß	80				8587,8				65			
58	55	2341	Vß	40				8587,8				9409			
59	51/55	2321	VB						60000	6,1	0,0	15000			
60	32/184+62	981	VL	200	13,52	11,8	0,50	60257,6	-165	6,0	1,5		-2332	347	
61	33/188+63	931	RL	200	12,75	11,8	0,50	60257,6		12,2	1,9		-40593	379	5482
62	60/259+64	895	VL	200	35,97	10,5	0,47	56679,4	-438	6,0	1,5		-2680	542	
63	61/282+65	932	RL	200	35,51	10,5	0,47	56679,4		12,2	1,6		-40214	551	5482
64	62/207+66	903	VL	200	27,88	10,5	0,47	56679,4	-339	6,0	5,6		-3222	903	
65	63/67+274	944	RL	200	27,88	10,5	0,47	56679,4		12,2	6,0		-39663	947	5482
66	64/117+68	1286	VL	200	6,60	10,5	0,47	56679,4	-80	6,0	1,0		-4126	178	
67	65/69+118	1290	RL	200	9,86	10,5	0,47	56679,4		12,2	2,5		-38717	376	5482
68	66/70+90	1277	VL	200	14,22	9,6	0,44	53816,8	-173	6,0	2,0		-4304	333	
69	67/71+92	1301	RL	200	13,27	9,6	0,44	53816,8		12,1	3,0		-38341	422	5482
70	68/72+101	2090	VL	100	17,03	87,9	0,95	30916,0	-119	6,0	1,4		-4637	2110	
71	69/76+105	2093	RL	100	17,03	87,9	0,95	30916,0		12,0	1,0		-37919	1951	5482
72	70/80	2230	VL	65	12,76	101,9	0,78	10877,9	-18	6,0	3,5		-6747	25329	
73	72	2249	Vß	65				10877,9				293			
74	72	2254	Vß	65				10877,9				293			
75	72	2256	Vß	50				10877,9				7397			
76	71/80	2227	RL	65	12,47	101,9	0,78	10877,9		12,0	2,7		-35968	3892	5482
77	76	2248	Vß	65				10877,9				293			



ROHRNETZBERECHNUNG Anlage: UKD Optimierung Kälteverbundnetz-zentrale Schwachlas

lfd. Nr.	Vorg/Nachf.	Obj. Nr.	Typ	DN [mm]	Länge [m]	R [Pa/m]	w [m/s]	m [kg/h]	Q [W]	t [°C]	Zeta	pObj [Pa]	pStat [Pa]	pStr [Pa]	pRest [Pa]
78	76	2253	Vt	65				10877,9				293			
79	76	2258	Vt	65				10877,9				1217			
80	72/76	2234	VB						76000	6,0	0,0	15000			
81	40/89	2262	VL	150	7,64	0,9	0,10	7156,5	-100	6,1	5,1		-11203	15072	
82	81	2279	Vt	150				7156,5				3			
83	81	2282	Vt	150				7156,5				3			
84	81	2284	Vt	150				7156,5				33			
85	41/89	2259	RL	150	7,79	0,9	0,10	7156,5		12,1	8,8		-26421	146	15193
86	85	2280	Vt	150				7156,5				3			
87	85	2283	Vt	150				7156,5				3			
88	85	2285	Vt	125				7156,5				89			
89	81/85	2265	VB						50000	6,1	0,0	15000			
90	68/91	1201	VL	200	107,7	2,1	0,19	22900,8	-1309	6,0	18,4		-4637	549	
91	90/110+94	1180	VL	200	3,77	2,1	0,19	22900,8	-62	6,1	1,0		-5186	26	
92	69/93	1308	RL	200	106,1	2,1	0,19	22900,8		12,1	19,3		-25292	562	18109
93	92/113+97	1376	RL	200	3,02	2,1	0,19	22900,8		12,1	1,5		-24731	33	18109
94	91/100	2001	VL	80	52,32	14,7	0,30	5725,2	-405	6,1	9,0		-5211	18243	
95	94	2220	Vt	80				5725,2				29			
96	94	2222	Vt	50				5725,2				2049			
97	93/100	2000	RL	80	53,15	14,7	0,30	5725,2		12,2	9,3		-24698	1243	18109
98	97	2219	Vt	80				5725,2				29			
99	97	2221	Vt	150				5725,2				21			
100	94/97	2126	VB						40000	6,1	0,0	15000			
101	70/109	2099	VL	150	7,56	5,8	0,28	20038,2	-73	6,0	4,2		-6747	15582	
102	101	2246	Vt	150				20038,2				24			
103	101	2252	Vt	150				20038,2				24			
104	101	2255	Vt	150				20038,2				328			
105	71/109	2098	RL	150	7,27	5,8	0,28	20038,2		12,0	2,0		-22754	425	18697
106	105	2245	Vt	150				20038,2				24			
107	105	2251	Vt	150				20038,2				24			
108	105	2257	Vt	150				20038,2				258			
109	101/105	2097	VB						140000	6,0	0,0	15000			
110	91/116	1177	VL	200	6,08	1,2	0,14	17175,6	-100	6,1	1,6		-5211	15097	
111	110	2224	Vt	200				17175,6				5			
112	110	2225	Vt	200				17175,6				69			
113	93/116	1844	RL	200	5,21	1,2	0,14	17175,6		12,1	2,0		-20581	272	22226
114	113	2223	Vt	200				17175,6				5			
115	113	2226	Vt	150				17175,6				241			



ROHRNETZBERECHNUNG Anlage: UKD Optimierung Kälteverbundnetz-zentrale Schwachlas

lfd. Nr.	Vorg/Nachf.	Obj. Nr.	Typ	DN [mm]	Länge [m]	R [Pa/m]	w [m/s]	m [kg/h]	Q [W]	t [°C]	Zeta	pObj [Pa]	pStat [Pa]	pStr [Pa]	pRest [Pa]
116	110/113	1842	VB						120000	6,1	0,0	15000			
117	66/119+209	1607	VL	200	10,39	0,1	0,02	2862,6	-126	6,0	5,0	-4304		2	
118	67/120+276	1392	RL	200	10,35	0,1	0,02	2862,6		13,5	13,0	-20825		4	22998
119	117/121+211	1692	VL	40	0,69	98,5	0,55	2862,6	-3	6,1	0,8	-4306		187	
120	118/278+122	1699	RL	200	1,81	0,1	0,02	2862,6		13,5	0,0	-20821		0	22998
121	119/213+123	1710	VL	40	4,43	98,5	0,55	2862,6	-16	6,1	0,0	-4493		437	
122	120/280+124	1394	RL	200	119,5	0,1	0,02	2862,6		13,5	6,5	-20821		8	22998
123	121/215+131	1609	VL	200	116,1	0,1	0,02	2862,6	-1388	6,1	17,7	-4930		11	
124	122/125	1420	RL	200	15,90	0,1	0,02	2862,6		13,3	4,5	-20813		2	22998
125	124/126	1048	RL	200	80,60	0,1	0,02	2862,6		13,3	11,0	-20811		7	22998
126	125/127	1006	RL	100	68,15	1,2	0,09	2862,6		13,1	9,0	-20803		120	22998
127	126/139	992	RL	100	19,93	1,2	0,09	2862,6		13,1	5,0	-20683		64	0
128	127	2212	V#	100				2862,6				2			
129	127	2217	V#	100				2862,6				15			
130	127	2215	V#	100				2862,6				2			
131	123/217+132	1637	VL	200	15,69	0,1	0,02	2862,6	-184	6,5	5,5	-4941		2	
132	131/133	1436	VL	200	4,85	0,1	0,02	2862,6	-57	6,5	1,0	-4943		1	
133	132/134	1083	VL	200	80,39	0,1	0,02	2862,6	-931	6,6	9,0	-4944		7	
134	133/135	1129	VL	100	67,57	1,2	0,09	2862,6	-443	6,8	5,5	-4951		106	
135	134/139	1154	VL	100	20,95	1,2	0,09	2862,6	-189	7,0	5,0	-5056		15563	
136	135	2214	V#	100				2862,6				2			
137	135	2218	V#	50				2862,6				512			
138	135	2216	V#	100				2862,6				2			
139	135/127	1983	VB						20000	7,0	0,0	15000			
140	26/142+193	226	VL	200	16,91	2,3	0,20	24332,1	-206	6,0	4,1	-1512		121	
141	27/143+195	105	RL	150	17,22	8,2	0,34	24332,1		12,3	5,7	-20582		470	26331
142	140/264+144	1864	VL	200	0,79	2,3	0,20	24332,1	-4	6,0	0,0	-1632		2	
143	141/287+145	209	RL	200	1,14	2,3	0,20	24332,1		12,3	0,0	-20112		3	26331
144	142/266+146	187	VL	200	64,78	2,3	0,20	24332,1	-789	6,0	2,5	-1634		199	
145	143/289+147	87	RL	200	65,55	2,3	0,20	24332,1		12,3	2,5	-20109		201	26331
146	144/268+148	173	VL	200	87,33	2,3	0,20	24332,1	-1061	6,0	4,0	-1833		281	
147	145/291+151	73	RL	200	87,48	2,3	0,20	24332,1		12,3	4,5	-19908		291	26331
148	146/270+153	153	VL	200	59,76	2,3	0,20	24332,1	-724	6,1	5,5	-2114		267	
149	148	369	V#	200				24332,1				10			
150	148	367	V#	200				24332,1				10			
151	147/293+154	56	RL	200	55,95	2,3	0,20	24332,1		12,2	4,0	-19617		218	26331
152	151	368	V#	200				24332,1				10			
153	148/156+272	28	VL	200	158,8	2,3	0,20	24332,1	-1919	6,1	4,0	-2381		445	
154	151/312+158	50	RL	200	6,51	2,3	0,20	24332,1		12,2	1,5	-19399		55	26331
155	154	366	V#	200				24332,1				10			
156	153/168+159	129	VL	200	17,41	2,3	0,20	24332,1	-210	6,2	1,0	-2826		70	
157	156	2207	V#	200				24332,1				10			
158	154/314+162	34	RL	200	158,7	2,3	0,20	24332,1		12,2	4,0	-19344		445	26331
159	156/164	2148	VL	150	12,60	4,4	0,24	17175,6	-33	6,2	1,1	-2896		15618	



ROHRNETZBERECHNUNG Anlage: UKD Optimierung Kälteverbundnetz-zentrale Schwachlas

lfd. Nr.	Vorg/Nachf	Obj. Nr.	Typ	DN [mm]	Länge [m]	R [Pa/m]	w [m/s]	m [kg/h]	Q [W]	t [°C]	Zeta	pObj [Pa]	pStat [Pa]	pStr [Pa]	pRset [Pa]
160	159	2172	Vt	150				17175,6				18			
161	159	2173	Vt	125				17175,6				512			
162	158/171+165	16	RL	200	17,07	2,3	0,20	24332,1		12,2	1,0	-18899	69	0	
163	162	20	Vt	200				24332,1				10			
164	159/165	2160	VB						120000	6,2	0,0	15000			
165	162/164	2151	RL	150	12,70	4,4	0,24	17175,6		12,2	1,9	-18830	317	26331	
166	165	2171	Vt	150				17175,6				18			
167	165	2174	Vt	150				17175,6				189			
168	156/174	2176	VL	100	8,00	6,2	0,22	7156,5	-15	6,2	2,3	-2896	15633		
169	168	2195	Vt	100				7156,5				15			
170	168	2196	Vt	80				7156,5				512			
171	162/174	2179	RL	100	8,10	6,2	0,22	7156,5		12,2	1,9	-18734	205	26427	
172	171	2194	Vt	100				7156,5				15			
173	171	2197	Vt	100				7156,5				94			
174	168/171	2182	VB						50000	6,2	0,0	15000			
175	4/183	2403	VL	300	10,45	1,5	0,21	57251,9	-181	6,0	2,1	-1135	15856		
176	175	2529	Vt	300				57251,9				11			
177	175	2533	Vt	200				57251,9				770			
178	175	2531	Vt	300				57251,9				11			
179	5/183	2402	RL	300	9,34	1,5	0,21	57251,9		12,0	2,8	-19766	2775	27180	
180	179	2528	Vt	300				57251,9				11			
181	179	2532	Vt	150				57251,9				2676			
182	179	2530	Vt	300				57251,9				11			
183	175/179	2401	VB						400000	6,0	0,0	15000			
184	60/192	2347	VL	150	62,20	0,3	0,05	3578,2	-171	6,0	5,5	-2680	15034		
185	184	2372	Vt	150				3578,2				1			
186	184	2374	Vt	150				3578,2				1			
187	184	2375	Vt	150				3578,2				8			
188	61/192	2342	RL	150	62,50	0,3	0,05	3578,2		12,0	-1,0	-17781	68	27915	
189	188	2371	Vt	150				3578,2				1			
190	188	2373	Vt	150				3578,2				1			
191	188	2376	Vt	100				3578,2				50			
192	184/188	2352	VB						25000	6,1	0,0	15000			
193	140/197+202	199	VL	200	11,31	0,0	0,00	0,0	0	6,0	4,5	-1632	0		
194	193	273	Vt	200				0,0				0			
195	141/198+203	97	RL	200	10,33	0,0	0,00	0,0		12,0	-4,0	-16632	0	29810	
196	195	274	Vt	200				0,0				0			
197	193/263+199	201	VL	100	64,76	0,0	0,00	0,0	0	6,0	1,5	-1632	0		
198	195/286+200	99	RL	100	64,93	0,0	0,00	0,0		12,0	1,5	-16632	0	29810	

Berechnet mit mh-software 17.07.2013

Seite 7



ROHRNETZBERECHNUNG Anlage: UKD Optimierung Kälteverbundnetz-zentrale Schwachlas

lfd. Nr.	Vorg/Nachf.	Obj. Nr.	Typ	DN [mm]	Länge [m]	R [Pa/m]	w [m/s]	m [kg/h]	Q [W]	t [°C]	Zeta	pObj [Pa]	pStat [Pa]	pStr [Pa]	pReet [Pa]
199	197/201	1901	VL	100	1,55	0,0	0,00	0,0	0	6,0	0,5		-1632	15000	
200	198/201	1902	RL	100	2,21	0,0	0,00	0,0		12,0	0,5		-16632	0	29810
201	199/200	1900	VB						0	6,0	0,0	15000			
202	193/262+204	631	VL	150	27,79	0,0	0,00	0,0	0	6,0	9,0		-1632	0	
203	195/285+205	476	RL	150	26,04	0,0	0,00	0,0		12,0	8,0		-16632	0	29810
204	202/206	1926	VL	15	2,79	0,0	0,00	0,0	0	6,0	1,5		-1632	15000	
205	203/206	1925	RL	15	1,55	0,0	0,00	0,0		12,0	0,5		-16632	0	29810
206	204/205	1924	VB						0	6,0	0,0	15000			
207	64/-	920	VL	125	3,57	0,0	0,00	0,0	0	6,0	5,5		-4126	0	
208	207	928	VH	125				0,0				0			
209	117/-	1690	VL	40	1,62	0,0	0,00	0,0	0	6,1	4,5		-4306	0	
210	209	1696	VH	40				0,0				0			
211	119/-	1708	VL	25	0,52	0,0	0,00	0,0	0	6,1	4,0		-4493	0	
212	211	1712	VH	25				0,0				0			
213	121/-	1683	VL	40	1,62	0,0	0,00	0,0	0	6,1	4,5		-4930	0	
214	213	1689	VH	40				0,0				0			
215	123/-	1674	VL	25	3,19	0,0	0,00	0,0	0	6,5	5,0		-4941	0	
216	215	1681	VH	25				0,0				0			
217	131/237+218	1731	VL	15	1,11	0,0	0,00	0,0	0	6,5	4,5		-4943	0	
218	217/220+222	1544	VL	200	5,36	0,0	0,00	0,0	0	6,5	1,0		-4943	0	
219	218	1753	VH	200				0,0				0			
220	218/-	1647	VL	25	3,47	0,0	0,00	0,0	0	6,5	1,0		-4943	0	
221	220	1655	VH	25				0,0				0			
222	218/225+223	1550	VL	200	46,92	0,0	0,00	0,0	0	6,5	2,0		-4943	0	
223	222/-	1575	VL	100	1,47	0,0	0,00	0,0	0	6,5	0,0		-4943	0	
224	223	1579	VH	100				0,0				0			
225	222/228+226	1577	VL	200	40,24	0,0	0,00	0,0	0	6,5	0,0		-4943	0	
226	225/-	1570	VL	100	1,30	0,0	0,00	0,0	0	6,5	0,0		-4943	0	
227	226	1573	VH	100				0,0				0			
228	225/234+230	1572	VL	200	33,50	0,0	0,00	0,0	0	6,5	0,0		-4943	0	
229	228	1560	VH	200				0,0				0			
230	228/-	1562	VL	100	28,90	0,0	0,00	0,0	0	6,5	0,5		-4943	0	
231	230	1568	VH	100				0,0				0			
232	230	1569	VH	100				0,0				0			
233	230	1567	VH	100				0,0				0			
234	228/-	1564	VL	200	15,31	0,0	0,00	0,0	0	6,5	0,0		-4943	0	
235	234	1561	VH	200				0,0				0			
236	234	1559	VH	200				0,0				0			
237	217/238+240	1488	VL	200	7,05	0,0	0,00	0,0	0	6,5	1,5		-4943	0	
238	237/-	1656	VL	25	3,62	0,0	0,00	0,0	0	6,5	1,0		-4943	0	
239	238	1664	VH	25				0,0				0			
240	237/244+242	1492	VL	200	46,05	0,0	0,00	0,0	0	6,5	3,0		-4943	0	
241	240	1513	VH	200				0,0				0			



ROHRNETZBERECHNUNG Anlage: UKD Optimierung Kälteverbundnetz-zentrale Schwachlas

lfd. Nr.	Vorg/Nachf	Obj. Nr.	Typ	DN [mm]	Länge [m]	R [Pa/m]	w [m/s]	m [kg/h]	Q [W]	t [°C]	Zeta	pObj [Pa]	pStat [Pa]	pStr [Pa]	pRest [Pa]
242	240/-	1508	VL	100	1,43	0,0	0,00	0,0	0	6,5	0,0		-4943	0	
243	242	1512	V8	100				0,0				0			
244	240/249+247	1510	VL	200	40,25	0,0	0,00	0,0	0	6,5	0,0		-4943	0	
245	244	1514	V8	200				0,0				0			
246	244	1520	V8	200				0,0				0			
247	244/-	1515	VL	100	1,32	0,0	0,00	0,0	0	6,5	0,0		-4943	0	
248	247	1519	V8	100				0,0				0			
249	244/256+252	1517	VL	200	33,45	0,0	0,00	0,0	0	6,5	0,0		-4943	0	
250	249	1521	V8	200				0,0				0			
251	249	1529	V8	200				0,0				0			
252	249/-	1522	VL	100	27,07	0,0	0,00	0,0	0	6,5	0,5		-4943	0	
253	252	1528	V8	50				0,0				0			
254	252	1531	V8	100				0,0				0			
255	252	1527	V8	100				0,0				0			
256	249/-	1524	VL	200	15,66	0,0	0,00	0,0	0	6,5	0,0		-4943	0	
257	256	1530	V8	200				0,0				0			
258	256	1501	V8	200				0,0				0			
259	62/-	901	VL	100	0,45	0,0	0,00	0,0	0	6,0	8,0		-3222	0	
260	259	941	V8	100				0,0				0			
261	28/-	977	VL	200	2,18	0,0	0,00	0,0	0	6,0	1,9		-2064	0	
262	202/-	630	VL	200	0,21	0,0	0,00	0,0	0	6,0	0,0		-1632	0	
263	197/-	1913	VL	100	0,44	0,0	0,00	0,0	0	6,0	0,0		-1632	0	
264	142/-	219	VL	15	2,87	0,0	0,00	0,0	0	6,0	5,0		-1634	0	
265	264	223	V8	20				0,0				0			
266	144/-	267	VL	15	2,82	0,0	0,00	0,0	0	6,0	5,0		-1833	0	
267	266	271	V8	20				0,0				0			
268	146/-	469	VL	15	2,87	0,0	0,00	0,0	0	6,1	5,0		-2114	0	
269	268	473	V8	20				0,0				0			
270	148/-	1870	VL	15	2,98	0,0	0,00	0,0	0	6,1	5,0		-2381	0	
271	270	283	V8	20				0,0				0			
272	153/-	1891	VL	15	2,90	0,0	0,00	0,0	0	6,2	5,0		-2826	0	
273	272	1898	V8	20				0,0				0			
274	65/-	964	RL	125	3,42	0,0	0,00	0,0		12,0	-1,8		-38717	0	0
275	274	972	V8	125				0,0				0			
276	118/-	1697	RL	40	1,63	0,0	0,00	0,0		12,0	-1,5		-20821	0	0
277	276	1703	V8	10				0,0				0			
278	120/-	1704	RL	25	0,53	0,0	0,00	0,0		12,0	-2,0		-20821	0	0
279	278	1713	V8	10				0,0				0			
280	122/-	1665	RL	25	3,22	0,0	0,00	0,0		11,7	-1,0		-20813	0	0
281	280	1672	V8	25				0,0				0			
282	63/-	938	RL	100	0,44	0,0	0,00	0,0		12,0	8,0		-39663	0	0
283	282	940	V8	100				0,0				0			
284	30/-	775	RL	200	0,99	0,0	0,00	0,0		12,0	6,0		-43639	0	0
285	203/-	475	RL	200	0,11	0,0	0,00	0,0		12,0	0,0		-16632	0	0
286	198/-	1910	RL	100	0,44	0,0	0,00	0,0		12,0	0,0		-16632	0	0
287	143/-	207	RL	15	2,88	0,0	0,00	0,0		12,0	-1,0		-20109	0	0
288	287	214	V8	20				0,0				0			



ROHRNETZBERECHNUNG Anlage: UKD Optimierung Kälteverbundnetz-zentrale Schwachlas

lfd. Nr.	Vorg/Nachf.	Obj. Nr.	Typ	DN [mm]	Länge [m]	R [Pa/m]	w [m/s]	m [kg/h]	Q [W]	t [°C]	Zeta	pObj [Pa]	pStat [Pa]	pStr [Pa]	pRest [Pa]
289	145/-	255	RL	15	2,84	0,0	0,00	0,0		12,0	-1,0		-19908	0	0
290	289	262	Vs	20				0,0				0			
291	147/-	457	RL	15	2,88	0,0	0,00	0,0		12,0	-1,0		-19617	0	0
292	291	464	Vs	20				0,0				0			
293	151/296+294	293	RL	15	0,44	0,0	0,00	0,0		11,9	-2,0		-19399	0	0
294	293/-	320	RL	200	21,35	0,0	0,00	0,0		11,9	2,0		-19399	0	0
295	294	329	Vs	200				0,0				0			
296	293/297+306	296	RL	250	1,28	0,0	0,00	0,0		11,9	0,0		-19399	0	0
297	296/298+304	1885	RL	15	0,98	0,0	0,00	0,0		11,9	0,0		-19399	0	0
298	297/302+301	332	RL	250	79,94	0,0	0,00	0,0		11,9	3,5		-19399	0	0
299	298	347	Vs	250				0,0				0			
300	298	350	Vs	250				0,0				0			
301	298/-	376	RL	250	232,4	0,0	0,00	0,0		11,9	7,5		-19399	0	0
302	298/-	441	RL	15	1,64	0,0	0,00	0,0		11,9	0,0		-19399	0	0
303	302	442	Vs	20				0,0				0			
304	297/-	351	RL	250	22,16	0,0	0,00	0,0		11,9	2,0		-19399	0	0
305	304	361	Vs	250				0,0				0			
306	296/310+309	299	RL	250	79,16	0,0	0,00	0,0		11,9	4,0		-19399	0	0
307	306	348	Vs	250				0,0				0			
308	306	349	Vs	250				0,0				0			
309	306/-	408	RL	250	234,4	0,0	0,00	0,0		11,9	7,0		-19399	0	0
310	306/-	438	RL	15	1,52	0,0	0,00	0,0		11,9	0,0		-19399	0	0
311	310	439	Vs	20				0,0				0			
312	154/-	284	RL	15	2,88	0,0	0,00	0,0		11,9	-1,0		-19344	0	0
313	312	292	Vs	20				0,0				0			
314	158/-	117	RL	15	2,90	0,0	0,00	0,0		11,9	-1,0		-18899	0	0
315	314	126	Vs	20				0,0				0			



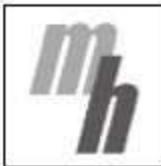
ROHRNETZBERECHNUNG Anlage: UKD Optimierung Kälteverbundnetz-zentrale Schwachlas

Rohrmaterial

lfd. Nr.	Obj. Nr.	Typ	Rohrmaterial						Dämmungsmaterial						
			Hst	Mat	DN [mm]	Länge [m]	Bögen	Strat	Hst	Mat	DN [mm]	Dicke [mm]	tU [°C]	tAnf [°C]	Qvert [W]
2	2534	VL	sta	st2	250	20,90	0	S01	g+h	HF	273	27,0	10,0	6,0	-89
3	2537	RL	sta	st2	250	21,50	0	S01	g+h	HF	273	27,0	10,0	12,1	48
4	2536	VL	sta	st2	300	2,00	0	S01	g+h	HF	324	27,0	20,0	6,0	-35
5	2539	RL	sta	st2	300	3,60	0	S01	g+h	HF	324	27,0	10,0	12,0	9
6	2451	VL	sta	st2	100	11,99	0	S01	g+h	HF	102	27,0	10,0	6,0	-24
7	2448	RL	sta	st2	100	10,88	0	S01	g+h	HF	102	27,0	10,0	12,0	11
8	2494	VL	sta	st2	80	4,90	4	S01	g+h	HF	89	27,0	10,0	6,0	-8
12	2490	RL	sta	st2	80	4,33	5	S01	g+h	HF	89	27,0	10,0	12,0	4
17	2454	VL	sta	st2	80	10,95	5	S01	g+h	HF	89	27,0	10,0	6,0	-18
21	2456	RL	sta	st2	80	10,04	6	S01	g+h	HF	89	27,0	10,0	12,0	8
26	1967	VL	sta	st2	300	7,89	0	S01	g+h	HF	324	27,0	20,0	6,0	-137
27	2400	RL	sta	st2	300	7,79	0	S01	g+h	HF	324	27,0	10,0	12,2	21
28	624	VL	sta	st2	300	84,84	2		g+h	HF	324	27,0	20,0	6,0	-1472
30	1958	RL	sta	st2	300	86,85	2	S01	g+h	HF	324	27,0	20,0	12,1	-846
32	975	VL	sta	st2	250	3,74	1	S01	g+h	HF	273	27,0	20,0	6,0	-56
33	773	RL	sta	st2	250	3,89	1	S01	g+h	HF	273	27,0	20,0	12,1	-32
34	865	VL	sta	st2	125	178,1	15	S01	g+h	HF	133	27,0	20,0	6,0	-1471
35	853	VL	sta	st2	150	17,28	6	S01	g+h	HF	159	27,0	25,0	6,1	-227
37	784	RL	sta	st2	150	176,9	13	S01	g+h	HF	159	27,0	20,0	12,1	-989
38	800	RL	sta	st2	150	17,17	7	S01	g+h	HF	159	27,0	25,0	12,1	-154
40	2292	VL	sta	st2	150	2,50	0	S01	g+h	HF	159	27,0	25,0	6,1	-33
41	2317	RL	sta	st2	150	2,50	0	S01	g+h	HF	159	27,0	25,0	12,1	-22
42	2290	VL	sta	st2	80	4,95	2	S01	g+h	HF	89	27,0	25,0	6,1	-38
46	2287	RL	sta	st2	80	5,10	2	S01	g+h	HF	89	27,0	25,0	12,1	-27
51	2318	VL	sta	st2	80	4,95	2	S01	g+h	HF	89	27,0	25,0	6,1	-38
55	2315	RL	sta	st2	80	5,10	2	S01	g+h	HF	89	27,0	25,0	12,1	-27
60	981	VL	sta	st2	200	13,52	0	S01	g+h	HF	219	27,0	20,0	6,0	-165
61	931	RL	sta	st2	200	12,75	0	S01	g+h	HF	219	27,0	20,0	12,2	-87
62	895	VL	sta	st2	200	35,97	3	S01	g+h	HF	219	27,0	20,0	6,0	-438
63	932	RL	sta	st2	200	35,51	3	S01	g+h	HF	219	27,0	20,0	12,2	-242
64	903	VL	sta	st2	200	27,88	8	S01	g+h	HF	219	27,0	20,0	6,0	-339
65	944	RL	sta	st2	200	27,88	8	S01	g+h	HF	219	27,0	20,0	12,2	-190
66	1286	VL	sta	st2	200	6,60	2	S01	g+h	HF	219	27,0	20,0	6,0	-80
67	1290	RL	sta	st2	200	9,86	5	S01	g+h	HF	219	27,0	20,0	12,2	-67
68	1277	VL	sta	st2	200	14,22	4	S01	g+h	HF	219	27,0	20,0	6,0	-173
69	1301	RL	sta	st2	200	13,27	2	S01	g+h	HF	219	27,0	20,0	12,1	-91
70	2090	VL	sta	st2	100	17,03	0	S01	g+h	HF	102	27,0	20,0	6,0	-119
71	2093	RL	sta	st2	100	17,03	0	S01	g+h	HF	102	27,0	20,0	12,0	-68
72	2230	VL	sta	st2	65	12,76	2	S01	g+h	HF	70	27,0	10,0	6,0	-18
76	2227	RL	sta	st2	65	12,47	3	S01	g+h	HF	70	27,0	10,0	12,0	9
81	2262	VL	sta	st2	150	7,64	3	S01	g+h	HF	159	27,0	25,0	6,1	-100
85	2259	RL	sta	st2	150	7,79	3	S01	g+h	HF	159	27,0	25,0	12,1	-70
90	1201	VL	sta	st2	200	107,7	35	S01	g+h	HF	219	27,0	20,0	6,0	-1309

Berechnet mit mh-software 17.07.2013

Seite 11



ROHRNETZBERECHNUNG Anlage: UKD Optimierung Kälteverbundnetz-zentrale Schwachlas

Ifd. Nr.	Obj. Nr.	Typ	Rohrmaterial					Dämmungsmaterial							
			Hst	Mat	DN [mm]	Länge [m]	Bögen	Strat	Hst	Mat	DN [mm]	Dicke [mm]	tU [°C]	tAnf [°C]	Qverl [W]
91	1180	VL	sta	st2	200	3,77	2	S01	g+h	HF	219	27,0	25,0	6,1	-62
92	1308	RL	sta	st2	200	106,1	32	S01	g+h	HF	219	27,0	20,0	12,1	-728
93	1376	RL	sta	st2	200	3,02	3	S01	g+h	HF	219	27,0	25,0	12,1	-34
94	2001	VL	sta	st2	80	52,32	15	S01	g+h	HF	89	27,0	25,0	6,1	-405
97	2000	RL	sta	st2	80	53,15	17	S01	g+h	HF	89	27,0	25,0	12,2	-280
101	2099	VL	sta	st2	150	7,56	1	S01	g+h	HF	159	27,0	20,0	6,0	-73
105	2098	RL	sta	st2	150	7,27	2	S01	g+h	HF	159	27,0	20,0	12,0	-40
110	1177	VL	sta	st2	200	6,08	3	S01	g+h	HF	219	27,0	25,0	6,1	-100
113	1844	RL	sta	st2	200	5,21	3	S01	g+h	HF	219	27,0	25,0	12,1	-59
117	1607	VL	sta	st2	200	10,39	2	S01	g+h	HF	219	27,0	20,0	6,0	-126
118	1392	RL	sta	st2	200	10,35	2	S01	g+h	HF	219	27,0	20,0	13,5	-58
119	1692	VL	sta	st2	40	0,69	0	S01	g+h	HF	64	27,0	20,0	6,1	-3
120	1699	RL	sta	st2	200	1,81	0	S01	g+h	HF	219	27,0	20,0	13,5	-10
121	1710	VL	sta	st2	40	4,43	0	S01	g+h	HF	64	27,0	20,0	6,1	-16
122	1394	RL	sta	st2	200	119,5	13	S01	g+h	HF	219	27,0	20,0	13,5	-686
123	1609	VL	sta	st2	200	116,1	14	S01	g+h	HF	219	27,0	20,0	6,1	-1388
124	1420	RL	sta	st2	200	15,90	9	S01	g+h	HF	219	27,0	20,0	13,3	-93
125	1048	RL	sta	st2	200	80,60	22	S01	g+h	HF	219	27,0	20,0	13,3	-477
126	1006	RL	sta	st2	100	68,15	18	S01	g+h	HF	102	27,0	20,0	13,1	-235
127	992	RL	sta	st2	100	19,93	10	S01	g+h	HF	102	27,0	25,0	13,1	-119
131	1637	VL	sta	st2	200	15,69	11	S01	g+h	HF	219	27,0	20,0	6,5	-184
132	1436	VL	sta	st2	200	4,85	2	S01	g+h	HF	219	27,0	20,0	6,5	-57
133	1083	VL	sta	st2	200	80,39	18	S01	g+h	HF	219	27,0	20,0	6,6	-931
134	1129	VL	sta	st2	100	67,57	11	S01	g+h	HF	102	27,0	20,0	6,8	-443
135	1154	VL	sta	st2	100	20,95	10	S01	g+h	HF	102	27,0	25,0	7,0	-189
140	226	VL	sta	st2	200	16,91	5	S01	g+h	HF	219	27,0	20,0	6,0	-206
141	105	RL	sta	st2	150	17,22	4	S01	g+h	HF	159	27,0	20,0	12,3	-92
142	1864	VL	sta	st2	200	0,79	0	S01	g+h	HF	219	27,0	12,0	6,0	-4
143	209	RL	sta	st2	200	1,14	0	S01	g+h	HF	219	27,0	20,0	12,3	-8
144	187	VL	sta	st2	200	64,78	5	S01	g+h	HF	219	27,0	20,0	6,0	-789
145	87	RL	sta	st2	200	65,55	5	S01	g+h	HF	219	27,0	20,0	12,3	-442
146	173	VL	sta	st2	200	87,33	8	S01	g+h	HF	219	27,0	20,0	6,0	-1061
147	73	RL	sta	st2	200	87,48	9	S01	g+h	HF	219	27,0	20,0	12,3	-591
148	153	VL	sta	st2	200	59,76	11	S01	g+h	HF	219	27,0	20,0	6,1	-724
151	56	RL	sta	st2	200	55,95	8	S01	g+h	HF	219	27,0	20,0	12,2	-379
153	28	VL	sta	st2	200	158,8	8	S01	g+h	HF	219	27,0	20,0	6,1	-1919
154	50	RL	sta	st2	200	6,51	3	S01	g+h	HF	219	27,0	20,0	12,2	-44
156	129	VL	sta	st2	200	17,41	2	S01	g+h	HF	219	27,0	20,0	6,2	-210
158	34	RL	sta	st2	200	158,7	8	S01	g+h	HF	219	27,0	20,0	12,2	-1079
159	2148	VL	sta	st2	150	12,60	2	S01	g+h	HF	159	27,0	10,0	6,2	-33
162	16	RL	sta	st2	200	17,07	2	S01	g+h	HF	219	27,0	20,0	12,2	-116
165	2151	RL	sta	st2	150	12,70	3	S01	g+h	HF	159	27,0	10,0	12,2	19
168	2176	VL	sta	st2	100	8,00	1	S01	g+h	HF	102	27,0	10,0	6,2	-15
171	2179	RL	sta	st2	100	8,10	2	S01	g+h	HF	102	27,0	10,0	12,2	9
175	2403	VL	sta	st2	300	10,45	4	S01	g+h	HF	324	27,0	20,0	6,0	-181
179	2402	RL	sta	st2	300	9,34	4	S01	g+h	HF	324	27,0	10,0	12,0	23

Berechnet mit mh-software 17.07.2013

Seite 12



ROHRNETZBERECHNUNG Anlage: UKD Optimierung Kälteverbundnetz-zentrale Schwachlast

lfd. Nr.	Obj. Nr.	Typ	Rohmaterial						Dämmungsmaterial						
			Hst	Mat	DN [mm]	Länge [m]	Bögen	Strat	Hst	Mat	DN [mm]	Dicke [mm]	tU [°C]	tAnf [°C]	Qverl [W]
184	2347	VL	sta	st2	150	62,20	3	S01	g+h	HF	150	27,0	10,0	6,0	-171
188	2342	RL	sta	st2	150	62,50	4	S01	g+h	HF	150	27,0	10,0	12,0	89
193	199	VL	sta	st2	200	11,31	1	S01	g+h	HF	0	0,0	25,0	6,0	0
195	97	RL	sta	st2	200	10,33	0	S01	g+h	HF	0	0,0	25,0	12,0	0
197	201	VL	sta	st2	100	64,76	3	S01	g+h	HF	0	0,0	25,0	6,0	0
198	99	RL	sta	st2	100	64,93	3	S01	g+h	HF	0	0,0	25,0	12,0	0
199	1901	VL	sta	st2	100	1,55	1	S01	g+h	HF	0	0,0	12,0	6,0	0
200	1902	RL	sta	st2	100	2,21	1	S01	g+h	HF	0	0,0	12,0	12,0	0
202	631	VL	sta	st2	150	27,79	18	S01	g+h	HF	0	0,0	25,0	6,0	0
203	476	RL	sta	st2	150	26,04	16	S01	g+h	HF	0	0,0	25,0	12,0	0
204	1926	VL	sta	st2	15	2,79	3	S01	g+h	HF	0	0,0	12,0	6,0	0
205	1925	RL	sta	st2	15	1,55	1	S01	g+h	HF	0	0,0	12,0	12,0	0
207	920	VL	sta	st2	125	3,57	3	S01	g+h	HF	0	0,0	20,0	6,0	0
209	1690	VL	sta	st2	40	1,62	1	S01	g+h	HF	0	0,0	20,0	6,1	0
211	1708	VL	sta	st2	25	0,52	0	S01	g+h	HF	0	0,0	12,0	6,1	0
213	1683	VL	sta	st2	40	1,62	1	S01	g+h	HF	0	0,0	20,0	6,1	0
215	1674	VL	sta	st2	25	3,19	2	S01	g+h	HF	0	0,0	12,0	6,5	0
217	1731	VL	sta	st2	15	1,11	1	S01	g+h	HF	0	0,0	12,0	6,5	0
218	1544	VL	sta	st2	200	5,36	2	S01	g+h	HF	0	0,0	20,0	6,5	0
220	1647	VL	sta	st2	25	3,47	2	S01	g+h	HF	0	0,0	12,0	6,5	0
222	1550	VL	sta	st2	200	46,92	4	S01	g+h	HF	0	0,0	20,0	6,5	0
223	1575	VL	sta	st2	100	1,47	0	S01	g+h	HF	0	0,0	12,0	6,5	0
225	1577	VL	sta	st2	200	40,24	0	S01	g+h	HF	0	0,0	20,0	6,5	0
226	1570	VL	sta	st2	100	1,30	0	S01	g+h	HF	0	0,0	12,0	6,5	0
228	1572	VL	sta	st2	200	33,50	0	S01	g+h	HF	0	0,0	20,0	6,5	0
230	1562	VL	sta	st2	100	28,90	1	S01	g+h	HF	0	0,0	20,0	6,5	0
234	1564	VL	sta	st2	200	15,31	0	S01	g+h	HF	0	0,0	20,0	6,5	0
237	1488	VL	sta	st2	200	7,05	3	S01	g+h	HF	0	0,0	20,0	6,5	0
238	1656	VL	sta	st2	25	3,62	2	S01	g+h	HF	0	0,0	12,0	6,5	0
240	1492	VL	sta	st2	200	46,05	6	S01	g+h	HF	0	0,0	20,0	6,5	0
242	1508	VL	sta	st2	100	1,43	0	S01	g+h	HF	0	0,0	12,0	6,5	0
244	1510	VL	sta	st2	200	40,25	0	S01	g+h	HF	0	0,0	20,0	6,5	0
247	1515	VL	sta	st2	100	1,32	0	S01	g+h	HF	0	0,0	12,0	6,5	0
249	1517	VL	sta	st2	200	33,45	0	S01	g+h	HF	0	0,0	20,0	6,5	0
252	1522	VL	sta	st2	100	27,07	1	S01	g+h	HF	0	0,0	20,0	6,5	0
256	1524	VL	sta	st2	200	15,66	0	S01	g+h	HF	0	0,0	20,0	6,5	0
259	901	VL	sta	st2	100	0,45	0	S01	g+h	HF	0	0,0	12,0	6,0	0
261	977	VL	sta	st2	200	2,18	0	S01	g+h	HF	0	0,0	12,0	6,0	0
262	630	VL	sta	st2	200	0,21	0	S01	g+h	HF	0	0,0	12,0	6,0	0
263	1913	VL	sta	st2	100	0,44	0	S01	g+h	HF	0	0,0	12,0	6,0	0
264	219	VL	sta	st2	15	2,87	2	S01	g+h	HF	0	0,0	20,0	6,0	0
266	267	VL	sta	st2	15	2,82	2	S01	g+h	HF	0	0,0	20,0	6,0	0
268	469	VL	sta	st2	15	2,87	2	S01	g+h	HF	0	0,0	12,0	6,1	0
270	1870	VL	sta	st2	15	2,98	2	S01	g+h	HF	0	0,0	20,0	6,1	0
272	1891	VL	sta	st2	15	2,90	2	S01	g+h	HF	0	0,0	20,0	6,2	0



ROHRNETZBERECHNUNG Anlage: UKD Optimierung Kälteverbundnetz-zentrale Schwachlas

Ifd. Nr.	Obj. Nr.	Typ	Rohrmaterial						Dämmungsmaterial						
			Hst	Mat	DN [mm]	Länge [m]	Bögen	Strat	Hst	Mat	DN [mm]	Dicke [mm]	tU [°C]	tAnf [°C]	Qverl [W]
274	964	RL	sta	st2	125	3,42	3	S01	g+h	HF	0	0,0	20,0	12,0	0
276	1697	RL	sta	st2	40	1,83	1	S01	g+h	HF	0	0,0	20,0	12,0	0
278	1704	RL	sta	st2	25	0,53	0	S01	g+h	HF	0	0,0	12,0	12,0	0
280	1665	RL	sta	st2	25	3,22	2	S01	g+h	HF	0	0,0	12,0	11,7	0
282	938	RL	sta	st2	100	0,44	0	S01	g+h	HF	0	0,0	12,0	12,0	0
284	775	RL	sta	st2	200	0,99	0	S01	g+h	HF	0	0,0	12,0	12,0	0
285	475	RL	sta	st2	200	0,11	0	S01	g+h	HF	0	0,0	12,0	12,0	0
286	1910	RL	sta	st2	100	0,44	0	S01	g+h	HF	0	0,0	12,0	12,0	0
287	207	RL	sta	st2	15	2,88	2	S01	g+h	HF	0	0,0	20,0	12,0	0
289	255	RL	sta	st2	15	2,84	2	S01	g+h	HF	0	0,0	20,0	12,0	0
291	457	RL	sta	st2	15	2,88	2	S01	g+h	HF	0	0,0	20,0	12,0	0
293	293	RL	sta	st2	15	0,44	0	S01	g+h	HF	0	0,0	12,0	11,9	0
294	320	RL	sta	st2	200	21,35	4	S01	g+h	HF	0	0,0	20,0	11,9	0
296	296	RL	sta	st2	250	1,28	0	S01	g+h	HF	0	0,0	20,0	11,9	0
297	1885	RL	sta	st2	15	0,98	0	S01	g+h	HF	0	0,0	12,0	11,9	0
298	332	RL	sta	st2	250	79,94	7	S01	g+h	HF	0	0,0	20,0	11,9	0
301	376	RL	sta	st2	250	232,4	15	S01	g+h	HF	0	0,0	20,0	11,9	0
302	441	RL	sta	st2	15	1,84	0	S01	g+h	HF	0	0,0	12,0	11,9	0
304	351	RL	sta	st2	250	22,16	4	S01	g+h	HF	0	0,0	20,0	11,9	0
306	299	RL	sta	st2	250	79,16	8	S01	g+h	HF	0	0,0	20,0	11,9	0
309	408	RL	sta	st2	250	234,4	14	S01	g+h	HF	0	0,0	20,0	11,9	0
310	438	RL	sta	st2	15	1,52	0	S01	g+h	HF	0	0,0	12,0	11,9	0
312	284	RL	sta	st2	15	2,88	2	S01	g+h	HF	0	0,0	20,0	11,9	0
314	117	RL	sta	st2	15	2,90	2	S01	g+h	HF	0	0,0	20,0	11,9	0



ROHRNETZBERECHNUNG Anlage: UKD Optimierung Kälteverbundnetz-zentrale Schwachlas

Der nachfolgende Materialauszug enthält

- Objekte der aktuellen Berechnung 'Große Zentrale'
- Objekte des
- Selektierte Objekte
- Alle Objekte

Beschreibung:



ROHRNETZBERECHNUNG Anlage: UKD Optimierung Kälteverbundnetz-zentrale Schwachlas

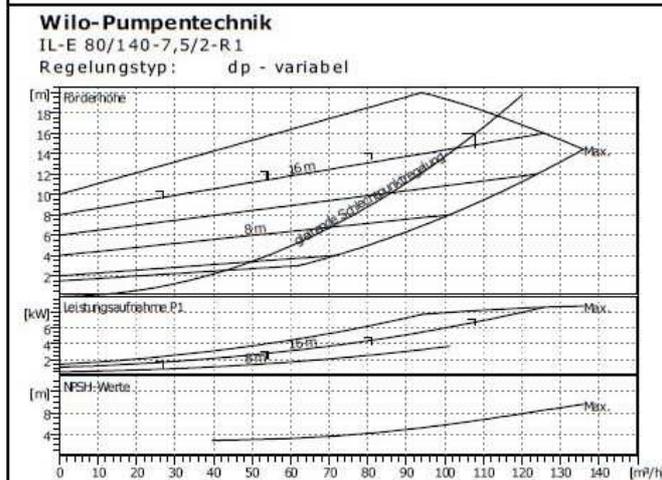
Verbraucher

Ifd. Nr.	Obj. Nr.	Raum-Nr.					Raumbezeichnung	m [kg/h]	tV [°C]	tR [°C]	tL [°C]	Qeff [W]	QSoil [W]
		Geb.	Stock.	Wohn.	Raum	VB							
16	2493						13740	6,0	12,0	0,0	96000	96000	
25	2461						13024	6,0	12,0	0,0	91000	91000	
50	2293						17175	6,1	12,1	0,0	120000	120000	
59	2321						8587,8	6,1	12,1	0,0	60000	60000	
80	2234						10877	6,0	12,0	0,0	76002	76000	
89	2265						7156,5	6,1	12,1	0,0	50000	50000	
100	2126						5725,2	6,1	12,1	0,0	40000	40000	
109	2097						20038	6,0	12,0	0,0	140000	140000	
116	1842						17175	6,1	12,1	0,0	120000	120000	
139	1983						2862,6	7,0	13,0	0,0	20000	20000	
164	2160						17175	6,2	12,2	0,0	120000	120000	
174	2182						7156,5	6,2	12,2	0,0	50000	50000	
183	2401						57251	6,0	12,0	0,0	400000	400000	
192	2352						3578,2	6,1	12,1	0,0	25000	25000	
201	1900						0,0	6,0	12,0	0,0	0	0	
206	1924						0,0	6,0	12,0	0,0	0	0	
Anzahl Verbraucher											16		

Telefon Telefax	IL-E 80/140-7,5/2-R1 Anlage: Elektronisch geregelte Inlinpumpe																																																	
Kunde WILO SE Kunden Nr. Ansprechpartner Bearbeiter	Projekt UKD Kälteverbund Projekt Nr. 1 Positions-Nr. Einbauort H59 Netzeinspeisung Datum 01.08.2013	Seite 1 / 2																																																
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> </div> <div style="width: 50%;"> <p>Betriebsdatenvorgabe</p> <table border="0"> <tr><td>Förderstrom</td><td>108</td><td>m³/h</td></tr> <tr><td>Förderhöhe</td><td>16</td><td>m</td></tr> <tr><td>Fördergut</td><td>Wasser</td><td></td></tr> <tr><td>Fluidtemperatur</td><td>20</td><td>°C</td></tr> <tr><td>Dichte</td><td>0,9982</td><td>kg/dm³</td></tr> <tr><td>Kinematische Viskosität</td><td>1,001</td><td>mm²/s</td></tr> <tr><td>Dampfdruck</td><td>0,02205</td><td>bar</td></tr> </table> </div> </div>			Förderstrom	108	m ³ /h	Förderhöhe	16	m	Fördergut	Wasser		Fluidtemperatur	20	°C	Dichte	0,9982	kg/dm ³	Kinematische Viskosität	1,001	mm ² /s	Dampfdruck	0,02205	bar																											
Förderstrom	108	m ³ /h																																																
Förderhöhe	16	m																																																
Fördergut	Wasser																																																	
Fluidtemperatur	20	°C																																																
Dichte	0,9982	kg/dm ³																																																
Kinematische Viskosität	1,001	mm ² /s																																																
Dampfdruck	0,02205	bar																																																
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> </div> <div style="width: 50%;"> <p>Pumpendaten</p> <table border="0"> <tr><td>Fabrikat</td><td>WILO</td></tr> <tr><td>Typ</td><td>IL-E 80/140-7,5/2-R1</td></tr> <tr><td>Anlagenart</td><td>Einzelpumpe</td></tr> <tr><td>Betriebsart</td><td>dp-v</td></tr> <tr><td>Nenndruckstufe</td><td>PN16</td></tr> <tr><td>Min. Fluidtemperatur</td><td>-20</td><td>°C</td></tr> <tr><td>Max. Fluidtemperatur</td><td>140</td><td>°C</td></tr> <tr><td>Mindesteffizienzindex (MEI)</td><td colspan="2">≥ 0,10</td></tr> </table> </div> </div>			Fabrikat	WILO	Typ	IL-E 80/140-7,5/2-R1	Anlagenart	Einzelpumpe	Betriebsart	dp-v	Nenndruckstufe	PN16	Min. Fluidtemperatur	-20	°C	Max. Fluidtemperatur	140	°C	Mindesteffizienzindex (MEI)	≥ 0,10																														
Fabrikat	WILO																																																	
Typ	IL-E 80/140-7,5/2-R1																																																	
Anlagenart	Einzelpumpe																																																	
Betriebsart	dp-v																																																	
Nenndruckstufe	PN16																																																	
Min. Fluidtemperatur	-20	°C																																																
Max. Fluidtemperatur	140	°C																																																
Mindesteffizienzindex (MEI)	≥ 0,10																																																	
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> </div> <div style="width: 50%;"> <p>Hydraulische Daten (Betriebspunkt)</p> <table border="0"> <tr><td>Förderstrom</td><td>108</td><td>m³/h</td></tr> <tr><td>Förderhöhe</td><td>16</td><td>m</td></tr> <tr><td>Leistungsaufnahme P1</td><td>7,18</td><td>kW</td></tr> <tr><td>NPSH</td><td>6,58</td><td>m</td></tr> <tr><td>Lauftrad Durchmesser</td><td>0</td><td>mm</td></tr> </table> </div> </div>			Förderstrom	108	m ³ /h	Förderhöhe	16	m	Leistungsaufnahme P1	7,18	kW	NPSH	6,58	m	Lauftrad Durchmesser	0	mm																																	
Förderstrom	108	m ³ /h																																																
Förderhöhe	16	m																																																
Leistungsaufnahme P1	7,18	kW																																																
NPSH	6,58	m																																																
Lauftrad Durchmesser	0	mm																																																
<p>Werkstoffe / Dichtung</p> <table border="0"> <tr><td>Gehäuse</td><td>EN-GJL-250</td></tr> <tr><td>Welle</td><td>1.4122</td></tr> <tr><td>Lauftrad</td><td>EN-GJL-200</td></tr> <tr><td>Gleitringdichtung</td><td>AQ 1 EGG (Standard)</td></tr> <tr><td>Laterne</td><td>EN-GJL-250</td></tr> </table>			Gehäuse	EN-GJL-250	Welle	1.4122	Lauftrad	EN-GJL-200	Gleitringdichtung	AQ 1 EGG (Standard)	Laterne	EN-GJL-250																																						
Gehäuse	EN-GJL-250																																																	
Welle	1.4122																																																	
Lauftrad	EN-GJL-200																																																	
Gleitringdichtung	AQ 1 EGG (Standard)																																																	
Laterne	EN-GJL-250																																																	
<p>Abmessungen pro Pumpe mm</p> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td>a</td><td>105</td><td>e</td><td>173</td><td>o</td><td>M12</td><td>dL</td><td>19</td></tr> <tr><td>b1</td><td>123</td><td>f</td><td>57</td><td>Ø g</td><td>266</td><td>øD</td><td>200</td></tr> <tr><td>b2</td><td>151</td><td>h</td><td>260</td><td>p</td><td>20</td><td>ød</td><td>132</td></tr> <tr><td>b3</td><td>171</td><td>i0</td><td>400</td><td>x</td><td>120</td><td>øk</td><td>160</td></tr> <tr><td>b4</td><td>303</td><td>i1</td><td>814</td><td>DN</td><td>80</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>c</td><td>180</td><td>m</td><td>200</td><td>n</td><td>8</td><td></td><td></td></tr> </table>			a	105	e	173	o	M12	dL	19	b1	123	f	57	Ø g	266	øD	200	b2	151	h	260	p	20	ød	132	b3	171	i0	400	x	120	øk	160	b4	303	i1	814	DN	80			c	180	m	200	n	8		
a	105	e	173	o	M12	dL	19																																											
b1	123	f	57	Ø g	266	øD	200																																											
b2	151	h	260	p	20	ød	132																																											
b3	171	i0	400	x	120	øk	160																																											
b4	303	i1	814	DN	80																																													
c	180	m	200	n	8																																													
<table border="0" style="width:100%;"> <tr><td>Saugseite</td><td>DN 80 / PN16</td></tr> <tr><td>Druckseite</td><td>DN 80 / PN16</td></tr> <tr><td>Gewicht</td><td>104 kg</td></tr> </table>			Saugseite	DN 80 / PN16	Druckseite	DN 80 / PN16	Gewicht	104 kg																																										
Saugseite	DN 80 / PN16																																																	
Druckseite	DN 80 / PN16																																																	
Gewicht	104 kg																																																	
<p>Motordaten pro Motor/Pumpe</p> <table border="0"> <tr><td>Nennleistung P2</td><td>7,5</td><td>kW</td></tr> <tr><td>Nennzahl</td><td>2900</td><td>1/min</td></tr> <tr><td>Nennspannung</td><td>3~400 V, 50 Hz</td><td></td></tr> <tr><td>Max. Stromaufnahme</td><td>14,1</td><td>A</td></tr> <tr><td>Schutzart</td><td>IP 55</td><td></td></tr> <tr><td>Zulässige Spannungstoleranz</td><td colspan="2">+/- 10%</td></tr> </table>			Nennleistung P2	7,5	kW	Nennzahl	2900	1/min	Nennspannung	3~400 V, 50 Hz		Max. Stromaufnahme	14,1	A	Schutzart	IP 55		Zulässige Spannungstoleranz	+/- 10%																															
Nennleistung P2	7,5	kW																																																
Nennzahl	2900	1/min																																																
Nennspannung	3~400 V, 50 Hz																																																	
Max. Stromaufnahme	14,1	A																																																
Schutzart	IP 55																																																	
Zulässige Spannungstoleranz	+/- 10%																																																	
<table border="0" style="width:100%;"> <tr><td>Artikelnr. der Standardversion</td><td>2105507</td></tr> </table>			Artikelnr. der Standardversion	2105507																																														
Artikelnr. der Standardversion	2105507																																																	

Telefon Telefax	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung Anlage: Elektronisch geregelte Inliniepumpe	
--------------------	--	--

Kunde WILO SE	Projekt UKD Kälteverbund	Seite 2 / 2
Kunden Nr.	Projekt Nr. 1	Datum 01.08.2013
Ansprechpartner	Positions-Nr.	
Bearbeiter	Einbauort	



Betriebsdaten

Förderstrom	108	m³/h
Förderhöhe	16	m
Fördergut	Wasser	
Fluidtemperatur	20	°C
Dichte	0,9982	kg/dm³
Kinematische Viskosität	1,001	mm²/s
Dampfdruck	0,02205	bar

Belastungsprofil

Jährliche Betriebsstunden	8760	Std / a
---------------------------	------	---------

Belastung

Belastung	Fördermenge [%]	Betriebszeit [%]
Vollastbetrieb	100	2
Teillastbetrieb	75	5
Schwachlastbetrieb	25	68
Nachtsabsenkung	50	25

Energiekosten

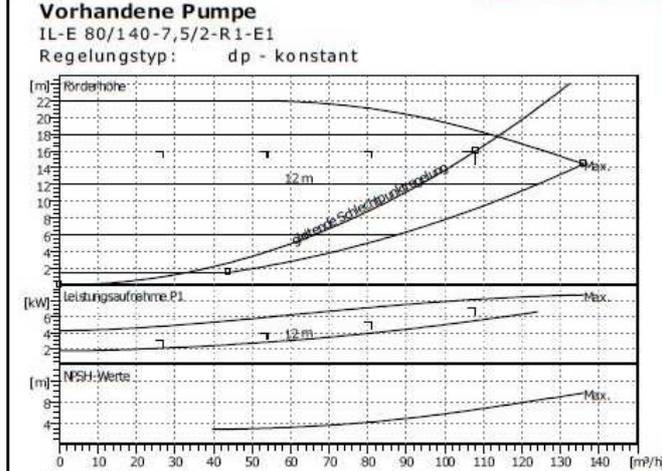
Qp	Anz.	Q	H	P1	E	Energiekosten
[%]		[m³/h]	[m]	[kW]	[kWh/a]	[EUR]
100	1	108	16	7,19	1259	201,42 EUR
75	1	81	14,1	4,78	2092	334,64 EUR
25	1	27	10,3	1,86	11070	1771,03 EUR
50	1	54	12,2	3,03	6636	1061,80 EUR

Energiekostenberechnung

Strompreis	0,16	Euro/ kWh
IL-E 80/140-7,5/2-R1		
Energiekosten	3373,60	Euro/ a
Investition	0,00	Euro
IL-E 80/140-7,5/2-R1-E1		
Investition	0,00	Euro
Energiekosten	4932,64	Euro/ a

Energiebedarf
 Jährl. Energiekosten **21085 kWh/a**
3373,60 €

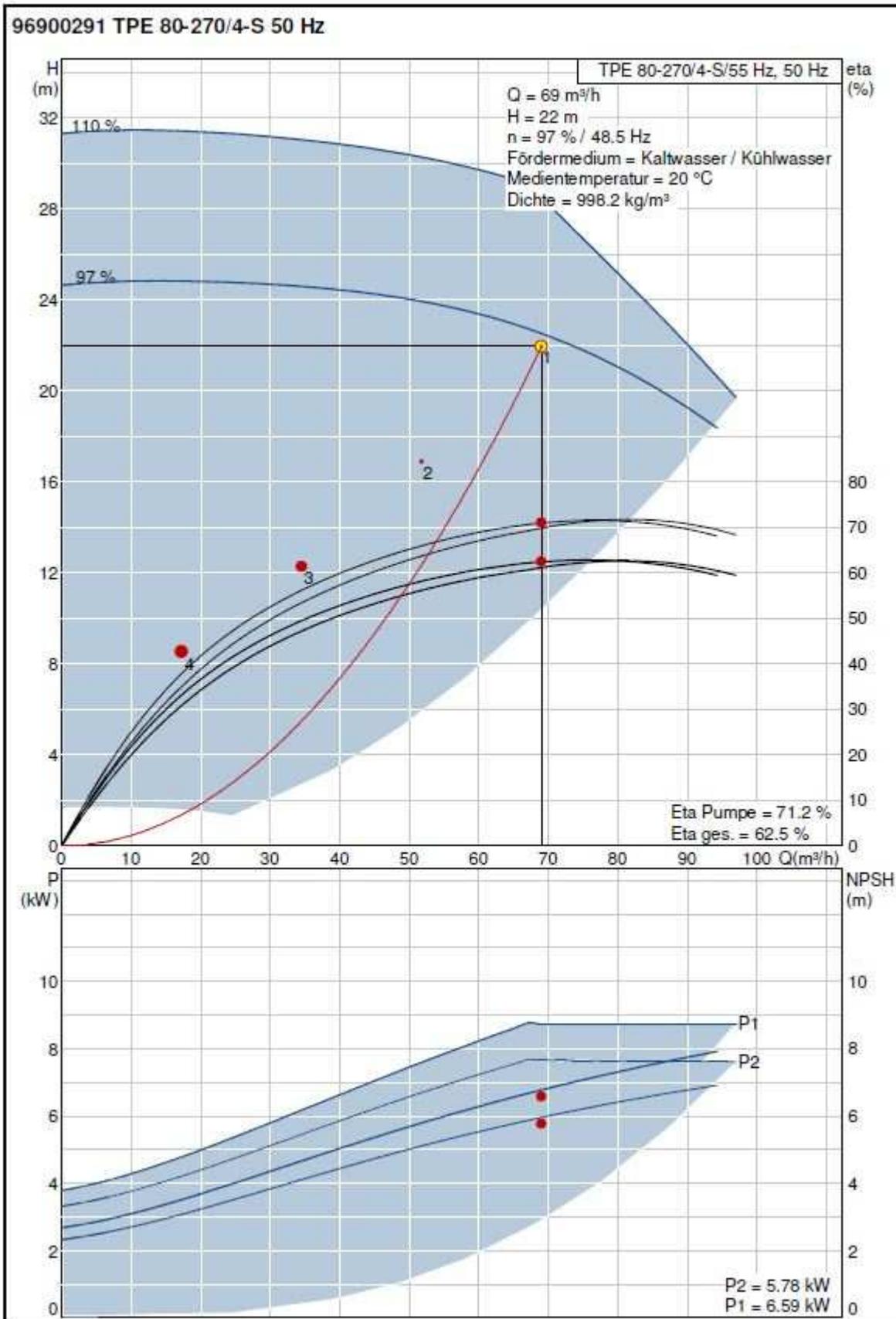
Jährliche Kosteneinsparung durch Schlechtpunktabenkung = 1575,48 €/a

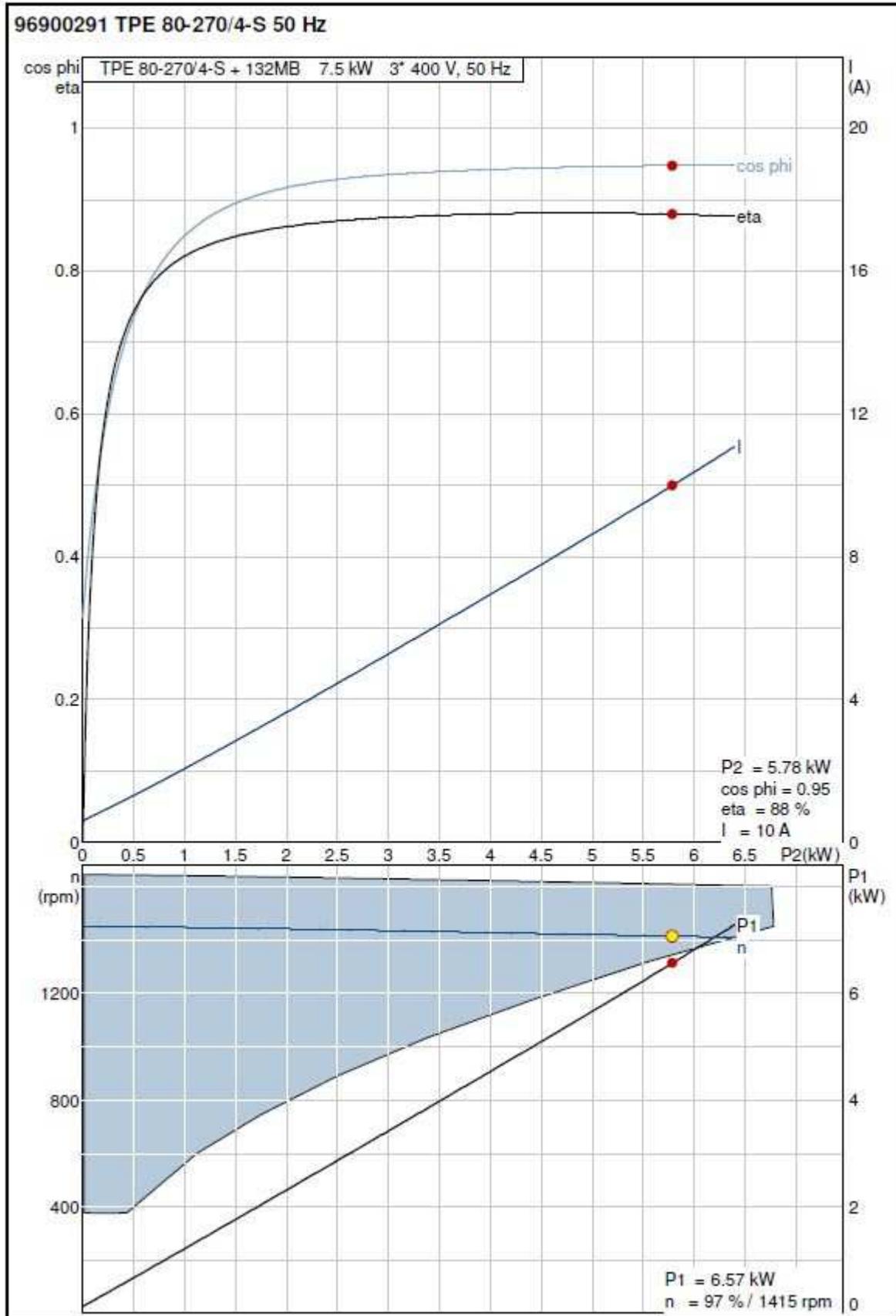


Energiekosten

Qp	Anz.	Q	H	P1	E	Energiekosten
[%]		[m³/h]	[m]	[kW]	[kWh/a]	[EUR]
100	1	108	16	7,17	1256	200,98 EUR
75	1	81	16	5,34	2338	374,11 EUR
25	1	27	16	3,11	18520	2963,03 EUR
50	1	54	16	4,01	8789	1406,24 EUR

Energiebedarf
 Jährl. Energiekosten **30829 kWh/a**
4932,64 €





Ausdruck von Grundfos CAPS [2012.04.041]

2/4

96900291 TPE 80-270/4-S 50 Hz

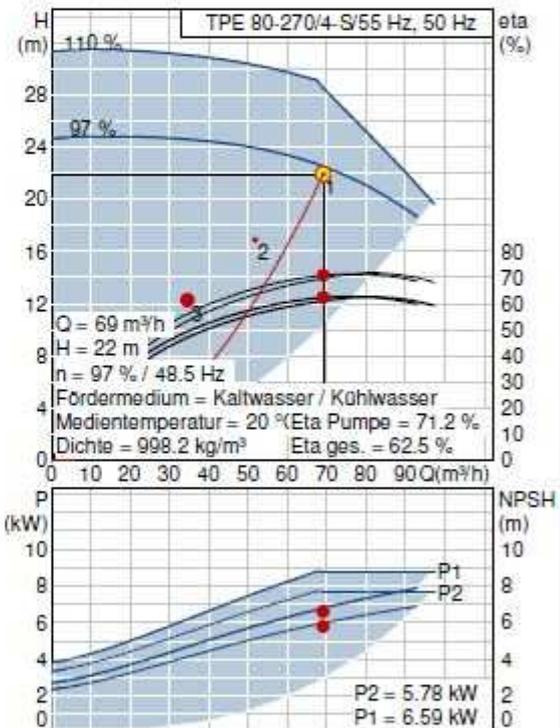
Eingabe

Wählen Sie die Anwendung

Übersicht	Ja Heizung
Eingabeüberblick:	
Installationstyp	Umwälzung
Austausch	Nein
Q	69 m³/h
H	22 m
mehr	Ja
Fördermedium	Kaltwasser / Kühlwasser
Min. Medientemperatur	2 °C
Medientemperatur während des Betriebes	20 °C
Max. Medientemperatur	20 °C
Umgebungstemperatur	20 °C
Min. Druck am Saugstutzen	1,5 bar
Erlaubte Unterschreitung	2 %
Max. Betriebsdruck	Alle bar
Regelungsart	Proportionaldruckreg- elung
Abnahme bei niedrigem Förderstrom	50 %
Schutzklasse	IP20
Maximale Frequenz	105 %
Hydrauliktyp	Einzelpumpe
Heiz-Saison	365 days
Energiepreis	0,16 €
Energiepreissteigerung	4 %
Zinssatz	3 %
Berechnungszeitraum	10 years
Auswertungskriterium	Preis + Energiekosten
Pumpen pro Produktgruppe	2
Max. Ergebnisse	8
Frequenz	50 Hz
Phase	1 or 3
Stern-Dreieck Einschaltung ab:	5,5 kW
Spannung	1 x 230 oder 3 x 400 V
Nassläufer-Umwälzpumpe	Nein
Mehrstufige Inlinepumpe	Nein
Einstufige Inlinepumpe	Ja
Normpumpe	Nein
Blockpumpe	Nein
Horizontale Kreiselpumpe	Nein
Horizontale Splitcasepumpe	Nein
Wählen Sie Zusatz-Optionen für die ausgewählte Pumpe	
LCC Berechnung	Ja
LCC Berechnung	
Möchten Sie einen Vergleich durchführen?	Kein Vergleich
Wie detailliert möchten Sie die LCC Analyse ?	Nur Energieverbrauch
Energiepreissteigerung	4 %
Zinssatz	3 %
Investitionsförderung	Keines
Belastungsprofil	
Heiz-Saison	365 days
Lastprofil	Benutzerprofil
Verbrauch Q1	100,0 %
Verbrauch Q2	75,0 %
Verbrauch Q3	50,0 %
Verbrauch Q4	25,0 %
Verbrauch Q5	100,0 %
Verbrauch Q1	69 m³/h
Verbrauch Q2	51,8 m³/h
Verbrauch Q3	34,5 m³/h
Verbrauch Q4	17,3 m³/h
Verbrauch Q5	69 m³/h
Verbrauch T1	99 h/a
Verbrauch T2	441 h/a

Auslegungsergebnis

Typ	TPE 80-270/4-S
Anzahl	1
Motoren	7.5 kW
Förderstrom	69 m³/h
Förderhöhe	22 m
Min. Vordruck	-0.78 bar (20 °C, gegen Atmosphäre)
Leistungsaufnahme ges.(P1)	6.59 kW
Leistungsaufnahme Pumpe (P2)	5.78 kW
Eta Pumpe	71.2 %
Eta Motor	87.8 %
Eta Aggregat	62.5 % =Eta Pumpe * Eta Motor
Eta gesamt	62.5 % =Eta bezogen auf den Betriebspunkt
Stromaufnahme	13360 kWh/Jahr
CO2 Emission	7620 kg/Jahr
Preis auf Anfr.	
Gesamtkosten	(1) /10Jahre



Verbrauch T3 2294 h/a
Verbrauch T4 5926 h/a
Verbrauch T5 0 h/a

Normpumpe

mit Ausbaupfugung Ja
Impeller size Energy optimized
Leistungszuschlag (P2) gemäß ISO 5199 Nein

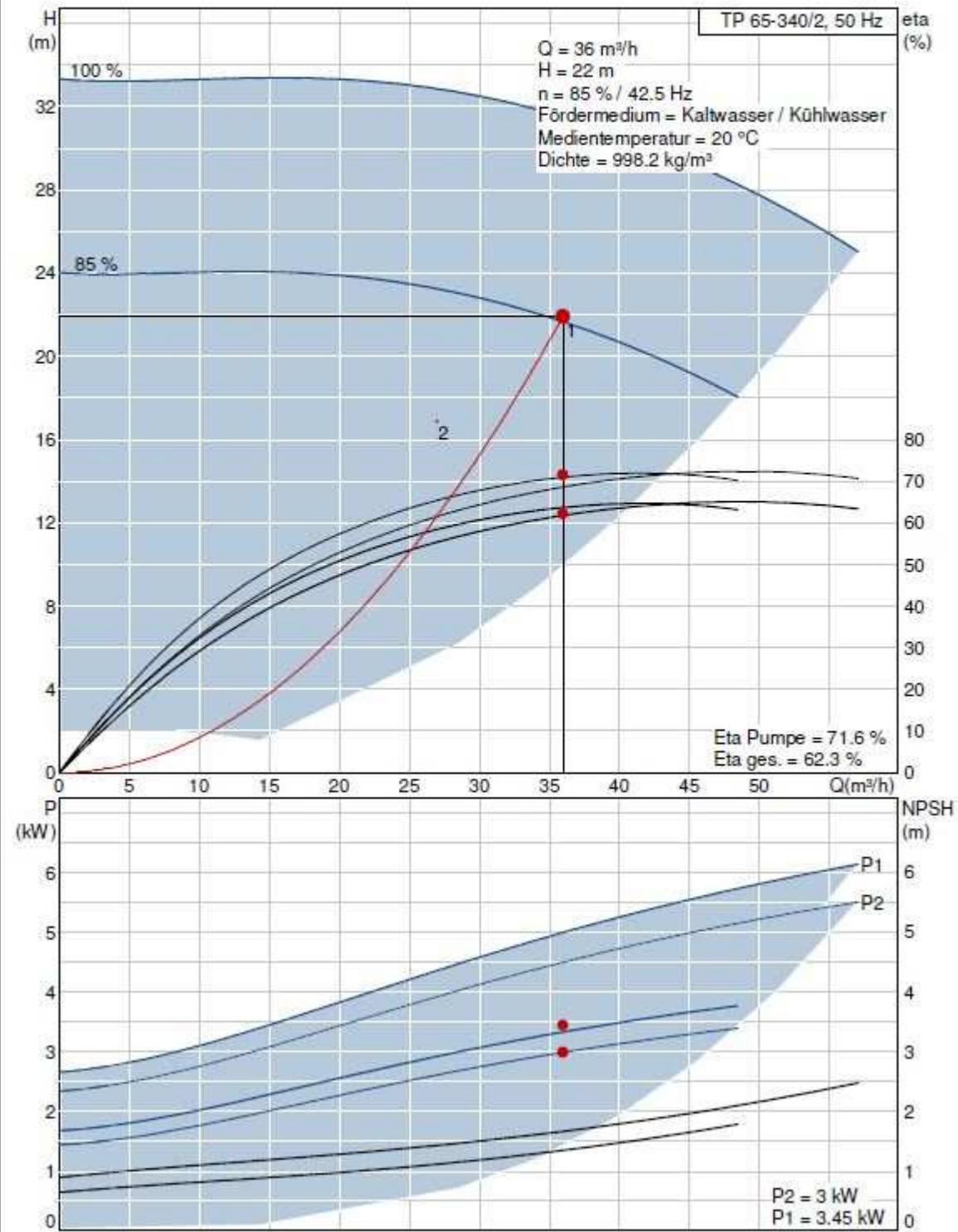
Belastungsprofil

	1	2	3	4	
Förderstrom	100	75	50	25	%
Förderhöhe	100	77	56	39	%
P1	6.59	3.94	2.17	1.01	kW
Eta gesamt	62.5	59.9	53.4	39.7	%
Dauer	99	441	2294	5926	h/Jahr
Stromaufnahme	652	1739	4975	5994	kWh/Jahr
Anzahl	1	1	1	1	



Name des Unternehmens: BA
 Angelegt von: T.Landgraf
 Telefon:
 Fax:
 Datum: 19.07.2013

96087504 TP 65-340/2 50 Hz





Name des Unternehmens: BA
 Angelegt von: T.Landgraf
 Telefon:
 Fax:
 Datum: 19.07.2013

96087504 TP 65-340/2 50 Hz

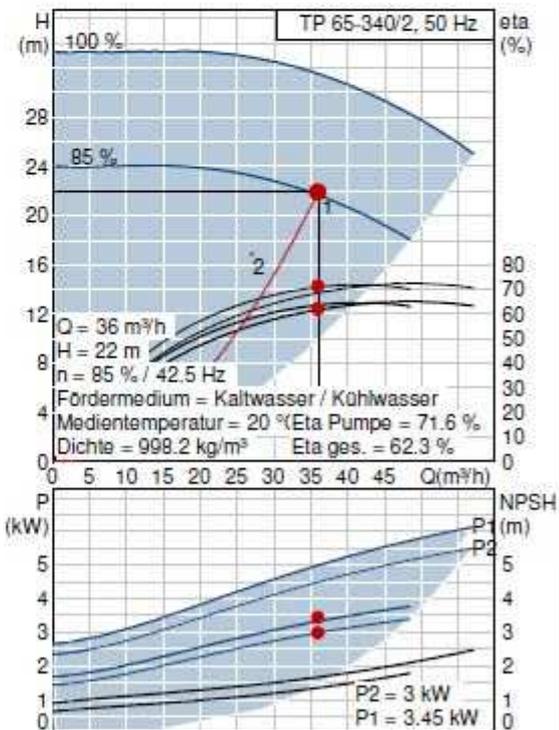
Eingabe

Wählen Sie die Anwendung

Übersicht	Ja
	Heizung
Eingabenerblick:	
Installationstyp	Umwälzung
Austausch	Nein
Q	36 m³/h
H	22 m
mehr	Ja
Fördermedium	Kaltwasser / Kühlwasser
Min. Medientemperatur	6 °C
Medientemperatur während des Betriebes	20 °C
Max. Medientemperatur	20 °C
Umgebungstemperatur	20 °C
Min. Druck am Saugstutzen	1.5 bar
Erlaubte Unterschreitung	2 %
Max. Betriebsdruck	Alle bar
Regelungsart	Proportionaldruckreg- elung
Abnahme bei niedrigem Förderstrom	50 %
Schutzklasse	IP20
Maximale Frequenz	105 %
Hydrauliktyp	Einzelpumpe
Heiz-Saison	365 days
Energiepreis	0,16 €
Energiepreissteigerung	4 %
Zinssatz	3 %
Berechnungszeitraum	15 years
Auswertungskriterium	Preis + Energiekosten
Pumpen pro Produktgruppe	2
Max. Ergebnisse	8
Frequenz	50 Hz
Phase	1 or 3
Stern-Dreieck Einschaltung ab:	5.5 kW
Spannung	1 x 230 oder 3 x 400 V
Pumpenanschlussart	Flansch
Flanschgröße	DN65
Nassläufer-Umwälzpumpe	Nein
Mehrstufige Inlinepumpe	Nein
Einstufige Inlinepumpe	Ja
Normpumpe	Nein
Blockpumpe	Nein
Horizontale Kreiselpumpe	Nein
Horizontale Splitcasepumpe	Nein
Wählen Sie Zusatz-Optionen für die ausgewählte Pumpe	
LCC Berechnung	Ja
LCC Berechnung	
Möchten Sie einen Vergleich durchführen?	Kein Vergleich
Wie detailliert möchten Sie die LCC Analyse ?	Einfache LCC Analyse
Energiepreissteigerung	4 %
Zinssatz	3 %
Investitionsförderung	Keines
Belastungsprofil	
Heiz-Saison	365 days
Lastprofil	Benutzerprofil
Verbrauch Q1	100.0 %
Verbrauch Q2	75.0 %
Verbrauch Q3	50.0 %

Auslegungsergebnis

Typ	TP 65-340/2
Anzahl	1
Motoren	5.5 kW
Förderstrom	36 m³/h
Förderhöhe	22 m
Min. Vordruck	-0.81 bar (20 °C, gegen Atmosphäre)
Leistungsaufnahme ges.(P1)	3.45 kW
Leistungsaufnahme Pumpe (P2)	3 kW
Eta Pumpe	71.6 %
Eta Motor	87.0 %
Eta Aggregat	62.3 % -Eta Pumpe * Eta Motor
Eta gesamt	62.3 % -Eta bezogen auf den Betriebspunkt
Stromaufnahme	30108 kWh/Jahr
CO2 Emission	17200 kg/Jahr
Preis	auf Anfr.
Gesamtkosten	(4) /15Jahre



		Name des Unternehmens: BA
		Angelegt von: T.Landgraf
		Telefon:
		Fax:
		Datum: 19.07.2013

Verbrauch Q4	25.0 %
Verbrauch Q5	100.0 %
Verbrauch Q1	36 m³/h
Verbrauch Q2	27 m³/h
Verbrauch Q3	18 m³/h
Verbrauch Q4	9 m³/h
Verbrauch Q5	36 m³/h
Verbrauch T1	8700 h/a
Verbrauch T2	60 h/a
Verbrauch T3	0 h/a
Verbrauch T4	0 h/a
Verbrauch T5	0 h/a

Normpumpe

mit Ausbaupfugung	Ja
Impeller size	Energy optimized
Leistungszuschlag (P2) gemäß ISO 5199	Nein

Belastungsprofil

	1	2	
Förderstrom	100	75	%
Förderhöhe	100	77	%
P1	3.45	2.09	kW
Eta gesamt	62.3	58.9	%
Dauer	8700	60	h/Jahr
Stromaufnahme	29983	126	kWh/Jahr
Anzahl	1	1	