

CO₂-neutraler Betrieb von Data Centern



Dr.-Ing. Bruno Lüdemann,
Imtech Deutschland GmbH & Co.
KG, Forschung und
Entwicklung, Leiter Energie-
systeme und Simulation

Einleitung

Der Bedarf an elektrischer Energie für den Betrieb von Data Centern und Servern hat in Deutschland schon 2008 die Marke von 10 TWh/a überschritten, bis 2013 ist eine weitere Steigerung um 50 % prognostiziert [1]. Bereits heute ist die CO₂-Produktion durch den Betrieb von Rechenzentren in Deutschland – und weltweit – mit 2 % der gesamten Emissionen etwa gleich groß wie der Anteil des Flugverkehrs. Unter der Überschrift Green IT werden in zunehmendem Maße neue Konzepte und Systeme

bereitgestellt, um die Nutzung der Informations- und Kommunikationstechnologie über ihren Lebenszyklus hinweg umwelt- und ressourcenfreundlicher zu gestalten.

Imtech Deutschland hat in den letzten vier Jahren über 30 Data Center größer 500 m² technisch realisiert. In Frankfurt wurde in 2008 das neue Großrechenzentrum der Citigroup nach LEED-Standard ausgeführt. Auf dem Hintergrund der langjährig bei Imtech erarbeiteten Kompetenzen und Erfahrungen mit Energieversorgungssystemen und dem Bau von Rechenzentren werden kontinuierlich neue Erkenntnisse für Systemlösungen der Green-IT integriert. Für die ganzheitliche Betrachtung der Projekte setzt Imtech seit rund 25 Jahren verschiedene Werkzeuge der dynamischen Strömungs-, Gebäude- und Anlagensimulation für die Planung und Optimierung ein [2], [3]. So werden auch alle Data Center Projekte, die ausgeführt werden, frühzeitig von der Akquisition bis hin zur Realisierung durch Simulationsuntersuchungen begleitet. Im Vordergrund steht die Identifikation und Realisierung von System-

lösungen hoher Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit unter den Voraussetzungen und Möglichkeiten, die in den spezifischen Projekten angetroffen werden [4].

Für ein aktuelles Projekt wurden verschiedene Ansätze der Forschung & Entwicklung kombiniert und ein innovatives Versorgungskonzept für Data Center entwickelt, das je nach Auslegung sowohl eine CO₂-neutrale Klimatisierung als auch einen CO₂-neutralen Betrieb aller Versorgungssysteme (Licht, USV, Transformatoren, Lüftung, Kälteerzeugung) leisten kann. Das Konzept wurde zur Förderung auch der Bitkom vorgelegt.

Konzept CO₂-freie Klimatisierung

Bild 1 illustriert den technischen Ansatz: der Kraft-Wärme-Kälte-Verbund BHKW-Absorber liefert Grundlastkälte und über das Jahr den elektrischen Strom zum Betrieb aller Versorgungssysteme. Die Strombilanz wird durch eine PV-Anlage ergänzt, die z. B. bilanziell für den Betrieb der Kälteversorgung ohne Absorber ausgelegt ist. Kompressionskälte oder wenn möglich Brunnenkühlung bilden das Backup-System für die Käl-

terzeugung. Ein PCM-Speicher, gespeist aus der freien Kühlung, kann die Kühlung energieeffizient entlasten oder – je nach Auslegung – ein bis zwei Tage übernehmen. Über eine Wärmepumpe kann die Abwärme des Systems zu Heizzwecken weiterverwandt werden oder ggf. nach außen geliefert werden.

Die Bilanzierung und Optimierung des Konzepts wird mit einem dynamischen Simulationsmodell (Bild 2) bei Imtech F&E vorgenommen. Die Auslegung der Systemkomponenten und die Analyse des dynamischen Betriebs, z. B. der Ausfallzeiten der Freien Kühlung in Abhängigkeit des Außenklimas, der Auslastung des PCM-Speichers etc. beruhen auf entsprechenden Systemsimulationen.

Die Funktion der Systemkomponenten des Konzepts sind im Folgenden näher beschrieben:

Betriebstemperaturen der Serverräume

Für die Serverräume des Data Centers werden gleitende Betriebstemperaturen im kalten Bereich mit bis zu 27°C gefahren. Die Zulufttempera-

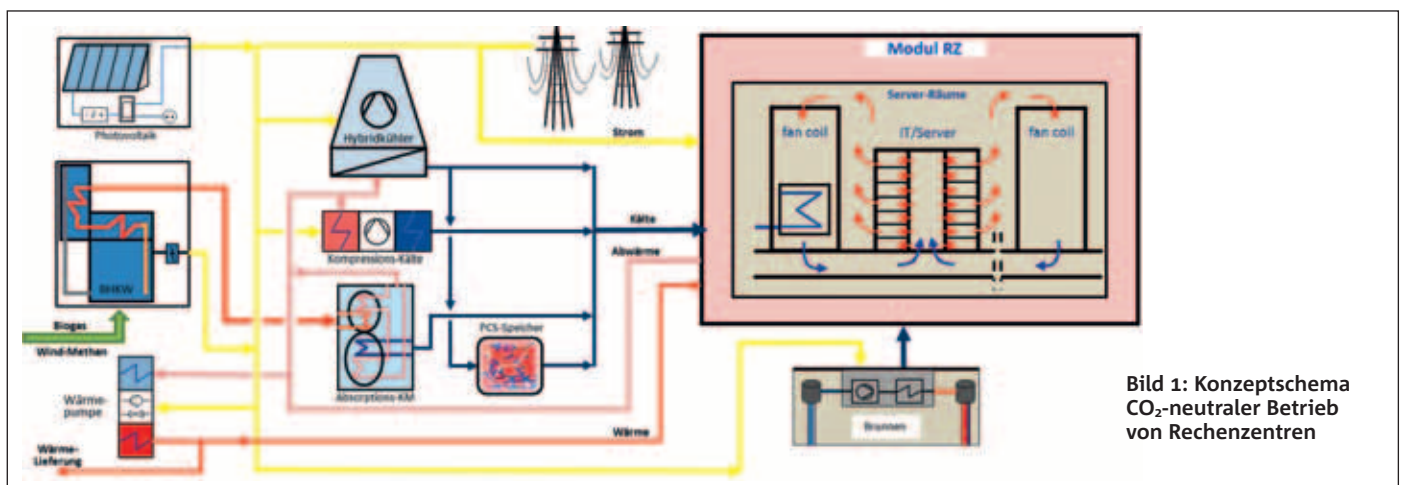


Bild 1: Konzeptschema
CO₂-neutraler Betrieb
von Rechenzentren

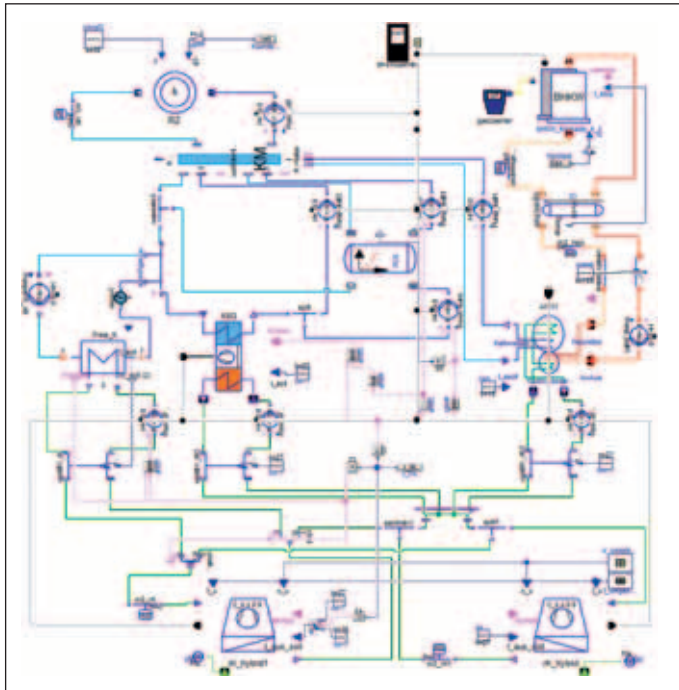


Bild 2: Dynamisches Simulationsmodell Energiekonzept CO₂-freie Klimatisierung.

tur in die Kaltgänge gleitet mit der Außentemperatur, sodass über das Jahr eine weitgehende Deckung der Kältelast durch die Freikühlung ermöglicht wird. Die Temperaturen in den Kaltgängen liegen damit weitgehend im Behaglichkeitsbereich und werden nur an Extremtagen leicht überschritten.

Freie Kühlung

Die freie Kühlung mit Hybridkühlern bildet den Hauptlieferanten für die benötigte Nutzkälte des Data Centers. Die gleitende Betriebstemperatur des Data Centers bis 27°C lässt hohe maximale Vorlauftemperaturen für das Kühlsystem zu. Im mittleren Klima Norddeutschlands, zugrunde gelegt wurde ein Testreferenzjahr, kann die Kühlung des Data Centers an deutlich über 7000 Stunden im Jahr komplett durch die Freie Kühlung abgedeckt werden und weitere 1000 Stunden ein Mischbetrieb Freie Kühlung mit einem Zweitsystem gefahren werden. An nur wenigen Stunden im Jahr kann

die Freie Kühlung keinen Beitrag leisten und muss durch andere Systeme kompensiert werden.

PCS-Speicher als 24-h-Reserve

Der Einsatz eines Speichers mit modernem Latentspeichermaterial (PCM) in Form eines pumpbaren PCS-Fluids (Phase-Change-Slurry) ermöglicht die kompakte verlustfreie Speicherung von Kälte aus natürlichen Quellen. Je nach Auswahl des technischen Paraffins können verschiedene

ne Temperaturbereiche für die Kältespeicherung abgedeckt werden [5]. Aktuell wurde in einem eigenen Forschungsprojekt mit Partnern aus Wissenschaft und Industrie eine Kapazitätssteigerung pro Volumeneinheit gegenüber Wasser mit einem Faktor 2,5 durch mikroverkapseltes Paraffin nachgewiesen [6]. Dieses Material wurde im Imtech Labor geprüft, siehe Bild 3, und in das vorgestellte Konzept integriert. Die Speicherladung erfolgt vornehmlich über die Freie Kühlung in den Nachtstunden oder über die Absorptionskälte im Rahmen der Volllast des BHKW.

Die Entwicklung noch effizienterer Materialien wird von Imtech mit verschiedenen Forschungspartnern weiter vorangetrieben. Durch Neuentwicklung von Emulsionen oder PCM-Schüttungen wird kurzfristig die Steigerung auf die vier- bis fünffache Wärmekapazität von Wasser angestrebt [7]. Ein nachträgliches Austauschen der Materialien zur Steigerung der Speicherreserve ist leicht möglich.

Stromerzeugung – BHKW und Photovoltaik

Die Stromerzeugung innerhalb des Systems kompensiert mindestens den elektrischen Gesamtenergiebedarf der Klimatisierung des Data Centers.

Dieser umfasst den Bedarf aller beteiligten Aggregate wie Kühltürme, Kältemaschinen, Pumpen etc. Die PV-Anlage wird so ausgelegt, dass der Jahresertrag an elektrischer Energie den elektrischen Bedarf der Kälteerzeugung kompensiert. Dies würde für ein 1000 kW-Modul eine PV-Fläche von rund 4000 m² Fläche (rund 500 kW_p) bedeuten. Um den gesamten Betrieb (USV, Licht, Trafos, Lüftung) energieeffizient abzudecken, wird ein BHKW, dessen Abwärme zur Kälteerzeugung genutzt wird, dazu geschaltet. Das BHKW kann sehr wirtschaftlich betrieben werden und zur Erzeugung der Grundlastkälte das ganze Jahr durchlaufen. Gleichzeitig wird der komplette elektrische Bedarf neben dem Betrieb der Server, die ja die „Produktion“ darstellen, gedeckt. Durch den Betrieb mit Biogas oder in Zukunft kombiniert mit Wind-Methan kann die Strom- und Wärmeerzeugung des BHKW CO₂-neutral gestaltet werden [8]. Die Einbindung höherer BHKW-Kapazitäten lässt auch deutliche Schritte des Konzepts in Richtung eines CO₂-neutralen Gesamtbetriebs inklusive des stromintensiven Serverbetriebs zu. Das BHKW dient gleichzeitig als Notstromaggregat, womit ein Teil der höheren Investkosten kompensiert werden kann.



Bild 3: Mikroverkapseltes Paraffin, Phase-Change-Slurry und Versuchsanlage im Imtech-Labor in Hamburg.

Grundlastkälte – BHKW und Absorptionskälte

Ein Data-Center kann als Idealverbraucher für eine Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung angesehen werden. Die an das BHKW angeschlossene Absorptionskältemaschine kann über das Jahr durchlaufen und liefert zwischen 20 % und 30 % des Kältebedarfs.

Backbone Kälte – mechanische Kälteerzeugung

Neben der freien Kühlung und der Absorptionskälte wird die volle Kälteleistung als Backup mit mechanischer Kälteerzeugung vorgehalten. Im Verbund mit der Absorptionskälte entsteht so entsprechende Redundanz (n+1). Wird der Mischbetrieb Freikühlung plus Sekundärsystem durch andere Systeme gewährleistet (Absorptionskälte, PCM-Speicher) können die Hybridkühler bei Umschaltung auf mechanische Kühlung gleichzeitig als Rückkühler der mechanischen Kälteerzeugung dienen.

Abwärmenutzung – Wärmepumpe zur Gebäudeheizung

Durch das optionale Integrieren einer Wärmepumpe in den Rückkühlkreislauf kann in hohem Maße Wärmeenergie insbesondere für Niedertemperatursysteme bis 50°C-Vorlauf bereitgestellt werden. Damit können von vornherein alle Gebäude des Data-Centers geheizt werden. Wenn es genügend Abnehmer in der näheren Umgebung gibt, kann auch eine Auskopplung der Wärme für ein Nahwärmenetz vorgenommen werden.

Backup-System Brunnenkühlung

Für viele Standorte besteht neben den aufgezählten Möglichkeiten der Kälteerzeugung auch die Möglichkeit, eine Grundwasserkühlung durch Saug- und Schluckbrunnen zu installieren. Die Grundwasserkühlung kann

im Konzept optimal – je nach Standort – den Part der mechanischen Kälteerzeugung übernehmen, bedeutet gegenüber der mechanischen Kälteerzeugung in der Regel eine Steigerung der Energieeffizienz. Von einer Dauerkühlung über Grundwasser sollte aus ökologischen Gründen abgesehen werden.

Innovation und Umweltentlastung

Über den Stand der Technik hinaus, der in der Regel nur Einzeltechniken betrachtet, vereint das beschriebene Konzept zur CO₂-neutralen Klimatisierung des Data Centers verschiedene Best Practice-Ansätze wie:

- Freie Kühlung kombiniert mit einer erhöhten Betriebstemperatur des Data Centers
- Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung (KWKK) zur optimierten Brennstoffausnutzung
- Photovoltaik zur regenerativen Bereitstellung hochwertiger elektrischer Energie, ausgelegt für die Überbrückung weniger Tage ohne Freikühlung.

Darüber hinaus bietet Imtech als ausführendes Unternehmen für die Technik Impulse für den Einsatz neuester Techniken für den Einsatz in Energie-Systemen aus der eigenen Forschung. In den letzten Jahren wurden Systeme für den Einsatz neuartiger Kältespeichermaterialien mit verschiedenen Partnern entwickelt und im Imtech-Labor erprobt. Für die Überbrückung der wenigen Tage ohne freie Kühlung und der Zeiten mit eingeschränkter freier Kühlung kommt als „State of the art“-Technik aus der eigenen Forschung ein neuer Speichertyp für die effiziente, hochkompakte Kältespeicherung mit Phase-Change-Slurries (PCS) zum Einsatz.

Der Mix der beteiligten Techniken kann durchaus durch Erhöhung der Leistung des Kraft-Wärme-Kälteverbundes mit Biogas oder Wind-Methan [8] als Brenngas von der CO₂-neutralen Klimatisierung über den CO₂-neutralen Betrieb bis hin zum insgesamt CO₂-neutralen Data Center gesteigert werden.

Folgendes Zahlenbeispiel zeigt das CO₂-Einsparpotential der vorgestellten Systemlösung auf: für den Betrieb 1000 kW installierter Serverleistung müssen – eine Auslastung der Server zwischen 100 % am Tag und 70 % in der Nacht vorausgesetzt – rund 8100 MWh elektrische Energie für den Serverbetrieb aufgewendet werden. Ein modernes Data Center mit einem EUE / PUE¹ von 1,3 benötigt zusätzlich 2430 MWh_{el/a} für alle Betriebsprozesse rund um den eigentlichen Betrieb der IT. Im CO₂-neutralen Betrieb muss diese Energie durch den Kraft-Wärme-Kälte-Verbund und PV-Strom bereitgestellt werden. Zusätzlich wird die Kälteerzeugung eines konventionellen Systems mit Freikühlung (Stand der Technik) durch den KWKK-Verbund effizient durch Abwärmenutzung und regenerativ erzeugten Strom substituiert, wodurch weitere 800 MWh_{el} aus konventioneller Erzeugung eingespart werden können. Pro 1000 kW Serverleistung bedeutet dies eine CO₂-neutrale Einsparung von 1640 t/a (Strommix: 0,506 kg CO₂/kWh_{el}). Durch die Nutzung der Abwärme durch eine Wärmepumpe kann die CO₂-Bilanz der Systemlösung in Abhängigkeit des Wärmeabsatzes weiter deutlich verbessert werden. ◀

¹ EUE: EnergyUsageEffectiveness, Verhältnis des Gesamtbedarfes an elektrischer Arbeit für das Data Center zum elektrischen Bedarf zum Betrieb der Server
PUE: Power UsageEffectiveness, Verhältnis des Gesamtbedarfes an elektrischer Leistung für das Data Center zur elektrischen Leistung zum Betrieb der Server

Literatur

- [1] K. Fichter: Energieverbrauch und Energiekosten von Servern und Rechenzentren in Deutschland, Trends und Einsparpotentiale bis 2013, Borderstep-Institut 2013
- [2] R. Detzer et. al; Rechnergestütztes Entwurfssystem der TGA, BMBF-Vorhaben 0329132B, Abschlussbericht, 2001
- [3] B. Lüdemann; HKSIm – Eine flexible anwenderorientierte Simulationsumgebung zur wirtschaftlichen und energetischen Bewertung von Prozessen der Kälte- und Wärmeerzeugung Beitrag zur Filialkonferenz der Imtech Deutschland GmbH & Co. KG, Hamburg, 4/2002.
- [4] B. Lüdemann: Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit – dynamisch simuliert! Energiekonzepte für Data Center, Imtech Deutschland F&E, COMPUTERWOCHE Initiative Data Center 2010, Vortrag Tagung, Offenbach, April 2010
- [5] B. Lüdemann, R. Detzer: Latentwärmespeicher in Lüftungsgeräten: Erste Ergebnisse aus dem Imtech-Haus, Beitrag zum Symposium „LowEx – Heizen und Kühlen mit Niedrig-Exergie“, Hamburg, 04.10.2006, www.lowex.info
- [6] B. Lüdemann, R. Starke, P. Thiel: Entwicklung von Kältespeichern auf der Basis von Phasenwechselmaterialien und makroverkapselten Phasenwechselmaterialien, Fördernummer 0327427A, 5. Zwischenbericht, Imtech Deutschland GmbH & Co. KG, Forschung und Entwicklung, 03 / 2011
- [7] Kompakte und wirtschaftliche Latentwärmespeicher für Kühlprozesse im Niedertemperaturbereich, Projektskizze im Rahmen des Förderprogramms Thermische Speicher, 7/2011
- [8] M. Sterner, Y.M. Saint-Drenan, N. Gerhardt, M. Specht, B. Stürmer, U. Zuberbühler: Erneuerbares Methan, LIFIS ONLINE [09.07.10], www.leibniz-institut.de, ISSN 1864-6972

Die Innovation



AIRNAMIC® Dralldurchlässe in zukunftsweisender Kunststofftechnologie

TROX AIRNAMIC® Dralldurchlässe sind das Ergebnis einer konsequenten Entwicklungsarbeit auf Basis von Kunststoffverbundwerkstoffen.

Vorteile

- Hohe Volumenströme bei niedriger Schalleistung durch dreidimensional gekrümmte Lamellenkontur
- Hoher Komfort durch niedrige Luftgeschwindigkeiten und geringe Temperaturdifferenzen im Aufenthaltsbereich

TROX® **TECHNIK**

The art of handling air

www.trox.de