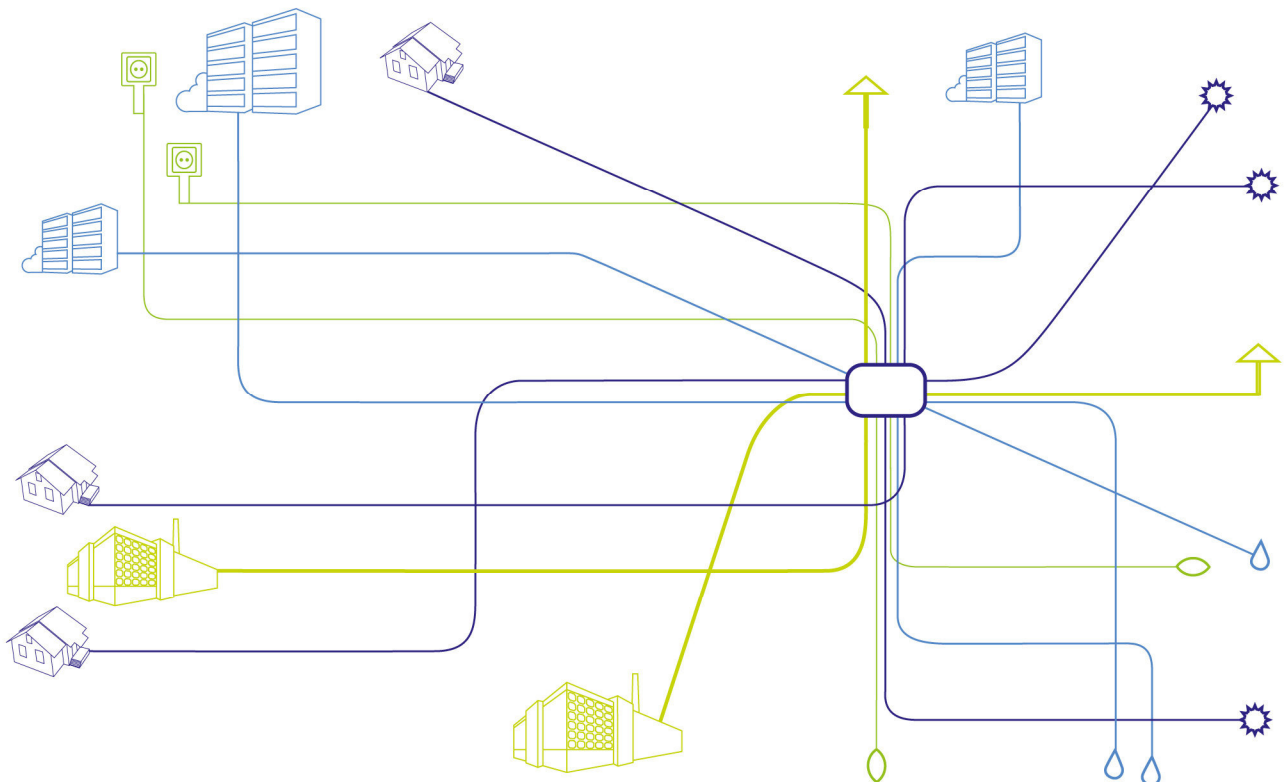




Kälte der Zukunft

Optimierte Auslegung von
Kältezentralen unter spezieller
Berücksichtigung der Abwärmenutzung
am Beispiel der Stadt Wien



VORWORT

Die Publikationsreihe **BLUE GLOBE REPORT** macht die Kompetenz und Vielfalt, mit der die österreichische Industrie und Forschung für die Lösung der zentralen Zukunftsaufgaben arbeiten, sichtbar. Strategie des Klima- und Energiefonds ist, mit langfristig ausgerichteten Förderprogrammen gezielt Impulse zu setzen. Impulse, die heimischen Unternehmen und Institutionen im internationalen Wettbewerb eine ausgezeichnete Ausgangsposition verschaffen.

Jährlich stehen dem Klima- und Energiefonds bis zu 150 Mio. Euro für die Förderung von nachhaltigen Energie- und Verkehrsprojekten im Sinne des Klimaschutzes zur Verfügung. Mit diesem Geld unterstützt der Klima- und Energiefonds Ideen, Konzepte und Projekte in den Bereichen Forschung, Mobilität und Marktdurchdringung.

Mit dem **BLUE GLOBE REPORT** informiert der Klima- und Energiefonds über Projektergebnisse und unterstützt so die Anwendungen von Innovation in der Praxis. Neben technologischen Innovationen im Energie- und Verkehrsbereich werden gesellschaftliche Fragestellung und wissenschaftliche Grundlagen für politische Planungsprozesse präsentiert. Der **BLUE GLOBE REPORT** wird der interessierten Öffentlichkeit über die Homepage www.klimafonds.gv.at zugänglich gemacht und lädt zur kritischen Diskussion ein.

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm „Neue Energien 2020“. Mit diesem Programm verfolgt der Klima- und Energiefonds das Ziel, durch Innovationen und technischen Fortschritt den Übergang zu einem nachhaltigen Energiesystem voranzutreiben.

Wer die nachhaltige Zukunft mitgestalten will, ist bei uns richtig: Der Klima- und Energiefonds fördert innovative Lösungen für die Zukunft!

A handwritten signature in black ink, reading 'Theresia Vogel'.

Theresia Vogel
Geschäftsführerin, Klima- und Energiefonds

A handwritten signature in black ink, reading 'Ingmar Höbarth'.

Ingmar Höbarth
Geschäftsführer, Klima- und Energiefonds

Inhaltsverzeichnis

1	Kurzfassung	2
2	Abstract	3
3	Einleitung	4
3.1	Aufgabenstellung	4
3.2	Schwerpunkte des Projektes	4
3.3	Einordnung in das Programm	4
3.4	Verwendete Methoden und Aufbau der Arbeiten	6
4	Inhaltliche Darstellung des Projektes	7
4.1	Definition und Analyse von potentiellen zukünftigen Großkälteabnehmern	7
4.2	Analyse der abnehmerseitigen Kaltwassertemperaturen	8
4.3	Evaluierung einsetzbarer Kältemaschinentechologien	10
4.4	Evaluierung einsetzbarer Rückkühltechnologien	14
4.5	Potentialabschätzung für Free-Cooling Anwendungen	15
4.6	Definition verfügbarer Wärmequellen	17
4.7	Reduktion von Lastspitzen mittels Kältespeichern	18
4.8	Erstellung eines Konzeptes für die optimierte Auslegung von Kältezentralen der Zukunft und Bewertung des CO ₂ -Reduktionspotentials	21
4.9	Darstellung der Grundlagenannahmen und Ergebnisse anhand von konkreten Projekten	25
4.10	Projektmanagement und Berichtswesen	30
5	Ergebnisse und Schlussfolgerungen	31
6	Ausblick und Empfehlungen	35
7	Anhang	36

1 Kurzfassung

Die Entwicklung der letzten Jahre zeigt, dass der Kühlenergiebedarf in Europa und auch in Österreich kontinuierlich steigt. Um den rasch zunehmenden Kühlenergiebedarf in Zukunft abdecken zu können, sind innovative Kälteerzeugungskonzepte auf Basis von Fernkältesystemen mit hocheffizienten Kältezentralen erforderlich.

Im Rahmen dieses Projekts wurden standardisierte Auslegungsmethoden sowie entsprechende EDV-gestützte Auslegungswerkzeuge für eine optimierte Dimensionierung von Kältezentralen entwickelt. Dabei wurden neben einer bestmöglichen Abwärmenutzung mittels Absorptionskältemaschinen insbesondere auch unterschiedliche Rahmen- und Standortbedingungen, verschiedene Rückkühltechnologien, die Integration von Free-Cooling Anwendungen und intelligente Kältespeicherkonzepte zur Reduktion von Lastspitzen untersucht und in die Auslegungswerkzeuge integriert.

Ziel des Projektes war es, Konzepte zu entwickeln, um zukünftig eine ressourcenschonende und CO₂-arme Kälteerzeugung unter besonderer Berücksichtigung einer Effizienzoptimierung sowie der Nutzung von „Grüner Wärme“ und Abwärme sicherzustellen. Die Ergebnisse des Projekts wurden und werden zur Konzeption konkreter Umsetzungsprojekte eingesetzt, sodass in weiterer Folge das optimierte Konzept „Kältezentrale der Zukunft“ in Form von Demonstrationsprojekten realisiert werden kann. Die im Projekt entwickelten Methoden und Konzepte für Kältezentralen der Zukunft sind sowohl für Kältezentralen in Fernkältesystemen als auch für lokale Kältezentralen zur Versorgung einzelner Großabnehmer und auch für den Um- und Ausbau bzw. die Modernisierung bestehender Kältezentralen geeignet. Die in diesem Projekt erstellten Auslegungskriterien für optimierte Kältezentralen können in Form von Richtlinien und Effizienzkriterien für zukünftig errichtete Kältezentralen wegweisend und somit allgemein von großem Nutzen sein.

2 Abstract

The development within the last years shows that the cooling energy demand in Europe and in Austria rises continuously. To provide the rapidly growing energy demand for cooling purposes in future, innovative cold production concepts based on district cooling systems with highly-efficient cooling plants are required.

Within the project, standardised methods and appropriate design tools for an optimised design of cooling plants have been developed. In addition to the best possible waste heat utilisation (with absorption chillers, differing site constraints, the local conditions, re-cooling technologies), the integration of free-cooling applications and intelligent cooling storage concepts have been investigated and subsequently implemented into the design tools to reduce peak loads.

The aim of the project was the development of concepts for a resource-efficient cooling production, mainly based on the utilisation of "green heat" and waste heat with low CO₂ emissions. The results of the project have been and will be implemented into the design procedure of specific projects in order to realise "cooling plants of the future" as demonstration projects.

The developed methods and concepts for the "cooling plant of the future" are applicable for: the design of cooling plants in district cooling system; local cooling plants for consumers with high refrigeration loads; and the modification and optimisation of existing cooling plants. The design criteria for optimised cooling plants developed within this project could be the basis for guidelines and efficiency criteria concerning the design of future cooling plants, and will therefore be a matter of public interest.

3 Einleitung

3.1 Aufgabenstellung

In Europa und auch in Österreich zeigt die Entwicklung der letzten Jahre, dass der Kühlenergiebedarf kontinuierlich steigt. Dies liegt einerseits an dem erhöhten Bedarf an Komfort für Eigenheim, Büro und Geschäft sowie an dem steigenden Anteil der „inneren Erwärmung“ von Gebäuden durch technisches Equipment und andererseits an dem sich durch neue Architekturen bzw. Baustile (Glasfassaden) ergebenden erhöhten Energieeintrag durch Sonneneinstrahlung. Die schleichende Klimaerwärmung trägt zusätzlich zu dieser Entwicklung bei.

Die Kühlung erfolgt derzeit zu einem überwiegenden Teil über dezentrale Kompressionskältemaschinen (KKM), wodurch der erhöhte Kühlbedarf mit einem stetigen Anstieg des Strombedarfs einhergeht. Gleichzeitig verfügt die Fernwärme Wien GmbH aufgrund des typischen Lastverlaufs von Fernwärmenetzen zu jenen Zeiten, wo der Kältebedarf ansteigt über Abwärmepotentiale aus Abfallbehandlungsanlagen bzw. zukünftigen Geothermieranlagen, die zukünftig zur Kälteerzeugung mittels Absorptionskältemaschinen (AKM) herangezogen werden sollen. Durch die verstärkte Abwärmenutzung für die Kälteproduktion im Sommerhalbjahr kann das bestehende Potential an CO₂-neutralen Wärmequellen zur Substitution von elektrischer Energie für die Kälteerzeugung genutzt werden.

3.2 Schwerpunkte des Projektes

Ziel des Projektes war ein umfassendes Konzept zu entwickeln, um zukünftig eine ressourcenschonende und CO₂-arme Kälteerzeugung unter besonderer Berücksichtigung einer Effizienzoptimierung sowie der Nutzung von Abwärme aus dem Wiener Fernwärmenetz in Fernkältezentralen unterschiedlicher Größe sicherzustellen und dieses anhand von konkreten Umsetzungsprojekten anzuwenden.

3.3 Einordnung in das Programm

Das durchgeführte Projekt ist vorwiegend im Themenfeld „Energie in Industrie und Gewerbe“ sowie teilweise auch im Themenfeld „Fortgeschrittene Speicherkonzepte- und Umwandlungstechnologien mit besonderem Augenmerk auf Schlüsseltechnologien für die Einführung von E-Mobilität“ der 2. Ausschreibung des Forschungs- und Technologieprogramms „Neue Energien 2020“ angesiedelt wobei folgende Zielsetzungen besonders auf das durchgeführte Projekt zutreffen:

Wärmeintegration und Einsatz erneuerbarer Energieträger

Fernkältesysteme dienen neben der Bereitstellung von Klimakälte für Wohnanlagen auch zur Bereitstellung des Produktionsfaktors Klima- und Prozesskälte für Industrie und Gewerbe. Die Kälteversorgung erfolgt derzeit fast ausschließlich auf Basis von elektrisch betriebenen Kompressionskältemaschinen. Das durchgeführte Projekt trägt dazu bei, durch innovative und energetisch optimierte Konzepte für Kältezentralen erneuerbare Energieträger und Wärme für die Kälteproduktion nutzbar zu machen. Dadurch kann elektrische Energie durch erneuerbare Wärme und Abwärme für die Kälteerzeugung ersetzt werden.

Koppelprozesse in der Energieumwandlung und Systemintegration

Die im Rahmen des durchgeführten Projektes entwickelten Anlagenkonzepte für Fernkältesysteme und Kältezentralen verbinden die Produktion von Kälte und Wärme als Antriebsenergie für die Kälteerzeugung sowie die Produktion von elektrischer Energie durch übergeordnete KWK-Anlagen, welche ihre Abwärme in Fernwärmenetze einspeisen. Die Produktion von Kälte aus Wärme bzw. Abwärme mit Hilfe von Absorptionskältemaschinen bedeutet die Koppelung von Fernwärmenetzen mit Kältezentralen und Fernkältenetzen. Dadurch können, wie das Beispiel Fernwärmenetz Wien zeigt, neben thermischen Abfallbehandlungsanlagen, Biomasse-Heizkraftwerken und konventionellen Heizkraftwerken auch zusätzliche erneuerbare Energieträger wie Geothermieranlagen oder Solaranlagen nicht nur für die Wärmeproduktion sondern auch für die Kälteproduktion genutzt werden.

Die Kombination von Fernwärme- und Fernkältenetzen bringt Synergien für die Kälteerzeugung hinsichtlich der Nutzbarmachung zusätzlicher Energiequellen und durch die CO₂-Reduktion bei der Kälteerzeugung. Diese Synergien bewirken eine höhere Auslastung bestehender Fernwärmenetze und die Reduktion der spezifischen Wärmeverluste des Fernwärmenetzes. Weiters bewirkt die zusätzliche Abwärmenutzung während der Sommermonate aufgrund der Kälteproduktion eine Verringerung des Kühllanteiles und dadurch eine Erhöhung des Jahresnutzungsgrades von KWK-Anlagen.

In diesen Themenbereich fällt auch die Reduktion von Lastspitzen durch intelligente Speicherkonzepte (Kälte-Pufferspeicher, Netzpufferung), die im Rahmen des beantragten Projektes entwickelt und auf die speziellen Bedürfnisse der Kältespeicherung angepasst werden. Ausgehend von den Ergebnissen dieses Projektes ist auch eine weiterführende Untersuchung hinsichtlich der Kopplung bzw. der Integration von Wärmespeichern in das Gesamtkonzept möglich.

Energieeffizienzsteigerung

Ein grundlegendes Ziel des durchgeführten Projektes war die Steigerung der Energieeffizienz der Kälteproduktion, die im Wesentlichen durch die folgenden Maßnahmen erreicht werden soll.

- Substitution von einzelner Raumklimageräten und Kleinanlagen durch eine Kältezentrale bzw. ein Fernkältesystem mit hocheffizienten Großkälteanlagen.
- Schaffung einer standardisierten Auslegungsmethodik inklusive entsprechender Berechnungskonzepte, die eine energetisch optimale Dimensionierung der einzelnen Anlagenkomponenten unter Berücksichtigung der jeweiligen Standortbedingungen zulässt.
- Die Auslegungsmethodik umfasst auch die Konzeption und Bewertung verschiedener technischer Optionen (Rückkühltechnologien, Free-Cooling Anwendungen, unterschiedliche Verschaltungsarten).
- Erstellung intelligenter Regelungskonzepte, sodass neben der Antriebsenergie der Kältemaschinen auch der elektrische Eigenbedarf der Gesamtanlage minimiert werden kann.
- Höhere Auslastung des Fernwärmenetzes und der ins Netz einspeisenden Heizkraftwerke, wodurch auch die Gesamteffizienz der KWK-Anlagen durch die Verringerung des Kühllanteiles erhöht wird.

Niedertemperaturwärmenutzung

Ein wesentlicher Bestandteil der Kältezentrale der Zukunft ist die optimale Integration von Absorptionskältemaschinen, sodass der größtmögliche Anteil des Kältebedarfes über Absorptionskältemaschinen und somit die Nutzung von Abwärme bereitgestellt werden kann. Dabei ist insbesondere der jahreszeitlich gesehen gegensätzliche Verlauf des Wärme- und des Kältebedarfes von besonders großem Vorteil. Somit stellen Absorptionskältemaschinen in optimal konzipierten Kältezentralen eine sinnvolle Erweiterung der Nutzungsmöglichkeiten von Niedertemperaturwärme dar.

Wärmepumpen/Kälteanlagen

Analog zum Inhalt dieses Themenbereiches soll anhand des durchgeführten Projektes der Einsatz von Absorptionskältemaschinen zur Nutzung von Abwärme forciert werden. Dazu wurde in diesem Projekt die Entwicklung von energetisch optimierten Anlagenkonzepten für Kältezentralen unter spezieller Berücksichtigung von Absorptionskältemaschinen und alternativer Kühltechnologie wie dem Free-Cooling vorangetrieben. Durch die Kopplung der Kältezentralen mit dem Fernwärmenetz, sodass ungenutzte Abwärme im Sommer für die Kälteproduktion verwendet werden kann, entsteht eine energetisch optimale Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung. Mit diesem System können Primärenergieträger durch eine kaskadenförmige Nutzung ausgehend von hochwertiger elektrischer Energie bis hin zu Wärme- und Kälteenergie hocheffizient eingesetzt werden.

3.4 Verwendete Methoden und Aufbau der Arbeiten

Es wurden im Rahmen dieses Projektes standardisierte Auslegungsmethoden sowie entsprechende Auslegungswerkzeuge für eine optimierte Dimensionierung von Kältezentralen erstellt. Wobei dabei neben einer bestmöglichen Abwärmenutzung mittels Absorptionskältemaschinen insbesondere auch verschiedene Rückkühltechnologien, die Integration von Free-Cooling Anwendungen und intelligente Kältespeicherkonzepte zur Reduktion von Lastspitzen untersucht und in die Auslegungswerkzeuge integriert wurden. Um den Stromeigenbedarf zu minimieren wurde bei der Anlagenkonzeption weiters das hydraulische System und das Regelungskonzept betrachtet und neben drehzahlgeregelten Pumpen auch derzeit noch nicht eingesetzte drehzahlgeregelte Antriebe für Kompressionskältemaschinen berücksichtigt.

In den Arbeitspaketen 1 bis 7 wurden die kundenseitigen Vorgaben sowie die wesentlichen Hauptkomponenten einer Fernkältezentrale einzeln untersucht, entsprechende Recherchen, Befragungen, Messungen und Datenauswertungen durchgeführt, um nachfolgend die erlangten Erkenntnisse in EDV-gestützte Auslegungswerkzeuge umzusetzen, damit eine optimierte Auslegung von Kältezentralen unter unterschiedlichen Rahmenbedingungen ermöglicht wird.

Als erster Schritt wurden potentielle Großkälteabnehmer identifiziert und deren Kältebedarf, Kaltwassertemperaturen und weitere technische Daten hinsichtlich einer abnehmerseitigen Optimierung der Kaltwassertemperaturen zur Effizienzsteigerung der Kälteerzeugung erhoben. Nachfolgend wurden Kältemaschinen- und Rückkühltechnologien evaluiert, sowie deren Verfügbarkeit und technischen Daten untersucht. Weiters wurde die Einbindung von Free-Cooling und Kältespeicherkonzepten zur Optimierung der Energieeffizienz von Kältezentralen untersucht.

Auf Basis der Untersuchungsergebnisse wurden Konzepte zur Auslegung und Optimierung von Kältezentralen entwickelt, welche zur Berechnung konkreter Umsetzungsprojekte eingesetzt werden sollen, sodass in weiterer Folge das optimierte Konzept „Kältezentrale der Zukunft“ in Form von Demonstrationsprojekten realisiert werden kann.

4 Inhaltliche Darstellung des Projektes

Das Gesamtprojekt wurde in 10 Arbeitsgebiete untergliedert, deren jeweiliger Inhalt nachfolgend kurz erläutert wird.

4.1 Definition und Analyse von potentiellen zukünftigen Großkälteabnehmern

Im Rahmen dieses Arbeitspaketes wurden zukünftige Großkältekunden im Bereich von bestehenden und geplanten Fernkältezentralen der Fernwärme Wien GmbH definiert und verfügbare Daten derselben ausgewertet sowie gezielt entsprechende Messungen durchgeführt. Hierbei wurde, neben der Definition des Kälteenergiebedarfes, vor allem das Lastverhalten der potentiellen Großkältekunden sowie von bestehenden Kältekunden der Fernwärme Wien GmbH untersucht sowie typische Lastgänge und Kennzahlen generiert und damit eine Grundlage zur optimierten Auslegung von zukünftigen Kälteerzeugungsanlagen geschaffen.

Durch gezielte Gespräche mit potentiellen Kälteabnehmern und detaillierte Datenerfassung und Auswertung verfügbarer Messdaten an den bestehenden Kälteversorgungsanlagen der potentiellen Abnehmer konnte der tatsächliche Kälteleistungsbedarf definiert und Lastgänge bestimmt werden. Darauf aufbauend wurden charakteristische Großkälteabnehmer (Abnehmerkategorien) definiert und Kennwerte bezüglich ihres Lastverhaltens generiert.

Die Verwendung von ausgearbeiteten Fragebögen zur Auswahl potentieller Kältekunden, zur Evaluierung ihrer Bestandsanlagen sowie zur Vordefinition ihres Abnahmeverhaltens hat, zumeist aufgrund von fehlenden Messungen und Datenaufzeichnungen und aufgrund fehlendem fachkompetentem Personal nur bedingt zum gewünschten Erfolg geführt. In weiterer Folge wurden durch Vorortgespräche und durch gemeinsame Erfassung des Bestandssystems sowie einer detaillierten Datenevaluierung mit dem potentiellen Kältekunden die erforderlichen Daten generiert. Die erhaltenen Kundendaten und resultierenden Ergebnisse wurden eingehend auf Plausibilität geprüft und mit Literaturdaten verglichen.

Insbesondere die Evaluierung des Zusammenhangs zwischen der Außenlufttemperatur und dem Kälteleistungsbedarf haben zu sehr vielversprechenden Ergebnissen geführt. Dabei konnten zumeist zwei Bereiche definiert werden, zum einen eine gewisse Grundlast, die relativ unabhängig von den Außenbedingungen ist und zum anderen bei höheren Temperaturen eine starke Korrelation zwischen Außentemperatur und Kälteleistungsbedarf (siehe Abbildung 1). Der Einsatz dieses Zusammenhangs ist vor allem zur Definition von potentiellen Klimakältekunden besonders gut geeignet.

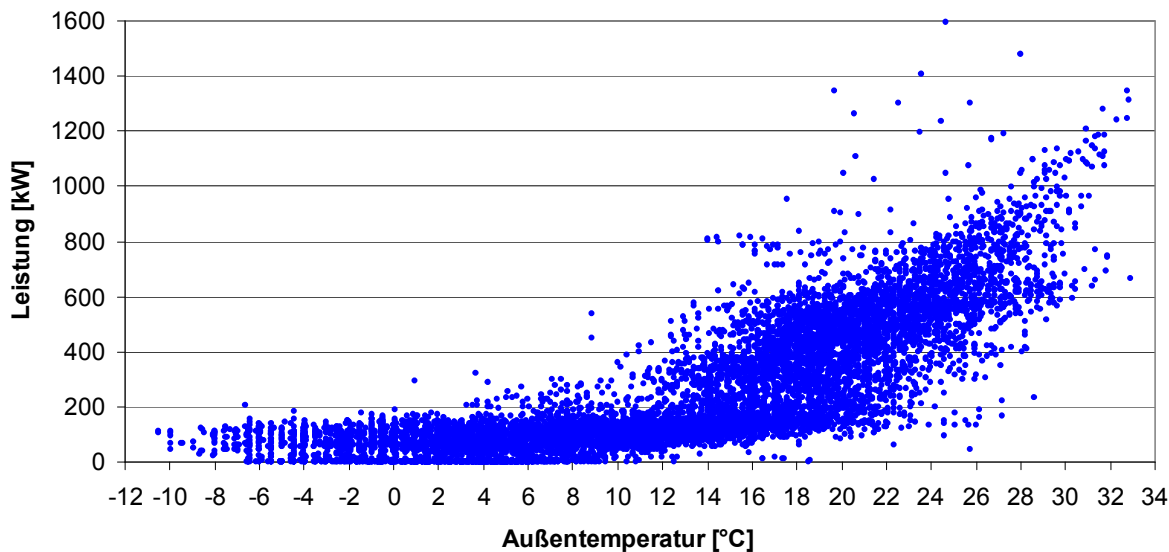


Abbildung 1: Zusammenhang zwischen Kälteleistung und Lufttemperatur eines potentiellen Klimakältekunden für ein Jahr

Erläuterungen: Kälteleistung: Stundenwerte der Erzeugerleistung; Lufttemperatur: ZAMG Hohe Warte

Die monatsweise Auswertung der Kundendaten hinsichtlich des durchschnittlichen Tageslastgangs zeigte teilweise sehr große Unterschiede zwischen Wochentagen und Wochenende. Durch den sehr starken Einfluss der Außentemperatur und der Sonneneinstrahlung sowie den innerhalb eines Monats auftretenden starken Schwankungen derselben, kommt es zu großen Temperaturunterschieden zwischen den einzelnen Tagen wodurch sich bei Mittelung derselben eine starke Glättung der tatsächlichen Tageslastgänge, ergibt. Die Eignung des Einsatzes von vordefinierten Tageslastgängen für Klimakältekunden ist daher nur bedingt zielführend. Für industrielle bzw. gewerbliche Kälteabnehmer kann die Definition von Tageslastgängen jedoch sehr gut zur Charakterisierung des Lastverhaltens geeignet sein.

Die Auswertungen der Kundenlastgänge zeigten für ähnliche Abnehmertypen gute Korrelationen des Lastganges, der Einsatz von repräsentativen Kältelastgängen zur Charakterisierung von potentiellen Abnehmern stellt somit ein weiteres geeignetes Verfahren zur Definition des Kundenlastverhaltens dar. Auf Basis der ausgewerteten Daten konnten wichtige Schlüsse über das Lastverhalten potentieller Großkältekunden gezogen werden, welche eine gute Datenbasis für die Bearbeitung der weiteren Arbeitspakete bildet.

4.2 Analyse der abnehmerseitigen Kaltwassertemperaturen

Neben der Untersuchung und Definition von Kundenlastgängen stellen die erforderliche kundenseitige Kaltwasservorlauftemperatur sowie die mögliche kundenseitige Kaltwasserspreizung wesentliche Einflussgrößen auf die erreichbaren Leistungszahlen von Kältemaschinen und damit auf die Effizienz von Fernkältezentralen dar. In diesem Arbeitspaket wurden die erforderlichen Kaltwassertemperaturen von Bestandsanlagen ermittelt und das Potential für eine Anhebung der Kaltwassertemperaturen und eine Erhöhung der Kaltwasserspreizung untersucht, um eine Steigerung der Effizienz von Kälteerzeugungsanlagen zu erzielen.

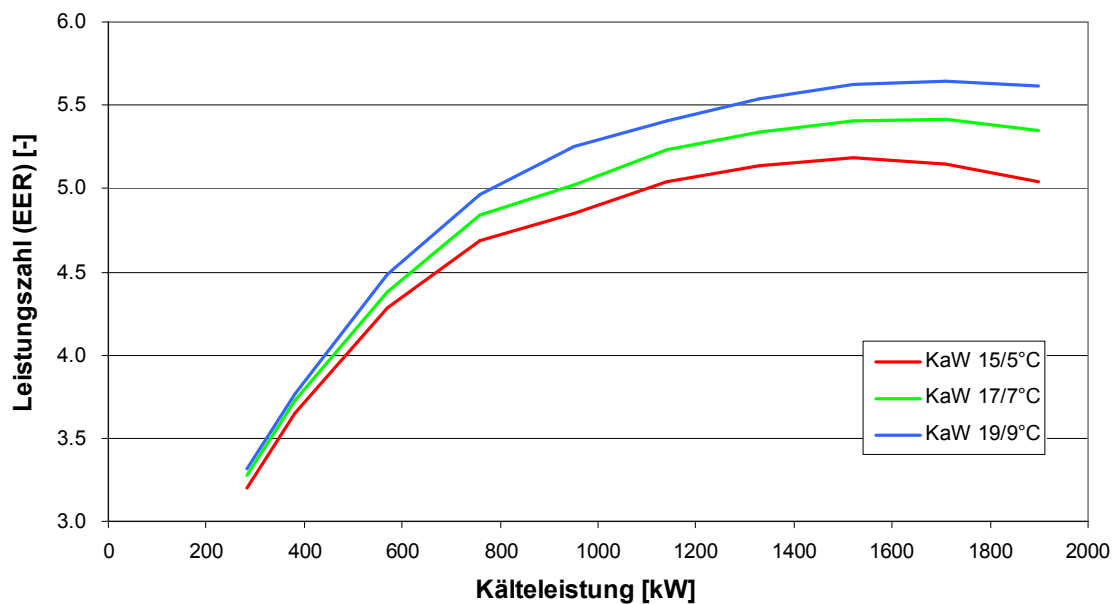


Abbildung 2: Einfluss der Kaltwasserein- und Kaltwasseraustrittstemperatur auf die Leistungszahl (EER) einer Kompressionskältemaschine

Erläuterungen: Kältemaschine: Turboverdichter der Fa. Johnson Controls (ohne Drehzahlregelung); Kühlwassereintrittstemperatur 30°C; Kühl- und Kaltwasservolumenstrom konstant; EER ... Energy Efficiency Ratio gibt das Verhältnis zwischen Kälteleistung und Stromaufnahme an.

Während eine Vergrößerung der Kaltwasserspreizung vor allem Einsparungen in der Kälteverteilung bringt, zeigten die Untersuchungen klar den Einfluss der Kaltwasservorlauftemperatur auf die Effizienz von Standardkältemaschinen (siehe Abbildung 2). Durch weitere Maßnahmen wie die Berücksichtigung von drehzahlgeregelten Verdichtern für Kompressionskältemaschinen kann dieser Effekt noch wesentlich verstärkt werden (siehe dazu auch Kapitel 4.3).

Eine Anhebung der Kaltwassertemperaturen kann nur dann erfolgen, wenn die abnehmerseitigen Kältesysteme dies ohne relevante Auswirkungen auf die nutzbare Klima- oder Prozesskälte zulassen. Die eingehende Literaturrecherche, Gespräche mit potentiellen Großkältekunden und die Untersuchungen der Bestandssysteme haben gezeigt, dass für den Auslegungszustand dies zumeist nicht möglich ist, wodurch eine Kaltwasservorlauftemperatur von max. 6°C im Primärnetz zumeist eingehalten werden muss. Anders stellt sich die Situation in der kühlen Jahreszeit dar, in der aufgrund der geringeren Leistungsabnahme (keine Entfeuchtung notwendig) zumeist eine signifikante Anhebung der Kaltwasservorlauftemperatur möglich wird. Basierend auf diesen Erkenntnissen wird eine Temperaturleitung in Abhängigkeit von der Außentemperatur für neue Kältekunden, aber auch für Bestandssysteme angestrebt, um die Effizienz der Kältemaschinen zu erhöhen und auch den Einsatzbereich möglicher Free-Cooling-Systeme zu erweitern.

Das durch die Anhebung der Kaltwasservorlauftemperatur bzw. durch Berücksichtigung einer Temperaturleitung erzielbare energetische Einsparungspotential von Fernkältezentralen ist, wie bereits erläutert, von mehreren wesentlichen Einflussfaktoren abhängig und wurde im Arbeitspakte 9 (Erstellung eines Konzeptes für die optimierte Auslegung von Kältezentralen der Zukunft und Bewertung des CO₂-Reduktionspotentials) noch näher untersucht.

4.3 Evaluierung einsetzbarer Kältemaschinentechнологien

Ziel dieses Arbeitspaktes war, die Rahmenbedingungen für den Einsatz von Kältemaschinen in Fernkältezentralen der Fernwärme Wien GmbH mit Strom bzw. Wärme aus dem Fernwärmenetz als Antriebsenergie zu untersuchen und entsprechende Anforderungen an die Kältemaschinen zu definieren. Dazu wurde eine umfassende Recherche bezüglich der verfügbaren Kältemaschinentechнологien hinsichtlich der möglichen Leistungsspektren und Einsatzgrenzen durchgeführt und Gespräche mit potentiellen Kältemaschinenlieferanten geführt sowie Auslegungen und Angebote eingeholt. Darauf aufbauend wurden die möglichen Kälteerzeugungstechnologien hinsichtlich ihres Strom- und Wärmebedarfs untersucht und das CO₂–Reduktionspotential durch Nutzung der im Fernwärmenetz verfügbaren Abwärmen abgeschätzt.

Die Anforderungen für die Kältemaschinen wurden aufbauend auf den im AP 1 und 2 ermittelten Daten bezüglich Kälteleistungen und Kaltwassertemperaturen festgelegt und unter Berücksichtigung der im AP 4 untersuchten Rückkühltechnologien sowie auf Basis der verfügbaren Wärmequellen und deren Temperaturniveau zur bestmöglichen Abwärmenutzung mittels Absorptionskältemaschinen die Kühl- und Heißwasserbedingungen definiert (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Rahmenbedingungen für den Einsatz von Kältemaschinen in Kältezentralen der Fernwärme Wien GmbH

Erläuterungen: *) ... abhängig von der am Standort verfügbaren Rückkühltechnologie (siehe auch Kapitel 4.4); In Abhängigkeit vom Standort der Kältezentrale können sich hinsichtlich der Heißwassereintrittstemperatur Änderungen ergeben

Parameter	Auslegungsdaten
min. Nennkälteleistung	500 kW
Kaltwasservorlauftemperatur	5 °C
Kaltwasserspreizung	6 K
Kühlwasservorlauftemp *)	24 - 30 °C
Kühlwasserspreizung *)	5 - 8 K
Heißwassereintrittstemperatur	95 °C
Heißwasserspreizung	min. 15 K
max. Heißwassertemperatur	110 °C
Spannungsniveau	beliebig

Hinsichtlich einer bestmöglichen Abwärmenutzung zur Kälteerzeugung wurde nach Definition der verfügbaren Wärmequellen und deren Temperaturen ein Marktscreening hinsichtlich geeigneter und verfügbarer Kälteerzeugungstechnologien durchgeführt und einer Bewertung unterzogen. Bei den festgelegten Rahmenbedingungen bezüglich Leistung und Heißwassertemperaturen sind als thermisch betriebene Kältemaschinen derzeit nur einstufige Absorptionskältemaschinen am Markt verfügbar. In Abbildung 3 und Abbildung 9 ist der Einfluss der Heißwassertemperatur auf die Kälteleistung bzw. auf die Leistungszahl dargestellt.

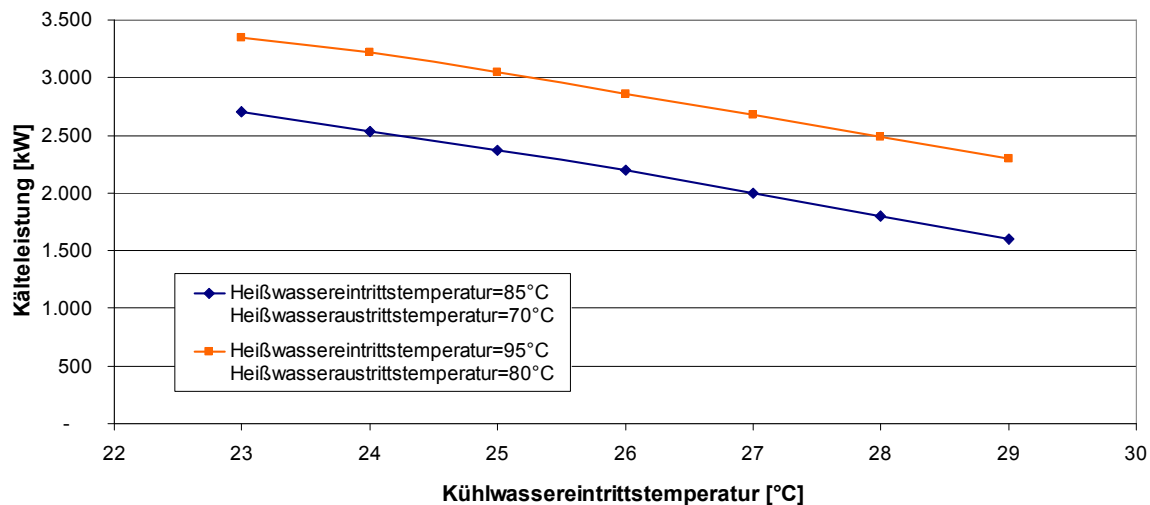


Abbildung 3: Einfluss der Heißwassertemperaturen und der Kühlwassereintrittstemperatur auf die Leistung einer Absorptionskältemaschine

Erläuterungen: Kältemaschine: einstufige Absorptionskältemaschine; Kaltwasseraustrittstemperatur 5°C; Kühlwasservolumenstrom 700 m³/h

Die Evaluierung der Kompressionskältemaschinen ergab, unter den getroffenen Festlegungen, klare Vorteile für Turbokältemaschinen gegenüber Verdrängungskältemaschinen mit Kolben-, Schrauben- oder Scrollverdichter. Bei den weiteren Untersuchungen der Turbokältemaschinen wurde zwischen Verdichtern mit herkömmlicher Leistungsregelung wie z.B. Saugdruck-, Vordrall-, Diffuser- oder Heißgas-Bypass-Regelung (KKM ohne VSD – Variable Speed Drive) und jenen die zusätzlich über eine Drehzahlregelung verfügen (KKM mit VSD) unterschieden. Zusätzlich wurde bei den Drehzahl-geregelten Kompressionskältemaschinen noch zwischen Aggregaten mit einem und mit mehreren Verdichtern (MultieV) unterschieden (siehe dazu auch Abbildung 5). Neben den untersuchten wassergekühlten KKM (Rückkühlung erfolgt über einen Wasserkreislauf in einem Kältemittel-Wasser-Wärmetauscher) können in den Berechnungskonzepten auch luftgekühlte KKM (Kondensation des Kältemittels direkt in einem Trockenkühler) berücksichtigt werden. Hinsichtlich des Teillast-verhaltens, der Regelungsoptionen des Verdichters und dem Einfluss des Temperaturhubes unterscheiden sich diese Aggregate aber kaum von den Wassergekühlten.

Das unmittelbare Potential zur Erhöhung des durchschnittlichen EER-Wertes bei Kompressionskältemaschinen durch Anhebung der Kaltwasservorlauftemperatur bzw. Senkung der Kühlwasseraustrittstemperatur liegt bei 0,08 bis 0,25 Punkten pro °C Annäherung der beiden genannten Temperaturen. Der Einfluss auf den EER-Wert bei Absorptionskältemaschinen (Kälteleistung / Wärmeleistung) ist wesentlich geringer. Abbildung 4 zeigt beispielhaft für Kompressionskältemaschinen ohne Drehzahlregelung den Einfluss zwischen dem Temperaturhub und der Leistungszahl (EER).

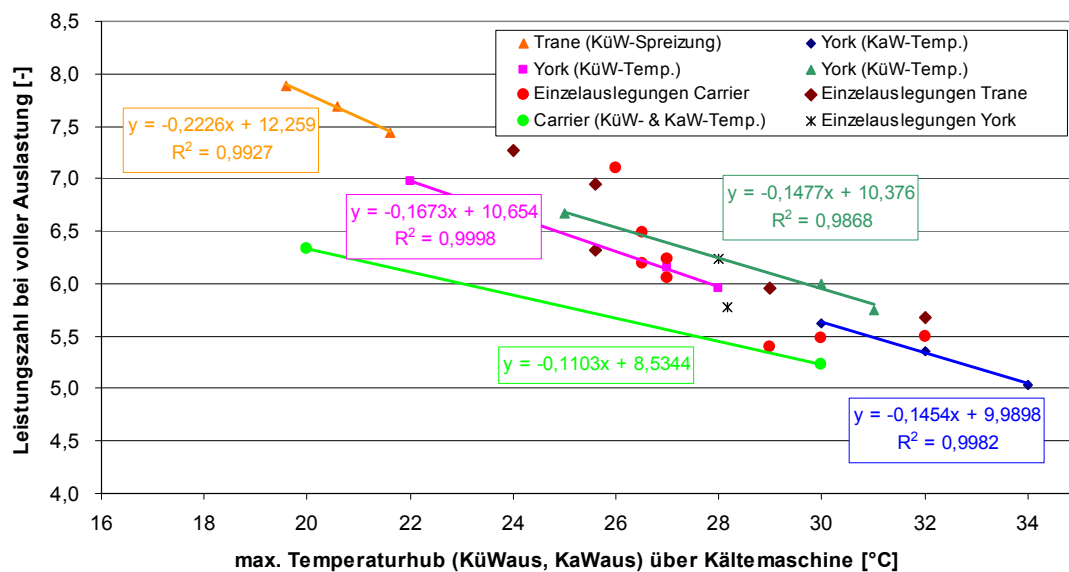


Abbildung 4: Leistungszahl über dem Temperaturhub für unterschiedliche Kompressionskältemaschinen ohne Drehzahlregelung

Erläuterungen: Temperaturhub = Kühlwasseraustrittstemperatur – Kaltwasseraustrittstemperatur; In der Legende ist in Klammer die variierte Einflussgröße für die jeweilige Kältemaschine angeführt. Einzelauslegung ... nur ein Auslegungspunkt des Aggregates verfügbar.

Für eine wirtschaftliche und ökologische Betrachtung von Kältezentralen und eine optimierte Auslegung und Regelung derselben, sind neben den Nenndaten der Kältemaschinen insbesondere die technischen Daten bei unterschiedlichen Außenbedingungen und im Teillastbereich sowie entsprechende Kennfelder für die einzelnen Kältemaschinentechnologien ermittelt worden, da nur so die Auswirkungen der unterschiedlichsten Rahmenbedingungen auf die Effizienz der Kältemaschinen im Jahresverlauf untersucht werden können.

Um unabhängig vom Einfluss der Auslegungstemperaturen ein gemitteltetes Teillastverhalten zu erzielen, welches in weiterer Folge für die Berechnungen herangezogen wurde, wurden die verfügbaren Datensätze auf einen einheitlichen EER-Wert normiert. In Abbildung 5 sind diese normierten EER-Kennlinien der untersuchten Kompressionskältemaschinentechnologien dargestellt.

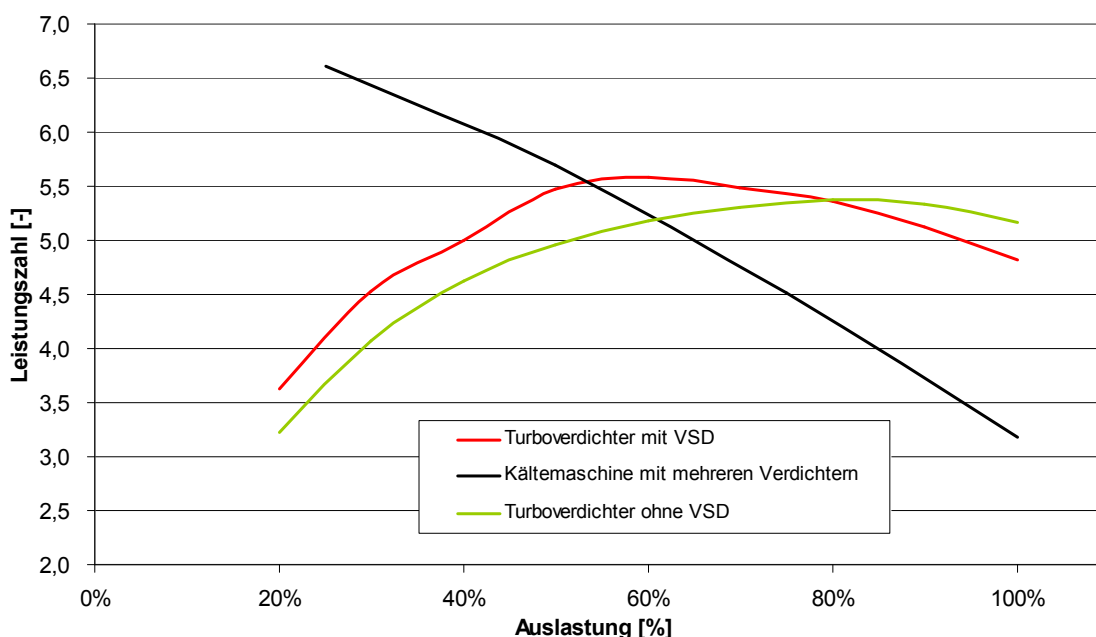


Abbildung 5: Normierte EER-Kennlinien für drei unterschiedliche Kompressionskältemaschinentechnologien

Erläuterungen: Alle drei Kennlinien wurden auf einen durchschnittlichen EER von 5 normiert; VSD ... Drehzahlregelung; Kältemaschine mit mehreren Verdichtern ... Kältemaschinen mit mehreren drehzahlgeregelten Verdichtern in einem gemeinsamen Kältemittelkreislauf sowie einem gemeinsamen Verdampfer und Kondensator

Tabelle 2: Treibhausgasemissionen bezogen auf die Kältemaschine in Abhängigkeit von der eingesetzten Kältemaschinentechnologie bei festgelegten Rahmenbedingungen

Erläuterungen: Kaltwasser: 12 auf 5°C; Kühlwasser: 28 auf 36°C; Heißwasser: 95 auf 80°C; mittlerer EER bei gleichmäßiger Auslastung im Leistungsbereich von 25 – 100%; AKM ... Absorptionskältemaschine; KKM ... Kompressionskältemaschine; VSD ... Drehzahlregelung; MV ... Kältemaschine mit mehreren Verdichtern; THG-Äquivalent: Umlegung aller treibhauswirksamen Emissionen über definierte Faktoren auf CO₂ (in g/kWh); *) F. ZACH, G. SIMADER, Österreichische Energieagentur, Primärenergiefaktoren und Treibhausgasemissionen der Fernwärmeerzeugung der Fernwärme Wien GmbH; Wien 2010

Parameter	Einheit	Technologie			
		AKM	KKM ohne VSD	KKM mit VSD	MV-KKM
mittlerer EER-Wert	-	0,7	5,2	5,6	6,2
Strombedarf	kWh/MWh Kälte	3	192	179	161
spez. THG-Äquivalente *)	g/kWh Strom	759	759	759	759
THG-Äquivalente	kg/MWh Kälte	2,3	145,9	135,5	122,4
Wärmebedarf	kWh/MWh Kälte	1.429	-	-	-
spez. THG-Äquivalente *)	g/kWh Wärme	-	-	-	-
THG-Äquivalente	kg/MWh Kälte	-	-	-	-
THG-Äquivalente gesamt	kg/MWh Kälte	2,3	145,9	135,5	122,4

Wie aus Tabelle 2 ersichtlich, besteht bei isolierter Betrachtung der Kältemaschinen ein ganz wesentliches Stromeinsparungspotential bei der Kälteerzeugung mittels Absorptionskältemaschinen gegenüber Kompressionskältemaschinen, wodurch auch eine signifikante Reduktion von Treibhausgasen erzielt werden kann.

Es ist zu beachten, dass durch Berücksichtigung der Nebenaggregate, der Kalt-, Kühl- und Heißwasserpumpen zur Versorgung der Kältemaschine sowie der Netzpumpen zur Kälteverteilung zu einer Verschiebung der Verhältnisse untereinander kommen wird. Weiters ist zu berücksichtigen, dass Absorptionskältemaschinen einen wesentlich größeren Rückkühlbedarf aufweisen, wodurch zusätzlich, abhängig von der gewählten Rückkühltechnologie, elektrische Energie bzw. Frischwasser eingesetzt werden muss. Diesbezügliche Betrachtungen von unterschiedlichen Fernkältezentrale-konzepten wurden in den AP 8 und 9 behandelt.

4.4 Evaluierung einsetzbarer Rückkühltechnologien

Basierend auf den Erkenntnissen des AP 3 wurden in diesem Arbeitspaket die Anforderungen an die Rückkühlanlagen für den Einsatz in Fernkältezentralen unter Berücksichtigung der klimatischen Rahmenbedingungen definiert, eine Recherche betreffend Leistungsspektrum, Effizienz und erreichbarer Kühlwassertemperaturen durchgeführt und nachfolgend die Vor- und Nachteile sowie die limitierenden Faktoren der einzelnen Rückkühltechnologien ermittelt. Dazu wurden zusätzlich zu einer eingehenden Literaturrecherche intensive Gespräche mit Herstellern geführt, Auslegungen und Angebote eingeholt und Berechnungen durchgeführt. Tabelle 3 gibt einen Überblick über die jeweiligen Eigenschaften der untersuchten Rückkühltechnologien.

Die Festlegung der Haupteinflussgrößen für die Rückkühlaggregate erfolgte auf Basis von Wetterdaten bzw. Untersuchungen der Donau (relevant bzgl. Flusswasserkühlung siehe dazu Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Um eine bestmögliche Grundlage für die optimierte Auslegung von Fernkältezentralen zu schaffen, wurden auch für die unterschiedlichen Rückkühltechnologien Kennfelder generiert und vor allem das Verhalten der Rückkühler bei geänderten Außenbedingungen und bei Teillast untersucht.

Tabelle 3: Eigenschaften der unterschiedlichen Rückkühltechnologien für Fernkältezentralen

Erläuterungen: Offener Nasskühlturm: Offener Kühlwasserkreis, Rückkühlung erfolgt vorwiegend über Verdunstung (latente Kühlung) des im Kühlturm versprühten Kühlwassers. Geschlossener Nasskühlturm: Zwei Wasserkreise; ein geschlossener Kühlwasserkreis für den Energietransfer zwischen Rückkühler und Kältemaschine; Rückkühlung des Wärmetauscherbündels im Kühlturm über einen zweiten offenen Kühlwasserkreis entsprechend offenem Nasskühlturm. Trockenkühler: geschlossener Kühlkreislauf; Kühlung über Luft die durch die Rohrbündel gedrückt wird. Adiabater Kühlturm: Wie Trockenkühler aber die Luft wird vor dem durchströmen des Rohrbündels befeuchtet und damit adiabatisch abgekühlt. Hybride Kühler: Wie Trockenkühler aber die Rohrbündel werden ab einer best. Außentemperatur mit Wasser besprüht, wodurch neben sensiblem Wärmeübergang auch Latentwärme übertragen wird.

Parameter	Flusswasser- kühlung	offene Nass- kühltürme	geschlossene Nasskühltürme	hybride Kühler	adiabate Kühler	Trocken- kühler
Platzbedarf	gering	gering	mittel	mittel	hoch	hoch
Strombedarf	gering	gering	gering	mittel	hoch	hoch
Schwadenbildung	keine	möglich	möglich	keine	keine	keine
Frischwasserbedarf	keiner	hoch	hoch	mittel	gering	keiner
Abwasseranfall	keiner	hoch	hoch	mittel	keine	keiner
Investitionskosten	hoch	gering	mittel	hoch	hoch	hoch
erzielbare Kühlwassertemp.	sehr nieder	nieder	mittel	mittel	hoch	hoch

Durch die ermittelten Daten und die erstellten Kennfelder (siehe beispielhaft für einen adiabaten Kühler Abbildung 6) können die Vor- und Nachteile sowie die limitierenden Faktoren der Rückkühlanlagen dargestellt werden. Diese Daten bilden auch die Grundlage für die weiterführenden

Untersuchungen hinsichtlich Free-Cooling (siehe AP 5) und die Erstellung eines optimierten Anlagenkonzeptes für die Kältezentrale der Zukunft (siehe AP 8 und 9).

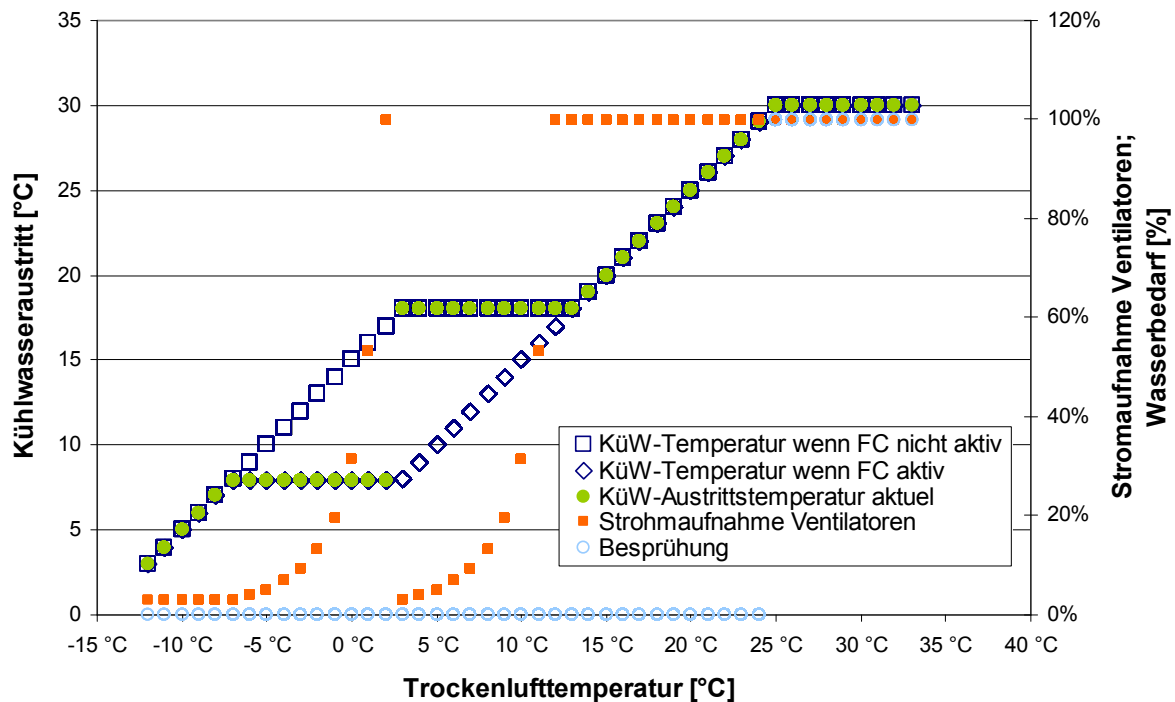


Abbildung 6: Einfluss der Außenlufttrockentemperatur auf die Kühlwasseraustrittstemperatur, die Stromaufnahme der Ventilatoren und den Wasserbedarf bei adiabten Kühlern für den Betrieb bei und ohne Free-Cooling

Erläuterungen: Konstante Rückkühlleistung; konstante Kühlwasserspreizung; Zieltemperatur für Kältemaschinen: 18°C; Zieltemperatur für Free-Cooling: 8°C; FC ... Free-Cooling

4.5 Potentialabschätzung für Free-Cooling Anwendungen

Der Einsatz von Free-Cooling-Systemen (direkte Kühlung des Kaltwassersystems über Kühlwasser, ohne Einsatz von Kältemaschinen) stellt ein großes Energieeinsparungspotential für Kältezentralen dar. In einem ersten Schritt wurden Klimadaten von Wien hinsichtlich Lufttemperatur und rel. Feuchte ausgewertet und die entsprechende Feuchtkugelttemperaturen ermittelt sowie Donauwassertemperaturen untersucht (siehe Abbildung 7), um darauf aufbauend eine Potentialabschätzung für den Einsatz von Free-Cooling in Fernkältezentralen zu erhalten.

Während hybride, adiabate und trockene Kühler bei niederen Außentemperaturen relativ geringe Kühlwassertemperaturen erzielen, ist bei offenen und geschlossenen Nasskühlern mit fallenden Außentemperaturen mit einem Anstieg des Kühlgrenzabstandes zu rechnen (Temperaturdifferenz zwischen Kühlwasseraustrittstemperatur und Feuchtkugelttemperatur), wodurch die erzielbaren Kühlwasseraustrittstemperaturen höher liegen und der Einsatzbereich von Free-Cooling eingeschränkt wird.

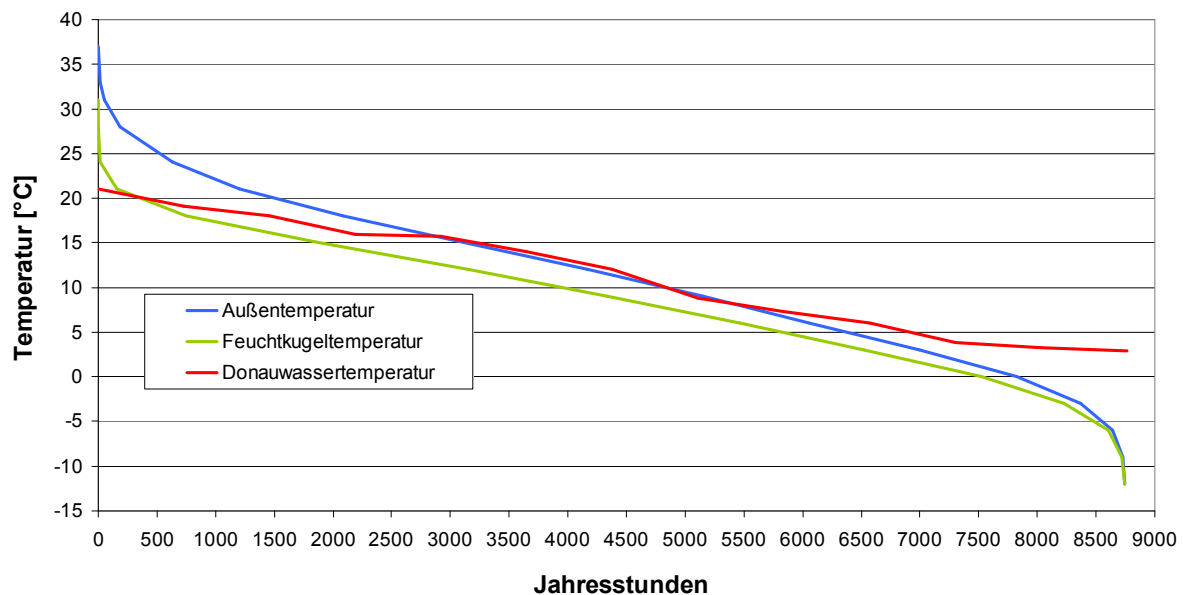


Abbildung 7: Jahresdauerlinie der Außenluft-, Feuchtkugel- und Donauwassertemperatur für Wien

Erläuterungen: Außentemperatur, rel. Feuchte: Wetterdaten Wien Hohe Warte ZAMG (2000 – 2008); Donautemperatur: Limnologisches Gutachten Donabaum & Wolfram OEG (1987 – 2005)

Weiters hat die Verschaltung des Free-Cooling-Systems in der Kältezentrale wesentlichen Einfluss auf die Einsatzgrenzen desselben. Während bei einer zu den Kältemaschinen parallelen Verschaltung das Free-Cooling-System (z.B. Abbildung 13) erst bei Kühlwassertemperaturen geringer als die erforderlichen Kaltwasservorlauftemperatur aktiviert werden kann, ist bei einer seriellen Verschaltung des Free-Cooling-Wärmetauschers und der Kältemaschinen schon bei Kühlwassereintrittstemperaturen die über den Kaltwasserrücklauftemperaturen liegen das Free-Cooling-System in Kombination mit Kältemaschinen einsetzbar. In jedem Fall ist die Grädigkeit des eingesetzten Wärmetauschers dabei zu berücksichtigen. Auf Basis einer definierten Temperaturgleitung, den Klimadaten von Wien und dem Einsatz von adiabaten Rückkühlern liegt die theoretische max. Betriebszeit des Free-Cooling-Systems bei 1.600 h für den parallelen Einbau und 3.000 h für den seriellen Einbau. Bei offenen Nasskühltürmen liegt bei ähnlichen Rahmenbedingungen die Betriebszeit nur bei 300 h bzw. 1.100 h. Wird den Rückkühlern mit sinkender Außentemperatur eine gewisse Teillast unterstellt (ist bei der Versorgung von Klimakältekunden grundsätzlich zulässig) so liegen die max. Betriebszeit des Free-Cooling-Systems bei 2.000 h für den parallelen Einbau und 3.300 h für den seriellen Einbau. Bei offenen Nasskühltürmen liegt die Betriebszeit dann bei 2.400 h bzw. 3.400 h. Bei dieser Betrachtung sollten jedoch die höchst unterschiedlichen Vorzüge und Nachteile (siehe Tabelle 3) der beiden genannten Rückkühltechnologien nicht außer Acht gelassen werden (siehe Kapitel 4.4).

In Bezug auf eine Maximierung des Free-Cooling Potentials stellen die Verschaltungsvariante, die erforderlichen Kaltwasserbedingungen sowie die verfügbaren Rückkühlssysteme die limitierenden Faktoren dar. Es sollte daher eine serielle Verschaltung, möglichst hohe Kaltwasservorlauftemperaturen sowie große Spreizungen angestrebt werden, sowie eine sorgfältige Auswahl und Dimensionierung des Rückkühlsystems getroffen werden, um eine Maximierung des Einsatzes von Free-Cooling zu erzielen.

Die tatsächliche Kälteleistung welche mittels Free-Cooling abgedeckt werden kann, und der daraus resultierenden Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit von Fernkältezentralen hängt ganz wesentlich von dem Lastverhalten der Kunden sowie von den wirtschaftlichen Rahmenbedingungen ab und wird in den AP 8 und 9 behandelt.

4.6 Definition verfügbarer Wärmequellen

Im Rahmen dieses Arbeitspaketes wurden mögliche Wärme- und Abwärmequellen für den Betrieb der Absorptionskältemaschinen untersucht. Basierend auf Auslegungs- und Betriebsdaten wurde das Wiener Fernwärmenetz analysiert und geeignete Auskopplungsmöglichkeiten definiert. Weiters wurden die möglichen Standorte hinsichtlich der jährlichen Betriebsweise, den verfügbaren Wärmemengen und dem Temperaturniveau untersucht.

Die Untersuchungen ergaben ein zukünftiges CO₂-neutrales Abwärmepotential aus Abfallverwertungsanlagen und Geothermie von jährlich ca. 350 GWh (siehe Abbildung 8). Weiters steht zusätzlich in der Übergangszeit und in den Sommermonaten ein großes Wärmepotential aus KWK-Anlagen zur Verfügung. Zum Betrieb von Absorptionskältemaschinen haben die Untersuchungen des Fernwärmenetzes ein verfügbares Temperaturniveau von min. 95°C an allen potentiellen Standorten für Kältezentralen ergeben. Punktuell können auch ganzjährig Temperaturen von über 110°C sichergestellt werden.

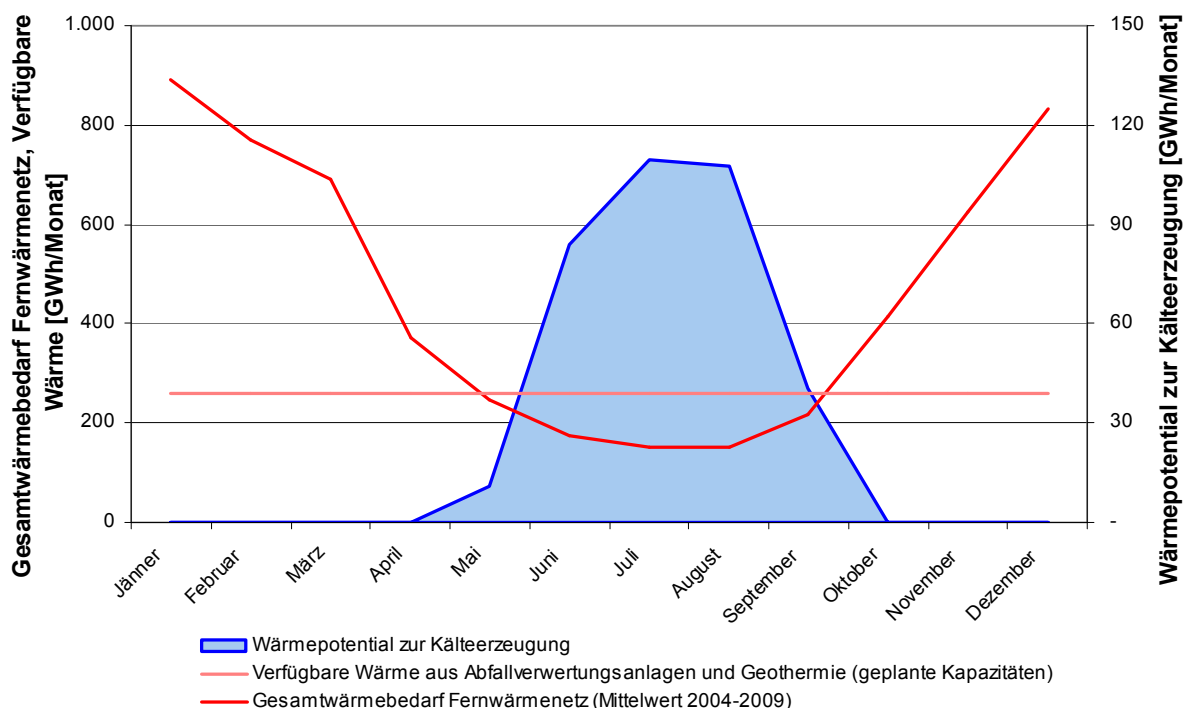


Abbildung 8: Wärmepotential zur Kälteerzeugung aus Abfallverwertungsanlagen und Geothermie

Aufbauend auf diesen Erkenntnissen wurde der Einfluss der Heißwassertemperaturen und Spreizung auf die Effizienz und die Leistung von Absorptionskältemaschinen untersucht. Besonders in Bezug auf die maximal zulässige Heißwassereintrittstemperatur aber auch hinsichtlich der möglichen Heißwasserspreizungen gibt es erhebliche Unterschiede bzw. Einschränkungen der einzelnen Hersteller, sodass eine sorgfältige Auswahl der geeigneten Kältemaschine in Abstimmung der jeweils vorherrschenden Rahmenbedingungen erforderlich ist.

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass durch Anhebung der Heißwasseraustrittstemperatur eine erhebliche Leistungssteigerung erzielt werden kann (siehe dazu Abbildung 9) und die spezifischen Investitionskosten gesenkt werden können. Die Heißwassereintrittstemperatur hat hingegen kaum Auswirkungen auf die Leistungszahl und auf die Kälteleistung von Absorptionskältemaschinen, spielt aber bei der Auslegung der Aggregate eine wesentliche Rolle.

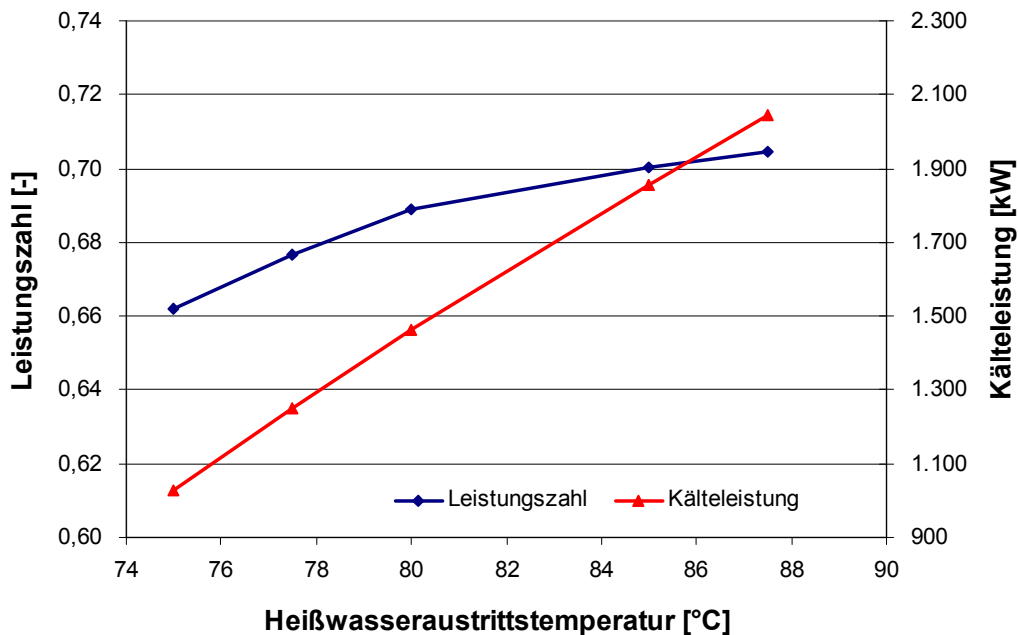


Abbildung 9: Einfluss der Heißwasseraustrittstemperatur auf die Kälteleistung und Leistungszahl (EER) einer Absorptionskältemaschine

Erläuterungen: Kaltwasser: 12 auf 5°C; Kühlwasser 28 auf 36°C; Heißwassereintrittstemperatur 95°C

Durch den grundsätzlich gegenläufigen Verlauf von Klimakälte und Raumwärmebedarf kann durch den Einsatz von Absorptionskältemaschinen zur Kälteerzeugung eine erhöhte Auslastung des Fernwärmenetzes erzielt und der verfügbare Überschuss an CO₂-neutraler Abwärme optimal genutzt werden. Im Zuge der AP 8 und 9 wurde das effektiv erzielbare Einsparungspotential an Primärenergie bzw. an Treibhausgasemissionen durch den Einsatz von Absorptionskältemaschinen in Fernkältezentralen, unter Berücksichtigung der Rückkühlung und aller weiteren Nebenaggregate untersucht und aufgezeigt.

4.7 Reduktion von Lastspitzen mittels Kältespeichern

Zur Abdeckung von kurzzeitigen Lastspitzen müssen Kältemaschinen (zumeist Kompressionskältemaschinen) mit entsprechend großer Leistung vorgesehen werden. Aufgrund der entsprechend höheren Investitionskosten und der schlechten Anlagenauslastung wirken sich große Spitzenlasten negativ auf das wirtschaftliche Ergebnis und die Betriebsweise aus. Außerdem können Spitzenlasten zumeist nicht mit Absorptionskältemaschinen und somit nicht mit CO₂-armen Energiequellen wie Abwärme abgedeckt werden, da die Investitionskosten über jenen von Kompressionskältemaschinen liegen und das Regelungsverhalten von Absorptionskältemaschinen relativ träge ist.

Deswegen wurden in diesem Arbeitspaket typische bzw. regelmäßig auftretende Spitzenlasten identifiziert sowie deren Ursache bei den Kälteabnehmern und bei den Kälteerzeugern erforscht.

Darauf basierend wurden Möglichkeiten zur Reduktion der Lastspitzen und daraus resultierende Auswirkungen auf die Anlagenkonzeption, die Energieeffizienz und das CO₂-Reduktionspotential untersucht. Als Grundlage dafür, wurden geeignete Technologien und Methoden für die Kältespeicherung (Pufferspeicher, Netzpufferung) evaluiert und ausgewählt, sowie die Einbindungsvarianten und Regelungsoptionen untersucht.

Der Kältebedarf von Klimakältekunden zeigt grundsätzlich eine relativ gute Korrelation mit der Außentemperatur (siehe dazu auch Abbildung 1). Insbesondere die Sonneneinstrahlung und die Entfeuchtung von Zuluft (z.B. nach kurzzeitigen Niederschlägen) führen jedoch vom Wetter abhängig zu erheblichen kurzzeitigen Lastspitzen im Kundenlastverlauf. Durch das Versorgen mehrerer Abnehmer über eine Kältezentrale kommt es zwar zu einer gewissen Vergleichmäßigung des Lastgangs, um jedoch die Lastspitzen der Kunden zu reduzieren sind sekundärseitige Maßnahmen in Bezug auf die Regelung (kurzfristige Reduktion der Zuluftmengen, bzw. Temperaturleitung der Raumtemperatur mit der Außentemperatur, ...) sowie konstruktive Maßnahmen (Reduktion der Sonneneinstrahlung durch Beschattung bzw. konstruktiver Sonnenschutz; Kühlung über Baukörper statt über die Lüftung) erforderlich.

Die Datenauswertung unterschiedlicher Klimakälteabnehmer bzw. Kälteabnehmergruppen hat gezeigt, dass zwischen den einzelnen Datenloggs (Zeitintervall zwischen 5 und 15 min.) und den Stundenmittelwerten der Auswertung gewisse Schwankungen in der max. Leistung bestehen. Die diesbezüglichen Abweichungen lagen zwischen 10 und 20%. Es konnte weiters gezeigt werden, dass während der Wintermonate zumeist mit einer rel. konstanten, sehr geringen, Last zu rechnen ist, aber in den Sommermonaten die Leistungsanforderung innerhalb weniger Stunden von einer Grundlast in den Nachtstunden (ca. 5 – 15%) auf die Nennleistung ansteigt, um danach rasch wieder abzufallen.

In Abhängigkeit von der Struktur und Größe des Leitungsnetzes kann theoretisch durch entsprechende reglungstechnische Maßnahmen sowie hydraulische Vorkehrungen das Verteilnetz selbst zur Pufferung von kurzzeitigen Lastspitzen herangezogen werden. Dazu könnte einerseits das Temperaturniveau des Vorlaufs abgesenkt werden, um bei gleichbleibendem Volumenstrom und Rücklauftemperatur kurzzeitig höhere Lastabnahme zu ermöglichen. Andererseits kann durch Abkühlung des Rücklaufs in Phasen geringer Lastabnahme erreicht werden, dass nachfolgende Lastspitzen durch Erhöhung des Volumenstroms bei gleichzeitiger geringerer Spreizung (hervorgerufen durch den kühleren Rücklauf) bereitgestellt werden können.

Im Gegensatz zu den meisten Fernwärmenetzen ist der Einflussbereich bzgl. Spreizung und Vorlauftemperatur in Kaltwassersystemen sehr eingeschränkt möglich, womit das Potential der Netzpufferung in Kaltwassersystemen auf Basis der definierten Rahmenbedingungen nur sehr gering ist. Zur Glättung von kurzzeitigen Lastspitzen dargestellt durch die erhöhten einzelnen Datenloggs gegenüber den Stundenwerten sollte die Trägheit des Kältenetzes und die genannten Optionen der Netzpufferung jedoch ausreichen.

Die Höhe der verbleibenden Lastspitzen ist im Verhältnis zum durchschnittlichen Kältebedarf noch immer sehr groß und kann durch den Einsatz von geeigneten Kältespeichern entsprechend reduziert werden. Die Evaluierung von möglichen Kältespeichertechnologien hat gezeigt, dass trotz der relativ geringen Spreizung zwischen Vor- und Rücklauf und der damit bedingten geringen Energiedichte, der Einsatz von sensiblen Wasserspeichern unter den gegebenen Rahmenbedingungen (Klimakältebereitstellung; Vorlauftemperaturen über 4°C; Kälte Träger Wasser) aus techno-ökonomischer Sicht Latentwärmespeichern (Eisspeicher, Solespeicher) und chemischen Speicherarten (Sorptionsspeicher) vorzuziehen sind. Bei der Realisierung ist der geringe Dichte-

unterschied bei den definierten Kaltwasserspreizungen zu berücksichtigen und entsprechende technische Maßnahmen zu ergreifen, um eine möglichst gute Temperaturschichtung und damit einen möglichst hohen Ausnutzungsgrad des Speichers zu erzielen.

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass bei reiner Spitzenlastabdeckung durch den Kältespeicher bei einem üblichen Klimakältebelastgang dieser nur in den Sommermonaten zum Einsatz kommt und nur sehr wenige Be- und Entladezyklen übers Jahr aufweisen. Die Aufteilung der Kälteproduktion zwischen Absorptions- und Kompressionskältemaschinen bleibt dadurch nahezu unverändert.

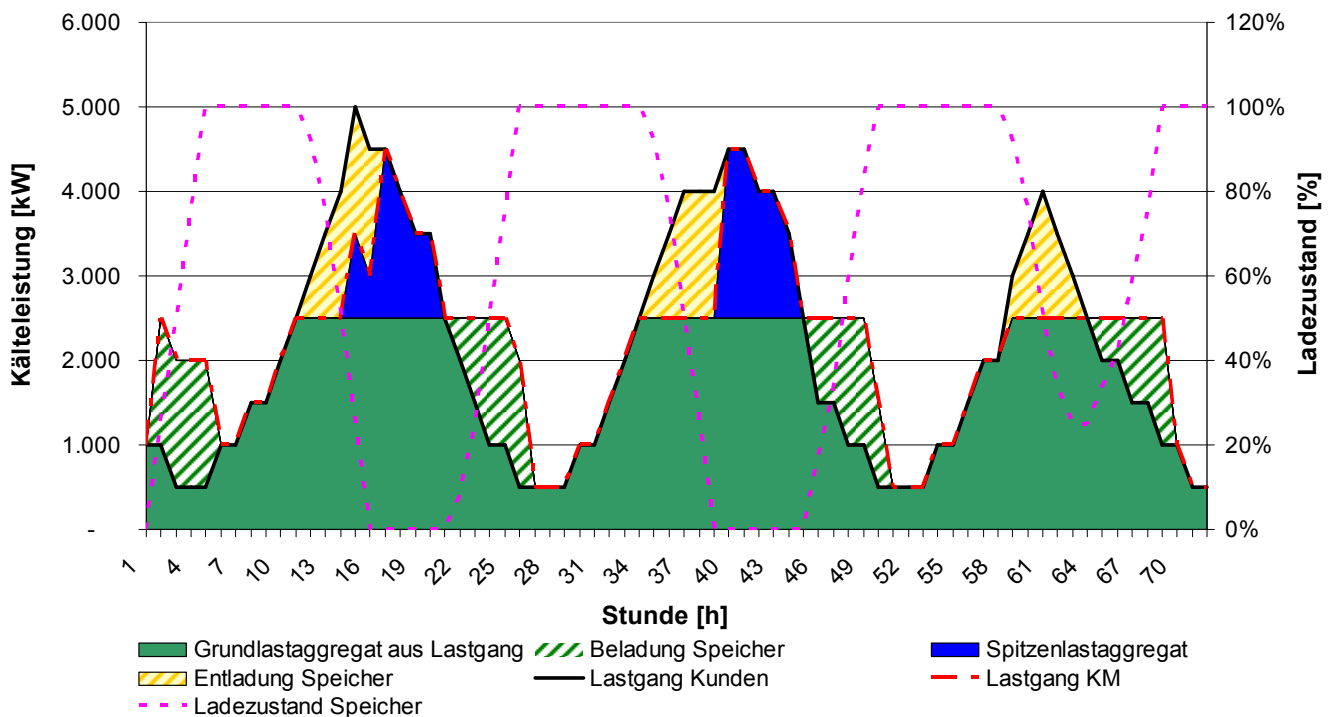


Abbildung 10: Beispielhafter Lastgang beim Einsatz eines Pufferspeichers zur Erhöhung der Grundlastabdeckung

Erläuterungen: Das Beispiel zeigt einen fiktiven Lastgang über 3 Tage (72 Stunden); Es wird von einer Maschinenleistung von 5.000 kW (2.500 kW Grundlast, 2.500 kW Spitzenlast) und einer Speicherkapazität des Pufferspeichers von 6.000 kWh ausgegangen; Die maximalen Be- und Entladeleistung des Kältespeichers liegt in diesem Beispiel 1.500 kW.

Werden in der Kältezentrale zwei unterschiedliche Kältemaschinentechnologien eingesetzt, so kann der Kältespeicher zur Erhöhung des Grundlastanteils (bzw. von Free-Cooling) an der Gesamtkälteproduktion herangezogen werden und damit zu einer wesentlichen CO₂-Einsparung beitragen. Die Einsatzdauer sowie die jährlichen Be- und Entladezyklen werden dabei gegenüber dem Einsatz zur Spitzenlastabdeckung wesentlich erhöht. Der Anteil der Absorptionskältemaschinen kann somit in Abhängigkeit von der Speichergröße, der Leistungsaufteilung der Kältemaschinen und dem Kundenlastgang erheblich gehoben werden. In Abbildung 10 ist ein entsprechender beispielhafter Lastverlauf dargestellt. Zusätzlich können durch eine entsprechende Regelung des Kältespeichers auch die Schwachlastphasen mit schlechten Wirkungsgraden der Kältemaschinen in den Nachtstunden durch Beladung des Speichers ganzjährig verringert und somit ein Stop-and-Go-Betrieb der Kältemaschinen verhindert werden.

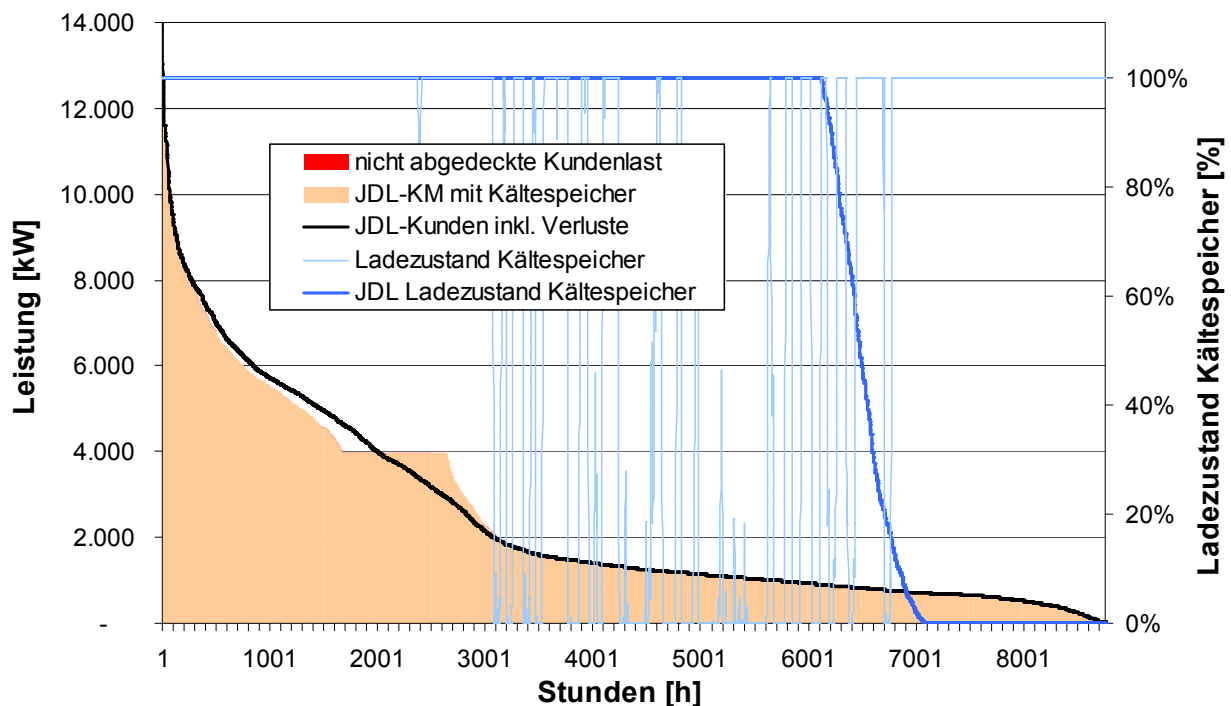


Abbildung 11: Kältespeicher zur Erhöhung der Grundlastabdeckung: Beispielhafte Jahresdauerlinie eines Kältenetzes mit und ohne Kältespeicher sowie der Ladezustand des Kältespeichers

Erläuterungen: JDL ... Jahresdauerlinie; KM ... Kältemaschine; Die JDL-Kunden inkl. Verluste entspricht der JDL-KM ohne Kältespeicher; Kälteleistung der Grundlastabdeckung 4.000 kW; Größe Pufferspeicher: 3.200 m³.

4.8 Erstellung eines Konzeptes für die optimierte Auslegung von Kältezentralen der Zukunft und Bewertung des CO₂-Reduktionspotentials

Dieses Arbeitspaket umfasste die Zusammenführung der Erkenntnisse der vorangegangenen Arbeitspakete, um eine effiziente Auslegungsmethodik in Form eines Ablaufplanes und eines Optimierungsleitfadens zur optimalen Dimensionierung von Kältemaschinen bzw. der gesamten Kältezentrale zu entwickeln. Dies beinhaltet auch die Erstellung entsprechender verfahrenstechnischer Anlagenkonzepte unter Berücksichtigung der allgemeinen sowie der technischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen. Einen weiteren Schwerpunkt stellte auch die Optimierung der Hydraulikanlagen dar, welche aufgrund der hohen Durchflussmengen besonderen Anforderungen entsprechen müssen. Zur Erleichterung der Konzeption und Dimensionierung hocheffizienter Kältezentralen wurden entsprechende EDV-gestützte Auslegungswerkzeuge erstellt, die insbesondere eine hohe Gesamtanlageneffizienz, einen ressourcenschonenden Betrieb sowie eine bestmögliche Reduktion von CO₂-Emissionen durch eine optimierte Abwärmenutzung berücksichtigen.

Die Untersuchungen in den vorangegangenen Arbeitspaketen haben gezeigt, dass für die einzelnen Hauptkomponenten einer Kältezentrale eine Vielzahl an Einflussfaktoren für die Auswahl von entscheidender Bedeutung sind. Neben der Kenntnis der Kundenanschlussleistung und den zu erwartenden Volllaststunden, ist für die Leistungsaufteilung zwischen den Kälteerzeugertechnologien auch der Kundenlastgang, die gewählte Rückkühltechnologie sowie Strom- und Wärmekosten zu

berücksichtigen. Für die zu erwartende Kälteproduktion mittels Free-Cooling sind neben der Nennleistung des Wärmetauschers, der Verschaltungsvariante und der gewählten Rückkühltechnologie auch die entsprechenden Klimadaten und die zu berücksichtigende Kaltwasser-temperaturleitung wichtige Einflussgrößen.

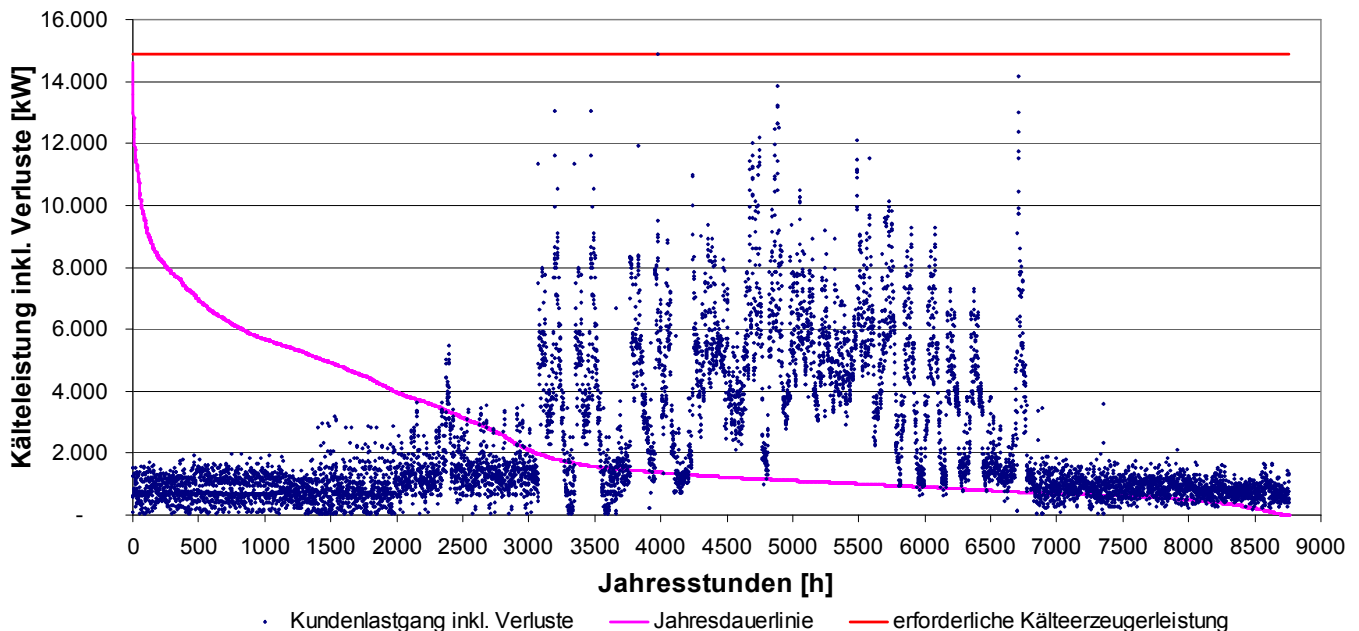


Abbildung 12: Kältelastgang und Jahresdauerlinie der Kältekunden inkl. Kälteverluste

Erläuterungen: Kälteverluste: Transmissionsverluste Netz, Wärmeeintrag durch Netzpumpen und Transmissionsverluste Kältespeicher.

Weiters sind das wirtschaftliche und ökologische Optimum (abhängig von den definierten Kosten und Emissionsfaktoren) zumeist nicht ident. Es kann damit erst nach Betrachtung des Betriebsverhaltens der Kältezentrale im Jahresverlauf eine Aussage über technische- und wirtschaftliche Parameter sowie die ökologischen Auswirkungen der gewählten Eingabeparameter gemacht werden. Eine Festlegung von entsprechenden Auslegungskriterien für die einzelnen Anlagenkomponenten ist daher aufgrund der großen Zahl an Einflussfaktoren und der unterschiedlichen Bewertungskriterien (Technik, Wirtschaftlichkeit, ökologische Bewertung) pauschal nicht möglich.

Um den genannten Erkenntnissen Rechnung zu tragen und um im Zuge der Berechnung einen Optimierungsprozess der einzelnen Anlagenkomponenten durchlaufen zu können, wurden Ablaufpläne und Optimierungsleitfäden definiert und es können in den erstellten Berechnungskonzepten sämtliche Einflussfaktoren der einzelnen Komponenten vom Anwender eingegeben bzw. variiert werden. Damit kann für jeden individuellen Fall das Optimum bezüglich Wirtschaftlichkeit oder ökologischer Bewertung ermittelt werden.

Die erstellten Berechnungskonzepte bestehen aus zwei Teilen. Im ersten Teil werden die Daten der einzelnen Kältekunden, die von der auszulegenden Kältezentrale versorgt werden sollen, eingegeben und über entsprechende Berechnungsverfahren der resultierende Lastgang ermittelt. Dabei kann der Lastgang jedes Kunden über eine Korrelation zwischen Außentemperatur und spezifischer Kälteleistung, über einen einzugebenden Jahreslastgang oder über sechs definierte Tageslastgänge (für Werktag und Wochenende, jeweils für Sommer, Winter und Übergangszeit) festgelegt werden und es wird daraus der erforderliche Jahreslastgang der Kältezentrale (in 8.760 Stundenwerten) ermittelt.

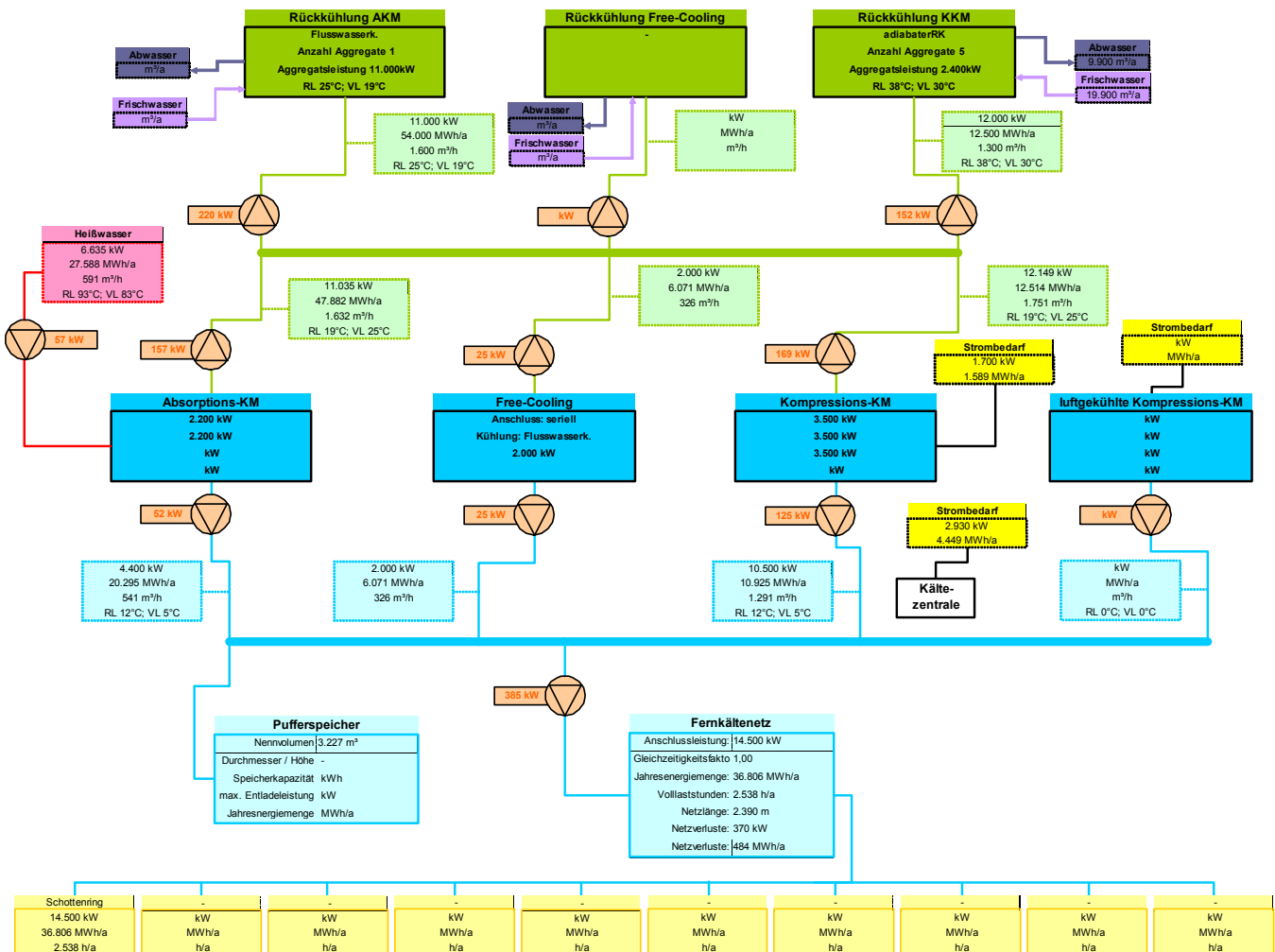


Abbildung 13: Anlagenschema mit Ergebnissen aus den Berechnungen

Erläuterungen: Werte im Schema stammen aus eigenen Berechnungen

Um ein möglichst repräsentatives Ergebnis zu erzielen, wird im zweiten wesentlich umfangreicheren Teil der Berechnungskonzepte auf Basis der gewählten Anlagenkomponenten und Eingabedaten über Klimadaten und dem Jahreslastgang der Kältekunden eine stundenweise Berechnung (also 8.760-mal) des Anlagenbetriebes für ein Jahr durchgeführt. Alle relevanten technischen, wirtschaftlichen und ökologischen Daten werden anschließend in entsprechenden Ausgabeböckern zusammengeführt und als Diagramme und Kenndaten ausgegeben. Beispielhaft hierfür sind das kompakte Anlagenschema mit den wesentlichen Berechnungsergebnissen in Abbildung 13 und ein Diagramm mit Monatswerten der Kälteerzeugung und der prozentuellen Jahresaufteilung auf die Kälteerzeuger in Abbildung 14 dargestellt.

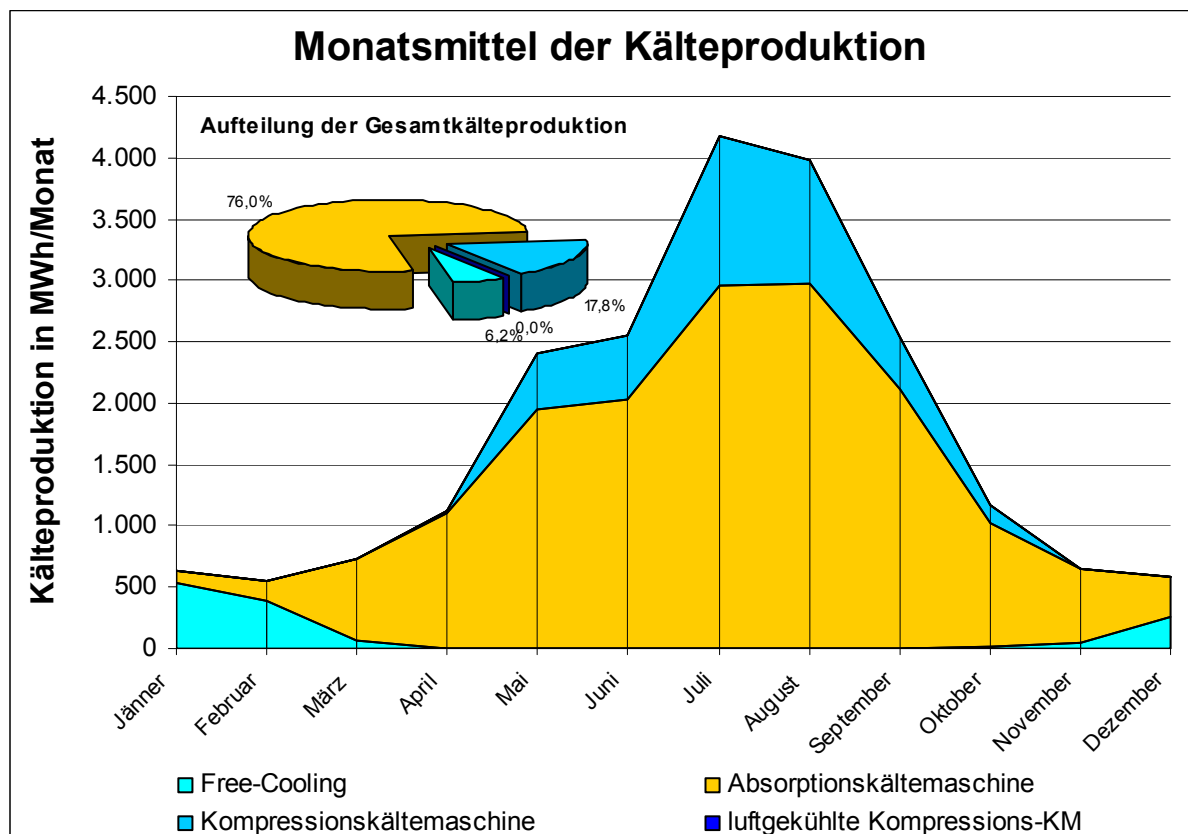


Abbildung 14: Darstellung von Monatswerten der Kälteerzeugung und der prozentuellen Jahresaufteilung

Erläuterungen: Werte im Diagramm stammen aus eigenen Berechnungen

Als Berechnungsergebnis hinsichtlich technischer Kennzahlen sind alle relevanten Leistungen und Energieströme in Absolutwerten und Prozent in tabellarischer Form aufgelistet und in unterschiedlichen Diagrammen dargestellt. Außerdem erfolgt eine Monatsauswertung der wichtigsten technischen Daten. Weiters wird eine wirtschaftliche Betrachtung des Projektes entsprechend VDI 2067 durchgeführt und die spezifischen Kältegestehungskosten sowie der statischen und dynamischen Amortisationszeit ermittelt.

Zusätzlich zu den technischen und wirtschaftlichen Untersuchungen des eingegebenen Projektes wird in den Berechnungskonzepten auch eine ökologische Bewertung durchgeführt. Dazu werden alle für den Betrieb der betrachteten Kältezentrale erforderlichen Energieströme zusammengeführt und über die entsprechenden Faktoren der Primärenergiebedarf (siehe Tabelle 4) und die Treibhausgasemissionen für die einzelnen Anlagenkomponenten sowie für die Gesamtanlage ermittelt und graphisch dargestellt (siehe Abbildung 15).

Tabelle 4: Treibhausgas-Äquivalente und Primärenergiefaktoren der Strom- und Wärme-erzeugung der Fernwärme Wien GmbH

Erläuterungen: Quelle: Österreichische Energie Agentur

	Einheit	Wärme- erzeugung	Strom- erzeugung
Treibhausgas-Äquivalente	g/kWh	-	758,6
Primärenergiefaktor PEF gesamt	MWh/MWh	1,000	2,91
Primärenergiefaktor PEF nicht erneuerbar	MWh/MWh	0,207	2,85

Außerdem wird auch der absolute und spezifische Frischwasserbedarf und Abwasseranfall der einzelnen Kälteerzeuger und der Gesamtanlage ermittelt.

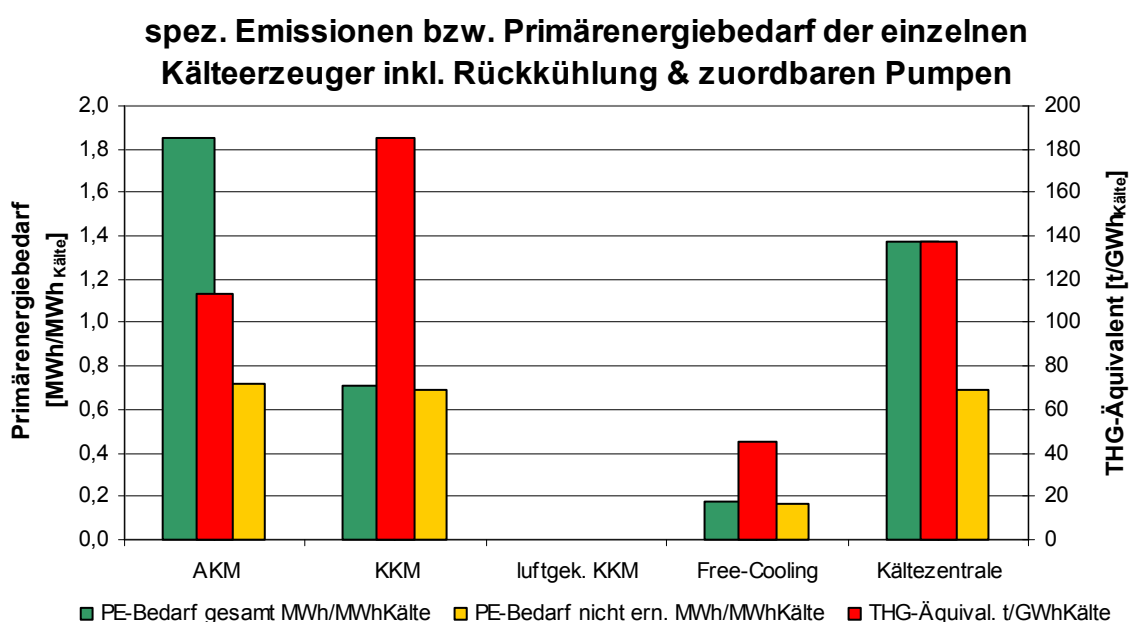


Abbildung 15: Beispielhafte Darstellung des Primärenergiebedarfs und der Treibhausgasäquivalente der einzelnen Erzeuger und der Kältezentrale

Erläuterungen: PE ... Primärenergiebedarf; THG ... Treibhausgas. Die Ergebnisse stammen aus der Jahresbetrachtung der Berechnung und basieren auf definierten Rahmenbedingungen. Die Variation von Einflussgrößen (wie Rückkühltechnologie, Kundenlastverhalten, Kältemaschinen, Spreizungen, ...) kann jedoch zu einer erheblichen Verschiebung des Ergebnisses führen.

4.9 Darstellung der Grundlagenannahmen und Ergebnisse anhand von konkreten Projekten

Mit dem im AP 8 entwickelten Auslegungskonzept für Kältezentralen wurde ein Werkzeug geschaffen, mit dem unterschiedliche Anlagenkonzepte simuliert und optimiert werden können. In diesem Arbeitspaket wurden diese Auslegungswerkzeuge einem Praxistest unterzogen. Dafür wurde zuerst versucht eine bestehende Kältezentrale nachzurechnen, um die Rechenergebnisse mit Datenauswertungen der realen Anlage zu vergleichen. Zusätzlich erfolgte die Konzeption von Kältezentralen der Zukunft mit Kälteleistungen in einem Leistungsbereich von 5 bis 20 MW auf Basis konkreter Standorte in Wien und unterschiedlicher Rahmenbedingungen. Die Erkenntnisse der Auswertungen bzw. der erarbeiteten Ergebnisse dienen zur Optimierung der entwickelten

Berechnungsverfahren sowie zur Vorbereitung von Demonstrationsprojekten (konkrete Umsetzung der optimierten Anlagenkonzepte).

Auf Basis des Kundenlastgangs und unter Berücksichtigung der tatsächlichen Leistungsaufteilung auf die einzelnen Kälteerzeuger (Absorptionskältemaschine, Kompressionskältemaschine und Free-Cooling) wurden die Datenaufzeichnungen für ein Betriebsjahr einer von der Fernwärme Wien GmbH betriebenen Kältezentrale den Berechnungsergebnissen aus dem entwickelten Berechnungskonzepten gegenübergestellt. Dabei wurde neben dem resultierenden Wärme- und Strombedarf sowie den berechneten Investitionskosten auch das tatsächliche Betriebsverhalten der Hauptkomponenten mit den Berechnungsergebnissen verglichen.

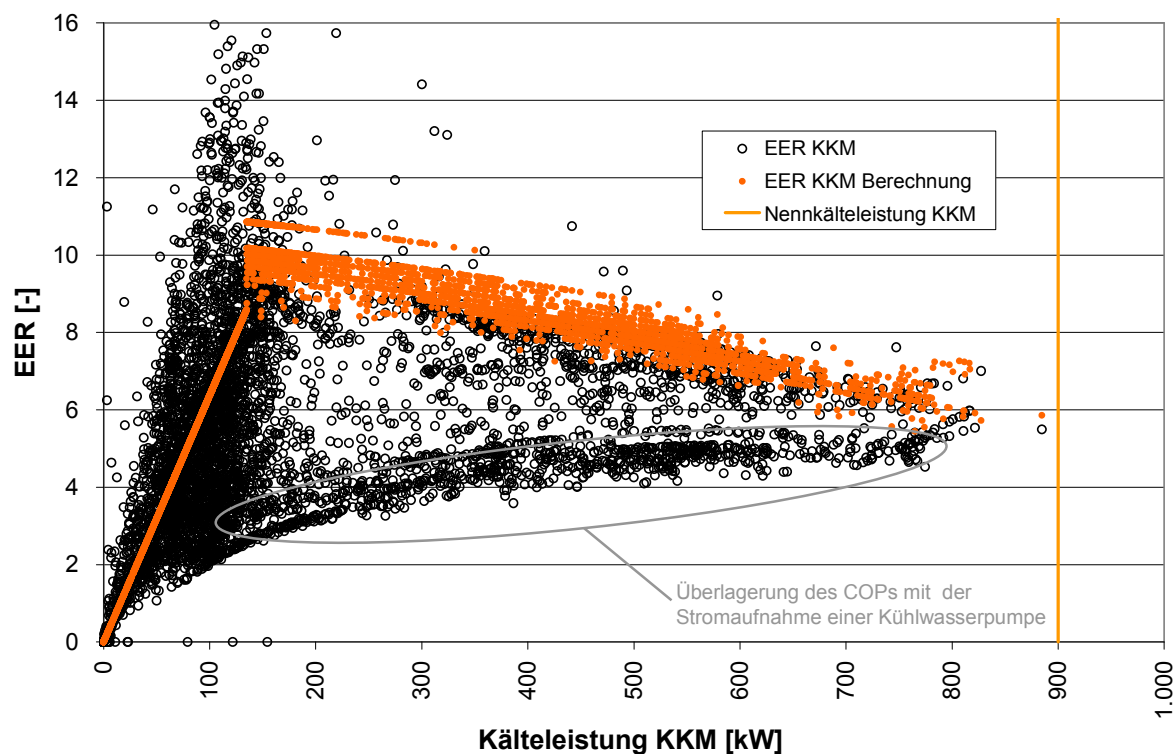


Abbildung 16: Vergleich der gemessenen und berechneten EER-Werte der Kompressionskältemaschine in Abhängigkeit von der Kälteleistung

Erläuterungen: Messwerte des Strombedarfs für die KKM sind zeitweise mit der Stromaufnahme einer Kühlwasserpumpe überlagert.

Die Berechnungsergebnisse zeigten weitestgehend gute Übereinstimmungen mit den Datenauswertungen der Anlage. Erwartungsgemäß weisen allgemein die Datenauswertungen eine größere Streuung der Einzelwerte auf als die Berechnungsergebnisse. In Abbildung 16 ist beispielhaft der Verlauf des EERs der Kompressionskältemaschine über der Auslastung aufgetragen. In Abbildung 17 sind die Vor- und Rücklauftemperaturen des installierten Hybridkühlers und dessen Stromaufnahme über der Feuchtkugeltemperatur dargestellt.

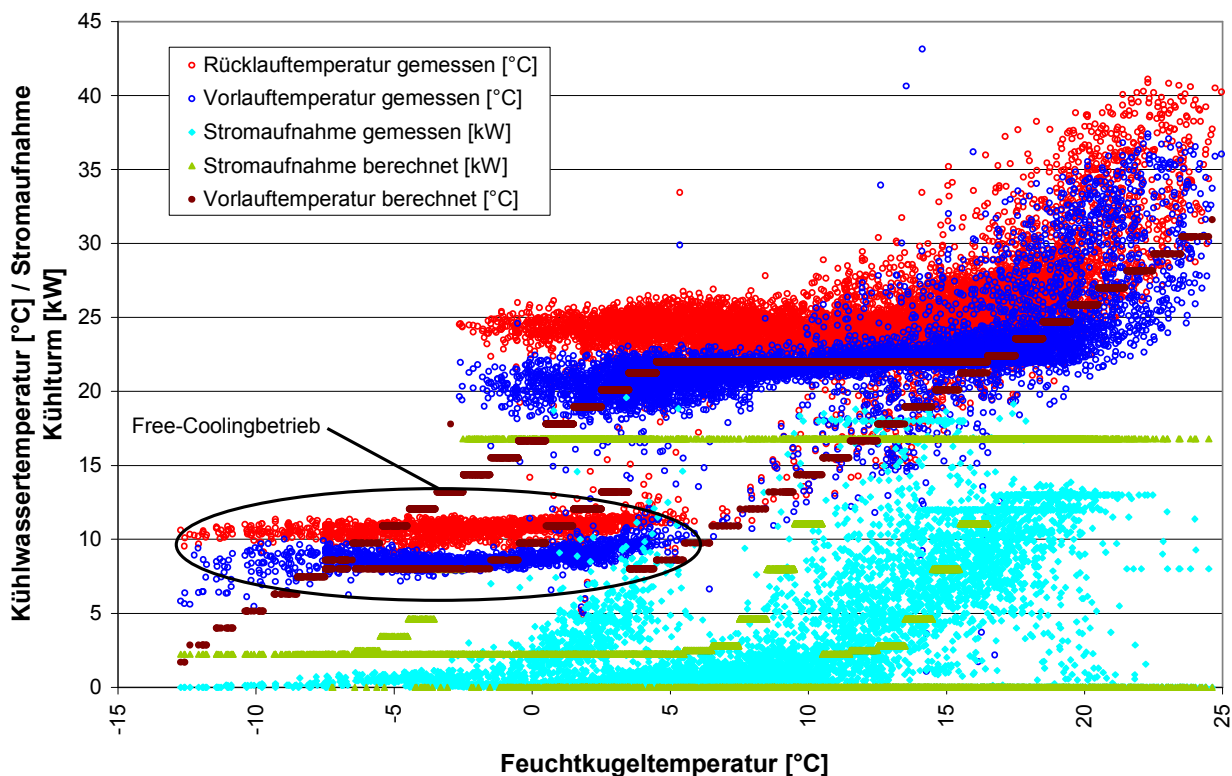


Abbildung 17: Vergleich der gemessenen und berechneten Kühlwassertemperaturen und dem Strombedarf des Hybridkühlers in der untersuchten Kältezentrale

Ein Vergleich der Berechnungsergebnisse bezüglich Investitionskosten, Strom- und Wärmebedarf bzw. der EERs zeigt eine relativ gute Übereinstimmung mit den Datenauswertungen der realen Anlage (siehe Tabelle 5), wobei angemerkt werden muss, dass in Bezug auf die Einzelstromverbraucher (Kühltürme, Pumpen, ...) teilweise erhebliche Abweichungen festzustellen waren. Auf Basis dieser Erkenntnisse wurden die Eingabeparameter verfeinert und Berechnung weiter optimiert.

Tabelle 5: Jahresenergiemengen für Wärme, Kälte und Strom der untersuchten Kältezentrale

Erläuterungen: Die Lastgänge der einzelnen Kälteerzeugungstechnologien aus der Datenauswertung sind in die Berechnungen übernommen worden und weisen daher keine Abweichungen auf.

Auswertung 2009		Datenauswertung	Berechnung	Abweichung
Investitionskosten	Mio. €	3,59	3,16	14%
Kälteerzeugung Free-Cooling	MWh/a	68	68	0%
Kälteerzeugung AKM	MWh/a	497	497	0%
Kälteerzeugung KKM	MWh/a	1.170	1.170	0%
Kälteerzeugung gesamt	MWh/a	1.735	1.735	0%
Wärmebedarf AKM	MWh/a	1.106	1.217	-9%
durchschnittlicher EER AKM	-	0,45	0,41	10%
Strombedarf KKM	MWh/a	227	163	39%
durchschnittlicher EER KKM	-	2,18	3,04	-28%
Strombedarf Kältezentrale	MWh/a	526	630	-16%

In weiterer Folge wurden anhand eines konkreten in Planung befindlichen Realisierungsprojektes und auf Basis von definierten Rahmenbedingungen die unterschiedlichen Auslegungsparameter einzeln variiert, um deren Einfluss auf das wirtschaftliche und ökologische Gesamtergebnis zu

untersuchen. Das im Projektantrag vorgeschlagene Demonstrationsprojekt „zweite Ausbaustufe Kältezentrale Spittelau“ musste von der Fernwärme Wien GmbH aufgrund der noch ungeklärten Gestaltung des Kälteverteilsystems zeitlich zurückgestellt werden, wodurch es im Rahmen dieses Projektes noch nicht als Demonstrationsprojekt herangezogen werden konnte. Alternativ wurde ein neuer sehr aussichtsreicher Standort für eine Kältezentrale mit einer angestrebten Nennleistung von ca. 14,5 MW im Bereich Schottenring für die Konzeption und Dimensionierung mittels der entwickelten Auslegungskonzepte gewählt.

Die Untersuchungen wurden auf zwei unterschiedlichen Kundenlastgängen basierend durchgeführt. Neben der Free-Cooling-Leistung und dessen Verschaltungsart (siehe Abbildung 18) und dem Kälteleistungsanteil der Absorptionskältemaschinen wurden auch die Pumpenansteuerungen (variabler oder konstanter Volumenstrom), die Antriebstechnologie der Kompressionskältemaschinen sowie die Rückkühlerart (siehe Abbildung 19) der Kälteerzeuger variiert und deren Einfluss auf das Gesamtergebnis untersucht.

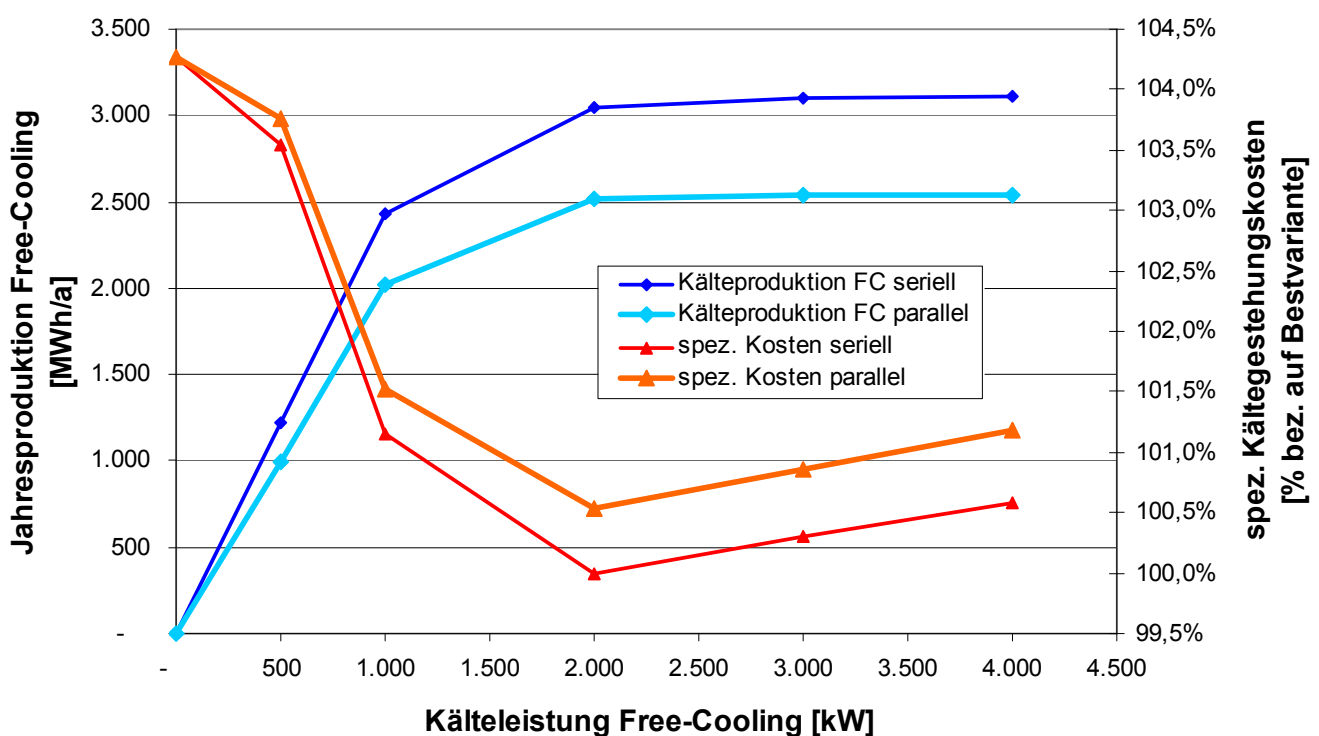


Abbildung 18: Variation der Free-Cooling-Leistung bei serieller und paralleler Verschaltung

Erläuterungen: spez. Kältegestehungskosten = Jahreskosten (entsprechend VDI 2067) / gesamte Kälteproduktion (aller Kälteerzeuger). Bestvariante: Bezüglich Free-Cooling hat unter den bestehenden Rahmenbedingungen die Bestvariante 2.000 kW Kälteleistung und ist mit den Kältemaschinen in Serie geschaltet.

Es konnte gezeigt werden, dass die Wahl von drehzahlgeregelten Pumpen in der Kältezentrale, insbesondere durch den hohen Anteil an Teil- und Schwachlastbetrieb, zu einer Stromreduktion von insgesamt ca. 40% führt und damit sowohl wirtschaftlich als auch ökologisch massive Einsparungen bewirkt.

Wie in Abbildung 18 ersichtlich, können in dem untersuchten Projekt die spez. Kältegestehungskosten der Kältezentrale durch die Installation eines Free-Cooling-Wärmetauschers um über 4% gesenkt werden. Wird die Free-Cooling-Leistung zu groß gewählt, steigen die spez. Kältegestehungs-

kosten, verursacht durch die steigenden Investitionskosten bei nur geringer Erhöhung der Kälteproduktion, an. Mit Hilfe der entwickelten Berechnungskonzepte kann die optimale Free-Cooling-Leistung in Abhängigkeit von den Rahmenbedingungen ermittelt werden. Neben dem dargestellten Einfluss der Free-Cooling-Leistung und der Verschaltungsart auf die Kälteproduktion mittels Free-Cooling und die Kältegestehungskosten, haben auch die gewählte Rückkühltechnologie, die Kaltwassertemperaturen und der Kundenlastgang einen erheblichen Einfluss auf diese Parameter. So lag z.B. das wirtschaftliche Optimum bei Berücksichtigung eines Lastgangs mit erhöhten Volllaststunden statt 2.000 bei 3.000 kW.

Es konnte auch gezeigt werden, dass unter den getroffenen Annahmen mit steigender Kälteleistung der Absorptionskältemaschinen die CO₂-Emissionen erheblich reduziert werden können. Aus wirtschaftlicher Sicht verschlechtert sich aber dabei das Ergebnis und betreffend den nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf ist keine Reduktion durch die Erhöhung der Absorberleistung feststellbar.

Die Untersuchungen hinsichtlich möglicher Rückkühltechnologien haben gezeigt, dass trotz der erheblichen Investitionskosten für die Errichtung eines Flusswasserentnahmebauwerks bei der Wirtschaftlichkeitsrechnung die Kältegestehungskosten geringer als beim Einsatz von Kühltürmen sind. Dies ist vor allem auf die geringeren betriebsgebundenen Kosten (geringer Strombedarf, kein Frischwasserbedarf, keine Wasseraufbereitung bzw. Abwasseranfall) aber auch auf die erhöhte Rückkühlung über Free-Cooling und die erhöhten EERs der Kältemaschinen, hervorgerufen durch die verhältnismäßig niederen Rückkühltemperaturen im Hochsommer, zurückzuführen.

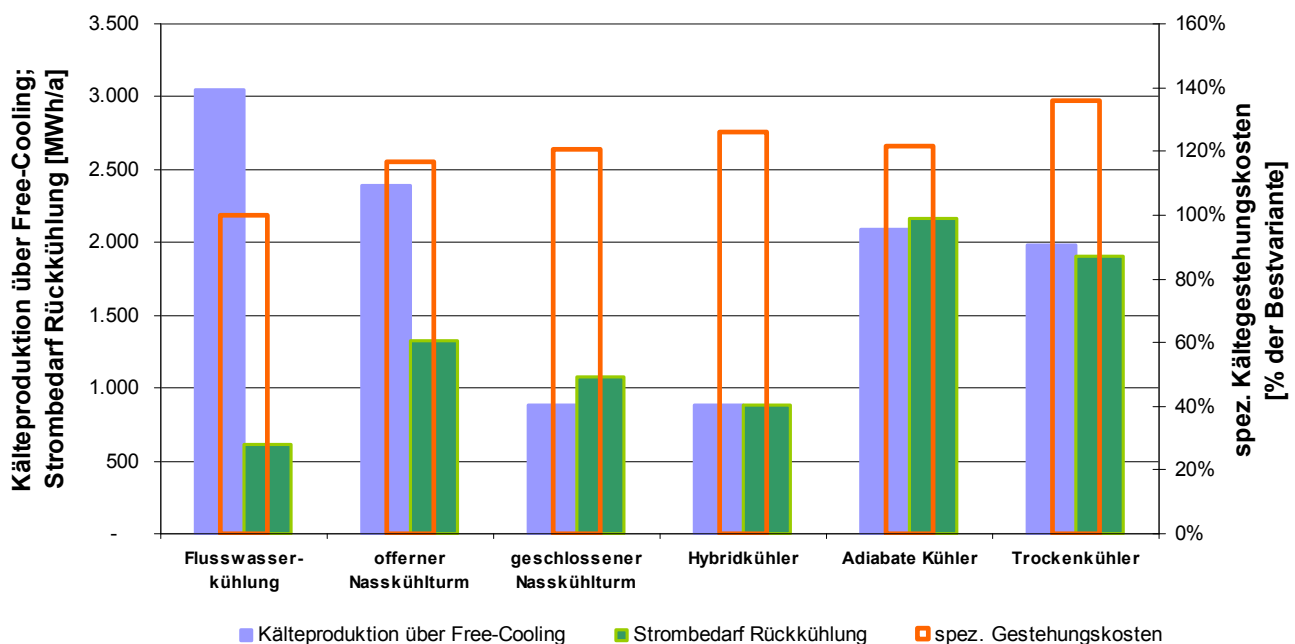


Abbildung 19: Variation der Rückkühltechnologie der untersuchten Kältezentrale

Erläuterungen: spez. Kältegestehungskosten = Jahreskosten (entsprechend VDI 2067) / gesamte Kälteproduktion (aller Kälteerzeuger). Bestvariante: Bezüglich Free-Cooling entsprechend Abbildung 18; Rückkühlung mittels Flusswasser (Donaukanal).

Mit diesen Untersuchungen wurde eine erste Grundlage für die Umsetzung einer energetisch optimierten Kältezentrale Schottenring als Demonstrationsprojekt geschaffen und es sollen in den weiteren Projektphasen laufend neue Inputdaten bzw. Festlegungen für eine verfeinerte Berechnung auf Basis der entwickelten Auslegungswerkzeuge erfolgen.

4.10 Projektmanagement und Berichtswesen

Während AP 1 bis 9 mit geringfügigen Überschneidungen sequentiell bearbeitet wurden, erstreckten sich die Tätigkeiten für das AP 10 über den gesamten Projektzeitraum. Neben dem im Zuge des AP 10 durchgeführten Projektmanagements inklusive Ressourcenplanung und Koordination der beteiligten Mitarbeiter sowie der laufenden Kontrolle der durchgeführten Arbeiten, des Zeitplanes und der erreichten Meilensteine, war die Erstellung des Zwischen- und Endberichtes zur Zusammenfassung wesentlicher Projektergebnisse und daraus ableitbarer Schlussfolgerungen ein wesentlicher Schwerpunkt dieses Arbeitspakets.

5 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Die Erkenntnisse aus diesem Projekt stellen für beide Projektpartner eine wichtige theoretische Grundlage für die zukünftige Akquisitions-, Planungs- und Optimierungsarbeit im Bereich Klima- und Prozesskälteerzeugung dar. Mit den entwickelten Auslegungskonzepten wurde zusätzlich ein effektives und vielseitiges Werkzeug geschaffen das eine Be- und Nachrechnung von Kältezentralen hinsichtlich technischer, wirtschaftlicher und ökologischer Gesichtspunkte zulässt und damit eine hocheffiziente und CO₂-arme Kälteversorgung konzipiert werden kann.

Im Rahmen der ersten beiden Arbeitspakete wurden basierend auf Recherchen, durchgeführten Messungen bei potentiellen Kältekunden, Kundengesprächen, Datenauswertungen und Literaturrecherchen Lastgänge ermittelt, Tageslastgänge berechnet sowie der Zusammenhang zwischen Außentemperatur und Kälteleistung unterschiedlicher Kunden ausgewertet. Weiters wurden die erforderlichen Kaltwasservorlauftemperaturen potentiellen Kältekunden ermittelt und die Möglichkeit einer entsprechenden Anhebung evaluiert. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse stellen eine wesentliche Grundlage für die Auslegung zukünftiger Kältezentralen dar und können auch zur Optimierung bestehender Kältezentralen herangezogen werden.

Des Weiteren wurden Daten bezüglich Lufttemperatur, rel. Feuchte und Flusswassertemperaturen für Wien gesammelt, die für die Rückkühlung wesentliche Feuchtkugeltemperatur berechnet und für die vergangenen Jahre ausgewertet. Diese Daten stellen hinsichtlich Ihrer Maxima eine entscheidende Grundlage für die Auslegung und Auswahl von Rückkühlaggregaten dar und deren Jahresverlauf ist entscheidend für die Berechnung der möglichen Rückkühltemperaturen und des Potentials einer ressourcenschonenden Kälteproduktion über Free-Cooling.

Ein weiteres wesentliches Projektergebnis resultierte aus der Untersuchung möglicher Kälteerzeugungsanlagen und Rückkühlssystemen. Während die technische Evaluierung möglicher Kälteerzeugungstechnologien auf Basis der Erkenntnisse bezüglich Kundenanforderungen und Heißwasserbedingungen im Fernwärmenetz eine gewisse Einschränkung geeigneter Technologien ergab, resultierte bei den Rückkühltechnologien keine Technologieeinschränkung aus den Untersuchungen, da in Abhängigkeit von den Standortanforderungen und der Jahresauslastung der Kälteerzeuger unterschiedlichste Anforderungen an die Rückkühlaggregate gestellt werden. Die Evaluierungen der unterschiedlichen Technologien ermöglichen für zukünftige Projekte ein rascheres und gezielteres Auswahlverfahren der geeigneten Anlagentechnik. Wobei sich mit ändernden Rahmenbedingungen hinsichtlich Kalt- und Heißwassertemperaturen sowie durch Weiterentwicklung von Kälteerzeugungstechnologien (z.B. Adsorptionskältemaschinen) das Anwendungsspektrum entsprechend verändern kann.

Weiters konnten im Rahmen dieses Forschungsprojektes die Haupteinflussfaktoren auf die Effizienz der Kältemaschinen aufgezeigt werden, womit einerseits die Definition von Auslegungskriterien erleichtert wird und vor allem das Verhalten der Kälteerzeuger bei von den Auslegungen abweichenden Betriebsbedingungen hinsichtlich Kühl- und Kaltwassertemperaturen sowie der Auslastung der Aggregate simuliert werden kann. Auch für die Rückkühlaggregate wurde das Verhalten hinsichtlich Kühlwasseraustrittstemperatur, Stromaufnahme und eventuellem Wasserbedarf in Abhängigkeit von der Luft- bzw. Feuchtkugeltemperatur untersucht, um diese Erkenntnisse in die Erstellung der Auslegungsberechnungen einfließen lassen zu können.

Die Untersuchungen haben rasch gezeigt, dass aufgrund der zahlreichen Einflussfaktoren auf die Effizienz der einzelnen Hauptaggregate einer Kältezentrale und durch den Kundenseitig bedingten hohen Anteil an Teil- und Schwachlastbetrieb eine Festlegung geeigneter Auslegungsrichtlinien nur

schwer möglich ist. Es wurden daher im Rahmen dieses Forschungsprojektes Auslegungsberechnungen angestellt, um das Verhalten einer definierten Kältezentrale im Jahreslauf zu ermitteln. Dazu wird auf Basis des Kundenlastgangs sowie einer ev. Temperaturgleitung und der erforderlichen Klimadaten eine stundenweise Simulation des Betriebsverhaltens der Kältezentrale inkl. der definierten Rückkühlung durchgeführt, um damit entsprechende technische wirtschaftliche und ökologische Kennwerte zu ermitteln, welche für die Bewertung der ausgewählten Anlagentechnik herangezogen werden können.

Damit eine bestmögliche Optimierung der Anlagentechnik im Zuge der Konzeption ermöglicht werden kann, sind sämtliche Einflussfaktoren als Eingabewerte bzw. als Auswahlfelder ausgeführt. Dadurch soll ein Maximum an Variabilität bei der Auswahl und Kombination unterschiedlicher Komponenten und Regelkonzepte für zukünftige Kältezentralen und auch für die Nachrechnung und Optimierung von bestehenden Systemen ermöglicht werden.

Im Zuge des Forschungsprojektes wurde auch eine neue Kältezentrale auf Basis eines konkreten Realisierungsstandortes konzipiert und das entsprechende Optimierungspotential aufgezeigt. Ausgehend von einer traditionellen Kälteerzeugung mittels Kompressionskältemaschinen ohne Drehzahlregelung, starren Pumpen und ohne Berücksichtigung einer Temperaturgleitung in den Wintermonaten wurden unterschiedliche Optimierungsmaßnahmen untersucht und zu einer optimierten Kältezentrale zusammengeführt. Die traditionelle Kälteerzeugung weist dabei schon im Auslegungspunkt wesentlich höhere Emissionen als das komplexere Anlagenkonzept der optimierten Kältezentrale auf. Durch den hohen Anteil an Teil- und Schwachlastbetrieb wird dies in der Jahresbetrachtung noch wesentlich verstärkt. In Abbildung 20 ist ein Sankey-Diagramm der Jahresenergiemengen der traditionellen Kälteerzeugung bezogen auf den Kundenkältebedarf dargestellt.

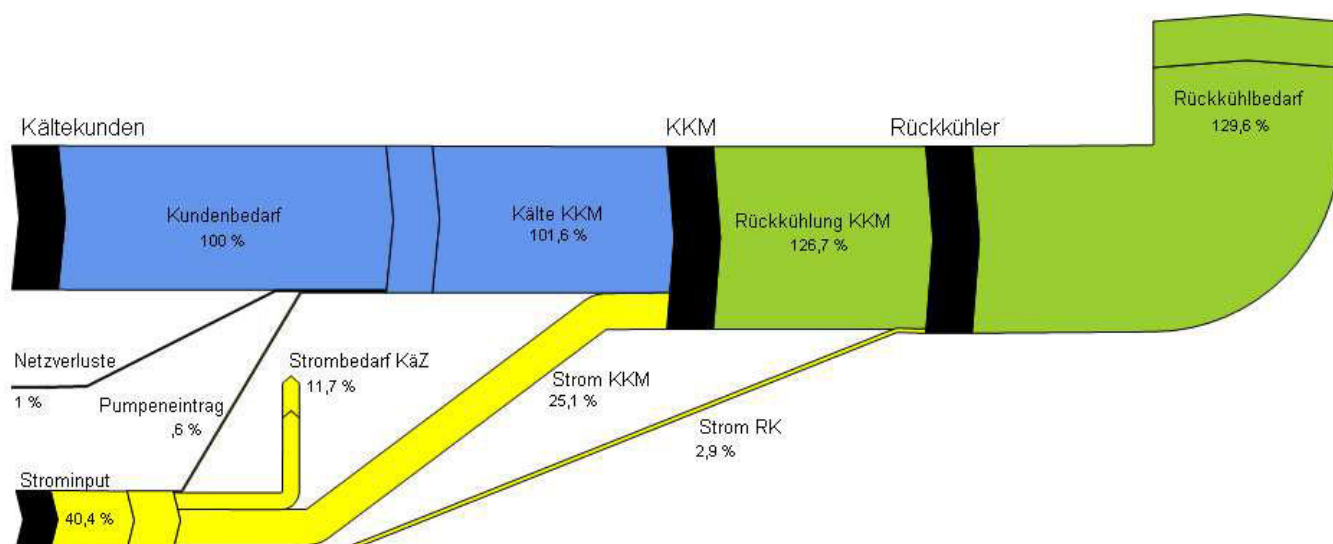


Abbildung 20: Sankey-Diagramm einer konventionellen Kälteerzeugungsanlage mit Flusswasserkühlung

Erläuterungen: Bezugsgröße: jährlicher Kundenkältebedarf = 100%; keine Kaltwassertemperaturgleitung, ohne Kälteerzeugung mittels Free-Cooling und Absorptionskältemaschinen; ohne Drehzahlregelung der Pumpen (außer Kältenetzpumpen und Flusswasserentnahmepumpen); keine Drehzahlregelung der Kompressionskältemaschinen

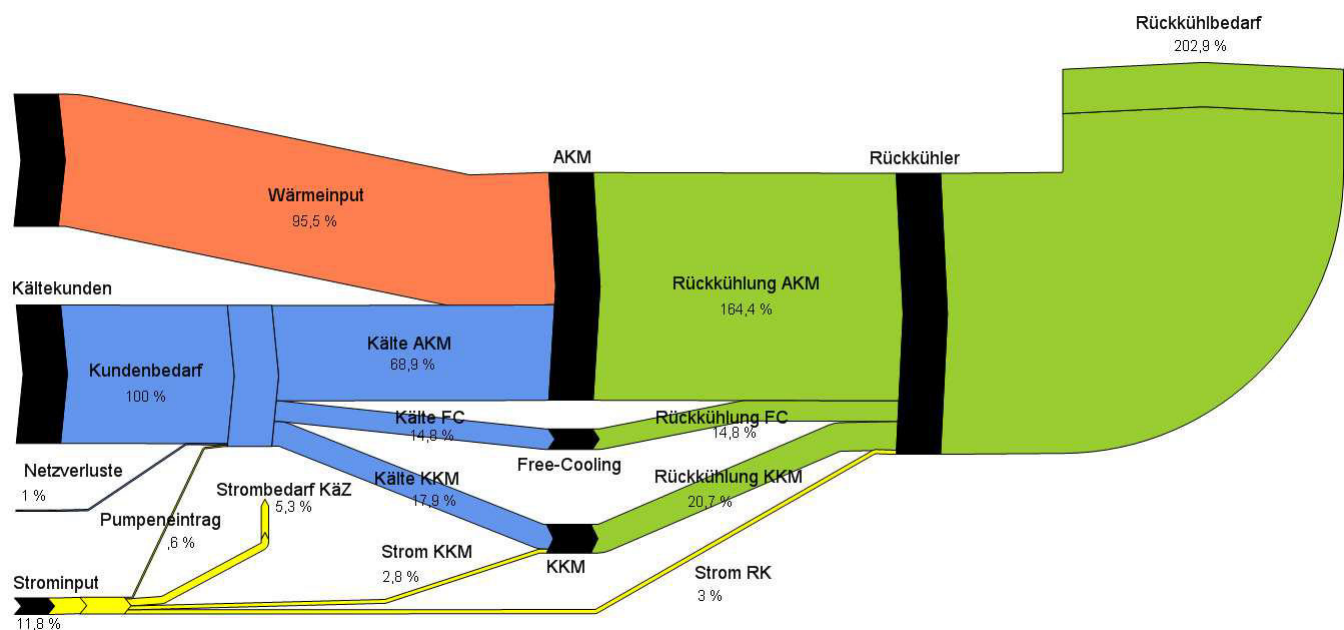


Abbildung 21: Sankey-Diagramm einer ökologisch optimierten Kälteerzeugungsanlage mit Flusswasserkühlung

Erläuterungen: Bezugsgröße: jährlicher Kundenkältebedarf = 100%; mit Kaltwasser-temperaturleitung, mit Kälteerzeugung mittels Free-Cooling (13% der Kundenkälteleistung) und Absorptionskältemaschinen (30% der Kundenkälteleistung); mit Drehzahlregelung aller Pumpen; mit Drehzahlregelung der Kompressionskältemaschinen

Der durch den Betrieb von Absorptionskältemaschinen bedingte hohe Bedarf an Überschusswärme aus dem Fernwärmesystem führt bei dem ökologisch optimierten Fernkältekonzept zu einem entsprechend höheren Rückkühlbedarf (siehe dazu Abbildung 21). Der Primärenergiebedarf (PE) kann durch die Optimierungsmaßnahmen um 55% auf 510 kWh_{PE}/MWh_{Kälte} reduziert werden. Der Wert für die Treibhausgasäquivalente reduziert sich dabei sogar um 72% auf 84 kg/MWh_{Kälte}. Unter den getroffenen Annahmen liegt der Strombedarf bei der konventionellen Variante mit 404 kWh_{el}/MWh_{Kälte} fast um das vierfache über dem der optimierten Kältezentrale mit 118 kWh_{el}/MWh_{Kälte}. Diese Daten beziehen sich auf die Simulation eines gesamten Jahres und sind daher nicht mit Auslegungen der Anlagenkomponenten vergleichbar.

Die Betrachtung der Einzelmaßnahmen in Tabelle 6 verdeutlicht anschaulich, wie durch geringfügige Änderungen des Anlagenkonzeptes bzw. der Betriebsweise eine wesentliche Reduktion der eingesetzten Primärenergie und der resultierenden Treibhausgasemissionen erzielt wird. Die angeführten Maßnahmen sind nicht nur für Neuanlagen geeignet sondern würden sich insbesondere auch für die Optimierung von Bestandsanlagen eignen.

Mit der Festlegung von Rahmenbedingungen, der Definition von Auslegungskriterien und Kennzahlen sowie der durchgeführten Berechnungen wurden Grundlagen geschaffen, mit deren Hilfe die Projektpartner zukünftig energetisch optimierte Kältezentralen unter Einbeziehung des zu erwartenden Betriebsverhaltens generieren können. Die Fernwärme Wien GmbH hat und wird die Erkenntnisse in die tägliche Arbeit zur Dimensionierung, Vor- bzw. Nachkalkulation von Kältezentralen und zur Optimierung von bestehenden Anlagen heranziehen, um damit das energetische Einsparungspotential durch optimierte Kälteerzeugungsanlagen voll auszunutzen. Der Projektpartner BIOS BIOENERGIESYSTEME GmbH wird seinerseits die erarbeiteten Ergebnisse bei

zukünftigen nationalen und internationalen Planungs- und Realisierungsprojekten einsetzen, wodurch eine effektive Erarbeitung von energetisch- und wirtschaftlich optimierten Kältezentralen ermöglicht bzw. wesentlich erleichtert wird.

Tabelle 6: Reduktionspotential von einzelnen Optimierungsmaßnahmen bezüglich Primärenergiebedarf und Treibhausgasemissionen einer untersuchten Kältezentrale

Erläuterungen: Kältezentrale mit einem Jahreskundenbedarf von 20.950 MWh/a; Varianten: Temperaturgleitung: mit und ohne kundenseitiger Kaltwassertemperaturgleitung (Vorlauf-temp. von 6°C im Sommer auf 11°C im Winter); Free-Cooling: mit und ohne Free-Cooling-Wärmetauscher mit 2.000 kW; Drehzahlger. Pumpen: mit und ohne Drehzahlregelung für die Kühl- und Kaltwasserpumpen der Maschinenkreise. Bei gleichzeitiger Berücksichtigung mehrerer Maßnahmen kommt es zu Querverbeeinflussungen, sodass das Gesamtreduktionspotential nicht der Summe der Einzelpotentiale entspricht.

Reduktionspotential	Einheit	Temperaturgleitung	Free-Cooling	Drehzahlger. Pumpen
Primärenergiebedarf	kWh/MWh	59,5	68,0	249,4
	MWh/a	1.246	1.424	5.224
THG-Äquivalente	kg/MWh	6,6	6,0	66,4
	t/a	137	125	1.391

Weiters soll von den beiden Projektpartnern der Aufbau einer umfangreichen Datenbank der Anlagenkomponenten erfolgen, um dadurch den Datenpool für unterschiedliche Leistungs- und Auslegungsbedingungen zu vergrößern und damit den Einsatzbereich der Berechnungen entsprechend zu erweitern. Außerdem soll durch die Erkenntnisse aus der laufenden Projektarbeit eine kontinuierliche Verbesserung der bisher berücksichtigten Defaultwerte erfolgen, wodurch die Repräsentativität der Berechnungsergebnisse wesentlich verfeinert werden kann.

Die aus dem Projekt gewonnen Ergebnisse sollen mittelfristig zu einer Reduktion der einzusetzenden Ressourcen bei der Erzeugung von Kälte in Neu- und Bestandsanlagen führen, wodurch es zu einer Kostenreduktion der Bezugskälte für die Kunden kommen kann bzw. eine leichtere Realisierbarkeit von hocheffizienten Fernkältezentralen, unter spezieller Berücksichtigung der Nutzung von Abwärme als Antriebsenergie, erreicht werden soll.

6 Ausblick und Empfehlungen

Mit den im Rahmen des Projektes durchgeführten Untersuchungen und Berechnungen wurde die Möglichkeit geschaffen, unterschiedliche Anlagenkonzepte zu simulieren und optimieren und die Einflüsse der unterschiedlichen Eingabedaten auf das technische, wirtschaftliche und ökologische Ergebnis der Gesamtanlage aufzuzeigen. Mit Hilfe der Ergebnisse soll eine signifikante Einsparung von CO₂-Emissionen bei der Planung von zukünftigen Kältezentralen erreicht und die Optimierung von Bestandsanlagen ermöglicht werden.

Die auf Basis eines konkreten Realisierungsstandortes untersuchten Anlagenkonzepte für eine Kältezentrale haben das Optimierungspotential gegenüber einer traditionellen Kälteerzeugung klar aufgezeigt und den Einfluss einzelner Optimierungsmaßnahmen veranschaulicht. In weiterer Folge soll nun basierend auf den Projektergebnissen die Konzeption konkreter Umsetzungsprojekte erfolgen, sodass in weiterer Folge das optimierte Konzept „Kältezentrale der Zukunft“ in Form von Demonstrationsprojekten realisiert werden kann. Entsprechend den derzeitigen Ausbauplänen der Fernwärme Wien GmbH soll die Errichtung einer Kältezentrale am Donaukanal im Bereich Schottenring mit einem Kälteleistungsbereich zwischen 12 und 16 MW weiter verfolgt werden und in weiterer Folge auch die zweite Ausbaustufe der Kältezentrale Spittelau sowie weitere konkrete Realisierungsprojekte auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse und der entwickelten Werkzeuge konzipiert und dimensioniert werden.

Mit Hilfe der Durchführung eines Monitorings an einer, auf Basis der Forschungsergebnisse errichteten Kältezentrale, können einerseits die erstellten Auslegungskonzepte weiter verifiziert und verfeinert werden. Andererseits könnten durch entsprechende Testläufe die einzelnen Parameter angepasst sowie mögliche regelungstechnische Optionen geprüft und adaptiert werden.

Zusätzlich soll der systematische Aufbau einer umfangreichen Datenbank der Anlagenkomponenten erfolgen, um dadurch die Datenbasis für unterschiedliche Leistungs- und Auslegungsbedingungen zu vergrößern und damit den Einsatzbereich der Berechnungskonzepte entsprechend zu erweitern. Außerdem soll durch die Erkenntnisse aus der laufenden Projektarbeit eine kontinuierliche Verbesserung der berücksichtigten Defaultwerte erfolgen, wodurch die Repräsentativität der Berechnungsergebnisse wesentlich verfeinert werden soll.

Weiterführender Forschungs- und Entwicklungsbedarf besteht aus heutiger Sicht insbesondere auch im Bereich der detaillierten Untersuchung des Teillastbetriebsverhaltens von unterschiedlichen Kühlturmtechnologien, hinsichtlich Rückkühltemperaturen, Strom- und Wasserbedarf, um damit den Einfluss auf weitere Anlagenkomponenten (Kältemaschinen, Free-Cooling) und auf das Gesamtergebnis noch besser berücksichtigen zu können.

7 Anhang

a) Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Zusammenhang zwischen Kälteleistung und Lufttemperatur eines potentiellen Klimakältekunden für ein Jahr	8
Abbildung 2: Einfluss der Kaltwasserein- und Kaltwasseraustrittstemperatur auf die Leistungszahl (EER) einer Kompressionskältemaschine	9
Abbildung 3: Einfluss der Heißwassertemperaturen und der Kühlwassereintrittstemperatur auf die Leistung einer Absorptionskältemaschine	11
Abbildung 4: Leistungszahl über dem Temperaturhub für unterschiedliche Kompressionskältemaschinen ohne Drehzahlregelung	12
Abbildung 5: Normierte EER-Kennlinien für drei unterschiedliche Kompressionskältemaschinentechnologien	13
Abbildung 6: Einfluss der Außenlufttrockentemperatur auf die Kühlwasseraustrittstemperatur, die Stromaufnahme der Ventilatoren und den Wasserbedarf bei adiabten Kühlern für den Betrieb bei und ohne Free-Cooling.....	15
Abbildung 7: Jahresdauerlinie der Außenluft-, Feuchtkugel- und Donauwassertemperatur für Wien	16
Abbildung 8: Wärmepotential zur Kälteerzeugung aus Abfallverwertungsanlagen und Geothermie.....	17
Abbildung 9: Einfluss der Heißwasseraustrittstemperatur auf die Kälteleistung und Leistungszahl (EER) einer Absorptionskältemaschine	18
Abbildung 10: Beispielhafter Lastgang beim Einsatz eines Pufferspeichers zur Erhöhung der Grundlastabdeckung	20
Abbildung 11: Kältespeicher zur Erhöhung der Grundlastabdeckung: Beispielhafte Jahresdauerlinie eines Kältenetzes mit und ohne Kältespeicher sowie der Ladezustand des Kältespeichers	21
Abbildung 12: Kältelastgang und Jahresdauerlinie der Kältekunden inkl. Kälteverluste	22
Abbildung 13: Anlagenschema mit Ergebnissen aus den Berechnungen.....	23
Abbildung 14: Darstellung von Monatswerten der Kälteerzeugung und der prozentuellen Jahresaufteilung	24
Abbildung 15: Beispielhafte Darstellung des Primärenergiebedarfs und der Treibhausgasäquivalente der einzelnen Erzeuger und der Kältezentrale	25
Abbildung 16: Vergleich der gemessenen und berechneten EER-Werte der Kompressionskältemaschine in Abhängigkeit von der Kälteleistung	26
Abbildung 17: Vergleich der gemessenen und berechneten Kühlwassertemperaturen und dem Strombedarf des Hybridkühlers in der untersuchten Kältezentrale	27

Abbildung 18:	Variation der Free-Cooling-Leistung bei serieller und paralleler Verschaltung.....	28
Abbildung 19:	Variation der Rückkühltechnologie der untersuchten Kältezentrale	29
Abbildung 20:	Sankey-Diagramm einer konventionellen Kälteerzeugungsanlage mit Flusswasserkühlung	32
Abbildung 21:	Sankey-Diagramm einer ökologisch optimierten Kälteerzeugungsanlage mit Flusswasserkühlung	33

b) Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Rahmenbedingungen für den Einsatz von Kältemaschinen in Kältezentralen der Fernwärme Wien GmbH.....	10
Tabelle 2:	Treibhausgasemissionen bezogen auf die Kältemaschine in Abhängigkeit von der eingesetzten Kältemaschinenteknologie bei festgelegten Rahmenbedingungen	13
Tabelle 3:	Eigenschaften der unterschiedlichen Rückkühltechnologien für Fernkältezentralen	14
Tabelle 4:	Treibhausgas-Äquivalente und Primärenergiefaktoren der Strom- und Wärmeerzeugung der Fernwärme Wien GmbH.....	25
Tabelle 5:	Jahresenergiemengen für Wärme, Kälte und Strom der untersuchten Kältezentrale.....	27
Tabelle 6:	Reduktionspotential von einzelnen Optimierungsmaßnahmen bezüglich Primärenergiebedarf und Treibhausgasemissionen einer untersuchten Kältezentrale.....	34

IMPRESSUM

Verfasser und Projektpartner

FERNWÄRME WIEN GmbH
Abteilung: Kälteanlagen
Spittelauer Lände 45 A-1090 Wien
Tel.: +43 (0)1 313 26-0
Fax: +43 (0)1 313 26-2200
Web: www.fernwaermewien.at

- Alexander Wallisch
- Burkhard Hölzl

BIOS BIOENERGIESYSTEME GmbH
Inffeldgasse 21b, 8010 Graz
Tel: +43-(0)316-481300
Fax: +43-(0)316-481300-4
E-Mail: office@bios-bioenergy.at
Web: www.bios-bioenergy.at

- Alfred Hammerschmid
- Gerhard Weiß

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber

Klima- und Energiefonds
Gumpendorfer Straße 5/22
1060 Wien
office@klimafonds.gv.at
www.klimafonds.gv.at

Disclaimer

Die Autoren tragen die alleinige Verantwortung für den Inhalt dieses Berichts. Er spiegelt nicht notwendigerweise die Meinung des Klima- und Energiefonds wider.

Der Klima- und Energiefonds ist nicht für die Weiternutzung der hier enthaltenen Informationen verantwortlich.

Gestaltung des Deckblattes

ZS communication + art GmbH