



Future Readiness – smarte Kühlung verspricht 40% Einsparungen in Rechenzentrumskühlung durch Echtzeit-Simulation

In Vorbereitung auf den Ausbau eines Rechenzentrums des "Internet Providers für Berlin", (IPB) wurden anhand von Auslegungs- und Planungsdaten digitale Zwillinge aller Komponenten und des Systems erstellt. In einer Systemsimulation konnte so nachgewiesen werden, wie die digitale Dirigentin, das Energiemanagementsystem der Factor4Solutions im Vergleich zum bisherigen Steuerungskonzept nochmals 40% Strom bei gleicher Kältemenge zur Versorgung des Rechenzentrums einsparen kann.

Einleitung

Thematische Einführung

Die Region Berlin-Brandenburg hat sich zum Ziel gesetzt, ihre aktuell schon ca. 130 MW installierte Rechenzentrumsleistung bis 2023 auf bis zu 820 MW auszubauen. Der Zuwachs ist kein lokales Phänomen, sondern eine weltweite Tendenz und wichtig für die zukünftige Wettbewerbsfähigkeit. Die Herausforderungen für die Region bestehen dabei gleichermaßen in der Verdichtung und Optimierung bestehender, sowie der Entwicklung von neuen Standorten. Vor allem die lokale Infrastruktur am RZ-Standort, hier vor allem der elektrischen Energieversorgung stellt zunehmend eine Herausforderung dar. Rechenzentren sind damit ein zentraler Hebel für Energieeffizienz, weil sie enorme und absehbar stark wachsende Strommengen verbrauchen. Neben der Entwicklung leistungsfähigerer und effizienterer CHIP und IT-Architektur ist es vor allem der Betrieb der Kälteanlagen im RZ, die bis zu 40% des Strombedarfs ausmachen. Effizienzsteigerung in diesem Segment reduzieren in gleichem Maße den CO₂ Bedarf, entlasten den Betreiber und das Produkt, aber vor allem auch die lokale Energieinfrastruktur. Auch die Stromerzeugung insgesamt gewinnt, denn 40% machbare Einsparungen im Verbrauch erlauben weniger Stromerzeugung, eine schnellere Transformation bei den Erzeugeranlagen und einen schnelleren Verzicht auf CO₂ intensive Erzeugungsarten.

Deutschland gilt als einer der Vorreiter, wenn es um Energieeffizienz in Rechenzentren geht. Die EU will sukzessive deutsche Richtlinien EU-weit einführen und weiter „verschärfen“. In Deutschland gilt aktuell für Bestandsrechenzentren ein PUE¹ von 1,5, ab 2030 von 1,3 und im Neubau liegen die Anforderungen schon heute höher. Es gilt als gesetzt, dass dieser Weg sich vor allem aus Effizienzsteigerung in der Kühlung ergeben muss.

¹ **PUE (Power Usage Effectiveness)** misst die Energieeffizienz von Rechenzentren als Verhältnis von Gesamtenergie zu Rechenleistungsenergiebedarf.

Die Partner

Die Factor4Solutions GmbH ist ein SpinOff der TU Berlin, im Sommer 2023 von drei Hands-On Wissenschaftlern gegründet, die u.a. 2021 von der Internationalen Energieagentur für ihre veröffentlichten Forschungsarbeiten zu Effizienzsteigerung in der Kältetechnik ausgezeichnet wurden. Mit 8 Mitarbeitenden in Berlin verfolgen wir die Vision den Bedarf an Strom für die Kälte- und Wärmeversorgung durch unser Energiemanagementsystem um 40% gegenüber dem Stand der Technik zu reduzieren, und das bei gleicher Wärme- und Kältemenge, also gleichem und sogar höherem Komfort und Nutzen.

Internet Provider in Berlin GmbH (IPB) ist ein Berliner Rechenzentrumsbetreiber mit dem Schwerpunkt auf Konnektivität, durch dessen Rechenzentren bis zu 60% des Datenverkehrs der Region laufen. Die Datennetzbetreiber werden von IPB mit Tausenden Glasfaserverbindungen effizient und Ressourcen schonend miteinander verbunden. Der Fokus des RZ-Betriebes von IPB liegt auf Energieeffizienz und Nachhaltigkeit: Das nach DIN EN 50001 zertifizierte Energiemanagementsystem sorgt für dauerhafte Anstrengungen zur Minimierung von Emissionen, und der Einsatz von TÜV-zertifiziertem 100% CO₂-neutralem Strom aus Wasserkraft sowie die bereits umgesetzte RZ-Abwärmenutzung unterstreichen das Engagement des Unternehmens, die Dekarbonisierung Berlins voranzutreiben.

Methodik

Am IPB-Standort Lützowstrasse in Berlin-Mitte wird aktuell die Rechenzentrumskapazität ausgebaut. Der Auslegung neuer Kälteerzeugungssysteme (KES), der Optimierung bestehender Systeme, sowie der Abwärmenutzung aus Rechenzentren im urbanen Kontext kommt dabei eine tragende Rolle zu. Dieser Beitrag fokussiert auf die Effizienzsteigerung der Kältebereitstellung durch verbessertes Management der beteiligten Komponenten und neue Ansätze in der Betriebsführung. In Abbildung 1 ist ein typisches Kälteerzeugungssystem mit 2 Kälteanlagen und den sogenannten peripheren Komponenten, also den Versorgungspumpen im Kühlwasser- (KüWa) und Kaltwasserkreis (KaWa), den Rückkühlwerken (RKW) sowie der Umschaltmöglichkeit auf freie Kühlung abgebildet.

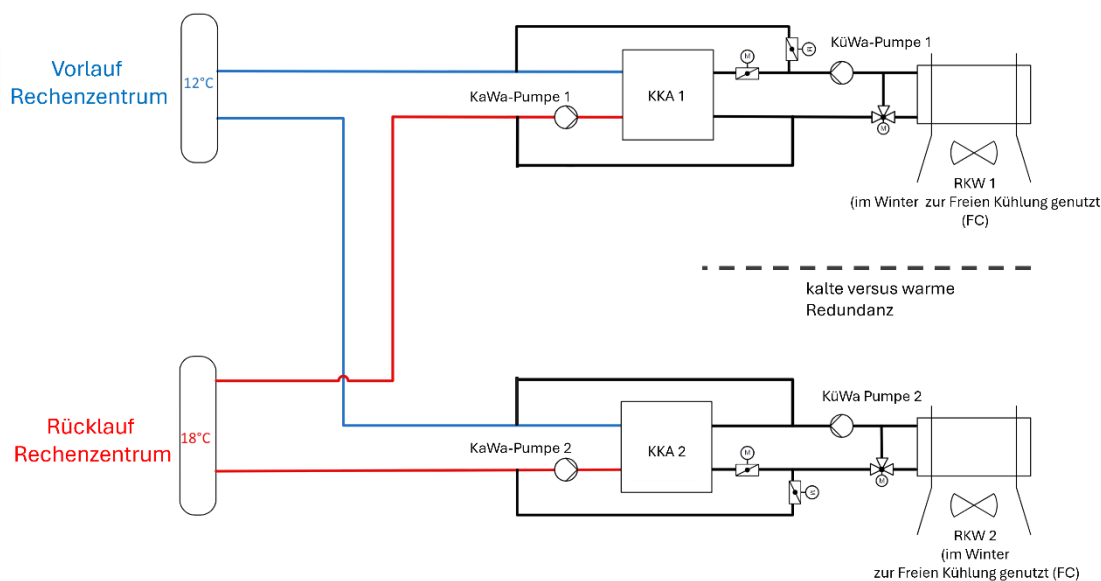


Abbildung 1: Rechenzentrums-Kälteerzeugungssystem mit 2 KKA und Freier Kühlung

Rechenzentren gelten in der Kältetechnik als sehr konstante Anwendungen mit ganzjähriger Last. Bisher waren für die Effizienzbetrachtungen im Wesentlichen die Kälteanlagen, nicht so sehr das KES, im Fokus der Optimierung. Der Weg zum energieeffizienten RZ muss und kann aber nur über die Gesamtsystembetrachtung erfolgen.

Wie in Abbildung 2 zu sehen, verbraucht die Kälteanlage zwar den größten Anteil, aber mit fast 30% ist die Summe der Nebenverbraucher, auch periphere Komponenten genannt, nicht mehr zu vernachlässigen.

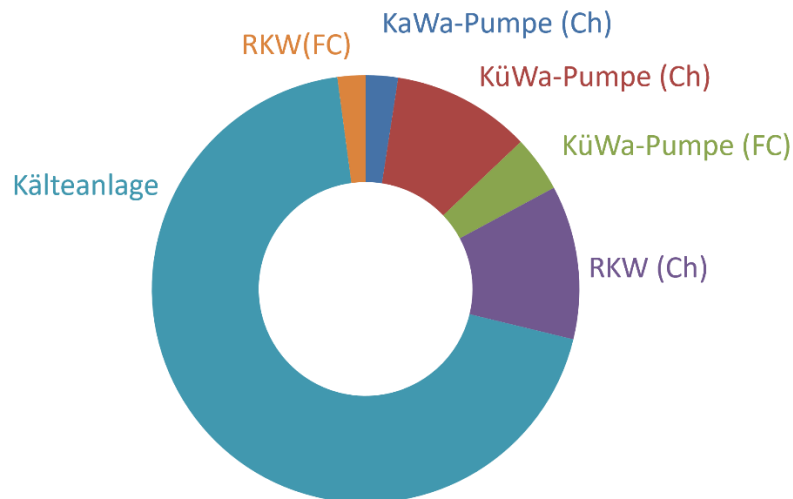


Abbildung 2: Elektrischer Energiebedarf einer KEA, sortiert nach peripheren Verbrauchergruppen: Kälteanlage, Kalt- und Kühlwasserpumpen (KaWa/KüWa), Rückkühlwerk (RKW) und Freie Kühlung (engl. „Free Cooling“ = FC)

In ihren Arbeiten an der Universität haben die Gründer der Factor4Solutions bewiesen, dass durch gezielt andere Betriebsweisen der peripheren Komponenten nicht nur direkte Einsparungen im Betrieb dieser diskreten Geräte, sondern auch deutliche Einsparungen im Bedarf der anderen Komponenten und der Kälteanlage selbst möglich sind.

Rechenzentren haben eine besonders hohe Anforderung gegenüber Ausfallsicherheit in der Kälteversorgung und verfügen in der Regel über mindestens eine zusätzliche, also redundante komplette Kälte-Erzeugungs-Anlage (KEA) als stille Leistungsreserve. Sie besteht aus einer Kälteanlage und der notwendigen peripheren Komponenten, um für Wartung und bei Ausfällen von Komponenten den Betrieb des Rechenzentrums gewährleisten zu können. Im Rahmen der Planung sollte geprüft werden, ob ein Einsatz dieser zusätzlichen Komponenten, über das verbesserte Zusammenspiel der Komponenten hinaus, weitere Einsparungen und damit ein Klimaschutzpotential bietet.

Für die Systemanalyse wurden jede Komponente und das System in digitalen Zwillingen abgebildet. Durch Know-how basierte und AI gestützte Optimierung der Betriebsweise und systemischer Abbildung wird der Betrieb in einer Vielzahl von Varianten untersucht und optimiert.

Ergebnisse

Aus über 20 Varianten stellen wir hier 6 Ergebnisse vor, die einen sehr guten Überblick schaffen. Dazu gehören:

- Die typische Betriebsweise von Kälteerzeugungsanlagen heute, wie sie häufig in Rechenzentren vor einer Optimierung zu finden ist (State-of-the_Art),
- Der Betrieb des gleichen Systems mit situativ optimiertem Betrieb und verbessertem Teamzusammenspiel aller Komponenten (EnMS, opt).

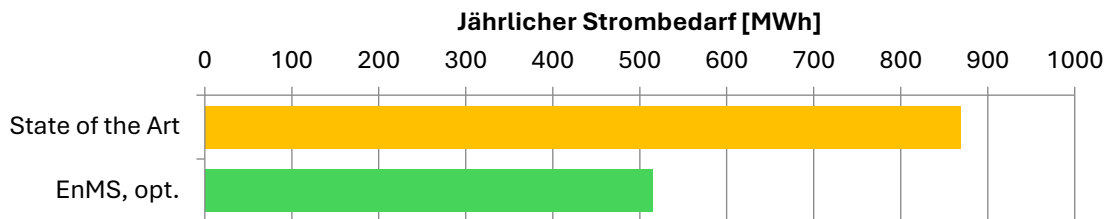


Abbildung 3: Prognostizierter Strombedarf des Referenzbetriebs und der optimierten Erzeugung

Schon die State-of-the-Art Regelung genügt, damit das Rechenzentrum als Ganzes den hohen Anforderungen, die ab 2030 für Rechenzentren in Deutschland gelten, genügt. Die Partner wollen gemeinsam zeigen, dass schon jetzt mehr machbar ist. Durch das optimierte Energiemanagementsystem lassen sich **360 MWh, bzw. 41% des Strombedarfs** zur Kälteversorgung, ohne sonstige Anpassungen im Betrieb des Rechenzentrums einsparen. Wir erweitern den Blick noch, einerseits auf durch den Klimawandel ganz sicher zu erwartende steigende Umgebungstemperaturen, die hier anhand der Prognosen des DWD für 2045 (DWD 2045, DWD 2045, opt.) abgebildet und als Eingangsparameter in die Jahressimulation eingehen, andererseits die Ergebnisanalyse über Einsparungen, wenn die Kaltwassernetztemperatur um 2 °Celsius (entspricht Kelvin, KaWa-Temp +2K, EnMS, opt / KaWa-2K) angehoben werden könnte.

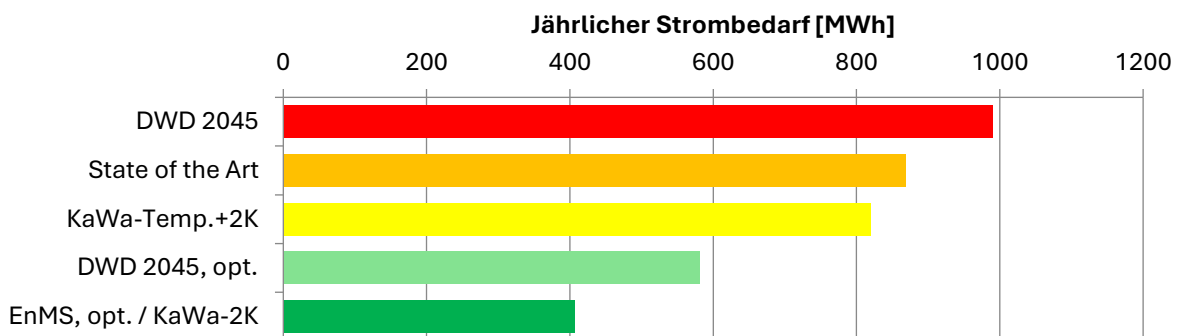


Abbildung 4: Ausgesuchte Beispiele von Simulationsvarianten

Der Strombedarf in 2045 steigt gegenüber heute alleine schon durch die steigenden Temperaturen bedingt durch den Klimawandel um ca. 14% an, die relativen Einsparungen durch optimiertes Systemmanagement bleiben aber stabil bei knapp oberhalb von 40%, was zu über 400 MWh Stromeinsparung führt, wenn auch der Gesamtaufwand natürlich gegenüber kälteren Witterungsbedingungen steigt.



Die Anhebung der Kaltwassertemperatur um 2 °C (Kelvin) wirkt sich bei dem State-of-the-Art Betrieb ebenfalls positiv aus: 5% Einsparungen gegenüber der Referenz werden bei einer Standardregelung erreicht. Das optimierte EnMS kann jedoch aus der Temperaturanhebung einen noch wesentlich höheren Nutzen ziehen, gegenüber der kälteren Kaltwassertemperatur werden nochmals 20% eingespart.

Weitere Informationen

Der zunehmende Bedarf und der Ausbau an Rechenzentren für die Informationstechnologien ist bekannt. Rechenzentren müssen gekühlt werden. Innerstädtisch kann diese Abwärme der Rechenzentren in Teilen des Jahresverlaufs in Nahwärmenetzen ausgekoppelt und so entweder direkt oder über Wärmepumpen als Wärmelieferant genutzt werden. Aber auch bei diesen Installationen bleiben weite Zeiträume im Jahr, in denen die Abwärme über Kälteerzeugungsanlagen abzuführen ist. Die Reduktion des Elektroenergiebedarfs um ca. 40% für die Kühlung spart in dem betrachteten Szenario und unter der Annahme des Bezugs von Strom aus dem deutschen Strommix mit 363 g/KWh CO₂ (Angabe UBA, 2025) ca. 130 t/a an Emissionen.

Mit der Auskopplung von Wärme für die Unterstützung der Wärmeversorgung lassen sich innerstädtisch weitere Einsparungseffekte erzielen und auch hier sind IPB Berlin und die Factor4Solutions mit weiteren Partnern aktiv.

Unser EnMS, die System-Managerin wird als Lizenzmodell angeboten. Die Lizenz ergibt sich als Anteil an den Einsparungen, die der Kunde generieren kann. So wird ein Handshake zwischen ökologischem und ökonomischem Fortschritt erreicht. Die System-Managerin 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. Sie ist verfügbar für Kälte- und bald auch Wärmeerzeugungszentralen.