

Einsatz von thermischen Kühltechnologien zur Nutzung der sommerlichen Bio-Nahwärme

Fallbeispiel Gemeinde Mureck

O. Pol, et al.

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

37/2010

Impressum:

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Leiter: DI Michael Paula

Liste sowie Bestellmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter <http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

Einsatz von thermischen Kühltechnologien zur Nutzung der sommerlichen Bio-Nahwärme

Fallbeispiel Gemeinde Mureck

DI Olivier Pol, DI (FH) Gernot Haslinger,
Dr. Dong-Seon Kim
arsenal research

Ing. Gerhard Repnik, DI Sebastian Sautter
enerep schöner tag

DI (FH) Reinhard Ungerböck
CONNES

Ing. Gernot Breitenhuber, Herbert Leitgeb
Nahwärme Mureck

Wien, November 2008

Ein Projektbericht im Rahmen der Programmlinie



Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

Vorwort

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus der Programmlinie ENERGIESYSTEME DER ZUKUNFT. Sie wurde 2003 vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie im Rahmen des Impulsprogramms Nachhaltig Wirtschaften als mehrjährige Forschungs- und Technologieinitiative gestartet. Mit der Programmlinie ENERGIESYSTEME DER ZUKUNFT soll durch Forschung und Technologieentwicklung die Gesamteffizienz von zukünftigen Energiesystemen deutlich verbessert und eine Basis zur verstärkten Nutzung erneuerbarer Energieträger geschaffen werden.

Dank des überdurchschnittlichen Engagements und der großen Kooperationsbereitschaft der beteiligten Forschungseinrichtungen und involvierten Betriebe konnten bereits richtungsweisende und auch international anerkannte Ergebnisse erzielt werden. Die Qualität der erarbeiteten Ergebnisse liegt über den hohen Erwartungen und ist eine gute Grundlage für erfolgreiche Umsetzungsstrategien. Mehrfache Anfragen bezüglich internationaler Kooperationen bestätigen die in ENERGIESYSTEME DER ZUKUNFT verfolgte Strategie.

Ein wichtiges Anliegen des Programms ist, die Projektergebnisse – sei es Grundlagenarbeiten, Konzepte oder Technologieentwicklungen – erfolgreich umzusetzen und zu verbreiten. Dies soll nach Möglichkeit durch konkrete Demonstrationsprojekte unterstützt werden. Deshalb ist es auch ein spezielles Anliegen die aktuellen Ergebnisse der interessierten Fachöffentlichkeit leicht zugänglich zu machen, was durch die Homepage www.ENERGIESYSTEMEderZukunft.at und die Schriftenreihe gewährleistet wird.

Dipl. Ing. Michael Paula

Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Kurzfassung	8
Abstract	10
Einleitung.....	12
I. Kühlen mit Nah- bzw. Fernwärme: allgemeine Einführung.....	12
i. Steigender Einsatz der Kraftwärmekopplung (KWK)	12
ii. Wärmenutzungsmöglichkeit in thermisch angetriebenen Kühlprozessen	13
iii. Mögliche Konfigurationen	13
II. Vorarbeiten zum Thema	14
III. Fokus und Schwerpunkte der Arbeit.....	15
IV. Einpassung in die Programmlinie Energiesysteme der Zukunft.....	17
V. Aufbau des Endberichts	18
Ziele des Projektes und Erreichungsgrad	19
Inhalte und Ergebnisse des Projektes.....	20
1. Methode	20
1.1. Vorgangsweise, Stand der Technik und Innovationsgehalt des Projektes.....	20
1.2. Verwendete Daten	20
1.2.1. Wärmeeinspeisung	20
1.2.2. Wärmeabnehmer und Fernwärmeübergabestationen	20
1.2.3. Fernwärmeleitungen und Netzplan.....	21
1.3. Verwendete Werkzeuge	21
1.3.1. Kühllastberechnungen nach VDI 2078	21
1.3.2. Modellierung in der Simulationsumgebung DYMOLA	21
1.3.3. Monitoring	21
2. Zustanderfassung und Netzcharakterisierung	23
2.1. Einleitung: Mureck als multifunktionales Energiezentrum	23
2.2. Netzcharakterisierung.....	23
2.3. Wärmeabnehmerstruktur.....	24
2.4. Gemessene Lastprofile.....	26
3. Potenzialerhebung	27
3.1. Anschlussbedingungen	27
3.2. Schlussfolgerungen	28
3.2.1. Unzureichende Kälteleistung	28
3.2.2. Ungeeignete Objekte	29
3.3. Geeignete Netzbereiche.....	29
4. Netzmodellierung	31
4.1. Rohrmodellierung und Netzmodellvalidierung.....	31
4.2. Anschlussmodellierung.....	34

4.3.	Heizlastenmodellierung	35
4.4.	Modellvereinfachung	36
4.4.1.	Zusammenfassung von Abnehmern	37
4.4.2.	Vorgabe des Massenstroms	37
4.5.	Validierung des Netzmodells	37
4.5.1.	Teilabbildung der Abnehmer durch Monitoringdaten	38
4.5.2.	Fehler durch die Verwendung von nicht gemessenen Lastprofilen	39
4.5.3.	Validierungsverfahren	40
5.	Einbindung der AKM	47
5.1.	Simulationsansatz	47
5.2.	Kühllastprofile	47
5.3.	Einbindungsvarianten	47
5.4.	Berechnung des Massenstroms	48
5.5.	Massenstromregelung	49
5.6.	Simulationen und Ergebnisse	49
5.6.1.	Auswirkung der Anzahl und Positionierung der AKM	49
5.6.2.	Erhöhung der Netzvorlauftemperatur	53
5.6.3.	Schlussfolgerungen: Verbesserung der Netzenergiebilanz	54
5.6.4.	Einfluss der Art der Einbindung	56
6.	Technische Optimierungsmaßnahmen	57
6.1.	Anhebung der Vorlauftemperatur über solarthermische Kollektoren	57
6.2.	Nutzung von mehrstufigen Absorptionskältemaschinen	58
6.2.1.	Single Effect / Single Lift und Single Effect / Double Lift Schaltungen	58
6.2.2.	Double Effect / Single Lift Schaltungen bei Kopplung mit BHKW	60
7.	Gebäudemonitoring	61
7.1.	Monitoringaufbau	61
7.1.1.	Innenraummonitoring	61
7.1.2.	Raumklimageräte	63
7.2.	Gesamter Stromverbrauch und Raumtemperatur	63
7.3.	Außentemperaturabhängigkeit	68
8.	Ökonomische und primärenergetische Betrachtungen	70
8.1.	Wirtschaftlichkeitsberechnung	70
8.1.1.	Darstellung der Gesamtkosten	70
8.1.2.	Ergebnisse	74
8.2.	Primärenergetische Vorteile	76
	Detailangaben in Bezug auf die Ziele der Programmlinie	78
	Beitrag zum Gesamtziel der Programmlinie	78
	Einbeziehung der Zielgruppen	79

Umsetzungspotenzial	79
Verbreitungspotenzial	79
Realisierungspotenzial	80
Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen	80
Gewonnene Erkenntnisse	80
Weiterarbeit des Projektteams und der Zielgruppen	83
Ausblick und Empfehlungen	84
Chancen / Schwierigkeiten / Risiken bei der Umsetzung	84
Empfehlungen für weiterführende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten	84
Literatur-, Abbildung- und Tabellensverzeichnisse	85
Literaturverzeichnis	85
Abbildungsverzeichnis	88
Tabellenverzeichnis	90
Anhang A	92
Anhang B	93
Anhang C	95
Anhang D	96

Kurzfassung

Ausgangssituation und Motivation

Das ländliche Gebiet um die Klimabündnisgemeinde Mureck in der Südsteiermark kann als multifunktionales Energiezentrum bezeichnet werden: es werden sehr unterschiedliche regionale Ressourcen (Hackgut, Raps, Altspeiseöl, Gülle, Mais) zur Energieerzeugung bereitgestellt. Für die Verwertung dieser erneuerbaren Energieträger kommt eine Kombination aus verschiedenen Technologien zur Strom- und Wärmebereitstellung sowie zur Biodieselerzeugung zum Einsatz. Aufgrund des Betriebes des Biogas-Blockheizkraftwerkes wird Wärme auch in den sommerlichen Monaten zur Verfügung gestellt. Durch eine geringe Abnahmeleistung kann aber der größte Anteil der erzeugten Wärme derzeit nicht genützt werden.

Inhalte und Zielsetzungen

Dieses Projekt wird ein Konzept für eine optimale Nutzung des anfallenden Wärmeüberschusses (zum Heizen und Kühlen) darstellen, um die Effizienz des gesamten Systems deutlich zu erhöhen.

Da ein Bedarf an Kühlung in mehreren Gebäuden besteht, kann thermische Energie zum Antrieb von Absorptionskältemaschinen eingesetzt werden. Der Einsatz von ausschließlich Kältemaschinen würde aber die Effizienz des Gesamtsystems nicht deutlich verbessern, da Absorptionskältemaschinen alleine die gewünschten niedrigen Rücklauftemperaturen im Nahwärmenetz nicht garantieren können. Deswegen wird im Rahmen dieses Projektes auch die Kombination mit anderen direkten Wärmeabnehmern in Hinsicht auf die Gesamtsystemoptimierung untersucht.

Ziele des Projektes sind:

- Optimierung des sommerlichen Wärmenetzbetriebs zur Erreichung einer möglichst hohen Abwärmenutzung bei Definition einer optimalen Kombination von möglichen Wärmeabnehmern.
- Evaluierung der ökologischen und ökonomischen Auswirkungen der Investitionen (abnahmeseitige Maßnahmen für die Nutzung der Wärme aus einem Biogas-Blockheizkraftwerkes) zur Reduzierung der Spitzenlasten im Stromnetz.

Methodische Vorgehensweise

- Abbildung des bestehenden Wärmenetzes in einer Simulationsumgebung
- Potenzialerhebung für zusätzliche Wärmeabnehmer (hauptsächlich zu Kühlzwecken)
- Erfassung des Stromverbrauchs von Raumklimageräten und Analyse von Innenraumkomfortparametern mittels Monitoring eines Objektes (SEEG-Bürogebäude)
- Berechnung der Kühllasten und Lastprofile von potenziellen Wärmeabnehmern zu Kühlzwecken
- Analyse der Wirkung von Absorptionskältemaschinen auf den Wärmenetzbetrieb mittels Wärmenetzsimulation und Ausarbeitung eines Konzeptes für einen optimalen Netzbetrieb (Komponentenschaltungen)
- Realisierung einer Wirtschaftlichkeitsberechnung

Ergebnisse

- Zustandserfassung und Datensammlung zur Potenzialerhebung
- thermisch-hydraulische Fernwärmenetzmodellierung
- Kühllastprofile für die Gebäude aus der Potenzialerhebung
- thermisch-hydraulische Fernwärmenetzsimulation mit Einbindung von Absorptionskältemaschinen
- Empfehlungen zur Einbindung von Absorptionskältemaschinen und technische Optimierungsmaßnahmen
- Monitoringauswertungen von installierten Raumklimageräten in einem Bürogebäude
- Ergebnisse einer Wirtschaftlichkeitsberechnung zur Nutzung von durch Fernwärme angetriebenen Absorptionskältemaschinen

Abstract

Initial situation and motivation

The rural area around the Climate Alliance municipality Mureck in the south of Styria can be described as a multifunctional energy centre: various regional resources (wood chips, colza, used edible oil, liquid manure and corn) are used to produce energy. Different technologies are combined to produce electricity, heat and biodiesel from these renewable energy carriers. Because of the operation of a biogas driven combined heat and power plant in Mureck, heat is also produced in summer. But as a result of a low heating energy demand, the biggest part of the energy can currently not be used.

Contents and objectives

This project will present a concept for an optimal use of the excess of heating energy (for heating and cooling), so that the efficiency of the whole system can be enhanced.

Because of an existing cooling energy demand in many buildings, thermal energy could be used to run absorption chillers. But the use of exclusively chillers would not increase the efficiency of the whole system, because only absorption chillers can not ensure the low return temperature which is required in the district heating system. That is why the combination with other direct customers of heating energy will be analysed in this project to optimize the whole system.

The targets of the project are:

- optimization of operation of the district heating network in order to increase the use of waste heat defining an optimal combination of possible heating energy consumers.
- evaluation of the ecological and economical impacts of the investments (demand-side measures for the use of the heating energy from a biogas driven combined heat and power plant) towards the reduction of the power peaks.

Methodology

- Description of existing district heating network in a simulation environment
- Potential analysis for additional heating energy consumers (mainly for cooling uses)
- Acquisition of electricity consumption of room air conditioning units and analysis of indoor comfort parameters with monitoring of one object (office building of SEEG)
- Calculation of cooling loads and load profiles for potential heating energy consumers for cooling uses
- Analysis of the effect of absorption chillers on the operation of the district heating network with simulation of heating network and elaboration of concept for an optimal operation of the network (connections between components)
- Elaboration for requirement specifications for the potential absorption chillers
- Realisation of an economical feasibility study

Results

- survey and data collection for potential analysis
- thermal modelling of the district heating system
- calculation of cooling load profiles for the buildings from the potential analysis
- thermal simulation of the district heating network with integration of absorption chillers
- first recommendations on the integration of absorption chillers and technical optimisation measures
- monitoring analysis of installed room air conditioning units in an office building
- results of a cost-effectiveness calculation for the acquisition of district heating driven absorption chillers

Einleitung

I. Kühlen mit Nah- bzw. Fernwärme: allgemeine Einführung

i. Steigender Einsatz der Kraftwärmekopplung (KWK)

Das steigende Interesse an Kühlung mit Nah- und Fernwärme ist mit der Ausbreitung der KWK-Technologien sowohl im großen als auch im kleinen Leistungsbereich eng verbunden. In Österreich ist die Fernwärme im Jahr 2005 zu 74% aus KWK erzeugt worden. In der EU erreichen nur die Niederlande (94%), Deutschland (83%) und Dänemark (78%) höhere Werte [Constantinescu, 2007]. Dazu hat sich noch in Österreich zwischen 2003 und 2006 die gesamte Stromerzeugung aus Biomasse um einen Faktor 7 erhöht (siehe Tabelle 2). Unter der Voraussetzung, dass in diesen KWK-Anlagen eine Wärmeauskopplung besteht, wurde dementsprechend mehr Wärme in Nah- und Fernwärmenetzen zur Verfügung gestellt.

Tabelle 1: Eckdaten zu Fernwärme und KWK in Österreich

Anteil der Fernwärme im Wärmemarkt in Österreich, 2006 [Statistik Austria, 2006]	14%
Fernwärmeproduktion (2005) [Constantinescu, 2007]	12.738 GWh
Fernwärmeproduktion aus KWK (2005) [Constantinescu, 2007]	9.401 GWh
Anteil an KWK in der Fernwärmeproduktion	74%
Stromerzeugung aus Biomasse (2003) [Indinger, 2006]	218 GWh
Stromerzeugung aus Biomasse (Prognose 2008) [Indinger, 2006]	ca. 3.000 GWh

Tabelle 2: Stromerzeugung aus Biomasse [GWh] [Energie-Control, 2007]

	2003	2004	2005	2006	1. Halbjahr 2007
Biomasse fest inkl. Abfall mhBA	99,3	313,0	552,7	1.085,9	804,4
Biomasse gasförmig	41,6	101,8	220,2	358,4	209,4
Biomasse flüssig	2,0	17,8	32,6	53,9	37,7
Deponie- und Klärgas	74,7	73,9	63,4	51,6	25,8
Gesamt	217,6	506,4	868,9	1.549,8	1.077,3

Parallel zu dieser Entwicklung hat sich die Wärmeabnahme in den Sommermonaten nicht geändert, da die Nah- und Fernwärme hauptsächlich zur Brauchwasserbereitstellung und in Industrieprozessen eingesetzt wird. Dies hat zu einem deutlichen Wärmeüberschuss in den Sommermonaten geführt.

Nah- und Fernwärmenetze werden im Sommer zur Rückkühlung von KWK-Anlagen genutzt. Daher ist es aus thermodynamischer Sicht gewünscht, eine möglichst hohe Rückkühlung im Wärmenetz zu erreichen. Die Abhängigkeit des Anlagenwirkungsgrads mit der Netzzücklauftemperatur ist von der eingesetzten KWK-Technologie abhängig: im Gegenteil zu Dampfturbinen besteht bei Gasmotoren keine direkte technische Kopplung zwischen Stromerzeugung und Abwärmenutzung. Da aber das Nah- bzw. Fernwärmenetz die Motorkühlung gewährleistet, soll in der Regel die Netzzücklauftemperatur unter 70°C bleiben. Mit höheren Temperaturen kann der Motor nicht mehr gekühlt werden und muss ausgeschaltet werden.

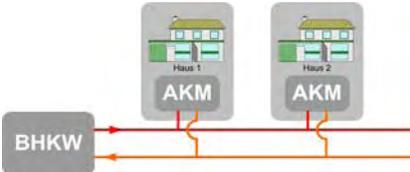
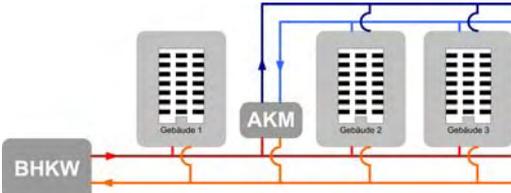
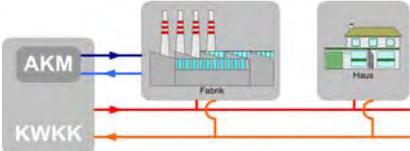
ii. Wärmenutzungsmöglichkeit in thermisch angetriebenen Kühlprozessen

Sinnvollerweise können KWK-Anlagen während der Sommermonate betrieben werden, wenn zusätzlicher Wärmebedarf besteht. Der Einsatz von thermisch angetriebenen Kühltechnologien bietet sich als ideale Lösung, um den Nutzungsgrad der bereitgestellten Wärme zu erhöhen und gleichzeitig den erzeugten Strom in Anwendungen zu nutzen, die ausschließlich elektrisch betrieben werden können.

iii. Mögliche Konfigurationen

Nah- und Fernwärmenetze werden in verschiedenen Formen und Größen gestaltet. Aufgrund unterschiedlicher Abnahmestrukturen ergeben sich verschiedene Auslegungsmöglichkeiten sowie Temperatur- und Druckverhältnisse. Auf der anderen Seite ist der Kühlbedarf für die Auslegung der Kälteanlagen ausschlaggebend. Die Angaben der Kältebedarfsverläufe sowie des gesamten Kältebedarfs bestimmen die Größe der Kühlanlagen. Daher sind keine allgemein gültige Lösungen für die Einbindung von thermisch angetriebenen Kühltechnologien in Nah- und Fernwärmenetze zu erwarten, sondern es muss zwischen den verschiedenen Typen von Nah- und Fernwärmenetzen und den verschiedenen Kühltechnologien unterschieden werden.

Tabelle 3: Kühlen mit Nah- und Fernwärme, mögliche Konfigurationen

Vereinfachte schematische Darstellung	Einsatzbereich	Leistungsbereich
A) Nahwärmenetze und dezentrale Kühlung		
	<ul style="list-style-type: none"> - Niedrige Kältebelegung (in kWh/mTrassenlänge) - Verschiedene verfügbare Sorptionstechnologien - Verschiedene mögliche Anbindungsvarianten 	Wärmeeinspeiseleistung < 10 MW
B) Fernkälte		
	<ul style="list-style-type: none"> - Hohe Kältebelegung (in kWh/mTrassenlänge) - Hohe Netzbelegung (in kW/mTrassenlänge) 	Wärmeeinspeiseleistung > 100 MW
C) Direkte Kraftwärme-Kältekopplung		
	<ul style="list-style-type: none"> - Kühlbedarf in unmittelbarer Nähe des BHKW - Mögliche Einspeisung in ein Fernkältenetz 	

Es gibt keine klare normierte Unterscheidung zwischen Nah- und Fernwärme. Als Definitionsversuch kann Nahwärme im Unterschied zur Fernwärme in kleinen, dezentralen Einheiten realisiert werden, und die Wärme kann bei relativ niedrigen Temperaturen übertragen werden. In Österreich basieren diese Nahwärmenetze fast ausschließlich auf Heiz- und Blockheizkraftwerken mit Biomassefeuerung. Ende 2006 gab es österreichweit ca. 1.100 Biomasse Fernwärmeprojekte mit einer gesamten Leistung von ca. 1.150 MW_{Wärme} [Füeder, 2008], was einer durchschnittlichen Leistung von knapp über 1 MW pro Anlage entspricht. Im Folgenden werden Nahwärmenetze durch eine Einspeiseleistung von einigen

Megawatt ($< 10 \text{ MW}$) charakterisiert. Tabelle 3 gibt einen Überblick über mögliche Konfigurationen bei Nah- und Fernwärmenetzen. Es sind bewusst keine Grenzwerte für entsprechende Netz- oder Kältebelegung angegeben, da die Festlegung solcher Werte eine ausführlichere Analyse voraussetzt, als im Rahmen des vorliegenden Projektes möglich war.

- Bei einer zu niedrigen Kältebelegung eignet sich für Nahwärmenetze der Einsatz dezentraler Kältemaschinen, die jeweils einem Gebäude zugeordnet sind (Konfiguration A). Bei einem höheren Kühlenergiebedarf wie z. B. in der Industrie kann auch bei kleinen Nahwärmenetzen eine direkte Kraftwärme-Kältekopplung vorgesehen werden, wo die Kältemaschine direkt an der KWK-Anlage angeschlossen wird, um z. B. die Abgaswärme auf hohem Temperaturniveau in einem zweistufigen Kälteprozess einzusetzen. Eventuell können auch Gebäude gemeinsam an einem kleinen Kältenetz angeschlossen werden.

- Aufgrund einer hohen Kälte- und Netzbelegung in einigen urbanen Räumen kann der Einsatz eines Fernkältenetzes aufgrund ökologischer und wirtschaftlicher Überlegungen sinnvoll sein. Entsprechende Berechnungen und Beispiele sind in [Constantinescu, 2006 (A)] und [Pol, 2008] präsentiert.

Letztendlich bringt die Art der eingesetzten KWK-Technologie (Gasmotoren, Organic Rankine Cycle) sowie die Einbindungskonfiguration der Kühltechnologien weitere Freiheitsgrade in Tabelle 3, was die Anzahl der möglichen Konfigurationen deutlich erhöht.

II. Vorarbeiten zum Thema

Es sind sowohl Vorarbeiten in der Form von Machbarkeitsstudien und Forschungsprojekten als auch Erfahrungen aus konkreten Realisierungen vorhanden.

Die Studie von [Sager, 1998] ist eine der bisher umfangreichsten Arbeiten zum Thema Kühlen mit Fernwärme. Diese Studie deckt alle Fragen der Einbindung von Absorptionskältemaschinen (AKM) in Fernwärmenetzen, von der Bedarfsanalyse bis hin zu deren Auswirkung auf den Wirkungsgrad verschiedener Typen von KWK-Anlagen über die Netzurücklauftemperatur. Dabei werden auch verschiedene Regelungskonzepte verglichen und es wird auf die verbrauchsgebundenen Kosten eingegangen. Die wichtigsten in [Sager, 1998] gewonnenen Erkenntnissen sind:

- Vorteile der Massenstromregelung gegenüber der Temperaturregelung werden aufgezeigt.
- Serienschaltungen von Absorptionskältemaschine und Wärmeaustauscher für Raumheizung und Brauchwasserbereitstellung werden hinsichtlich der gestaffelten Auskühlung bei den Wärmeübergabestationen empfohlen.
- Ab einem Verhältnis von installierter Absorptionskälteleistung zur Sommergrundlast von ca. 0,1 - 0,15 erhöht sich die sich ergebende Rücklauftemperatur zu sehr und das Fernwärmenetz alleine kann gegebenenfalls die Motorkühlung nicht mehr gewährleisten.

Spezifische Fragestellungen sind in weiteren Studien analysiert worden. In [Kim, 2008] werden analytische Modelle von AKM präsentiert, die in Kopplung mit einem Fernwärmenetzmodell verwendet werden können. Aspekte der thermodynamischen Modellierung von Fernwärmenetzen sind in Arbeiten wie [Gabrielaitiene, 2007] dargestellt. Der Einfluss verschiedener Einbindungsvarianten von AKM in Fernwärmenetzen wird in [Gebremedhin, 2004] untersucht, und in [Mostofizadeh, 2003] wird die Performance von AKM unter den in Fernwärmenetzen herrschenden Antriebsbedingungen auf Basis von Messungen evaluiert. [Haider, 2005] sowie [Castells, 2000] haben sich speziell auf Kraftwärme-Kältekopplungsanlagen und deren Wirtschaftlichkeit konzentriert; auf diese kombinierte Systeme (Konfiguration C aus Tabelle 3) wird hier aber nicht näher eingegangen, weil das nicht das Thema des vorliegenden Projektes ist. Tabelle 4 gibt einen Überblick über die verschiedenen Arbeiten.

Tabelle 4: Überblick über Vorarbeiten

Thema	Quellenverweis
Auswirkung von AKM auf Fernwärmenetze	[Sager, 1998]
Thermodynamische analytische Modellierung von AKM	[Kim, 2008]
Thermodynamische Modellierung von Fernwärmenetzen	[Gabrielaitiene, 2007]
Untersuchung der Auswirkung verschiedener Einbindungsvarianten von AKM	[Gebremedhin, 2004]
Auslegung und Wirtschaftlichkeit von Kraftwärme-Kältekopplungsanlagen	[Castells, 2000] [Haider, 2005]

Obwohl einige Anlagen schon realisiert sind, fehlen öffentlich verfügbare Berichte, in denen reales Betriebsverhalten aufgrund einer detaillierten Anlagenüberwachung (Monitoring) präsentiert wird. In Österreich sind drei Anlagen gut dokumentiert (Fussach, Güssing, Hartberg); über andere bekannte Anlagen sind sehr wenige Informationen zu finden. EU-weit gibt es eine große Anzahl an realisierten Anlagen, die in dieser Arbeit nur auszugsweise erhoben worden sind. Tabelle 5 stellt daher keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Tabelle 5: Überblick über realisierte Anlagen (ohne Anspruch auf Vollständigkeit)

Name (Land)	Baujahr	Technologie und Kälteleistung	Nutzung der Kälte	Quellenverweis
Berlin (D)	1996	AKM SE/DL 400 kW	TU Berlin	[Schweigler, 1996]
München (D)	1996	Adsorption in Kombination mit Fernwärme 22 kW _{lat} , 8 kW _{sens}	Raumkühlung eines Jazzclubs	[Hauer, 2002]
München (D)	1999	AKM SE/DL 2,5 MW	Flughafen	[Schweigler, 1999]
Kopenhagen (DK)	1999	AKM 1,2 MW	Fernkältenetz	[Foged, 2001]
Hartberg (A)	2000	DEC in Kombination mit Solarenergie 30 kW	Raumkühlung eines Bürogebäudes	[Podesser, 2000]
Fussach (A)	2002	AKM 2,4 MW	Industrieprozess	[Hammerschmid, 2008]
Güssing (A)	2003	AKM 3 x 70 kW	Raumkühlung eines Bürogebäudes	[Geyer, 2004]
Ulm (D)	2004	AKM 5 MW	Fernkältenetz (Uni)	[Kroh, 2004]
Barcelona Districlima (E)	2004	AKM 17 MW	Fernkältenetz	[Constantinescu, 2006 (B)]
Göteborg (S)	2006	AKM 6 kW	Raumkühlung	[Zinko, 2006]
Wien TownTown (A)	2007	AKM 2 x 2.2 MW	Fernkältenetz	[Penthor, 2008]
Ostfildern (D)	2008	AKM 105 kW	Raumkühlung eines Bürogebäudes	[Eicker, 2008]

III. Fokus und Schwerpunkte der Arbeit

Die Arbeit konzentriert sich auf die Einbindung von dezentralen Absorptionskältemaschinen im kleinen Leistungsbereich (kleiner rund 20 kW) in Nahwärmenetzen (Konfiguration A in Tabelle 3) aus den folgenden Gründen:

- Durch die hohe Anzahl von Biomasse-Nahwärmenetzen mit KWK-Anlagen in Österreich und aus dem Grund, dass viele dieser Netze in den letzten zehn Jahren gebaut worden sind und ähnlich ausgelegt sind, lassen sich aus dieser Forschungsarbeit repräsentative Aussagen ableiten. Obwohl bei größeren Fernkältenetzen ähnliche Tendenzen festzustellen sind, gibt es größere Variationen der Auslegungs- und Betriebsparameter (Temperatur, Druck, Regelung) zwischen den einzelnen Netzen.

- Die Absorptionskältetechnologie ist auch im Bereich der solaren Kühlung am meistens vertreten [Sparber, 2007]. Adsorptionskältemaschinen im kleinen Leistungsbereich sind in den letzten Jahren entwickelt worden und würden sich für den Einsatz in Fernwärmenetzen eignen, es sind aber erst wenige Anlagen installiert. Auch die Nutzung der DEC Technologie würde sich eignen, wie es die Erfahrungen aus [Podesser, 2000] und [Hauer, 2002] zeigen. Der Modellierungsaufwand geht aber über den Rahmen des hier realisierten Projektes hinaus.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde eine allgemeine Vorgehensweise entwickelt (Abbildung 1), die in weiteren Projekten, vor allem in Machbarkeitsstudien, genutzt werden kann. Diese Methode kann sowohl bei anderen Kühltechnologien (DEC Technologie) als auch bei anderen Gemeinden und Netzen angewendet werden.

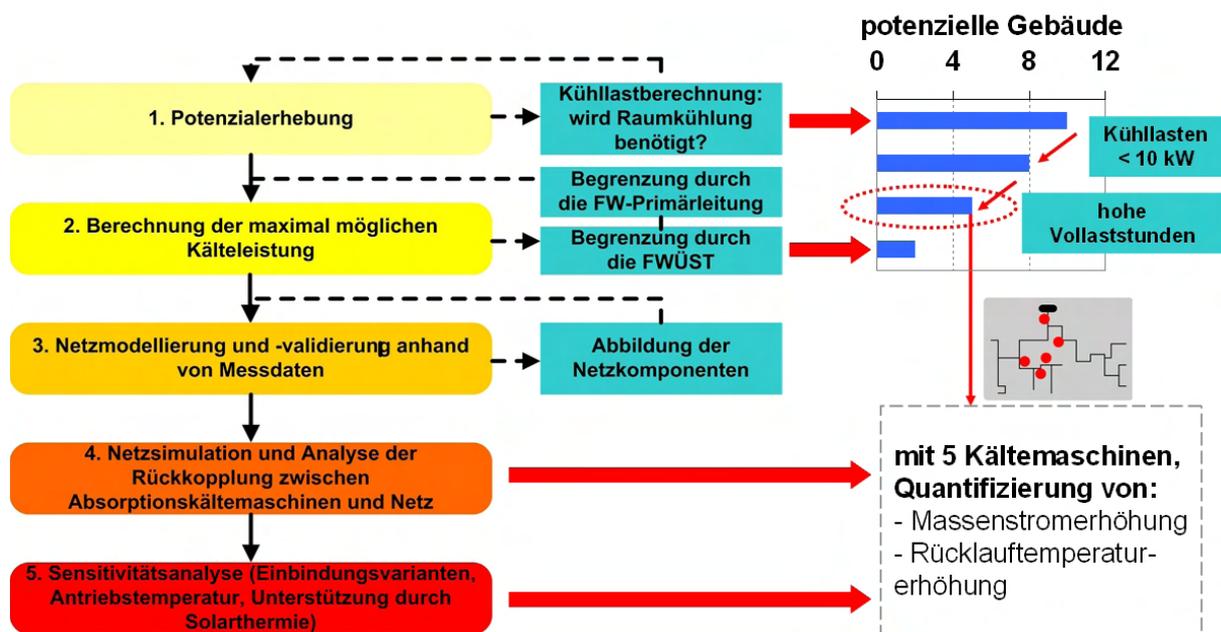


Abbildung 1: Allgemeine Vorgehensweise

1. Potenzialerhebung: Aus ihrer Tätigkeit als Fernwärmegesellschaft eines kleinen Versorgungsgebietes kennt die Nahwärme Mureck Ges.m.b.H. ihre Kunden sehr gut, insbesondere den potenziellen Kühlbedarf. Bei den ausgewählten Objekten sind nachträglich Befragungen mit Gebäudeinhabern und Mietern durchgeführt worden, um den prognostizierten Kühlbedarf zu bestätigen.

2. Berechnung der maximal möglichen Kälteleistungen: Aus der Wärmeabnehmerliste werden die Abnehmer entfernt, deren Wärmeübergabestationen niedrige Nennleistungen aufweisen (z. B. Einfamilienhäuser): bei zu kleinen Anschlussleistungen sind nur kleine Kälteleistungen erreichbar und in diesen Fällen könnte nur ein kleiner Teil des Kühlbedarfs abgedeckt werden und die technische Lösung wäre unwirtschaftlich.

3. Modellierung und Validierung: Es ist ein wesentliches Ziel der Arbeit, ein thermodynamisches Netzmodell zu gestalten, das als Grundlage für die Durchführung solcher Machbarkeitsstudien genutzt werden kann. Das Netzmodell kann zur Berücksichtigung weiterer Technologien oder Komponenten erweitert werden.

Das Modell des bestehenden Netzes wird mit den Messdaten einer Betriebsperiode abgestimmt, bevor die Modelle der Absorptionskältemaschinen eingebunden werden. Die Methodik ist die folgende:

- In einer ersten Phase werden an verschiedenen Punkten des Netzes die Vorlauftemperaturen zwischen Simulation und Messung verglichen. An den vom Heizwerk entferntesten Netzpunkten sollen die Simulationsergebnisse mit den Messdaten übereinstimmen.
- In einer zweiten Phase werden die simulierten und gemessenen Rücklauftemperaturwerte am Heizwerk untereinander verglichen.

Wenn die zwei Phasen der Validierung stattgefunden haben, ist das Modell für die weiteren Simulationen anwendbar, und die Modelle der Absorptionskältemaschinen werden eingebunden.

4. Analyse der Rückkopplung zwischen AKM und Netz: Es können zwar theoretisch AKM überall im Netz eingesetzt werden, allerdings ist die Vorlauftemperatur für die Wirtschaftlichkeit entscheidend. Niedrige Antriebstemperaturen ermöglichen nur einen Teillastbetrieb der AKM und damit sind die nutzbaren Netzbereiche für die Positionierung der AKM limitiert, falls ausschließlich ein Nahwärmeantrieb gewünscht ist. Das Verhältnis von Absorptionskälteleistung zur Sommergrundlast spielt eine wichtige Rolle, weil dies die Höhe der Rücklauftemperatur bestimmt, die auch von der hydraulischen Verschaltung der AKM und der verschiedenen anderen Wärmeabnehmer abhängig ist. Die Bedingungen für eine optimale Einbindung von AKM werden hier erläutert. Die Netzsimulation wird auch der statischen Berechnung (unter der Annahme einer stationären Situation) gegenübergestellt, um die Vorteile einer Netzsimulation aufzeigen zu können.

5. Sensitivitätsanalyse: Es werden Sensitivitätsanalysen über verschiedene Parametervariationen durchgeführt. Die Effekte verschiedener Einbindungsvarianten (Vorlauf-Rücklauf und Vorlauf-Vorlauf), einer Vorlauftemperaturerhöhung sowie einer Unterstützung über Solarthermie werden über Netzsimulationen evaluiert.

IV. Einpassung in die Programmlinie Energiesysteme der Zukunft

Über die Programmlinie wird eine „gesicherte und effiziente Energieversorgung zur Bereitstellung von lebensnotwendigen und komforterhöhenden Dienstleistungen und Produkten“ gewährleistet und somit werden Energiesysteme „in Richtung Nachhaltigkeit“ gestaltet (siehe Beschreibung der Programmlinie „Energiesysteme der Zukunft“).

Die Nutzung von Nahwärme zum Antrieb von Absorptionskältemaschinen kann unter bestimmten Bedingungen, die in der hier präsentierten Arbeit erläutert werden, als nachhaltiges Energieversorgungskonzept angesehen werden, in dem die in der Programmlinie definierten Eigenschaften zukünftiger Energiesysteme erfüllt werden (siehe Tabelle 6).

Tabelle 6: Eigenschaften zukünftiger Energiesysteme und Situation der Absorptionskälte mit Nahwärmeantrieb

Eigenschaften zukünftiger Energiesysteme	Situation der Absorptionskälte mit Nahwärmeantrieb
Dienst- bzw. Serviceleistungen (z. B. behagliches Raumklima, mechanische Energie) werden intelligent, effizient, kostengünstig und zuverlässig zur Verfügung gestellt.	Die Absorptionskälte mit Nahwärmeantrieb bietet eine alternative Möglichkeit zur Bereitstellung von Kühlenergie. Dadurch, dass die eingesetzten Kältemaschinen Auswirkungen auf die Nahwärmenetze haben, ist es aus Netzbetreibersicht sinnvoll, die Kälte als zusätzliche Dienstleistung im Rahmen eines Energie-Contracting anzubieten. Im kleinen Leistungsbereich ist die Wirtschaftlichkeit einer solchen Einbindung nicht in allen Fällen gegeben, daher ist eine „kostengünstige Dienstleistung“ nicht unbedingt garantiert.
Das Zusammenspiel der Bereitstellung und Nutzung unterschiedlicher Energieträger wird optimiert.	Die Abwärme aus den bestehenden KWK-Anlagen (Biogasmotor) kann zum Antrieb von Absorptionskältemaschinen genutzt werden. Die Kombination zwischen Nahwärme und thermischer Kühlung kann einen Beitrag zur Nutzung der regionalen Ressourcen – Biomasse – für die Deckung eines bestehenden Bedarfs – die Klimatisierung – leisten. Die technisch mögliche Vermeidung von herkömmlichen elektrisch angetriebenen Kältemaschinen und Splitklimaggeräten führt zu einer Reduzierung des Strombedarfs. Elektrischer Strom kann dann in Anwendungen genutzt werden, wo es keine alternative Antriebsmöglichkeit gibt.
Erneuerbare Energieträger – vorzugsweise regional verfügbar – werden zu einem möglichst hohen Anteil genutzt.	Die zu 100% aus erneuerbaren Energieträgern (Biogas) gewonnene Wärmeenergie kann zum Antrieb von Absorptionskältemaschinen zur Kühlung genutzt werden.
Hochwertige Arbeitsplätze werden geschaffen, ein hoher Anteil an Wertschöpfung bleibt in der Region.	Durch den Antrieb von Absorptionskältemaschinen mit Nahwärme kann sich das Leistungsportfolio des Nahwärmenetzbetreibers erhöhen sowie dessen Absatz. Es können Arbeitsplätze in einem neuen Tätigkeitsbereich geschaffen werden.
Die eingesetzten Technologien und Lösungen erfahren hohe Akzeptanz und tragen zu einem Bewusstsein für ökoeffizientes Wirtschaften bei.	Die Akzeptanz der Technologie kann noch nicht evaluiert werden, weil derzeit erst wenige Anlagen betrieben werden.
Treibhausrelevante Emissionen sowie sonstige negative Umweltauswirkungen werden auf ein ökologisch und sozial verträgliches Mindestmaß reduziert.	In [Krawinkler, 2007] werden deutlich niedrigere primäre Ressourcenfaktoren (i. e. Primärenergiefaktor für die nicht erneuerbare Energie) für die Absorptionskälte mit Fernwärmeantrieb in Wien (ca. 0,17) als für eine konventionelle Kühlung mit Kompressionskältemaschinen (ca. 0,84) angegeben. Die Technologieevaluierung aus ökologischer Sicht am Fallbeispiel Mureck wird in der hier präsentierten Arbeit durchgeführt.
Sie zeichnen sich durch eine Vielfalt an Lösungen, hohe Anpassungsfähigkeit und gute regionale Einbindung aus.	Kühlen mit Nahwärme kann in den unterschiedlichsten Formen umgesetzt werden. Die verschiedenen thermisch angetriebenen Kühlverfahren können je nach Rahmenbedingungen (Antriebstemperatur, Nutzung...) in verschiedenen Varianten ausgeführt werden (Einbindungsvarianten, Kombinationen mit anderen Wärmeabnehmern...). Dadurch wird ein sehr hoher Adaptierungsgrad erreicht.

V. Aufbau des Endberichts

Der Bericht folgt der Grundstruktur von Abbildung 1. In den Phasen 1 und 2 wird keine Forschungsarbeit geleistet, da es sich um reine Potenzialerhebungen handelt.

Um zu einer Machbarkeitsstudie zu kommen, werden zusätzliche Arbeitsschritte eingeführt, die im Wesentlichen die Wirtschaftlichkeitsanalyse umfassen. Die entsprechende Analyse wird im Teil 8 durchgeführt. Um die alternative Technologielösung dem Stand der Technik gegenüberzustellen, wird im Teil 7 der Stromverbrauch zur Raumkühlung eines bestehenden Gebäudes gemessen und ausgewertet.

Ziele des Projektes und Erreichungsgrad

Im Wesentlichen werden durch das vorliegende Projekt Antworten zu den folgenden Fragen erarbeitet:

Wo im Nahwärmenetz und mit welcher Leistung können Absorptionskältemaschinen eingesetzt werden?

Erreichungsgrad:

- Diese Frage lässt sich am Fallbeispiel Mureck anhand einer Netzsimulation beantworten. Darüber hinaus werden allgemeine Prinzipien und Kennzahlen erarbeitet.

Wie wirken sich Absorptionskältemaschinen auf das Netz aus?

Erreichungsgrad:

- Diese Frage lässt sich am Fallbeispiel Mureck anhand einer Netzsimulation mit Sensitivitätsanalysen beantworten. Darüber hinaus werden allgemeine Prinzipien und Kennzahlen erarbeitet.

Wann ist die Einbindung von Absorptionskältemaschinen wirtschaftlicher und ökologischer als die Nutzung von konventionellen Kältemaschinen und Raumklimageräten?

Erreichungsgrad:

- Die Bedingungen, mit denen die Einbindung von Absorptionskältemaschinen in Nahwärmenetzen ökologischer (primärenergetisch gesehen) als die Nutzung von konventionellen Kältemaschinen ist, werden erarbeitet und dokumentiert.

- Die Wirtschaftlichkeit der Einbindung von Absorptionskältemaschinen im kleinen Leistungsbereich ist unter den gültigen technischen und ökonomischen Rahmenbedingungen an dem Murecker Nahwärmenetz nicht gegeben.

Inhalte und Ergebnisse des Projektes

1. Methode

1.1. Vorgangsweise, Stand der Technik und Innovationsgehalt des Projektes

Um das Energiesystem Nahwärmenetz inklusive Energieaufbringung, -verteilung und -nutzung in seiner Gesamtheit zu betrachten und alle technischen Optimierungsmöglichkeiten auszuschöpfen, wurde der durch Abbildung 1 beschriebene systematische Ansatz verfolgt.

1.2. Verwendete Daten

Die Modellierung des bestehenden Nahwärmenetzes basiert auf einer detaillierten Datenerhebung zu allen Komponenten. Da die Planung und der Ausbau des Netzes in sukzessiven Stufen erfolgt, gibt es keine vollständige Übersichtsdokumentation, in der alle Komponenten aufgeführt sind. Für die verschiedenen Komponenten werden daher unterschiedliche Quellen verwendet:

1.2.1. Wärmeeinspeisung

Die Anlagenkomponenten des Heizwerks werden auf Basis einer Direkterhebung vor Ort und Teilplänen der Anlage beschrieben. Das gesamte Schema der Anlage ist in Anhang B beigelegt. Der dargestellte Spitzenlastkessel wurde Anfang 2007 während der Projektlaufzeit von der Nahwärme Mureck Ges.m.b.H. installiert. Im Sinne des Projektes hat der Spitzenlastkessel aber keine besondere Bedeutung, nachdem er nur während der winterlichen Heizperiode in Betrieb genommen wird und nicht im Sommer.

1.2.2. Wärmeabnehmer und Fernwärmeübergabestationen

Die Liste aller Wärmeabnehmer steht in *.xls-Form zur Verfügung. Für jeden Abnehmer sind die Daten aus Tabelle 7 gegeben.

Tabelle 7: Beschreibung der vorhandenen Daten

Daten	Beschreibung
Anschlussnummer (PC-Nummer)	Kennnummer zur anonymen Bezeichnung der Objekte
Objektbezeichnung	Gebäudetyp und Hauptnutzung
Vorname, Nachname und Adresse des Objektes	
Nennleistung der Wärmeübergabestation	
Reglertyp	Beschreibung des Fabrikats
Verrechnungsanschlusswert (VAW)	Anschlusswert für die Verrechnung (kleiner als die Nennleistung)
Warmwasserabnahme im Sommer (Ja/Nein)	Hinweis, ob das Gebäude im Sommer zu den Wärmeabnehmern zählt

Alle Fernwärmeübergabestationen sind nach demselben Prinzip gebaut und weisen die gleichen Schaltungen auf der Primärseite auf. Im Anhang C ist als Beispiel ein solches Schema beigelegt. Für die untersuchten Gebäude werden die Fernwärmeübergabestationen

genau nachgebildet und die Schaltungen werden in das allgemeine Schema (siehe Anhang B) eingebunden. Im Anhang E sind die Schemata der Heizräume und die Lagepläne vier ausgesuchter Objekte beigelegt.

1.2.3. Fernwärmeleitungen und Netzplan

Der gesamte Netzplan steht im Dateiformat *.dwg zur Verfügung. Ein Überblick ist dem Anhang A zu entnehmen. Jeder Nahwärmeleitung wird durch folgende Daten charakterisiert:

- Rohrdurchmesser (DN)
- Rohrlänge und –verlegetiefe

Die Wärmeabnehmer können mit den entsprechenden Anschlussnummern identifiziert werden. Die Rohrdaten werden direkt vom Hersteller zur Verfügung gestellt.

1.3. Verwendete Werkzeuge

1.3.1. Kühllastberechnungen nach VDI 2078

Die Kühllastberechnungen werden für jedes Gebäude aus der Potenzialerhebung laut [VDI 2078, 1996] durchgeführt. Es war ursprünglich geplant, zusätzlich thermische dynamische Gebäudesimulationen bei den Gebäuden durchzuführen, wo eine konkrete Umsetzung in Frage gekommen wäre, um die zu erwartende Performance der Anlage quantifizieren zu können. Aufgrund der Tatsache, dass mehr Aufwand bei den Netzsimulationen notwendig war und die statische Berechnung für die erste Wirtschaftlichkeitsanalyse ausreichend war, wurde entschieden, die thermisch dynamische Gebäudesimulation nicht durchzuführen.

1.3.2. Modellierung in der Simulationsumgebung DYMOLA

Die Studie basiert auf einem neu entwickelten hydraulisch-dynamischen Modell eines Nahwärmenetzes in der Simulationsumgebung DYMOLA [Dymola]. In der DYMOLA-Umgebung erfolgt die Modellbeschreibung über Gleichungssysteme, die in einer objekt-orientierten Programmiersprache (Modelica) geschrieben werden. Daher hat Modelica den Vorteil, eine flexible, auf Gleichungssystemen basierende Modellbeschreibung anzubieten, die sich daher sehr gut für die Modellierung von zusätzlichen Komponenten (z. B. spezielle Abnehmer wie Speicher) in einer Modellbibliothek eignet.

Um den Einfluss von Absorptionskältemaschinen auf das Netz quantifizieren zu können und insbesondere Vorhersagen über die Rücklauftemperatur formulieren zu können, wird ein physikalisches Modell aufgebaut, das die Energiebilanzgleichung und Massenbilanzgleichung für jedes Rohr formuliert.

Eine detaillierte Beschreibung der Regelungstechnik (Differenzdruck- und Rücklauftemperaturregelung) findet nicht statt, weil dies die Modellkomplexität zu sehr erhöhen würde: zur Beantwortung der Fragestellungen ist die Vorgabe des Massenstroms ausreichend; die Art und Weise, wie sich dieser Massenstrom technisch einstellen lässt, spielt in der Modellierung keine Rolle.

1.3.3. Monitoring

Um die vorgeschlagene Technologielösung einer Referenzvariante gegenüberzustellen, in der die Kühlung konventionell erfolgt, wird der Stromverbrauch zum Antrieb von Splitklimategeräten in einem bestehenden Bürogebäude gemessen, an dem die Einbindung einer Absorptionskältemaschine untersucht wird. Dabei sollen die Größen aus Tabelle 8 gemessen werden.

Tabelle 8: Beschreibung der notwendigen Messgrößen zur Durchführung eines Technologievergleichs

Größen	Beschreibung
Stromverbrauch der bestehenden Raumklimageräte	Der Stromverbrauch der bestehenden Klimageräte (Split und Multi-Split Klimageräte) wird über ein Jahr gemessen, um einen Vergleich zwischen Energieverbrauch und –kosten zwischen der bestehenden Anlage und AKM durchzuführen.
Bereitgestellte Kühlenergie (nicht gemessen)	Um einen ausführlichen Vergleich zwischen bestehender Anlage und AKM zu ermöglichen, soll nicht nur der Stromverbrauch gemessen werden, sondern auch die entsprechende erzeugte Kühlenergiemenge. Dafür soll für jedes der 5 Raumklimageräte die vom Kältemittelkreislauf im Verdampfer aufgenommene Energie gemessen werden. Zu diesem Zweck sollen für jeden Verdampfer (Inneneinheit des Raumklimageräts) der Massenstrom sowie der Druck und die Temperatur im Kältemittelkreislauf vor und nach der Verdampfung gemessen werden. Dies ist wegen einer aufwändigen Messtechnikausrüstung im vorgesehenen Budgetrahmen nicht ermöglicht worden.
Innenraumtemperatur und relative Feuchtigkeit in verschiedenen Räumen	Aufgrund dieser Messung werden die Innenraumzustände analysiert und dem realen Stromverbrauch gegenübergestellt.

Aufgrund der in Tabelle 8 beschriebenen Gründen konnte die bereitgestellte Kühlenergiemenge nicht gemessen werden. Um trotz dieses Mangels zu nutzbaren Ergebnissen zu kommen, wurden typische Jahresarbeitszahlen angenommen.

2. Zustanderfassung und Netzcharakterisierung

2.1. Einleitung: Mureck als multifunktionales Energiezentrum

Das ländliche Gebiet um die Klimabündnisgemeinde Mureck in der Südsteiermark kann als multifunktionales Energiezentrum bezeichnet werden:

In Mureck werden sehr unterschiedliche regionale Ressourcen (Hackgut, Raps, Altspeiseöl, Gülle, Mais) zur Energieerzeugung bereitgestellt. Für die Verwertung dieser Energieträger kommt eine Kombination aus verschiedenen Technologien zur Strom-, Wärme- und in Zukunft Kältebereitstellung und zur Biodieselerzeugung zum Einsatz. Somit ist die Bezeichnung als „multifunktionales Energiezentrum“ berechtigt.

- Biodiesel wird aus Raps- und Altspeiseöl erzeugt, das für den Betrieb von Verkehrsmitteln in der Region verwendet wird. Etwa 600 Landwirte aus der Region sorgen für die Rohstoffeinspeisung. Es werden ca. 6,5 Mio Liter Biodiesel pro Jahr erzeugt. Ein Blockheizkraftwerk, das mit einer Leistung von 140 kW_{el} Strom aus dem bereitgestellten Biodiesel erzeugt, dient als Notstromversorgung für die Energieversorgungsbetriebe.

- Ein Biomasseheizwerk speist in ein Nahwärmenetz mit 6 MW_{th} Abnahmeleistung, und deckt ca. 80% des Gesamtwärmebedarfs in Mureck. Als Brennstoff wird Hackgut verwendet, das von den Bauern und Sägewerksbetrieben der Region geliefert wird.

- Zusätzlich deckt ein mit Biogas angetriebenes Blockheizkraftwerk (1 MW_{el}, 1.165 kW_{th}) einen Teil des Strombedarfes. Als Rohstoff werden nachwachsende Rohstoffe (Mais, Grünschnitt) und Gülle aus der regionalen Landwirtschaft sowie Nebenprodukte der Biodieselerzeugung (Glyzerinphase) verwendet. Der erzeugte Strom wird in das öffentliche Netz eingespeist.

Das angestrebte Ziel der Gemeinde Mureck ist eine hundertprozentige Energieversorgung mit Kraftstoff, Strom und Wärme aus regionalen erneuerbaren Ressourcen.

2.2. Netzcharakterisierung

Tabelle 9: Netzcharakterisierung

Region	verstreutes ländliches Gebiet, gemischte Nutzung (Wohngebiet, Landwirtschaft, kleine Industrie- und Dienstleistungsgebiete), lokale Biomasseressourcen, bestehendes Nahwärmenetz für ein schon gebautes Gebiet
Netztyp	kleines auf Biomasse basierendes Nahwärmenetz
Trassenlänge	ca. 12 km
Sommerliche Wärmeinspeisung	Biogas-Blockheizkraftwerk mit 1 MW _{el} / 1,2 MW _{th}
Thermische sommerliche Abnahmeleistung	ca. 250 kW _{th} (gesamt: ca. 7630 kW _{th})
Abnahme	fast ausschließlich zur Warmwasserbereitung
Gesamte Netzbelegung	0,64 kW _{th} /m _{Trassenlänge}
Sommerliche Netzbelegung	0,02 kW _{th} /m _{Trassenlänge} (bezogen auf die gesamte Trassenlänge)

Das Nahwärmenetz in Mureck in der Südsteiermark ist charakteristisch für kleine, auf Biomasse basierende Nahwärmenetze in österreichischen ländlichen Gebieten. Ein mit Hackgut befeuertes Biomasseheizwerk speist in ein Nahwärmenetz mit 6 MW_{th} Abnahmeleistung ein und deckt damit ca. 80% des lokalen Gesamtwärmebedarfs. Aufgrund des im Jahr 2005 in Betrieb genommenen und mit Biogas angetriebenen Motors wird Wärme

auch in den Sommermonaten zur Verfügung gestellt. Im Winter wird sowohl die Abgaswärme als auch die Motorwärme (d. h. die aus der Kühlung des Motors gewonnene Wärmeenergie) ins Nahwärmenetz eingespeist. Im Sommer wird ausschließlich die Motorwärme genutzt, weil der Wärmebedarf der an das Nahwärmenetz angeschlossenen Objekte sehr gering ist.

Die wesentlichen charakteristischen Merkmale der Region und des Nahwärmenetzes sind in Tabelle 9 zusammengefasst.

Derzeit wird die Wärme im Sommer fast ausschließlich zur Warmwasserbereitstellung und als Prozesswärme in einigen Betrieben eingesetzt. Durch die geringe Abnahmeleistung (ca. 250 kW_{th}) kann der größte Anteil der aufbereiteten Wärme nicht genutzt werden. Dies zeichnet sich durch eine sehr niedrige sommerliche Netzbelegung aus (0,02 kW_{th}/m_{Trassenlänge}). Zur Einsparung von Pumpenstrom durch Absperrung von im Sommer unbenutzten Netzbereichen wird in den Lieferverträgen angegeben, ob die Kunden Wärmebezug zur Warmwasserbereitstellung im Sommer beanspruchen oder nicht.

Der Sommerbetrieb zeichnet sich daher durch einen sehr niedrigen Massenstrom (ca. 5 kg/s) und einen entsprechend niedrigen Druckverlust (ca. 1 bar) aus. Daher wird nur ein Teil der Motorabwärme in das Nahwärmenetz eingespeist und genutzt.

2.3. Wärmeabnehmerstruktur

Die Liste aller Wärmeabnehmer wird aus Datenschutzgründen nicht beigelegt. Für die Potenzialerhebung hinsichtlich der Anschlussmöglichkeiten von AKM sind die Nennleistung der bestehenden Fernwärmeübergabestationen sowie die entsprechenden Gebäudenutzungen von großer Wichtigkeit. Die bestehende Nennleistung bestimmt nämlich die technische Grenze des Einsatzes von AKM: an zu kleinen Fernwärmeübergabestationen können die derzeit am Markt kleinsten verfügbaren AKM nur im Teillast betrieben werden. Auf der anderen Seite bestimmt die Gebäudenutzung, ob ein Kühlbedarf vorhanden ist.

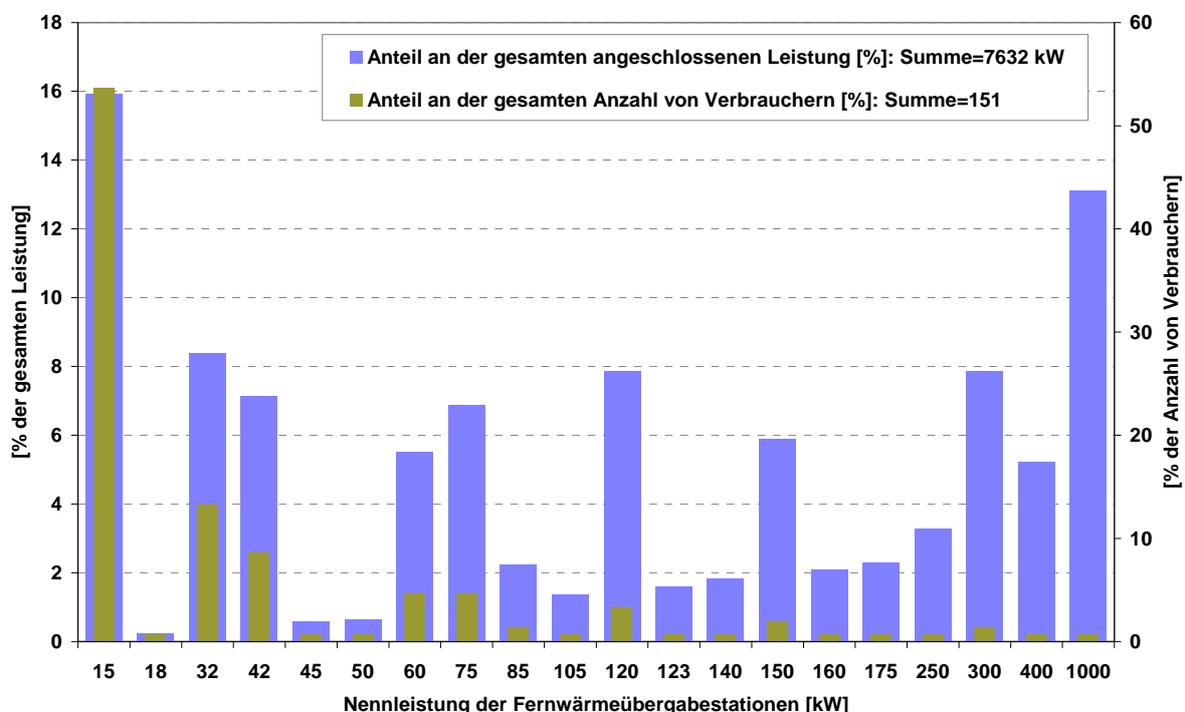


Abbildung 2: Verteilung der Wärmeabnehmer nach Nennleistung der Fernwärmeübergabestation

Derzeit (Stand 2006) beträgt die gesamte angeschlossene Leistung 7.632 kW und es sind 151 Verbraucher angeschlossen. In Abbildung 2 ist die Verteilung der Wärmeabnehmer nach Nennleistung dargestellt.

Mehr als 50% aller Verbraucher haben die kleinste Nennleistung (15 kW) und dies entspricht ca. 16% der gesamten angeschlossenen Leistung. Hier handelt es sich hauptsächlich Einfamilienhäuser. Diese Gebäude bieten kein Potenzial für AKM, weil die Nennleistungen der Übergabestationen zu klein und der Kühlbedarf zu niedrig sind.

Die größten Wärmeabnehmer (Nennleistung > 250 kW) machen ca. 30% der gesamten angeschlossenen Leistung aus und bestehen aus 5 Objekten (3% aller Verbraucher). Es sind ausschließlich Schulen. Diese Gebäude bieten an sich kein Potenzial für AKM, weil sie im Sommer nicht betrieben werden und weisen dementsprechend einen niedrigen Kühlenergiebedarf auf.

Der Rest aller Wärmeabnehmer besteht hauptsächlich aus Betrieben und Mehrfamilienhäusern und hat eine variable Verteilung. Potenzial zum Einsatz von AKM gibt es hauptsächlich bei diesen Gebäuden.

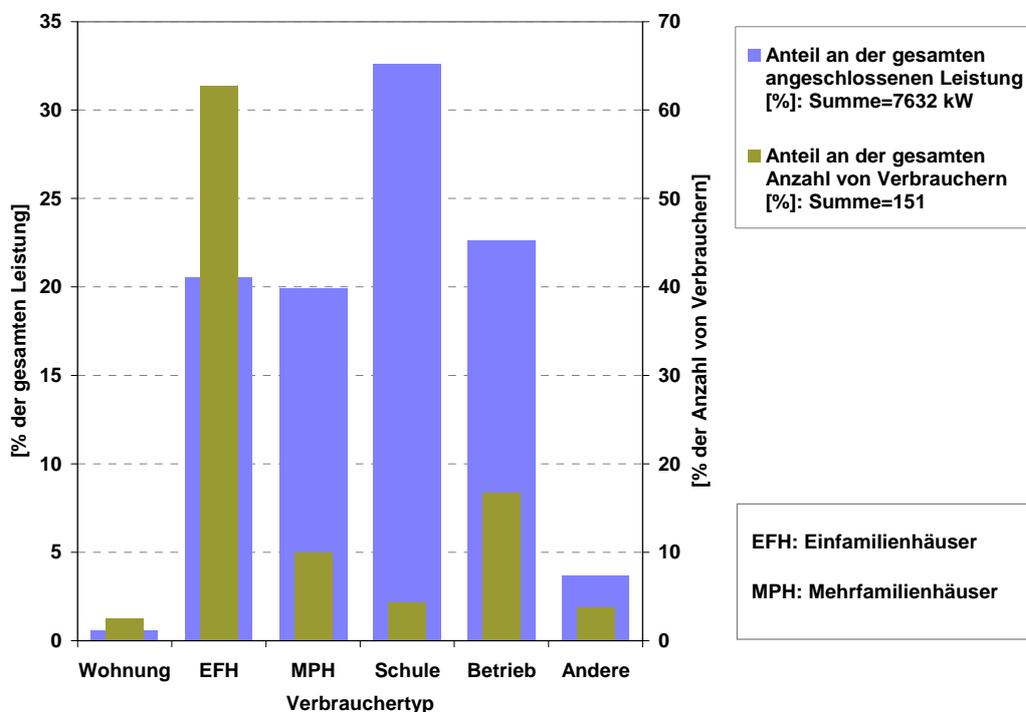


Abbildung 3: Verteilung der Wärmeabnehmer nach Gebäudenutzung

In Abbildung 3 ist die Verteilung der Wärmeabnehmer nach Gebäudenutzung dargestellt. Mehrfamilienhäuser, Betriebe und andere Gebäude machen 30% aller Verbraucher und 46% der gesamten angeschlossenen Leistung aus.

Die Abnahmestruktur ist durch einen hohen Anteil an Einfamilienhäusern (60%) charakterisiert, die aber nur 20% der gesamten angeschlossenen Leistung ausmachen. Die großen Abnehmer wie Schulen und Betriebe mit Anschlusswerten von über 250 kW_{th} machen zwar 30% der gesamten angeschlossenen Leistung aus (siehe Abbildung 1), beziehen zum größten Teil aber im Sommer keine Wärme.

2.4. Gemessene Lastprofile

Es stehen Messdaten über die erste Juliwoche 2006 zur Verfügung. In Abbildung 4 sind Temperaturverläufe und Massenströme bei den Fernwärmeübergabestationen von zwei Einfamilienhäusern gegeben. Die Temperaturwerte werden auf der Primärseite der Übergabestationen gemessen, nämlich zwischen den Wärmeaustauschern und den Ventilen, die die Übergabestationen von den Fernwärmeleitungen trennen. Daher ist in Abbildung 4 die Auskühlung des Heizmediums nach Absperrung der Ventile deutlich zu erkennen. In beiden Fällen stabilisieren sich die Temperaturen in diesen Leitungsabschnitten in einem Bereich zwischen 20°C und 30°C, wobei die Temperaturen auf der Vorlaufseite immer über den Temperaturen auf der Rücklaufseite bleiben.

Beim ersten Einfamilienhaus (Diagramm auf der linken Seite) beträgt die maximale Temperaturspreizung in dieser Woche 43 K und die maximale Leistung 12 kW. Das Lastprofil für dieses Haus ist gut erkennbar: jeden Tag treten Lasten am Vormittag, gegen Mittag und am Nachmittag (oder am Abend) auf.

Beim zweiten Einfamilienhaus (Diagramm auf der rechten Seite) sind ähnliche Profile festzustellen, wobei die Vorlauftemperaturen deutlich unter den Vorlauftemperaturen des anderen Einfamilienhauses liegen und die Ventile zu fixen Uhrzeiten geöffnet werden. Das könnte eine Warmwasserspeicherbeladung zu diesen Uhrzeiten (nämlich dreimal täglich und immer vor einem möglichen Warmwassergebrauch) entsprechen.

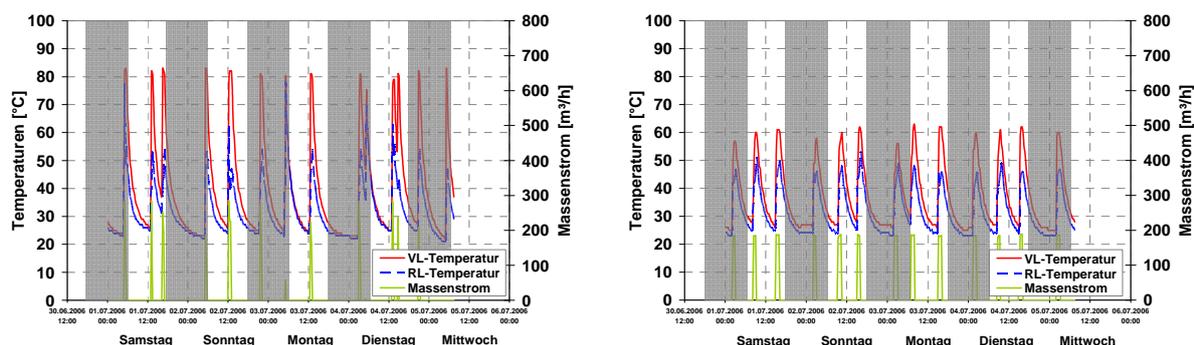


Abbildung 4: gemessene Temperaturen und Massenströme bei der Fernwärmeübergabestation von zwei Einfamilienhäusern

3. Potenzialerhebung

Wie in Kapitel 2 dargestellt besteht das größte Potenzial in der Gebäudekategorie Betriebe. Einfamilienhäuser haben zu kleine Nennleistungen während Schulen im Sommer keinen Kühlbedarf aufweisen. Es ist aber durchaus möglich, dass eine große AKM an eine Übergabestation in einer Schule angeschlossen wird, um dann verschiedene Gebäude der Umgebung mit Kälte zu versorgen (Mikrokältenetz).

3.1. Anschlussbedingungen

Unter allen erwähnten Betrieben (siehe 2) sind die Gebäude gewählt worden, die einen Kühlbedarf aufweisen. Tabelle 10 stellt alle Objekte dar, wo ein Bedarf an Kühlung vorhanden ist. Die Bezeichnung DN Primärleitung (1) ist ein Verweis auf den Durchmesser der Leitungen, an welchen das gegebene Gebäude angeschlossen ist. Die Bezeichnung DN Primärleitung (2) bezieht sich auf den Leitungsabschnitt zwischen Fernwärmeübergabestation und Fernwärmeleitung. Der Rohrdurchmesser bestimmt die maximale mögliche Nennleistung der Wärmeübergabestation.

Die maximale mögliche Kühlleistung \dot{Q}_0 ist von der Fernwärme-Nennleistung $\dot{Q}_{FW,H}$ in der Heizperiode abhängig: wenn berücksichtigt wird, dass die Übergabestation für die Heizperiode ausgelegt wird, und dass der maximale Massenstrom primärseitig in dieser Periode erreicht wird, ergibt sich Eq 1. Hierbei wird der Faktor α_H als Verhältnis zwischen maximaler möglicher Kühlleistung und Fernwärme-Nennleistung definiert. Dieser Faktor wird auch in [Sager, 1998] eingeführt.

$$\alpha_H = \frac{\dot{Q}_{FW,H}}{\dot{Q}_0} = \frac{\Delta T_H}{COP_{AKM} \times \Delta T_C} \quad (\text{Eq 1})$$

\dot{Q}_0	maximale mögliche Kühlleistung bei der Fernwärmeübergabestation
$\dot{Q}_{FW,H}$	Fernwärme-Nennleistung
ΔT_H	Temperaturspreizung bei der Fernwärmeübergabestation in der Heizperiode
ΔT_C	Temperaturspreizung bei der Fernwärmeübergabestation in der Kühlperiode (Betrieb von AKM)
COP_{AKM}	Leistungszahl der AKM

Mit $\Delta T_H = 30K$, $\Delta T_C = 7K$ und $COP_{AKM} = 0,6$ ergibt sich $\alpha_H \cong 8,3$.

Damit kann für jede Fernwärmeübergabestation eine maximale mögliche Kühlleistung errechnet werden. Tabelle 10 zeigt, dass bei einigen Gebäuden nur kleine Kühlleistungswerte technisch möglich sind. Im Objekt „Bank 1“ beträgt zum Beispiel die maximale Kühlleistung 12,6 kW, aber die notwendige Kühlleistung für die zu kühlenden Räume ist größer.

Tabelle 10: Objekte mit Potenzial für Absorptionskühlung

Objekt	PC-Nummer	DN Primärleitung (1)	DN Primärleitung (2)	Nennleistung der Fernwärmeübergabestation [kW]	maximale mögliche Kühlleistung der angeschlossenen AKM [kW]	Kühlbedarf	Relevant für AKM
Bank 1	64	80	25	105	12,6	Raumklimatisierung Büroräume: bestehender Luftgekühlter Wasserkühlsatz, Kälteverteilung über Fan Coils	JA
Bank 2	-	100	32	105	12,6	Raumklimatisierung Büroräume	JA
Wirtshaus	-	80	32	100	12,0	Raumklimatisierung Verkauf + Speisesaal, ev. Kühlräume (bei 2-4°C)	JA
SEEG Büroräume + Tankheizung (Biodiesel)	10	150	32	175	21,0	Raumklimatisierung Büroräume	JA
SEEG Lager (Altspeiseöl)	134	150	65	175	21,0	Prozesskühlung	NEIN
Ausbildungsgebäude	126	80	80	75	9,0	Raumklimatisierung	JA
Schule 1	58	100	65	1.000	120,0	Raumklimatisierung Internat	JA
Rathaus	-	80	40		0,0	Raumklimatisierung Büroräume	NEIN
Schule 2	-	80	40	75	9,0	Raumklimatisierung Schule	NEIN
Wohnheim	31	80	32	140	16,8	Raumklimatisierung; derzeit Heizung mit Ölkessel, aber Fernwärmeanschluss ist möglich	JA

3.2. Schlussfolgerungen

3.2.1. Unzureichende Kälteleistung

Bestimmte Gebäude können alleine mit AKM nicht gekühlt werden, weil die Fernwärmeübergabestationen dafür zu klein ausgelegt sind. Es gibt vier Möglichkeiten, dieser Begrenzung entgegenzuwirken:

- Konventionelle elektrische Kompressionskältemaschinen können eingesetzt werden, um die restlichen Kühllasten abzuführen.

- Neue Leitungen können zwischen Primärleitungen und Fernwärmeübergabestationen verlegt werden, um größere Anschlussleistungen zu ermöglichen.
- Ein Mikrokältenetz kann aufgebaut und eine größere AKM kann an die größte Fernwärmeübergabestation (z. B. „Schule 1“) angeschlossen werden. Damit könnten drei Gebäude des Stadtzentrums versorgt werden („Bank 1“, „Bank 2“ und „Wirtshaus“).
- Eine größere AKM kann eingesetzt werden, und die größere Antriebsleistung kann über ein Back-up System (z. B. Solarthermie) gewährleistet werden.

3.2.2. Ungeeignete Objekte

Nach weiteren Überlegungen ergibt sich, dass einige Objekte von Tabelle 10 aus verschiedenen Gründen für Absorptionskühlung nicht geeignet sind:

- Das Lager der SEEG benötigt Prozesskühlung auf einem relativ hohen Temperaturniveau (ca. 25°C). Derzeit werden Kühltürme dafür direkt eingesetzt und es würde energetisch nicht sinnvoll sein, die entsprechende Wärmemenge über AKM abzuführen. In diesem Fall sollte die Kältemaschine dementsprechend auch rückgekühlt werden, was eine größere Rückkühlmenge im Vergleich mit der bestehenden Lösung bedeuten würde. Die Nutzung des Kühlturms bleibt nach wie vor die energetisch beste Lösung.
- Das Rathaus und die Schule 2 haben derzeit keinen Fernwärmeanschluss und würden zu kleine Anschlussleistungen benötigen, die für den Betrieb von AKM unzureichend sein würden.
- Der Wohnheim hat einen zu niedrigen Kühlbedarf (wenige Tage im Jahr).

3.3. Geeignete Netzbereiche

Das Potenzial für den Einsatz von AKM ist nicht nur von objektabhängigen Parametern bestimmt, sondern auch von Netzaspekten. Vor allem die Netzvorlauftemperatur spielt eine bedeutende Rolle, indem sich mit niedrigen Vorlauftemperaturen die Antriebsleistung und daher die erreichbare Kühlleistung reduziert.

Am Beispiel einer 15 kW AKM zeigt Abbildung 5, wie sich bei einer vorgegebenen Kühlwassereintrittstemperatur von 30°C die Kühlleistung mit der Heizwassereintrittstemperatur reduziert. Mit niedrigen Heizwassereintrittstemperaturen reduziert sich daher die mögliche Anzahl an Volllaststunden der AKM.

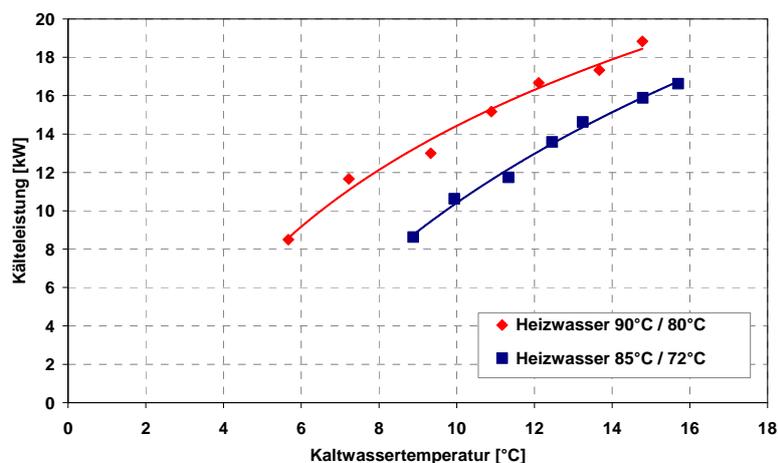


Abbildung 5: Kennfelder für eine 15 kW AKM bei einer Kühlwassereintrittstemperatur von 30°C und verschiedenen Heizwassereintrittstemperaturen

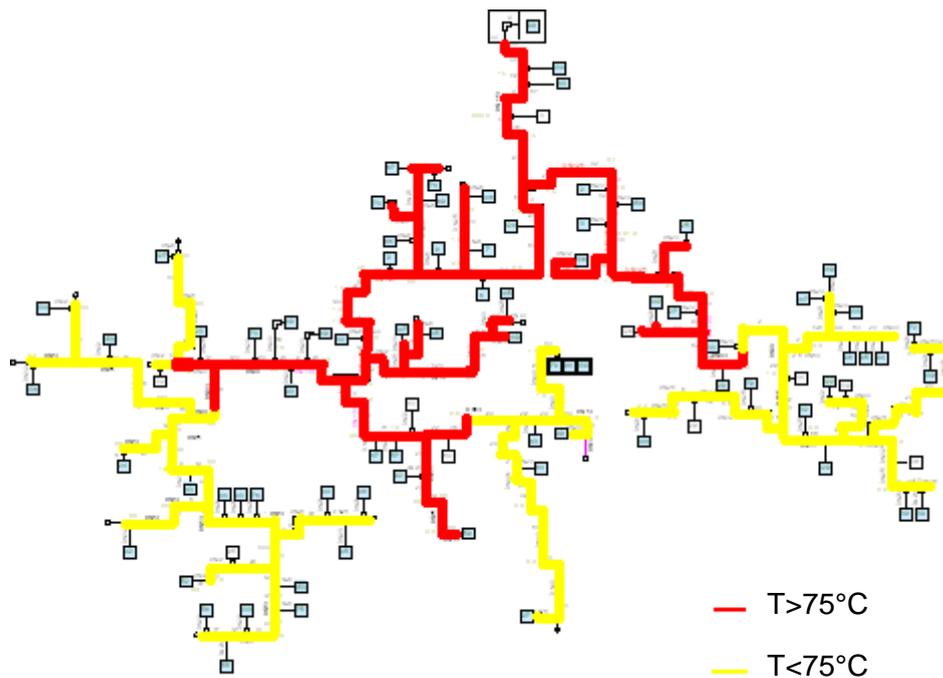


Abbildung 6: Einsatzmöglichkeiten von AKM

Abbildung 6 zeigt die für die AKM nutzbaren Bereiche im Netz bei einer Einspeisetemperatur von ca. 90°C, welche als Antriebstemperatur für den Generator der AKM noch sinnvoll sind (ein Grenzwert von 75°C wird genommen). Diese Bereiche sind rot markiert, während die gelb markierten Bereiche vom Temperaturniveau nicht mehr ausreichen, um entsprechende Kälteleistung zur Verfügung zu stellen. In diesem Bereich ist zwar der COP (Coefficient Of Performance) der AKM entsprechend hoch, der Einsatz von AKM würde aber in diesen Fällen aufgrund der zu niedrigen Antriebstemperatur unwirtschaftlich sein.

Der rot markierte Bereich stellt eine Vorlauftemperatur für die AKM im Bereich von 90°C – 75°C dar. Hierbei stellt sich bei gegebenen Werten für Kalt- und Kühlwassertemperaturen ($T_{\text{Kalt_Aus}} = 14^\circ\text{C}$, $T_{\text{Kühl_Ein}} = 30^\circ\text{C}$) bei einer 15 kW AKM eine nutzbare Kälteleistung bis 18 kW ein. Hingegen liegt im gelb dargestellten Bereich, bei einer Vorlauftemperatur unter 75°C, die nutzbare Kälteleistung nur mehr unter 10 kW. Grundsätzlich sollte bei einstufigen AKM eine Antriebstemperatur von ca. 80°C zur Verfügung stehen, um die AKM nicht zu groß auszulegen zu müssen.

Folgende Objekte sind an dem für den Einsatz von AKM geeigneten Bereich des Fernwärmenetzes angeschlossen:

- Bank 1
- Bank 2
- Wirtshaus
- SEEG Büroräume + Tankheizung (Biodiesel)
- Bürogebäude

Es ergibt sich daraus, dass alle Objekte aus Tabelle 10, die nicht in 3.2.2 ausgeschlossen werden, am geeigneten Bereich des Netzes angeschlossen sind.

Im Fall, dass die für den Einsatz von AKM geeigneten Gebäude zu weit weg von der Wärmeeinspeisung liegen würden, sollte die Machbarkeit eines Back-up Systems zum Antrieb der AKM untersucht werden. Eine Erhöhung der Einspeisungstemperatur ist nämlich nur bedingt realisierbar (siehe Teil 5.6.2).

Wird die Schwerkraft vernachlässigt, kann die Bilanz der Bewegungsgröße für ein Volumenelement von Abbildung 7 in Eq 2 geschrieben werden:

$$\rho \frac{du}{dt} = -\frac{\partial p}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial r} \left(\mu r \frac{\partial u}{\partial r} \right) \quad (\text{Eq 2})$$

Eq 2 wird integriert und ergibt:

$$\frac{dm}{dt} = A_f \frac{\Delta p}{\Delta L} - \pi D_i \tau_w \quad (\text{Eq 3})$$

wobei A_f die Fläche des Strömungsquerschnittes ($\pi D_i^2 / 4$) und τ_w die Reibung sind. Diese ist definiert mit:

$$\tau_w = \frac{f}{8\rho A_f^3} \dot{m}^2 \quad (\text{Eq 4})$$

wobei der Reibungskoeffizient f normal in der Moody-Tabelle vorgegeben ist oder in Abhängigkeit von Re_D definiert ist ($\equiv \rho u_{avg} D_i / \mu$).

Eq 3 kann gelöst werden, um \dot{m} in Abhängigkeit der Randbedingungen an einem Zeitpunkt t zu bestimmen. Allerdings können dynamische Profile für \dot{m} direkt aus dem Netzbetrieb definiert werden (Messdaten). Da diese Profile als Inputdaten für die Simulation genommen werden, muss Eq 3 nicht gelöst werden. Außerdem wird die Lösung von Eq 3 innerhalb einer sehr kurzen Zeit stationär, und die Lösung von Eq 3 ist für die Zeitskala dieser Untersuchung nicht relevant. Deswegen wird der dynamische Teil von Eq 3 vernachlässigt.

Auf der anderen Seite wird die Energiebilanz auf das Volumenelement von Abbildung 7 wie in Eq 5 geschrieben:

$$\rho C_p \Delta V \frac{dT}{dt} = \dot{m} C_p (T_i - T_{i+1}) - \dot{Q}_r \quad (\text{Eq 5})$$

wobei ΔV das Elementvolumen und \dot{Q}_r die Wärmeübergangszahl zwischen Wasser und Rohroberfläche sind. Diese definiert sich mit:

$$\dot{Q}_r = \alpha_w \Delta A_w (T_{i+1} - T_w) \quad (\text{Eq 6})$$

wobei α_w der konvektive Wärmeübergangskoeffizient zwischen Wasser und Stahlrohr, ΔA_w ($\equiv \pi D_i \Delta L$) die Wärmeübergangsfläche und T_w die Oberflächentemperatur auf der Innenseite des Rohres sind.

Der Temperaturmittelwert T_r im Stahlrohr ergibt sich in der Energiebilanz auf das entsprechende Rohrelement, wo die Wärmeleitung mit den angrenzenden Elementen vernachlässigt ist:

$$\left(\Delta M C_p \right)_r \frac{dT_r}{dt} = \dot{Q}_r - \dot{Q}_m \quad (\text{Eq 7})$$

wobei $\left(\Delta M C_p \right)_r$ die thermische Kapazität eines Rohrelementes ist, und die Wärmeübergangszahlen \dot{Q}_r und \dot{Q}_m in Eq 8 und Eq 9 definiert sind:

$$\dot{Q}_r = \frac{2\pi k_r (T_w - T_r)}{\ln(\bar{R}_r / R_i)} \quad (\text{Eq 8})$$

$$\dot{Q}_m = \frac{2\pi k_m (T_r - T_m)}{\ln(\bar{R}_m / \bar{R}_r)} \quad (\text{Eq 9})$$

mit

$$\bar{R}_m = \left[(R_r^2 + R_m^2) / 2 \right]^{0.5}, \bar{R}_r = \left[(R_r^2 + R_i^2) / 2 \right]^{0.5}, k_{rm} = \left[k_r (R_r - \bar{R}_r) + k_m (\bar{R}_m - R_r) \right] / (\bar{R}_m - \bar{R}_r)$$

Wie in Eq 7 ist der Temperaturmittelwert T_m in der Schaumdämmung mit der Energiebilanz auf das entsprechende Dämmelement definiert:

$$(\Delta MC_p)_m \frac{dT_m}{dt} = \dot{Q}_m - \dot{Q}_s \quad (\text{Eq 10})$$

wobei $(\Delta MC_p)_r$ die thermische Kapazität der Schaumdämmung ist, und die Wärmeübergangszahl \dot{Q}_s zum Erdreich in Eq 11 gegeben ist:

$$\dot{Q}_s = \frac{2\pi k_m (T_m - T_s)}{\ln(R_m / \bar{R}_m)} \quad (\text{Eq 11})$$

wobei T_s die Oberflächentemperatur auf der Außenseite der Schaumdämmung ist.

Wird der Wärmeübergangswiderstand zwischen Erdreich und Schaumdämmung berücksichtigt, kann \dot{Q}_s auch wie in Eq 12 geschrieben werden:

$$\dot{Q}_s = \alpha_s \Delta A_s (T_s - T_g) \quad (\text{Eq 12})$$

wobei α_s der konvektive Wärmeübergangskoeffizient zwischen Schaumdämmungsoberfläche und Erdreich, ΔA_s ($\equiv 2\pi R_m \Delta L$) die Wärmeübergangsfläche und T_g die Erdreichtemperatur sind.

Während der Simulation werden Eq 5, Eq 7 und Eq 10 gleichzeitig gelöst.

4.2. Anschlussmodellierung

Im Netz gibt es verschiedene Typen von Anschlüssen. Da sie im Vergleich mit den Leitungslängen ziemlich klein sind, wird angenommen, dass sie in stationären und adiabaten Bedingungen arbeiten.

In Abbildung 8 sind alle Anschlusstypen schematisch dargestellt.

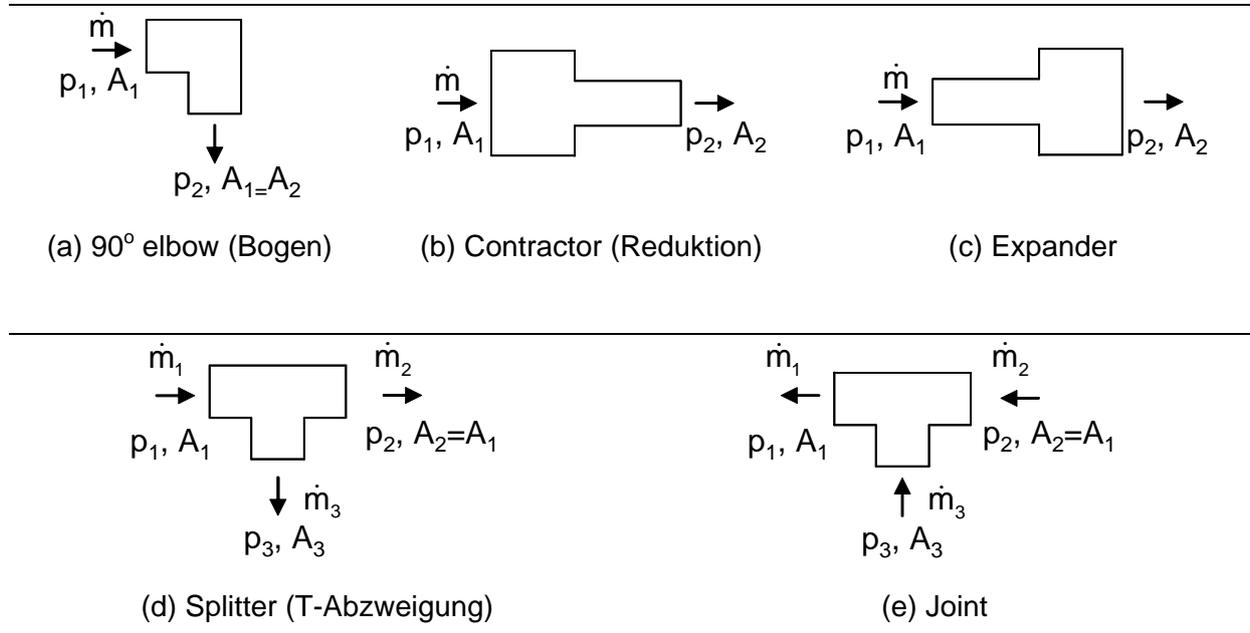


Abbildung 8: schematische Darstellung von Anschlüssen

Unter stationären und adiabaten Bedingungen werden nur die folgenden Gleichungen gelöst. Für jede Komponente in Abbildung 8 gilt die Energiebilanz von Eq 13:

$$\sum \dot{Q} = \dot{m}_1 h_1 - \dot{m}_2 h_2 (\pm \dot{m}_3 h_3) = 0 \quad (\text{Eq 13})$$

Der Druckverlust wird von Eq 14 und Eq 15 gegeben:

$$p_2 - p_1 = K_{12} \times \rho u_1^2 / 2 \quad (\text{Eq 14})$$

$$p_3 - p_1 = K_{13} \times \rho u_1^2 / 2 \quad (\text{Eq 15})$$

wobei u_1 die Strömungsgeschwindigkeit am Punkt A_1 ist, und der Druckverlustkoeffizient K von den folgenden Formeln gegeben ist:

90° elbow (Verhältnis zwischen Radius und Rohrdurchmesser=2,26):

$K_{12} = -0,0004474127259 \text{ Re} + 2,172843526$	für $\text{Re} \leq 4.000$
$K_{12} = -2,275779376 \text{E-}005 \text{ Re} + 0,6753717026$	für $4.000 < \text{Re} \leq 18.000$
$K_{12} = -2,6 \text{e-}006 \text{ Re} + 0,306$	für $18.000 < \text{Re} \leq 55.000$
$K_{12} = -6,510791367 \text{E-}008 \text{ Re} + 0,1673633094$	für $55.000 < \text{Re}$

Contractor:

$$K_{12}=0,42(1-A_r^2)^2 \quad \text{mit } A_r \equiv A_2/A_1$$

Expander:

$$K_{12}=(1-A_r^2)^2/A_r^2 \quad \text{mit } A_r \equiv A_2/A_1$$

Splitter:

$$K_{12}=0,003776223776 - 0,4024475524 m_r + 0,7797202797 m_r^2$$

$$K_{13}=0,968951049 - 0,5408857809 m_r + 0,8717948718 m_r^2 + 0,42(1-A_r^2)^2(m_r/A_r)^2$$

mit $A_r \equiv A_3/A_1$ und $m_r \equiv m_3/m_1$

Joint:

$$K_{12}=0,06045454545 + 0,5481818182 m_r$$

$$K_{13}=-0,9976923077 + 3,129463869 m_r - 1,233100233 m_r^2 + (1-A_r^2)^2(m_r/A_r)^2$$

mit $A_r \equiv A_3/A_1$ und $m_r \equiv m_3/m_1$

4.3. Heizlastenmodellierung

In Abbildung 9 ist eine Fernwärmeübergabestation dargestellt. Die hydraulischen Schaltungen sind im Detail in Schaltschema im Anhang C beigelegt.

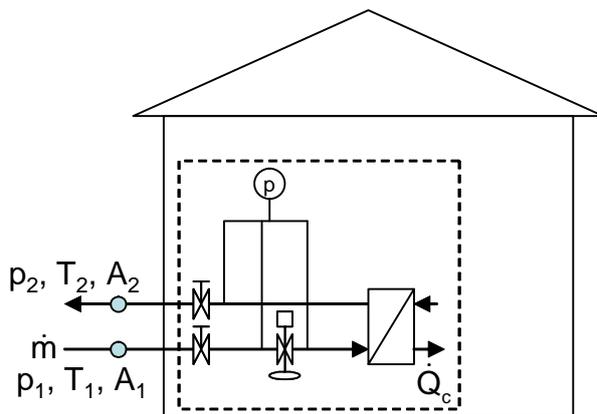


Abbildung 9: Schematische Darstellung einer Fernwärmeübergabestation

Der Druckverlust wird im Anschlussmodell gerechnet:

$$p_2 - p_1 = K_{12} \times \rho u_1^2 / 2 \quad \text{(Eq 16)}$$

wobei K der Druckverlustkoeffizient der gesamten Fernwärmeübergabestation ist. Der Wert wird vom Hersteller zur Verfügung gestellt.

Die Rücklauftemperatur T_2 wird mit der Energiebilanz bei der Fernwärmeübergabestation gerechnet:

$$\left(MC_p \right)_s \frac{dT_2}{dt} = \dot{m} C_p (T_1 - T_2) - \dot{Q}_c \quad \text{(Eq 17)}$$

wobei $(MC_p)_s$ die thermische Kapazität der Übergabestation ist und \dot{Q}_c die Wärmeübergangszahl zum Verbraucher.

$T_2 - T_1$ und \dot{Q}_c werden als Eingabedaten in die Simulation genommen (Messdaten), d. h. Eq 17 muss nicht gelöst werden.

4.4. Modellvereinfachung

Das Fernwärmenetz wird, wie in Abbildung 10 und Abbildung 11 dargestellt, mit allen Komponenten (siehe 4.1, 4.2 und 4.3) vereinfacht modelliert. Alle Abmessungen und Tiefen sind an den Leitungen entlang beschrieben und die Verbraucher sind mit entsprechenden Referenznummern (PC-Nummer) gekennzeichnet.

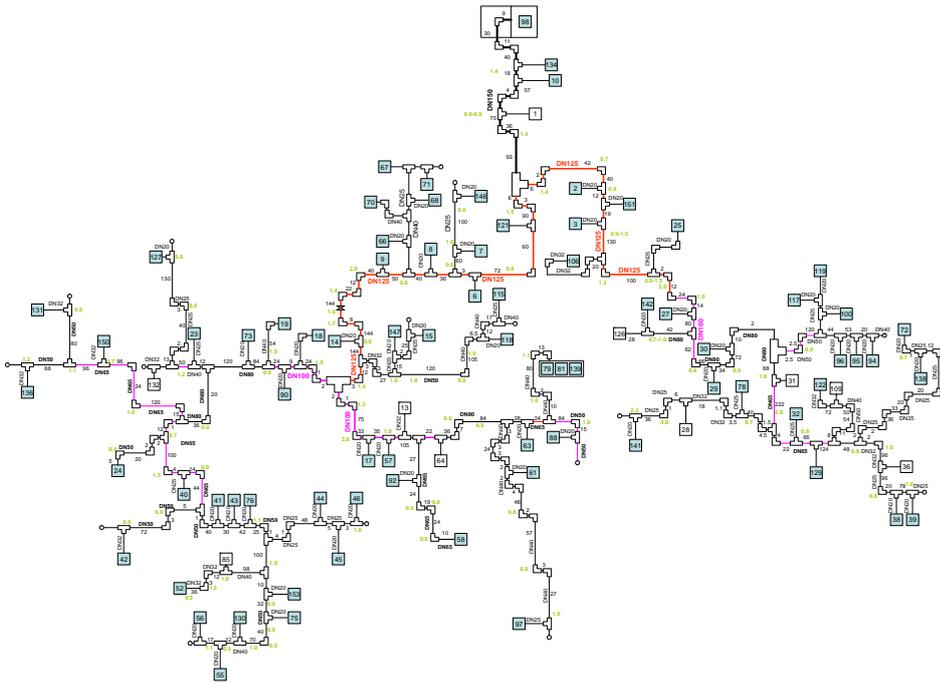


Abbildung 10 zeigt das vereinfachte Modell, während in Abbildung 11 das Modell in der Simulationsumgebung DYMOLA graphisch dargestellt ist.

4.4.1. Zusammenfassung von Abnehmern

Zur Vereinfachung des Modells wird nicht jeder Abnehmer separat abgebildet, sondern es werden Abnehmer zusammengefasst, die nicht „sehr weit“ voneinander liegen und auf derselben Rohrleitung angeschlossen sind. Jedes Quadrat auf Abbildung 10 steht für eine Mehrzahl an Verbrauchern. Bei den in Abbildung 11 dargestellten roten Abnehmern handelt es sich um jene Verbraucher, für welche Monitoringdaten zur Verfügung stehen. Bei den grünen Abnehmern werden keine Monitoringdaten erhoben. Hierzu wurden entsprechend der gesamt zusammengefassten Leistung der Einzelabnehmer ähnliche Verbrauchsprofile herangezogen.

Systematische Methoden sind schon entwickelt worden, um äquivalente aggregierte Fernwärmenetzmodelle zu erzeugen, die eine schnelle Betriebsoptimierung von Fernwärmenetzen ermöglichen, weil die Anzahl an Rohren in dem Netzmodell damit stark reduziert wird. In [Larsen, 2004] werden zwei solche Aggregationsmethoden untereinander verglichen. Beide Modelle liefern sehr ähnliche Werte für die Berechnung der Wärmeeinspeisung und der Rücklaufemperatur. Solche Aggregationsmethoden könnten in den Netzbereichen eingesetzt werden, wo keine Kältemaschinen eingebunden werden sollen, weil in diesen Bereichen keine räumliche Verteilung der Vorlaufemperaturen notwendig ist (die sich ergebende Rücklaufemperatur sowie die gesamte Wärmeabnahme dieses Netzbereiches würden für eine korrekte Abbildung des gesamten Netzes ausreichen). Solch ein systematischer Ansatz wurde aus Zeitmangel in der hier präsentierten Arbeit nicht verfolgt, wird aber für die Durchführung weiterer ähnlicher Projekte empfohlen.

4.4.2. Vorgabe des Massenstroms

Zur weiteren Vereinfachung des Modellaufbaus und dadurch stabileren Simulationsablaufs werden die Primärregelventile nicht als solche abgebildet, sondern der gemessene Massenstrom an den einzelnen Übergabestationen wird vorgegeben und es wird vorausgesetzt, dass die Ventilöffnung dementsprechend eingestellt ist. Für eine detailliertere Abbildung der Regelung, wie z. B. einer witterungsgeführten Vorlaufemperaturregelung mit gleitender Rücklaufemperaturbegrenzung, müssten weitere Daten der Verbraucher sekundärseitig zur Verfügung stehen und das Modell der Übergabestationen auch Teile des Sekundärkreislaufes abbilden.

4.5. Validierung des Netzmodells

Zur Netzvalidierung werden Monitoringdaten mit Simulationsergebnissen verglichen. Die Validierung besteht darin, eine Simulation mit der gemessenen Netzvorlaufemperatur und dem gemessenen gesamten Massenstrom am BHKW durchzuführen, und die Vorlaufemperatur an verschiedenen Punkten des Netzes sowie die Rücklaufemperatur am BHKW zu rechnen. Die Abweichung zwischen gemessener und simulierter Rücklaufemperatur am BHKW bzw. Vorlaufemperatur an den Abnehmern informiert über die Genauigkeit des Modells.

Die Wärmeabnahme spielt eine wesentliche Rolle für die Bestimmung der Rücklaufemperatur. Daher werden Wärmeabnehmer durch den entsprechenden gemessenen Massenstrom und die gemessene Temperaturabsenkung abgebildet, wie Abbildung 12 zeigt.

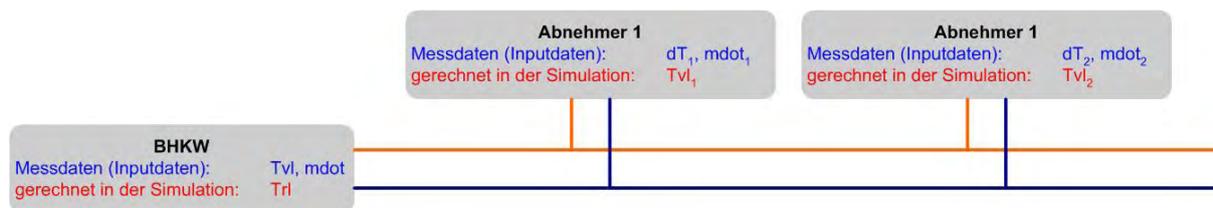


Abbildung 12: Einbindung der Monitoringdaten

4.5.1. Teilabbildung der Abnehmer durch Monitoringdaten

Wie in 2.3 beschrieben sind 151 Abnehmer an das Nahwärmenetz angeschlossen (Stand Dezember 2006) und jeder Abnehmer kann daher nicht über einen separaten Datensatz abgebildet werden: der Aufwand, alle Daten zusammenzufassen, steht nicht im Verhältnis zu den Projektzielen.

Deswegen und unter Berücksichtigung von [Gabrielaitiene, 2007], wo eine ähnliche Analyse durchgeführt wurde, werden nur einem Teil der Wärmeabnehmer die gemessenen Profile zugewiesen. Um einen repräsentativen Verlauf der Vorlauftemperaturen an den Fernwärmeübergabestationen und der Rücklaufemperatur am BHKW in der Simulation abzubilden ist es nötig, eine minimale Anzahl an dynamischen Abnehmerprofilen einfließen zu lassen. In [Gabrielaitiene, 2007] führen die Simulationen zu guten Ergebnissen, wenn ca. die Hälfte der angeschlossenen Leistung dynamisch abgebildet wird, d. h. wenn die entsprechenden Abnehmer mit gemessenen Lastprofilen hinterlegt sind.

Tabelle 12: Verfügbare Monitoringdaten für die Netzsimulation

Nennleistung	Anzahl Verbraucher	Anteil an der Gesamtanzahl der Verbraucher	Entsprechende Gesamtleistung	Anteil an der Gesamtleistung	Anzahl der verfügbaren Monitoringdaten-sätze	im Modell Abgebildete Leistung
[kW]	[-]	[%]	[kW]	[%]	[-]	[kW]
15	80	53.3	1215	14.8	2	30
18	1	0.7	18	0.2	0	0
32	20	13.2	640	7.8	0	0
42	13	8.6	546	6.6	1	42
45	1	0.7	45	0.5	0	0
50	1	0.7	50	0.6	0	0
60	7	4.6	420	5.1	2	120
75	7	4.6	525	6.4	2	150
85	2	1.3	170	2.1	0	0
105	1	0.7	105	1.3	1	105
120	5	3.3	600	7.3	2	240
123	1	0.7	123	1.5	0	0
140	1	0.7	140	1.7	0	0
150	3	2.0	450	5.5	1	150
160	1	0.7	160	1.9	0	0
175	1	0.7	175	2.1	1	175
250	1	0.7	250	3.0	1	250
300	2	1.3	600	7.3	2	600
400	1	0.7	400	4.9	1	400
600	1	0.7	600	7.3	1	600
1000	1	0.7	1000	12.1	1	1000
Summe	151	100.0	8232	100.0	18	3862
%					11.8	46.9

Abbildung 2 zeigt, dass alle Abnehmer mit einer Nennleistung höher als 120 kW insgesamt ca. 50% der gesamten angeschlossenen Leistung ausmachen. Es sind 18 Abnehmer, die ca. 12% aller Abnehmer darstellen. Da es unter diesen Abnehmern auch Kunden gibt, die im Sommer keine Wärme abnehmen, werden zusätzlich weitere kleinere Abnehmer mitberücksichtigt. Die Daten von einigen Einfamilienhäusern (siehe Abbildung 4) sowie Mehrfamilienhäusern werden auch erhoben, um typische Lastprofile zu erkennen, die dann als Grundlage für die Abnehmer dienen, wo keine Monitoringdaten zur Verfügung stehen.

Bei den grünen Abnehmern auf Abbildung 11 werden in Abhängigkeit mit dem Leistungsanschluss Verbrauchsprofile aus der Liste der zur Verfügung stehenden gemessenen Lastprofile gewählt. Es gibt aber auch die Möglichkeit, entweder konstante Verbrauchsprofile anzunehmen oder die Verbraucher überhaupt zu vernachlässigen. Diese verschiedenen Varianten werden in 4.5.2 ausgewertet. Tabelle 12 zeigt eine Auflistung der verfügbaren Monitoringdaten für die dynamische Netzsimulation.

Für 11,8% der Verbraucher stehen Monitoringdaten zur Verfügung. Bezogen auf die Gesamtleistung der angeschlossenen Verbraucher entspricht dies einer Leistung von 46,9%.

4.5.2. Fehler durch die Verwendung von nicht gemessenen Lastprofilen

Es bestehen verschiedene Möglichkeiten, die Abnehmer ohne gemessene dynamische Lastprofile (grüne Abnehmer auf Abbildung 11) abzubilden:

- Für die Variante 1 „Simulation“ werden in Abhängigkeit mit dem Leistungsanschluss Verbrauchsprofile aus der Liste der zur Verfügung stehenden gemessenen Lastprofile gewählt. Hierbei wird angenommen, dass alle Abnehmer mit dem gleichen Leistungsanschluss das gleiche Lastprofil haben.
- Für die Variante 2 „Simulation_dTconst.“ wird zur Definition der Lastprofile für die kleinen Abnehmer der zeitlichen Mittelwert der Variante 1 herangezogen. Es wird angenommen, dass die Wärmeabnahme dauernd erfolgt und dass sowohl für die Temperaturabsenkung als auch für den Massenstrom keine zeitliche Änderung bestehen.
- Für die Variante 3 „Simulation_NoSmallConsumer“ werden die kleineren Verbraucher vernachlässigt. In dieser Variante besteht bei diesen Verbrauchern keine Wärmeabnahme.

Alle Varianten werden in Hinsicht auf die Vorlauftemperatur an den Fernwärmeübergabestationen und auf die Rücklauftemperatur am BHKW verglichen. In allen Varianten wird der Massenstrom am BHKW den Abnahmemengen angepasst.

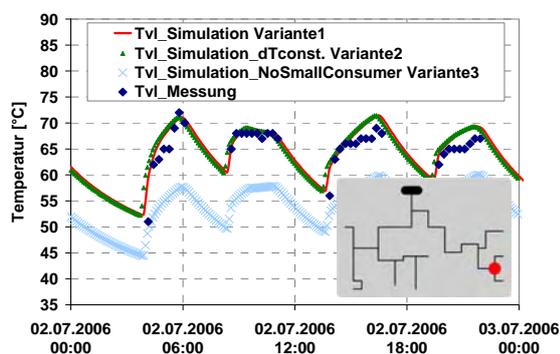


Abbildung 13: Vorlauftemperatur Übergabestation PC122 – Entfernung zu BHKW ~ 1,69km

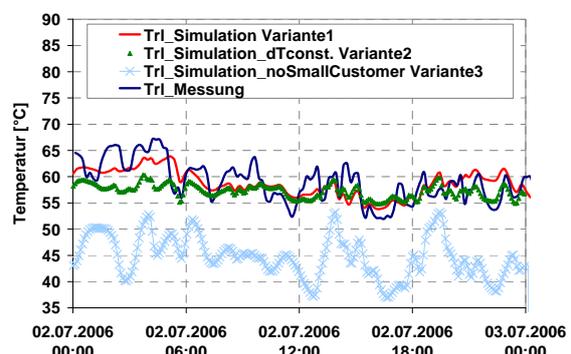


Abbildung 14: Rücklauftemperatur am BHKW

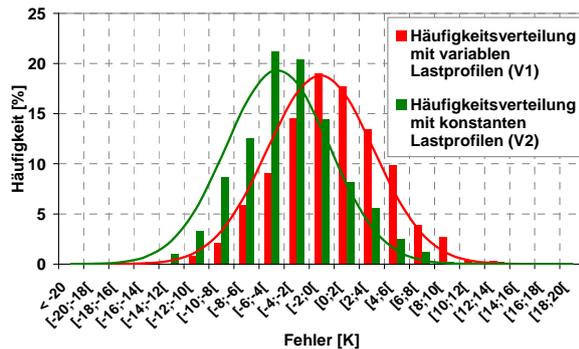


Abbildung 15: Häufigkeitsverteilung der Fehler bei der Rücklauftemperatur am BHKW für die verschiedenen Varianten

Abbildung 13 zeigt die Vorlauftemperaturen an einer Fernwärmeübergabestation für die verschiedenen Simulationsvarianten. Die Übergabestation PC122 wird herangezogen, weil sie die größte Entfernung vom BHKW aufweist und sich daher die Unterschiede zwischen den Varianten am leichtesten beobachten lassen. Der Unterschied zwischen den Varianten 1 und 2 ist an der Übergabestation PC122 eher gering, da sich der Massenstrom zwischen diesen Varianten nicht sehr stark ändert und sich durch die Annahme einer konstanten Wärmeabnahme bei den kleinen Wärmeabnehmern nur eine geringe Zeitverschiebung ergibt. Mit Variante 3 ergibt sich aber eine Temperaturverringerng von ca. 10 K im Vergleich zu Variante 1 und 2. Dies lässt sich aufgrund der deutlichen Verringerung des Massenstroms am BHKW erklären, da nur mehr die Abnehmer mit gemessenen Lastprofilen versorgt werden. Diese machen zwar 50% der Gesamtleistung aus, entsprechen jedoch nur 10% der Abnehmer mit deutlich größerer Temperaturspreizung, wodurch sich der Massenstrom am BHKW um 70% reduziert. Mit dem reduzierten Massenstrom ergibt sich eine starke Abkühlung in der Vorlaufleitung.

Abbildung 14 zeigt die Rücklauftemperaturen am BHKW für die verschiedenen Simulationsvarianten. Hierbei ergeben sich die besten Übereinstimmungen zwischen Messung und Variante 1. Der Einfluss der zeitlichen Entnahme der Kleinabnehmer erweist sich hierbei auf die absoluten Abweichungen als doch beträchtlich, daher müssten für eine genaue Abbildung des Netzes ebenso Messergebnisse für die Kleinabnehmer zur Verfügung stehen, um eine bessere Übereinstimmung bei den Zeiten keiner Entnahme bzw. Zeiten großer Entnahme zu erreichen. Der entsprechende Aufwand ist aber im Rahmen des Projektes nicht gerechtfertigt, weil zur Zielerreichung eine „sehr gute“ Übereinstimmung zwischen Simulationsergebnissen und Messungen nicht unbedingt notwendig ist. Variante 3 führt durch den geringeren Massenstrom am BHKW zu einer deutlichen Abweichung bezüglich der Rücklauftemperatur.

Die weiteren Untersuchungen konzentrieren sich hauptsächlich auf die Einbindung von Absorptionskältemaschinen, wobei die Antriebstemperatur im Netz eine wesentliche Rolle spielt. Aus Abbildung 13 wird daher entschieden, Variante 3 auszuschneiden. Wie aus Abbildung 15 ersichtlich ist, wird bei der Annahme einer konstanten Wärmeabnahme (Variante 2) die Rücklauftemperatur am BHKW deutlich unterschätzt. Deswegen wird in den weiteren Projektschritten die Variante 1 genutzt.

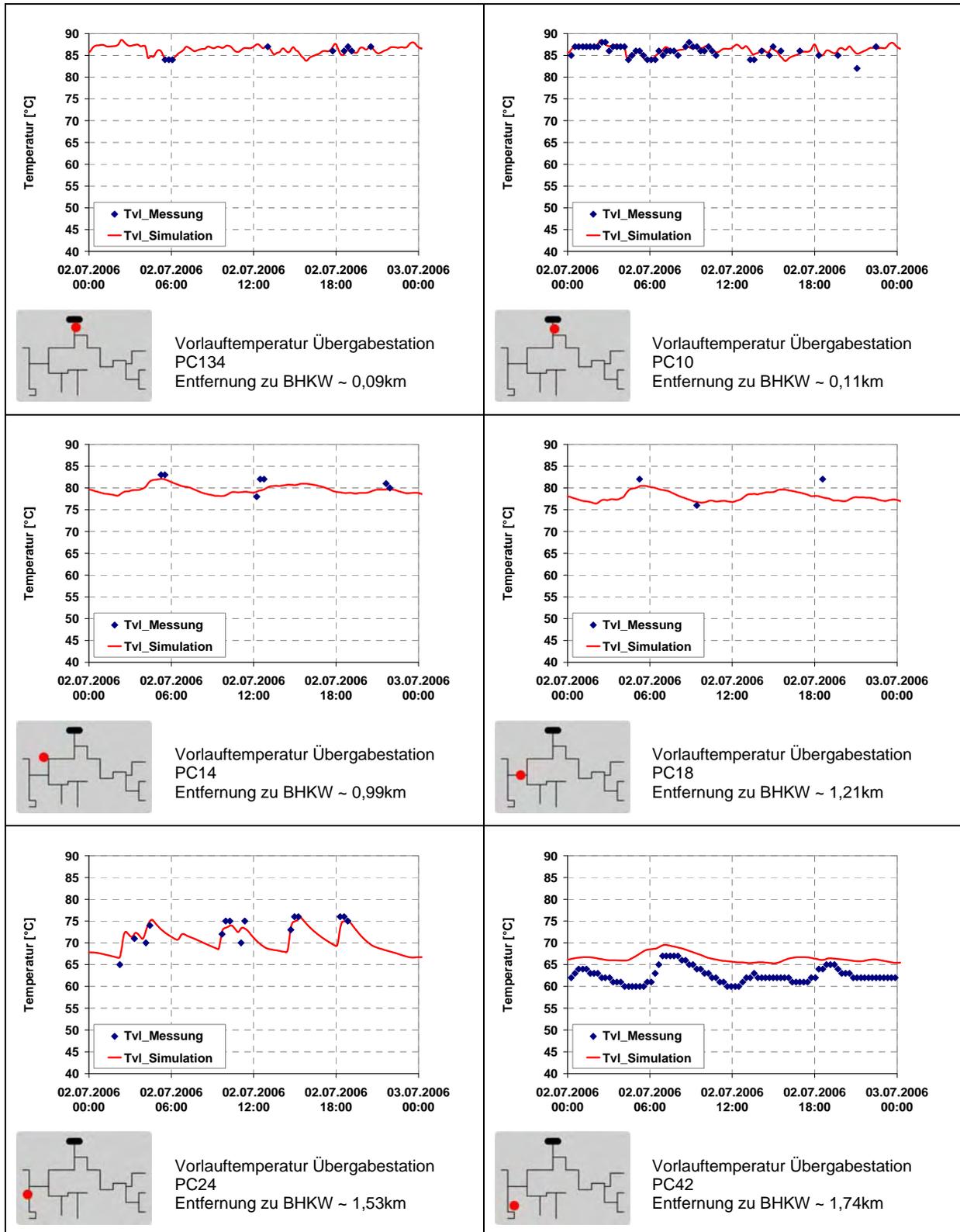
4.5.3. Validierungsverfahren

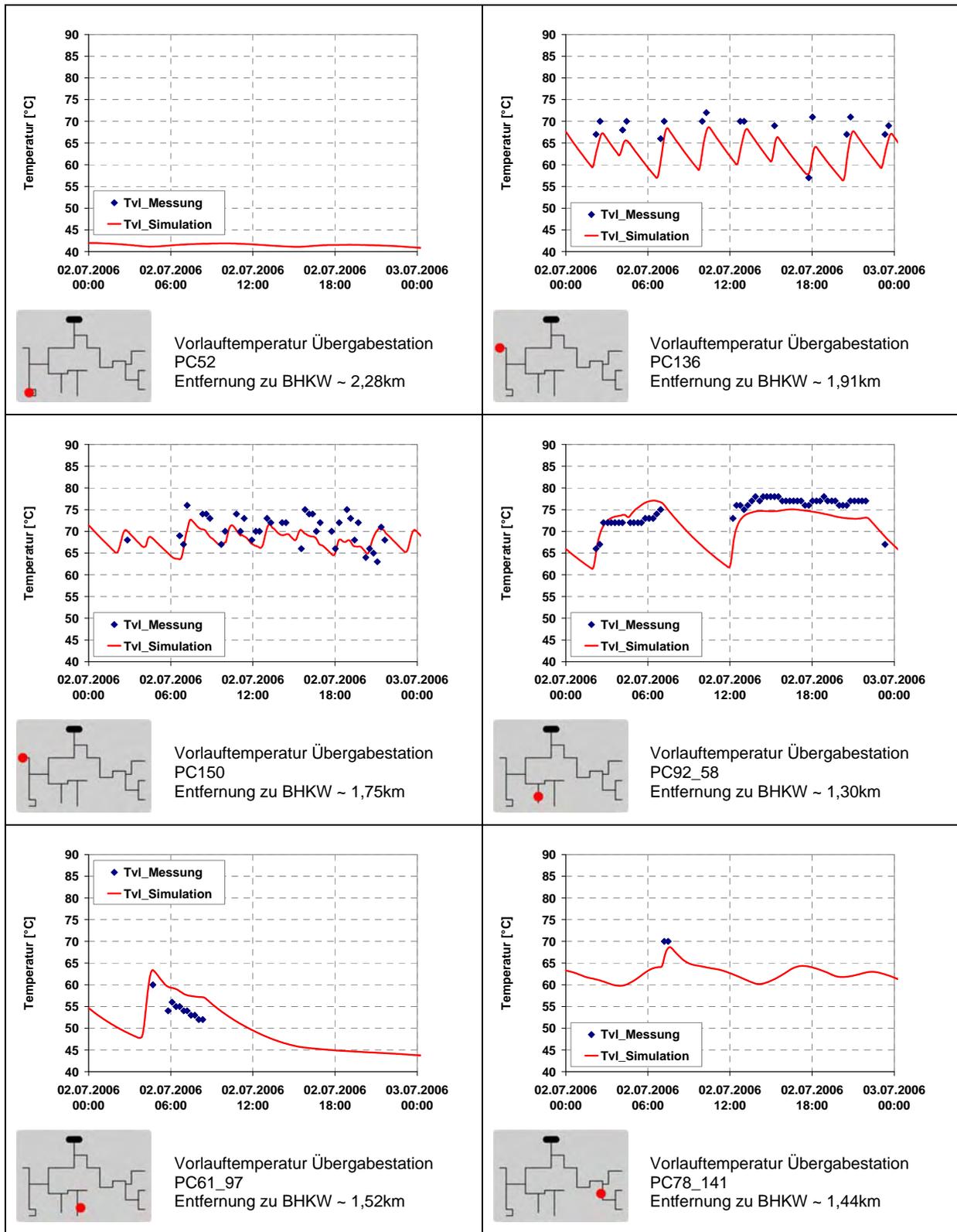
Die Validierung des Netzmodells erfolgt anhand der gemessenen und simulierten Werte der Vorlauftemperaturen an den Fernwärmeübergabestationen und der Rücklauftemperatur am BHKW. Hierbei wird die mittlere Abweichung sowie die maximale

absolute Abweichung zwischen Messung und Simulation im Zeitraum von 02.07.2006 bis 09.07.2006 ermittelt.

Tabelle 13 zeigt die gemessenen und simulierten Vorlauf- und Rücklauf-temperaturverläufe am 02.07.2006 bei verschiedenen Übergabestationen, und in Abbildung 16 werden die gemessenen und simulierten Rücklauf-temperaturverläufe am BHKW dargestellt. Die Messergebnisse werden hier als Punkte übertragen und deswegen nur in den Zeiten einer Wärmeabnahme dargestellt, weil sonst wegen der Positionierung der Temperaturfühler bei der Übergabestation die Auskühlung des Heizmediums nach Absperrung der Ventile deutlich zu erkennen wäre (siehe Abbildung 4). Diese Auskühlung ist aber im Modell nicht abgebildet, weil die gerechnete Temperatur einem theoretischen Messpunkt auf der Netzseite der Primärventile entspricht, der in der Realität nicht vorhanden ist.

Tabelle 13: Messdaten und Simulationsergebnisse für die Vorlauftemperaturen bei ausgewählten Übergabestationen





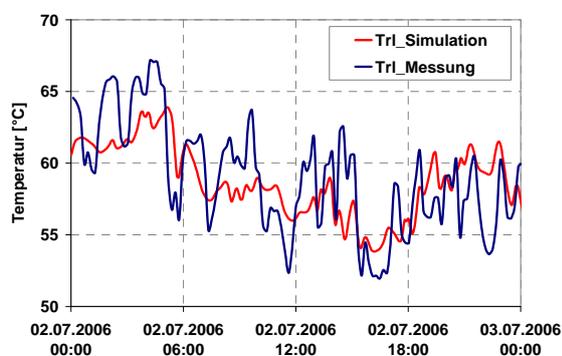
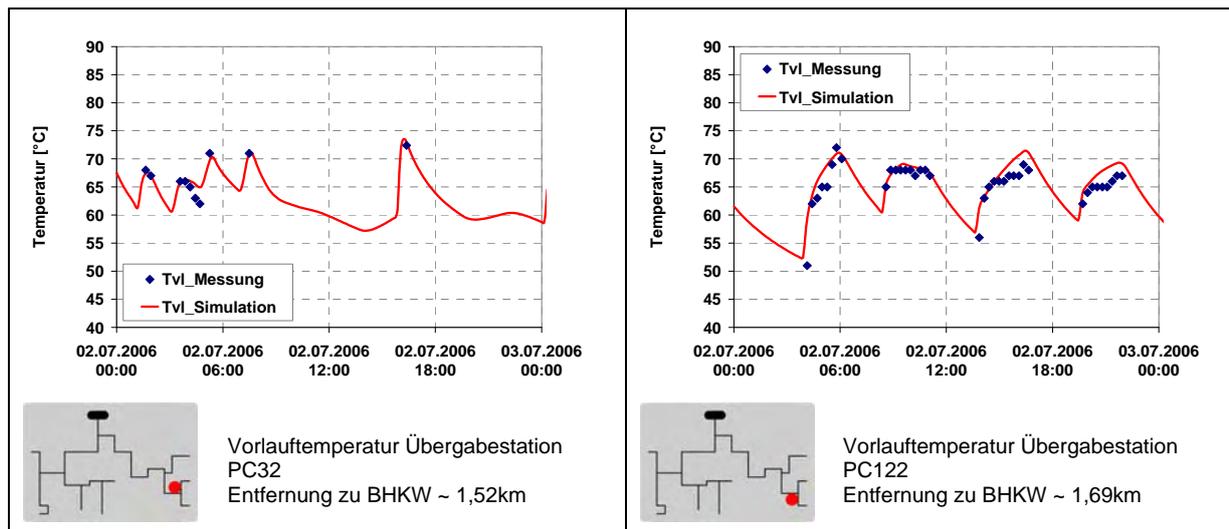


Abbildung 16: Rücklauftemperatur am BHKW

Tabelle 14 zeigt die berechneten mittleren und absoluten Abweichungen der Vorlauftemperaturen an den Übergabestationen im Zeitraum von 02.07.2006 bis 09.07.2006 bzw. am 02.07.2006. Hierzu werden die Mittelwerte der Mess- und Simulationsergebnisse im besagten Zeitraum ermittelt und verglichen.

Da die Zeitintervalle für die gemessenen Werte nicht konstant sind und somit zum entsprechenden gemessenen Punkt kein Punkt aus der Simulation, aufgrund konstanter Simulationsintervalle, zum direkten Vergleich zur Verfügung steht, wird für die Ermittlung der absoluten Abweichung am 02.07.2006 eine lineare Näherung angewendet. Dieser einfache Ansatz der Interpolation kann zu großen Abweichungen führen, reicht aber im vorliegenden Fall der klein gewählten Simulationszeitschritte aus, um einen direkten Vergleich zu ermöglichen.

Tabelle 15 zeigt die berechnete mittlere und absolute Abweichung der Rücklauftemperatur am BHKW im Zeitraum von 02.07.2006 bis 09.07.2006 bzw. am 02.07.2006. Die Ermittlung der Daten erfolgte äquivalent, ebenso wie die Berechnung der Abweichung bei den Vorlauftemperaturen an den Übergabestationen.

Tabelle 14: Mittlere und maximale absolute Abweichungen der Vorlauftemperaturen an den Übergabestationen

PC Nummer	Entfernung zu BHKW	Mittelwert Messung (02.07.2006 – 09.07.2006)	Mittelwert Simulation (02.07.2006 – 09.07.2006)	Mittlere Abweichung (02.07.2006 – 09.07.2006)	max. absolute Abweichung (02.07.2006)	max. absolute Abweichung (02.07.2006 – 09.07.2006)
	[km]	[°C]	[°C]	[K]	[K]	[K]
134	0.09	82.1	85.9	3.8	0.8	5.3
10	0.11	83.2	85.8	2.6	3.5	6.1
14	0.99	76.8	79.7	2.9	2.6	3.4
18	1.21	78.8	78.2	0.6	4.3	4.8
92_58	1.30	75.8	74.3	1.5	4	8.8
78_141	1.44	66.9	63.3	3.6	3.7	6.3
32	1.52	66.3	62.1	4.2	3	7.3
61_97	1.52	57.4	51.5	5.8	5.5	7.7
24	1.53	71.5	71.2	0.3	3.5	8.3
122	1.69	65.6	64.4	1.2	3.7	7.7
42	1.74	64.8	68.1	3.3	6.9	8.5
150	1.75	69.4	67.7	1.7	7	7
136	1.91	68.6	63.8	4.8	4.5	8.1
52	2.28	54.7	50.1	4.6	kein Verbrauch	9.1

Tabelle 15: mittlere und maximale absolute Abweichungen der Rücklauftemperatur am BHKW

PC Nummer	Mittelwert Messung (02.07.2006 – 09.07.2006)	Mittelwert Simulation (02.07.2006 – 09.07.2006)	Mittlere Abweichung (02.07.2006 – 09.07.2006)	max. absolute Abweichung (02.07.2006)	max. absolute Abweichung (02.07.2006 – 09.07.2006)
	[°C]	[°C]	[K]	[K]	[K]
BHKW	57.5	59	1.5	7.7	9.5

Die gerechnete maximale mittlere Abweichung der Simulation von den Messergebnissen liegt bei den Vorlauftemperaturen an den Fernwärmeübergabestationen bei 5,8 K für den Fall, wo ca. 47% der Gesamtanschlussleistung als dynamisches Verbrauchsprofil zur Verfügung steht. Im Vergleich dazu liegt die Abweichung im Nahwärmenetz Naestved [Gabrielaitiene, 2007] bei einer Netzlänge von ca. 5 km bei maximal 4K bei dynamischen Lastprofilen von 50% der Gesamtanschlussleistung. In Mureck ergibt sich aber eine etwas längere Netzlänge von ca. 12 km. Die größten Abweichungen ergeben sich vor allem bei den absoluten Werten, erwartungsgemäß bei den Verbrauchern am Ende der einzelnen Stränge, wobei sich die Stränge selbst auch teils stark unterscheiden.

Bei der Rücklauftemperatur am BHKW ergibt sich eine mittlere Abweichung von 1,5 K und eine absolute Abweichung von 7,7 K. Bei der maximalen absoluten Abweichung kann wiederum der Einfluss der dynamischen Lastprofile als Grund genannt werden, da die mittlere Abweichung einen relativ guten Wert ergibt, während die kurzfristigen Spitzen schlechter dargestellt werden. Der Einfluss der spezifischen Netzverluste auf die absolute Abweichung ist daher eher gering.

Die Parameter für Druckverlust und Wärmeverlust im Netz werden entsprechend der vorhandenen Netzkennlinie bzw. der spezifischen Wärmeverluste im österreichischen Durchschnitt gewählt. In [Rohrmoser, 2007] wird einen Wert für die Netzverluste in Österreich in einem Bereich von 20-30% angegeben. Abbildung 17 und Abbildung 18 zeigen

den Druckverlust im Netz bzw. die Förderhöhe in Abhängigkeit des Massenstroms am BHKW.

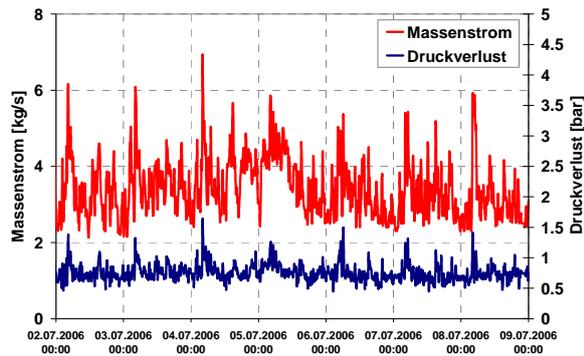


Abbildung 17: Druckverlust über das Netz in Abhängigkeit des Massenstroms am BHKW

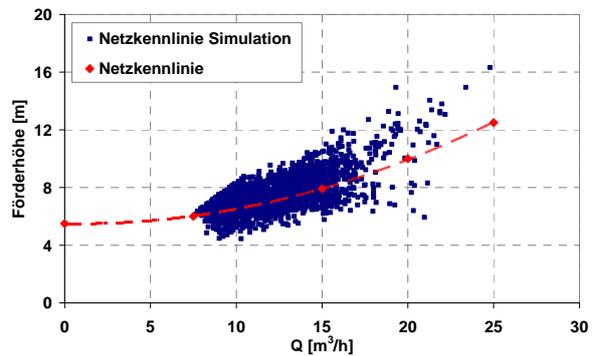


Abbildung 18: Netzkennlinie

Für den betrachteten Zeitraum von 02.07.2006 – 09.07.2006 ergibt sich für das Netz die in Tabelle 16 dargestellte Energiebilanz:

Tabelle 16: Energiebilanz des Netzes für den Zeitraum 02.07.2006 – 09.07.2006

Eingespeiste Energie in das Netz	\dot{Q}_{BHKW}	49.500 kWh	100%
Verbrauch (Wärmeabnahme)	$\dot{Q}_{Verbrauch}$	19.500 kWh	40%
Netzverluste	$\dot{Q}_{Verluste}$	30.000 kWh	60%

In der Regel liegen die jährlichen durchschnittlichen spezifischen Wärmeverluste bei 160 – 170 kWh/m [Rohrmoser, 2007]. Dies ergibt eine spezifische Verlustleistung von ca. 20 W/m. Die Simulation ergibt bei einer Erdreichtemperatur von 15°C im betrachteten Zeitraum im Juli eine spezifische Verlustleistung von ca. 14 W/m, die sich bei sinkender Erdreichtemperatur und steigender Vorlauftemperatur im Winterfall dementsprechend erhöhen wird.

Aufgrund der sehr geringen Abnahme im betrachteten Zeitraum wiegen die Netzverluste deutlich höher als der Verbrauch.

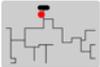
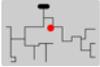
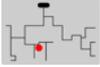
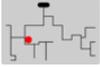
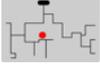
5. Einbindung der AKM

5.1. Simulationsansatz

Zur Untersuchung der Netzeinbindung von AKM werden weitere Simulationen in der DYMOLA-Umgebung durchgeführt. Um die Plausibilität der Simulationsergebnisse zu verstärken, basieren die Simulationen auf den realen Netzbedingungen, nämlich den Abnahme- und Temperaturprofilen. Die für die Validierung des Modells verwendete Beispielwoche wird weiters betrachtet, und die zusätzlichen Wärmeabnahmeprofile addieren sich zu den Abnahmeprofilen für die Warmwasserbereitstellung. Um den Antrieb der AKM zu gewährleisten, erhöht sich in der Simulation die Wärmeeinspeisung am BHKW dementsprechend. Das Temperaturniveau bei der Einspeisung wird auch aus den Messdaten der untersuchten Woche genommen.

Die Kälteleistungen aus Tabelle 17 liegen für die fünf in 3.3 definierten Objekte zugrunde (siehe auch Tabelle 10):

Tabelle 17: Kälteleistungen und Positionierung der verschiedenen Objekte

Objekt	Anschließbare Kälteleistung	Positionierung im Netz
SEEG Bürogebäude	21 kW	
Ausbildungsgebäude	9 kW	
Bank 1	12,6 kW	
Bank 2	12,6 kW	
Wirtshaus	12 kW	

5.2. Kühllastprofile

Für jedes Gebäude wird eine Kühllastberechnung auf Basis der [VDI 2078, 1996] durchgeführt. Dabei wird jedes Objekt in Zonen mit unterschiedlichen baulichen und nutzungsabhängigen Bedingungen unterteilt. Danach wird für jede einzelne Zone die Wärmebelastung gerechnet (Transmission, Solarstrahlung, Personen, elektrische Geräte, Frischluft). Die Kühllast der Zone setzt sich dann aus allen Wärmebelastungskomponenten zusammen und wird als „ein konvektiv aus der Raumluft abzuführender Wärmestrom“ definiert [VDI 2078, 1996].

Die Lastprofile für die einzelnen Objekte werden im Anhang D beigelegt.

5.3. Einbindungsvarianten

Für die Einbindung der AKM in das Nahwärmenetz werden folgende zwei Varianten berücksichtigt:

- Bei Variante 1 ist der Rücklauf der AKM an den Rücklauf des Nahwärmenetzes angeschlossen, wie bei einer „konventionellen“ Übergabestation.

- Bei Variante 2 erfolgt die Einbindung des Rücklaufs der AKM in den Vorlauf des Nahwärmenetzes. Durch Variante 2 wird versucht, die Netzzrücklauftemperatur nicht zu sehr zu erhöhen, indem der Rücklaufmassenstrom aus dem Generator der AKM mit dem Netzvorlaufmassenstrom gemischt wird. Dies wirkt sich aber durch eine niedrige Heizwasserantriebstemperatur bei den nachgeschalteten Wärmeabnehmern aus.

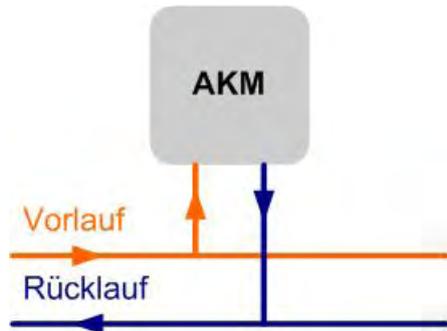


Abbildung 19: Variante 1, Vorlauf-Rücklauf-Einbindung

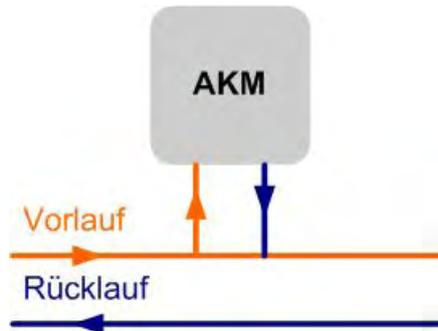


Abbildung 20: Variante 2, Vorlauf-Vorlauf-Einbindung

Da Variante 2 eine weitere Abkühlung der Vorlauftemperatur mit sich bringt, wird eine detaillierte Untersuchung mit verschiedenen Kombinationen an AKM nicht durchgeführt, da der Einsatz von AKM bei den Banken 1 und 2 und dem Wirtshaus bereits bei bestehenden Vorlauftemperaturen aus ökonomischer Sicht fraglich erscheint. Da bei den Vorlauftemperaturen kleiner als 80°C die AKM nur im Teillastbereich arbeiten können, sollte im Hinblick auf einen ökonomischen Einsatz der AKM auf entsprechende Vorlauftemperaturen zum Antrieb des Generators geachtet werden. Variante 2 wäre dann sinnvoll, wenn nur eine AKM am Netz angeschlossen wäre, und danach das Netz nur zur Warmwasserversorgung genutzt würde. Dabei wird nur berechnet, wie hoch die Vorlauftemperatur nach der einen installierten AKM (bei dem Bürogebäude der SEEG) ist.

Die in Tabelle 10 dargestellten maximal möglichen Kälteleistungen der angeschlossenen AKM werden bei den Kühllastprofilen der in 3.3 genannten Kälteabnehmer berücksichtigt. Somit dienen die AKM bei Überschreitung der möglich übertragbaren Kälteleistung zur Abdeckung der Grundlast. Der restliche Kühlbedarf muss bei Beibehaltung der Übergabestation hinsichtlich übertragbarer Leistung über elektrisch angetriebene Kältemaschinen abgedeckt werden.

5.4. Berechnung des Massenstroms

Die Berechnung der nötigen Antriebsenergie erfolgt mit den für eine 15 kW AKM zur Verfügung stehenden Datenblättern. Um den Verlauf des COP bei geringerer Antriebstemperatur darzustellen, wird ein Modell einer AKM in der Simulationsumgebung DYMOLA [Dymola] erstellt. Eine korrekte Abbildung der AKM kann im Betriebspunkt Kühlwassereintritt 30°C und Kaltwasseraustritt 11°C erfolgen. Diese Rahmenbedingung wird bei den folgenden Simulationen konstant gehalten. Abbildung 21 zeigt den ermittelten Verlauf des COP bei variierender Antriebstemperatur t_{gi} des Generators der AKM. Die AKM verhält sich mit einem fast konstanten COP (zwischen 0,71 und 0,75) im Teillastbereich, nämlich für Antriebstemperaturen höher als 50°C.

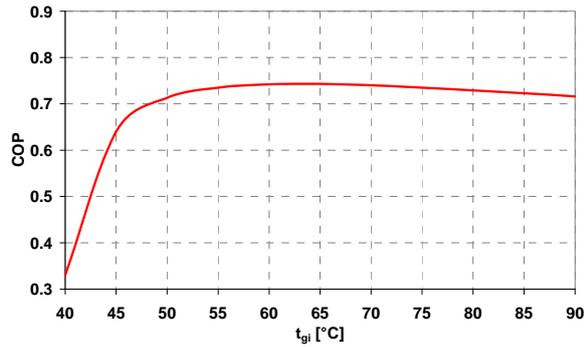


Abbildung 21: COP-Verlauf der abgebildeten 15 kW AKM

Die Berechnung der nötigen Antriebsleistung für den Generator der AKM erfolgt durch Eq 18 mit den Kühlleistungsprofilen der Abnehmer und dem ermittelten COP bei entsprechender Antriebstemperatur.

$$\dot{Q}_H = \frac{\dot{Q}_K}{COP} \quad (\text{Eq 18})$$

Die Berechnung der Austrittstemperatur t_{go} erfolgt mit Hilfe der Datenblätter der AKM, wodurch die Bestimmung des nötigen Massenstroms für die einzelnen AKM möglich ist. Diese wird mit Eq 19 gerechnet.

$$\dot{Q}_H = \dot{m} \cdot cp \cdot (t_{gi} - t_{go}) \quad (\text{Eq 19})$$

5.5. Massenstromregelung

Die nötigen Massenströme zum Antrieb der AKM werden in weiterer Folge summiert und zum gemessenen Massenstromprofil am BHKW addiert, wodurch sich vereinfacht eine geänderte Pumpendrehzahl und somit Massenstromänderung im Netz ergibt. Die Leistungsregelung der AKM erfolgt somit durch die Regelung der zugeführten Wärmemenge.

Die Wärmemenge kann einerseits durch Regelung des Heizwassermassenstroms durch Drosselung bei konstanter Temperatur des Heizmediums (Massenstromregelung) oder durch Regelung der Temperatur des Heizmediums bei konstantem Heizwassermassenstrom durch Rücklaufbeimischung (Temperaturregelung) erfolgen [Sager, 1998]. Bei den durchgeführten Simulationen wird eine Massenstromregelung verwendet, um die benötigte Wärmemenge bereitzustellen. In [Sager, 1998] werden die Vorteile der Massenstromregelung aufgezeigt.

5.6. Simulationen und Ergebnisse

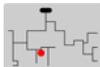
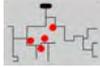
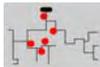
Einbindungsvariante 1 (Vorlauf-Vorlauf) wird hinsichtlich der Auswirkung der Einbindung der AKM auf die Rücklauftemperatur am BHKW untersucht und bewertet. Dabei werden die gemessenen Daten des BHKW bei der Wärmeeinspeisung angenommen. Im Teil 5.6.4 wird auf die Art der Einbindung eingegangen.

5.6.1. Auswirkung der Anzahl und Positionierung der AKM

Die Netzurücklauftemperatur ist von der Netzvorlauftemperatur und den abnahmeseitigen Leistungs- und Temperaturprofilen abhängig. Je höher die Anzahl an angeschlossenen AKM ist, desto größer ist der notwendige Heizwassermassenstrom. Dazu ist die Auslegungstemperaturspreizung über den Generator der AKM begrenzt, was die Rücklauftemperatur dementsprechend erhöht. Der Zusammenhang zwischen der Netzurücklauftemperaturerhöhung und dem zusätzlichen Heizwassermassenstrom, der für

den Betrieb der AKM nötig ist, wird für unterschiedliche Varianten die Anzahl und Positionierung der AKM dargestellt. Als Referenzvariante dient der Fall, in dem das Netz ohne AKM betrieben wird; die Massenstromzunahme wird in Bezug auf diese Referenzvariante (ca. 5 kg/s) gerechnet. Um den Einfluss der einzelnen AKM zu quantifizieren, werden die verschiedenen Varianten der Abnahmestruktur aus Tabelle 18 ausgewertet.

Tabelle 18: Variantendefinition

Variante	Definition der Variante	Grund zur Berücksichtigung der Variante	Positionierung im Netz	Leistungsverhältnis zwischen Generatorleistung der AKM und gesamte Heizleistung im Netz
Variante 1	Einsatz einer einzigen 15 kW AKM in einem Bürogebäude (SEEG) in der Nähe der Wärmeeinspeisung.			ca. 0,007
Variante 2	Einsatz der 15 kW AKM aus Variante 1 an einem anderen Netzpunkt (Ortsmitte).	Durch diese Variante wird der Einfluss der Entfernung der AKM zur Einspeisung analysiert.		ca. 0,007
Variante 3	Einsatz aller AKM (jeweils 15 kW Leistung) ausgenommen der AKM beim Bürogebäude.	Durch diese Varianten (Vergleich zwischen Varianten 3 und 4) wird der Einfluss einer in der Nähe der Einspeisung angeschlossenen AKM evaluiert.		ca. 0,027
Variante 4	Einsatz aller AKM (jeweils 15 kW Leistung).			ca. 0,034

5.6.1.1. Stationäre Situation

Die Netzurücklauftemperatur am BHKW ergibt sich als Mischtemperatur zwischen den Rücklauftemperaturen aller Wärmeabnehmer. In einer stationären Situation kann diese Mischtemperatur über Eq 20 gerechnet werden, wie es in [Sager, 2004] vorgeschlagen wird:

$$T_{RL} = T_{VL} - \frac{T_{VL} - T_{RL,H}}{1 - \frac{\dot{Q}_{H,AKM}}{\dot{Q}_H} \left(1 - \frac{T_{VL} - T_{RL,H}}{T_{VL} - T_{RL,AKM}} \right)} \quad (\text{Eq 20})$$

T_{RL} Netzurücklauftemperatur am BHKW

T_{VL} Netzvorlauftemperatur

$T_{RL,H}$ Rücklauftemperatur an den Übergabestationen von Wärmeabnehmern (Warmwasserbereitstellung)

$T_{RL,AKM}$ Rücklauftemperatur an den Übergabestationen, wo Absorptionskältemaschinen angeschlossen sind

$\frac{\dot{Q}_{H,AKM}}{\dot{Q}_H}$ Leistungsverhältnis zwischen Generatorleistung der AKM (Austreiberleistung) und gesamter Heizleistung im Netz

In Abbildung 22 werden verschiedene Kurven dargestellt, die den Betrieb des Nahwärmenetzes in Mureck charakterisieren, womit ein Bereich der möglichen Variationen definiert wird. Im Sommer wird das Netz mit Netzvorlauftemperaturen von 85-90°C und Netzurücklauftemperaturen von 55-65°C (siehe Abbildung 16) betrieben. Wenn die AKM eine Temperaturspreizung von 10 K zwischen Vorlauf und Rücklauf verursachen (siehe linke Seite von Abbildung 22) kann die Rücklauftemperatur ab einem Leistungsverhältnis von 0,35 (Situation am 2. Juli 2006) den Grenzwert von 70°C übersteigern. Bei einer

Temperaturspreizung von nur 7 K bei der AKM reduziert sich das Leistungsverhältnis auf 0,2 (siehe rechte Seite von Abbildung 22).

Wie in Tabelle 18 angezeigt werden für die Varianten 1 bis 4 mit verschiedener Anzahl an AKM im Netz (1, 4 und 5) sehr niedrige Werte des Leistungsverhältnisses gerechnet. Die gesamte am Netz angeschlossene Leistung ergibt sich aus der Summe der Anschlussleistung der verschiedenen Wärmeabnehmer im Sommer (Großabnehmer wie Schulen, die im Sommer keine Wärme abnehmen, werden nicht berücksichtigt), inklusive der Antriebsleistung der angeschlossenen AKM.

In einer stationären Situation würde die Netzurücklauftemperatur mit Leistungsverhältnissen von unter 0,1, wie es bei den Varianten 1 bis 4 der Fall ist, immer unter dem Grenzwert von 70°C liegen. Im realen Betrieb ist die Wärmeabnahme in der Zeit variabel (siehe Abbildung 4) und das Leistungsverhältnis kann in dieser Hinsicht als zeitabhängige Größe formuliert werden. Die Absorptionskältemaschinen werden in der Regel während mehrerer Stunden betrieben, um die Kühllast zur Zeit ihres Auftretens abzuführen, und nicht während kurzer Zeiten ein- und ausgeschaltet, wie es bei der Wärmeabnahme zur Warmwasserbereitstellung der Fall sein kann (siehe Abbildung 4). Daher kann zu bestimmten Zeiten der Einfluss von AKM auf die Netzurücklauftemperatur viel größer sein als die in Abbildung 22 aufgezeigte Tendenz.

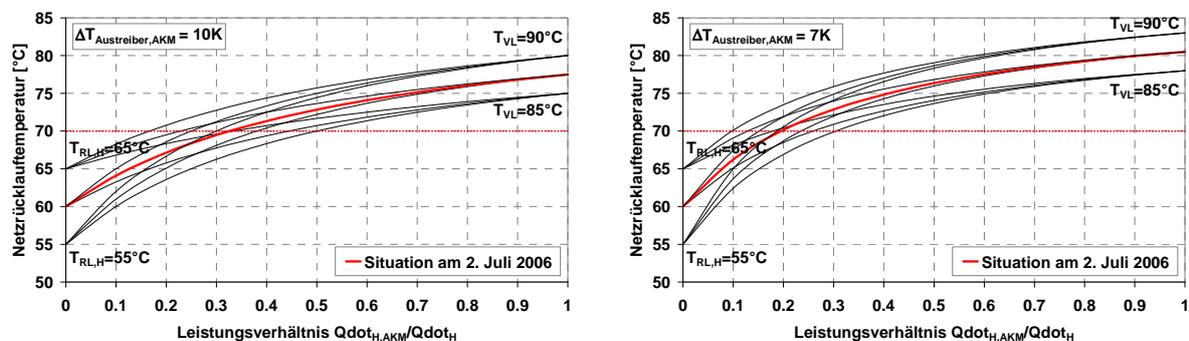


Abbildung 22: Netzurücklauftemperatur am BHKW in Abhängigkeit des Leistungsverhältnisses zwischen Generatorleistung der AKM und gesamte Heizleistung im Netz

Es ist daher notwendig, eine Netzsimulation im Sinne von dem im Kapitel 4 beschriebenen Modell durchzuführen, um damit die dynamischen Effekte analysieren zu können.

5.6.1.2. Dynamische Situation

In Abbildung 23 ist für verschiedene stündliche Werte der Massenstromzunahme die entsprechende Rücklauf Temperaturerhöhung am BHKW dargestellt: die Massenstromzunahme ergibt sich aus dem Antrieb der AKM und wird in der Form eines Prozentanteils im Bezug auf die Referenzvariante, wo das Netz ohne AKM betrieben wird (Massenstrom von ca. 5 kg/s), gegeben. So werden keine deutlichen Kennlinien erkannt, sondern Bereiche, wodurch die verschiedenen Varianten evaluiert werden können.

Eine theoretische Versetzung des Bürogebäudes in die Ortsmitte wirkt sich hauptsächlich durch eine Reduzierung der mittleren Netzurücklauf Temperaturerhöhung aus (von ca. 5 K auf ca. 4 K). Dies hängt hauptsächlich damit zusammen, dass die Netzvorlauf Temperatur in der Ortsmitte niedriger liegt (um ca. 5 K) als am ursprünglichen Standort. Dazu wird die Rücklauf Temperatur aufgrund der größeren Entfernung zum BHKW weiter abgesenkt.

In Variante 3, wo vier AKM (ohne das Bürogebäude) angeschlossen werden, erhöht sich zwar der Massenstrom von ca. 20% auf ca. 30% bezogen auf die Referenzvariante, die Rücklauf Temperaturerhöhung unterscheidet sich aber nicht grundsätzlich vom Wert aus Variante 2. Drei der vier AKM sind nämlich in der Ortsmitte angeschlossen.

In Variante 4, wo alle fünf AKM ans Netz angeschlossen werden, erhöhen sich gleichzeitig die Werte der maximalen Netzurücklaufemperatuererhöhung um ca. 2 K und der Massenstromzunahme von ca. 30% auf ca. 40% bezogen auf die Referenzvariante.

Eine detailliertere Analyse (siehe Abbildung 25) zeigt, dass in der Variante mit einer AKM im Bürogebäude der SEEG die maximale Netzurücklaufemperatuererhöhung ca. 6 K beträgt und dass dieser Wert während ca. 2 Stunden in der Variante mit fünf AKM überholt wird.

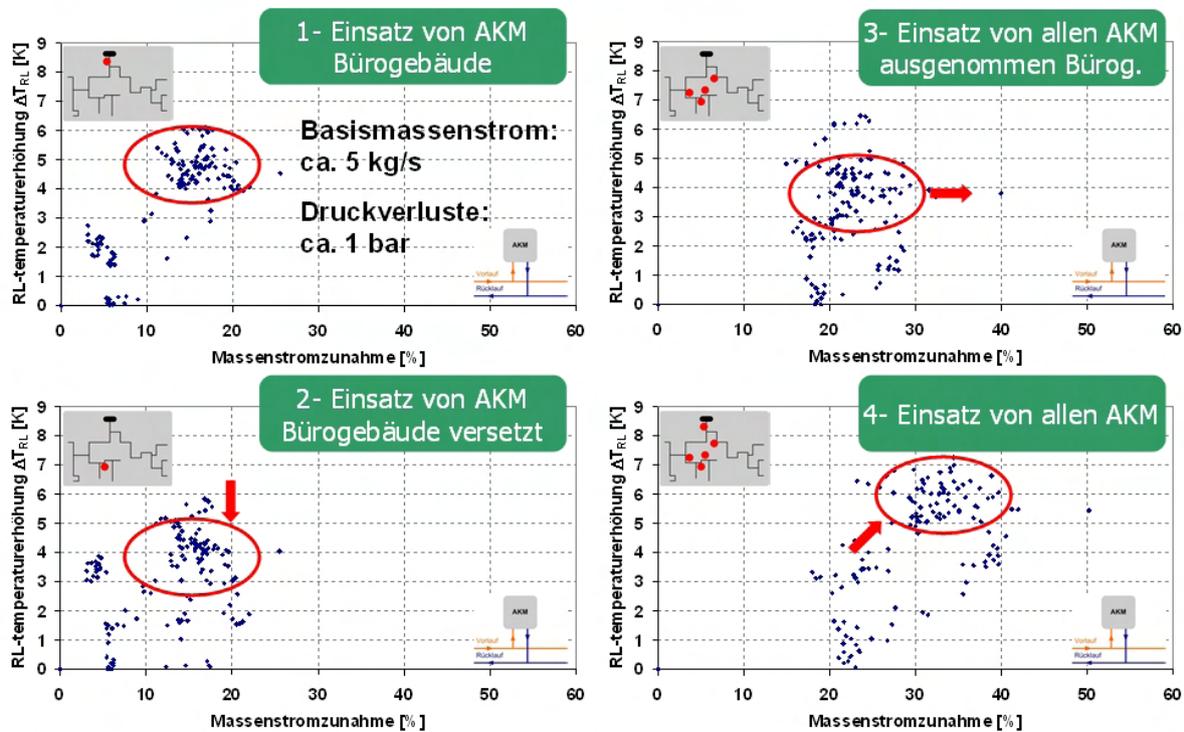


Abbildung 23: Rücklaufemperatuererhöhung bei unterschiedlicher Anzahl und Position der angeschlossenen AKM

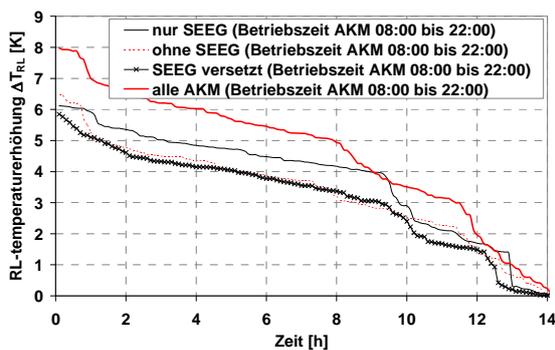


Abbildung 24: Geordnete Netzurücklaufemperatuererhöhungswerte T_{RL} für verschiedenen Varianten der Abnahmestruktur

Trotz der Erhöhung der Netzurücklaufemperatuer am untersuchten Tag bleibt der Grenzwert von 70°C unüberschritten (siehe Abbildung 25, rechts oben): sogar im ungünstigsten Fall, wo alle 5 AKM angeschlossen sind, bleibt die Netzurücklaufemperatuer immer unter 66°C. Eine stationäre Betrachtung hätte zu einem Wert zwischen 60°C und 62°C geführt, wie es Abbildung 22 zeigt, und daher wäre der Einfluss der AKM unterschätzt. Somit lässt sich die Notwendigkeit einer Simulation deutlich begründen.

5.6.2. Erhöhung der Netzvorlauftemperatur

Mit 66°C als maximalem Rücklauftemperaturwert (siehe Teil 5.6.1.2) besteht noch Potenzial zur Erhöhung der Vorlauftemperatur, und durch eine Erhöhung der Vorlauftemperatur im Ausmaß von 3 K wird nun versucht, die Kälteleistung der AKM zu steigern, um damit eine ökonomische Auslegung der AKM zu gewährleisten. Der Einfluss auf die Rücklauftemperatur am BHKW und die Vorlauftemperaturen an den AKM wird in Abbildung 25 dargestellt.

Wie Abbildung 25 (linke Seite) zeigt, liegt die Vorlauftemperatur bei „Bank 1“, „Bank 2“ und „Wirtshaus“ teilweise unter 75°C (da diese drei Abnehmer nahe beieinander am Netz liegen, ergeben sich sehr ähnliche Vorlauftemperaturwerte). Dies ist bei gegebenem Temperaturverlauf des BHKW vorrangig in den Nachtstunden der Fall, wodurch der Einfluss auf die Kaltwasserversorgung tagsüber geringer ist. Der Einfluss auf die Auslegung der Kälteleistung der AKM ist jedoch bei Temperaturen unter 80°C nach wie vor gegeben. Um die AKM bei „Bank 1“, „Bank 2“ und „Wirtshaus“ mit entsprechender Antriebstemperatur für den Generator zu versorgen, ist eine Erhöhung der Vorlauftemperatur nötig.

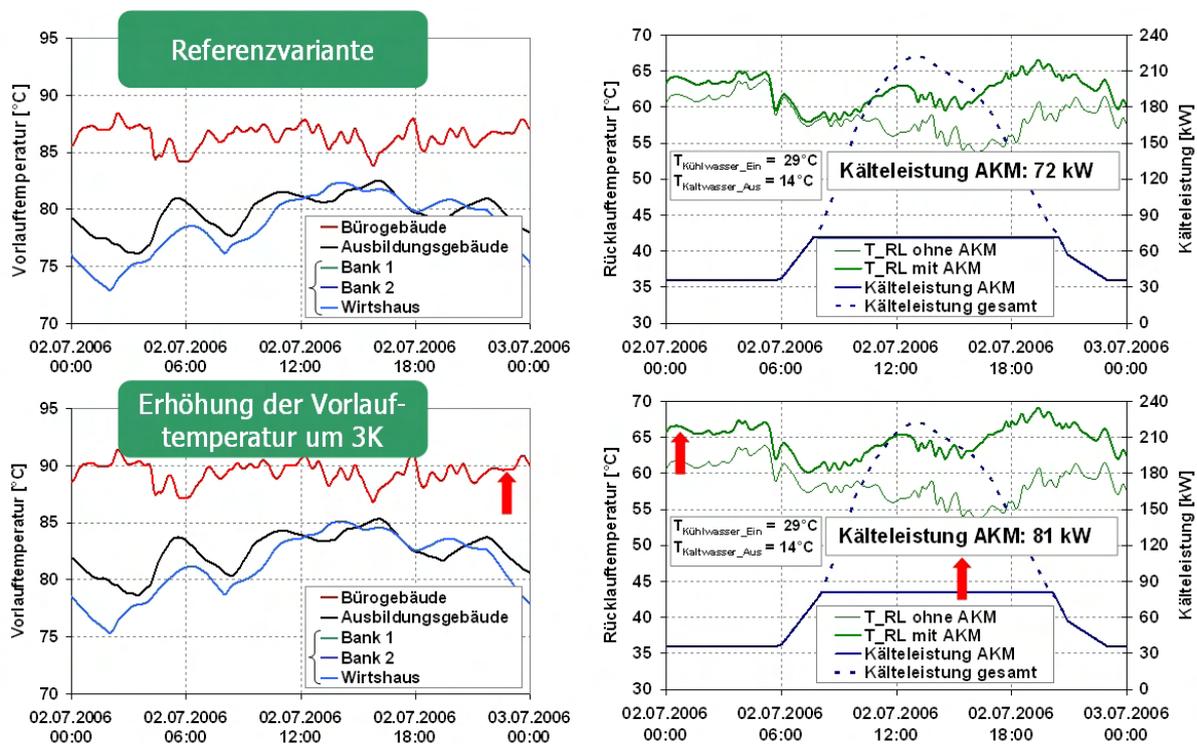


Abbildung 25: Auswirkung der Vorlauftemperaturerhöhung um 3°C

Die Forderung einer maximalen Rücklauftemperatur von 70°C wird hierbei noch erfüllt (siehe Abbildung 25, rechte Seite). Unter den angegebenen Kühl- und Kaltwassertemperaturen verursacht die Vorlauftemperaturerhöhung bei allen Abnehmern eine gesamte Kälteleistungserhöhung von 72 kW bis auf 81 kW.

5.6.3. Schlussfolgerungen: Verbesserung der Netzenergiebilanz

Wie es Abbildung 23 zeigt, liegt die maximale Temperaturerhöhung am Rücklauf des BHKW im Fall der Einbindung aller AKM im Bereich von 8 K bei einer Massenstromzunahme von ca. 40%. Die mittlere Zunahme bewegt sich bei den unterschiedlichen Varianten zwischen 4 K und 6 K (siehe Abbildung 24). Die Forderung nach einer Rücklauftemperatur kleiner als 70°C bzw. eine mögliche Rückkühlung über den Notkühler wird hierbei jedoch noch erfüllt.

Bei einer Erhöhung der Vorlauftemperatur um 3 K (siehe 5.6.2) könnten bereits Probleme auftreten, weil die geforderte Rücklauftemperatur überschritten werden könnte. Dies würde zu einer Abschaltung des Biogasmotors führen, weil die Motorkühlung nicht mehr gewährleistet werden könnte.

Der Einsatz von AKM scheint daher nur für das Bürogebäude der SEEG und das Ausbildungsgebäude sinnvoll, die nah an der Wärmeinspeisung liegen. Die AKM können daher mit ca. 87°C Vorlauftemperatur im Netz wirtschaftlich ausgelegt und betrieben werden. Um an den anderen Standorten ebenfalls weitere AKM einzusetzen, müsste der bestehende Notkühler neu dimensioniert werden, um größere Vorlauftemperaturen zu erreichen: dafür könnte der Abgaswärmetauscher im Sommer auch eingeschaltet werden. Schemenhaft sind die Temperaturbereiche für das bestehende System und bei ökonomischer Erweiterung um die fünf AKM in Abbildung 26 dargestellt, welche eine Temperaturerhöhung vom BHKW nötig machen würde.

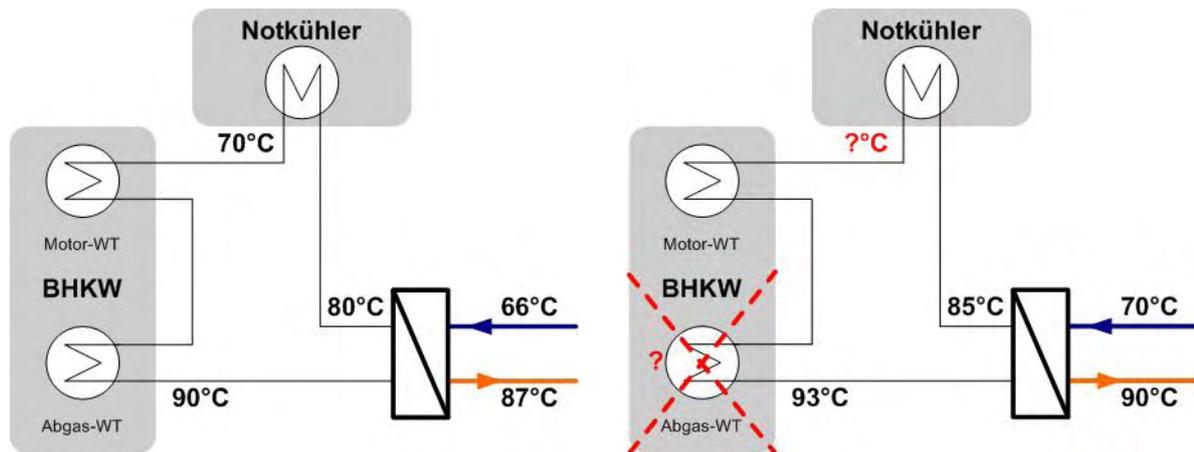


Abbildung 26: Einfluss der Erhöhung der Vorlauftemperatur im Netz auf das BHKW

Bei Erhöhung der Vorlauftemperatur aus dem BHKW auf 93°C, bei einer angenommenen Massenstromaufteilung von direkt 2/3 über den Notkühler und 1/3 aus dem Netz, ergibt sich eine um 5 K höhere Rücklauftemperatur zum Notkühler. Hierzu müsste eine Neudimensionierung des bestehenden Notlaufkühlers erfolgen, um alle AKM wirtschaftlich anschließen und betreiben zu können.

Der Einsatz der fünf AKM (Betriebszeit 08:00 – 22:00) führt im Betrachtungszeitraum zu einer Steigerung der Netzauslastung durch eine Erhöhung der Wärmeabnahme von 19.500 kWh (Warmwasserverbrauch für Brauchwasser) auf 29.200 kWh (9.700 kWh für den Antrieb der AKM). Die ins Netz eingespeiste Wärmeenergie erhöht sich von 49.500 kWh auf 63.200 kWh und der Verbrauchsanteil der eingespeisten Energie von 40% auf 46%. Im selben Maße reduzieren sich die Verluste von 60% auf 54% bezogen auf die eingespeiste Wärmeenergie (siehe Tabelle 19 und Abbildung 27). Die Vorlauftemperaturerhöhung hat aber eine geringe Auswirkung auf die Aufteilung zwischen Verbrauch und Verlusten.

Die durch den sehr geringen Massenstrom im Sommerfall und die sehr geringe Massenstromerhöhung verursachte Erhöhung des Pumpstroms führt im

Betrachtungszeitraum eines Tages zu einer Steigerung von 1,3 kWh und kann somit vernachlässigt werden.

Tabelle 19: Energiebilanz des Netzes für den Zeitraum 02.07.2006 – 09.07.2006

		Energiebilanz ohne AKM (Ist-Zustand)		Energiebilanz mit fünf AKM		Energiebilanz mit fünf AKM und eine Vorlauftemperaturerhöhung um 3 K	
Eingespeiste Energie in das Netz	\dot{Q}_{BHKW}	49.500 kWh	100%	63.200 kWh	100%	66.900 kWh	100%
Verbrauch (Wärmeabnahme)	$\dot{Q}_{Verbrauch}$	19.500 kWh	40%	29.200 kWh	46%	31.300 kWh	47%
Netzverluste	$\dot{Q}_{Verluste}$	30.000kWh	60%	34.000 kWh	54%	35.600 kWh	53%

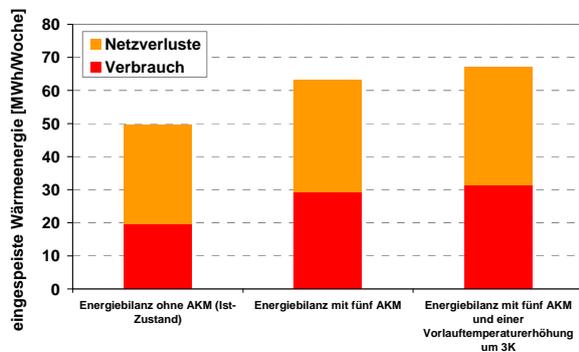


Abbildung 27: Energiebilanz des Netzes für den Zeitraum 02.07.2006 – 09.07.2006

Trotz des Einsatzes von AKM ist der Nutzungsgrad des Netzes in der untersuchten Woche weit von dem in [ÖKL, 1999] empfohlenen Wert (Jahresnutzungsgrad von 75%) entfernt. Immerhin tragen die AKM zu einer höheren Ausnutzung der eingespeisten Wärme bei.

5.6.4. Einfluss der Art der Einbindung

Es besteht die Möglichkeit, die am nächsten zur Wärmeeinspeisung angeschlossene AKM in einer Vorlauf-Vorlauf-Einbindung (Variante 2) zu konfigurieren, um die Rücklauftemperatur nicht zu sehr zu erhöhen. Mit am marktverfügbaren einstufigen AKM käme diese Konfiguration nur bei dem Bürogebäude der SEEG in Frage, da eine weitere Absenkung der Vorlauftemperatur eine sinnvolle Auslegung weiterer einstufiger AKM im Netz nicht gewährleisten würde. Die Einbindung der AKM im Vorlauf führt zu einer Absenkung der Vorlauftemperatur nach der AKM um ca. 2 K (siehe Abbildung 28) und somit zu einer geringeren Rücklauftemperatur am BHKW als bei einer konventionellen Vorlauf-Rücklauf-Einbindung. In [Gebremedhin, 2004] wird eine ähnliche Einbindung vorgeschlagen, wobei zusätzlich eine double lift Schaltung für eine zweite angeschlossene AKM empfohlen wird.

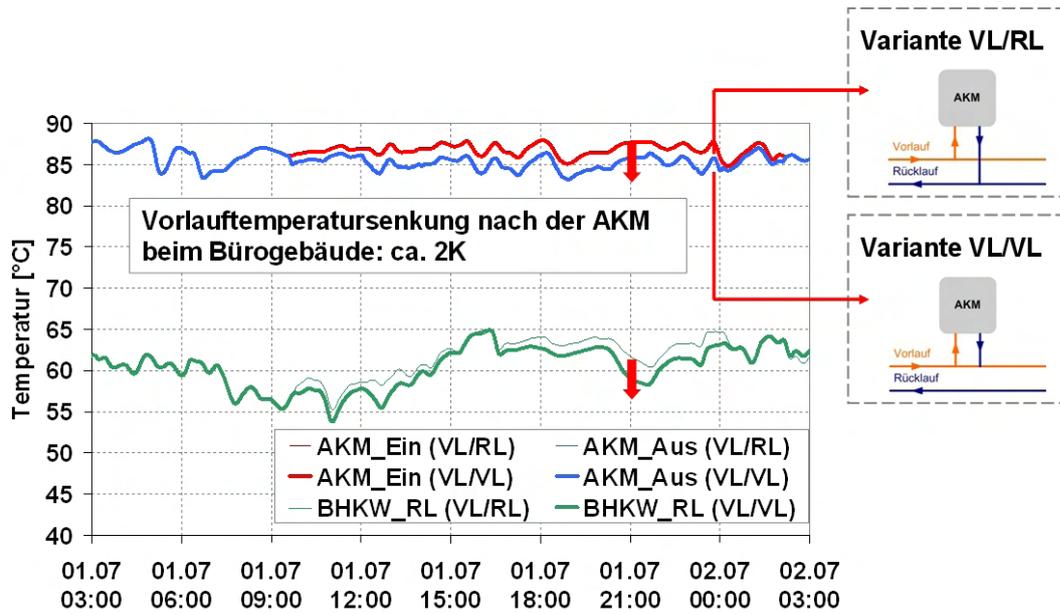


Abbildung 28: Vergleich zwischen Vorlauf-Rücklauf- und Vorlauf-Vorlauf-Einbindung

6. Technische Optimierungsmaßnahmen

Es bestehen unterschiedliche Maßnahmen, die trotz der geringen Antriebstemperaturen in gewissen Netzbereichen eine wirtschaftliche Auslegung der AKM ermöglichen. Im Teil 6.1 wird die Anhebung der Vorlauftemperatur über solarthermische Kollektoren zur Kälteleistungserhöhung simuliert und ausgewertet. Um auf der anderen Seite hohe Rücklauftemperaturen am BHKW zu vermeiden können mehrstufige Absorptionsprozesse eingesetzt werden, die eine höhere Temperaturspreizung auf der Antriebsseite verursachen. Diese Prozesse (z. B. Double Lift Schaltungen) werden im Teil 6.2 beschrieben.

6.1. Anhebung der Vorlauftemperatur über solarthermische Kollektoren

Um in Netzbereichen mit zu geringer Vorlauftemperatur ausreichendes Temperaturniveau zum Antrieb von AKM zur Verfügung zu stellen, bietet sich der Einsatz solarthermischer Kollektoren insbesondere im Sommer an. **Abbildung 29** zeigt die Einbindung eines Kollektormodells über ein Wärmeübertragermodell in der Simulationsumgebung DYMOLA [Dymola].

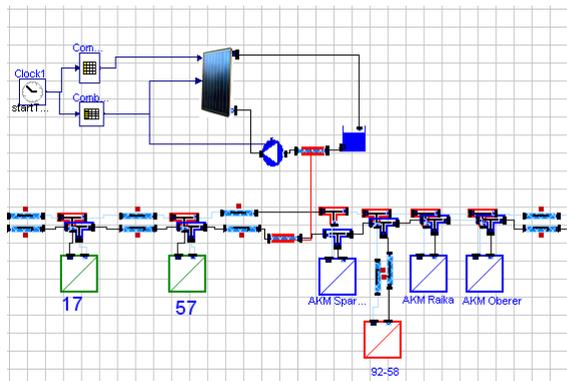


Abbildung 29: Einbindung eines solarthermischen Kollektorfeldes in das Nahwärmenetz (Simulationsumgebung DYMOLA)

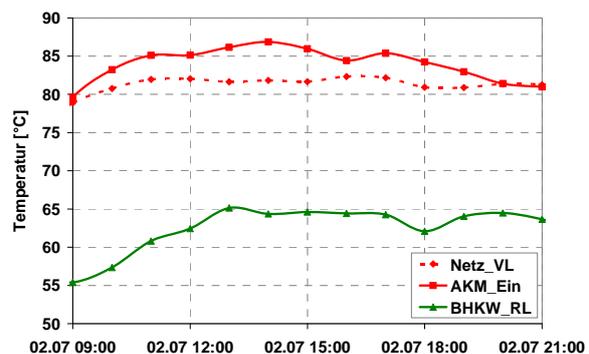


Abbildung 30: Antriebstemperaturerhebung über ein solarthermisches Kollektorfeld ($A_{\text{Koll}} = 30 \text{ m}^2$)

Mit einer Kollektorfläche von 30 m^2 lässt sich je nach Strahlungsintensität die Netzvorlauftemperatur zum Antrieb der AKM im betrachteten Zeitraum um etwa 4 K erhöhen. Dies führt zu einer geeigneten Antriebstemperatur des Generators der AKM im Tagesverlauf. Die Forderung einer Rücklauftemperatur am BHKW kleiner als 70°C wird in diesem Fall noch erfüllt. Eine Erweiterung der Kollektorfläche auf 50 m^2 würde zu einer Erhöhung der Vorlauftemperatur von ca. 8 K führen.

Eine weitere Erhöhung der Antriebstemperatur der AKM bewirkt eine zu hohe Rücklauftemperatur am BHKW und daher sollen unterschiedliche Verschaltungsvarianten der AKM kombiniert werden.

Die weitere Variante mit Solarunterstützung wird hier nicht weiter untersucht, da der notwendige Aufwand über den Projektrahmen hinausgeht. Es würde sich in diesem Fall um eine solar und mit Fernwärme angetriebene Kühlanlage handeln (siehe z. B. eine DEC Anlage in [Podesser, 2000]). Bei solaren Kühlanlagen spielt die Korrelation zwischen Kühlbedarf und solarem Strahlungsangebot eine maßgebliche Rolle bei der Wirtschaftlichkeit der Anlage; gerade bei Hotels und Krankenhäusern, wo neben dem Kühlenergiebedarf der Warmwasserbedarf auch hoch ist, erreichen solare Kühlanlagen rascher eine attraktive

Wirtschaftlichkeit (siehe [Preisler, 2008]). Im Fall einer Kombination mit Nahwärme sollte genau untersucht werden, zu welchem Verhältnis der gesamte jährliche Wärmeenergiebedarf (inkl. zum Antrieb von AKM) von der Nahwärme und von den Solarkollektoren abgedeckt werden sollte, um die Wirtschaftlichkeit des Gesamtsystems (Nahwärme und Solarkollektoren) zu überprüfen.

6.2. Nutzung von mehrstufigen Absorptionskältemaschinen

Die Stufigkeit der internen Verschaltung von Absorptionskältemaschinen wird über die Bezeichnungen „Effect“ und „Lift“ beschrieben. Im deutschsprachigen Raum gibt es keine einheitliche Definition dieser Begriffe; es werden hier die Definitionen laut [Richter, 2003] genutzt:

- Die Bezeichnung „Effect“ bezieht sich auf die ein- oder mehrmalige Nutzung der zugeführten Heizenergieeinheit: bei hohen Druck- und Temperaturverhältnissen kann die im Hochtemperaturkondensator anstehende Wärme zum Antrieb eines zweiten Generators auf niedrigerem Druck- und Temperaturniveau genutzt werden. Dadurch wird der COP einer Absorptionskältemaschine erhöht.
- Die Bezeichnung „Lift“ bezieht sich auf die ein- oder mehrmalige Zuführung von Heizenergie für die Kälteenergienutzung: bei niedrigen Antriebstemperaturniveaus kann Kältemitteldampf über zwei Stufen zum gewünschten Kondensationsdruck gebracht werden. Es ergibt sich dabei ein schlechter COP, da zwei Heizenergieeinheiten zur Erzeugung einer Kälteenergieeinheit notwendig sind.

Eine detaillierte Beschreibung der verschiedenen Möglichkeiten der internen Verschaltung von Absorptionskältemaschinen ist in [Richter, 2003] zu finden. Die heute marktüblichen und in dieser Arbeit untersuchten AKM im Kleinstleistungsbereich beruhen auf der Schaltungsvariante Single Effect / Single Lift. AKM können an die Einsatzbedingungen in Nahwärmenetzen durch unterschiedliche Schaltungsvarianten angepasst werden. Im Folgenden wird ein Überblick über die möglichen Lösungen gegeben.

6.2.1. Single Effect / Single Lift und Single Effect / Double Lift Schaltungen

Abbildung 31 zeigt eine Single Effect / Single Lift Schaltung. Das Problem in einer Reduktion der Austrittstemperatur aus dem Generator liegt in der Begrenzung der Kühlwassertemperatur am Absorbereintritt. Mit den üblichen Rückkühlanlagen liegen die Kühlwassereintrittstemperaturen am Absorber über 25°C, und daher ist die Temperaturspreizung auf der Heizwasserseite am Generator begrenzt. Um eine größere Temperaturspreizung zu ermöglichen sollte die Kühlwassereintrittstemperatur niedrige Werte erreichen; diese werden aber über marktübliche Rückkühler nicht erreicht. Die Auswirkungen der Einbindung einer solchen AKM in ein Nahwärmenetz werden in 5.6.1 ausgewertet.

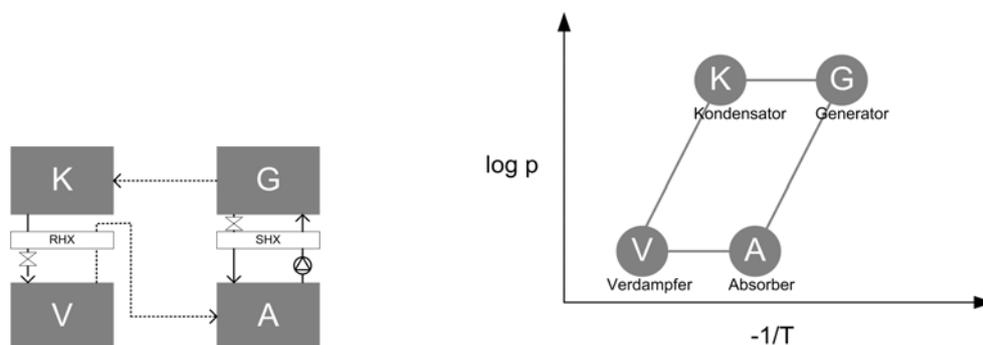


Abbildung 31: Single Effect / Single Lift Schaltung

Für diese Schaltungsvariante ist ein Antriebstemperaturniveau von ca. 80 bis 120°C notwendig, um COP-Werte zwischen 0,5 und 0,75 zu erreichen.

Abbildung 32 zeigt eine erste Möglichkeit, die Antriebstemperatur deutlich zu senken. Hierbei handelt es sich um eine Double Lift Schaltung, die bei deutlich geringerem Antriebstemperaturniveau am Generator arbeitet. Allerdings liegt hierbei der COP nur mehr im Bereich von 0,35 bis 0,42, weil zwei Heizeneinheiten zur Erzeugung einer Kälteeneinheit gebraucht werden. Der Antrieb der beiden Generatoren kann bei unterschiedlichen Temperaturen erfolgen. Wenn beide Generatoren in Serie geschaltet werden, ergibt sich eine größere Temperaturspreizung.

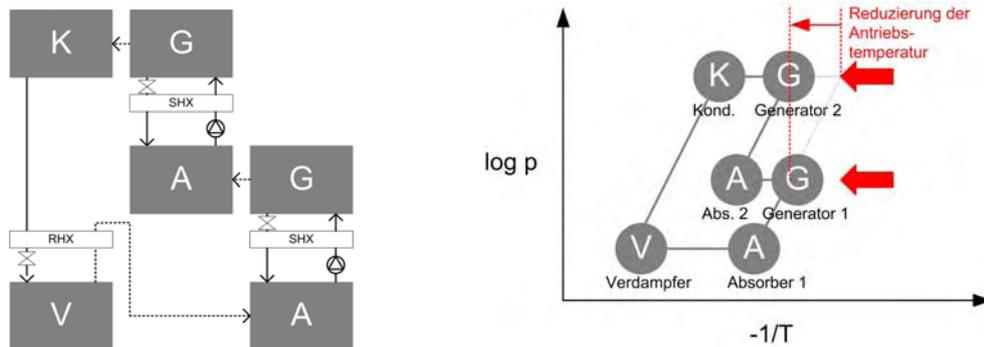


Abbildung 32: Single Effect / Double Lift Schaltung

Eine weitere Optimierungsmöglichkeit der internen Verschaltung bietet die Single Effect / Single Lift-Double Lift AKM, wie in Abbildung 33 gezeigt wird. Hierbei liegt die nötige Antriebstemperatur der AKM durch den Einsatz eines dritten Generators wieder im Bereich von 95-120°C. Der COP erhöht sich im Vergleich zur einfachen Single Effect / Double Lift Schaltung (Abbildung 32) daher wieder auf ca. 0,5 – 0,7 bei gleichzeitiger Reduktion der Heizwasseraustrittstemperatur am Generator. Wie in [Gaderer, 2000] und [Schweigler, 1996] beschrieben, werden in dieser Variante die verschiedenen Generatoren in Serie geschaltet. Diese Verschaltung ermöglicht somit eine größtmögliche Spreizung über die Generatorserie bei gleichzeitig guten Werten für den COP.

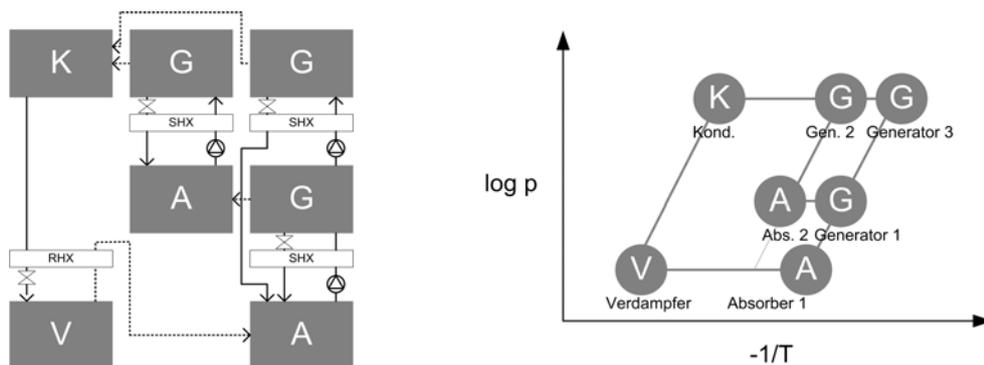


Abbildung 33: Single Effect / Single Lift-Double Lift Schaltung

Die ersten Großkälteanlagen mit dieser Schaltung wurden bereits am Ende der 90er Jahre in Berlin [Schweigler, 1996] und München [Schweigler, 1999] realisiert. Im Kleinleistungsbereich müsste eine detaillierte ökonomische Betrachtung durchgeführt werden, um das Kosten/Nutzen Verhältnis des apparativen Mehraufwandes dieser Verschaltung zu evaluieren.

6.2.2. Double Effect / Single Lift Schaltungen bei Kopplung mit BHKW

Für den Fall einer möglichen Nutzung einer AKM durch Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung empfiehlt sich der Einsatz einer Double Effect / Single Lift Schaltung, wie es Abbildung 34 zeigt. Diese kann in verschiedenen Varianten ausgeführt werden (siehe [Gaderer, 2000] und [Richter, 2003]) und erlaubt die Nutzung höherer Antriebstemperaturen in einem Hochtemperaturgenerator (Nutzung der Motorabgase aus dem BHKW) und die Nutzung geringerer Antriebstemperaturen (Motorkühlwasser) in einem Niedertemperaturgenerator.

Dies führt zu COP-Werten von 0,95 – 1 in der Variante von Abbildung 34. In [Richter, 2003] wird eine ähnliche Konfiguration beschrieben, in der das aus dem Hochtemperaturgenerator ausgetriebene Kältemittel den Antrieb vom Niedertemperaturgenerator unterstützt, und daher nur ein Kondensator verwendet wird. Daher werden höhere COP-Werte erreicht.

In der letzten Variante (siehe Abbildung 35) wird die Kondensationswärme aus dem Hochtemperaturkondensator zum Antrieb des Niedertemperaturgenerators genutzt, was zu COP-Werten von bis 1,2 führen kann.

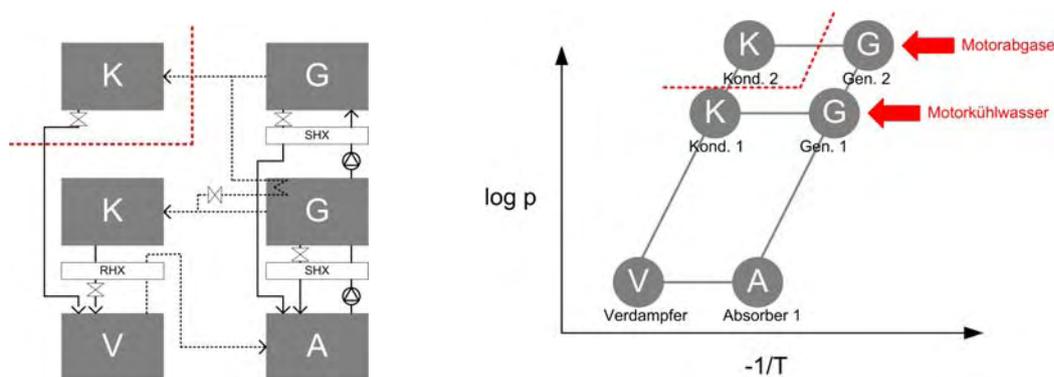


Abbildung 34: Double Effect / Single Lift (mit einem Kondensator)

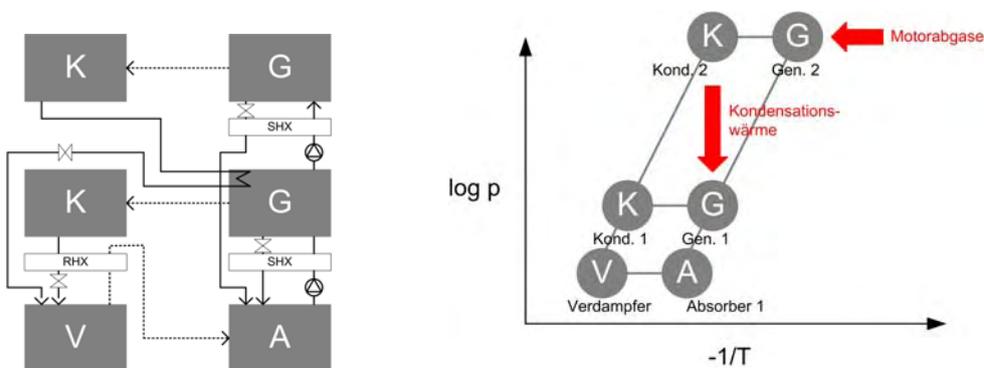


Abbildung 35: Double Effect / Single Lift (mit zwei Kondensatoren)

Solche Anlagen werden im großen Leistungsbereich meistens in Industrieanlagen gebaut (> 100 kW).

7. Gebäudemonitoring

Als Vorbereitung zu einem eventuellen Einsatz einer AKM in einem bestehenden Gebäude wurde ein Bürogebäude aus der Potenzialerhebung (siehe Teil 3.3) während einer Kühlsaison messtechnisch begleitet, um einen Ausgangspunkt (Referenzvariante) zu definieren. Aufgrund der für den Einsatz einer AKM geeigneten Bedingungen (Nähe zur Wärmeeinspeisung, Größe der Fernwärmeübergabestation...) wurde das Bürogebäude der SEEG ausgewählt. Das Gebäude wird derzeit über Raumklimageräte gekühlt und bietet die Möglichkeit an, den tatsächlichen Stromverbrauch solcher Kühlgeräte zu messen. Aufgrund der in Tabelle 8 genannten Gründen konnte die bereitgestellte Kühlenergie nicht gemessen werden und daher bleibt die tatsächliche Energieperformance dieser Kühlgeräte unbekannt (im Folgenden wird eine Annahme zur Jahresarbeitszahl dieser Geräte getroffen). Es konnten jedoch über das hier ausgeführte Gebäudemonitoring reale Verbrauchswerte von Raumklimageräten gesammelt werden, die dann als Grundlage für die Wirtschaftlichkeitsberechnung im Teil 8 herangezogen werden.

7.1. Monitoringaufbau

7.1.1. Innenraummonitoring

Zeitverläufe der Innenraumtemperatur in den einzelnen Räumen des untersuchten Bürogebäudes wurden erstellt. Diese Messdaten werden in weiterer Folge den Stromverbrauchsmessungen der Raumklimageräte in diesen Räumen gegenübergestellt.

Um alle erforderlichen Daten aufnehmen zu können wurde in jedem gekühlten Raum ein Temperaturfühler installiert. Außerdem wurden die Außentemperatur und die relative Feuchte vermessen. In Abbildung 36 ist die genaue Anordnung der Fühler ersichtlich. Für die Vermessung der Innenraumtemperaturen wurden Pt100 Temperaturfühler verwendet. Ein Temperatur und Feuchtetransmitter wurde zur Bestimmung der relativen Luftfeuchtigkeit im Gebäude in einem der Büroräume installiert. Ein weiterer Transmitter wurde zur Bestimmung der Außentemperatur und Feuchte verwendet. Die Solareinstrahlung wurde mit einem Pyranometer gemessen.

Mit einem Datenlogger wurden die Messwerte des Gebäudes automatisch erfasst. Mittels eines GSM-Modems wurden sie an dem Monitoring-Server in arsenal research weitergeleitet.

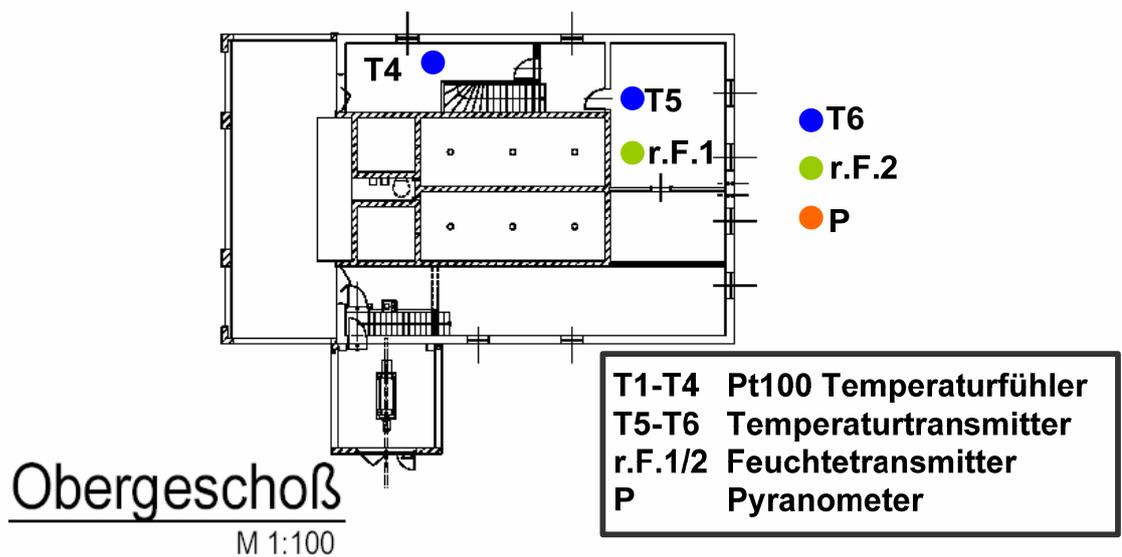
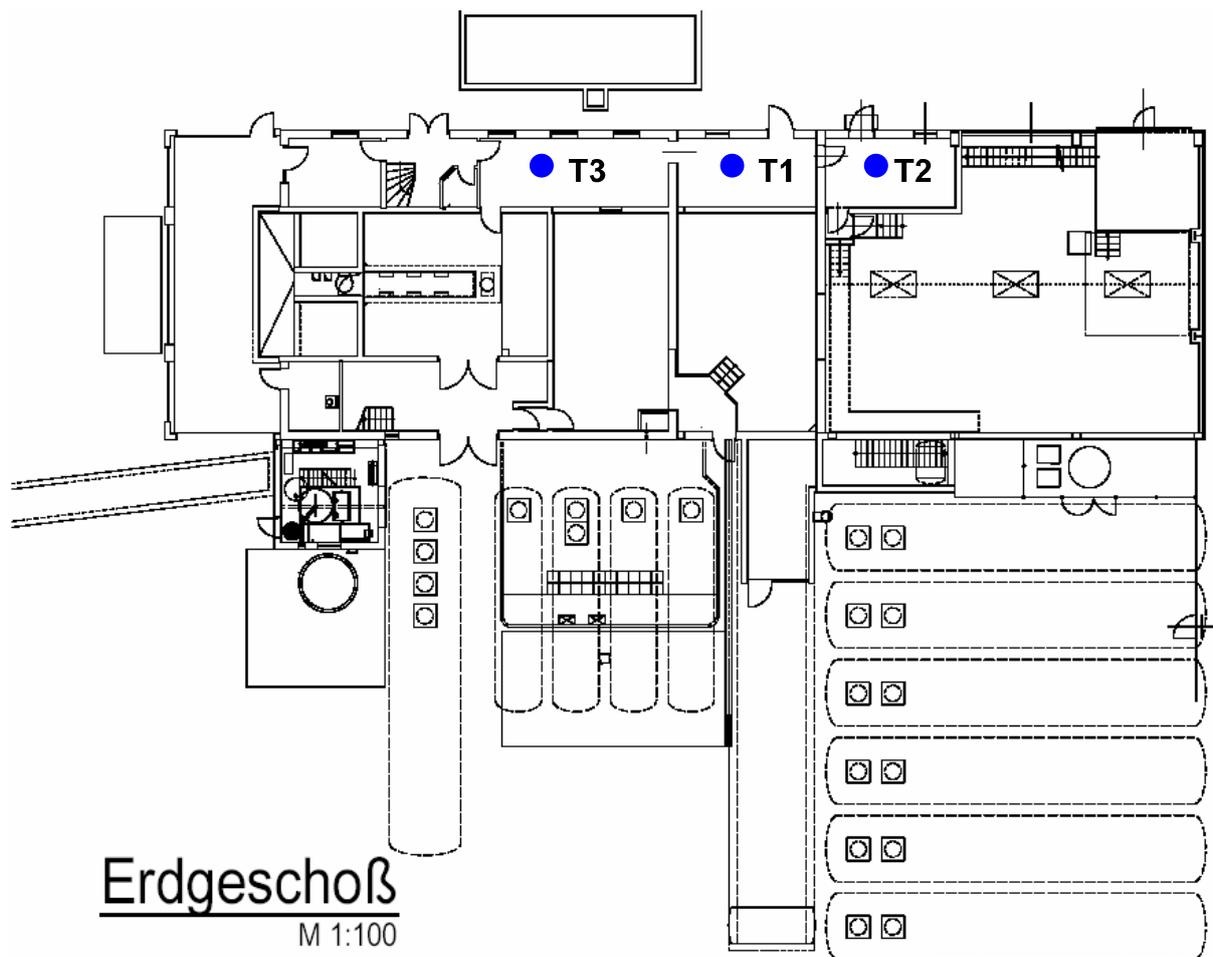


Abbildung 36: Messstellenplan

7.1.2. Raumklimageräte

Im untersuchten Bürogebäude sind 5 Raumklimageräte in Einsatz. Diese bestehen aus 4 Splitgeräten und 1 Multisplitgerät, das mit 1 Außeneinheit und 2 Inneneinheiten 2 Räume versorgt (siehe Außeneinheit n°1 auf Abbildung 37). Die Stromverbrauchsmessung erfolgt bei den Außeneinheiten, wo jeweils der Gesamtstromverbrauch jedes Raumklimageräts gemessen wird.

Dies beinhaltet:

- den Verdichterstromverbrauch
- die Ventilatorstromverbräuche der Innen- und Außeneinheiten



Abbildung 37: Außeneinheiten der Raumklimageräte und Raumzuordnung

Im Folgenden werden die Raumklimageräte mit den folgenden Abkürzungen bezeichnet:

- RKG1: Schaltwarte 1 und 2 (2 Räume: Multisplitklimagerät)
- RKG2: Küche
- RKG3: großes Büro im 1. Stock
- RKG4: kleines Büro im 1. Stock
- RKG5: Archivbüro im 1. Stock

Die Stromzähler nehmen die Verbrauchswerte mit einem 15 Minuten Zeitschritt auf. Damit werden die mittlere Leistung während dieser Zeit sowie der gesamte Stromverbrauch während eines ausgewählten Zeitintervalls berechnet.

Die Raumklimageräte werden manuell gesteuert. Die Betriebszeiten sowie die Leistungen werden von den Nutzern je nach Bedarf eingestellt.

7.2. Gesamter Stromverbrauch und Raumtemperatur

Obwohl die Messdatenerfassung Mai 2007 gestartet wurde, sind lückenlose Datensätze der Stromzähler nur von der Periode vom 12. Juli 2007 (00:00) bis zum 09. Juli 2008 (00:00) vorhanden und ohne weitere Annahmen auswertbar. Der Stromverbrauch aller Raumklimageräte wird für jeden Monat von Juli 2007 bis Juli 2008 aufsummiert, und die Werte vom 12. Juli 2007 bis zum 31. Juli 2007 werden mit den Juliwerten von 2008 kombiniert, um einen vollständigen Datensatz für Juli zu bilden. Die Messergebnisse können damit für ein ganzes Jahr (August 2007 bis Juli 2008) aufgezeigt werden.

In Abbildung 38 wird der monatliche Stromverbrauch der verschiedenen Geräte aufsummiert und gemeinsam mit der monatlichen Mitteltemperatur dargestellt. Für die Kühlung der 6 Räume (inkl. Schaltwarte) ergibt sich ein gesamter Stromverbrauch von ca. 6.500 kWh/Jahr in der untersuchten Periode: dies entspricht Gesamtkosten von 845 €/Jahr (mit 0,13 €/kWh).

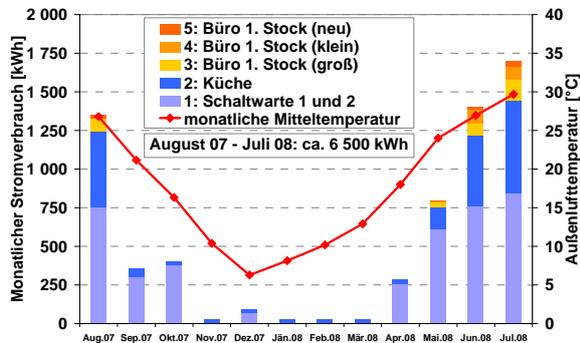


Abbildung 38: Monatlicher Stromverbrauch der Raumklimageräte

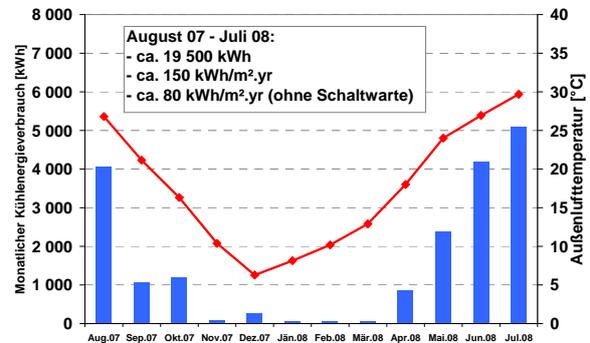


Abbildung 39: Monatlicher Kühlenergieverbrauch

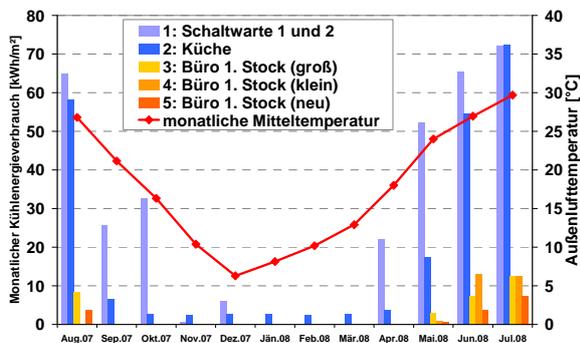


Abbildung 40: Spezifischer Monatlicher Kühlenergieverbrauch

Unter der Annahme einer Jahresarbeitszahl von 3 (siehe Diskussion zu dieser Annahme im Teil 8.1.1.2) und ohne Berücksichtigung von eventuellen Schwankungen (Teillastverhalten) ergibt sich ein Kühlenergieverbrauch (i. e. ein aus den Räumen abgeführte Wärmestrom) von $150 \text{ kWh}_{\text{cool}}/\text{m}^2_{\text{NF}}.\text{yr}$ (mit Berücksichtigung der Schaltwarte) bzw. $80 \text{ kWh}_{\text{cool}}/\text{m}^2_{\text{NF}}.\text{yr}$ (ohne Berücksichtigung der Schaltwarte) (siehe Abbildung 39). Die Raumklimageräte zur Büroraumkühlung wurden während der Monate Mai bis August genutzt, wobei die größten Verbräuche nur im Juli und August gemessen wurden. Von September bis April wurden nur die Küche und die Schaltwarte gekühlt. In den zwei ersten Dezemberwochen ist ein abnormal hoher Stromverbrauch festzustellen, der sich vermutlich aufgrund einer fehlerhaften Nutzung (manuelle Einstellung) der Raumklimageräte für die Schaltwarte ergeben hat.

Von Juni bis August werden je nach Raum spezifische Kühlenergieverbrauchswerte von 5 bis $10 \text{ kWh}_{\text{cool}}/\text{m}^2_{\text{NF}}.\text{Monat}$ gerechnet.

Abbildung 42 zeigt die spezifische Leistungskurve sowohl für die Stromaufnahmeleistung als auch für die Gesamtkälteleistung aller Raumklimageräte (unter der Annahme eines konstanten COP von 3). Die Raumklimageräte zur Büroraumkühlung wurden während eines Zeitraums von etwa 1.500 Stunden mit einer Stromaufnahmeleistung von unter $30 \text{ W}/\text{m}^2$ in den meisten Stunden betrieben. Während ca. 100 Stunden wurden Spitzenleistungen von

max. 55 W/m² gemessen. Wenn die Schaltwarte mitberücksichtigt wird erhöht sich die Anzahl an Betriebsstunden bis auf ca. 4.500 Stunden.

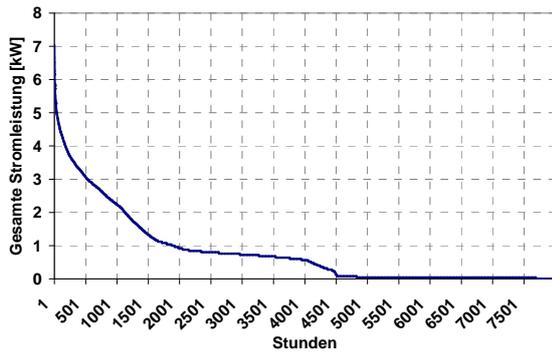


Abbildung 41: Jahresdauerlinie (absolute Werte)

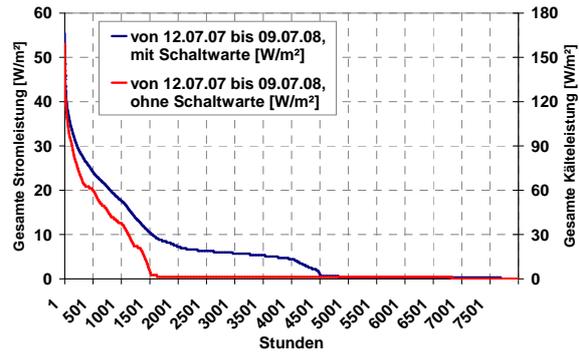
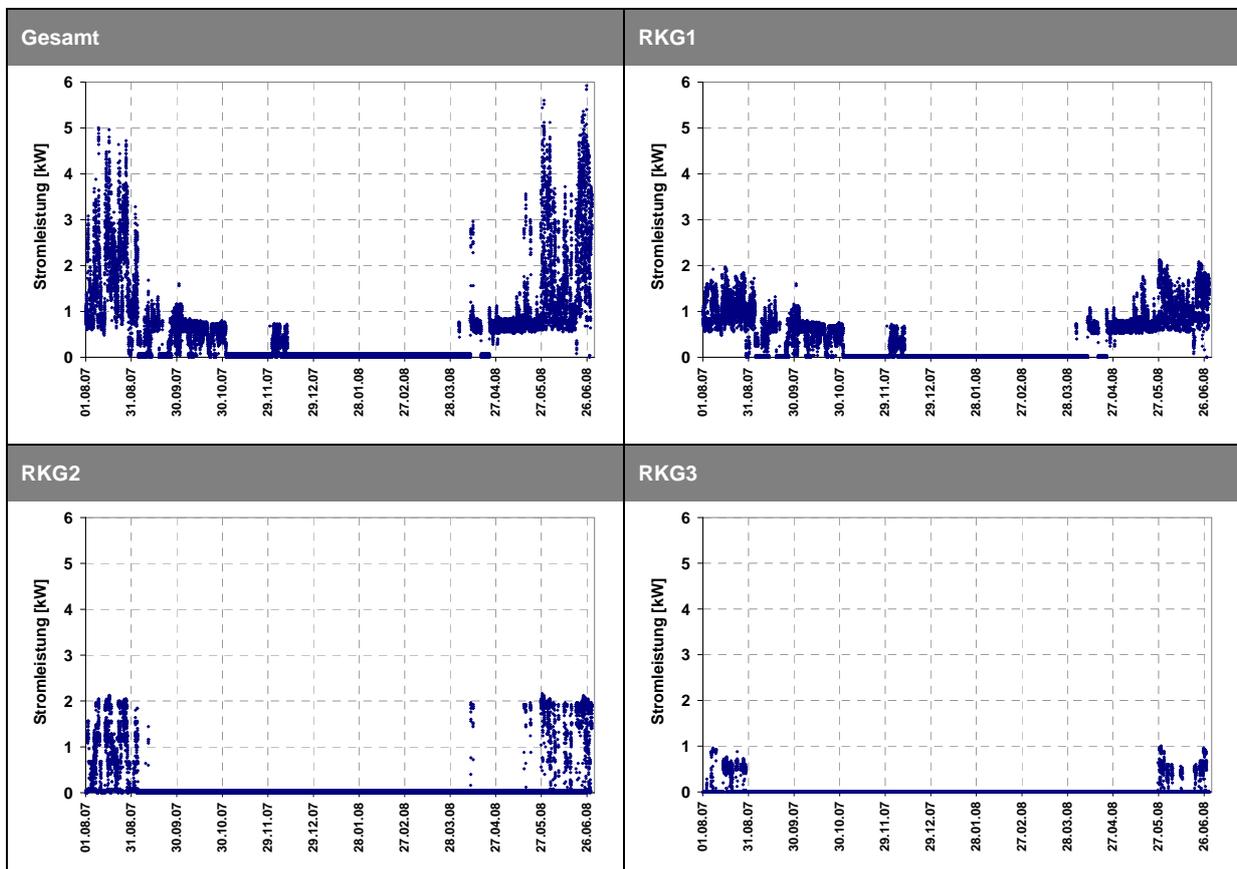


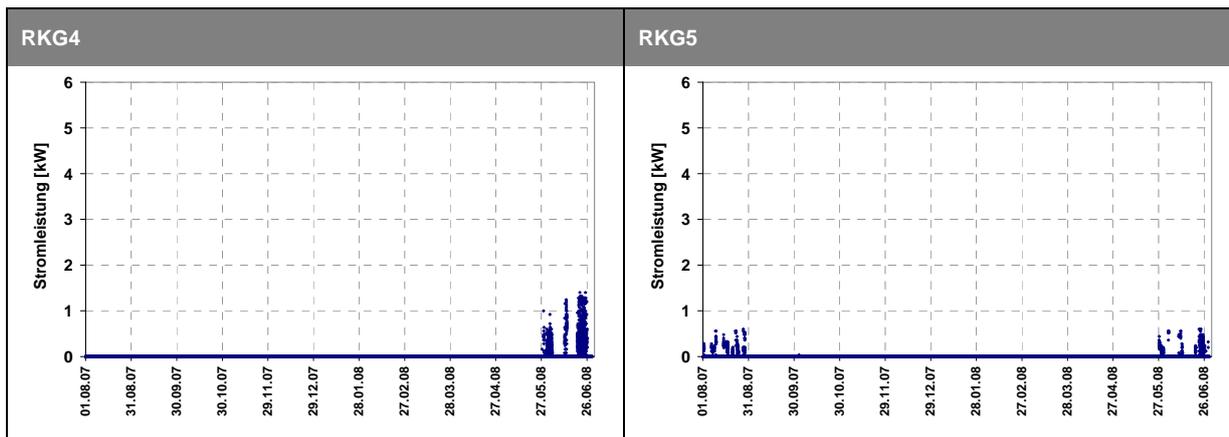
Abbildung 42: Jahresdauerlinie (spezifische Werte)

Aus Abbildung 42 wird ersichtlich, dass die Grundlast von ca. 0,7 kW auf der Jahresdauerlinie aus Abbildung 41 dem Betrieb der Raumklimageräte der Schaltwarte entspricht, die im Sommer permanent in Betrieb sind.

Die Stromaufnahmeleistung der verschiedenen Raumklimageräte wird in Tabelle 20 für eine Dauer von ca. 1 Jahr aufgezeigt. Die Raumklimageräte zur Kühlung der Schaltwarte weisen die meisten Betriebsstunden auf (RKG1). Der abnormale Betrieb der Anlage während der zwei ersten Dezemberwochen ist gut erkennbar.

Tabelle 20: Jährliche Verläufe der Stromaufnahmeleistung der verschiedenen Raumklimageräte

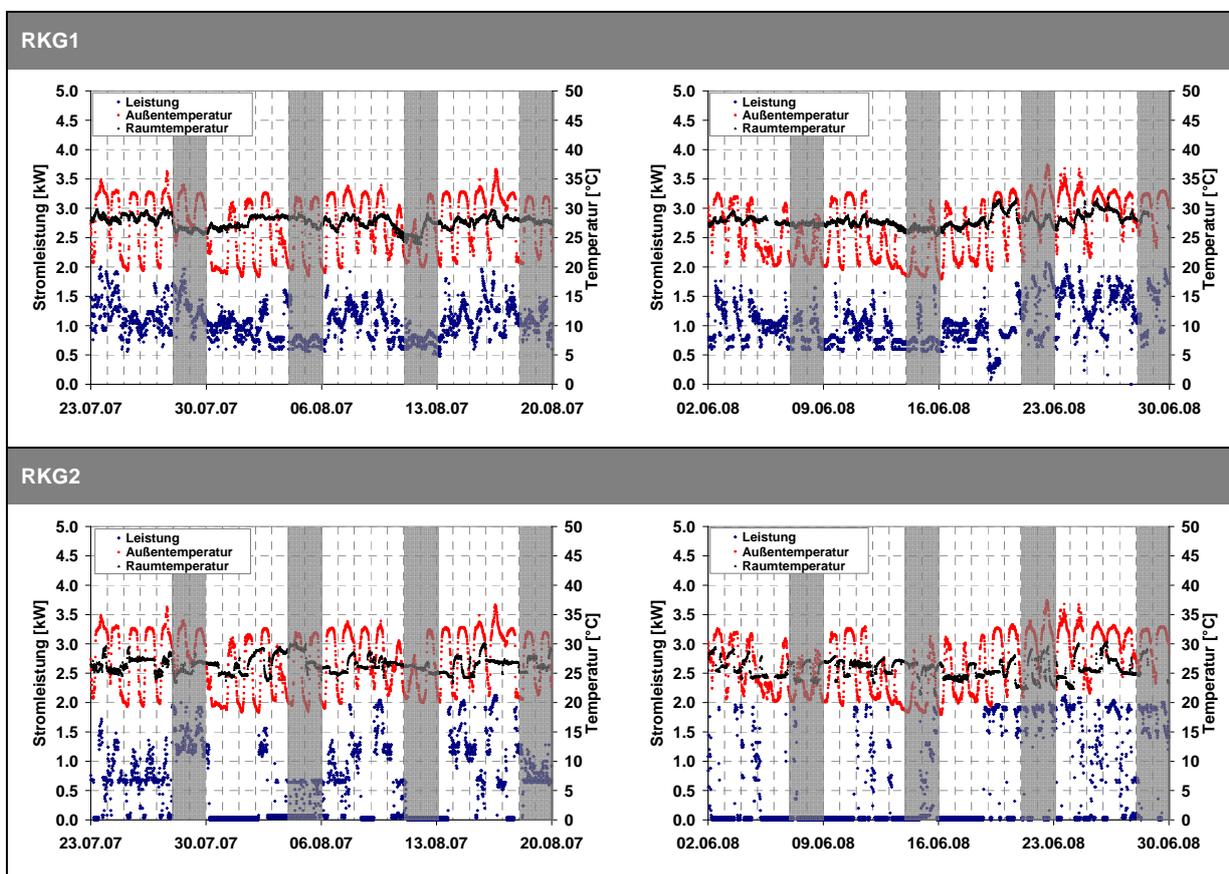




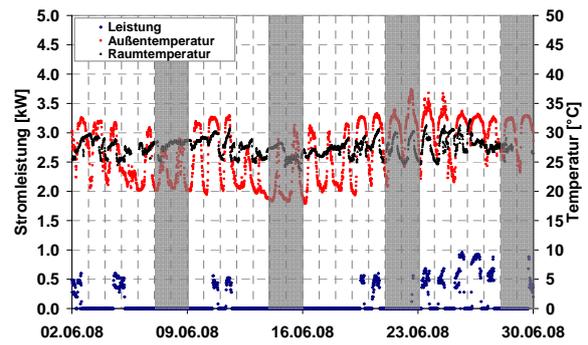
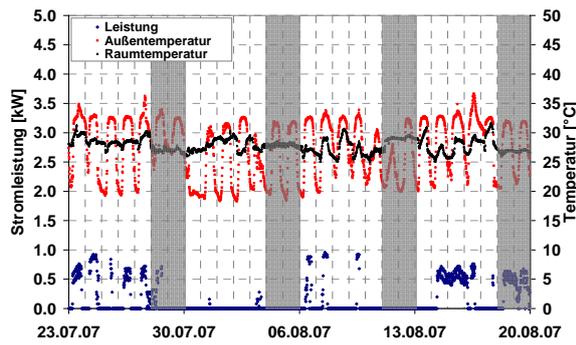
In den Büroräumen (RKG 3 bis 5) werden die Raumklimageräte sehr selten betrieben, obwohl die Innenraumtemperaturen fast immer in einem Bereich zwischen 25°C und 30°C schwanken (siehe Tabelle 21). Es ist ein typisches Werktagprofil zu erkennen, wobei die Urlaubstage in der Periode Ende Juli-August deutlich erkennbar sind.

Beide Räume, in der die Schaltwarte untergebracht ist (RKG1), sind durch eine Grundlast von ca. 0,6 kW_{el} gekennzeichnet. Es gibt eine minimale Stromaufnahme (Grundlast) während der in Tabelle 21 dargestellten Monate; dies gilt sowohl für Werk- als auch für Sonntage. Bei höheren Außentemperaturen steigt die Stromleistung, da sich der Kühlenergiebedarf dementsprechend erhöht.

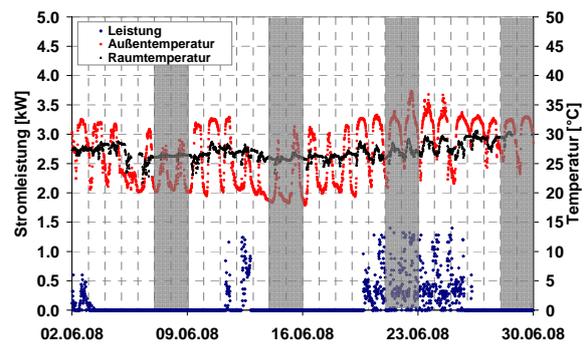
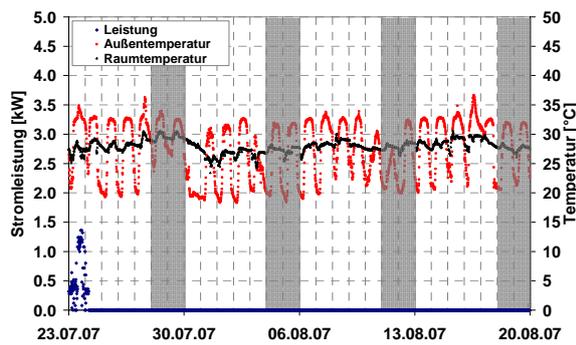
Tabelle 21: Verläufe der Stromaufnahmeleistung und der Innenraumtemperatur für zwei ausgewählten Wochen



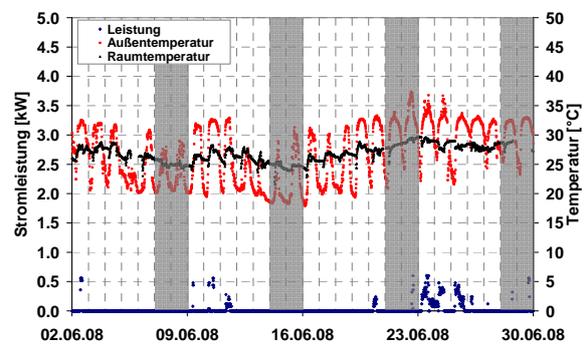
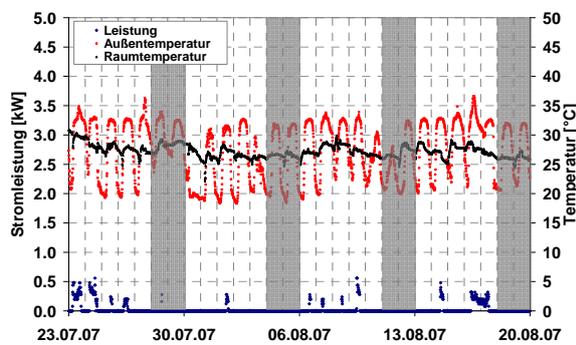
RKG3



RKG4

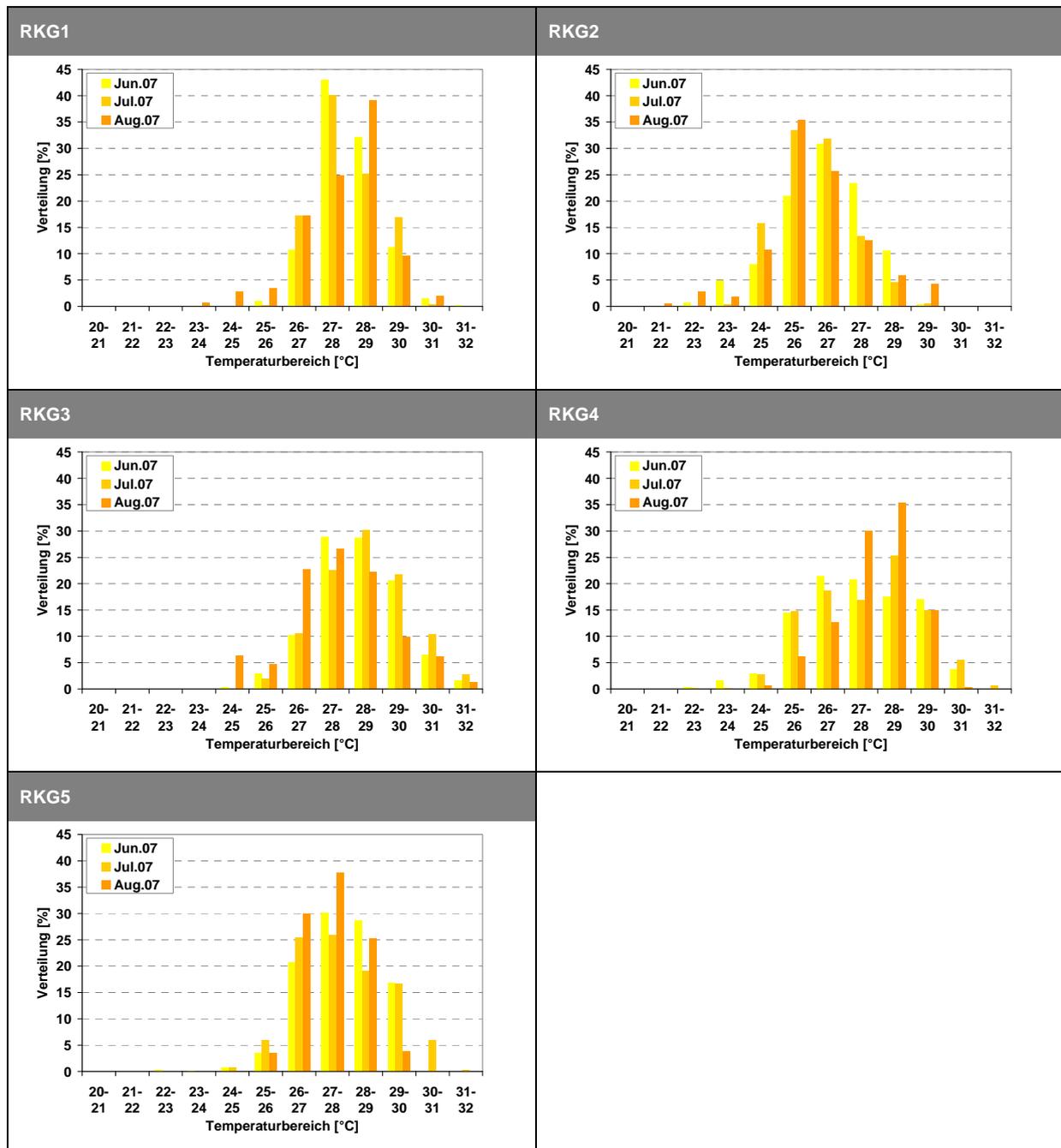


RKG5



Eine detaillierte Analyse der Komfortbedingungen in den untersuchten Räumen wird durch Tabelle 22 ermöglicht. Mit Ausnahme der Küche treten in allen anderen Räumen Temperaturen in einem Bereich von 27°C bis 29°C auf. Die Küche befindet sich im Erdgeschoss und reagiert weniger auf die externen Kühllastschwankungen als die Büroräume unter dem Dach im ersten Obergeschoss. Des Weiteren sind die spezifischen internen Lasten in den Büroräumen (EDV-Ausrüstung und Personen) höher als in der Küche.

Tabelle 22: Verteilung der Innenraumtemperatur während der Arbeitsstunden in den Monaten Juni bis August 2007

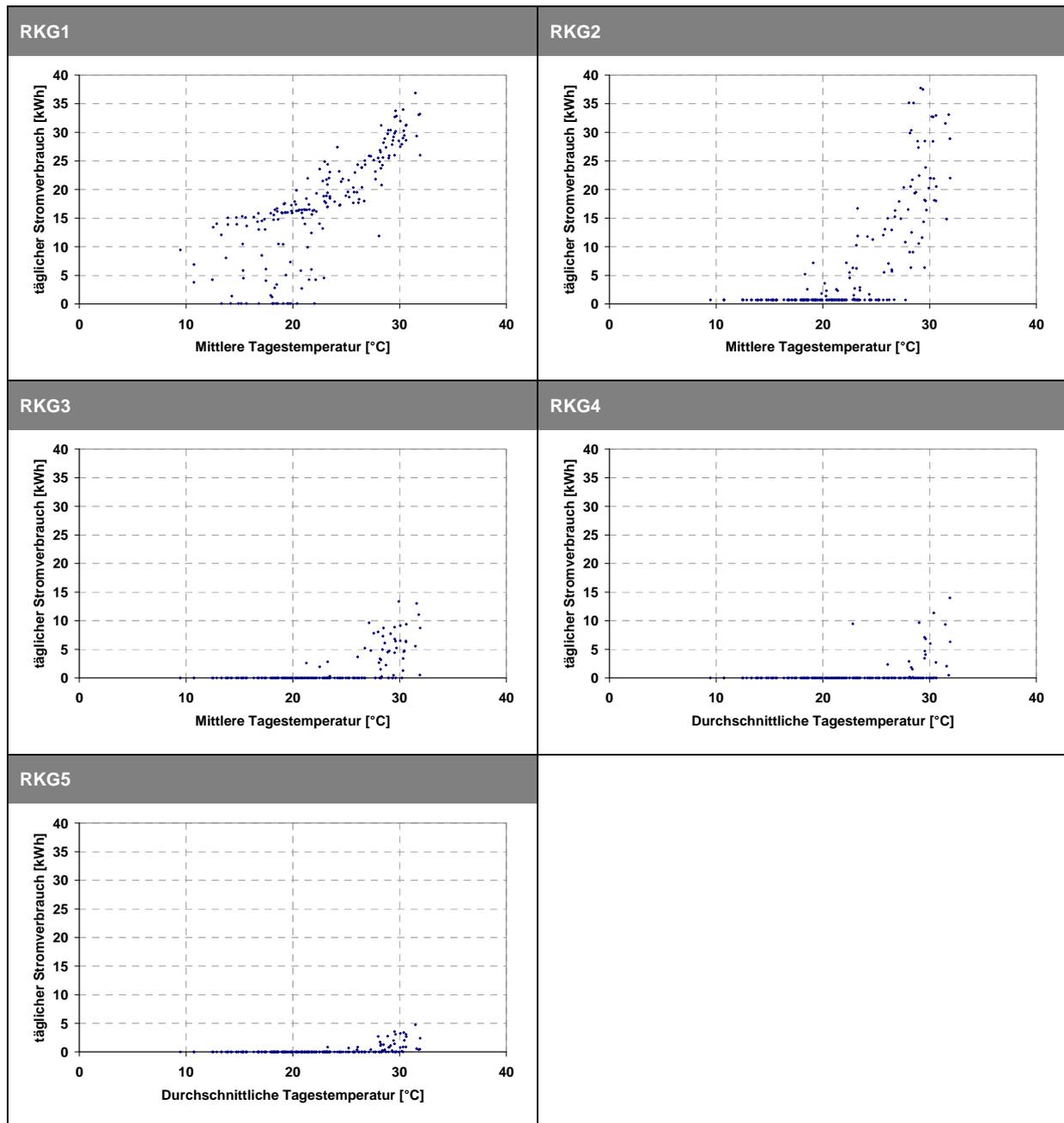


Die höchsten Temperaturen werden im Raum mit der Schaltwarte sowie im großen Büroraum am ersten Geschoss gemessen.

7.3. Außentemperaturabhängigkeit

Es ist beim untersuchten Bürogebäude keine deutliche Abhängigkeit zwischen Stromaufnahmeleistung und momentaner Außentemperatur zu erkennen. Wenn statt der Stromaufnahmeleistung und der momentanen Außentemperatur der tägliche Stromverbrauch und die mittlere tägliche Außentemperatur dargestellt werden, lassen sich Tendenzen formulieren (siehe Tabelle 23).

Tabelle 23: Abhängigkeit zwischen täglichem Stromverbrauch und mittlerer Außentemperatur



In den Büroräumen werden ab einer mittleren Außenlufttemperatur von über 25°C die Raumklimageräte in der Regel eingeschaltet. Die Höhe des Stromverbrauchs kann nicht in Abhängigkeit der mittleren Außenlufttemperatur bestimmt werden. Wie aus Tabelle 21 ersichtlich, werden die Geräte selten genutzt. Deren Betrieb wird manuell eingestellt und ist stark vom Nutzerverhalten abhängig; es ist daher schwierig, richtige Betriebsmuster zu erkennen, wie es bei größeren Gebäuden mit Gebäudeleittechnik der Fall ist. Aufgrund des größeren Kühlenergiebedarfs und längeren Betriebszeiten der Raumklimageräte sind die Tendenzen für die Schaltwarte und die Küche deutlicher zu erkennen.

8. Ökonomische und primärenergetische Betrachtungen

8.1. Wirtschaftlichkeitsberechnung

8.1.1. Darstellung der Gesamtkosten

Die Gesamtkosten werden im vorliegenden Fall – Bürogebäude SEEG – gegliedert in Investitionskosten und laufende Kosten und dem bestehenden System (Referenzsystem) gegenübergestellt.

8.1.1.1. Investitionskosten

Die Kosten aus Tabelle 24 wurden auf Basis von realisierten Anlagen und Preisanfragen bei Komponentenherstellern ermittelt.

Tabelle 24: Investitionskosten für die AKM

Position	Kosten
Sanitär	92 €
Fernleitung	4.871 €
Primärseitige Verrohrung	1.538 €
Absorptionskältemaschine	22.773 €
Rückkühler mit Anbindung	9.290 €
Pufferspeicher mit Pumpe	1.872 €
Umluftkühler	6.681 €
Kälteübergabe Anbindung	3.672 €
Allgemein	1.734 €
Planung	5.252 €
Gesamt	57.776 €

Dem gegenübergestellt wird ein Referenzsystem bestehend aus 5 Splitklimagern, das tatsächlich im untersuchten Bürogebäude installiert ist (siehe 7.1.2). Die in Tabelle 25 aufgezeigten Investitionskosten werden pauschal auf Basis bereits realisierter Anlagen geschätzt.

Tabelle 25: Investitionskosten für die Referenzvariante mit Splitklimagern

Position	Kosten
Material + Installation	15.000 €
Planung 10%	1.500 €
Gesamt	16.500 €

8.1.1.2. Laufende Kosten

Die laufenden Kosten (betriebsgebundene Kosten) gliedern sich in Fernwärmekosten, Stromkosten und Wartungskosten. Die spezifischen Preise zur Berechnung der laufenden Kosten sind in Tabelle 26 aufgezeigt.

Tabelle 26: spezifische betriebsgebundene Preise

Position	Spezifische Preise
Nahwärmepreis Winter	0,06042 €/kWh
Nahwärmepreis Sommer	0,03021 €/kWh
Strompreis	0,13 €/kWh
Wasserpreis	0,0020 €/l
Wartungskosten AKM	750 €/Jahr
Wartungskosten Referenzsystem	500 €/Jahr

Als Referenzsystem wird die im untersuchten Gebäude installierte Anlage mit 5 Splitklimageräten angenommen, deren Energieverbrauch und entsprechende Energiekosten aufgrund der in 7.1.2 präsentierten Monitoringergebnisse bekannt sind.

Unter der Annahme einer Jahresarbeitszahl (JAZ) von 3 für die Splitklimageräte wird der Kühlenergieverbrauch (d. h. der aus den Räumen abgeführte Wärmestrom) gerechnet, und die Verbrauchswerte der Fernwärme für die AKM werden daraus gewonnen. Die reale Jahresarbeitszahl für das Referenzszenario konnte aus den bereits in Tabelle 8 genannten Gründen nicht messtechnisch bestimmt werden. Laut Markterhebung aus [Adnot, 1999] werden COP-Mittelwerte von 2,48 und COP-Maximalwerte von 3,56 für die 1998 erhobenen luftgekühlten Splitklimageräte angegeben. Eine Jahresarbeitszahl von 3 würde einer sehr effizienten Splitklimagerätkategorie entsprechen und der Vergleich mit einer AKM wird sich daher zu Gunsten der Splitklimageräte ergeben. Im Weiteren wird daher eine zweite Berechnung mit einer niedrigen Jahresarbeitszahl von 2,5 durchgeführt.

Tabelle 27 gibt einen Überblick über den jährlichen Energieverbrauch beider Varianten. Die weiteren Berechnungen wurden vor Juli 2007 durchgeführt, wodurch der gemessene Stromverbrauch von 6.500 kWh für die Zeitperiode August 2007 bis Juli 2008 (siehe Abbildung 38) nicht angenommen werden konnte. Es wurde daher aufgrund verschiedener Annahmen auf einen jährlichen Stromverbrauch von ca. 5.700 kWh/Jahr extrapoliert, der nicht zu sehr von dem im nachhinein tatsächlich gemessenen Stromverbrauch abweicht.

Tabelle 27: Energie- und Wasserverbrauch

	Verbrauch AKM	Energieverbrauch Referenzsystem
Stromverbrauch	ca. 780 kWh/Jahr	ca. 5.700 kWh/Jahr (gemessen)
Kälteverbrauch	17.000 kWh/Jahr	17.000 kWh/Jahr
Fernwärmeverbrauch	24.800 kWh/Jahr	
Wasserverbrauch	ca. 60.000 l/Jahr	

Mit einer gesamten elektrischen Nennleistung von 5 kW werden aus den Monitoringdaten 1.160 Vollbetriebsstunden für die Splitklimageräte gerechnet. Aufgrund dieses Wertes wird auch der Strom- und Wasserverbrauch der eingesetzten AKM abgeschätzt. Es werden dafür aufgrund von Erfahrungswerten eine elektrische Anschlussleistung von 0,37 kW (AKM und Kühlturm) bzw. 1 kW (Sensitivitätsanalyse) und ein Frischwasserverbrauch für den Kühlturm von 50 l/h angenommen. Zur genauen Berechnung des Strom- und Wasserverbrauchs wäre eine gekoppelte Gebäude- und Anlagensimulation notwendig gewesen, die aber über den Rahmen der hier präsentierten Arbeit hinausgegangen wäre. Der Fernwärmeverbrauch wird aufgrund der Annahme einer konstanten COP der AKM von 0,70 gerechnet. Im Weiteren (siehe Tabelle 29) werden die Berechnungen mit COP-Werten von 0,65 und 0,75 durchgeführt, um die Sensitivität der Ergebnisse auf die COP-Werte abschätzen zu können.

Mit den in Tabelle 26 angegebenen spezifischen Wasserpreisen für Strom und Wasser werden die Strom- und Wasserkosten für die AKM mit 220 €/Jahr kumuliert abgeschätzt. Die

anderen Komponenten der betriebsgebundenen Kosten von Tabelle 28 ergeben sich unter Berücksichtigung der spezifischen Preise von Tabelle 26.

Tabelle 28: jährliche betriebsgebundene Kosten

	Kosten AKM	Kosten Referenzsystem
Fernwärme	750 €/Jahr	
Strom, Wasser	220 €/Jahr	650 €/Jahr
Wartung	750 €/Jahr	500 €/Jahr
Summe	1.721 €/Jahr	1.150 €/Jahr

Mit den angenommenen spezifischen Energie- und Wasserpreisen von Tabelle 26 wird ein Verhältnis der verbauchsgebundenen Kosten von Absorption zu Kompression von ca. 1,5 gerechnet. In dieser Hinsicht könnte die AKM nur dann wirtschaftlicher als die Referenzvariante sein, wenn die Wartungs- und Investitionskosten der AKM unter den Kosten der Referenzvariante liegen würden, was aber hier mit Splitklimagern nicht zu erwarten ist. Es kann jedoch untersucht werden, bei welchen Energie- und Wasserpreiskombinationen die AKM niedrigere verbauchsgebundene Kosten als die Referenzvariante aufweisen kann.

Die Kosten K_A der AKM bzw. K_R der Referenzvariante setzen sich mit Eq 21 bzw. mit Eq 22 zusammen:

$$K_A = E_{Wärme} \times p_{Wärme} + E_{A,Strom} \times p_{Strom} + M_{Wasser} \times p_{Wasser} \quad (\text{Eq 21})$$

$$K_R = E_{R,Strom} \times p_{Strom} \quad (\text{Eq 22})$$

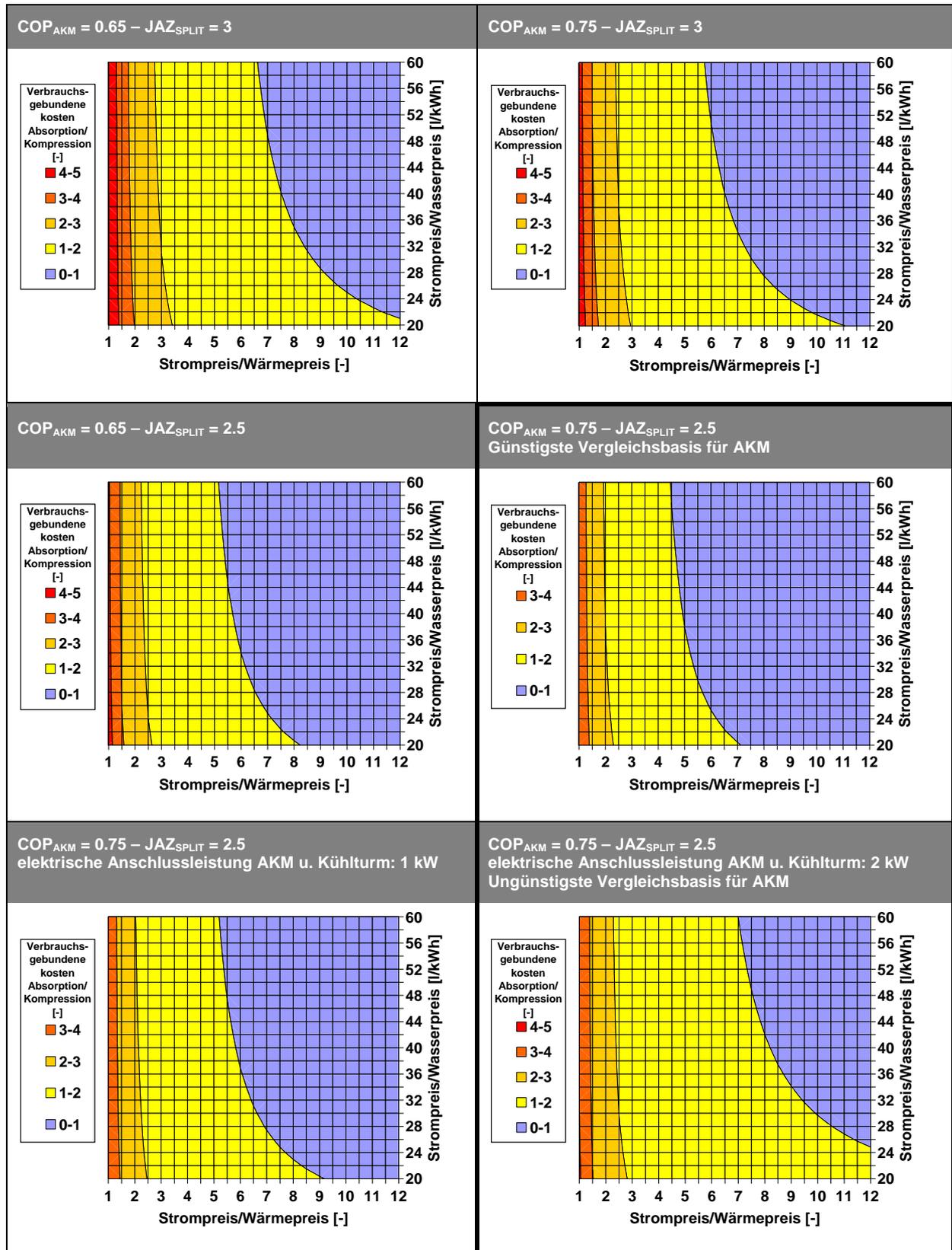
wobei $E_{Wärme}$, $E_{A,Strom}$ bzw. $E_{R,Strom}$ die jährlichen Wärme- und Stromverbräuche der AKM bzw. der Splitklimagern (in kWh/Jahr) sind, M_{Wasser} der Wasserverbrauch der Kühltürme (in l/Jahr) und $p_{Wärme}$, p_{Strom} und p_{Wasser} die spezifischen Energie- und Wasserkosten sind (in €/kWh bzw. €/l).

Aus Eq 21 und Eq 22 kann das Verhältnis zwischen K_A und K_R gerechnet werden:

$$\frac{K_A}{K_R} = \frac{1}{E_{R,Strom}} \times \left(E_{A,Strom} + \frac{E_{Wärme}}{f_{S,Wärme}} + \frac{M_{Wasser}}{f_{S,Wasser}} \right) \quad (\text{Eq 23})$$

wobei $f_{S,Wärme}$ bzw. $f_{S,Wasser}$ die spezifischen Preisverhältnisse zwischen Strom und Wärme (dimensionslose Größe) und Strom und Wasser (in l/kWh) sind.

Tabelle 29: Verbrauchsgebundenes Kostenverhältnis Absorption / Kompression



Das Verhältnis K_A/K_R wird graphisch in Abhängigkeit von $f_{S,Wärme}$ und $f_{S,Wasser}$ in Tabelle 29 dargestellt und der Einfluss folgender Parameter wird dabei dargestellt (Sensitivitätsanalyse):

- COP der AKM: 0,65 bzw. 0,75
- JAZ der Splitklimateure (Referenzvariante): 2 bzw. 3
- elektrische Anschlussleistung der AKM: 1 kW bzw. 2 kW

Die Farben beziehen sich auf die verschiedenen Bereiche des Verhältnisses K_A/K_R . Die Preisverhältnisse, unter denen die AKM niedrigere verbrauchsgebundene Kosten als die Referenzvariante aufweist, werden über den blauen Bereich ($K_A < K_R$) definiert. Die Fläche des blauen Bereiches ist bei hohen COP Werten (siehe rechte Spalte Tabelle 29) größer als bei niedrigen COP Werten: bei hohen COP Werten verschiebt sich die Grenzlinie wo $K_A = K_R$ in den Bereich mit höheren spezifischen Wärme- und Wasserpreisen.

Laut Tabelle 26 ist $f_{S,Wärme}$ gleich 4,3 (Sommerpreis der Nahwärme) und daher befindet sich das Verhältnis K_A/K_R im gelben Bereich von Tabelle 29 (wo: $1 < K_A/K_R < 2$) (Laut Tabelle 28 ergibt sich ein Wert von 1,5 für K_A/K_R , den das Diagramm bestätigt.). $f_{S,Wasser}$ ist gleich 65, d. h. knapp über dem gezeichneten Diagramm. Es lässt sich trotzdem gut erkennen, dass bei diesem $f_{S,Wasser}$ -Verhältnis der spezifische Wärmepreis mindestens um 5 bis 5,5-mal niedriger als der spezifische Strompreis liegen soll, um den Bereich mit $K_A/K_R < 1$ zu erreichen (bei den Varianten mit einer angenommenen Jahresarbeitszahl von 2,5 für die Splitklimateure). Unter diesen Bedingungen dürfte der Wärmepreis nicht über 0,024€/kWh liegen, was aber in Mureck nicht der Fall ist (siehe Tabelle 26). Im Folgenden werden die Gesamtkosten trotzdem berechnet.

Bemerkenswert ist auch der Einfluss des Stromverbrauchs der Rückkühlanlage auf die Wirtschaftlichkeitsberechnung. Obwohl die Variante mit einem COP der AKM von 0,75 und eine Jahresarbeitszahl der Splitklimateure von 2,5 der günstigsten Vergleichsbasis für die AKM entspricht, wirkt sich die Erhöhung der elektrischen Anschlussleistung für AKM und Kühlturm von 0,37 kW auf 2 kW sehr negativ aus: die sich ergebenden Rahmenbedingungen entsprechen der ungünstigsten Vergleichsbasis für die AKM, obwohl die anderen Parameter (COP der AKM und Jahresarbeitszahl der Splitklimateure) eher zu Gunsten der AKM definiert sind.

8.1.1.3. Gesamtkostenmodell

Die Investitionskosten werden zur Gänze mit einem 6%-Darlehen über 10 Jahre finanziert. Die laufenden Kosten unterliegen einer jährlichen Steigerung von 3%, wobei im ersten Schritt die einzelnen Energieträger nicht unterschieden werden.

8.1.2. Ergebnisse

8.1.2.1. Substitution des bestehenden Systems durch eine Absorptionskältemaschine

Diese Konfiguration entspricht am ehesten der realen Situation, da das Referenzsystem bereits Bestand ist. Für das Referenzsystem entfallen somit die Investitionskosten zur Gänze, etwaige Reparaturkosten wurden dabei nicht berücksichtigt.

Es zeigt sich, dass sowohl im Zeitraum der Refinanzierung (Jahr 0-10) die Kosten pro Jahr höher sind als beim Referenzsystem, als auch nachdem die Anlage ausfinanziert ist. Somit kommt es zu keiner Amortisationszeit, die laufenden Kosten der AKM sind höher als die der

Referenzanlage. Die Ursache liegt in der Nichtberücksichtigung der Investitionskosten der Referenzanlage.

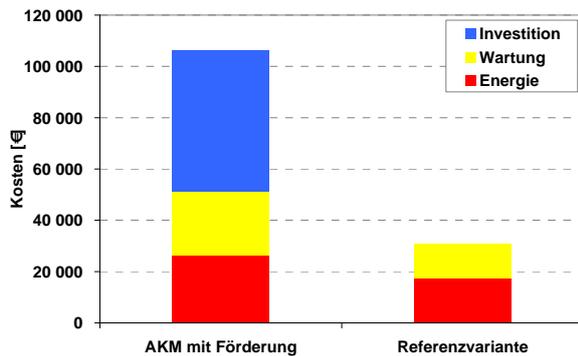


Abbildung 43: kumulierte Kosten über 20 Jahre

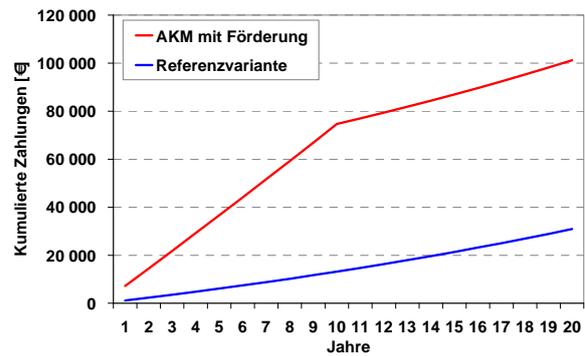


Abbildung 44: kumulierte Zahlungen

8.1.2.2. Gesamtkostenvergleich zwischen AKM und Referenzvariante

Im Gegensatz zum Substitutionsszenario (siehe 8.1.2.1) werden hier auch die Investitionskosten der konventionellen Kühlung (Referenzvariante) berücksichtigt. Durch die geringeren Investitionskosten als bei der AKM ergeben sich auch hier Nachteile in beiden Phasen der Nutzung. Dadurch stellt sich die Frage, bei welchen Investitionskosten und Wärmepreisen Fernwärme bei gleichzeitiger Unveränderlichkeit der übrigen Parameter die AKM rein preislich gleichwertig der konventionellen Kühlung wird.

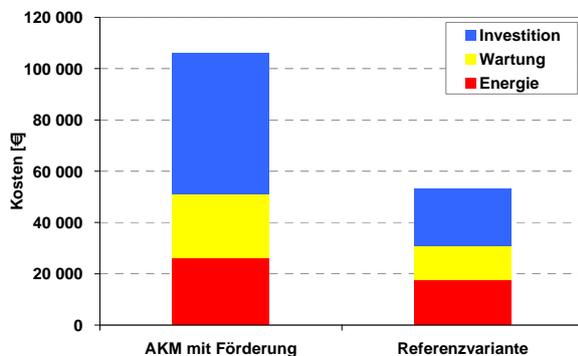


Abbildung 45: kumulierte Kosten über 20 Jahre

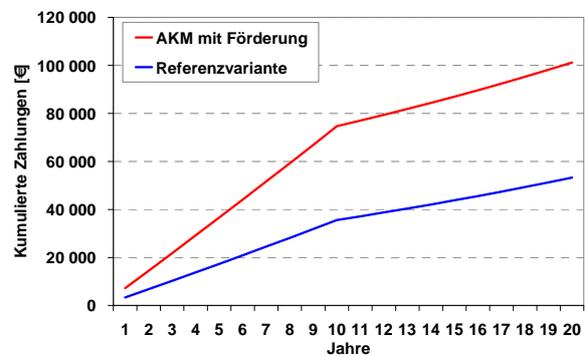


Abbildung 46: kumulierte Zahlungen

8.1.2.3. Bedingungen zur Erreichung gleichwertiger Kosten

Die Bedingungen, geringere laufende Kosten bei der AKM als bei dem Referenzsystem zu erreichen, sind hier nicht realistisch: auch wenn die für den Betrieb der AKM notwendige Fernwärme kostenfrei zur Verfügung stehen würde, würden die Gesamtkosten der AKM immer über die Gesamtkosten der Referenzvariante liegen.

Die Kombination an folgenden Veränderungen könnte theoretisch zu gleichwertigen Kosten der beiden Lösungen führen:

- Reduzierung der Investitionskosten der AKM um 60%. (Dabei wird von einer Förderung der Investitionskosten von ca. 30% ausgegangen.)

- Reduzierung der Wartungskosten um 33%: die in Tabelle 26 angegebenen Wartungskosten basieren aber auf Erfahrungswerten und können auch von Hersteller zu Hersteller variieren. Aus diesem Grund soll diese Aussage relativiert werden.
- Reduzierung des Fernwärmepreises um 45%.

Bei Beibehaltung des Fernwärmepreises und der Wartungskosten und der gleichzeitigen Annahme, dass die Energiekosten für Elektrizität um 6% statt um 3% pro Jahr steigen, ergibt sich ebenfalls die Situation, dass die betriebsgebundenen Kosten über 20 Jahre in den beiden Szenarien gleich hoch sind.

8.1.2.4. Zusammenfassung

Wegen der derzeit hohen Investitions- und Betriebskosten ergibt sich keine Amortisation der Anlage. Nur beträchtliche Änderungen der Rahmenbedingungen – wie Senkung der Investitionskosten (ca. 50%), Energiepreissteigerungen Strom (+100%) u. a. – würden zu wirtschaftlicher Gleichwertigkeit führen.

Diese Situation ergibt sich vor allem aus der Tatsache, dass die Absorptionskältetechnologie mit einer „dezentralen“ oder „individuellen“ Kühlungsstrategie mit Raumklimageräten verglichen wird. Ein Vergleich mit einer zentralen Kompressionskältemaschine mit Kaltwasserverteilung würde zu höheren Investitionskosten führen und die Absorptionstechnologie würde daher in dieser Hinsicht bessere Chancen haben, sich durchzusetzen. Im kleinen Leistungsbereich (bei ca. 15 kW) wie im untersuchten Bürogebäude der SEEG werden aber erfahrungsgemäß häufig noch Raumklimageräte eingesetzt, weil die Entscheidung, ein Kühlsystem zu einzusetzen, nachträglich (nachdem das Gebäude gebaut worden ist) erfolgt.

8.2. Primärenergetische Vorteile

Zur Quantifizierung der primärenergetischen Vorteile der AKM gegenüber der Referenzvariante werden die Primärenergieverbräuche beider Systeme gerechnet. Es kann dafür eine ähnliche Berechnung wie in 8.1.1.2 durchgeführt werden, nämlich durch Ersetzung der Kostenfaktoren durch Primärenergiefaktoren. Die Definition von Primärenergiefaktoren sowie Richtwerten für bestimmte Energieträger kann aus [EN 15603:2008] entnommen werden. Der Primärenergiefaktor ermöglicht die Berechnung des Verhältnisses Endenergie zur gesamten Energiemenge, die verbraucht wird, um diese Endenergieeinheit zu produzieren (inkl. der notwendigen Energie zu Extrahierung, Umwandlung und Transport). Die Primärenergie besteht aus einem erneuerbaren und einem nicht-erneuerbaren Anteil. Die Zahlen aus Abbildung 47 beziehen sich auf den nicht-erneuerbaren Anteil der Primärenergie.

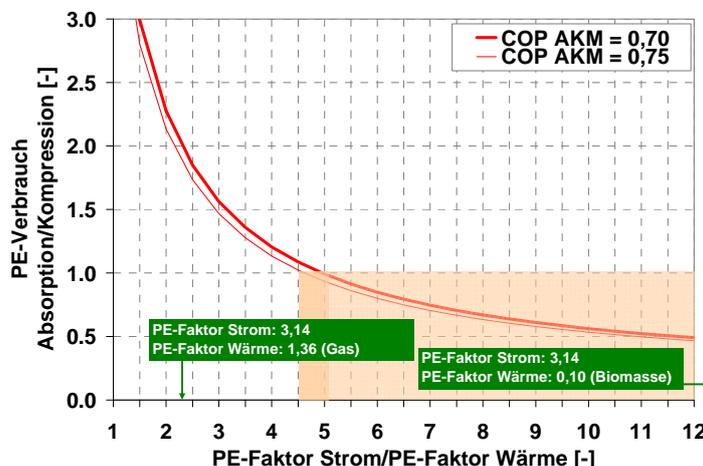


Abbildung 47: Primärenergiefaktorverhältnis zwischen Absorption und Kompression

Die Primärenergieverbräuche PE_A der AKM bzw. PE_R der Referenzvariante setzen sich mit Eq 24 bzw. mit Eq 25 zusammen:

$$PE_A = E_{Wärme} \times f_{p,Wärme} + E_{A,Strom} \times f_{p,Strom} \quad (\text{Eq 24})$$

$$PE_R = E_{R,Strom} \times f_{p,Strom} \quad (\text{Eq 25})$$

wobei $f_{p,Wärme}$ und $f_{p,Strom}$ die Primärenergiefaktoren (nicht-erneuerbarer Anteil) sind.

Aus Eq 24 und Eq 25 kann das Verhältnis zwischen PE_A und PE_R gerechnet werden:

$$\frac{PE_A}{PE_R} = \frac{1}{E_{R,Strom}} \times \left(E_{A,Strom} + \frac{E_{Wärme}}{f_{p,S,W}} \right) \quad (\text{Eq 26})$$

wobei $f_{p,S,W}$ das Verhältnis zwischen den Primärenergiefaktoren für Strom und Wärme (dimensionslose Größe) ist.

Das Verhältnis PE_A/PE_R wird graphisch in Abhängigkeit von $f_{p,S,W}$ in Abbildung 47 für zwei unterschiedlichen COP-Werte der Absorptionskältemaschine dargestellt. Aus Abbildung 47 ist klar ersichtlich, dass eine mit Gas angetriebene Absorptionskältemaschine primärenergetisch gesehen schlechter ausgewertet wird als die Referenzvariante mit Splitklimageräten. Auf der anderen Seite führt die Nutzung von Antriebswärme aus Biomasse zu einem besseren primärenergetischen Ergebnis.

Wenn für den Strom 3,14 als Primärenergiefaktor angenommen wird (UCPTE Mix aus [EN 15603:2008]) wird ab einem Primärenergiefaktor für die Wärme von 0,70 und unter diesem Wert die AKM besser bewertet als die Referenzvariante mit Splitklimageräten. Solche Werte können auch durch den Einsatz von Gas angetriebenen Kraftwärmekopplungsanlagen erreicht werden.

Detailangaben in Bezug auf die Ziele der Programmlinie

Beitrag zum Gesamtziel der Programmlinie

Tabelle 30: Leitprinzipien nachhaltiger Technologieentwicklungen und Beiträge der Projektergebnisse

Leitprinzipien nachhaltiger Technologieentwicklungen	Beiträge der Projektergebnisse
<p>Prinzip der Dienstleistungs-, Service- und Nutzenorientierung</p> <p>In einer nachhaltig zukunftsverträglichen Wirtschaft ist die Bereitstellung von Energie, Gütern und Produkten nicht primär von reinen Versorgungsüberlegungen (was kann wo angeboten und verkauft werden) geprägt, sondern konzentriert sich zunächst auf die mit Energie, Gütern und Produkten zu erfüllenden Funktionen bzw. Dienst- oder Serviceleistungen.</p>	<p>Über dezentral eingesetzte Absorptionskältemaschinen kann neben der Wärmelieferung auch die Kältelieferung erfolgen, wenn die Absorptionskältemaschine z. B. im Eigentum des Energieversorgers bleibt (Energiecontracting). Die hier präsentierten Konzepte sind somit dienstleistungsorientiert.</p>
<p>Prinzip der Nutzung erneuerbarer Ressourcen</p> <p>Dabei ist die energetische und stoffliche Versorgung möglichst durch erneuerbare und/oder nachwachsende Ressourcen zu bewerkstelligen.</p>	<p>Wenn die Kaltwassererzeugung über Absorptionskältemaschinen gewährleistet wird und, wie im Fallbeispiel Mureck, die Nahwärme ausschließlich auf erneuerbaren Energieträgern basiert, ergeben sich für die Absorptionskälte niedrige Primärenergiefaktoren.</p>
<p>Effizienzprinzip</p> <p>Wichtige Zielsetzung ist, Dienst- oder Serviceleistungen so energie- und materialeffizient, aber auch so kosteneffizient wie möglich zu erfüllen.</p>	<p>Die Energie- und Materialeffizienz ist über den Einsatz dezentraler Absorptionskältemaschinen in Nahwärmenetzen gewährleistet. Die Kosteneffizienz dieser Einbindung im kleinen Leistungsbereich mit marktüblichen Produkten ist aber noch nicht gegeben.</p>
<p>Prinzip der Rezyklierungsfähigkeit</p> <p>Besonders in Bereichen, in denen die Nutzung erneuerbarer Ressourcen noch nicht oder nur schwer möglich ist, ist eine Rezyklierung oder kaskadische Nutzung der Ressourcen anzustreben.</p>	<p>Die Nutzung eines vorhandenen sekundären Energieträgers (Abwärme eines Biogasmotors) zum Antrieb von Absorptionskältemaschinen kann als kaskadische Nutzung von Ressourcen definiert werden (Biogene Abfälle → Biogas → Wärme → Kälte).</p>
<p>Prinzip der Einpassung, Flexibilität, Adaptionfähigkeit und Lernfähigkeit</p> <p>Zukunftsverträgliche Entwicklungen sind als innovative, dynamische Prozesse zu begreifen, die in Bezug auf Technologien einerseits eine Einpassung an vorhandene (z.B. regionale) Rahmenbedingungen und Gegebenheiten, andererseits eine kontinuierliche Anpassung an neue Entwicklungen und Gegebenheiten erfordern.</p>	<p>Das Projekt hat sich auf eine spezifische Technologie (einstufige Absorptionsprozesse im kleinen Leistungsbereich) konzentriert und es wurde deren Einsatzmöglichkeit in einem bestimmten Umfeld evaluiert. In den Fällen, wo die ausgewählte Technologie nicht optimal eingesetzt werden kann, wurden Adaptierungen vorgeschlagen. Es besteht eine Anpassungsfähigkeit der Technologie, die sich an unterschiedlichen Rahmenbedingungen (Vorlauftemperaturen, Positionierung im Netz...) über verschiedene Lösungen (interne und externe Schaltungsvarianten...) adaptieren kann.</p>
<p>Prinzip der Fehlertoleranz und Risikovorsorge</p> <p>Auch die Vorsorge gegenüber Störfällen mit maßgeblichen Auswirkungen durch fehlertolerante Technologien und Systeme gehört zum Konzept einer „nachhaltigen Entwicklung“.</p>	<p>Im Projekt wurde nicht speziell auf diesen Punkt eingegangen. Es gibt aber einer Redundanz bei der Wärmeseite: wenn der Biogasmotor im Sommer ausfallen würde, könnte immer Wärme über die bestehenden Kesselanlagen (Biomassebefuerung) bereitgestellt werden.</p>
<p>Prinzip der Sicherung von Arbeit, Einkommen und Lebensqualität</p> <p>Durch die Erhaltung und Schaffung hochwertiger sinnvoller Arbeit einerseits, sowie einer lebenswerten Umwelt andererseits soll eine Erhöhung der Lebensqualität erreicht werden.</p>	<p>In dieser Hinsicht sind die Beiträge der Projektergebnisse limitiert. Arbeitsplätze könnten dann geschaffen werden, wenn die Kältelieferung als zusätzliche Dienstleistung für den Energieversorger gesehen wird.</p>

Der gewählte Ansatz führt zu einem Modellsystem, weil das Thema „Integration von Absorptionskältemaschinen“ eine Optimierungsmöglichkeit für den Betrieb von

Nahwärmenetzen darstellt. Idealerweise können gleichzeitig die Auslastung des Wärmenetzes erhöht werden und die Spitzenlasten im Stromnetz reduziert werden, weil konventionelle Raumklimageräte ersetzt werden können.

Die Beiträge der Projektergebnisse zu den Leitprinzipien nachhaltiger Technologieentwicklungen sind in Tabelle 30 zusammengefasst.

Einbeziehung der Zielgruppen

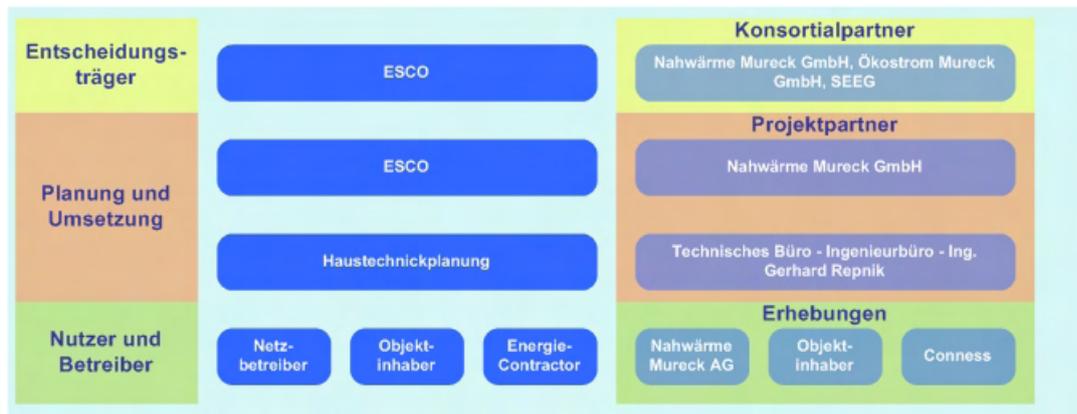


Abbildung 48: Einbeziehung der Akteure und Zielgruppen (ESCO: Energy Service Company)

Wie es Abbildung 48 zeigt hat sich das Projekt auf die Ebene der Planung (nahwärmenetzseitige Aspekte) konzentriert, und daher sind die Projektergebnisse im Rahmen einer engen Mitarbeit mit der ESCO (Energy Service Company) und dem Haustechnikplaner entstanden. Die Gebäudebetreiber (meistens die Objentinhaber) wurden am Beginn der Projektarbeit im Rahmen der realisierten Erhebungen kontaktiert:

- Das Technische Büro – Ingenieurbüro – Ing. Gerhard Repnik war der Haustechniker des Projektteams und war für die Zustandserhebung (bauliche Zustände, Übergabestationen) und Kühllastberechnung der erhobenen Objekte zuständig.
- Die Nahwärme Mureck GmbH war als Konsortialpartner involviert und konnte daher die Interessen des Energieversorgers vertreten.
- Es wurde versucht, über die Einbindung eines Energiecontractors in das Projektteam (Conness Energieberatungs- Planungs- und Betriebs GmbH) den Weg zur Umsetzung zu erleichtern, indem in der Machbarkeitsstudie auch die Finanzierungsaspekte mitberücksichtigt worden sind.

Umsetzungspotenzial

Verbreitungspotenzial

Die Projektergebnisse haben eine gewisse Allgemeingültigkeit, indem die Mehrzahl von in Österreich bestehenden Nahwärmenetzen in ländlichen Gebieten in den letzten 10-15 Jahren gebaut worden sind, und daher sehr ähnliche Technologien und technische Standards aufweisen (siehe [ÖKL, 1999]).

Weiters kann die ausgewählte methodische Vorgehensweise adaptiert werden, um z. B. andere Kühltechnologien zu berücksichtigen. In diesem Fall besteht auch Verbreitungspotenzial auf der methodischen Seite.

Realisierungspotenzial

Bezogen auf marktverfügbare einstufige Absorptionskältemaschinen im kleinen Leistungsbereich ist das Realisierungspotenzial in Nahwärmenetzen derzeit sehr limitiert. Die wichtigsten Faktoren, die das Realisierungspotenzial begrenzen, werden in Tabelle 31 zusammengefasst und erläutert.

Tabelle 31: Faktoren, die das Realisierungspotenzial begrenzen

Begrenzender Faktor	Lösungsansatz
Der Kühlenergiebedarf in Gebäuden in ländlichen Gebieten ist in der Regel niedrig (wenige und kleine Bürobauten), und es werden nur bei wenigen Gebäudetypen zentrale Kaltwassersysteme zur Kühlung eingesetzt.	
In einigen Einbindungsvarianten können die Anschlusskosten zur Einbindung einer AKM im kleinen Leistungsbereich sehr hoch werden (wenn die AKM nicht an der bestehenden Übergabestation angeschlossen wird, sondern an den primären Fernwärmeleitungen zu Erreichung einer höheren Leistung.	Wo möglich sollten die bestehenden Übergabestationen genutzt werden, was aber in einigen Fällen die maximal erreichbare Kälteleistung begrenzen kann.
Die vorgeschlagene Technologie ist mit den derzeit genutzten Splitklimaggeräten nicht konkurrenzfähig. Vor allem die Flexibilität der Splitklimaggeräten („Plug & Play“) kann in einem integrierten Energiesystem mit Fernwärme angetriebenen AKM nicht erreicht werden.	Die Komponentenentwicklung soll weiter in die Richtung kompakter Systeme gehen.
Im kleinen Leistungsbereich werden derzeit nur einstufige AKM am Markt angeboten. Die Double-Lift Technologie, die sich wegen der höheren Temperaturspreizungen auf der Antriebsseite ideal für Fernwärmenetze eignet, wird nur im großen Leistungsbereich angeboten. Die notwendigen zusätzlichen Wärmetauscher entsprechen einem höheren Platz- und Materialbedarf und daher auch höheren Kosten.	Die Komponentenentwicklung soll weiter in die Richtung kompakter Systeme gehen.

Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen

Gewonnene Erkenntnisse

Tabelle 32: Im Projekt gewonnene Erkenntnisse

Gewonnene Erkenntnisse	Art der Erkenntnisse	Nützlich für...
Allgemeine methodische Vorgehensweise für die Analyse der möglichen Einbindung von Absorptionskältemaschinen in Nahwärmenetzen	Methode	- ESCO
Hydraulische Modellierung eines Nahwärmenetzes und von integrierten Absorptionskältemaschinen	Methode / Modellierung	- Haustechnikplaner
Vorteile einer Netzsimulation gegenüber einer statischen Berechnung zur Analyse der Einbindung von AKM in Nahwärmenetze	Methode	- Haustechnikplaner
Quantifizierung des Einflusses von AKM auf Nahwärmenetze (Rücklauf Temperaturerhöhung, Verbesserung der Netzenergiebilanz...)	Kennzahlen	- ESCO
Evaluierung verschiedener Einbindungsvarianten von AKM	Kennzahlen	- Haustechnikplaner - ESCO
Definition und Evaluierung von technischen Optimierungsmaßnahmen	Konzepte	- Haustechnikplaner - ESCO
Analyse der Finanzierungsmöglichkeiten	Kennzahlen	- ESCO (Energiecontractor)

In Tabelle 32 wird versucht, einen Überblick über die wichtigsten im Projekt gewonnenen Erkenntnisse zu geben. Diese teilen sich unter den folgenden Kategorienebenen auf (Art der Erkenntnisse):

- Methode: Im Projekt wurden an verschiedenen Stellen Methoden vorgeschlagen und verfolgt, die sich zur Beantwortung verschiedener Fragen als notwendig erwiesen haben.
- Konzepte: Konzepte bestehen aus einer qualitativen Beschreibung einer Technologiekombination.
- Kennzahlen: Im Projekt wurden konkrete Kennzahlen gerechnet, die in zukünftigen Projekten erst unter der Voraussetzung weiter verwendet werden können, dass die Annahmen mit den projektspezifischen Rahmenbedingungen übereinstimmen.

Konkret lassen sich die gewonnenen Erkenntnisse folgendermaßen beschreiben:

Methode

- Zur Untersuchung des Einsatzes thermisch angetriebener Kühlverfahren in einem Nah- bzw. Fernwärmenetz ist eine Netzsimulation zur Berücksichtigung dynamischer Effekte auf der Basis von zeitabhängigen Lastprofilen erforderlich. Eine statische Berechnung macht es zwar möglich, den Einfluss von Kältemaschinen über Mittelwertbetrachtungen grob abzuschätzen, ist aber nicht ausreichend, um eine detaillierte Analyse der sich ergebenden Rücklauf temperaturverläufe durchzuführen (Berücksichtigung der Gleichzeitigkeit...).

Verbesserung der Energiebilanz: Erhöhung des Wärmenutzungsgrads und primärenergetische Vorteile

- Über die Netzsimulation kann die Verbesserung der Netzenergiebilanz aufgrund des Einsatzes thermisch angetriebener Kühlverfahren in einem Nah- bzw. Fernwärmenetz quantifiziert werden: am Fallbeispiel Mureck würde sich über den Einsatz von fünf 15 kW Absorptionskältemaschinen im Netz der Wärmenutzungsgrad von 40% auf ca. 46% im Sommer erhöhen und die Wärmeverluste sich dementsprechend reduzieren. Auf der anderen Seite ist die Erhöhung des Stromverbrauchs für die Netzpumpe aufgrund der größeren Wärmeabnahme vernachlässigbar, da sich der entsprechende Betriebspunkt im unteren Bereich der Pumpenkennlinie befindet (die Netzpumpe ist für den Winterfall mit den höchsten Abnahmemengen ausgelegt). Es ergibt sich daher eine allgemeine Verbesserung der gesamten Netzenergiebilanz
- Die primärenergetische Evaluierung der Absorptionskälte mit Biomasse-Nahwärme ergibt unter den im Projekt herrschenden Rahmenbedingungen deutlich bessere Ergebnisse als die Referenzvarianten mit konventionellen luftgekühlten Splitklimateilgeräten. Als wichtige Bedingung dafür gilt die Annahme, dass die Absorptionskältemaschinen zu 100% über die Biomasse-Nahwärme angetrieben werden. Diese Annahme ist dann zulässig, wenn die Auslegung der Absorptionskältemaschine der eingebauten Fernwärmeübergabestationen entspricht. Sollte ein Back-up auf der Antriebsseite zur Erreichung höherer Kälteleistungen notwendig werden, dann sollte die primärenergetische Evaluierung nochmals überprüft werden.

Geeignete Verschaltungsvarianten und alternative Vorschläge

- Unter den im Netz herrschenden Betriebsparametern wäre der Einsatz von AKM nur für das Bürogebäude der SEEG und das Ausbildungsgebäude sinnvoll, die nah an der Wärmeeinspeisung liegen, und daher noch mit ca. 87°C Vorlauftemperatur im Netz angetrieben werden können. Um an den anderen Standorten drei weitere AKM wirtschaftlich einsetzen zu können (d. h. ohne die AKM zu groß auslegen zu müssen), sollte die

Netzvorlauftemperatur erhöht werden. Die Simulation zeigt, dass mit einer Vorlauftemperaturerhöhung von 3 K bei der Einspeisung die Forderung einer maximalen Rücklauftemperatur von 70°C noch erfüllt wäre, ohne den Betrieb des Motors zu beeinträchtigen. Um eine weitere Temperaturerhöhung zu ermöglichen, sollte der Notkühler neu ausgelegt werden, um die Kühlungstemperatur des Motors weiter zu senken.

- Die besten technischen Voraussetzungen für den Einsatz einer AKM hätte in Mureck das Bürogebäude der SEEG in nächster Nähe der Wärmeeinspeisung. Für diese Kältemaschine wird eine Vorlauf-Vorlauf-Verschaltung (seriell) empfohlen, die eine größere Auskühlung des Heizmediums als in einer konventionellen Vorlauf-Rücklauf-Verschaltung ermöglicht. Über die Netzsimulationen werden die Vorteile einer solchen Einbindung vorgeschlagen.

- Der Einsatz thermisch angetriebener Kühlverfahren in einem Nah- bzw. Fernwärmenetz könnte nur unter den folgenden technischen Bedingungen erhöht werden:

- In Kombination mit AKM sollten zusätzliche große Wärmeabnehmer angeschlossen werden, die die Rücklauftemperaturerhöhung aufgrund des Einsatzes von AKM kompensieren würden. Diese Alternative ist in Mureck schon ausgeschöpft, und es konnten in dieser Projektarbeit keine zusätzliche Großabnehmer (z. B. Wäscherei) gefunden werden. Damit wird aufgezeigt, wie die vorhandenen Energieinfrastrukturen in den lokalen energiepolitischen Entscheidungen berücksichtigt werden sollen: es ist ökonomisch und primärenergetisch sinnvoll, vorhandene Energieressourcen zu nutzen (in diesem Fall die vorhandene Biomasse-Nahwärme aus Kraftwärmekopplung), bevor auf zusätzliche Energieressourcen (Wärmequellen) zugegriffen wird.

- Über die Simulation werden die technischen Vorteile einer Kombination mit einer Solaranlage aufgezeigt. Aus den vorher erwähnten Gründen wird aber eher empfohlen, die Technologieentwicklung in Richtung Kältemaschinen weiterzuführen, die für niedrige Antriebstemperaturen und große Temperaturspreizungen geeignet sind. Die Double-Lift Technologie, derzeit im großen Leistungsbereich vorhanden, könnte im kleinen Leistungsbereich umgesetzt werden, was aber viele zusätzliche Herausforderungen mit sich bringen würde (Kompaktgerät mit mehr Wärmetauscher, Kosten...). Andere Technologien, wie die DEC und die Adsorptionsverfahren, bieten in dieser Hinsicht einige Vorteile.

Wirtschaftliche Betrachtungen

- Die für die AKM ungünstigen Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnung ergeben sich vor allem aus der Tatsache, dass eine Lösung mit Splitklimageräten (dezentrale Kühlungsstrategie) als Referenzsystem angenommen worden ist. Diese Auswahl kann diskutiert werden, sie entspricht aber dem Stand der Technik in kleinen Bürogebäuden in ländlichen Gebieten, die sehr oft zuerst ohne Kühlsysteme gebaut und später nachgerüstet werden. Mit Stromkosten von ca. 900€/Jahr zum Antrieb der fünf installierten Splitklimageräte ist es sehr schwierig, auf niedrigere verbrauchsgebundene Kosten mit einem Alternativvorschlag zu kommen. Die Berechnungen zeigen, dass je nach Anlageneffizienzwerten die spezifische Wärmepreise um 5 bis 7 mal niedriger als die spezifische Strompreise sein sollen, um insgesamt niedrige verbrauchsgebundene Kosten zu erreichen, und damit passende Bedingungen für eine Wirtschaftlichkeit des Alternativvorschlags zu erhalten.

- Das zweite wesentliche Hindernis zu einem wirtschaftlichen Einsatz von AKM in Nahwärmenetzen besteht aus der niedrigen Anzahl an Vollbetriebsstunden. Die untersuchten Gebäude in Mureck weisen einen Kühlbedarf in einer begrenzten Periode im Jahr auf, wie es die Monitoringergebnisse bestätigen, und die AKM würden daher sehr oft im Teillastbereich betrieben werden. Wie es die realisierten Beispiele zeigen, kann bei größeren Anlagen die Wirtschaftlichkeit gegeben sein, wenn die Vollbetriebsstunden höhere Werte erreichen (höhere Auslastung der Kältemaschine). In diesen Fällen werden auch die AKM gegenüber strombetriebener Kältemaschinen (Kompressionskältemaschinen) verglichen, und der Preisunterschied zwischen beiden Technologien ist nicht mehr so groß.

Weiterarbeit des Projektteams und der Zielgruppen

Die in Tabelle 32 genannten Zielgruppen können mit den verschiedenen Projektergebnissen weiterarbeiten:

- Aufgrund der Projektergebnisse wurde entschieden, keine AKM am Nahwärmenetz in Mureck anzuschließen. Das Hauptproblem liegt in der Unwirtschaftlichkeit einer solchen Anlage unter den geltenden technischen und ökonomischen Rahmenbedingungen.
- Im allgemein können ESCO die vorgeschlagenen Methoden an weiteren Projekten nutzen, in denen auf andere Technologien zugegriffen wird.
- Haustechnikplaner verfügen über mehr Grundwissen über die Herausforderungen der Einbindung von Absorptionskältemaschinen in ein Nahwärmenetz.

Ausblick und Empfehlungen

Chancen / Schwierigkeiten / Risiken bei der Umsetzung

In dem kleinen Nahwärmenetz in Mureck kann das äquivalente an ca. 40% der gesamten angeschlossenen Leistung im Sommer zum Antrieb von dezentralen Absorptionskältemaschinen in konventionellen Vorlauf-Rücklauf-Einbindungen genutzt werden, ohne die Rücklauf-temperatur im Netz zu sehr zu erhöhen. Dadurch ergibt sich nur eine mäßige Verbesserung der Gesamtenergiebilanz. Da die Erhöhung der Vorlauf-temperatur auch begrenzt ist (maximal 3 K in Mureck) soll in Zukunft an weitere Technologien, Einbindungen und Netzmanagementstrategien gedacht werden:

- Adsorption, sorptionsgestützte Klimatisierung
- Nutzung der BHKW-Abgase auf hohen Temperaturniveaus in einer direkten Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung, Solarunterstützung, double-lift Schaltungen
- Netzmanagementstrategien (Speicher) um den Einsatz thermisch angetriebener Kühlverfahren in Nahwärmenetzen zu ermöglichen.

Empfehlungen für weiterführende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten

Es konnte Potenzial für zukünftige Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zu verschiedenen Themen identifiziert werden (siehe Tabelle 33).

Tabelle 33: Weiterführende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten

Themengebiet	Art der F&E Arbeit	Ergebnisse nützlich für...
Untersuchung der Einbindung von anderen Kühltechnologien in Nahwärmenetzen (DEC, Adsorptionskältemaschinen)	Modellierung	- Bauherr / Investor - ESCO
Integrale Modellierung der gesamten Systeme (inklusive Gebäude + Regelungsstrategien)	Modellierung	- ESCO
Erweiterung und Vereinfachung der Modelle (Aggregation von Netzbereichen, wo keine AKM angeschlossen werden)	Modellierung	- ESCO
Untersuchung des Einsatzes von Netzspeichern in Kombination mit AKM (hinsichtlich Lastmanagement)	Modellierung	- ESCO
Festlegung von allgemeinen technisch-wirtschaftlichen Standards für die Einbindung von thermisch angetriebenen Kühltechnologien in Nahwärmenetze	Konzeptentwicklung	- ESCO
Kombination mit solarer Kühlung	Monitoring, Konzeptentwicklung, Machbarkeitsstudie	- Bauherr / Investor - Haustechnikplaner
In-Situ Monitoring von Raumklimageräten in verschiedenen Einsatzfällen	Monitoring	- Bauherr / Investor - Haustechnikplaner
Entwicklung von Kältemaschinen mit anderen internen Schaltungsvarianten (double-lift Schaltungen im kleinen Leistungsbereich)	Komponentenentwicklung	- ESCO

Literatur-, Abbildung- und Tabellensverzeichnisse

Literaturverzeichnis

- Adnot, J. et al., 1999, Energy efficiency of room air-conditioners (EERAC), Study for the Directorate-General for Energy (DGXVII) of the Commission of the European Communities
- Castells F., Bruno J. C., Miquel J., 2000, Optimization of energy plants including water/lithium bromide absorption chillers, International journal of energy research 24, pp. 695-717
- Constantinescu N. et al., 2006 (A), Guidelines for assessing the efficiency of district heating and district cooling system, final report from the project ECOHEATCOOL (WP3), Euroheat & Power
- Constantinescu N. et al., 2006 (B), Possibilities with more district cooling in Europe, final report from the project ECOHEATCOOL (WP5), Euroheat & Power
- Constantinescu N. et al., 2007, District Heating and Cooling, country by country 2007 survey, Euroheat & Power
- Dymola, Dynamic Modeling Laboratory, User's Manual, <http://www.dynasim.com>: Dynasim AB, 2004
- Eicker U., 2008, Einbindung von Absorptionskälte in ein Biomasse Nahwärmenetz – technische und wirtschaftliche Rahmenbedingungen, Tagungsband zur Konferenz „Nachhaltig thermisch Kühlen, Kühlen mit Fernwärme“, Wien, 01.04.2008
- EN 15603:2008, Energieeffizienz von Gebäuden – Gesamtenergieverbrauch und Festlegung der Energiekennwerte, Europäische Norm
- Energie-Control, 2007, Ökostrom sowie Energieverbrauchsentwicklung und Vorschläge zur Effizienzsteigerung, Bericht der Energie-Control GmbH. gemäß § 25 Abs 1 Ökostromgesetz, August 2007
- Foged M., Skov M., 2001, Experience in district cooling operation in Copenhagen, News from DBDH 1/2001
- Füreder J., 2008, Nahwärmenetze in Österreich, Potenziale, Chance und Risiken aus Sicht der Fernwärmebetreiber, Tagungsband zur Konferenz „Nachhaltig thermisch Kühlen, Kühlen mit Fernwärme“, Wien, 01.04.2008
- Gabrielaitiene I., Bohm B., Sunden B., 2007, Modelling temperature dynamics of a district heating system in Naestved, Denmark – a case study, Energy Conversion and Management 48, pp. 78-86
- Gaderer M., 2000, Rauchgaskondensationsanlagen, Stand der Technik, Schaltungsvarianten, Entwicklungen, Publikation von ZAE-Bayern, München, 2000
- Gebremedhin A., Zinko H., 2004, Avoiding high return temperature with absorption coolers in district heating, Proceedings of the 9th international symposium on district heating and cooling, Espoo, Finland, 2004-08-30.31
- Geyer J., Urschler C., 2004, Kühlen mit Fernwärme aus Biomasse-KWK, Heizung Lüftung Klimatechnik, 8-9/2004, pp. 72-75
- Hammerschmid A., 2008, Kraft-Wärme-Kälte Kopplung in Fussach, Tagungsband zur Konferenz „Nachhaltig thermisch Kühlen, Kühlen mit Fernwärme“, Wien, 01.04.2008

- Haider M., Luedeking G., 2005 Auslegung und Wirtschaftlichkeit von KWKK-Anlagen (Teil 1 und Teil 2), KI Luft- und Kältetechnik 7/2005, pp. 267-271 und 8/2005, pp. 308-311
- Hauer A., 2002, Thermal energy storage with zeolite for heating and cooling applications, IEA, ECES IA Annex 17, Advanced thermal energy storage through phase change materials and chemical reactions – feasibility studies and demonstration projects. 3rd Workshop, 1-2 October 2002, Tokyo, Japan
- Indinger A. et. al., 2006, Vorstudie für einen nationalen Biomasseaktionsplan für Österreich, Austrian Energy Agency
- Kim D. S., Infante Ferreira C. A., 2008, Analytic modelling of steady state single-effect absorption cycles, International Journal of Refrigeration (2008), doi:10.1016/j.ijrefrig.2007.12.014
- Krawinkler R., Simader G., 2007, Meeting cooling demands in SUMMER by applying HEAT from cogeneration, technology report for Austria, deliverable from the project SUMMERHEAT
- Kroh W., 2004, Kaltwasser aus China, Absorptionskältemaschine als Element der Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung, Artikel erschienen in: uni ulm intern, das Ulmer Universitätsmagazin Nr. 267 (34. Jg.) März 2004
- Larsen H. V., Bohm B., Wigbels M., 2003, A comparison of aggregated models for simulation and operational optimisation of district heating networks, Energy Conversion and Management 45 (2004), pp. 1119-1139
- Mostofizadeh C., Bohne D., Mergardt C., 2002, Use of district heating in summer for cold production with the air of an absorption process, Applied thermal engineering 22, pp. 577-586
- ÖKL, 1999, Technisch-wirtschaftliche Standards für Biomasse-Fernheizwerke, ÖKL-Merkblatt Nr. 67, 1. Auflage
- Penthor A., 2008, Potenzial für Fernkälte in Großfernwärmenetzen am Beispiel Wien, Tagungsband zur Konferenz „Nachhaltig thermisch Kühlen, Kühlen mit Fernwärme“, Wien, 01.04.2008
- Podesser E., Stiglbrunner R., 2000, Errichtung und Betrieb einer Desiccant-Klimaanlage zur Technologiedemonstration im Forschungshaus des ÖKOPARK Hartberg, Endbericht Nr.: IEF-B-09/00, im Auftrag von ÖKOPLAN Hartberg, Dezember 2000
- Pol O. et al, 2008, Endbericht des Projektes City Cooling, Intelligente Fernkälteversorgung, Projektnummer 811257, Wien, September 2008
- Preisler A. et al, 2008, ROCOCO Projekt, Reduction of costs of solar cooling systems, Project n°TREN/05/FP6EN/SO7.54855/020094, Wien, Juni 2008
- Richter L., 2003, Mehrstufige Absorptionskälteanlagen in Energieverbundanlagen, KI Luft- und Kältetechnik 3/2003, pp. 131-135
- Rohrmoser C., Fellingner A., 2007, Wirtschaftlichkeit von Nahwärmesystemen auf Basis Biomasse, BFW Praxistag, Wien, 08.03.2007
- Sager J., 1998, Optimierung der Netzstruktur und des Betriebes von Fernwärmenetzen bei integrierten Absorptionskältemaschinen. Abschlussbericht AiF 11256B TU Dresden
- Sager J., 2004, Vergleichende energetische Bewertung der Transformationsketten der elektro-mechanischen Kompressions- und thermischen Absorptionskälteerzeugung. Dissertation an der Fakultät für Maschinenwesen der Technischen Universität Dresden
- Schweigler C., Ziemann O., Scharfe J., 1996, Bessere Chancen für Kälte aus Fernwärme – Erste Betriebserfahrungen mit einem neuartigen Absorptions-Kaltwassersatz, Euroheat&Power, Fernwärme international, 12/1996, pp.722-729

- Schweigler C., Flamensbeck M., Demmel S., Ziegler F., 1999, Optimierte Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung am Flughafen München, KI Luft- und Kältetechnik 3/1999, pp. 171-176
- Sparber W., Napolitano A., Melograno P., 2007, Overview on world wide installed solar cooling systems, proceedings of the 2nd International Conference on Solar Air-Conditioning, Tarragona, 18-19.10.2007
- Statistik Austria, 2006, Energiestatistik: Energiebilanzen Österreich 1970 bis 2005, Energetischer Endverbrauch 2005 nach Energieträgern und Nutzenergiekategorien für Österreich, November 2006
- VDI 2078, 1996, Berechnung der Kühllast klimatisierter Räume (VDI-Kühllastregeln)
- Zinko H., 2006, Demonstrationsprojekt fjärrvärmeanpassade småhus göteborg, avancerad fjärrvärmeanvändning i småhus, Rapport, Värmegles 2006:29

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Allgemeine Vorgehensweise	16
Abbildung 2: Verteilung der Wärmeabnehmer nach Nennleistung der Fernwärmeübergabestation	24
Abbildung 3: Verteilung der Wärmeabnehmer nach Gebäudenutzung.....	25
Abbildung 4: gemessene Temperaturen und Massenströme bei der Fernwärmeübergabestation von zwei Einfamilienhäusern.....	26
Abbildung 5: Kennfelder für eine 15 kW AKM bei einer Kühlwassereintrittstemperatur von 30°C und verschiedenen Heizwassereintrittstemperaturen	29
Abbildung 6: Einsatzmöglichkeiten von AKM	30
Abbildung 7: Volumenelement und Bilanzgrenzen.....	31
Abbildung 8: schematische Darstellung von Anschlüssen	34
Abbildung 9: Schematische Darstellung einer Fernwärmeübergabestation.....	35
Abbildung 10: Vereinfachte Darstellung des Nahwärmenetzes	36
Abbildung 11: Netzmodell in DYMOLA	36
Abbildung 12: Einbindung der Monitoringdaten	38
Abbildung 13: Vorlauftemperatur Übergabestation PC122 – Entfernung zu BHKW ~ 1,69km	39
Abbildung 14: Rücklauftemperatur am BHKW	39
Abbildung 15: Häufigkeitsverteilung der Fehler bei der Rücklauftemperatur am BHKW für die verschiedenen Varianten	40
Abbildung 16: Rücklauftemperatur am BHKW	44
Abbildung 17: Druckverlust über das Netz in Abhängigkeit des Massenstroms am BHKW ..	46
Abbildung 18: Netzkennlinie.....	46
Abbildung 19: Variante 1, Vorlauf-Rücklauf-Einbindung	48
Abbildung 20: Variante 2, Vorlauf-Vorlauf-Einbindung.....	48
Abbildung 21: COP-Verlauf der abgebildeten 15 kW AKM	49
Abbildung 22: Netzzücklauftemperatur am BHKW in Abhängigkeit des Leistungsverhältnisses zwischen Generatorleistung der AKM und gesamte Heizleistung im Netz	51
Abbildung 23: Rücklauftemperaturerhöhung bei unterschiedlicher Anzahl und Position der angeschlossenen AKM	52
Abbildung 24: Geordnete Netzzücklauftemperaturerhöhungswerte T_{RL} für verschiedenen Varianten der Abnahmestruktur	52
Abbildung 25: Auswirkung der Vorlauftemperaturerhöhung um 3°C.....	53
Abbildung 26: Einfluss der Erhöhung der Vorlauftemperatur im Netz auf das BHKW	54
Abbildung 27: Energiebilanz des Netzes für den Zeitraum 02.07.2006 – 09.07.2006	55
Abbildung 28: Vergleich zwischen Vorlauf-Rücklauf- und Vorlauf-Vorlauf-Einbindung.....	56
Abbildung 29: Einbindung eines solarthermischen Kollektorfeldes in das Nahwärmenetz (Simulationsumgebung DYMOLA)	57

Abbildung 30: Antriebstemperaturerhebung über ein solarthermisches Kollektorfeld ($A_{\text{Koll}} = 30 \text{ m}^2$).....	57
Abbildung 31: Single Effect / Single Lift Schaltung	58
Abbildung 32: Single Effect / Double Lift Schaltung	59
Abbildung 33: Single Effect / Single Lift-Double Lift Schaltung	59
Abbildung 34: Double Effect / Single Lift (mit einem Kondensator).....	60
Abbildung 35: Double Effect / Single Lift (mit zwei Kondensatoren)	60
Abbildung 36: Messstellenplan.....	62
Abbildung 37: Außeneinheiten der Raumklimageräte und Raumzuordnung	63
Abbildung 38: Monatlicher Stromverbrauch der Raumklimageräte	64
Abbildung 39: Monatlicher Kühlenergieverbrauch.....	64
Abbildung 40: Spezifischer Monatlicher Kühlenergieverbrauch	64
Abbildung 41: Jahresdauerlinie (absolute Werte)	65
Abbildung 42: Jahresdauerlinie (spezifische Werte)	65
Abbildung 43: kumulierte Kosten über 20 Jahre	75
Abbildung 44: kumulierte Zahlungen.....	75
Abbildung 45: kumulierte Kosten über 20 Jahre	75
Abbildung 46: kumulierte Zahlungen.....	75
Abbildung 47: Primärenergiefaktorverhältnis zwischen Absorption und Kompression	76
Abbildung 48: Einbeziehung der Akteure und Zielgruppen (ESCO: Energy Service Company)	79

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Eckdaten zu Fernwärme und KWK in Österreich	12
Tabelle 2: Stromerzeugung aus Biomasse [GWh] [Energie-Control, 2007]	12
Tabelle 3: Kühlen mit Nah- und Fernwärme, mögliche Konfigurationen	13
Tabelle 4: Überblick über Vorarbeiten.....	15
Tabelle 5: Überblick über realisierte Anlagen (ohne Anspruch auf Vollständigkeit).....	15
Tabelle 6: Eigenschaften zukünftiger Energiesysteme und Situation der Absorptionskälte mit Nahwärmeantrieb.....	18
Tabelle 7: Beschreibung der vorhandenen Daten.....	20
Tabelle 8: Beschreibung der notwendigen Messgrößen zur Durchführung eines Technologievergleichs	22
Tabelle 9: Netzcharakterisierung.....	23
Tabelle 10: Objekte mit Potenzial für Absorptionskühlung.....	28
Tabelle 11: Rohrabmessungen	31
Tabelle 12: Verfügbare Monitoringdaten für die Netzsimulation	38
Tabelle 13: Messdaten und Simulationsergebnisse für die Vorlauftemperaturen bei ausgewählten Übergabestationen.....	42
Tabelle 14: Mittlere und maximale absolute Abweichungen der Vorlauftemperaturen an den Übergabestationen.....	45
Tabelle 15: mittlere und maximale absolute Abweichungen der Rücklauftemperaturen am BHKW	45
Tabelle 16: Energiebilanz des Netzes für den Zeitraum 02.07.2006 – 09.07.2006	46
Tabelle 17: Kälteleistungen und Positionierung der verschiedenen Objekte	47
Tabelle 18: Variantendefinition.....	50
Tabelle 19: Energiebilanz des Netzes für den Zeitraum 02.07.2006 – 09.07.2006	55
Tabelle 20: Jährliche Verläufe der Stromaufnahmeleistung der verschiedenen Raumklimageräte	65
Tabelle 21: Verläufe der Stromaufnahmeleistung und der Innenraumtemperatur für zwei ausgewählten Wochen.....	66
Tabelle 22: Verteilung der Innenraumtemperatur während der Arbeitsstunden in den Monaten Juni bis August 2007.....	68
Tabelle 23: Abhängigkeit zwischen täglichem Stromverbrauch und mittlerer Außentemperatur	69
Tabelle 24: Investitionskosten für die AKM	70
Tabelle 25: Investitionskosten für die Referenzvariante mit Splitklimageräten	70
Tabelle 26: spezifische betriebsgebundene Preise.....	71
Tabelle 27: Energie- und Wasserverbrauch.....	71
Tabelle 28: jährliche betriebsgebundene Kosten	72
Tabelle 29: Verbrauchsgebundenes Kostenverhältnis Absorption / Kompression.....	73

Tabelle 30: Leitprinzipien nachhaltiger Technologieentwicklungen und Beiträge der Projektergebnisse	78
Tabelle 31: Faktoren, die das Realisierungspotenzial begrenzen.....	80
Tabelle 32: Im Projekt gewonnene Erkenntnisse	80
Tabelle 33: Weiterführende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten	84

Anhang A

Allgemeiner Netzplan

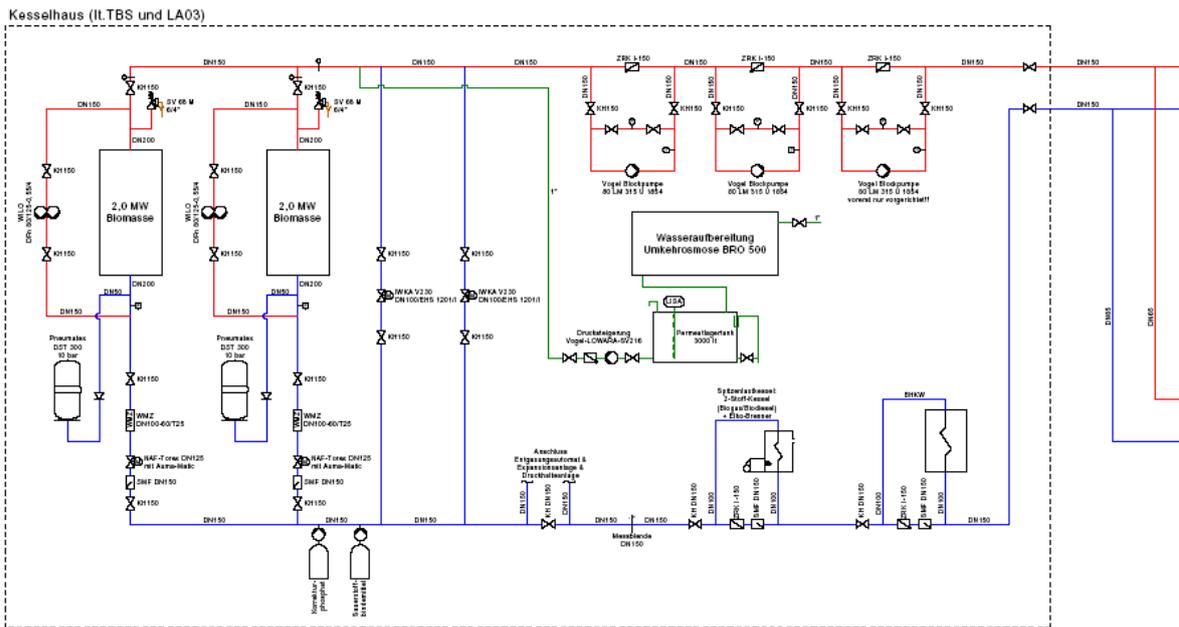


Anhang B

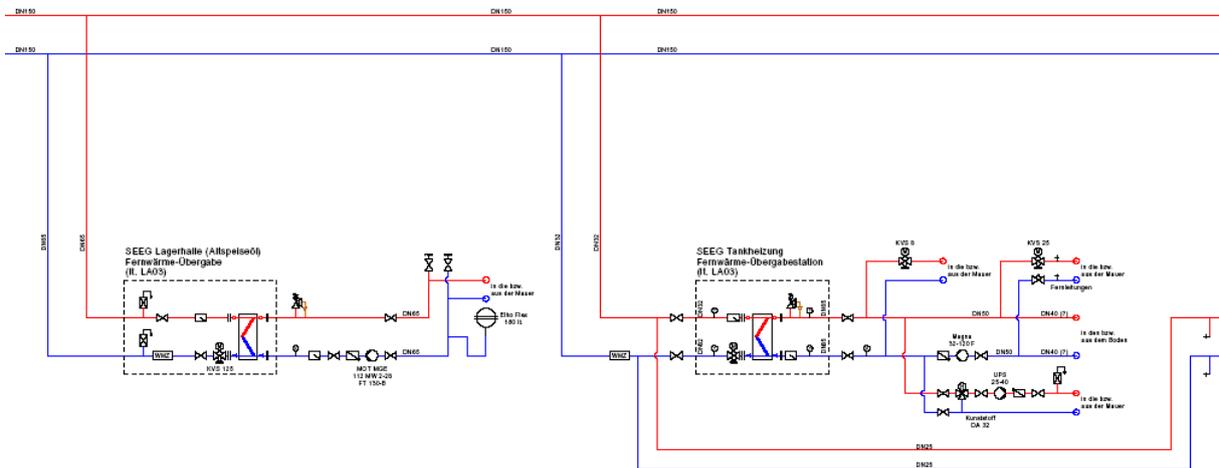
Schema Nahwärmenetz Mureck Einbindungssituation der betrachteten Gebäude

1	2	3	4
---	---	---	---

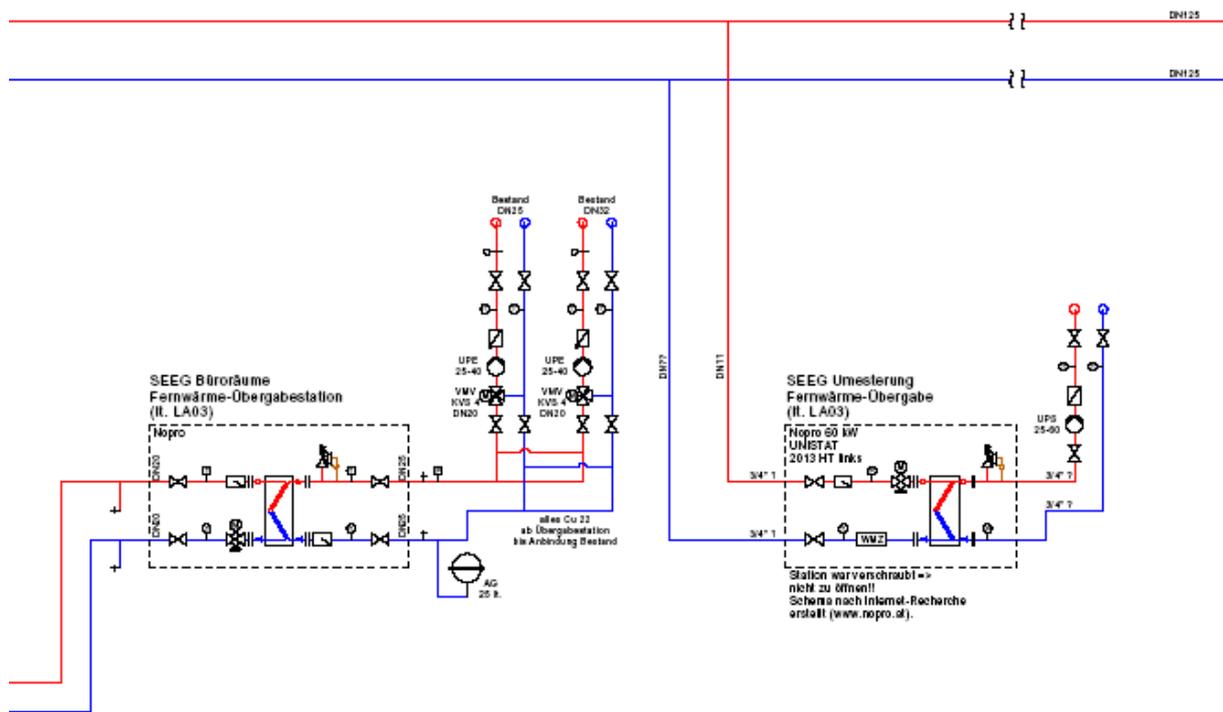
1



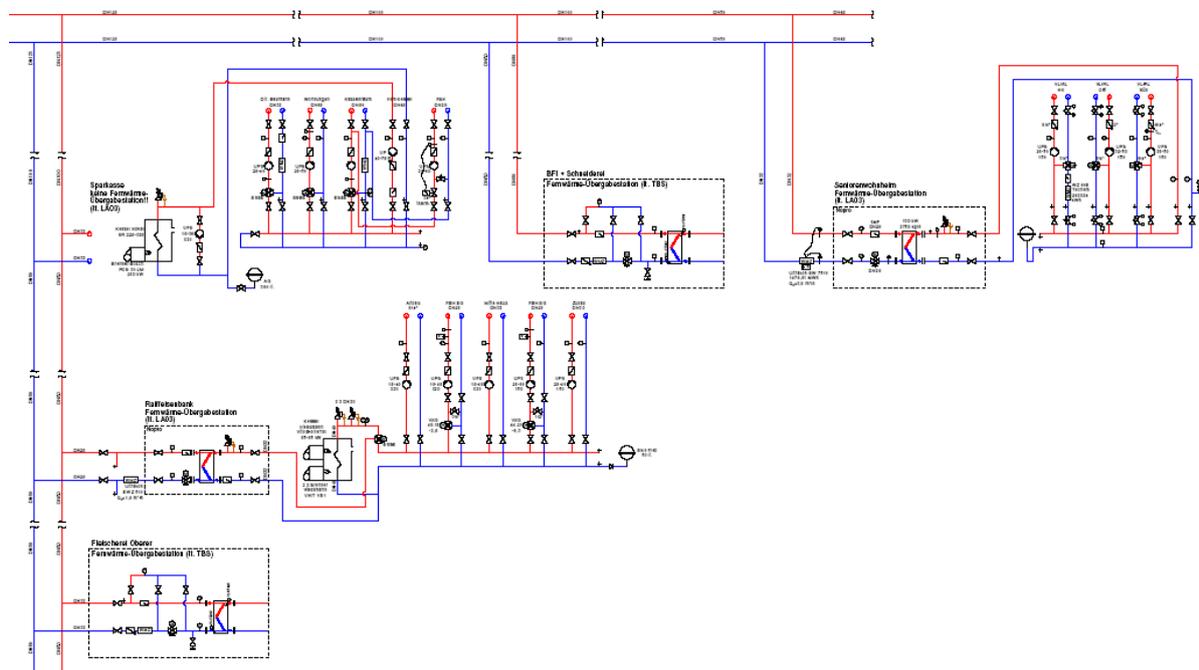
2



3

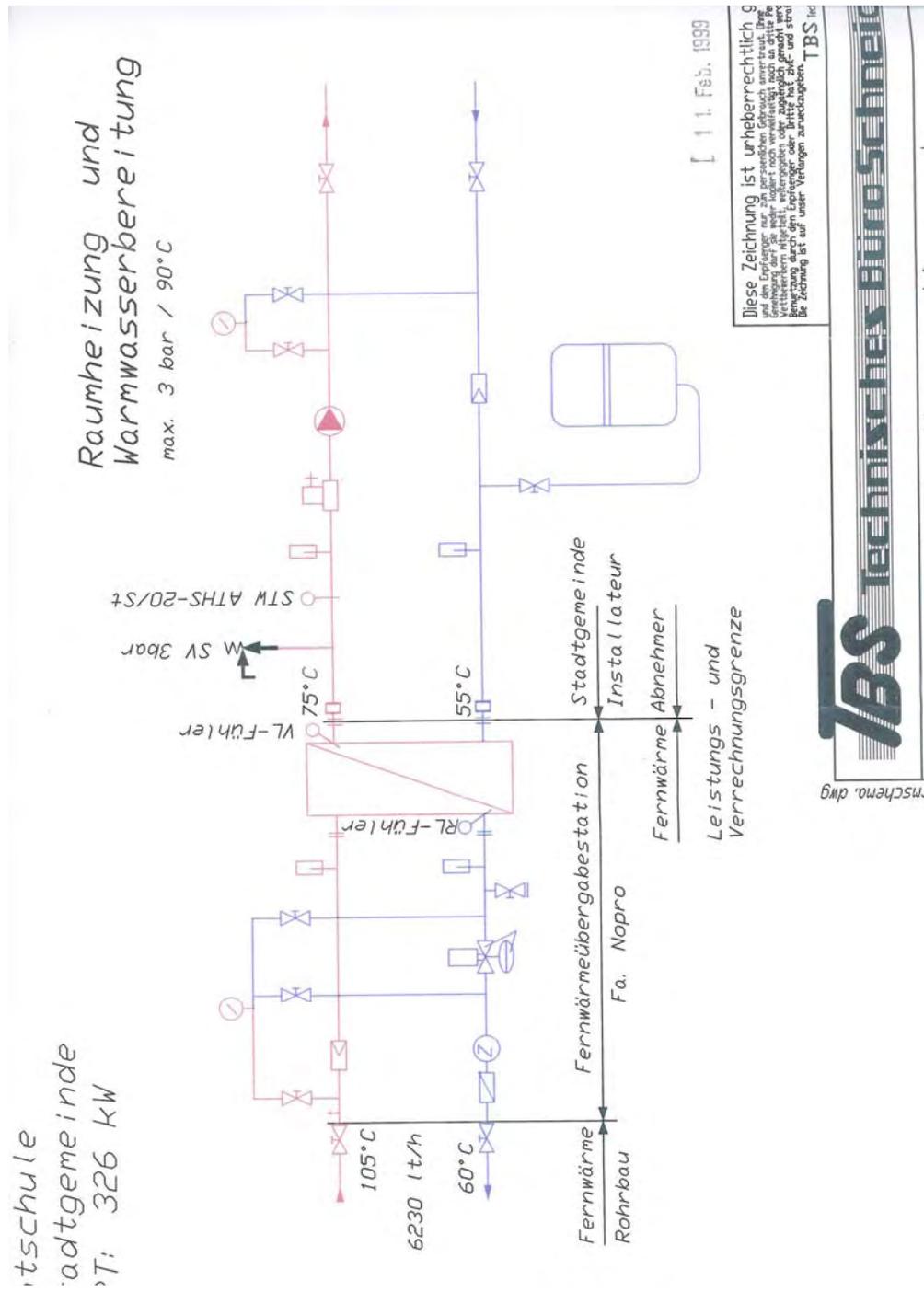


4



Anhang C

Fernwärmeübergabestation



Anhang D

Technische Gebäudebeschreibung

Technische Beschreibung

Objekt

Bank 1

Fernwärmeanschluss

Anschluss vorhanden: DN 25

Ansicht



Baujahr

Umbau im Jahr 1995

**Kurzbeschreibung
Bausubstanz**

Das Gebäude besteht aus drei Stockwerken und einem Kellergeschoss. Das Gebäude ist, bedingt durch sein Alter, in schwerer Bauweise errichtet und wurde so in der Berechnung der Kühllast nach VDI 2078 berücksichtigt.

**Kurzbeschreibung
Heizanlage**

Das Gebäude wird über Fernwärme beheizt, zusätzlich dazu ist eine zentrale Ölfeuerungsanlage installiert. Der im Heizraum befindliche Verteiler besitzt fünf Abgänge.

**Kurzbeschreibung
Kühlanlage**

Derzeit ist keine Kühlanlage installiert

Fernwärmeübergabestation



Heizungsverteiler



Fernwärmeeintritt



Tankraum



Kamin bestehender Kessel



Lageplan und Anlagenschema

Lageplan M 1:250

03.11.2006	LA03 Hb/Pr	0	Version
Datum		Bemerkung	

enerrep
schöner Tag
ENERGIEEFFIZIENZ

Technisches Büro Ing. Gerhard Repnik
Planung und Herstellung/überwachung von Heizungs-, Klima-, Lüftungs- und Sanitärinstallationen ; Energie- und Contracting analysen

Büro Graz: Büro Bad Radkersburg:
Münzgrabenstrasse 131 A / 2 - 8010 Graz Kodolitschhof 3/1 - 8450 Bad Radkersburg
Tel.: 0316 / 45254 - 0; Fax: DW 16 Tel.: 0316 / 41641 - 0; Fax: DW 16
office@enerrep.com - www.enerrep.com

PROJEKT
Multi-Mukli
Energiesysteme der Zukunft

PLANINHALT
Fernwärmeübergaberaum, Heizraum, Öllagerraum
Grundriss, Schema, Lageplan

FILENAME 070531_Schema_pr.PRT	GEZ. pr	GEPR. ING. G. REPNIK	DATUM 22.05.2007
PLANTYP Bestandsplan	MASSTAB 1:100	FORMAT A4 - lang	VERSION 0

Grundriss

LEGENDE

- 1) Übergehende Isolation
- 2) Perimeter im ersten LST
- 3) Heizkörper (K) / Leuchte (L)
- 4) Heizkörper (K) / Leuchte (L) Typ: Vindos - Biferm I
- 5) Heizkörper (K) / Leuchte (L) Typ: Vindos - Biferm II
- 6) Heizkörper (K) / Leuchte (L) Typ: Vindos - Biferm III
- 7) Heizkörper (K) / Leuchte (L) Typ: Vindos - Biferm IV
- 8) Heizkörper (K) / Leuchte (L) Typ: Vindos - Biferm V
- 9) Heizkörper (K) / Leuchte (L) Typ: Vindos - Biferm VI
- 10) Heizkörper (K) / Leuchte (L) Typ: Vindos - Biferm VII
- 11) Heizkörper (K) / Leuchte (L) Typ: Vindos - Biferm VIII
- 12) Heizkörper (K) / Leuchte (L) Typ: Vindos - Biferm IX
- 13) Heizkörper (K) / Leuchte (L) Typ: Vindos - Biferm X
- 14) Heizkörper (K) / Leuchte (L) Typ: Vindos - Biferm XI
- 15) Heizkörper (K) / Leuchte (L) Typ: Vindos - Biferm XII
- 16) Heizkörper (K) / Leuchte (L) Typ: Vindos - Biferm XIII
- 17) Heizkörper (K) / Leuchte (L) Typ: Vindos - Biferm XIV
- 18) Heizkörper (K) / Leuchte (L) Typ: Vindos - Biferm XV
- 19) Heizkörper (K) / Leuchte (L) Typ: Vindos - Biferm XVI
- 20) Heizkörper (K) / Leuchte (L) Typ: Vindos - Biferm XVII
- 21) Heizkörper (K) / Leuchte (L) Typ: Vindos - Biferm XVIII
- 22) Heizkörper (K) / Leuchte (L) Typ: Vindos - Biferm XIX
- 23) Heizkörper (K) / Leuchte (L) Typ: Vindos - Biferm XX
- 24) Heizkörper (K) / Leuchte (L) Typ: Vindos - Biferm XXI
- 25) Heizkörper (K) / Leuchte (L) Typ: Vindos - Biferm XXII
- 26) Heizkörper (K) / Leuchte (L) Typ: Vindos - Biferm XXIII
- 27) Heizkörper (K) / Leuchte (L) Typ: Vindos - Biferm XXIV
- 28) Heizkörper (K) / Leuchte (L) Typ: Vindos - Biferm XXV
- 29) Heizkörper (K) / Leuchte (L) Typ: Vindos - Biferm XXVI
- 30) Heizkörper (K) / Leuchte (L) Typ: Vindos - Biferm XXVII
- 31) Heizkörper (K) / Leuchte (L) Typ: Vindos - Biferm XXVIII
- 32) Heizkörper (K) / Leuchte (L) Typ: Vindos - Biferm XXIX
- 33) Heizkörper (K) / Leuchte (L) Typ: Vindos - Biferm XXX

Schema Fernwärme- übergaberaum + Heizraum o.M.

Maximale mögliche Heizleistung Übergabestation

105 kW

 $\Delta T = 35 \text{ K}$

Massenstrom = 2570 kg/h

 $\Delta P = 130 \text{ Pa/m}$ **Max. mögliche Kühlleistung der angeschlossenen AKM**

12,6 kW

Bereits installierte Kälteleistung

Keine Kühlanlage installiert

Räume mit Kühlbedarf

Schalterleitung, Beratung 3, Kreditleiter, Kreditbearbeitung, Innenrevisor, BH, BH Technik, GL List, Kredit-Controlling, GL Hirtl, EDV-Technik, Sitzungsraum

Kühllastberechnung: allgemeine Hinweise

Zur Berechnung der Kühllast wurde das Gebäude in 6 Zonen unterteilt. Die Aufteilung wurde nach Orientierung und den unterschiedlichen Benutzerprofilen vorgenommen. Im Wesentlichen sind drei Profile zu unterscheiden:

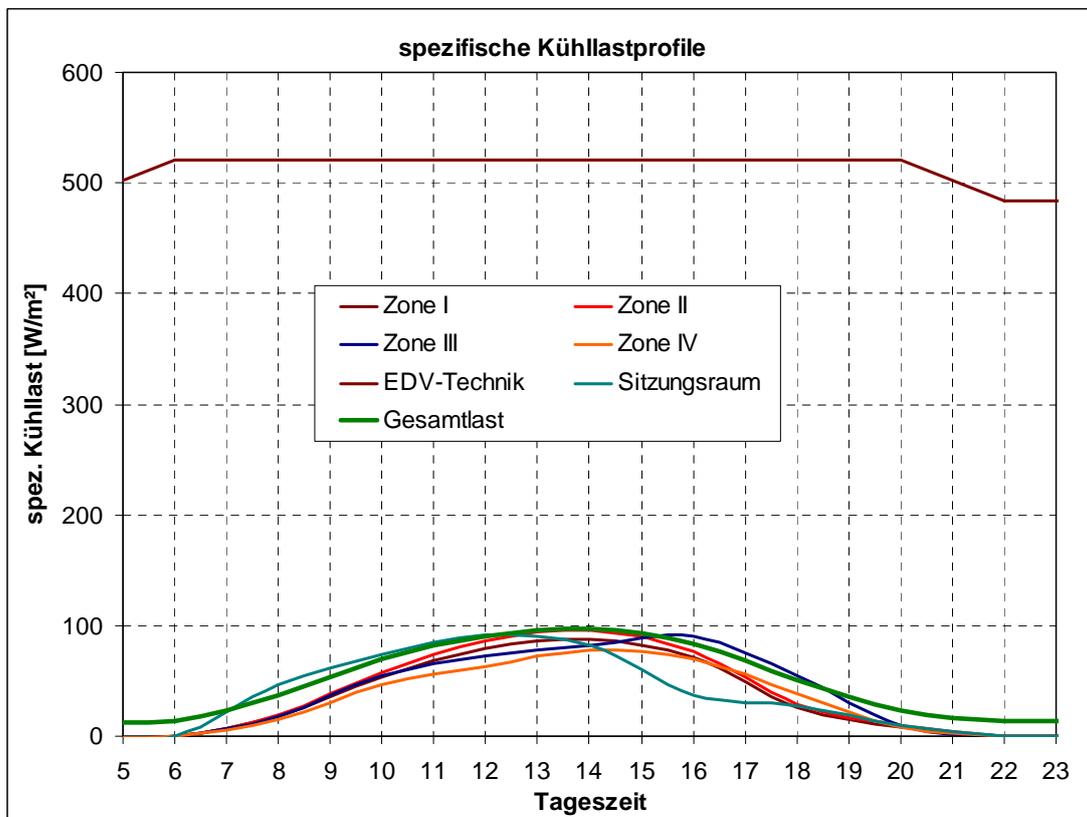
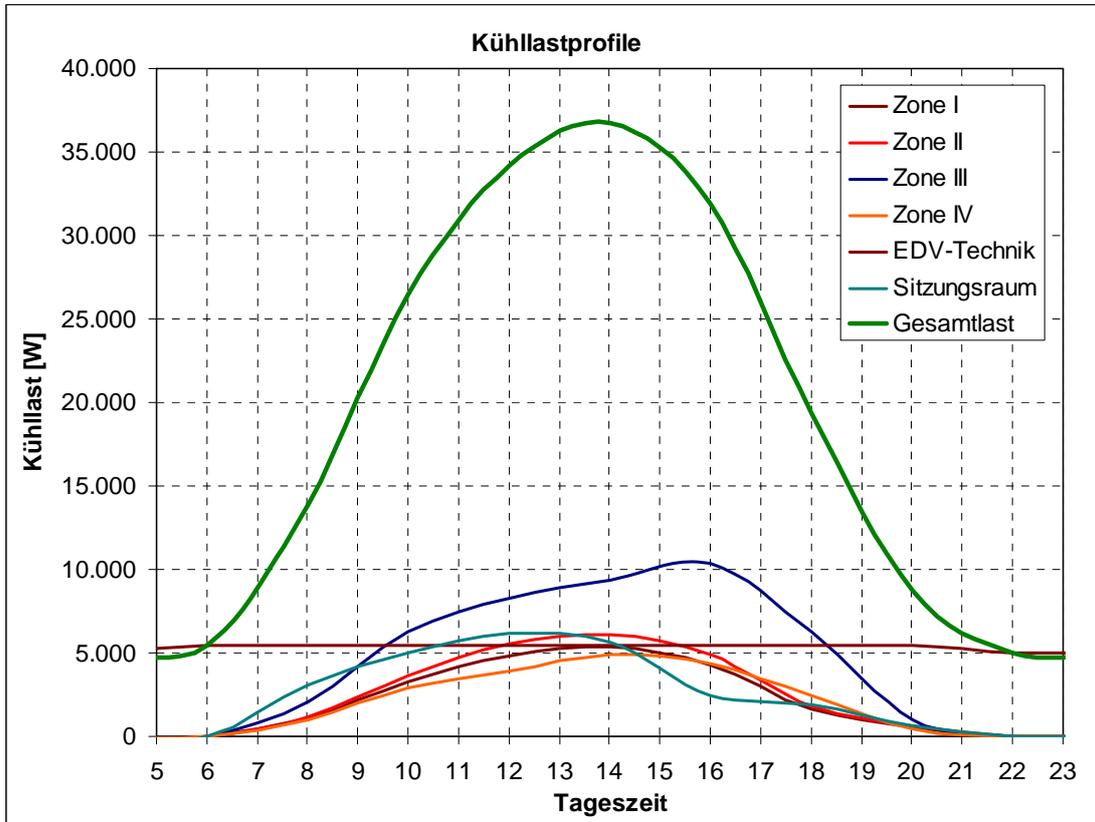
- Bürobetrieb
- EDV Servertechnik
- Besprechungsräume

Der Tagesverlauf wurde über den jeweiligen Sonnenstand unter Berücksichtigung des Speicherverhaltens des Bauteils und (soweit möglich) der beschatteten Flächen ermittelt.

Kühllastberechnung: Zonendefinition und maximale Kühllast

Zone	Räume	Ausrichtung	Bemerkung	Fläche [m ²]	Spezifische Kühllast [W/m ²]	Kühllast [W]
Zone I	Schalterleiter, Beratung 3	Süd	Mo-Fr 08 ⁰⁰ -18 ⁰⁰	61,3	88,0	5.391
Zone II	Kreditleiter, Kreditbearbeitung	Süd	Mo-Fr 08 ⁰⁰ -18 ⁰⁰	64,3	95,1	6.116
Zone III	Innenrevisor, BH, BH Technik, GL List	Süd-West	Mo-Fr 08 ⁰⁰ -18 ⁰⁰	114,8	90,5	10.384
Zone IV	Kredit-Controlling, GL Hirtl	Nord-Ost	Mo-Fr 08 ⁰⁰ -18 ⁰⁰	62,5	77,9	4.869
Zone V	EDV-Technik	Innen	24/7 Kühlen	10,4	520,8	5.416
Zone VI	Sitzungsraum	Süd-Ost	nach Bedarf	67,7	91,8	6.216
Gesamt				381,0	100,8	38.392

Kühllastberechnung: Kühllastprofile



Technische Beschreibung

Objekt

Bank 2

Fernwärmeanschluss

Anschluss vorhanden: DN 32

Ansicht



Baujahr

1900?

**Kurzbeschreibung
Bausubstanz**

Das Gebäude besteht aus drei Stockwerken und einem Kellergeschoss. Darin befinden sich die Filiale der Bank, ein Gastbetrieb, drei Ordinationen und mehrere Wohnungen. Das Haus besteht hauptsächlich aus alter Bausubstanz, dementsprechend dickes Mauerwerk als Außenwände. In der Bank selbst wurde aufgrund von Umbauarbeiten die Grundrissstruktur verändert, d.h. einige der alten Mauern wurden entfernt und Leichtbauwände bzw. Glasflächen eingesetzt.

**Kurzbeschreibung
Heizanlage**

Das Gebäude wird durch eine zentrale Ölfeuerungsanlage, welche sich im südlichen Teil des Kellers befindet (siehe Lageplan), beheizt (Errichtungsjahr 1984). Ein Fernwärmeanschluss in der Dimension DN 32 ist vorgerichtet.

Der im Heizraum befindliche Verteiler besitzt drei Abgänge.

**Kurzbeschreibung
Kühlanlage**

Derzeit sind in der Bank drei Klimageräte installiert. Eines befindet sich in der Kassenhalle zwischen den Bereichen Fernsehen und Kinderspielecke und ist als Deckengerät mit max. 5 kW Kühlleistung ausgeführt. Die beiden anderen Geräte sind in den beiden Büros mit je max. 1,5 kW auch als Deckengerät ausgeführt. Die gesamte Anlage ist als Multisplitanlage ausgeführt: alle 3 Innengeräte sind mit einer einzigen Außeneinheit gekoppelt.

Heizkessel



Heizungsverteiler



Öltank



Fernwärmeeintritt



Klimagerät Kassenhalle



Klimagerät Büro 1



Klimagerät Außeneinheit



Lageplan und Anlagenschema

Lageplan M 1:500

Datum	LA03 Ha/Pr	Version	0
Bemerkung			

Technisches Büro Ing. Gerhard Repnik
Planung und Herstellung überwachung von Heizungs-, Klima-,
Lüftungs- und Sanitärinstallationen ; Energie- und Contractinganalysen

Büro Graz: Münggadenstrasse 131 A / 2 - 8010 Graz
Kodelltschhof 3/1 - 8430 Bad Radkersburg
Tel.: 0316 / 482854 - 0; Fax: DW 16

Büro Bad Radkersburg: Kodelltschhof 3/1 - 8430 Bad Radkersburg
Tel.: 0316 / 482854 - 0; Fax: DW 16

office@enerrep.com - www.enerrep.com

enerrep
schöner Tag
INGENIEURBEREICH

PROJEKT
Multi-Mukli
Energiesysteme der Zukunft

PLANINHALT
Sparkasse
Heizraum, Öllagerraum
Grundriss, Schema, Lageplan

FILENAME	070531_Schema_pr.PRT	GEPR.	ING. G. REPNIK	DATUM	22.05.2007
PLANTYP	Bestandsplan	MASSTAB	1:50	VERSION	0
		FORMAT	A4 - lang		

Grundriss

LEGENDE

- 1) Heizkessel
- 2) Puffer-Tank
- 3) Typ: SR 225-325
- 4) Typ: SR 225-325
- 5) Typ: SR 225-325
- 6) Typ: SR 225-325
- 7) Typ: SR 225-325
- 8) Typ: SR 225-325
- 9) Typ: SR 225-325
- 10) Typ: SR 225-325
- 11) Typ: SR 225-325
- 12) Typ: SR 225-325
- 13) Öltauchkessel
- 14) Öltauchkessel
- 15) Öltauchkessel
- 16) Öltauchkessel
- 17) Öltauchkessel
- 18) Öltauchkessel
- 19) Öltauchkessel
- 20) Öltauchkessel
- 21) Öltauchkessel
- 22) Öltauchkessel
- 23) Öltauchkessel
- 24) Öltauchkessel

Schema Heizraum o.M.

**Maximale mögliche Heizleistung
Übergabestation**

105 kW

 $\Delta T = 35 \text{ K}$

Massenstrom = 2570 kg/h

 $\Delta P = 130 \text{ Pa/m}$ **Max. mögliche Kühlleistung der
angeschlossenen AKM**

12,6 kW

Bereits installierte Kälteleistung

1 x 5 kW

2 x 1,5 kW

Räume mit KühlbedarfKassenhalle, Büro 2, Besprechung, Büro 2,
Serverraum**Kühllastberechnung: allgemeine Hinweise**

Zur Bemessung der Kühllast wurde das Gebäude in 5 Zonen unterteilt. Die Aufteilung wurde nach Orientierung und den unterschiedlichen Benutzerprofilen vorgenommen. Im Wesentlichen sind drei Profile zu unterscheiden:

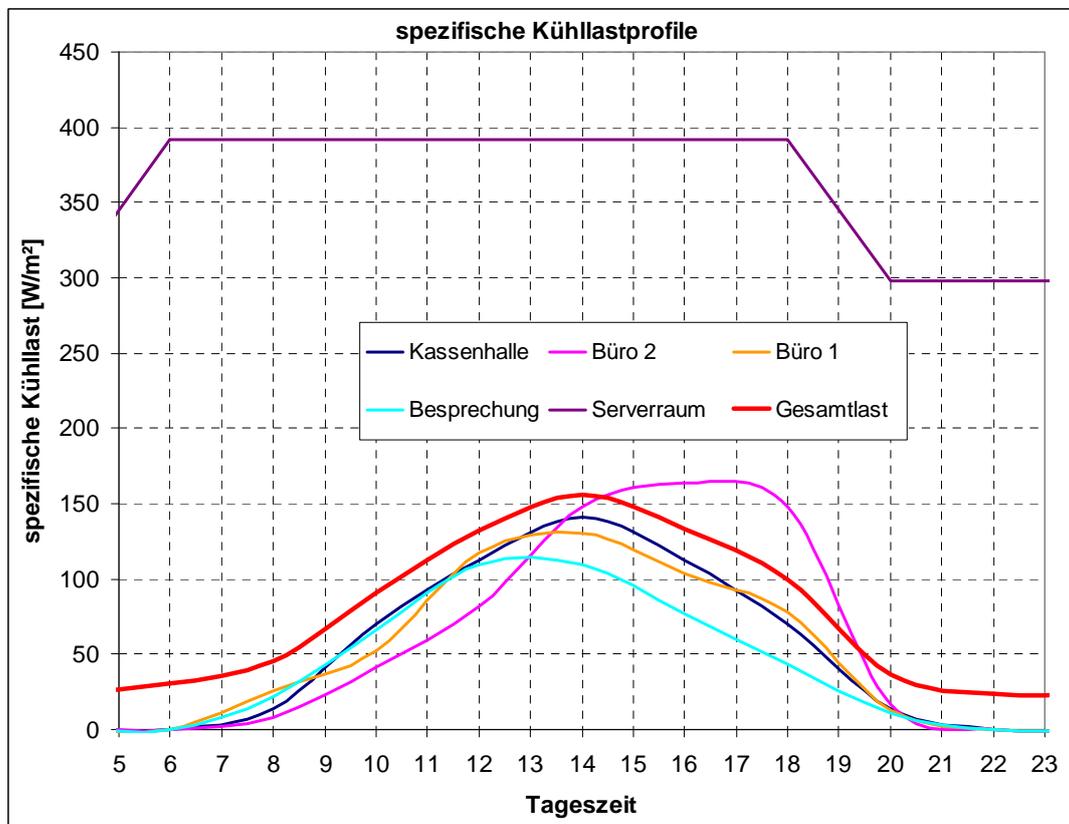
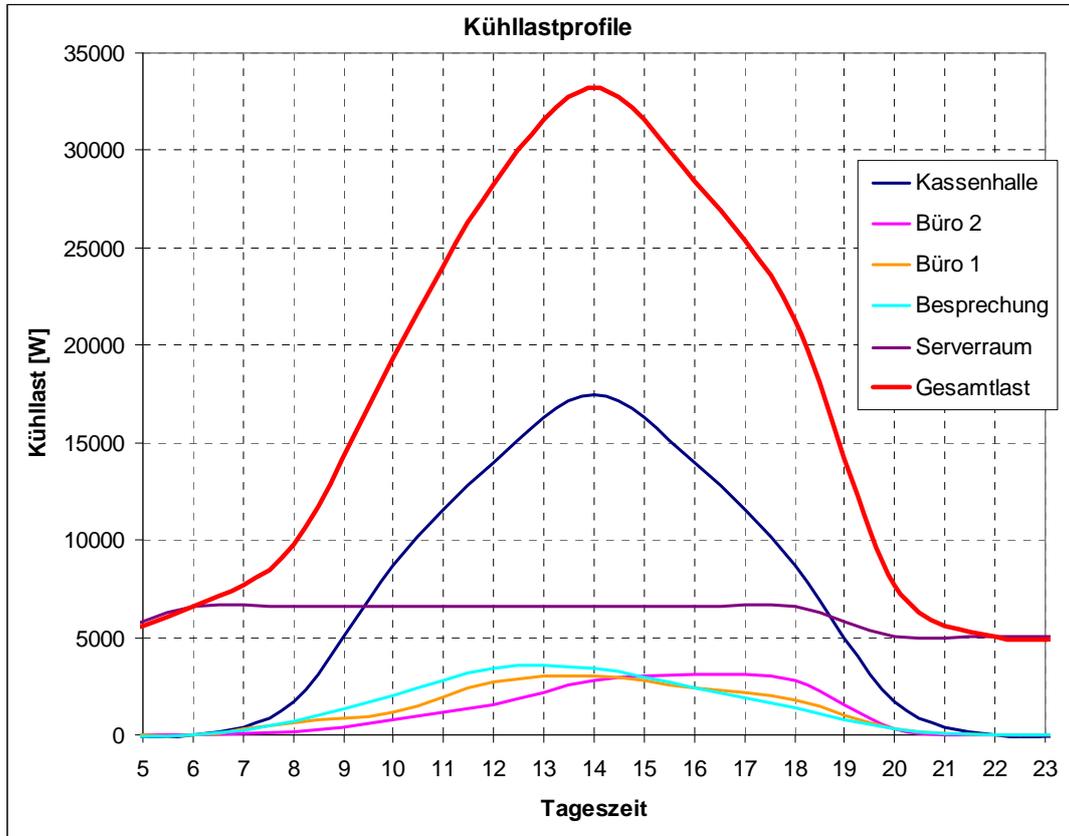
- Bürobetrieb
- EDV Servertechnik
- Besprechungsräume

Der Tagesverlauf wurde über den jeweiligen Sonnenstand unter Berücksichtigung des Speicherverhaltens des Bauteils und (soweit möglich) der beschatteten Flächen ermittelt.

Kühllastberechnung: Zonendefinition und maximale Kühllast

Zone	Räume	Ausrichtung	Bemerkung	Fläche [m ²]	Spezifische Kühllast [W/m ²]	Kühllast [W]
Zone I	Kassenhalle	Ost,West	lt. Öffnungszeiten	123,6	141,0	17.426
Zone II	Büro 2	West	Mo-Fr 08 ⁰⁰ -18 ⁰⁰	18,8	164,2	3.085
Zone III	Besprechung	Nord-Ost	nach Bedarf	31,2	109,7	3.424
Zone IV	Büro 1	Nord-Ost	Mo-Fr 08 ⁰⁰ -18 ⁰⁰	23,0	130,0	2.991
Zone V	Serverraum	Nord-Ost	24/7 Kühlen	16,9	391,8	6.614
Gesamt				213,5	187,4	33.540

Kühllastberechnung: Kühllastprofile



Technische Beschreibung

Objekt

Wirtshaus

Fernwärmeanschluss

Anschluss vorhanden: DN 32

Ansicht



Baujahr

ca. 1650

**Kurzbeschreibung
Bausubstanz**

Das Gebäude besteht aus zwei Stockwerken und einem Kellergeschoss. Weiters gibt es ein Nebengebäude, indem sich die Kühlhäuser, die Schlachtküche etc. befinden.

**Kurzbeschreibung
Heizanlage**

Das Gebäude wird von zwei zentralen Ölfeuerungsanlagen beheizt. Ein Fernwärmeanschluss in der Dimension DN 32 ist vorgerichtet. Der erste Verteiler besitzt sieben Abgänge.

**Kurzbeschreibung
Kühlanlage**

Das Geschäftslokal ist derzeit der einzige Bereich, der durch eine Splitklimaanlage (4 kW) gekühlt wird. Die Kühlhäuser werden durch drei zentrale Kältemaschinen gekühlt. Die Abwärme der Kondensatoren wird über Warmwasserboiler zurück gewonnen.

Heizkessel Heizraum 2



Fernwärmeeintritt



Heizungsverteiler Heizraum 2



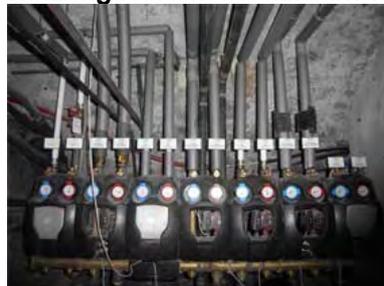
Boiler m. WRG KM



Kompressionskältemaschine



Heizungsverteiler Heizraum 1



Heizkessel Heizraum 1



Lageplan und Anlagenschema

Grundriss Übersicht

Lageplan

Datum	20.03.2007	LA04 Sai/Ho	0	Version
Bemerkung				

Technisches Büro Ing. Gerhard Repnik
 Planung und Herstellungsberechnung von Heizungs-, Klima-,
 Lüftungs- und Sanitärinstallationen : Energie- und Contractinganalysen
 Büro Graz: Mühlgrabensstrasse 101 A / 2. - 8010 Graz
 Kollerschhof 317-869 Bad Radkersburg
 Tel.: 0316 462884-9; Fax: 0316 462885
 office@enerrep.com - www.enerrep.com

enerrep
schöner tag
 ENGINEERING

PROJEKT
Multi-Mukli
Energiesysteme der Zukunft

PLANINHALT
Fleischerei Oberer
Fernwärmeübergaberaum, Heizraum,
Grundriss, Schema, Lageplan

FILENAME	070531_Schema_pr.PRT	GEPR.	ING. G. REPNIK	DATUM	22.05.2007
PLANTYP	Bestandsplan	GEZ.	wa	FORMAT	A4 - lang
		MASSTAB	1:100	VERSION	0

Grundriss Heizzentrale 1

Grundriss Heizzentrale 2

LEGENDE

1) Heizzentrale 1
 1.1) Heizraum
 1.2) Tankraum
 1.3) Gewölbendecke
 2) Heizzentrale 2
 2.1) Pumpensumpf
 2.2) Heizraum
 2.3) Tankraum
 2.4) Gewölbendecke
 2.5) Heizraum

2) KWP-Fernwärme
 3) KWP-Fernwärme
 4) KWP-Fernwärme
 5) KWP-Fernwärme
 6) KWP-Fernwärme
 7) KWP-Fernwärme
 8) KWP-Fernwärme
 9) KWP-Fernwärme
 10) KWP-Fernwärme
 11) KWP-Fernwärme
 12) KWP-Fernwärme
 13) KWP-Fernwärme
 14) KWP-Fernwärme
 15) KWP-Fernwärme
 16) KWP-Fernwärme
 17) KWP-Fernwärme
 18) KWP-Fernwärme
 19) KWP-Fernwärme
 20) KWP-Fernwärme
 21) KWP-Fernwärme
 22) KWP-Fernwärme
 23) KWP-Fernwärme
 24) KWP-Fernwärme
 25) KWP-Fernwärme
 26) KWP-Fernwärme
 27) KWP-Fernwärme
 28) KWP-Fernwärme
 29) KWP-Fernwärme
 30) KWP-Fernwärme
 31) KWP-Fernwärme
 32) KWP-Fernwärme
 33) KWP-Fernwärme
 34) KWP-Fernwärme
 35) KWP-Fernwärme
 36) KWP-Fernwärme
 37) KWP-Fernwärme
 38) KWP-Fernwärme
 39) KWP-Fernwärme
 40) KWP-Fernwärme
 41) KWP-Fernwärme
 42) KWP-Fernwärme
 43) KWP-Fernwärme
 44) KWP-Fernwärme
 45) KWP-Fernwärme
 46) KWP-Fernwärme
 47) KWP-Fernwärme
 48) KWP-Fernwärme
 49) KWP-Fernwärme
 50) KWP-Fernwärme
 51) KWP-Fernwärme
 52) KWP-Fernwärme
 53) KWP-Fernwärme
 54) KWP-Fernwärme
 55) KWP-Fernwärme
 56) KWP-Fernwärme
 57) KWP-Fernwärme
 58) KWP-Fernwärme
 59) KWP-Fernwärme
 60) KWP-Fernwärme
 61) KWP-Fernwärme
 62) KWP-Fernwärme
 63) KWP-Fernwärme
 64) KWP-Fernwärme
 65) KWP-Fernwärme
 66) KWP-Fernwärme
 67) KWP-Fernwärme
 68) KWP-Fernwärme
 69) KWP-Fernwärme
 70) KWP-Fernwärme
 71) KWP-Fernwärme
 72) KWP-Fernwärme
 73) KWP-Fernwärme
 74) KWP-Fernwärme
 75) KWP-Fernwärme
 76) KWP-Fernwärme
 77) KWP-Fernwärme
 78) KWP-Fernwärme
 79) KWP-Fernwärme
 80) KWP-Fernwärme
 81) KWP-Fernwärme
 82) KWP-Fernwärme
 83) KWP-Fernwärme
 84) KWP-Fernwärme
 85) KWP-Fernwärme
 86) KWP-Fernwärme
 87) KWP-Fernwärme
 88) KWP-Fernwärme
 89) KWP-Fernwärme
 90) KWP-Fernwärme
 91) KWP-Fernwärme
 92) KWP-Fernwärme
 93) KWP-Fernwärme
 94) KWP-Fernwärme
 95) KWP-Fernwärme
 96) KWP-Fernwärme
 97) KWP-Fernwärme
 98) KWP-Fernwärme
 99) KWP-Fernwärme
 100) KWP-Fernwärme

Schema Heizraum 1 o.M.

Schema Heizraum 2 o.M.

**Maximale mögliche Heizleistung
Übergabestation**

100 kW

 $\Delta T = 35 \text{ K}$

Massenstrom = 2450 kg/h

 $\Delta P = 130 \text{ Pa/m}$ **Max. mögliche Kühlleistung der
angeschlossenen AKM**

12 kW

Bereits installierte Kälteleistung

4 kW

Räume mit KühlbedarfVerkauf, Windfang EG, Rest/Schrank,
Speiser/Cafe, Stüberl**Kühlleistungsberechnung: allgemeine Hinweise**

Das Gebäude benötigt primär Kälteleistung für die bestehenden Kühlräume. Die Leistungen der Kältemaschinen wurden im Zuge des LA aufgenommen.

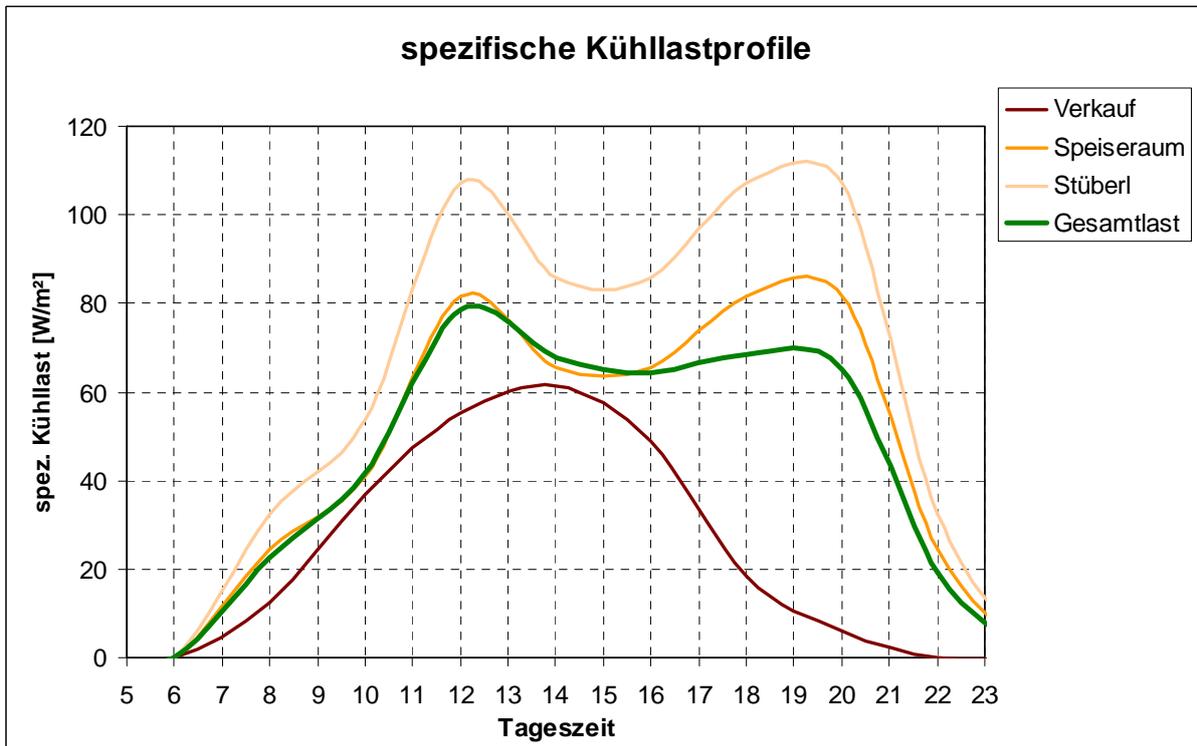
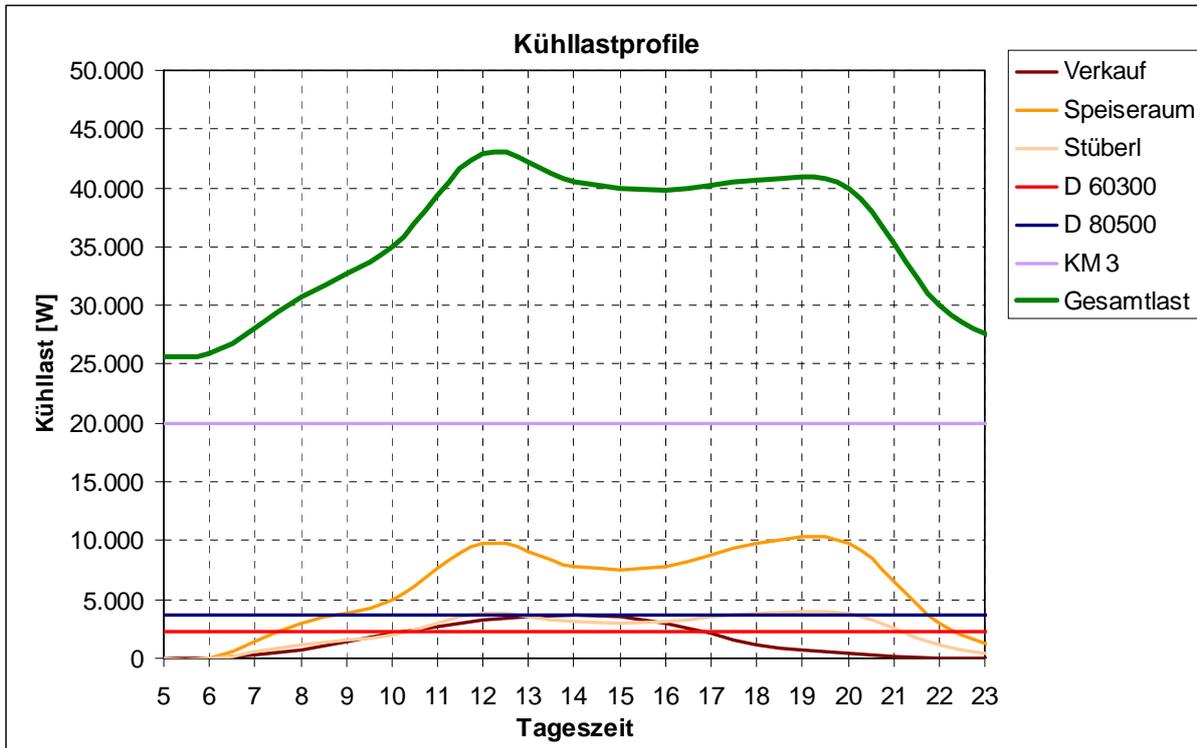
Das Geschäftslokal ist derzeit der einzige Bereich, der durch ein bestehendes Splitklimagerät (4 kW) gekühlt wird.

Die Restaurantbereiche (Speiseraum und Stüberl) wurden jeweils mit der maximalen Gästeanzahl (60/20) bemessen. Eine Volllast ist vor allem zur Mittags- und Abendszeit zu erwarten. Die Personenabwärme bildet einen wesentlichen Anteil an der Gesamtlast, weshalb die benötigte Kälteleistung stark mit der Gästezahl schwankt.

Kühlleistungsberechnung: Zonendefinition und maximale Kühlleistung

Zone	Räume	Ausrichtung	Bemerkung	Fläche [m ²]	Spezifische Kühlleistung [W/m ²]	Kühlleistung [W]
Zone I	Verkauf, Windfang EG	Nord	lt. LA04 SplitKlima Bestand	59,3	61,3	3.636
Zone II	Rest/Schank, Speiser/Cafe	Nord-Ost	Vollast bei 60 Personen	119,9	81,7	9.791
Zone III	Stüberl	Süd-Ost	Vollast bei 20 Personen	36,2	107,4	3.890
KM I	Kühlmaschinenraum alt EG	---	Kältemaschine 1: Fabr.: Frigopol Type: D 60300			2.200
KM II	Kühlmaschinenraum alt EG	---	Kältemaschine 2: Fabr.: Frigopol Type: D 80500			3.700
KM III	Kühlmaschinenraum neu OG	---	Kältemaschine 3: 80 kW Kälteleistung 20 kW Abnahme			20.000
Gesamt				215,4	80,4	43.217

Kühllastberechnung: Kühllastprofile



Technische Beschreibung

Objekt

Bürogebäude SEEG

Fernwärmeanschluss

Anschluss vorhanden: DN 32

Ansicht



Baujahr

unbekannt

**Kurzbeschreibung
Bausubstanz**

Das Gebäude besteht aus zwei Stockwerken und einem Kellergeschoss.

Das Haus besitzt eine mittelschwere Bauweise, was in der Berechnung der Kühllast nach VDI 2078 berücksichtigt wurde.

**Kurzbeschreibung
Heizanlage**

Es gibt vier getrennte Fernwärmeübergabestationen (Tankheizung, Umesterung, Lagerhalle und Büroräume), siehe Schema.

**Kurzbeschreibung
Kühlanlage**

Das Bürogebäude wird mit fünf Splitklimaggeräten gekühlt (in Summe 15 kW Kälteleistung)

**Fernwärmeübergabestation
Heizungsverteiler Bürogebäude**



**Fernwärmeübergabestation
Umesterung**



**Fernwärmeübergabestation
Lagerhalle**



Ausdehnungsgefäße



Lageplan und Anlagenschema

Lageplan

26.11.2007	Anbindung Absorptionskältemaschine	0	0	Version
03.11.2006	LA03_Ha/Pr			
Datum Bemerkung				

Technisches Büro Ing. Gerhard Repnik
 Planung und Herstellung/überwachung von Heizungs-, Klima-, Lüftungs- und Sanitäreinstellungen; Energie- und Contractinganalysen

enerrep
schöner Tag
 ZENGENZEITUNG

Büro G: | Büro O: |
 Müllergäßchen 111 A 12 | Büro Bad Reinerberg
 10100 Wien | 10100 Wien | Bad Reinerberg
 Tel.: 0115 483284 - 0; Fax: 0115 483284 - 0; Fax: 0115 483284 - 0; Fax: 0115 483284 - 0

office@enerrep.com - www.enerrep.com

PROJEKT
 Multi-Muklit
 Energiesysteme der Zukunft

PLANINHALT
 SEEG Bürogebäude
 Fernwärmeübergabem Grundriss, Schema, Lageplan
 Integrierte Absorptionskältemaschine 16kW

FILENAME	000103_Schema_GR_PRT	GEZ	D1_Sauter	GEPR	ING. G. REPNIK	DATUM	03.01.2008
PLANTYP	MASSTAB	1:50	FORMAT	A4 - lang	VERSION	0	0
Konzeptplan							

Grundriss Verteilerraum FW Tankhgz. & Raumhgz.

Schema FW-Übergabe Tankhgz. & Raumhgz. (2/5) o.M.

Schema FW-Übergabe Umesterung (9) o.M.

Schema FW-Übergabe Lagerhalle (8) o.M.

LEGENDE

- 1) FW Einleit. Heiz. Rücklauf
- 2) Ausdehnungsgefäß
- 3) Ventil für HZP
- 4) Umwälzpumpe
- 5) Umschaltstation
- 6) Schaltstation g.R. Schema
- 7) Einleit. Tankhgz.
- 8) Einleit. Tankhgz.
- 9) Lagerhalle
- 10) Umwälzpumpe
- 11) HZP o. RD MW

**Maximale mögliche Heizleistung
Übergabestation**

175 kW

$\Delta T = 35 \text{ K}$

Massenstrom = 4285 kg/h

$\Delta P = 120 \text{ Pa/m}$

**Max. mögliche Kühlleistung der
angeschlossenen AKM**

21 kW

Bereits installierte Kälteleistung

15 kW Splitklimageräte

Räume mit Kühlbedarf

Büro 1 OG, Büro 2 OG, Besprechungsraum,
Küche EG, Schaltwarte

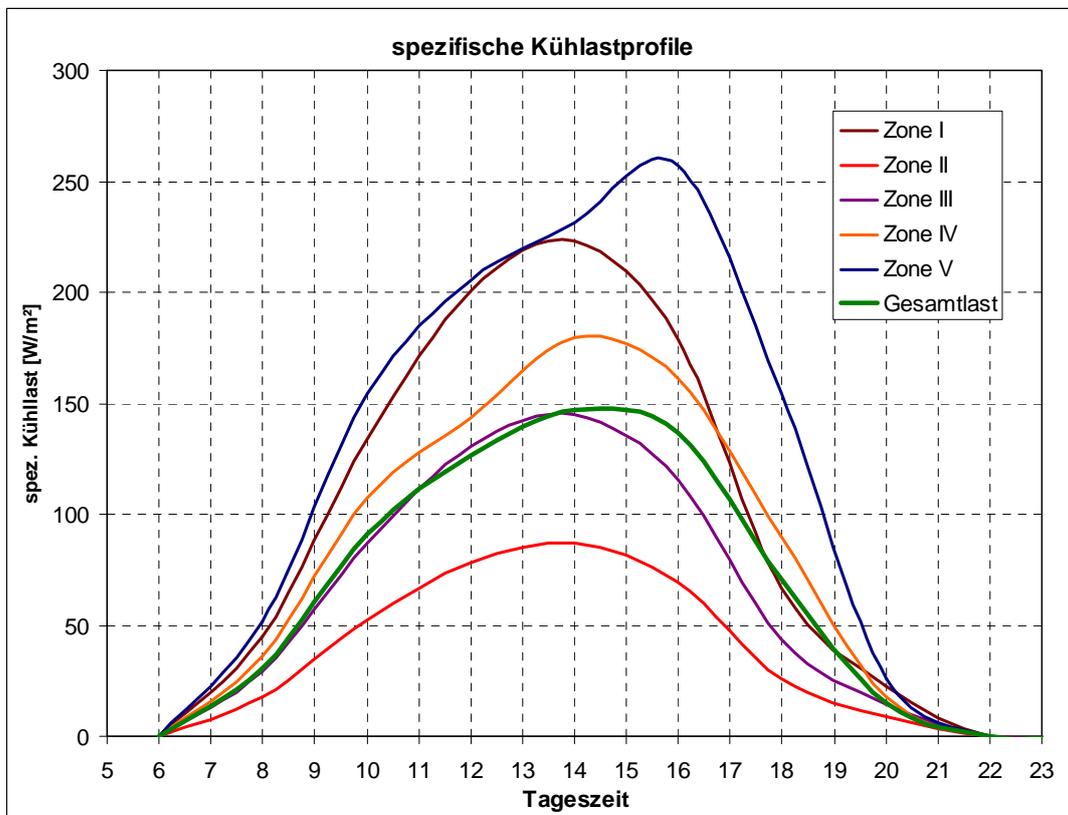
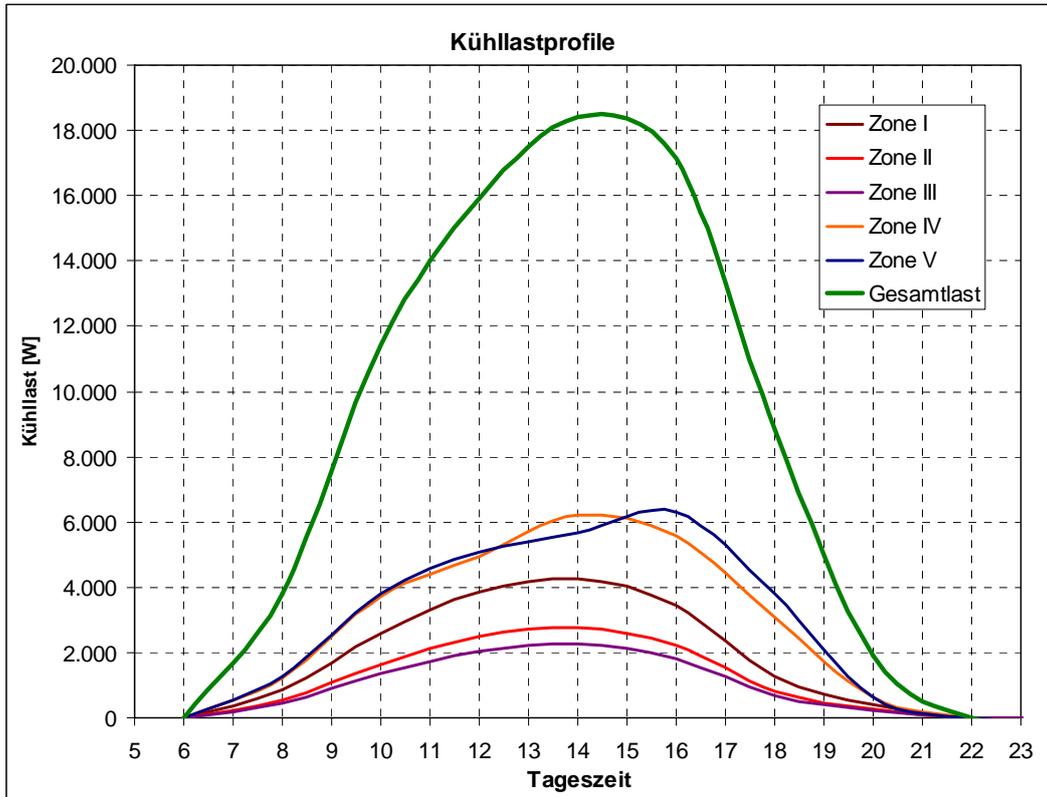
Kühllastberechnung: allgemeine Hinweise

Beide Räume, in denen die Schaltwarten untergebracht sind, haben eine interne Grundlast von ca. 3,6 kW_{th}. Die Stromaufnahme variiert je nach Benutzerverhalten, sowie der Außentemperatur. Die max. Kühllast kann unter Berücksichtigung der Gleichzeitigkeit von 70% mit einer 15 kW abgedeckt werden. Die internen bzw. externen (inkl. Nebenräume) Lasten wurden in berücksichtigt.

Kühllastberechnung: Zonendefinition und maximale Kühllast

Zone	Räume	Ausrichtung	Bemerkung	Fläche [m ²]	Spezifische Kühllast [W/m ²]	Kühllast [W]
Zone I	Büro 1 OG	Nord Ost	sehr hohe int. Lasten	19,2	223,3	4.284
Zone II	Büro 2 OG	Süd Ost		31,6	87,1	2.752
Zone III	Besprechungsraum	Süd Ost	hohe int. Lasten	15,5	144,9	2.254
Zone IV	Küche EG	Nord Ost	sehr hohe int. Lasten	24,6	257,0	6.322
Zone V	Schaltwarte	Nord Ost	hohe int. Lasten	34,5	179,3	6.200
Gesamt				125,4	173,8	21.812

Kühllastberechnung: Kühllastprofile



Technische Beschreibung

Objekt

Ausbildungsgebäude

Fernwärmeanschluss

Anschluss vorhanden: DN 80

Ansicht



Baujahr

Ca. 1970

**Kurzbeschreibung
Bausubstanz**

Das Gebäude besteht aus zwei Stockwerken und einem Kellergeschoss. 2001 kam es zu einem Umbau von einer Käserei in ein Bürogebäude.

Das Haus wurde ca. in den siebziger Jahren gebaut. Es handelt sich um eine mittelschwere Bauweise, was in der Berechnung der Kühllast nach VDI 2078 berücksichtigt wurde.

**Kurzbeschreibung
Heizanlage**

Das Gebäude wird derzeit über Fernwärme versorgt, zusätzlich befindet sich im Heizraum ein Öl-Heizkessel, der nicht mehr in Betrieb ist.

Der Verteiler im Heizraum besitzt drei Abgänge.

**Kurzbeschreibung
Kühlanlage**

Es ist keine Kühlanlage installiert.

Fernwärmeübergabestation



Fernwärmeeintritt primär



Fernwärmeübergabestation



Heizungsverteiler



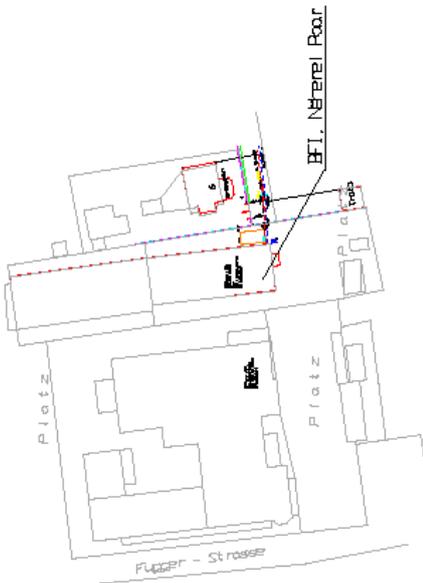
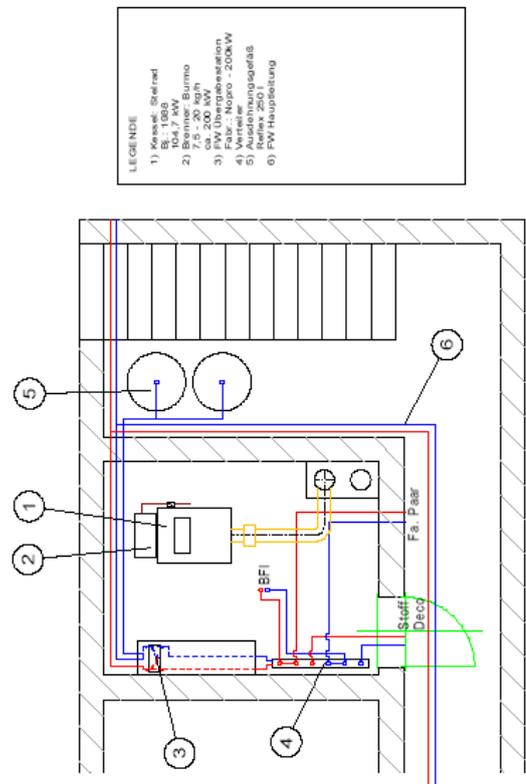
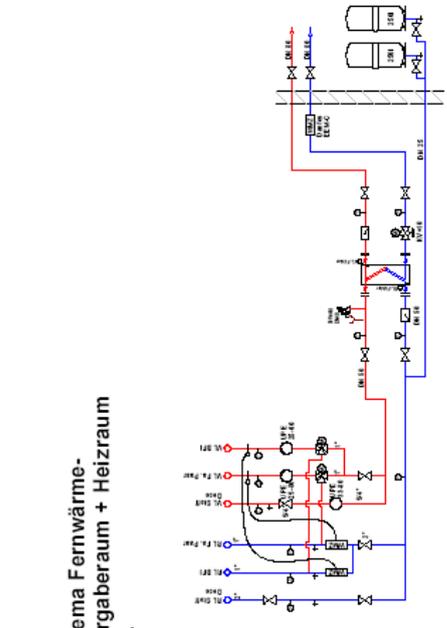
Ausdehnungsgefäße



Bestehender Ölkessel (außer Betrieb)



Lageplan und Anlagenschema

<p>Lageplan</p> 	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%;">20.03.2007</td> <td style="width: 40%;">LA04 Sar/Ho</td> <td style="width: 40%;">Version</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Datum</td> <td>Bemerkung</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;"> <p>Technisches Büro Ing. Gerhard Repnik Planung und Herstellungsüberwachung von Heizungs-, Klima-, Lüftungs- und Sanitärinstallationen ; Energie- und Contractinganalysen</p> <p>Büro Graz: Münggadenstrasse 101 A / 2 - 8010 Graz Tel.: 0316 / 822684 - 0; Fax: DN 16</p> <p>Büro Bad Radkersburg: Kodolitschhof 311 - 8460 Bad Radkersburg Tel.: 03476 / 41841 - 0; Fax: DN 16</p> <p>office@enerrep.com - www.enerrep.com</p> </td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;"> <p>enerrep schöner Tag ENGINEERING</p> </td> </tr> <tr> <td colspan="3"> <p>PROJEKT Multi-Mukli Energiesysteme der Zukunft</p> </td> </tr> <tr> <td colspan="3"> <p>PLANINHALT BfI Fernwärmeübergaberaum, Heizraum, Grundriss, Schema, Lageplan</p> </td> </tr> <tr> <td>FILENAME</td> <td>GEZ.</td> <td>GEPR.</td> </tr> <tr> <td>070531_Schema_pr.PRT</td> <td>w9</td> <td>ING. G. REPNIK</td> </tr> <tr> <td>PLANTYP</td> <td>MASSTAB</td> <td>FORMAT</td> </tr> <tr> <td>Bestandsplan</td> <td>1:100</td> <td>A4 - lang</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>VERSION</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>0</td> </tr> </table>	20.03.2007	LA04 Sar/Ho	Version	Datum		Bemerkung	<p>Technisches Büro Ing. Gerhard Repnik Planung und Herstellungsüberwachung von Heizungs-, Klima-, Lüftungs- und Sanitärinstallationen ; Energie- und Contractinganalysen</p> <p>Büro Graz: Münggadenstrasse 101 A / 2 - 8010 Graz Tel.: 0316 / 822684 - 0; Fax: DN 16</p> <p>Büro Bad Radkersburg: Kodolitschhof 311 - 8460 Bad Radkersburg Tel.: 03476 / 41841 - 0; Fax: DN 16</p> <p>office@enerrep.com - www.enerrep.com</p>			<p>enerrep schöner Tag ENGINEERING</p>			<p>PROJEKT Multi-Mukli Energiesysteme der Zukunft</p>			<p>PLANINHALT BfI Fernwärmeübergaberaum, Heizraum, Grundriss, Schema, Lageplan</p>			FILENAME	GEZ.	GEPR.	070531_Schema_pr.PRT	w9	ING. G. REPNIK	PLANTYP	MASSTAB	FORMAT	Bestandsplan	1:100	A4 - lang			VERSION			0
20.03.2007	LA04 Sar/Ho	Version																																			
Datum		Bemerkung																																			
<p>Technisches Büro Ing. Gerhard Repnik Planung und Herstellungsüberwachung von Heizungs-, Klima-, Lüftungs- und Sanitärinstallationen ; Energie- und Contractinganalysen</p> <p>Büro Graz: Münggadenstrasse 101 A / 2 - 8010 Graz Tel.: 0316 / 822684 - 0; Fax: DN 16</p> <p>Büro Bad Radkersburg: Kodolitschhof 311 - 8460 Bad Radkersburg Tel.: 03476 / 41841 - 0; Fax: DN 16</p> <p>office@enerrep.com - www.enerrep.com</p>																																					
<p>enerrep schöner Tag ENGINEERING</p>																																					
<p>PROJEKT Multi-Mukli Energiesysteme der Zukunft</p>																																					
<p>PLANINHALT BfI Fernwärmeübergaberaum, Heizraum, Grundriss, Schema, Lageplan</p>																																					
FILENAME	GEZ.	GEPR.																																			
070531_Schema_pr.PRT	w9	ING. G. REPNIK																																			
PLANTYP	MASSTAB	FORMAT																																			
Bestandsplan	1:100	A4 - lang																																			
		VERSION																																			
		0																																			
<p>Grundriss</p>  <p>LEGENDE</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Kessel: Steined BK 1.000 2) Brenner: Burno 7,5 - 20 kg/h 3) FW Übergabestation Fabr.: Nopro - 200KW 4) Ausdehnungsgefäß Reflex 200 l 5) PV Hauptleitung 6) ... 	<p>Schema Fernwärme-übergaberaum + Heizraum o.M.</p> 																																				

Maximale mögliche Heizleistung Übergabestation

75 kW

 $\Delta T = 35 \text{ K}$

Massenstrom= 1836 kg/h

 $\Delta P = 20 \text{ Pa/m}$ **Max. mögliche Kühlleistung der angeschlossenen AKM**

9,0 kW

Bereits installierte Kälteleistung

Keine Kühlanlage installiert

Räume mit Kühlbedarf

Büro, Personal, Aufenthaltsraum, Lager mit Endfertigung, Zuschnittraum, Produktionsraum 1&2, Büro 1,2,7,8,3,5,6,9

Kühllastberechnung: allgemeine Hinweise

Zur Bemessung der Kühllast wurde das Gebäude in 5 Zonen Unterteilt. Die Aufteilung wurde nach Orientierung und den unterschiedlichen Benutzerprofilen vorgenommen. Im Wesentlichen sind 3 Profile zu unterscheiden:

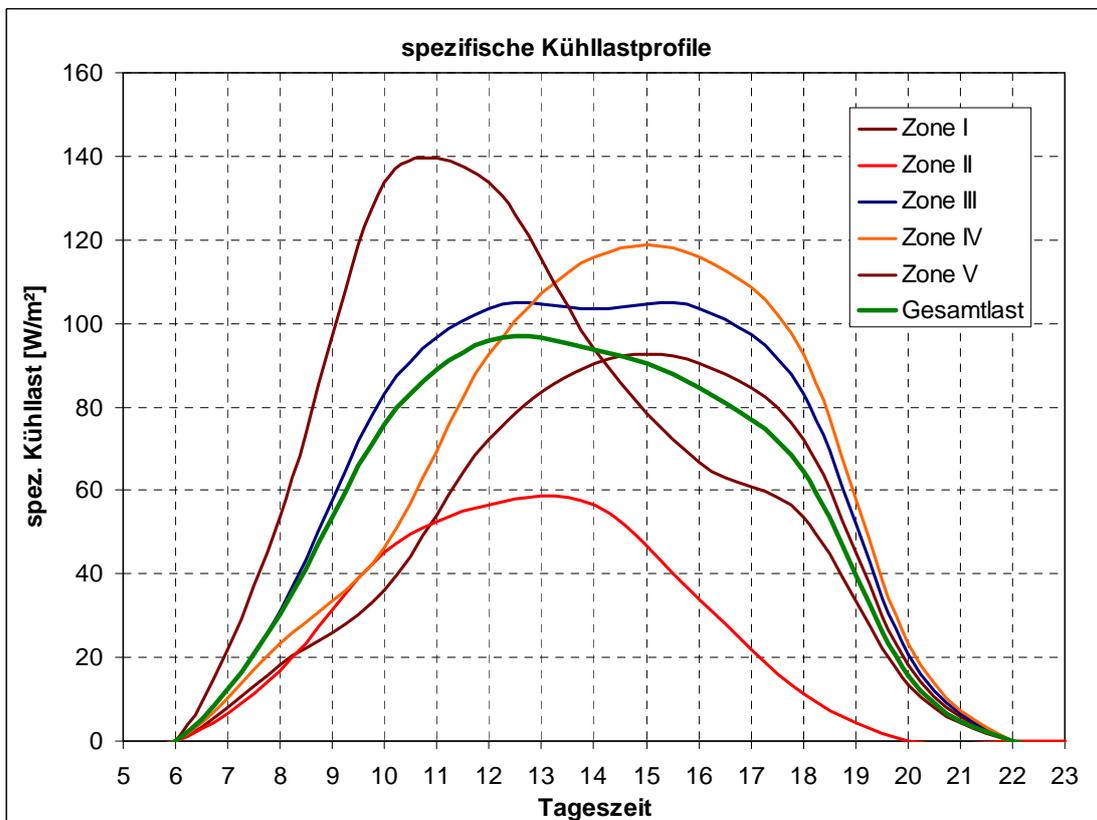
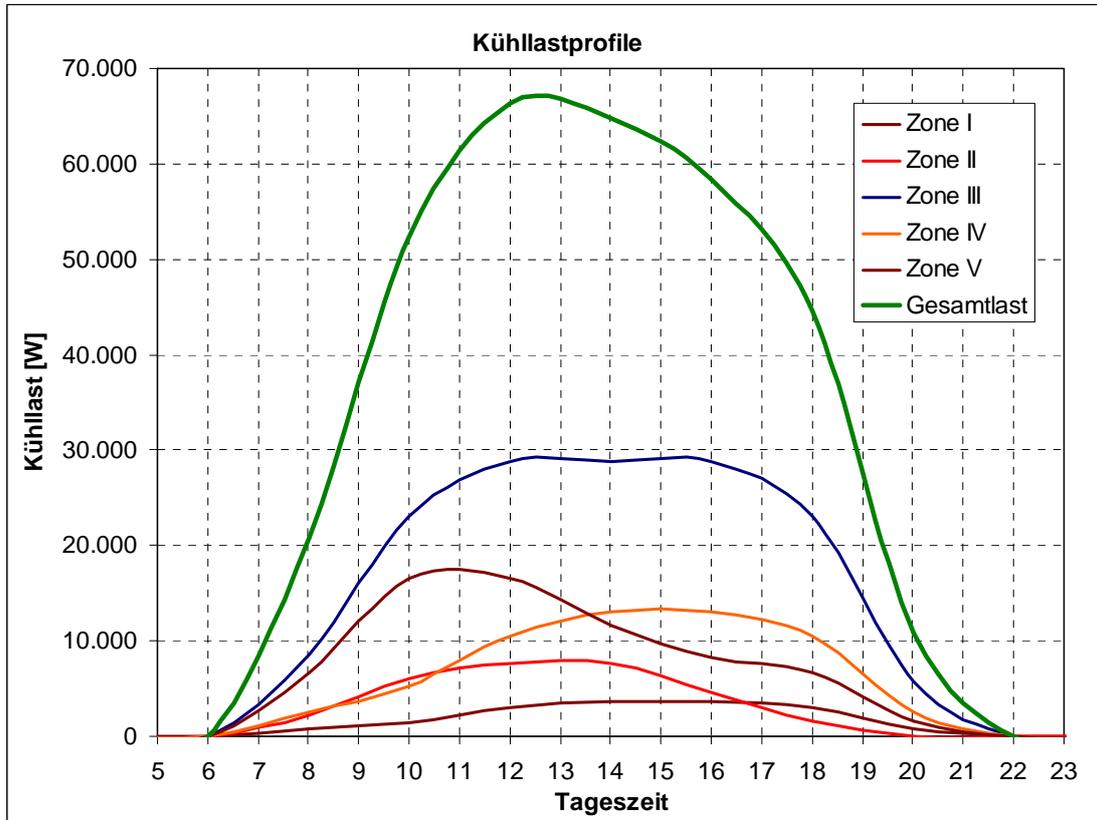
- Bürobetrieb
- EDV Servertechnik
- Besprechungsräume

Der Tagesverlauf wurde über den jeweiligen Sonnenstand unter Berücksichtigung des Speicherverhaltens des Bauteils und (soweit möglich) der beschatteten Flächen ermittelt.

Kühllastberechnung: Zonendefinition und maximale Kühllast

Zone	Räume	Ausrichtung	Bemerkung	Fläche [m ²]	Spezifische Kühllast [W/m ²]	Kühllast [W]
Zone I	Büro, Personal Aufenthaltsraum	Süd-West		43,0	90,2	3.881
Zone II	Lager mit Endfertigung	Ost		93,6	56,3	5.275
Zone III	Zuschnittraum, Produktionsraum 1&2	Ost-West		307,3	103,7	31.858
Zone IV	Büros 1, 2, 7 & 8	West		151,8	115,9	17.593
Zone V	Büros 3, 5, 6 & 9	Ost		96,0	133,6	12.823
Gesamt				691,7	103,3	71.430

Kühllastberechnung: Kühllastprofile



Technische Beschreibung

Objekt

Wohnheim

Fernwärmeanschluss

Anschluss vorhanden: DN 32

Ansicht



Baujahr

unbekannt

**Kurzbeschreibung
Bausubstanz**

Das Gebäude besteht aus zwei Stockwerken und einem Kellergeschoss. Das Haus besitzt eine mittelschwere Bauweise, was in der Berechnung der Kühllast nach VDI 2078 berücksichtigt wurde.

**Kurzbeschreibung
Heizanlage**

Das Gebäude wird derzeit über Fernwärme versorgt. Der im Heizraum befindliche Verteiler besitzt drei Abgänge.

**Kurzbeschreibung
Kühlanlage**

Keine Kühlanlage installiert

Fernwärmeübergabestation



Heizungsverteiler mit Ausdehnungsgefäß



Eintritt Fernwärme



Lageplan und Anlagenschema

Lageplan M 1:500

03.11.2006	LA03 Hs/Pr	0
Datum		Version
Bemerkung		

Technisches Büro Ing. Gerhard Repnik
Planung und Herstellung/überwachung von Heizungs-, Klima-, Lüftungs- und Sanitärinstallationen ; Energie- und Contractinganalysen

Büro Graz:
Münzgrabengasse 131/A/2 - 8010 Graz
Tel.: 0316 745289-0; Fax: DN 15

Büro Bad Radensburg:
Kodratschortz 17 - 0459 Bad Radensburg
Tel.: 03475 141811-0; Fax: DN 15

office@enerrep.com - www.enerrep.com

PROJEKT
Multi-Mukli
Energiesysteme der Zukunft

PLANINHALT
Seniorewohnohnhelm
Fernwärmeübergaberaum
Grundriss, Schema, Lageplan

FILENAME 070531_Schema_pr.PRT	GEZ. pr	GEPR. ING. G. REPNIK	DATUM 16.11.2006
PLANTYP Bestandsplan	MASSTAB 1:50	FORMAT A4 - lang	VERSION 0

Grundriss

LEGENDE

- 1) Fernwärmeverteilung VL/RL
- 2) Fernwärmeverteilung VL/RL
- 3) Fernwärmeverteilung VL/RL
- 4) Fernwärmeverteilung VL/RL
- 5) Fernwärmeverteilung VL/RL
- 6) Fernwärmeverteilung VL/RL
- 7) Fernwärmeverteilung VL/RL
- 8) Fernwärmeverteilung VL/RL
- 9) Fernwärmeverteilung VL/RL
- 10) Fernwärmeverteilung VL/RL
- 11) Fernwärmeverteilung VL/RL
- 12) Fernwärmeverteilung VL/RL

Schema Fernwärme-übergaberaum o.M.

Seniorenwohnohnhelm
Fernwärme-Übergabestation
(16.11.2006)

Maximale mögliche Heizleistung Übergabestation	140 kW
$\Delta T = 35\text{ K}$ $\text{Massenstrom} = 3428\text{ kg/h}$ $\Delta P = 130\text{ Pa/m}$	
Max. mögliche Kühlleistung der angeschlossenen AKM	16,8 kW
Bereits installierte Kälteleistung	Keine Kühlanlage installiert
Räume mit Kühlbedarf	Mehrzweckraum

Kühlleistungsberechnung: allgemeine Hinweise

Zur Berechnung der Kühlleistung wurde das Gebäude in 1 Zone (Mehrzweckraum) unterteilt. Die Aufteilung wurde nach Orientierung und den unterschiedlichen Benutzerprofilen vorgenommen.

Der Tagesverlauf wurde über den jeweiligen Sonnenstand unter Berücksichtigung des Speicherverhaltens des Bauteils und (soweit möglich) der beschatteten Flächen ermittelt.

Kühlleistungsberechnung: Zonendefinition und maximale Kühlleistung

Zone	Räume	Ausrichtung	Bemerkung	Fläche [m ²]	Spezifische Kühlleistung [W/m ²]	Kühlleistung [W]
Zone I	Mehrzweckraum	Südwest	beschattet	59,8	126,5	7.571
Gesamt				59,8	126,5	7.571

Kühllastberechnung: Kühllastprofile

