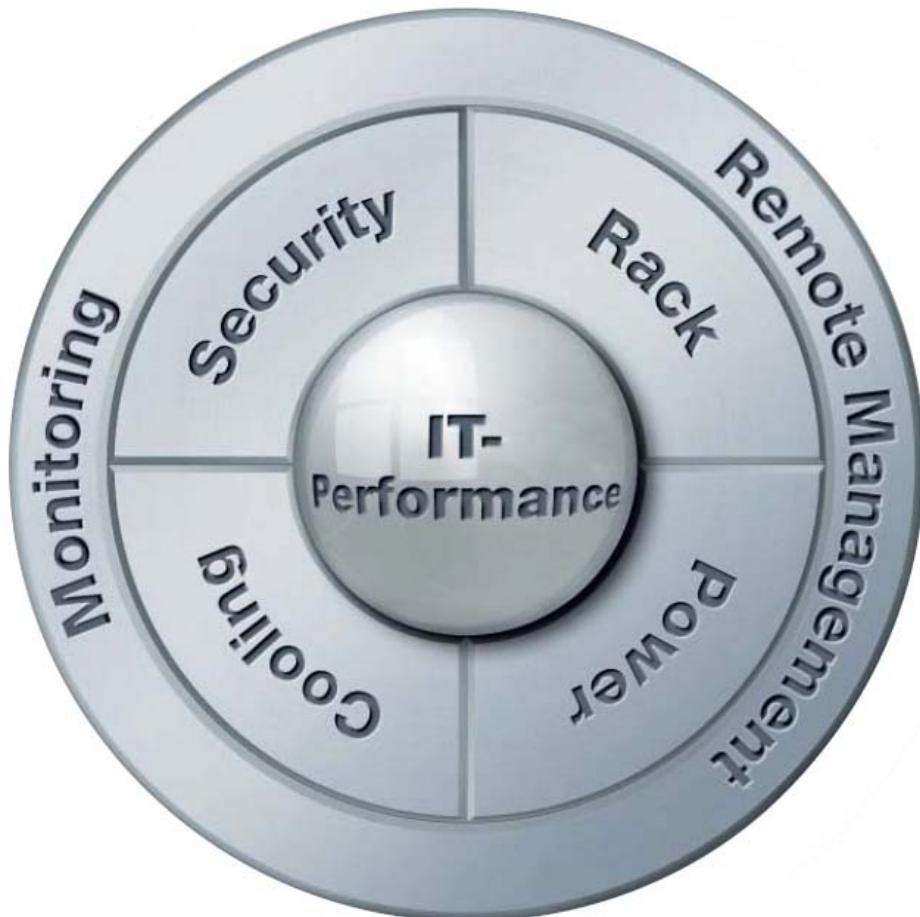


Infrastruktur im energieeffizienten Rechenzentrum

Dipl.-Ing. Markus Schmidt



Copyright © 2008
All rights reserved.

Rittal GmbH & Co. KG
Auf dem Stützelberg
D-35745 Herborn

Phone +49(0)2772 / 505-0
Fax +49(0)2772/505-2319
www.ittal.de
www.rimatrix5.de

RIMATRIX5
DRIVING IT-PERFORMANCE



Inhalt

Infrastruktur im energieeffizienten Rechenzentrum	1
Executive Summary.....	2
Einführung	3
Energieprobleme des Rechenzentrums	4
Gründe für den steigenden Energieverbrauch	6
Konzepte und Optimierungsmöglichkeiten im Bereich Energieversorgung & Energieverteilung	10
Konzepte und Optimierungsmöglichkeiten im Bereich Cooling	11
Ausblick	14

Executive Summary

Infrastruktur im energieeffizienten Rechenzentrum gibt einen Überblick über die grundsätzlichen Energieprobleme in bestehenden Rechenzentren. Es wird aufgezeigt, welche Komponenten der Infrastruktur den Energiehaushalt am meisten belasten.

Da zusätzlicher Strombedarf zu mehr Abwärme führt, die wiederum stromintensiv herunter gekühlt werden muss, sind hier innovative Lösungen gefragt. Dies ist auch im Hinblick auf die deutlich steigenden Stromkosten notwendig. So wird bereits für 2010 ein Anteil von 40% der Strom- und Kühlungskosten an den Gesamtkosten des Rechenzentrums prognostiziert.

Es gibt verschiedene Gründe für diesen steigenden Energiebedarf, beispielsweise die wachsenden Anforderungen an die Rechenleistung und die permanente Steigerung der Packdichte im Serverbereich. Gleichzeitig werden auch sehr große, oftmals nicht genutzte, Einsparpotentiale z.B. bei der Rückkühlung aufgezeigt.

Eine Möglichkeit, dem Energieproblem entgegenzuwirken bietet RimatriX5. Ein modulares Konzept aus einer Hand um den Anforderungen an die Infrastruktur eines energieeffizienten Rechenzentrums gerecht zu werden.

Einführung

Energieeffizienz. Kaum ein Begriff wird in der IT zurzeit öfter im Zusammenhang mit Rechenzentren verwendet. Die Gründe dafür sind vielfältig: Steigende Anforderung an die Rechenleistung, steigende Server-Packdichte, mehr Abwärme, CO₂-Ausstoß und vor allem massiv steigende Energiekosten fordern automatisch einen sorgsamen Umgang mit der Ressource „Strom“.

Vor einigen Jahren noch spielten die laufenden Energiekosten für den Betrieb eines Rechenzentrums eine untergeordnete Rolle. Im Fokus standen eher die Anschaffungskosten für die IT-Hardware wie Server, Storagesysteme und Netzwerktechnik. Mit der Zeit wurde diese Technik immer leistungsfähiger, verbunden mit einer stark ansteigenden Leistungsaufnahme. Mittlerweile hat man erkannt, dass diese Leistungsaufnahme zu beträchtlichen Kosten und Problemen führt. Daher sind die Hersteller der IT-Hardware seit einiger Zeit dabei, vermehrt Stromsparmechanismen in ihre Produkte zu integrieren. Hierzu zählen u.a. flexible Taktraten, niedrigere Betriebsspannungen, abschaltbare Teilbereiche der Prozessorchips.

Bisher weniger im Blickpunkt des Interesses stand die Infrastruktur des Rechenzentrums. Die Bereitstellung und Verteilung der von der IT-Hardware benötigte Energie, ebenso die notwendige Abfuhr der Abwärme. Dieser Energieverbrauch ist im ungünstigsten Fall größer als der Verbrauch der IT-Hardware selbst. Im Bereich der Infrastruktur sind daher ebenfalls innovative Konzepte und Lösungen zur effizienten Nutzung von Energie gefragt.

Energieprobleme im Rechenzentrum

Die Infrastruktur eines Rechenzentrums muss für den Energiebereich prinzipiell 2 Probleme lösen:

1. Sichere Bereitstellung der notwendigen Energie
2. Abfuhr der entstehenden Wärme

Diese beiden Punkte bilden auch wesentliche Kostenfaktoren beim laufenden Betrieb und beeinflussen in erheblichem Maße die Effizienz eines Data Centers.

Vereinfacht dargestellt definiert sich die Effizienz des Rechenzentrums wie folgt:

$$\text{Effizienz}_{RZ} = \frac{\text{Leistungsaufnahme}_{IT}}{\text{Leistungsaufnahme}_{RZ}}$$

$$\text{Leistungsaufnahme}_{IT} = \text{Server} + \text{Storage} + \text{Netzwerktechnik}$$

$$\text{Leistungsaufnahme}_{RZ} = \text{Leistungsaufnahme}_{IT} + (\text{USV} + \text{PDM} + \text{Kühler} + \text{Chiller})$$

Die notwendigen Infrastrukturtechniken für Unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV), Stromverteilung (PDM), Kühler und IT-Chiller (Kaltwassersatz) verschlechtern die Effizienz des Rechenzentrums umso mehr, je schlechter der einzelne Wirkungsgrad dieser Komponenten ist. Ein schlechter Wirkungsgrad bei den Infrastrukturkomponenten wiegt doppelt schwer. Zum einen steigen die Energiekosten stetig, gleichzeitig steigt auch die Leistungsaufnahme der Server.

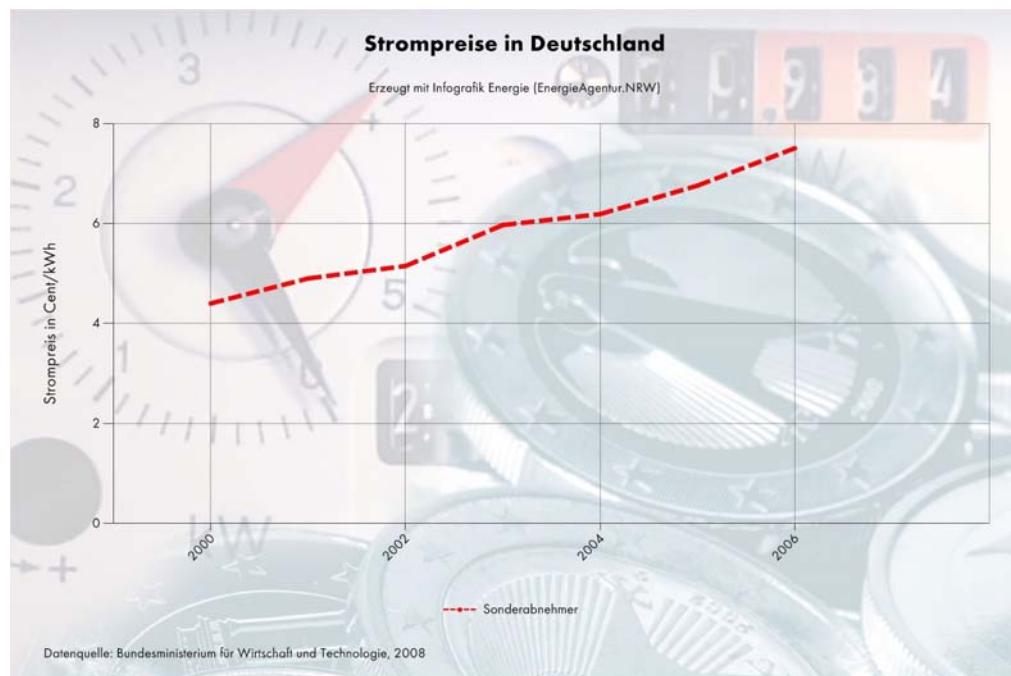


Abb. 1: Strompreisentwicklung (Industrie) Deutschland, Quelle: Energieagentur NRW

Seit dem Jahr 2000 erhöhen sich die Stromkosten für den gewerblichen Bereich kontinuierlich, eine weitere Steigerung dieses Trends ist auf Grund des weltweiten Energiebedarfs zu erwarten.

Weiterhin haben Server heute, trotz moderner Architekturen, eine höhere Stromaufnahme als noch vor einigen Jahren, was wiederum die absoluten Verbrauchswerte für die Infrastruktur in die Höhe schießen lässt.

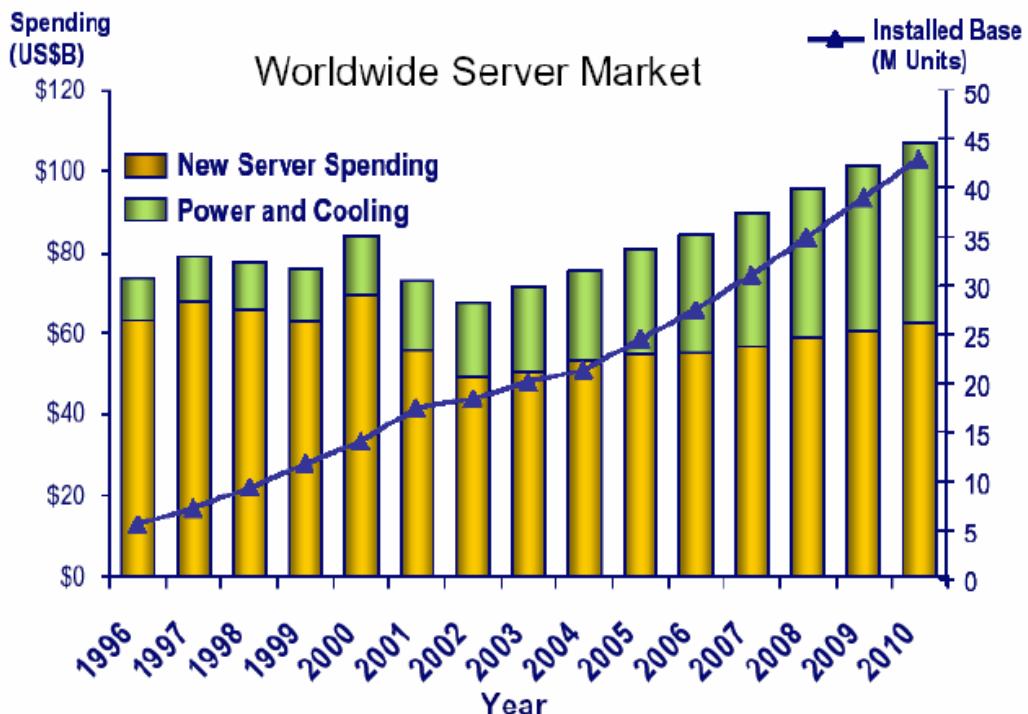


Abb. 2: Anschaffungskosten neuer Server im Vergleich zu den Kosten für Strom & Kühlung
Quelle: International Data Corporation (IDC) 2006

Nicht verwunderlich ist daher der stetig steigende Anteil der Strom- und Kühlungskosten an den Gesamtkosten des Rechenzentrums. IDC prognostiziert in Abbildung 2 für 2010 einen Anteil der Energiekosten von etwa 40%, aber auch 50% des Gesamt IT-Budgets werden von einigen Experten für möglich erachtet („CEO Guide To Green Computing“, businessweek.com 2007/05).

Neben dem hohen Energieverbrauch und den damit verbundenen Kosten entsteht durch den steigenden Energieverbrauch ein weiteres Problem: Bestehende Rechenzentren können den Strombedarf und die Abwärme nicht mehr handhaben.

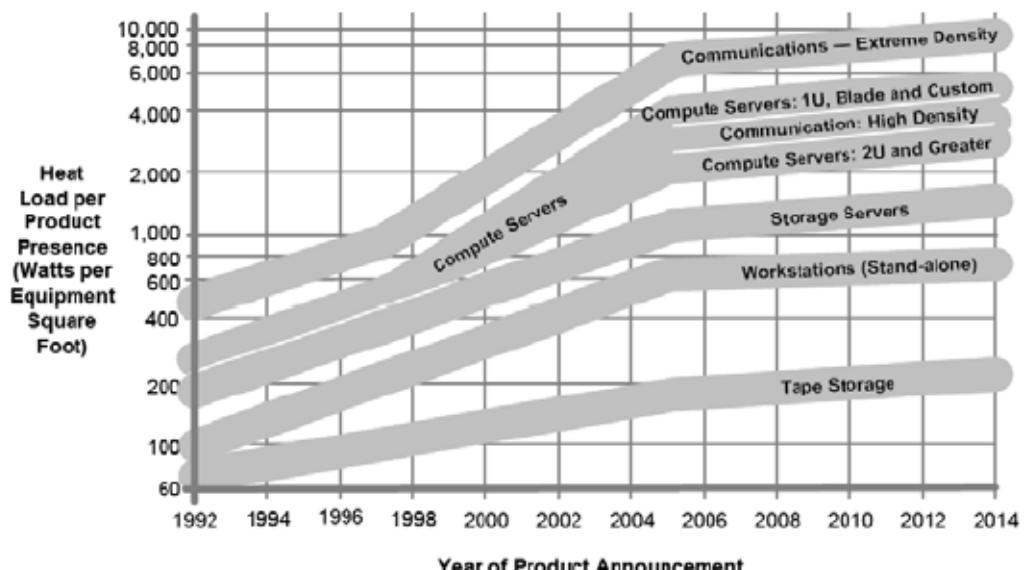


Abb.3: Steigerung der Server-Energiedichte
Quelle: Datacom Equipment Power Trends and Cooling Applications, 2005

Die Energiedichte im Rechenzentrum ist alleine zwischen 1994 und 2004 um mehr als das 10fache gestiegen. Diese Steigerung stellt extreme infrastrukturelle Herausforderungen an die Stromaufbereitung (USV) und -verteilung, aber auch an das Kühlkonzept. Denn quasi jedes zugeführte Watt Leistung muss auch in Form von Abwärme wieder aus dem Rechenzentrum entfernt werden.

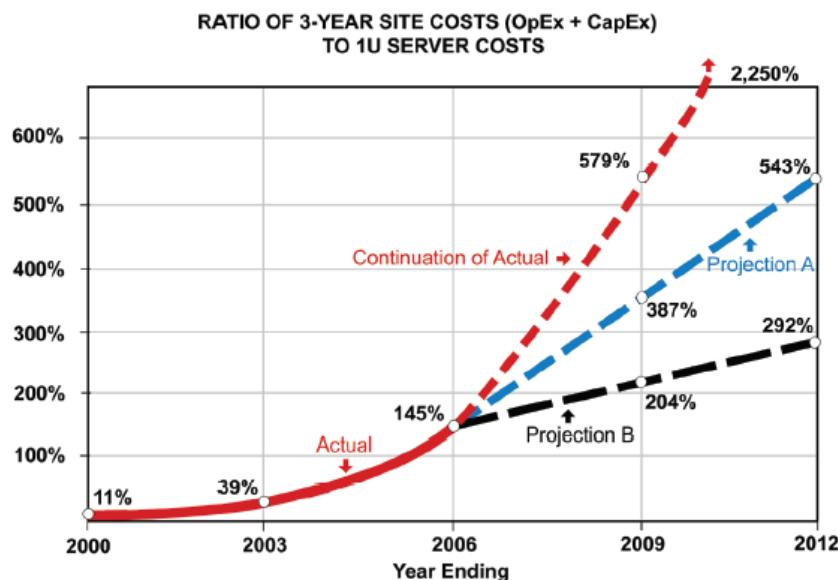


Abb.4: Verhältnis Betriebskosten 3 Jahre zu Kosten der Serveranschaffung
Quelle: Data Center Energy Efficiency and Productivity, Uptime Institute

Nach den Berechnungen des Uptime Instituts explodieren die Serverbetriebskosten im Verhältnis zu den Anschaffungskosten geradezu, wenn mit den alten Konzepten und Strukturen weitergearbeitet wird. Im Idealfall (Projection B) ist die Steigerung immer noch erheblich, realistisch dürfte aber Projection A sein. Jedoch sind auch hierfür Modernisierungen der alten Infrastrukturen notwendig. Einen weiteren Anhaltspunkt für eine veraltete Infrastruktur ist der sogenannte SI-EER Wert. Die Site Infrastructure Energy Efficiency Ratio bezeichnet das Verhältnis von angelieferter Energie zu der Energie, die an der IT-Hardware ankommt. SI-EER stellt damit den Reziprokwert zu Effizienz_{RZ} dar. Dieser Wert betrug 2007 im Durchschnitt der Uptime-Institut Erhebung 2,5. Von angelieferten 2,5 Watt wird demnach nur 1 Watt an die IT-Hardware durchgereicht. Eine Senkung auf eine SI-ERR von 2,0 würde für ein 2800qm Rechenzentrum eine Einsparung der Energiekosten von ca. 1 Mio. US\$ pro Jahr bedeuten.

Gründe für den steigenden Energieverbrauch

Um ein Rechenzentrum energieeffizienter zu machen muss zunächst betrachtet werden, warum der Energieverbrauch immer weiter ansteigt, um anschließend Einsparmaßnahmen ergreifen zu können. Der erste und offensichtlichste Grund ist die permanente Leistungssteigerung im Serverbereich. Nach Moore's Law verdoppelt sich alle 24 Monate die Komplexität der Chip-Schaltkreise. Mit dieser Verdoppelung der Integrationsdichte geht eine deutliche Steigerung der Rechenleistung einher. Wegen der wachsenden Anforderungen werden gleichzeitig immer mehr Server pro Rechenzentrum

betrieben. Somit erhöht sich die Gesamtstromaufnahme der Rechenzentren, auch wenn der Wert für „Watt pro Rechenleistung“ weiter deutlich sinkt.

Sehr schön verdeutlicht wird dieses Phänomen, wenn man betrachtet, wie viel Server-Watt man über die Jahre für 1000 US\$ einkaufen konnte.

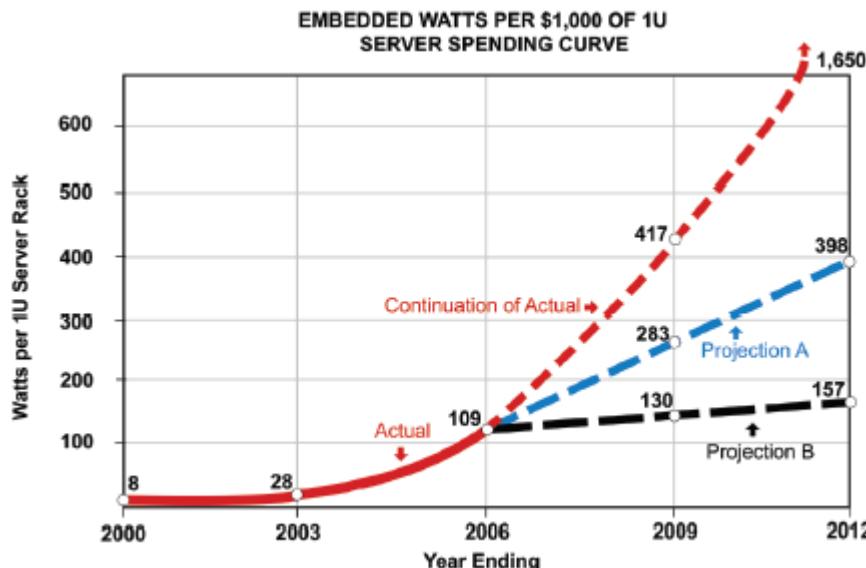


Abb.5: Watt pro 1000US\$ Ausgabe für 1HE-Server

Quelle: Data Center Energy Efficiency and Productivity, Uptime Institute

Alleine von 2000 bis 2006 stieg die Leistung pro 1000 US\$ um mehr als das 13-fache. Die möglichen Entwicklungen (Projection A und B) gehen selbst im günstigsten Fall von einem Anstieg auf 157 Watt/1000 US\$ aus.

Ein Grund für diese signifikanten Steigerungen der letzten Jahre sind die Blade-Server. Durch diese kompakte Konstruktion kann eine sehr hohe Leistungsdichte im Rack erzeugt werden. Ein mit mehreren Blade-Centern bestücktes Rack kann leicht eine Leistungsaufnahme von mehr als 20kW bedeuten, die wiederum gekühlt werden müssen. Bei einer SI-EER von 2,5 ergibt sich hier eine Eingangsleistung am Rechenzentrum von 50kW für nur ein Rack!

Viele Server werden angeschafft, um ein oder zwei spezielle Dienste zu hosten. Oftmals lasten diese Anwendungen den Server nur zu 10-20 Prozent aus, 80% seiner Rechenzeit verbringt die CPU im Leerlauf. Kein großes Problem, wenn die Leistungsaufnahme linear mit der Rechenlast skalieren würde; dem ist leider nicht so. Ein Server mit 20% Last verbraucht etwa 75% eines Servers im normalen Produktivbetrieb. Diese Problematik ist nicht von der Infrastruktur zu lösen, belastet sie aber immens.

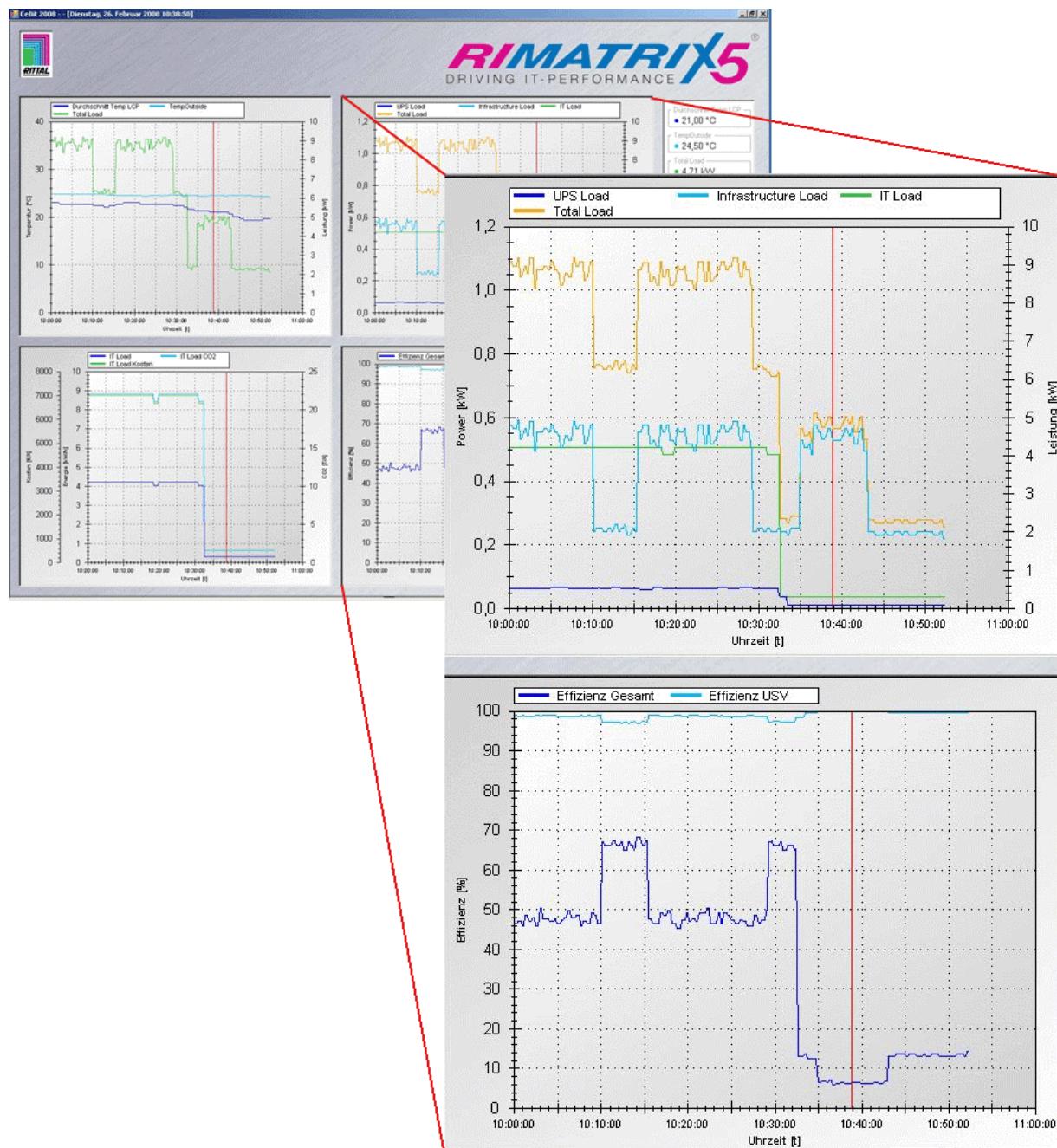


Abb.6: RimatriX5-Efficiency-Monitor

Der RimatriX5-Efficiency-Monitor veranschaulicht die Problematik bei überdimensionierten oder nur wenig ausgelasteten Infrastrukturen. Die Zoomansicht zeigt, dass die Effizienz des Rechenzentrums (unterer Graph, blaue Kurve) genau dann rapide auf unter 10% absinkt, wenn die IT-Last (oberer Graph, grüne Kurve) selbst weit unter der Normalbelastung liegt.

Oft wird bei der Planung eines Rechenzentrums die Infrastruktur auf die maximale Serverausbaustufe ausgelegt. D.h. dass vor allem USV und Kühlung in den ersten Jahren des Betriebs massiv überdimensioniert sind. Hierbei fallen nicht nur sehr hohe Anschaffungskosten an, die Geräte laufen schlimmstenfalls auch mit weniger als 30% ihrer Maximallast und dadurch mit einem deutlich schlechteren Wirkungsgrad.

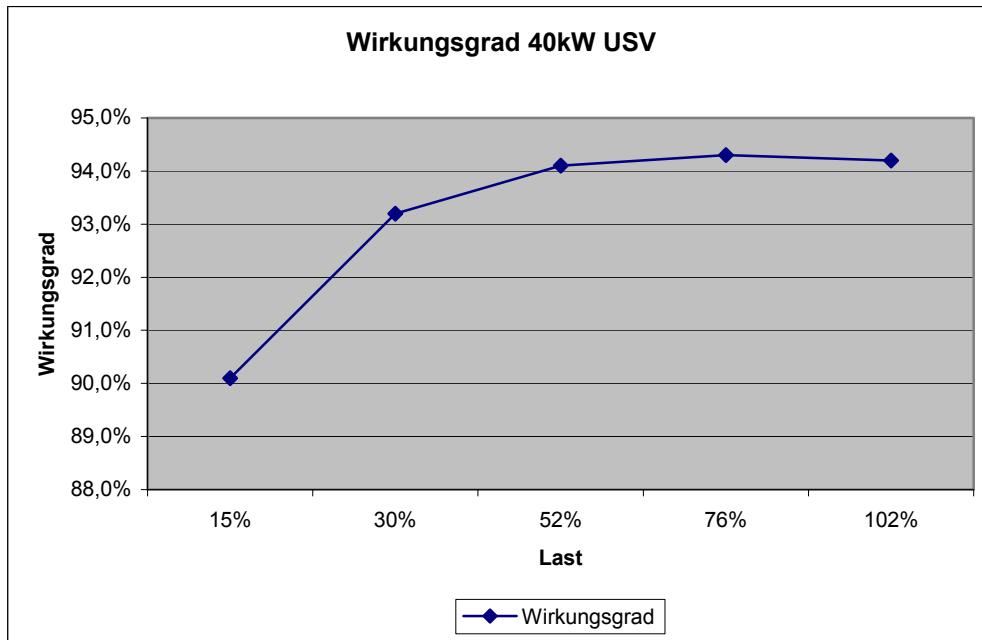


Abb. 7: Wirkungsgrad einer 40kW-USV

Eine 40kW-USV hat beispielsweise bei einer 90%-Auslastung einen Wirkungsgrad von ca. 94,5%, betreibt man sie stattdessen nur mit 25% Last, so sinkt der Wirkungsgrad auf 91%.

Ein 3,5 Prozentpunkte schlechterer Wirkungsgrad ergibt umgerechnet bei einer Versorgungsleistung von 100kW eine erhöhte Verlustleistung um 3,5kW oder auf ein Jahr gerechnet 30.660kWh bzw. 3066 Euro (bei einem Strompreis von 0,10€ pro kWh). Diese 3066 Euro sind reiner Verlust auf Grund schlechter Dimensionierung und werden im Vorfeld sogar noch teuer eingekauft (größere USV = höhere Anschaffungskosten). Ähnliche Rechnungen lassen sich im Bereich der Kühlung aufstellen.

Hier müssen also Lösungen gefunden werden, die während der gesamten Lebensdauer eines Rechenzentrums einen bestmöglichen Wirkungsgrad der Komponenten gewährleisten.

Konzepte und Optimierungsmöglichkeiten im Bereich Energieversorgung & Energieverteilung

Wie im vorangegangenen Kapitel gezeigt, gibt es bei der Energieversorgung des Rechenzentrums zwei Hauptansatzpunkte: Wirkungsgrad und Sizing.

Sizing bezeichnet die Größenauslegung der Komponenten und sollte sich am Bedarf und dem Endausbaustadium des Rechenzentrums ausrichten. Um „auf der sicheren Seite“ zu sein wurde bei der Planung älterer Rechenzentren nur der Maximalausbau berücksichtigt. Dieser wird oft nur in den letzten Lebensjahren des Datacenters erreicht, wenn überhaupt.

Um während der Anfangsphase die Infrastrukturkomponenten wie USV und Stromverteilung in einem optimalen Wirkungsgradbereich laufen zu lassen, müssen sie etwas kleiner ausgelegt sein, jedoch mit der Option später zu wachsen. Dieser Spagat lässt sich über modulare Systeme wie z.B. RimatriX5 von Rittal realisieren.

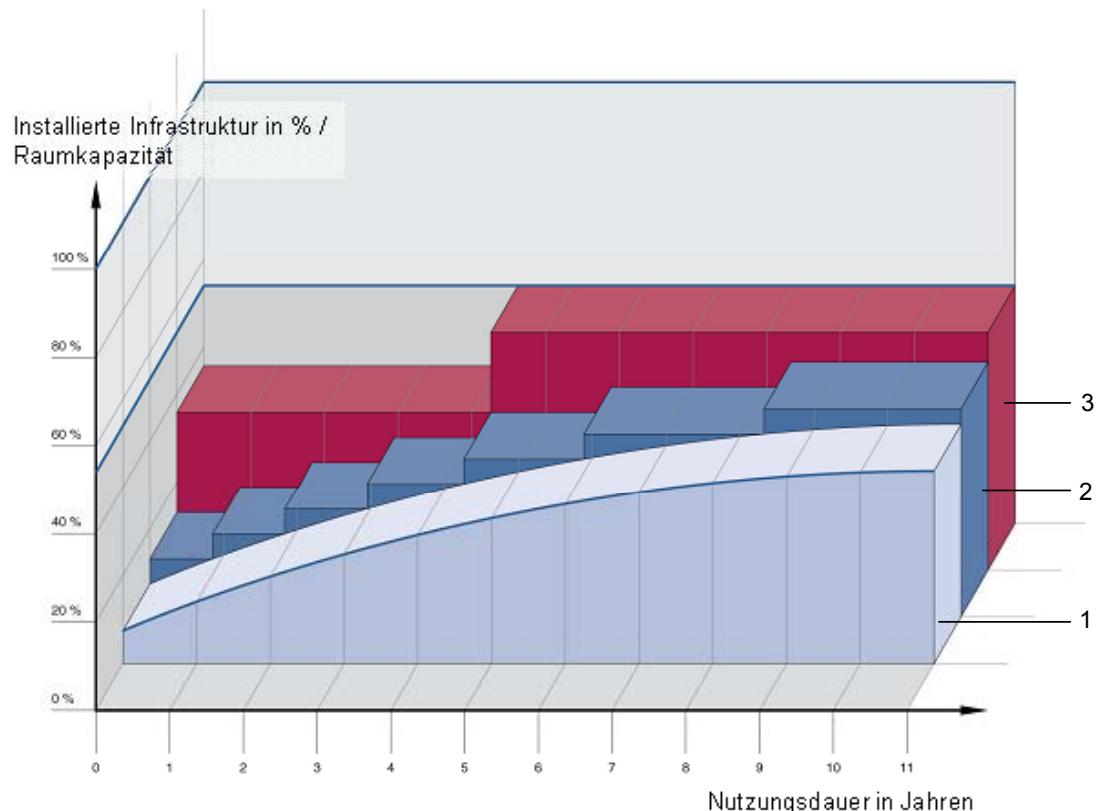


Abb.8: RimatriX5 „Pay-as-you-grow“ Konzept, Quelle: Rittal GmbH

Legende

- 1 – aktueller Leistungsbedarf
- 2 – skalierbare, bedarfsoorientierte und schrittweise Kapazitätsanpassung (RimatriX5)
- 3 – installierte Überkapazität bei herkömmlichem RZ-Technikausbau

Abbildung 8 verdeutlicht das Pay-as-you-grow Konzept von RimatriX5. Die Komponenten für USV, Stromverteilung und Kühlung wachsen mit dem Ausbau des Data Centers.

Am Beispiel der Rittal PMC 200 USV lässt sich das Modulkonzept verdeutlichen.

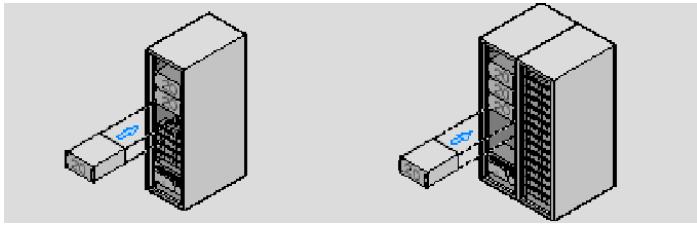


Abb.9: Flexible Skalierbarkeit PMC 200

Die PMC 200 lässt sich beispielsweise mittels 3 20kW Modulen als (n+1)-redundante 40kW USV betreiben. Fordern neue Server mehr Strom, so muss keine neue oder zusätzliche USV angeschafft werden, es wird lediglich im laufenden Betrieb ein weiteres Modul eingeschoben und erweitert so das Leistungsspektrum. Diese Module sind in mehreren Abstufungen zwischen 8 und 40kW verfügbar und lassen so eine genaue Anpassung an den Leistungsbedarf zu. Die modulare n+1 Redundanz hat jedoch nicht nur bei der Aufrüstung, sondern auch im Betrieb energieeffiziente Vorteile. Es muss nicht eine komplette zweite USV für den Fall eines Ausfalls bereitstehen, es reicht ein zusätzliches Modul mit entsprechend weniger Verlustleistung. Auch die Verfügbarkeit steigt durch das modulare Konzept. Im Servicefall kann ein defektes Modul im Betrieb innerhalb von Minuten getauscht werden. Daraus resultiert eine äußerst niedrige MTTR (Mean Time To Repair). Durch einen modernen Trafo-losen Systemaufbau wird neben der ressourcenschonenden Einsparung von Kupfer bei der Produktion auch ein überdurchschnittlicher Wirkungsgrad von mehr als 95% erreicht.

Das gleiche modulare Konzept mit allen energieeffizienten Vorteilen lässt sich auch bei der Stromverteilung realisieren. Rittal bietet ein solches System mit seinem Power Distribution Rack (PDR) und den Power Distribution Modulen (PDM) an.

Konzepte und Optimierungsmöglichkeiten im Bereich Cooling

Der zweite große Posten, der den Effizienz_{RZ} -Wert drückt, ist die Kühlung des Data Centers. Selbst bei einer durchschnittlichen SI-ERR von 2,0 fallen in einem Rechenzentrum mit 100kW IT-Last fast 200kW Verlustwärme an, die gekühlt werden müssen.

Der klassische Weg hier ist die Raumkühlung, bei der kalte Luft durch den Raum oder besser durch einen Doppelboden ins RZ geblasen wird. Diese Anordnung kann in älteren Rechenzentren 1 bis 2kW Wärmelast pro Rack kühlen, in neueren, besser geplanten RZs steigt dieser Wert auf bis zu 5kW. Dann ist jedoch bereits auf eine saubere Implementierung des Kaltgangs zu achten. Abbildung 10 zeigt ein solches Kaltgang-Szenario

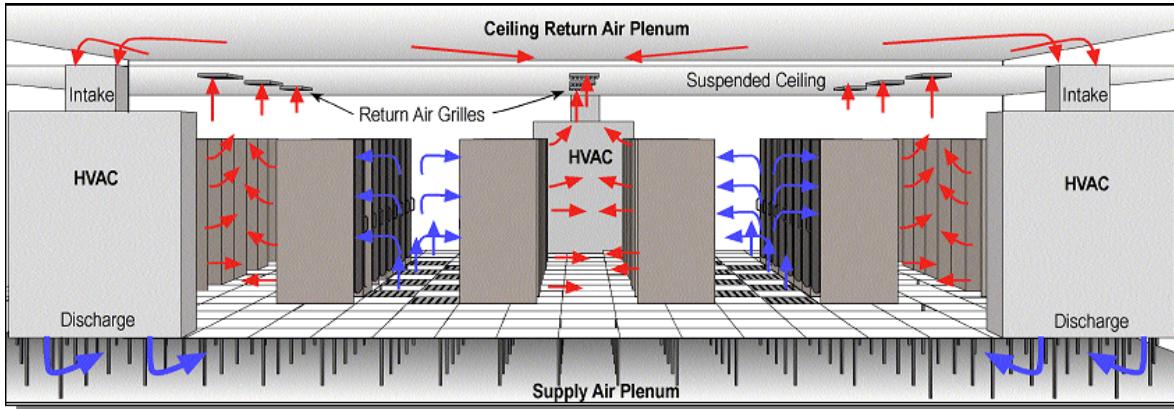


Abb.10: Doppelbodenkühlung mit Kalt- / Warmgang-Anordnung, Quelle: Rittal GmbH

Unbedingt zu vermeiden sind sogenannte Hotspots (Wärmestau) oder Wärmekurzschlüsse bei denen es zu ungewollter Vermischung von Kalt- und Warmluft kommt. Hierdurch sinkt die Effizienz der Kühlleistung deutlich und gefährdet den zuverlässigen Betrieb der Server an diesen Stellen.

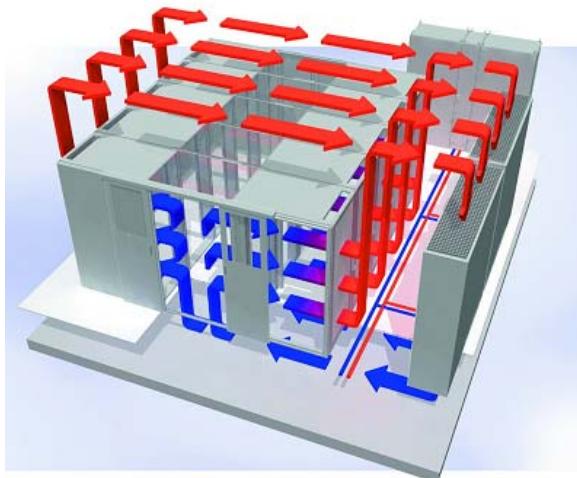


Abb.11: Kaltgangschottung, Quelle: Rittal GmbH

Der nächste Optimierungsschritt ist die geschottete Kaltganganordnung, bei der die kalte Luft physikalisch mittels zusätzlichen Decken, Wänden oder Türen geleitet wird. Hierdurch kann die Kühlleffizienz um 10-20% im Vergleich zur Kaltgangkühlung ohne Abschottung gesteigert werden.

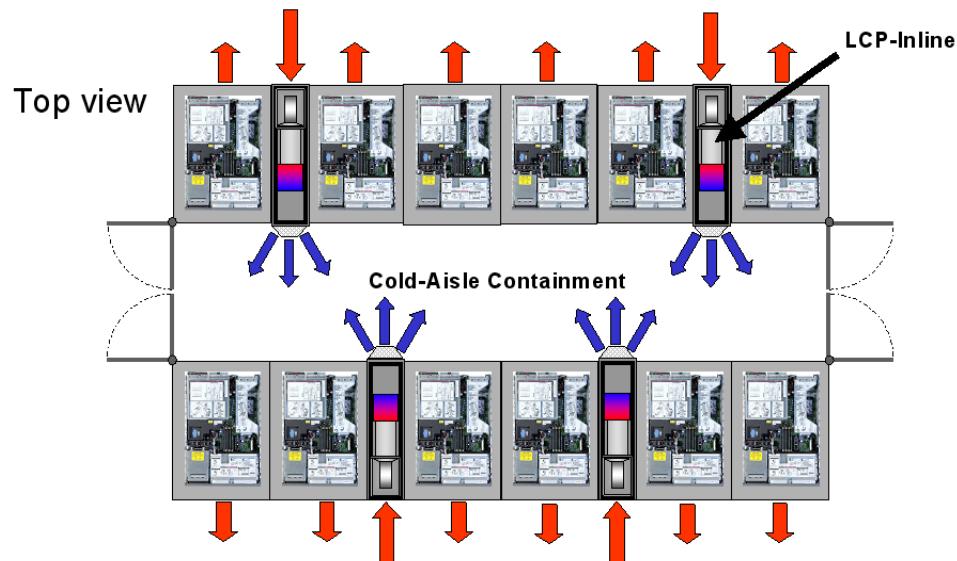


Abb. 12: Kaltgangschottung & LCP Inline Kühlung, Quelle: Rittal GmbH

Sollte die über den Doppelboden zugeführte Kaltluft nicht mehr ausreichen, bietet sich mit inline, also zwischen den Racks angebrachten Kühlgeräten der nächste Kühlleistungsschritt an. Die LCP InLine Geräte von Rittal sind hier mit einem hohen Wirkungsgrad und hoher Zuverlässigkeit eine optimale Lösung. Beim Liquid Cooling Package (LCP) wird die Luft über einen Luft/Wasser-Wärmetauscher gekühlt, sodass sehr hohe Kühlleistungen möglich sind.

Werden in den Racks hingegen mehrere voll bestückte Blade-Center eingesetzt steigt die Kühllast im Schrank auf Werte, die sich über die klassische oder optimierte Raumkühlung nicht mehr handhaben lassen. Hier wird fast zwingend der Umstieg auf eine rack-basierte Kühlung notwendig. Dabei wird das gekapselte Rack gekühlt und verhält sich gegenüber dem Serverraum temperaturneutral. Die Kühlung des Racks kann von den System LCP Modular oder LCP Plus übernommen werden. Diese, ebenfalls auf Luft/Wasser-Wärmetauschern beruhenden Systeme, lassen sich schrittweise über Kühlmodule in ihrer Kühlleistung anpassen und wachsen, gemäß des RimatriX5 Pay-as-you-grow Konzepts, mit. Die erreichbaren Kühlleistungen liegen bei 20kW (LCP Modular) bis 30kW (LCP Plus).

Bei besonders kritischen Anwendungen ist mit dem LCP System auch eine redundante Auslegung möglich, bei der 2 LCPs ein Rack kühlen.

Bei den Kühlösungen mit Luft/Wasser-Wärmetauschern ergibt sich die Notwendigkeit das Kühlwasser mit einer entsprechenden Vorlauftemperatur bereitzustellen und das erwärmte Wasser aus dem Rücklauf wieder zu kühlen. Dies geschieht in der Regel über Kaltwassersätze, auch IT-Chiller genannt. Der IT-Chiller muss leistungsmäßig an die anfallende Abwärme angepasst sein. Rittal bietet hierzu ein fein abgestuftes Programm zwischen 15kW und 462kW Kühlleistung. Diese Leistungsdaten deuten bereits an, dass die Kühlung ein enormer Energiefresser ist, verbunden mit erheblichen Kosten und CO₂ Ausstoß.

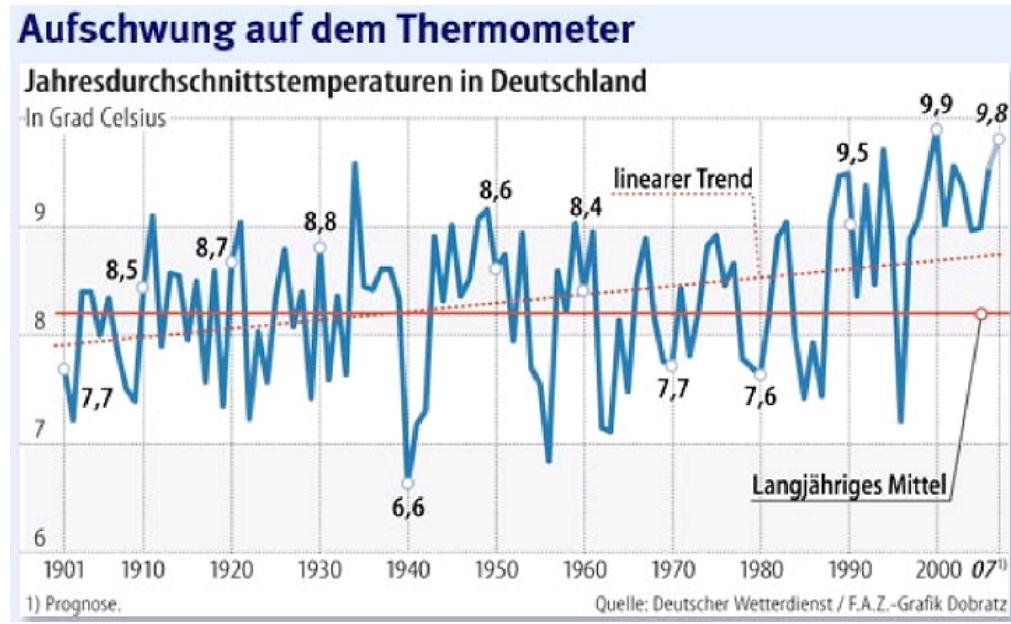


Abb.13: Jahresdurchschnittstemperaturen Deutschland, Quelle DWD / FAZ Grafik

Eine große Einsparmöglichkeit beim IT-Chiller bietet das Free-Cooling. Beim Free-Cooling wird die Umgebungsluft zum Abkühlen des aufgewärmten Kühlwassers verwendet. Bei Standardanwendungen lässt sich bis etwa 10 Grad Celsius Außentemperatur der IT-Chiller im Free-Cooling-Modus betreiben. In Deutschland liegt die Temperatur durchschnittlich zu knapp 50% des Jahres unter 10 Grad. Da die Klimatisierung eines Rechenzentrums im Normalfall rund um die Uhr läuft, beträgt das Einsparpotential ebenfalls fast 50%. Ein 462kW IT-Chiller benötigt im normalen Kühlmodus etwa eine Leistung von 96,25kW.

Kühlleistung $Q=462\text{kW}$; Coefficient of Performance: $COP=4,8$

$$\text{Benötigte Eingangsleistung des IT-Chillers: } P = \frac{Q}{COP} = \frac{462\text{kW}}{4,8} = 96,25\text{kW}$$

Wenn der IT-Chiller im Free-Cooling betrieben wird, sinkt hingegen die benötigte Eingangsleistung auf ca. 10kW. Bei einem Strompreis von 10 Cent/kWh ergibt sich ein Einsparpotential von fast 38.000€/Jahr!

Ausblick

Das Thema Energieeffizienz wird die Betreiber von Rechenzentren immer stärker beschäftigen. Der Handlungsdruck wird durch Kosten-, Energieverfügbarkeits- und ökologische Gründe weiter wachsen. Rittal bietet mit RimatriX5 schon jetzt ein innovatives und modulares Konzept aus einer Hand um den Anforderungen an die Infrastruktur eines modernen, energieeffizienten Rechenzentrums Rechnung zu tragen. Durch seine Modularität offeriert RimatriX5 gleichzeitig vielfältige Optionen, bestehende Rechenzentren zu erweitern und zu modernisieren, egal ob es sich hierbei um eine neuen Kühlssystem oder nur ein einzelnes Rack handelt.

Die nächsten Optimierungsschritte für das RimatriX5 Programm befinden sich bereits in der Entwicklung und werden bestehende und neue Installationen auch in Zukunft auf einem Top-Level halten.