

Computational Fluid Dynamics

Vorausschauende und nachhaltige Analyse über den gesamten Lebenszyklus von Rechenzentren

White Paper IT38
Juni 2021

Autoren: Dr. Konstantin Bobyliov, M.Sc. Kipras Gataveckas

SCHALTSCHRÄNKE

STROMVERTEILUNG

KLIMATISIERUNG

IT-INFRASTRUKTUR

SOFTWARE & SERVICE

Computational Fluid Dynamics (CFD) ist ein leistungsfähiges Instrument, um Rechenzentren zu optimieren sowohl bei der Entwicklung als auch in der Betriebsphase. Kosten können so gesenkt werden, Risiken werden mit einer präventiven Analyse minimiert und die Vorteile von zukunftsicheren Entscheidungen können quantifiziert werden. Ergebnis: Kontinuierliche Verbesserung der Verfügbarkeit, der Kapazitäten und der Effizienz von Rechenzentren. Lesen Sie dieses Whitepaper und erfahren Sie, wie Ihnen CFD auf Basis zuverlässiger Daten echten Weitblick durch 3D-Visualisierung ermöglicht. Hier finden Sie Beispiele aus der Praxis, Kalkulationen und Beratung bei der Umsetzung sowie einen Ausblick auf konkrete, mögliche Effekte.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	3
Executive Summary	4
Einleitung	5
Perspektiven mit CFD	6
CFD als Planungs- und Arbeitsinstrument	7
Vorteile von CFD im laufenden Betrieb	8
Das Modell naturgetreu aufbauen	8
Digitaler Zwilling aus verschiedenen Perspektiven	9
Praxisbeispiel: Szenario „Konstruktionsphase“	11
Praxisbeispiel: Szenario „Betriebsphase“	15
Amortisationsanalyse	20
Fazit	21
Anhang	22
Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen	23

Executive Summary

Neue Technologien und Anwendungen wie 5G, maschinelles Lernen, digitale Zwillinge und der rasant wachsende Einsatz von Videokonferenzen und E-Commerce erhöhen die Dynamik im IT-Bereich. Die Herausforderung für Rechenzentrumsprofis: Die Anforderungen an hohe Verfügbarkeit und Kosteneffizienz steigen, während Energieeffizienz mehr als ein Kostenfaktor ist. Sie ist eine grundlegende Voraussetzung für zukunftsweisende Technik, um die wachsende Nachfrage nach ökologisch nachhaltigem Betrieb zu erfüllen. IT-Experten benötigen vorausschauende und zuverlässige Berechnungen, wenn sie immer komplexere Rechenzentren aufbauen oder die Dichte bestehender Rechenzentren während des Betriebs erhöhen.

In diesem Whitepaper wird erläutert, wie CFD als leistungsstarkes Instrument zur Optimierung von Rechenzentren genutzt werden kann, sowohl bei der Entwicklung als auch bei Anlagen, die bereits im Betrieb sind. CFD untersucht und optimiert selbst hochkomplexe Anlagen mit maßgeschneiderten Engineering-Konzepten, sowohl im Innen- als auch im Außenbereich. CFD belegt und visualisiert die Leistung eines potenziellen Layouts und verdeutlicht so realistisch die zukünftigen Ergebnisse von Änderungen bei der Kühlanlagenkonstruktion bereits in der Planungsphase. Durch solch einen Nachweis der Systemredundanz und Leistung lässt sich die Anzahl der Kühleinheiten, ihre Kapazität und ihr Layout optimieren und der Kapitalaufwand (CAPEX) damit reduzieren. Die Leistung kann während der Inbetriebnahme des Systems durch eine entsprechende Kalibrierung des Modells zusammen mit den Ergebnissen der Gerätetests verbessert werden. So kann eine intelligente, präzise, virtuelle Anlage für weitere Kühl- und Leistungstests erstellt werden. CFD unterstützt Ziele der Rechenzentrumsoptimierung, wie die Reduzierung der Betriebskosten (OPEX) sowie die Risikominderung und gibt messbare Antworten, bevor in Leistungsverbesserungen investiert wird. Ergebnis: Nachhaltige Rechenzentren mit kontinuierlicher Optimierung von Verfügbarkeit, Kapazität und Effizienz.

Einleitung

Moderne Berechnungsmethoden und Technologien steigern die Effektivität in allen Lebenszyklusphasen von Rechenzentren. Der zeitgemäße Ansatz bei Beratung, Entwicklung und Modernisierung eines Rechenzentrums bindet aktiv fortschrittliche Engineering-Werkzeuge mit ein. Computational Fluid Dynamics (CFD) ist eine numerische Berechnungsmethode, die die Leistungsfähigkeit moderner computergestützter Berechnungen mit der wissenschaftlichen Tradition und Vielseitigkeit der Finite-Elemente-Methode (FEM), einem weit verbreiteten Ansatz zur Lösung von technischen und mathematischen Aufgabenstellungen, verbindet. Dieser Zweig der Strömungsmechanik untersucht komplexe Wärmeübertragungsprozesse und Fluidströme, die mit einer eigens entwickelten Software modelliert, gelöst und visualisiert werden. Heute sind durch die Verbindungen der aktuellen Wissenschaft und der Berechnungstechnik diese Hightech-Tools für Entwickler und Betreiber von Rechenzentren weltweit verfügbar. Der Einsatz von CFD bei der Konstruktion und Optimierung der Kühlung in Rechenzentren ist sehr vielseitig, beschleunigt die Entscheidungsfindung und bringt überzeugende Ergebnisse hervor.

Die Steuerung des thermischen Gleichgewichts ist bei der Planung oder dem Betrieb der modernen Rechenzentrums Umgebung von entscheidender Bedeutung. Eine effiziente Wärmeabführung, insbesondere bei High-Density-Computing-Anwendungen, ist ein entscheidender Faktor [1, 2, 3]. Wie können Benutzer sicher sein, dass das vorgeschlagene Setup die erwartete Leistung und Verfügbarkeit erreicht? Was ist, wenn die neu eingesetzte IT-Hardware in der Praxis nicht so funktioniert, wie ursprünglich angenommen? CFD-Services bieten die richtigen Antworten im Vorfeld und tragen so zur Planungssicherheit bei.

Perspektiven mit CFD

Eine zielorientierte Analyse befasst sich mit drei Aspekten: Verfügbarkeit, Kapazität und Effizienz. Diese Aspekte werden durch ein speziell für Rechenzentrumsanwendungen entwickeltes High-End-Softwarepaket untersucht und überprüft. Bei der Redundanzprüfung wird getestet, ob das Kühlsystem, in der Lage ist, den Whitespace zu kühlen, selbst wenn redundante Einheiten ausgeschaltet sind. Die Kapazitätsstudie ermittelt das tatsächliche Potenzial für die IT-Hardware, optimiert die verfügbare Kühlung und Stromversorgung und zeigt auf, welche Racks am besten für den Whitespace geeignet sind. Auf der Grundlage von Modellierungsergebnissen können die Kühlleistung und der PUE-Wert (Power Usage Effectiveness) analysiert und verbessert werden [4]. Reale Auswirkungen können gut vorhergesagt werden, indem aufgrund der Dynamik eines Rechenzentrums eine zeitabhängige Untersuchung durchgeführt und das thermische Gleichgewicht im Whitespace für den Fall geprüft wird, dass redundante Kühleinheiten aufgrund eines Neustarts oder vorübergehenden Störfalls ausfallen. Die Software wertet die thermische Trägheit und die Auswirkungen eines vollständigen oder teilweisen Kühlturmsausfalls aus und liefert Ergebnisse über den ausgewählten Zeitraum. Eine solche Simulation der Strömungsprozesse liefert wertvolle Einblicke in mögliche thermische Veränderungen, ohne die Rechenzentrums-umgebung unnötigen Risiken auszusetzen.

Selbst anspruchsvolle Fragen können präzise und schnell beantwortet werden, indem Zahlwerte anschaulich in Bildern und Videos dargestellt oder durch Virtual-Reality-Brillen sichtbar gemacht werden. Spezielle Software mit einer umfangreichen integrierten Bibliothek beschleunigt den Task-Konfigurationsprozess, sodass ein präziser virtueller Zwilling des jeweiligen Rechenzentrums unter kompletter Berücksichtigung der spezifischen IT-Hardware und der Infrastrukturelemente des Rechenzentrums erstellt werden kann. Die durchgeführten Vergleiche zwischen den CFD-Ergebnissen und den Live-Messungen bestätigen die Modellierungstechnik und belegen ihre hohe Genauigkeit.

Prozesssimulation klärt
ohne Risiko auf

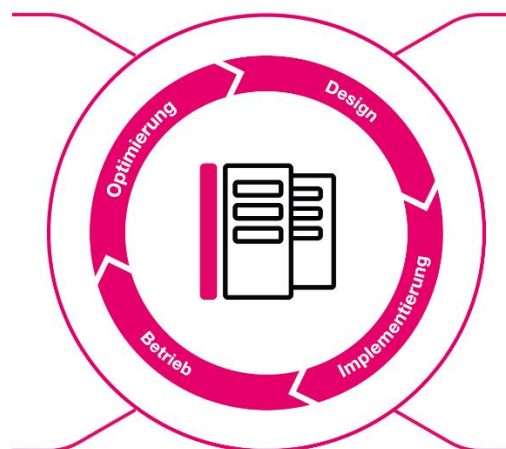
CFD als Planungs- und Arbeitsinstrument

CFD wird sowohl in der „Konstruktionsphase“ als auch in der „Betriebsphase“ des Rechenzentrumslebenszyklus erfolgreich eingesetzt und schafft so eine kontinuierliche Wertschöpfungskette. Kritische Energie- und Kühlungsinfrastruktur kann damit entworfen werden und das erwartete Layout des Whitespace überprüft werden. CFD ist überaus vielseitig und selbst komplexe Konstruktionen mit maßgeschneiderten Engineering-Konzepten im Innenbereich als auch im Außenbereich können damit berechnet und optimiert werden. CFD ermittelt und visualisiert die Leistung eines geplanten Layouts und zeigt die Auswirkungen von Änderungen bei der Kühlanlagenkonstruktion realistisch auf. Durch solch einen Nachweis der Systemredundanz und Leistung, lässt sich die Anzahl der Kühleinheiten, ihre Kapazität und ihr Layout optimieren. Investitionsausgaben (CAPEX) können auf diese Weise gesenkt werden. Die ausgeführte Arbeit kann während der Inbetriebnahme des Systems verbessert werden, indem das Modell entsprechend mit den Ergebnissen der Gerätetests kalibriert wird und eine intelligente, präzise, virtuelle Anlage für weitere Kühl- und Leistungstests aufgebaut wird.

CFD reduziert effektiv die CAPEX, optimiert das Design des Kühlsystems und wirkt sich positiv auf das Layout des Rechenzentrums aus

Optimierung
Analyse von Effizienz, Kosten und Nachhaltigkeit der installierten Lösung, um Rückschlüsse auf das Optimierungspotenzial des Datacenters zu ziehen. Mit dem RiMatrix NG Modulsystem ist das Rechenzentrum flexibel an zukünftige Anforderungen anpassbar. Rittal Experten beraten und unterstützen, beispielsweise mit CFD-Analysen.

Betrieb
Das Datacenter kann vom Kunden oder über unsere Partner mit Managed Services betrieben werden. Rittal assistiert mit Services.



Design
Nach der Entwicklung des Infrastruktur-Konzeptes mit dem Kunden und den Partnern werden die passenden RiMatrix NG Lösungsmodule ausgewählt. Unsere Experten fördern die richtige Entscheidung auch mit 3D Zeichnungen, detaillierten Spezifikationen, PUE-Simulationen und CFD sowie CAPEX- und OPEX-Berechnungen.

Implementierung
Das globale Sales- und Service-Netzwerk von Rittal unterstützt in Zusammenarbeit mit unseren Partnern beim gesamten Projektmanagement. Rittal liefert die Infrastruktur und die IT-Komponenten. Services können mit Rittal und unseren Partnern integriert werden.

Vorteile von CFD im laufenden Betrieb

In einem laufenden Rechenzentrum schärft CFD buchstäblich die Sinne und verbessert die Vorausschau der Mitarbeiter. Während der typischen Lebensdauer eines Rechenzentrums (15-20 Jahre) ist es üblich, dass fortlaufende Erneuerungen der IT-Komponenten (alle 3-5 Jahre) unvermeidliche Änderungen an der ursprünglichen Ausstattung des Rechenzentrums nach sich ziehen, aus denen sich neue Leistungsanforderungen ergeben. CFD unterstützt Betreiber, die Änderungen und mögliche Auswirkungen notwendiger Maßnahmen bewerten müssen, etwa Erweiterungsplanung, Neuordnung der Anlage oder Modernisierung des Kühlsystems. Ohne geeignete Instrumente könnte die Antwort auf Herausforderungen hinsichtlich Ausfallsicherheit und Effizienz auf unzureichenden Daten oder subjektiven Meinungen beruhen. Durch CFD erhält man eine messbare, quantifizierte Bewertung der durchgeführten Schritte und klare Antworten auf eine Vielzahl typischer „Was-wäre-wenn“-Fragen, beispielsweise: „Wie viel zusätzliche kW IT-Last können nach dem Einbau einer Gang-Schottung genutzt werden?“ oder „Können wir Hot-Spots beseitigen, wenn wir ein zusätzliches Kühlgerät einbauen?“ CFD ist ein unverzichtbares Analyseinstrument zur Optimierung des Layouts vor der Bereitstellung neuer IT-Hardware oder zur Überprüfung der potenziellen Auswirkungen eines Ausfalls eines Kühlgeräts in einem Rechenzentrum mit erhöhtem Ausfallrisiko.

Das Modell naturgetreu aufbauen

Der erste Schritt der CFD-Untersuchung beginnt mit der Erstellung eines 3D-Modells des Rechenzentrumsraums, wobei die ursprüngliche Geometrie berücksichtigt und den erstellten virtuellen Objekten die systemeigenen Features zugewiesen werden. Die integrierte Bibliothek der Standardkomponenten, wie Racks oder Kühlgeräte, beschleunigt und vereinfacht die Modellierung. Die Komponenten aus der Bibliothek spiegeln exakt die technischen Parameter wider, die sich auf die Rechenzentrumssimulation auswirken. Die Kühlgeräte sollten zusätzlich zu den Abmessungen über typische Merkmale verfügen, wie maximale Luftströmung und Lüfterkurven, Kühlleistung je nach Zulufttemperatur und Rücklufttemperatur, Steueralgorithmus, Stromverbrauch usw. Das virtuelle IT-Rack-Modell zeigt realitätsgetreu Luftstrom sowie Wärmeableitung und

„Wie viel zusätzliche kW IT-Last können nach Einbau einer Gang-Schottung maximal genutzt werden?“

kann wie in der Realität mit Zubehör für das Luftstrommanagement ausgestattet werden. Servertypen oder Netzwerkgeräte eines bestimmten Anbieters mit einem bestimmten Luft-Wärme-Verhältnis können realitätsgetreu integriert werden. Andere typische Einheiten – wie Stromverteilungspanel, Kabeltrassen und Rohrleitungen, Doppelboden, Säulen etc. – ergänzen das virtuell erstellte Modell.

Während der Berechnung generiert die Software automatisch das adaptive Netz aus Finiten Elementen. In Bereichen mit potenziell erhöhter Komplexität, wo sich die Geometrie des Modells schnell ändert, entsteht ein Bild mit höherer Dichte, während weniger komplexe Bereiche in geringerer Dichte berechnet werden können. Um eine Ausgewogenheit zwischen Berechnungsdauer und Genauigkeit zu erreichen, verwendet die Software Algorithmen zur Optimierung, um die Größe und Komplexität des erstellten Modells bearbeiten zu können. Der iterative Lösungsprozess wird fortgesetzt, bis die ersten Konvergenzkriterien erreicht sind.

Digitaler Zwilling aus verschiedenen Perspektiven

Nach der Berechnung steht eine große Vielfalt an Visualisierungsmethoden für die Demonstration und Analyse der ermittelten numerischen Ergebnisse zur Verfügung. Die Querschnitte (Ebenen) der Lufttemperatur-, Druck- und Geschwindigkeitsfelder zeigen die Verteilung innerhalb des Whitespace und deren Dynamik. Die Oberflächendaten der Ein- und Ausgangstemperatur machen die Lufttemperaturverteilung auf IT-Geräteebene sichtbar. Die Bilder zeigen die Einhaltung der thermischen Anforderungen von ASHRAE, die tatsächliche und potenzielle Wärmeabgabe pro Rack oder den verfügbaren Luftstrom durch die perforierten Bodenfliesen. Die detaillierte Visualisierung mit Luftströmen in unterschiedlichen Farben macht die Luftströmungsdynamik im Whitespace leichter verständlich und abnormale Bereiche sind so klar erkennbar. Ein Walk-through per Video und die Verwendung von Virtual Reality-Tools vermitteln ein Gefühl von Live-Präsenz. Die Ergebnisse der Analyse können für weitere numerischen Berechnungen in eine Tabelle übertragen werden. Die Verbindung mit der Data Center Infrastructure Management (DCIM)-Software erweitert die Fähigkeiten und bietet die Möglichkeit, die Folgen sicher zu simulieren und die Auswirkungen der getroffenen Entscheidungen vorherzusagen. Die Verbindung zwischen CFD und DCIM sollte auf „Was-wäre-wenn“-Szenarien eingeschränkt werden, da bedingt durch die Eigenschaften der CFD bisher noch keine Live-Interaktion mit der Rechenzentrumsinfrastruktur möglich ist.

Advanced CFD erstellt einen sogenannten „digitalen Zwilling“ – ein kalibriertes und validiertes

Die Dynamik eines Rechenzentrums mittels visueller Simulation besser verstehen

Rechenzentrumsmodell, das seine Geometrie und alle wesentlichen Gehäuse-Systeme und Komponenten virtuell darstellt. Während des Kalibrierungsprozesses werden die vor Ort durchgeführten Messungen mit den Rechenergebnissen verglichen und eventuelle Abweichungen werden gründlich überprüft und beseitigt. Das Ergebnis der Kalibrierung ist ein naturgetreues virtuelles Modell, das eine weitere Verbesserung der Leistung und eine kontinuierliche Optimierung ermöglicht. Aufgrund der hohen Genauigkeit der Berechnung prognostiziert ein solcher digitaler Zwilling zuverlässig und schnell die Reaktion auf erwartete Änderungen, verringert das Risiko und minimiert die damit verbundenen Kosten. Ziel der Optimierung von Rechenzentren ist es, die Betriebskosten (OPEX) zu senken, Risiken zu mindern und messbare Antworten zu liefern, bevor in Leistungsverbesserungen investiert wird.

Praxisbeispiel: Szenario „Konstruktionsphase“

Sehen wir uns das folgende Beispiel an: Im Serverraum sollen 12 IT-Racks mit einer Nutzleistung von insgesamt 48 kW (d.h. 4 kW pro Rack) untergebracht werden. Das Kühlsystem ist 2N redundant und besteht aus zwei unabhängigen Stromkreisen A und B. Die Anforderungen für die Zulufttemperatur basieren auf den ASHRAE-Empfehlungen für IT-Geräte der Klasse A1 [5].

Gemäß dieser Anforderung werden 3+3 Rittal LCP Inline CW Einheiten ausgewählt. Die CFD-Analyse soll folgende Fragen beantworten, die typisch für CFD-gestützten Use-Case sind:

- Ist die Kühlung durch die ausgewählten Kühlgeräte im nicht redundanten Betrieb immer noch gewährleistet, wenn einer der Stromkreise aufgrund eines Fehlers oder einer Wartung ausgeschaltet ist?
- Ist es möglich, den Einsatz von Gang-Schottungen zu vermeiden und damit die Investitionsausgaben zu senken?
- Welche maximale IT-Last kann ohne Gang-Schottung in den Gängen erreicht werden?

Der Betrieb des Kühlsystems im nicht redundanten Zustand ist, aufgrund des damit verbundenen höheren Risikos für die Betriebskontinuität eines Rechenzentrums, das Hauptaugenmerk von CFD-Studien. Das richtige Gleichgewicht zu finden zwischen verfügbarer Kühlleistung und Ziel-IT-Last sowie das Testen, die Fehlerüberprüfung und das Visualisieren von Redundanz sind wichtige Aufgaben, insbesondere für geschäftskritische Anlagen mit modularen Erweiterungsmodellen. Leistungsreserven sollen Risiken mindern, auf der anderen Seite sollte eine Überdimensionierung aber zweifellos vermieden werden. Das erstellte virtuelle Modell mit Kaltgang-Schottung wird hier dargestellt (Abbildung 1). Die während des virtuellen Tests abgeschalteten Kühlgeräte sind mit einem roten Kreuz gekennzeichnet. Klar erkennbar ist, dass die Zulufttemperatur von 24 °C bei voller Höhe der Regale kontinuierlich stabil ist und die Luftstromlinien perfekt die Wirkung der Gang-Schottung zeigen, die eine mögliche Vermischung von kalten und heißen Luftmassen verhindert. Die Berechnungsergebnisse der LCP Inline-Geräte stimmen mit den Werten des Auswahlprotokolls überein. So

Risikominderung ohne
Überdimensionierung

werden die Bedienbarkeit und Leistung von Kühlsystemen in nicht-redundanten Szenarien virtuell getestet und bestätigt.

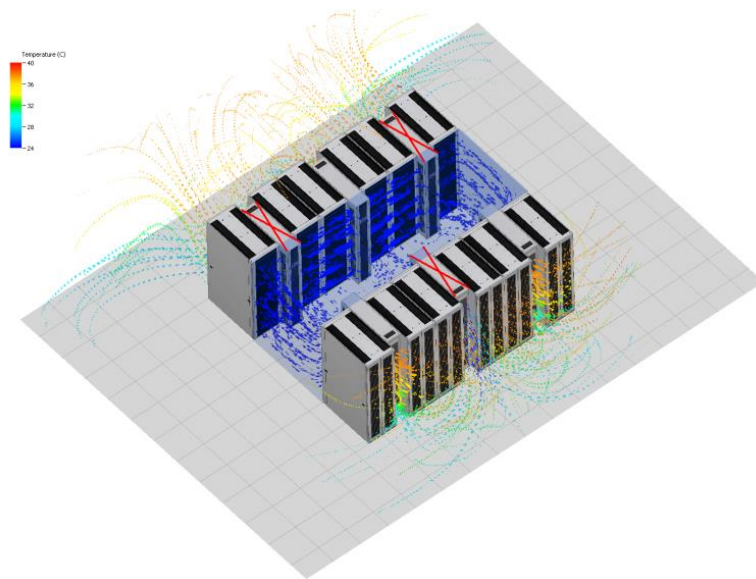
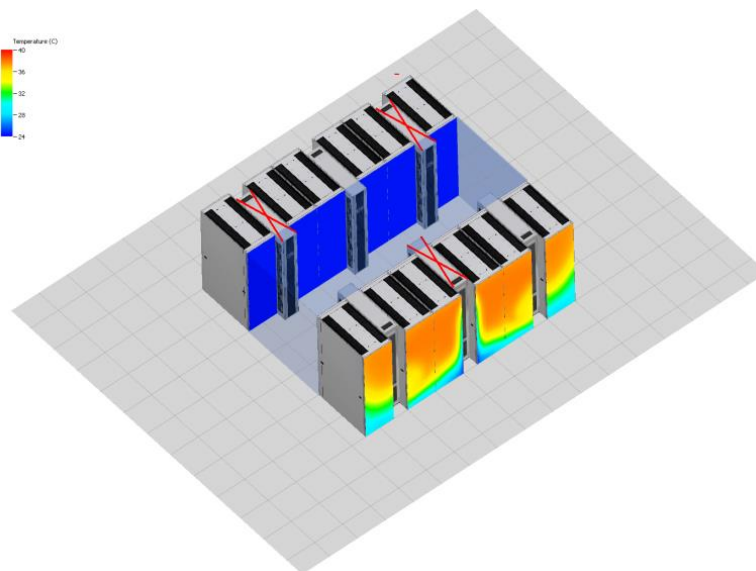


Abbildung 1
Nicht redundantes Gehäuse mit installierter Kaltgang-Schottung



In der Regel zeigen die Analysen, dass ein Betrieb ohne Gang-Schottung eine deutliche Leistungsminderung bewirkt, die mit zwei Hauptproblemen des Luftstrommanagements zusammenhängt – Kaltluft-Bypass und Rezirkulation der warmen Luft. Die Ergebnisse der Analyse zeigen, dass unser Fall keine Ausnahme ist: Große Mengen an warmer Luft gelangt vor die Serverracks, besonders am Anfang und Ende der Reihen und im oberen Bereich der Racks. Gleichzeitig erreicht die kalte Luft nicht den Lufteinlass der IT-Komponenten, sondern verlässt den Kaltgang unkontrolliert und verfehlt damit ihren Zweck.

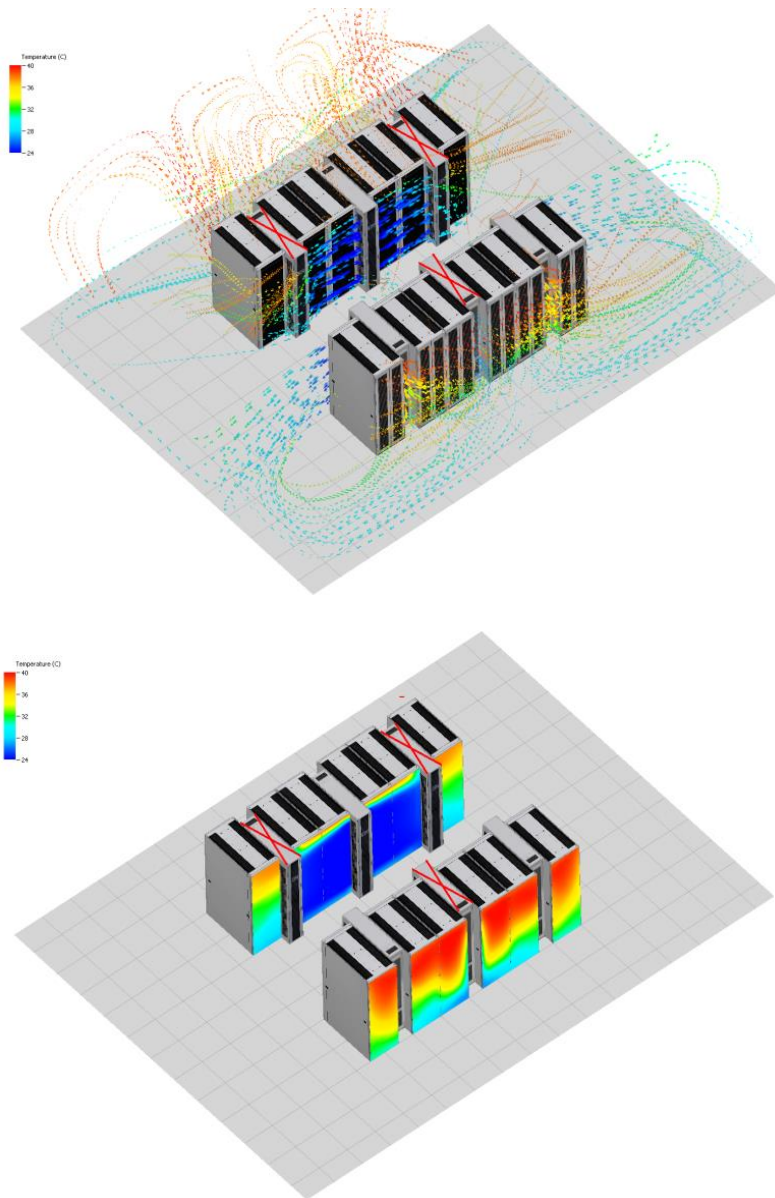


Abbildung 2
Nicht redundantes Gehäuse ohne Kaltgang-Schottung

Klassische Probleme, wie Luftstrommanagement, Bypass als auch Rezirkulation beeinträchtigen die Kühlleistung: Keines der Racks erfüllt die Anforderungen des gemäß ASHRAE-zulässigen Temperaturbereichs. Obwohl alle drei verfügbaren Kühlgeräte den maximalen Luftdurchsatz bereitstellen, reicht die Kühlleistung nicht aus, um die Zulufttemperatur für alle Einbaukomponenten auf die erforderlichen Werte zu senken. Zusätzliche Kühleinheiten würden eine Überdimensionierung und höhere Kapitalkosten im Vergleich zum Einsatz einer Gang-Schottung bedeuten. Daher ist in diesem Fall eine Gang-Schottung unerlässlich, um die Leistung des Kühlsystems zu steigern und die Kühlleistung genau auf die zu erwartende Wärmebelastung der IT-Anlagen abzustimmen [4].

Die vorausschauende Analyse mittels CFD zeigt eine optimale Lösung, mit der eine Betriebszeit mit möglichst geringen Kosten erzielt wird. Eine Überdimensionierung wird durch die umfassende Analyse verschiedenartiger Szenarien bei Ausfällen der Kühlung wirkungsvoll verhindert.

Vermeidung von Bypass und Rezirkulation

Die CFD-Untersuchung mit mehreren „Was-wäre-wenn“-Szenarien ermöglicht das virtuelle Testen denkbarer Auswirkungen, einschließlich der Variation der projizierten IT-Last. Um die zulässige IT-Belastungsgrenze zu definieren, müssen mehrere Fälle analysiert werden, während die ermittelten Ergebnisse anhand klarer Kriterien bewertet werden. Es wurde festgestellt, dass die zulässige IT-Last von 2 statt 4 kW pro Rack eine tolerierbare Zulufttemperatur erzeugt (Abbildung 3). Die Zulufttemperatur bei einigen Einbaukomponenten im oberen Bereich des Racks beträgt jedoch weniger als 32 °C und liegt damit immer noch im zulässigen ASHRAE-Temperaturbereich.

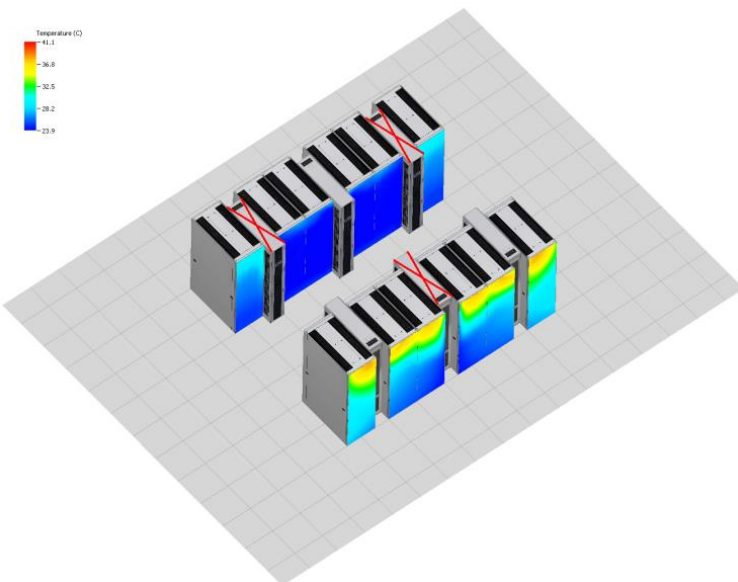
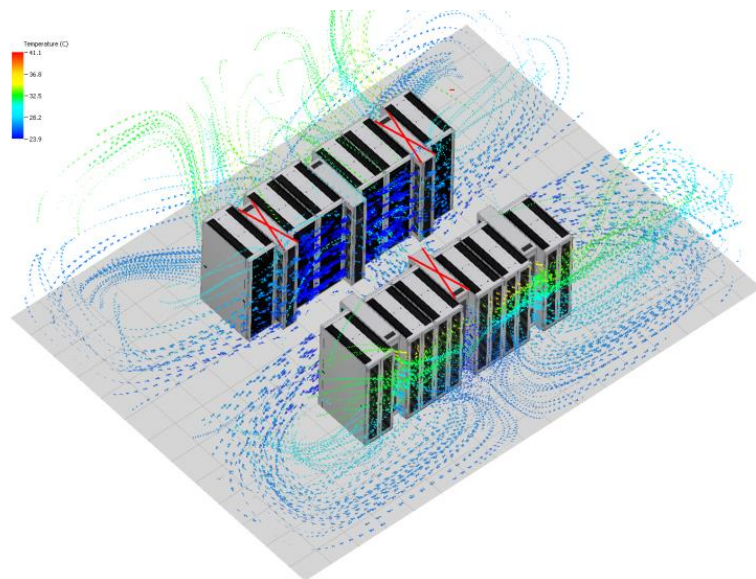


Abbildung 3

Nicht redundantes Gehäuse ohne Kaltgang-Schottung und 50 % geringerer IT-Last

Praxisbeispiel: Szenario „Betriebsphase“

Der Betreiber eines Rechenzentrums besitzt eine Anlage, die seit 20 Jahren genutzt wird und kontinuierlich erweitert wurde. Die IT-Gesamtleistung erreicht 340 kW, pro Rack zwischen 0,5 und 13 kW. Der Standort hat eine komplexe Geometrie mit mehreren halb-getrennten Räumen. Die IT-Racks stammen von verschiedenen Herstellern und unterscheiden sich erheblich in den Abmessungen. Das Rechenzentrum wird mit 23 Downflow Direct Expansion Computer Room Air Conditioners (CRAC) verschiedener Generationen und Kühlkapazitäten klimatisiert. Aufgrund der komplexen Geometrie des Whitespace sind die Racks relativ ungeordnet im Raum verteilt. Trotz der hohen Decke (4.800 mm) ist der Doppelboden nur 300 mm hoch und verfügt über mehrere Kabelkanäle und Rohre unter den Bodenfliesen, was den nutzbaren Querschnitt einschränkt. Die perforierten Bodenfliesen haben unterschiedlich große Öffnungen und sind über die gesamte Fläche des Rechenzentrums verteilt. Der Bedeutung des Prinzips von Kalt-/Warmgang wurde keine Beachtung geschenkt. Die abgehängte Decke mit Öffnungen soll die heiße Luft über Luftkanäle (Plenum) wieder in die CRACs zurückleiten. Diese Vorrichtung (Plenum) soll die Leistung des Kühlsystems erhöhen und so einen Kaltluft-Bypass verhindern.

Die Luftstromtemperatur (sowohl Zuluft als auch Abluft) wurde während der dreitägigen Standortinspektion am Austritt und Eintritt aller IT- und Kühlgeräte erfasst. Die Räume und alle vorhandenen Systeme sowie Strom-, Netzwerk- und Kühlleitungen wurden detailliert vermessen. Die erste Datenerfassung beinhaltete auch die Messung des Luftstroms pro perforierter Fliese und CRACs. Für zukünftige Vergleiche und für die Validierung des Berechnungsmodells wurden, soweit möglich, auch Luftgeschwindigkeitswerte ermittelt. Der technische Zustand der CRAC-Luftfilter wurde nach Prüfung als angemessen beurteilt. Außerdem wurden Wärmebilder erstellt, um die Gesamtsituation abzubilden und die Hot-Spots zu identifizieren. Die Austrittstemperatur der CRAC-Geräte lag bei etwa 12 °C. Die CRACs wurden über die Rücklufttemperatur gesteuert, die auf 21 °C eingestellt war. Der Kunde hatte bewusst niedrige Lufttemperaturen verwendet, um bekannte Kühlungsprobleme zu beseitigen, die nicht nur in den Racks mit der höchsten IT-Last gefunden wurden. Die gemessene Gesamtleistung der CRACs erreichte 230

Ein schlechtes Luftstrommanagement führt zu einem permanenten Bedarf an voller Kühlleistung.

kW. Alle Kühlgeräte wurden aufgrund des schlechten Luftstrommanagements und des niedrigen Sollwerts mit 100% ihrer Kapazität betrieben.

Nach Angaben des RZ-Betreibers war sein primäres Ziel, den Energieverbrauch der CRACs zu senken; das sekundäre Ziel war, die IT-Last zu erhöhen, wenn sich durch das Kühlungsaudit positive Indikationen ergeben und versteckte Kapazitäten identifiziert werden können. Generell waren dem Kunden die aktuellen Probleme bewusst, er benötigte aber detaillierte Informationen über mögliche Verbesserungen, wie Risiken verringert und überzeugende messbare Vorteile erzielt werden können, einschließlich einer Amortisationsanalyse – all dies auf Grundlage einer sachgemäßen Engineering-Expertise ohne subjektive Bewertungen.

Kurzfristig wurde das virtuelle Serverraum-Modell mit allen wesentlichen Elementen vor Ort anhand der erfassten Geometriemessungen erstellt. Die Modelle der CRAC-Systeme wurden aus der verfügbaren Softwarebibliothek bezogen und erneut auf die Übereinstimmung mit dem tatsächlichen Zustand überprüft. Die nicht-redundante Situation (wenn einige CRAC-Geräte ausgeschaltet waren) wurde unter Berücksichtigung von N+1 Redundanz pro Raum untersucht. Nachdem das Modell mittels CFD erstellt wurde, wurde die Temperaturverteilung des Luftstroms visualisiert (Abbildung 4). Gleichzeitig wurden weitere wichtige Erkenntnisse zu Geschwindigkeiten und Luftdruckverhältnissen gewonnen und anschließend wurden die Daten im Hinblick auf Übereinstimmung mit physikalischen Messungen und thermischer Bilder analysiert.

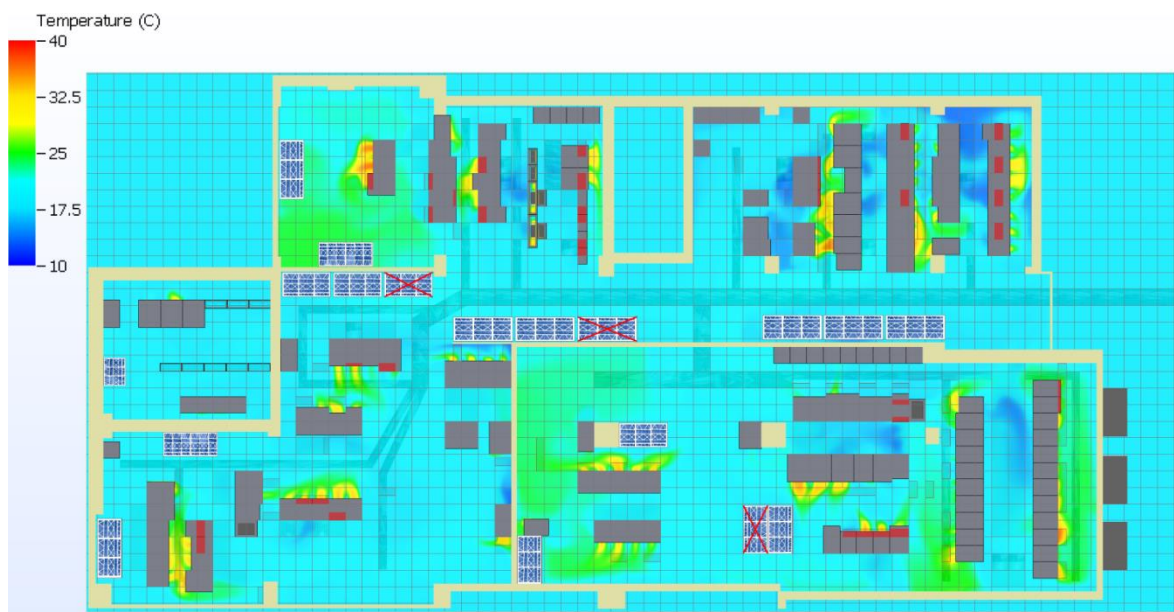


Abbildung 4
Temperatur im Serverraum auf einer Ebenenhöhe von 1,5 m

Hier ist zu sehen, dass der Whitespace trotz der niedrigen Zulufttemperatur von den CRACs mehrere Problemzonen aufweist, in denen die Zulufttemperatur auf ein unerwünschtes Niveau ansteigt. Die Anordnung der CRACs, die im rechten Winkel zueinander liegen, erzeugt Zonen mit hohen Turbulenzen und ungleichmäßigem statischen Druck, was zu einer schlechten Vorhersagbarkeit des Zuluftvolumens und seiner Temperatur führt. Das Fehlen von warmen oder kalten Gängen führt zu einer chaotischen Vermischung von kalten und warmen Luftströmen.

Nach Austritt aus der perforierten Fliese strömt die kalte Luft nicht immer in Richtung der IT-Komponenten: Im ungünstigsten Fall strömt sie direkt in die Abluftöffnung in der abgehängten Decke ohne ihre Kühlfunktion zu erfüllen. Ein schlechtes Luftstrommanagement auf Rackebene (ohne Blindpanels und Luftleitbleche) führt zu einer Warmluft-Rezirkulation, wenn beispielsweise warme Luft nach vorne strömt und wieder angesaugt wird, nachdem sie aus den IT-Komponenten ausgetreten ist. Dadurch entsteht ein sich selbst verstärkender Hot-Spot. Die Schaltschrankreihen sind oft zu kurz, haben Lücken zwischen den Racks und erschweren damit die Anwendung der Gang-Schottung. Einige Racks wurden zu stark gekühlt – obwohl die RZ-Betreiber dies normalerweise nicht als Problem betrachten, entspricht es nicht dem von ASHRAE empfohlenen Lufttemperaturbereich.

Die Zulufttemperatur in den kalten Gängen war sehr unregelmäßig. Sie variierte von 13 °C bis 22,8 °C in der Nähe von perforierten Fliesen. Der signifikante Unterschied (bis zu 10 K) zwischen der Temperatur auf Fliesenebene und auf einer Höhe von 1,5 m belegt einen zu hohen Temperaturgradient von unten nach oben (zum Vergleich: In einer vorschriftsmäßigen Gang-Schottung erreicht er nur 1 K).

Aus der Analyse der vertikalen Temperaturebene (Abbildung 5a) geht hervor, dass die Luftaustrittsöffnung des CRAC durch Kabelabgänge neben dem Luftauslass erheblich behindert wird. Dadurch wurden die Leistungsverluste der Lüfter erhöht, die Energieeffizienz des Geräts eingeschränkt und der ausgestoßene Luftstrom verschwendet.

Das erstellte Modell und die ermittelten Werte für Temperatur, Geschwindigkeit und Druck müssen überprüft und verglichen (validiert) werden, um sicherzustellen, dass die durchgeführte Modellierung korrekt ist. Der Vergleich der ermittelten realen Werte mit den Ergebnissen der CFD-Berechnungen zeigt tolerierbare Unterschiede (ca. 10 %). Höhere Genauigkeit war aufgrund der komplexen und den unterschiedlichen Gegebenheiten im Rechenzentrum (Rotation der CRACs, variable IT-Last) schwierig zu

Zonen mit hoher Turbulenz und ungleichmäßigem statischen Druck verringern die Genauigkeit

erreichen. Diese Diskrepanz ist akzeptabel, obwohl die Zielgenauigkeit ~5 % beträgt.

Die vorgeschlagenen Verbesserungsmaßnahmen müssen klar und eindeutig sein, eine definierte Reihenfolge der Umsetzung haben und messbare Ergebnisse liefern. Jede Maßnahme erfordert eine Zwischenprüfung mittels CFD, um das Risiko einer Betriebsunterbrechung zu vermeiden. Die Verbesserungsmaßnahmen sollen die Effektivität des Luftdurchsatzes von den CRACs zu den IT-Racks und wieder zurück optimieren, das Luftstromvolumen verringern und die Kühlwirkung erhöhen. Folgende Schritte wurden untersucht und umgesetzt:

1. Abdichtung der Lücken: Installation von Blindpanels und Luftleitblechen, Abdichten der Öffnungen mit Bürstendichtungen, wo Kabel quer auf den Unterbodenfliesen verlegt sind.
2. Optimierung des Konzepts für die perforierten Bodenfliesen: Unnötige Fliesen entfernen, neue bei Bedarf platzieren oder alte durch neue Fliesen mit einer angemessenen Lochgröße ersetzen.
3. Steuerung des Luftstroms mittels Komponenten, die kalte und warme Luft trennen: Vertikale Schornsteine, Kalt- oder Warmgang-Schottung.
4. Reorganisation von CRACs: Kontrolle und Erhöhung der Zulufttemperatur, den Ablauf der Rotation überarbeiten und nicht benötigte Geräte ausschalten.

Die Auswirkungen der Schritte 2, 3 und 4 sind auf den Abbildungen 5b, 5c und 5d zu sehen, welche die Situation vor den CRACs zeigen. Die Überarbeitung der perforierten Fliesen (Schritt 2) verringert die Schwankungen der Zulufttemperatur, die Differenz zwischen Zuluft und Rückluft ist jedoch weiterhin gering (6...8 K). Die Warmgang-Schottung gleicht das Temperaturfeld aus und erhöht die Rücklufttemperatur. Schließlich erhöht sich im letzten Schritt die Zulufttemperatur mit dem empfohlenen Luft-delta T von 11...13K.

Verbesserung in klar definierten Schritten

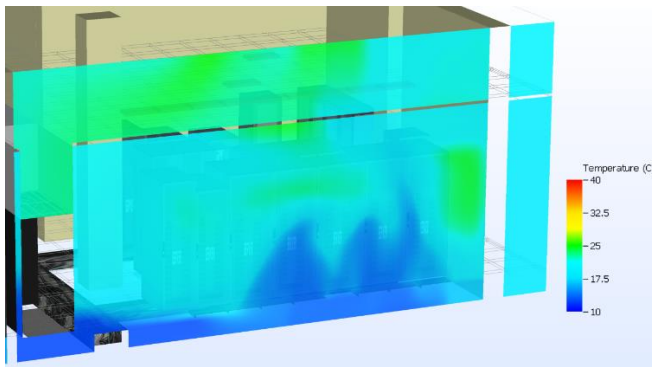


Abbildung 5

Vertikale Temperaturebene im kalten Gang: a) Ausgangssituation; b) nach Überarbeitung der perforierten Fliesen; c) nach Einbau der Gang-Schottung; d) nach Erhöhung der Rücklufttemperatur und Optimierung der CRAC-Anzahl

Abbildung 5a

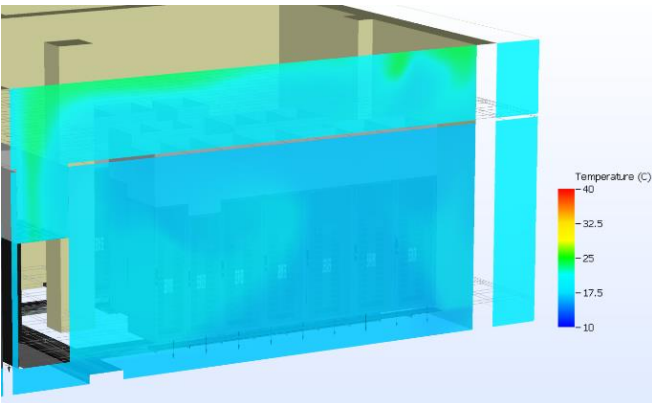


Abbildung 5b

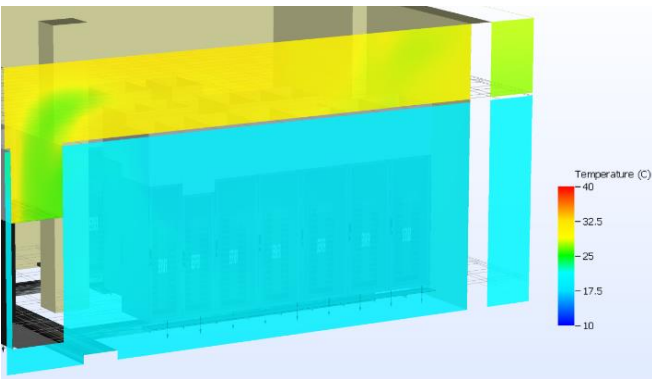


Abbildung 5c

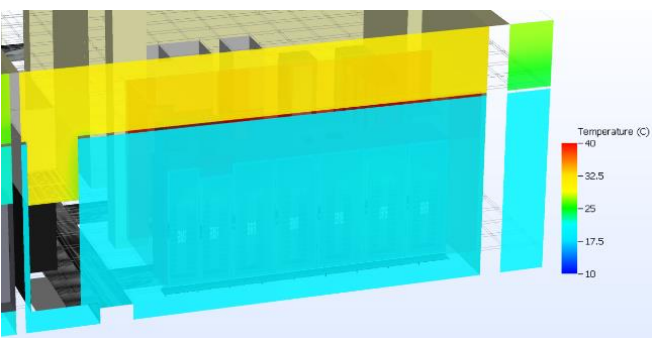


Abbildung 5d

Eine solche Verbesserung der Kühlsystemleistung ermöglicht es, einige CRAC-Geräte auszuschalten, da die Überkapazität nicht mehr erforderlich ist. 12 der 23 bestehenden CRACs können abgeschaltet werden, so dass die Redundanz von N+1 in jedem Raum des Serverraums erhalten bleibt. Dadurch wird der partielle momentane PUE von aktuell 1,676 auf 1,472 gesenkt, wodurch jährlich ca. 608.820 kWh eingespart werden (Senkung um 30,2 % gegenüber der Ausgangssituation).

Amortisationsanalyse

Die vorgeschlagenen Maßnahmen erlauben es, die Betriebsausgaben um ~50.000 € pro Jahr zu senken (1 kWh = 0,08 €, die Stromkosten werden für die Zeit der Berechnung als fix angenommen). Die für die Umsetzung dieser Maßnahmen erforderlichen Investitionen betragen auf Grundlage der Berechnung für den betreffenden Zeitraum etwa 42.000 €.

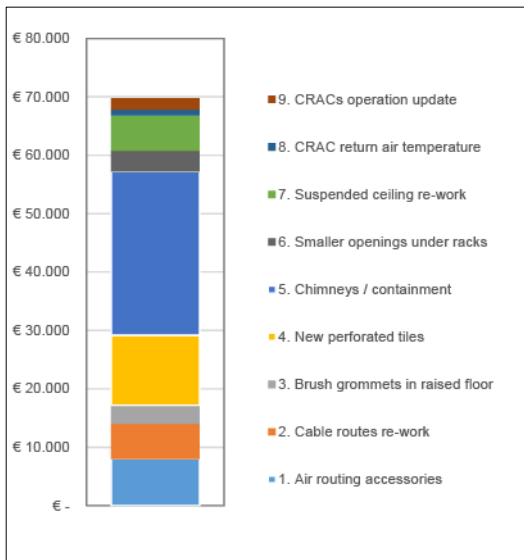


Abbildung 6

Kapitalkosten (CAPEX) für die Erneuerung des Kühlsystems und Amortisation



Unter der Annahme, dass der Berechnungszeitraum fünf Jahre beträgt und sich die IT-Last nicht ändern wird, können wir die Betriebsausgaben abschätzen, die direkt von der elektrischen Energieaufnahme abhängen. Jährliche Einsparungen bei den Energiekosten von 48.705,60 € gegenüber einer Investition von 69.800 € werden über eine Laufzeit von 5 Jahren zu Einsparungen von 173.728 € führen. Die Amortisationszeit beträgt rund 1 Jahr und 4 Monate (Abbildung 6). Diese Berechnungen beinhalten noch keine potenziellen Einsparungen durch geringere Wartungskosten aufgrund der geringeren Anzahl von CRAC-Geräten.

Fazit

CFD ist ein leistungsstarkes Tool zur Optimierung von Rechenzentren sowohl in der Konstruktions- als auch in der Betriebsphase. Es unterstützt bei der Kosten-Senkung und Risiko-Minimierung mit einer präventiven Analyse. Zukunftssichere Entscheidungen werden durch das Quantifizieren der Vorteile gestützt. CFD trägt zu einer kontinuierlichen Verbesserung der Verfügbarkeit, der Kapazitäten und der Effizienz von Rechenzentren bei.

Das erfahrene Rittal CFD-Team stellt gerne seine Expertise bereit, um die Leistung geplanter oder laufender Rechenzentren zu steigern. Das Angebot umfasst eine flexible Palette von Dienstleistungen und richtet sich nach dem von Ihnen vorgegebenen Investitionsumfang. Zahlreiche Use Cases haben gezeigt, wie sich mit innovativen Lösungen ungenutzte Potenziale in Rechenzentren haben lassen. Fordern Sie unsere Experten heraus, die Potenziale Ihres RZ-Setups zu ermitteln. Sprechen Sie mit ihnen Ihre spezifischen Anforderungen durch, testen Sie die Belastbarkeit Ihrer Anlagen und steigern Sie die Effizienz und Leistung.

Kontakt

datacentre-engineering@rittal.it

Anhang

Literatur

1. EN 50600 “Information technology - data centre facilities and infrastructures”
2. Building Industry Consulting Service International Inc. (BICSI) standard “002-2010: Data Centre Design and Implementation Best Practices (BSCI 002-2010)”
3. TIA-569-C “Telecommunications Pathways and Spaces”, www.tiaonline.org
4. EU Code of Conduct on Data Centre Energy Efficiency Introductory guide for all applicants Version 3.1.2 https://e3p.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/documents/publications/introductory_guide_v3.1.2.pdf
5. Data Centre Networking Equipment – Issues and Best Practices Whitepaper prepared by ASHRAE Technical Committee (TC) 9.9 Mission Critical Facilities, Data Centres, Technology Spaces, and Electronic Equipment. <https://tc0909.ashraetcs.org/documents/ASHRAE%20Networking%20Thermal%20Guidelines.pdf>
6. PUE: a comprehensive examination of the metric. <https://www.thegreengrid.org/en/resources/library-and-tools/20-PUE%3A-A-Comprehensive-Examination-of-the-Metric>

Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen

Abbildung 1	
Nicht redundantes Gehäuse mit installierter Kaltgang-Schottung	12
Abbildung 2	
Nicht redundantes Gehäuse ohne Kaltgang-Schottung	13
Abbildung 3	
Nicht redundantes Gehäuse ohne Kaltgang-Schottung und 50 % geringerer IT-Last	14
Abbildung 4	
Temperatur im Serverraum auf einer Ebenenhöhe von 1,5 m	16
Abbildung 5	
Vertikale Temperaturebene im kalten Gang: a) Ausgangssituation; b) nach Überarbeitung der perforierten Fliesen; c) nach Einbau der Gang-Schottung; d) nach Erhöhung der Rücklufttemperatur und Optimierung der CRAC-Anzahl	19
Abbildung 5a	19
Abbildung 5b	19
Abbildung 5c	19
Abbildung 5d	19
Abbildung 6	
Kapitalkosten (CAPEX) für die Erneuerung des Kühlsystems und Amortisation	20

Rittal – Das System.

Schneller – besser – überall.

- Schaltschränke
- Stromverteilung
- Klimatisierung
- IT-Infrastruktur
- Software & Service

Hier finden Sie die Kontaktdaten
zu allen Rittal Gesellschaften weltweit.

www.rittal.com/contact

RITTAL GmbH & Co. KG
Auf dem Stützelberg · D-35726 Herborn
Phone +49 (0)2772 505-0 · Fax +49 (0)2772 505-2319
E-mail: info@rittal.de · www.rittal.com

SCHALTSCHRÄNKE

STROMVERTEILUNG

KLIMATISIERUNG

IT-INFRASTRUKTUR

SOFTWARE & SERVICE

FRIEDHELM LOH GROUP

