

Gut gechillt in die Zukunft – Nachhaltigkeit, die sich auszahlt!

Einleitung

Die Factor4Solutions GmbH ist ein SpinOff der TU Berlin, gegründet von drei Forschern und Entwicklern im Juni 2023, die 2021 von der Internationalen Energieagentur für ihre veröffentlichten Forschungsarbeiten zu Effizienzsteigerung in der Kältetechnik ausgezeichnet wurden. In einer Zusammenarbeit mit dem Gebäudemanagement der Investitionsbank Berlin wurde im Herbst 2023 im Vorfeld der aktuell laufenden Transformationsanalyse eine Potentialanalyse und Planung für erreichbare Einsparungen im Bereich der Kälteversorgung durch das junge StartUp erstellt. Das aktuelle Konzept umfasst die Kälteversorgung in der Nachodstraße 6A, in der sich unter anderem das im Jahr 2023 eingeweihte, neu gestaltete Atrium befindet. Das Konzept konzentriert sich auf die Versorgungseistung mit Kälte, bzw. die Optimierung des Betriebs der Bestandskälteanlagen.



Abbildung 1: Atrium der IBB, Finale BPW 2023

Das betrachtete Kälteerzeugungssystem verfügt über drei Kompressionskälteanlagen, nominal 140kW, 310kW und 460kW, die entsprechend dem Kältebedarf bisher einzeln oder in Kombination betrieben werden. Zwei baugleiche Rückkühlwerke auf dem Dach des Atriums, mit 2x22 Ventilatoren und der Möglichkeit zu adiabaten Vorbefeuchtung der V-Kühler, sowie 9 Pumpen ergänzen das System. In Betriebsstunden, in denen die Umgebungstemperatur niedriger ausfällt als die Nutzttemperatur kann schon jetzt auf freie Kühlung umgeschaltet werden, so dass kein Kälteerzeuger in Betrieb gehen muss. Gleichzeitig ist die winterliche Last im Wesentlichen durch die Kühlung der IT-Infrastruktur gekennzeichnet, die „nur“ ca. 10% der Auslegungslast des Systems verantwortet.

Methodik

In der Gebäudeleittechnik der IBB werden stündliche Wärme- und Elektroenergiemengen der beiden großen Kälteerzeuger erfasst. Temperaturen an Ein- und Austritt aller Komponenten, sowie die Differenzdrücke an den Pumpen, und den Witterungsbedingungen werden in minütlicher Auflösung aufgezeichnet. Darüber hinaus wurden alle installierten Komponenten anhand ihrer Datenblätter charakterisiert, sowie fehlende Daten durch das Team des Gebäudemanagements ergänzt und zusammen mit den Messdaten für ein komplettes Betriebsjahr dem Team der Factor4Solutions übergeben.

Bei Factor4Solutions wurden die Daten auf Konsistenz geprüft. Datenlücken, bzw. -fehler, z.B. wegen temporären Ausfalls einzelner Sensoren oder unplausiblen Werten wurden korrigiert. Der Elektroenergiebedarf der kleinen, hinsichtlich des Elektrobedarfs nicht erfassten Kälteanlage, der Pumpen und des RKW wurden aus den Systemdaten extrapoliert, indem der Betriebszustand ermittelt und deren Energiebedarf je nach Zustand entsprechen der Datenblätter bestimmt wurde.

Die Lastdaten sowie die Witterungsbedingungen wurden als Vorgabewerte in den Hardware-in-the-Loop Teststand, auf dem digitale Zwillinge der Komponenten zur Abbildung dieser und des Systems hinterlegt sind, eingespeist. In einem ersten Schritt wurde das aktuelle Regelregime des Systems nachgebildet und die Simulationsumgebung daran validiert. Die Ergebnisse werden hier als Ergebnisse des Referenzsystems bezeichnet.

In einem weiteren Schritt wurden die Änderungen für das zukünftige System konzeptionell vorgegeben. Dazu gehört die Nachrüstung von Frequenzumrichtern für sechs bisher unregelte Pumpen, sowie die Integration der Systemmanagerin von Factor4Solutions in die Leittechnik. Speicher, die es früher auf der Kaltwasserseite gab und die wieder reaktiviert werden könnten, wurden vorläufig noch nicht wieder aktiviert. Zwar würden sich weitere Einsparungen im Betrieb realisieren lassen, aber die Investition würde sich erst langfristig amortisieren. Damit wird die Systemmanagerin eingesetzt, um die Freigabe der Kälteerzeuger, sowie die jeweiligen Sollwerte für die Pumpen und die RKW direkt, mit der höchsten Priorität auf der Kältelastdeckung, und der neuen, zweiten Priorität auf der Effizienz vorzugeben und zu überwachen.

Die Systemmanagerin löst sich von dem bisherigen Stand der Technik hinsichtlich der Betriebsweise und ersetzt dies durch einen gänzlich anderen Ansatz. Anlagen werden nicht mehr in Grund- und Spitzenlastanlagen eingeteilt und die Zuschaltung nicht mehr starr sequentiell vorgenommen, sondern situativ und rein nach Effizienzkriterien. Erstmals werden dabei digitale Zwillinge in Form von (teil-) physikalischen Modellen aller Komponenten eingesetzt, die es erlauben, das Zusammenspiel der Komponenten abhängig von den jeweils aktuellen Betriebsrandbedingungen zu optimieren.

Generell kann die Systemmanagerin unterschiedliche Ziele, wie z.B. Minimierung des Primärenergiebedarfs, des Strombedarfs, der CO₂-Emissionen oder auch die Senkung der Kosten verfolgen. Die jeweiligen spezifischen Aufwendungen, z.B. Stromkosten in €/MWh, Wasserkosten in €/m³, oder ähnlich für die anderen Zielgrößen können, und müssen kundenspezifisch eingegeben werden. Die Ergebnisse laufen zwar in der Regel alle in die gleiche Richtung, da aber z.B. ein erhöhter Wasserbedarf an den RKW in der Regel mit einem geringeren Strombedarf für das RKW oder die Kälteanlage einhergehen, gibt es doch Unterschiede in Abhängigkeit der Zielgröße hinsichtlich des jeweiligen Ergebnisses.

Das Szenario mit System-Managerin wird im Folgenden als zukünftige Betriebsweise bezeichnet.

Ergebnisse

Im Referenzzeitraum (Aug. 2022 bis Jun 2023) wurden ca. 420 MWh an elektrischer Energie für die Kälteerzeugung benötigt. Das entspricht bei Verwendung des mittleren CO₂-Emissionsfaktors für den Strom in Deutschland von 380g/kWh (Quelle: UBA, 2023) einer Jahresemissionsmenge an CO₂ von 160 t. Die Daten, sowie die resultierenden Emissionsminderungen für die Verwendung von Ökostrom (Quelle: BUND) sowie bei Substitution von „schmutzigem“ Strom (Quelle UBA) sind in Tabelle 1 aufgeführt. Letztere sind vor allem dann interessant, wenn wir uns die Frage stellen müssen, ob der Emissionsfaktor des jeweils eingekauften Stroms, oder des verdrängten Strom Erzeugers zur Deckung der nationalen (oder europäischen) Last anzusetzen ist. Dies wird auch in naher Zukunft noch ein Thema bleiben, selbst wenn der Emissionswert der mittleren Stromproduktion sinkt. Gleichzeitig ist davon auszugehen, dass die Strombezugskosten und damit auch das Einsparungspotential noch deutlich zunehmen werden.

Tabelle 1: CO₂-Emissionen, Referenz und zukünftige Betriebsweise

	Ökostrom	Strommix	Kohlestrom
CO₂ (g/kWh) Emissionsfaktor	32	380	950
CO₂ -Emissionen Referenz	13,4	159,6	399,0
Zukünftige Einsparungen	6,2	73,7	184,3

Wie schon bei den anderen erwähnten Installationen haben die eigentlichen Kälteerzeuger in der IBB im Jahresverlauf „nur“ einen Anteil an gesamten elektrischen Aufwand von 37%, siehe hierzu auch Abbildung 2, links. Auch daraus wird deutlich, dass eine signifikante Senkung des Betriebsenergieaufwands nicht durch reine Optimierung oder durch einen Austausch der Kälteerzeuger erfolgen kann, da fast 2/3 des Elektroenergieverbrauchs durch RKW und Pumpen verursacht wird. Eine sensitive Senkung des Energieverbrauchs kann nur durch eine Systemoptimierung unter Berücksichtigung aller Verbraucher erfolgen.

Unter Einsatz der System-Managerin kann der Energiebedarf für die Kälteerzeugung zukünftig auf 226 MWh und damit um fast 50% gesenkt werden. Dabei verteilen sich die spezifischen Reduktionen einzelner Komponentengruppen sehr unterschiedlich, wie im Vergleich der beiden Darstellungen in Abbildung 2 abzulesen ist. In gleicher Höhe wie der Rückgang des Strombezugs nehmen die Emissionen an CO₂ ab. Für die Annahme des Emissionsfaktors aus dem deutschen Strommixes beträgt diese Minderung 74 t/a.

Der wirtschaftliche Effekt, die Einsparungen an Betriebsenergie richtet sich dabei nach dem jeweiligen Strompreis. Unter Annahme eines Strompreises von 37 ct/kWh ergeben sich 71.800 € pro Jahr an Einsparungen. Bei einem mittleren Preis von 8 t€ pro nachgerüstetem Frequenzumrichter (Beschaffung, Installation), sowie einem Anteil der Einsparungen von 25% zur Deckung der Kosten von Factor4Solutions ergibt sich eine Amortisationszeit von ca. einem Jahr. Nachhaltigkeit, Emissionsminderung und Wirtschaftlichkeit gehen Hand in Hand. Dabei sind die Amortisationszeiten bei überwiegend zur Klimatisierung eingesetzten Kälteanlagen wie in der IBB höher als bei vielen anderen Installationen. Klimatisierung ist in Berlin durch Vollaststunden von 800 bis 1000 h/a gekennzeichnet. Vollaststunden im produzierenden Gewerbe und anderen industriellen Anwendungen liegen deutlich höher, so dass die Amortisationszeit auch weniger als ½ Jahr betragen kann. In Rechenzentren werden für die Kälteanlagen durchaus nochmal wesentlich höhere Vollaststunden erreicht.

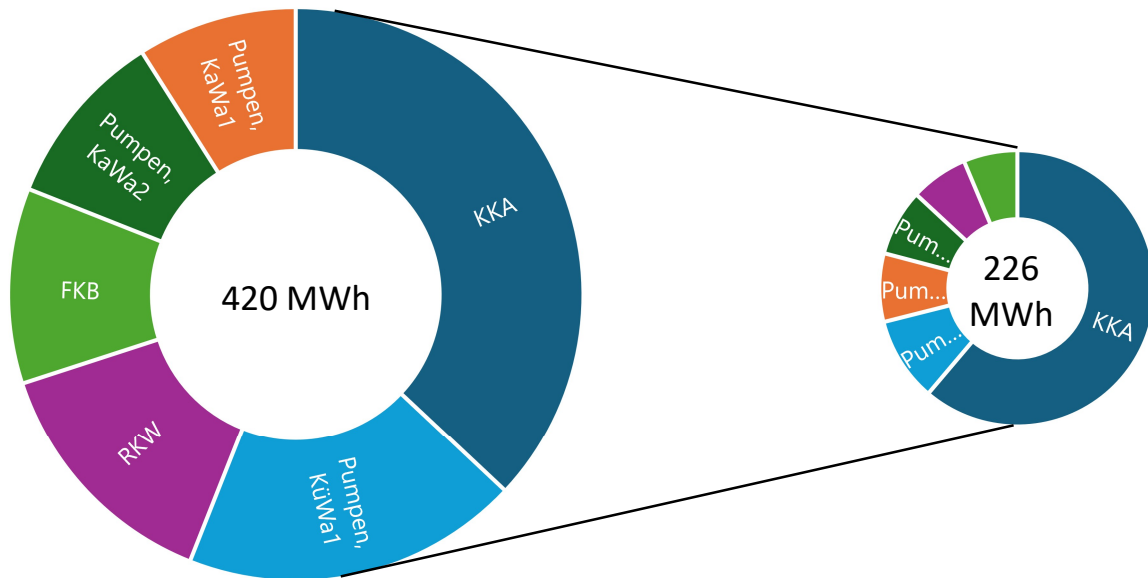


Abbildung 2: Anteiliger el. Betriebsaufwand verschiedener Komponentengruppen, sortiert nach Anteilen; links: Referenz, rechts: zukünftig

Die System-Managerin von Factor4Solutions kann sowohl zur Nachrüstung als auch direkt bei Planung neuer Installationen eingesetzt werden, sie verfügt über alle gängigen, industriell üblichen Kommunikationsschnittstellen und ist hinsichtlich der digitalen Zwillinge der Komponenten technologie- und herstelleroffen von Kälte und bald auch Wärmezentralen.

Weitere Informationen

15% der globalen, aber auch der deutschen Elektroenergie geht in die Kältetechnik: Lebensmittelkühlung, Medizintechnik, Klimatisierung, u.v.a. Die Klimatisierung ist der am schnellsten wachsende Energieverbraucher in Europa und weltweit. Während in Zentraleuropa die Kühlketten in der Lebensmittelindustrie die Ware frisch halten und in Supermärkten ca. 50% des Strombedarfs in die Kältetechnik gehen, verderben 40% der Lebensmittel in Afrika aufgrund fehlender Kühlung. Neben Klimatisierung und Prozesskühlung für Handel, Gewerbe und Industrie wird in der Medizintechnik nicht nur Kühlung für Medikamente benötigt. In den über 2000 Krankenhäusern in Deutschland werden 30% des Strombedarfs zur Kühlung und davon ein Großteil für die Kühlung der technischen Ausstattung (vor allem Radiologie) und der OP Klimatisierung benötigt.

Der Einsatz der System-Managerin (SyMa) von Factor4Solutions zur Optimierung der Energieeffizienz in der Kälteerzeugung verspricht zwischen 25% und bis zu 70% an Einsparungen im Betriebsaufwand, vor allem an Elektroenergie. In drei Feldtests (Rechenzentrumskühlung in Garmisch Partenkirchen, Kulturzentrum in Rosenheim und Produktionskühlung in Essen) haben die Gründer in ihren damaligen Tätigkeiten an der TU Berlin, Einsparungen experimentell von 45%, 55% und 62% nachgewiesen. Zwei weitere Installationen in Karlsruhe sind aktuell im Pilotbetrieb und lassen Einsparungen von 55% und 70% für den jährlichen Strombedarf erwarten.

Um derartige Einsparungen zu ermöglichen, setzt Factor4Solutions auf physikalische, digitale Zwillinge aller relevanten Energieverbrauchskomponenten. Anders als gemeinhin angenommen sind die eigentlichen Kälteerzeuger (zum Beispiel Kompressionskälteanlagen) nur für ca. 40-60% des Elektrobedarfs des Systems für die Kälteerzeugung verantwortlich. Einen häufig ebenso großen Anteil verursachen die Pumpen und das Rückkühlwerk, wie auch wieder am Beispiel der IBB/Nachodstrasse ermittelt wurde und überraschen häufig auch die Betreiber. Mit dem Ansatz der Factor4Solutions wird aus der Systemregelung erstmals ein Systemmanagement. In der Komponentenregelung steht nicht die Effizienz der Komponente, sondern die Effizienz des Systems im Fokus, Mittels der eigens entwickelten digitalen Zwillinge wird es möglich das System, bestehend aus häufig bis zu 30 oder mehr Komponenten situationsabhängig und als Team in seinem Verhalten vorzuberechnen und gezielt zu orchestrieren / zu managen.

Die System-Managerin wird als Lizenzmodell angeboten. Die Lizenzhöhe ergibt sich zu einem Anteil der Einsparungen.