

# Die unerwarteten Auswirkungen steigender Temperaturen in Datacentern

## White Paper 221

Version 1

von Wendy Torell  
Kevin Brown  
Victor Avelar

### Zusammenfassung

Eine Anhebung der IT-Luftansaugtemperaturen ist eine allgemeine Empfehlung für Datacenter-Betreiber, die die Effizienz von Datacentern gezielt verbessern wollen. Es ist zwar richtig, dass eine Anhebung der Temperatur zu mehr Freikühl-Betriebsstunden führt, positive Auswirkungen auf das Datacenter als Ganzes sind jedoch nicht immer gegeben.

Dieses White Paper enthält eine Kostenanalyse (Investitions- und Energiekosten) eines Datacenters mit dem Ziel, die Bedeutung einer ganzheitlichen Betrachtung des Datacenters einschließlich des Energieverbrauchs der IT-Hardware aufzuzeigen. Die Auswirkungen höherer Temperaturen auf Serverausfälle werden ebenfalls behandelt.

## Einführung

Seit der Überarbeitung der ASHARE-Norm TC9.9 im Jahr 2011 ist man in der Industrie bemüht, die Betriebstemperaturen in der IT anzuheben. Die Empfehlung von ASHRAE zielt auf einen geringeren Energieverbrauch von Datacentern durch Erhöhung der Zeit mit "freier Kühlung" ab.

Trotz dieses Ansatzes werden viele Datacenter immer noch bei einer Temperatur von oder unter 21°C betrieben. Es besteht zwar eine durchaus vertretbare konservative Haltung in der Industrie (Ausfallzeiten vermeiden, was funktioniert, wird nicht verändert usw.), wir waren jedoch neugierig, warum nicht mehr Datacenter die IT-Eingangstemperaturen erhöhen. Wären enorme Einsparungen zu realisieren, so möchte man meinen, dass sich mehr Datacenter dies trotz der konservativen Grundhaltung in der Branche zunutze machen würden.

In unseren Untersuchungen haben wir herausgefunden, dass Datacenter Manager meist zwei Fragen haben, die sie davon abhalten, ihre Eingangstemperaturen zu erhöhen:

- Wie viel Energie und damit Kosten kann ich einsparen, wenn ich die Temperatur der Ansaugluft meiner IT-Geräte anhebe?
- Hat diese Temperaturanhebung einen Einfluss auf die Zuverlässigkeit meiner IT-Hardware?

### Warum erhöht sich die Drehzahl der Server-Lüfter?

Der Sinn von Server-Lüftern ist es, die Bauteile im Servergehäuse zu kühlen. Die wichtigsten davon sind die CPU-Chips, die Temperaturen von über 90°C erreichen können. Wenn nun die Lufttemperatur am IT-Eingang steigt, steigt auch die CPU-Temperatur. Dadurch wird der Luftstrom der Server-Lüfter erhöht, die versuchen, die CPU-Temperatur herunter zu kühlen. Dieser erhöhte Luftstrom führt zwangsläufig zu einem erhöhten Energieverbrauch des Servers.

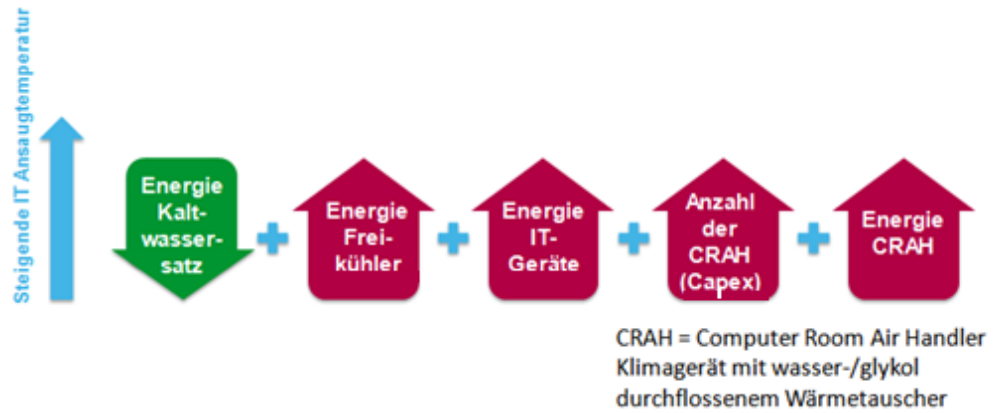
Um diese Fragen zu beantworten, muss man das Datacenter ganzheitlich betrachten, da diese auf einer komplexen Systemdynamik beruhen – der Energieverbrauch einiger Systeme sinkt, während der anderer Systeme ansteigt. Betrachten wir eine Kühlaggregat-Baugruppe: Wird der Sollwert der IT-Temperatur erhöht, verringert sich der Energieverbrauch des Kühlaggregats aus zwei Gründen: das Datacenter kann länger pro Jahr in der/den Economiser-/Freikühl-Betriebsart(en) betrieben werden und außerdem steigt die Effizienz des Kühlaggregats. Das ist jedoch nicht die ganze Wahrheit. Der Energieverbrauch des Kühlaggregats sinkt zwar, aber es passiert auch Folgendes:

- Der Energieverbrauch des Freikühlers (der im Freikühlmodus anstelle des Kühlaggregats arbeitet) erhöht sich, weil der Freikühler samt Ventilatoren länger läuft.
- Der Energieverbrauch des Servers steigt ebenfalls, weil die Luftstrom-Anforderungen bei steigender Temperatur ebenfalls steigen. (siehe **Kasten links**)
- Die Lüfter in Klimaschränken von Computerräumen (CRAH) erhöhen ihre Drehzahl, um die höheren Luftstrom-Anforderungen der Server zu erfüllen, was einen höheren Energieverbrauch durch Klimaschränke bedeutet.
- Ist die zusätzliche Luftmenge nicht bereits in der Auslegung durch Überdimensionierung berücksichtigt, werden mehr Klimaschränke benötigt, um die höheren Luftstrom-Anforderungen der Server-Lüfter zu erfüllen. Dies bedeutet zusätzliche Investitionen.

**Abbildung 1** verdeutlicht diese entgegengesetzt wirkenden Effekte. In diesem Paper betrachten wir die Analyse eines Datacenters mit einem Kompakt-Kühlaggregat (Kaltwassererzeuger inkl. Freikühlregister). Es soll aufgezeigt werden, welchen entscheidenden Einfluss der Ort und das Verhalten der Server-Lüfter auf die potenziellen Einsparungen (bzw. Mehrkosten) haben, wenn wir die Sollwerte der IT-Eingangstemperatur erhöhen.

**Abbildung 1**

Die Systemdynamik ist komplex. Das Datacenter muss ganzheitlich ausgewertet werden.



Wir beschäftigen uns auch mit den Auswirkungen einer Festlegung der Temperatur (auf einen höheren Wert) im Vergleich zu variablen Datacenter-Temperaturen innerhalb eines festgelegten Bereichs, je nach Änderung der Außentemperatur. Schließlich untersuchen wir ein Szenario, in dem ein bestehendes Datacenter überdimensioniert ist (50%), um die Folgen der prozentualen Auslastung auf diese Ergebnisse aufzuzeigen.

## Analyse des Datacenters

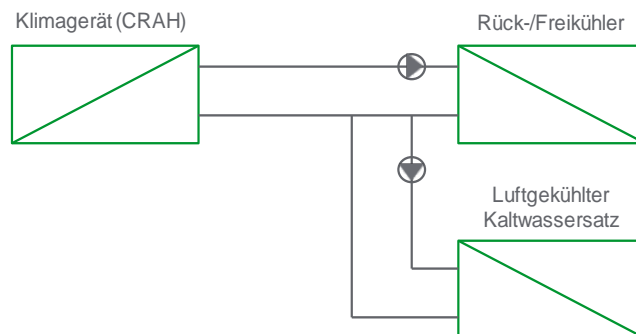
Die Auswirkungen steigender IT-Temperaturen auf den Energieverbrauch können je nach Kühlsystem, Klima, Lüfterdrehzahl und prozentualer IT-Last erheblich variieren. Für dieses White Paper haben wir eine Architektur ausgewählt und diese dann in unterschiedlichen klimatischen Bedingungen als Beispiel für die Komplexität von Datacentern modelliert; ein weiteres Ziel war aufzuzeigen, wie wichtig das Verständnis der Risiken gegenüber dem Nutzen ist, bevor betriebliche Änderungen durchgeführt werden.

### Analysierte Architektur

Für die vorliegende Untersuchung haben wir uns für eine Kühlsystem-Architektur entschieden, von der wir glauben, dass sie heute in Datacentern sehr weit verbreitet ist: ein luftgekühltes Kompakt-Kühlaggregat mit Freikühler (Abbildung 2). Der im Freikühl-Modus arbeitende Trockenkühler ist ein Wärmetauscher, der das Kaltwasser des Datacenters direkt kühlt, wenn die Außenluftbedingungen zwischen bestimmten Sollwerten liegen (indirekte Freikühlung). Pumpen fördern das Kaltwasser durch den Freikühler, wo die kalte Außenluft das Kaltwasser zur Versorgung der Klimaschränke kühlt.

**Abbildung 2**

Das untersuchte luftgekühlte Kompakt-Kühlaggregat



<sup>1</sup> White Paper 132 [Economiser-Betriebsarten von Kühlsystemen in Datacentern](#) beschreibt andere Kühlsystem-Strukturen.

### Betriebstemperatur von Kühlaggregaten

Jedes Kühlaggregat hat eine maximale Kaltwassertemperatur, die es liefern kann. Dieser Wert hängt von Bauart und Auslegung des Kühlaggregats ab. Bei **Zentrifugal-Kühlaggregaten**<sup>3</sup> muss der Kompressor z.B. in der Lage sein, seine Drehzahl zu reduzieren, um einen geringeren Kühlmitteldruck zu erzeugen, ohne den Motor zu beschädigen und ohne dass Schmieröl in den Kältekreis gelangt. Je nach Bauart des Kühlaggregats können andere Bauteile des Kühlaggregats besondere Maßnahmen erfordern, die höhere Kaltwassertemperaturen ermöglichen. Wir empfehlen Ihnen, Rücksprache mit Ihrem Kühlaggregat-Lieferanten zu halten, bevor Sie Ihren Kaltwasser-Sollwert erhöhen.

Beachten Sie, dass bei einem hocheffizienten Kühlaggregat in mildem Klima die Energieeinsparungen beim Kühlaggregat durch Anhebung der IT-Eingangstemperaturen möglicherweise nicht ausreichen, um den Mehrverbrauch an Energie durch andere Geräte im Datacenter zu rechtfertigen (z.B. Klimaschrank, Freikühler, IT).

In der Untersuchung wurden folgende Annahmen zugrunde gelegt:

- 1 MW Datacenter, Volllast
- 3 luftgekühlte Kühlaggregate<sup>2</sup> in N+1-Konfiguration, dimensioniert auf die 20 Jahre Extremtemperatur
- Sämtliche Kühlaggregate arbeiten bei Teillast unter normalen Bedingungen (einschl. des redundanten Kühlaggregats).
- Kühlaggregate können auch bei höheren Kaltwassertemperaturen betrieben werden. (siehe **Kasten links**)
- Freikühler mit frequenzgeregelten Ventilatoren für den Freikühlbetrieb (ohne Verdunstungskühlung)
- Pumpen mit fester Drehzahl
- Klimaschränke in Computerräumen<sup>4</sup> mit Warmgang-Luftverteilung in N-Anordnung
- Die Luftstromanforderungen der Server wurden durch die Luftzuführung der Klimaschränke erfüllt (d.h. Durchsatz/Minute der Server = Durchsatz/Minute der Lüfter im Klimaschrank)
- Leistungsdichte von 4 kW/Rack
- 3% Kapitalkosten für die Berechnung der Gesamtbetriebskosten
- Kosten von €0,10 pro Kilowattstunde Strom
- Bin-Wetterdaten aus ASHRAE Weather Data Viewer 5.0 und UniCalc 3.5.11

Wir haben drei verschiedene Betriebstemperatur-Szenarien erzeugt und jeweils den Energieverbrauch und die Gesamtbetriebskosten verglichen.

- Im **Grundszenario** sind wir von einer festen IT-Luftansaugtemperatur von 20°C ausgegangen, was heute für Datacenter einen typischen Betriebspunkt darstellt.
- Im **zweiten Szenario** konnte die Zulufttemperatur zwischen 15,6 und 26,7°C variieren.
- Im **dritten Szenario** wurde von einer festen Temperatur von 27°C ausgegangen.

Danach haben wir das Datacenter in drei europäischen Städten untersucht (Paris, London und Frankfurt/M.), um die Auswirkungen unterschiedlicher klimatischer Gegebenheiten auf die Ergebnisse zu verdeutlichen.

<sup>2</sup> Die Spezifikationen der Kühlaggregate stammen von BREC Uniflair Kühlaggregaten, da diese für Anwendungen in Datacentern spezifiziert sind und die Daten problemlos zur Verfügung standen.

<sup>3</sup> <http://www.plantservices.com/articles/2008/258/>

<sup>4</sup> Die Spezifikationen der Klimaschränke stammen von InRow CW-Geräten, da uns diese Daten direkt zur Verfügung stehen. Bei Verwendung eines anderen Klimaschranks (d.h. raumbasiert oder reihenbasiert) wären die Ergebnisse nicht wesentlich anders.

## Untersuchungsmethode

Wir haben die Energiekosten und die Investitionskosten des gesamten Kühlsystems mit der folgenden Methode untersucht:

1. Die Bin-Daten aus dem ASHRAE Weather Data Viewer 5.0 wurden zur Berechnung des Energieverbrauchs des Kühlsystems mittels thermodynamischer Prinzipien/Formeln für jede 1,11°C eingesetzt. Zu den Eingangsparametern dieses Modells gehören der Wirkungsgrad der Klimaschrank-Wärmetauscher, das mittlere Delta T über die IT-Hardware sowie Geräteverluste bei IT-Lüftern, Kühlaggregaten, Trockenkühlern, Pumpen und Klimaschränken.
2. Die Extremtemperatur eines Zeitraums von 20 Jahren wurde als "Worst Case" (Außentemperatur zur Dimensionierung des Kompakt-Kühlaggregats) angesetzt.
3. Dies ist die allgemein übliche Vorgehensweise für die Dimensionierung von Kühlaggregaten und wird vom Uptime Institute empfohlen.<sup>5</sup>
4. Der Energieverbrauch des Kühlsystems hängt von den unterschiedlichen Betriebsarten ab, d.h. vollständige mechanische Kühlung, teilweise oder vollständige Freikühlung. Wir haben die, auf jede Betriebsart, entfallende Anzahl an Betriebsstunden berechnet<sup>6</sup>.
5. Der Temperatur-Sollwert der IT-Eingangsluft wurde zur Berechnung der Kaltwassertemperatur verwendet, die zwischen 7,3° und 32°C liegen durfte.
6. Bei IT-Eingangstemperaturen über 20°C wurde der Anstieg des Server-Energieverbrauchs zum Gesamt-Energieverbrauch des Kühlsystems hinzuaddiert. Der Anstieg des Server-Luftstroms wurde mittels des Mittelpunkts der Kurve in **Abbildung 7** geschätzt.
7. Das Szenario mit variabler Temperatur stellte einen Idealfall dar, d.h. die Regelungen des Kühlaggregats und des Freikühlers ermöglichen eine dynamische Anpassung der Kaltwassertemperaturen. In den meisten Datacentern wird die Kaltwassertemperatur das ganze Jahr hindurch auf einen festen Wert eingestellt und erzielen somit weniger Energieeinsparungen als in den vorliegenden Beispielen.

Die Investitionskosten wurden auf Basis der typischen Preise für Hardware, Arbeit und Auslegung für ein 1 MW Datacenter angesetzt. Die meisten dieser Daten kamen aus dem [Data Center Capital Cost Calculator](#). Die Änderung der Investitionskosten für die Klimaschränke bei Änderung des IT-Luftstroms aufgrund der IT-Eingangstemperatur wurde ebenfalls berücksichtigt.

<sup>5</sup> "Data Center Site Infrastructure Tier Standard: Topology" des Uptime Institute  
[http://www.gpxglobal.net/wp-content/uploads/2012/10/TIERSTANDARD\\_Topology\\_120801.pdf](http://www.gpxglobal.net/wp-content/uploads/2012/10/TIERSTANDARD_Topology_120801.pdf)

<sup>6</sup> Im vollständigen Freikühlbetrieb kann aufgrund der Außenbedingungen auf mechanische Kühlung (d.h. die Komponenten im Kältekreislauf) vollständig verzichtet werden, um Energie einzusparen, wobei die definierte Last immer noch wirksam gekühlt wird. Begrenzt die Außentemperatur einen vollständigen Freikühlbetrieb, geht die Kühlanlage teilweise in den Freikühlbetrieb, d.h. der Freikühler steuert einen Teil der Kühlung bei und der Rest erfolgt über das mechanische System. Dieses Verhältnis zwischen den beiden Betriebsarten variiert (bei steigender Außentemperatur steigt auch der Anteil der mechanischen Kühlung), bis das mechanische System die gesamte Kühlung übernehmen muss.

# Erkenntnisse

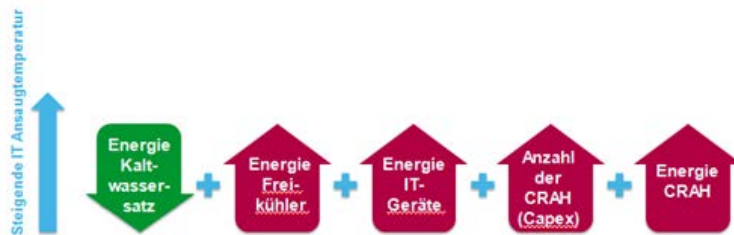
Zunächst vergleichen wir die Erkenntnisse des Grundszenarios (IT-Temperaturen festgelegt auf 20°C) mit dem zweiten Szenario (IT-Luftansaugtemperaturen dürfen sich verändern). Anschließend vergleichen wir das Grundszenario mit dem dritten Szenario (IT-Luftansaugtemperatur festgelegt auf einer höheren Temperatur mit 27°C).

## Grundszenario oder variable Temperatur?

Die Unterschiede bei den Gesamtbetriebskosten dieser beiden Szenarien sind in **Abbildung 3** dargestellt. Anmerkung: Die hier angesetzten Gesamtbetriebskosten enthalten keine Kapitalkosten für Systeme, die in beiden Szenarien gleich sind, d.h. Kühlaggregat und Freikühler. Aus dieser Untersuchung ziehen wir folgende Schlüsse:

- Während der Energieverbrauch des Kühlaggregats sich erwartungsgemäß ständig verbessert (abnimmt), verbessert sich auch der Netto-Energieverbrauch.
- Höhere IT-Eingangstemperaturen bewirken eine Zunahme des Luftstroms in der IT-Hardware, wodurch sich das Luft-Delta T über den Klimaschränken verringert. Somit ist ein höherer Luftstrom erforderlich, um dieselbe Wärmemenge bei diesen niedrigeren Delta T-Werten abzuführen.
- Die erforderliche Leistung der Klimaschränke steigt bei höheren Kaltwasser-Eingangstemperaturen, da die Wärmeabfuhrleistung der Wärmetauscher mit abnehmendem Wasser-Delta T auch geringer wird.
- Inwieweit ein höherer Energieverbrauch bei den Servern und Klimaschränken vorliegt, hängt von den Kennwerten der IT-Hardware ab. Dies wird im folgenden Abschnitt erläutert.
- Die Bin-Wetterdaten sind ganz entscheidend dafür, ob variable Temperaturen zwischen 15,6 und 27°C zu Kosteneinsparungen führen oder nicht.

**Abbildung 3**  
Zusammenfassung der Ergebnisse des Vergleichs zwischen dem Grundszenario (20°C konstant) und dem bei variabler Temperatur (zwischen 15,6° und 26,7°C) BEI VOLLAST



Paris fix 20°C	1.270.000	282.000	0	571.000	258.000	11% Energieeinsparung,
Paris variabel	699.000	370.000	188.000	583.000	327.000	5% bessere TCO
London fix 20°C	1.150.000	326.000	0	571.000	258.000	16% Energieeinsparung,
London variabel	526.000	410.000	170.000	583.000	320.000	6% bessere TCO
Frankfurt fix 20°C	1.126.000	269.000	0	571.000	258.000	10% Energieeinsparung,
Frankfurt variabel	640.000	344.000	166.000	583.000	318.000	4% bessere TCO

Zusätzliche Ergebnisse zeigt **Tabelle 1**, darunter auch die Unterschiede im Gesamt-Energieverbrauch (kWh) sowie die partielle Stromverbrauchseffektivität (pPUE - Power Usage Effectiveness)<sup>7</sup>. Der pPUE hat sich auch in allen Szenarien verbessert, ist aber kein wirklich nutzbarer Wert, wie man im weiteren Verlauf bemerkt. Eine steigende Leistungsaufnahme der Lüfter in den IT-Geräten verbessert den PUE, erzeugt aber eine höhere Leistungsaufnahme des Datacenters.

<sup>7</sup> In dieser Untersuchung zeigt der pPUE nur die Kühlsystemverluste.

Wir haben auch die maximale Schwankungstemperatur herausgestellt, die sich bei geringsten Gesamtbetriebskosten in jeder der drei Städte ergeben würde. Wie die Daten zeigen, variiert diese Optimaltemperatur zwischen den betrachteten Städten.

**Tabelle 1**

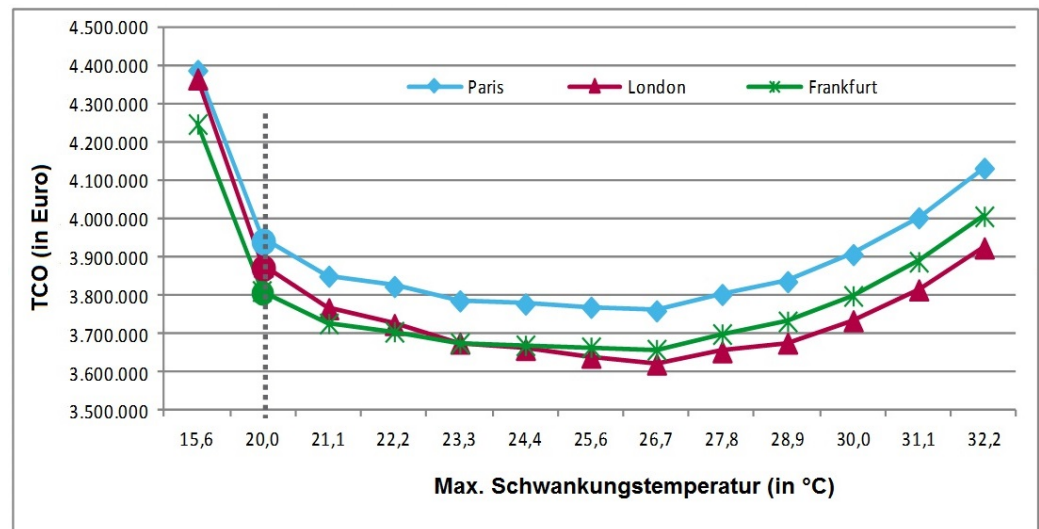
Zusammenfassung der Ergebnisse des Vergleichs zwischen dem Grundszenario (20°C konstant) und dem bei variabler Temperatur (zwischen 15,6° und 27°C) BEI VOLLAST

	Paris	London	Frankfurt
Gesamt-Energieverbrauch (kWh)	11% Einsparung	16% Einsparung	10% Einsparung
pPUE (nur Kühlung)	Verbesserung von 1,227 auf 1,176	Verbesserung von 1,218 auf 1,165	Verbesserung von 1,209 auf 1,165
Schwankungsbereich der Temperatur bei geringsten Gesamtbetriebskosten	15,6° - 23°C	15,6° - 27°C	15,6° - 27°C

**Abbildung 4** zeigt die Gesamtbetriebskosten (in €) in Abhängigkeit der Temperatur-Obergrenze. In allen Szenarien wurde die *Untergrenze* mit 15,6°C angesetzt.

**Abbildung 4**

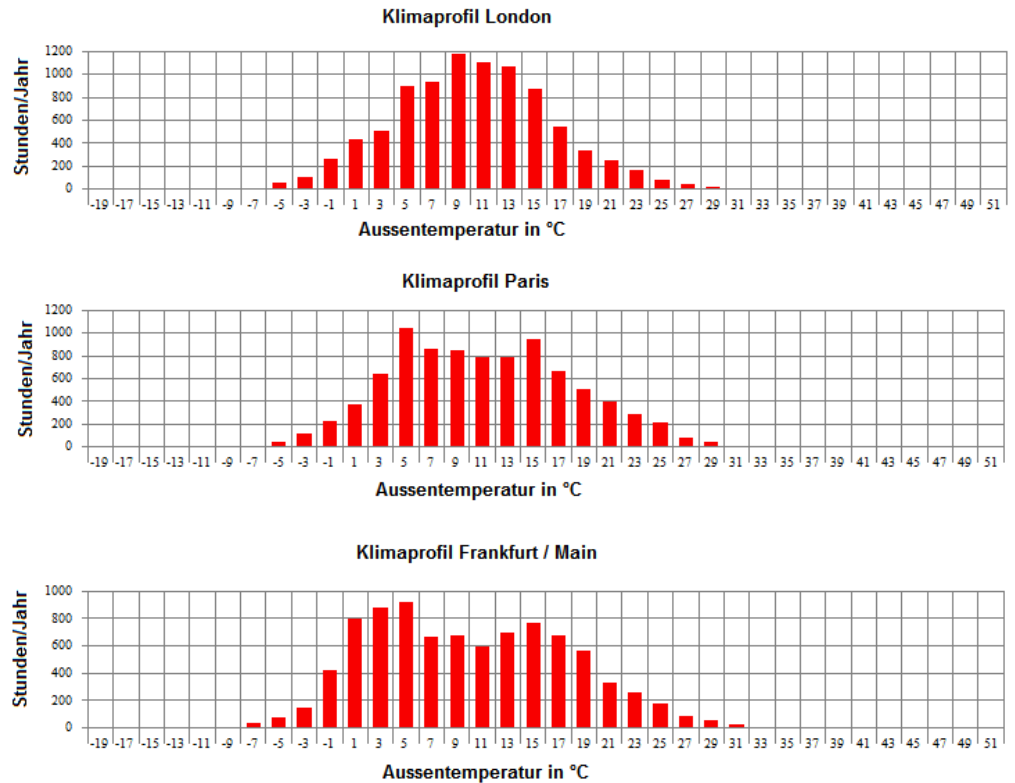
Zusammenfassung der Ergebnisse des Vergleichs zwischen dem Grundszenario (20°C konstant) und dem bei variabler Temperatur (zwischen 15,6° und 32,2°C) BEI VOLLAST



Diese Kurve zeigt, wie Bin-Daten die Ergebnisse beeinflussen können. Diese drei Städte haben sehr ähnliche Klimaprofile. In der englischsprachigen Version dieses Whitepapers werden die Orte Seattle, Chicago und Miami verglichen. Durch die stark unterschiedlichen Klimaprofile dieser Städte tritt der Unterschied wesentlich stärker zu Tage. Die Anzahl an Betriebsstunden bei verschiedenen Temperaturbereichen bestimmt, wie viele Freikühlungs-Betriebsstunden man durch Anheben des Sollwerts gewinnt.

## Abbildungen 5

Unterschiedliche BIN-Daten für die 3 Orte: Paris, London, Frankfurt (die Senkrechte stellt die Anzahl an Stunden pro Jahr dar)



## Grundszenario oder feste höhere Temperatur (27°C)?

Wenn Betreiber über eine Anhebung der Temperaturen in ihren Datacentern nachdenken, geht man im Allgemeinen davon aus, dass diese Anhebung bis zu einem neuen FESTEN Sollwert erfolgt. Wie die vorliegende Untersuchung zeigt, sind Steuerungen selten so ausgelegt, dass sie variierende Bedingungen (wie oben beschrieben) verarbeiten können. Die Frage lautet also: Welche Auswirkungen auf Energieverbrauch, Gesamtbetriebskosten und Zuverlässigkeit (X-Faktor) ergeben sich, wenn die Temperatur im Datacenter bis zum FESTWERT von 27°C angehoben würde?

Die Server-Lüfter werden stets mehr Leistung benötigen als im Grundszenario, weil die feste höhere IT-Eingangstemperatur die IT-Lüfter zwingt, sich das ganze Jahr über bei gleich schneller Geschwindigkeit zu drehen. **Abbildung 6** zeigt den Vergleich zwischen fester höherer Temperatur und der festen Temperatur im Grundszenario. Es ergeben sich folgende Erkenntnisse:

- Der Server-Energieverbrauch liegt sogar höher als bei variabler Temperatur, da die Server-Lüfter das ganze Jahr über bei der höheren Temperatur laufen.
- Die Bin-Wetterdaten entscheiden in hohem Maße darüber, ob eine höhere Betriebstemperatur tatsächlich Vorteile bringt.
- **Das Fixieren einer höheren Temperatur ist immer schlechter als eine Bandbreite zuzulassen, die bis zu genau dieser höheren Temperatur Raum lässt, da bei fester Temperatur keine Tage möglich sind, an denen Server und Klimaschränke weniger Energie verbrauchen können.**
- Auswirkungen auf die Anzahl der Freikühl-Betriebsstunden und somit auf den Energieverbrauch von Kühlaggregat und Freikühler bestehen im Vergleich zum Szenario mit variablen Temperaturen nicht.



**Abbildung 6**

Zusammenfassung der Ergebnisse des Vergleichs zwischen dem Grundszenario (20°C konstant) und dem bei fester höherer Temperatur (27°C) BEI VOLL-LAST



**Tabelle 2** fasst die zusätzlichen Erkenntnisse einschl. des Gesamt-Energieverbrauchs (in kWh) und der pPUE zusammen. Hier zeigt sich wieder, dass 1. der Energieverbrauch sich bei steigenden IT-Temperaturen nicht immer verbessert, und dass 2. PUE als alleiniger Maßstab nicht ausreicht.

**Tabelle 2**

Zusammenfassung der Ergebnisse des Vergleichs zwischen dem Grundszenario (20°C konstant) und dem bei FESTER höherer Temperatur (27°C) BEI VOLL-LAST

	Paris	London	Frankfurt
Gesamt-Energieverbrauch (kWh)	0,4% Einsparung	3% Einsparung	4% Mehrverbrauch
pPUE (nur Kühlung)	Verbesserung von 1,227 auf 1,179	Verbesserung von 1,218 auf 1,165	Verbesserung von 1,209 auf 1,170

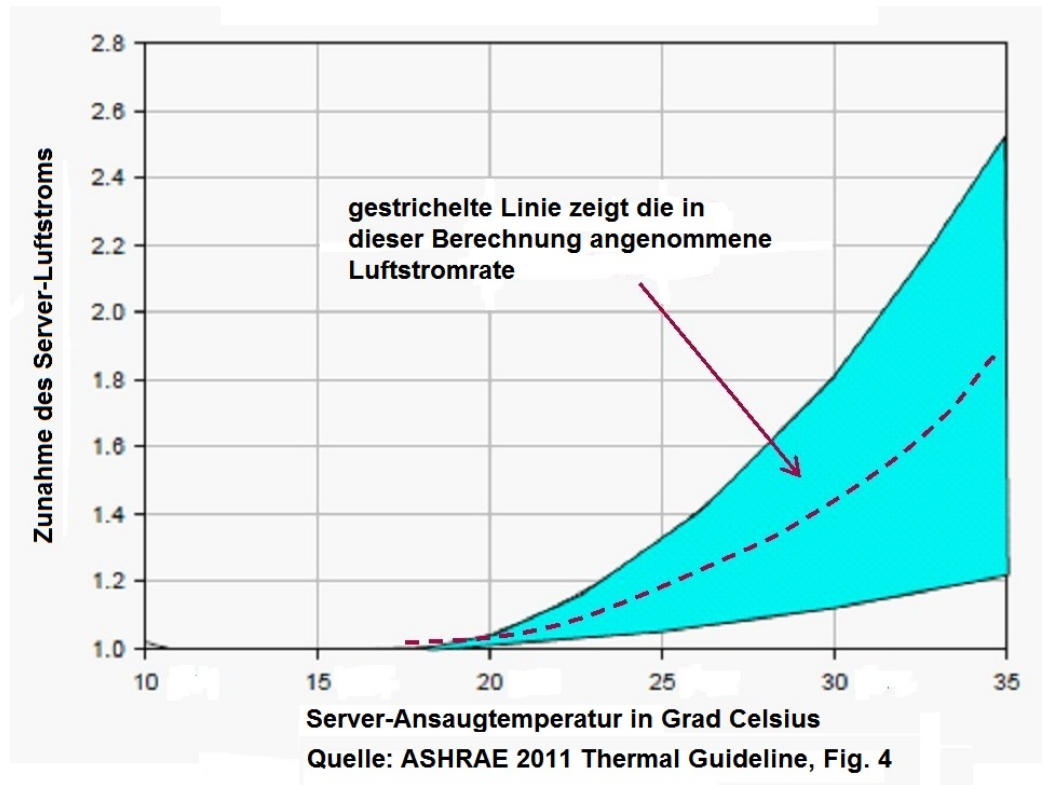
Auswirkungen des Verbrauchs von Server-Lüftern und des Luft-

Mit steigender Luftansaugtemperatur der Server steigt auch der benötigte Luftstrom und die Lüfterleistung. White Paper 138, [Energy Impact of Increased Server Inlet Temperature](#) (Energieverbräuche bei erhöhten Server-Eingangstemperaturen) zeigt die Ergebnisse einer Untersuchung mit Energiemessungen verschiedener Servermodelle in einer Laborumgebung.

Der Anstieg des Luftstroms in Abhängigkeit von der Temperatur basiert auf den von ASHRAE veröffentlichten Daten aus **Abbildung 7**. In unserer Untersuchung wurde eine Durchschnittskurve (gestrichelte Linie im Diagramm) verwendet, die Kurve zeigt jedoch, dass bei steigenden Temperaturen eine recht große Schwankung zwischen den einzelnen Servern vorliegt.

**Abbildung 7**

Luftstrom-Anforderungen des Servers in Abhängigkeit von der Betriebstemperatur



Wenn der für den Server notwendige Luftstrom bei steigender Temperatur nicht angestiegen wäre (d.h. wenn die Kurve flach wäre), wäre das Untersuchungsergebnis durchaus ein anderes. Das Verhalten der Hardware bei hohen Temperaturen macht die Energieeinsparungen beim Kühlaggregat wieder zunichte und die Analyse komplex. Eine flache Kurve würde bedeuten, dass höhere Temperaturen immer besser sind, weil man Einsparungen durch Freikühler erzielt und diese nicht durch Mehrverbrauch auf Klimaschrank- bzw. Serverseite wieder neutralisiert werden.

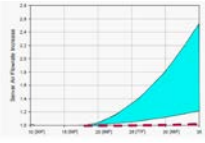
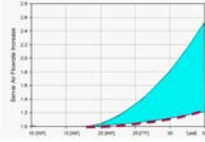
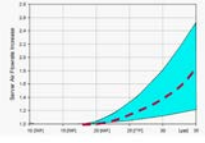
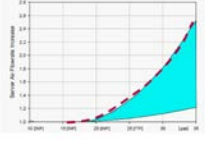
Um die Auswirkungen der Luftstromkurve auf das Gesamtergebnis zu verdeutlichen, haben wir eine Empfindlichkeitsanalyse bei konstantem Kaltwasser-Durchfluss durchgeführt (**Tabelle 3**) und dabei den Anstieg des Luftstroms in Abhängigkeit von der Temperatur von flach (d.h. kein Anstieg) bis zum höchsten Anstieg (oberste Kurve des blauen Bereichs in **Abbildung 7**) verändert. Beim Wechseln zu einer steileren Kurve passiert Folgendes:

- Die vom Server-Lüfter verbrauchte Energie wirkt sich stärker negativ aus, da die Leistungsaufnahme proportional zur dritten Potenz der Drehzahl ist.
- Die Anzahl der benötigten Klimaschränke steigt, da ein stärkerer Luftstrom gewährleistet werden muss.
- Der Energieverbrauch der Klimaschränke steigt, da ein stärkerer Luftstrom gewährleistet werden muss.
- Die Zahl der Economiser-Betriebsstunden sinkt, weil man kälteres Kaltwasser benötigt, um die Verringerung des Delta T im Klimaschrank und die damit einhergehende Verringerung des Wirkungsgrads des Klimaschrank-Wärmetauschers auszugleichen.

In allen drei Städten ist das Verhalten der IT-Hardware bestimmend für die gesamten energetischen Auswirkungen beim Anheben von (variablen) Temperaturen. Dies zeigt, wie wichtig es ist, das Verhalten Ihrer Hardware zu verstehen und das Data-center ganzheitlich zu untersuchen, bevor betriebliche Änderungen durchgeführt werden.

**Tabelle 2**

Auswirkungen auf den Gesamt-Energieverbrauch (kWh) bei sich ändernden Luftstromkurven vom Grundscenario (20°C konstant) bis zur variablen Temperatur (zwischen 15,6° und 26,7°C) BEI VOLLAST

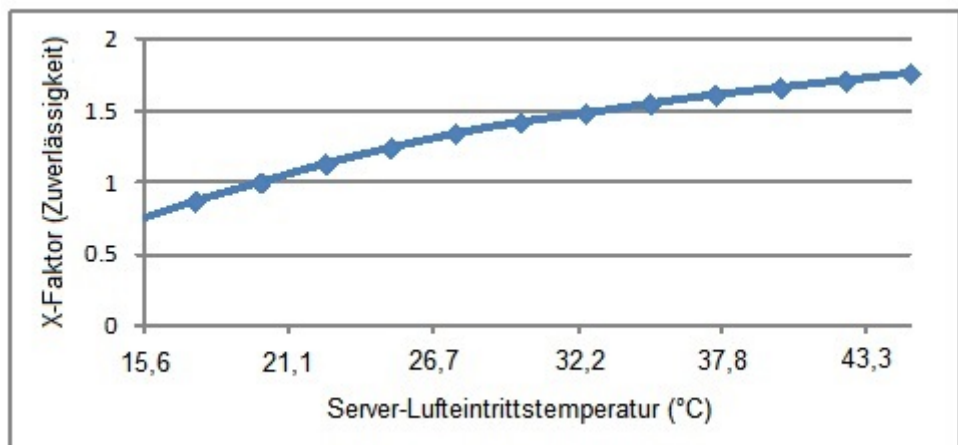
		Paris	London	Frankfurt
	Keine Steigerung	34% Einsparung	38% Einsparung	32% Einsparung
	Geringe Steigerung	23% Einsparung	28% Einsparung	21% Einsparung
	Mäßige Steigerung	11% Einsparung	16% Einsparung	10% Einsparung
	Starke Steigerung	13% Mehrverbrauch	10% Mehrverbrauch	12% Mehrverbrauch

## Auswirkungen auf die Zuverlässigkeit

Bisher hat sich die vorliegende Untersuchung auf die optimale Temperatur im Hinblick auf Energie- und Gesamtbetriebskosteneinsparungen konzentriert, die Zuverlässigkeit ist jedoch ein anderer Faktor, der bei der Festlegung der Betriebstemperatur(en) zu berücksichtigen ist. Der X-Faktor<sup>8</sup> ist ein vom ASHRAE TC9.9-Komitee veröffentlichtes Maß und gibt das Verhältnis der Ausfallquoten bei einer gegebenen Trockenkugeltemperatur zur Ausfallquote bei 20°C an. Siehe **Abbildung 8**.

**Abbildung 8**

X-Faktor von ASHRAE in Abhängigkeit der IT-Eingangstemperatur



<sup>8</sup><http://tc99.ashraetcs.org/documents/ASHRAE%20Networking%20Thermal%20Guidelines.pdf>

### Ist der X-Faktor wichtig?

Betreiber von Datacentern könnten aufgrund der folgenden Gegebenheiten die Bedeutung einer Änderung des X-Faktors in Frage stellen:

- Es ist schwierig, von Lieferanten Informationen zu Ausfallquoten zu erhalten, da diese Daten im Allgemeinen nicht veröffentlicht werden. Eine Erhöhung des X-Faktors um 30% bei einer sehr geringen Ausfallquote, kann für einen Betreiber bedeutungslos sein.
- Ausfallquoten schwanken über die Zeit (d.h. eine höhere Ausfallquote für längere Refreshzyklen).
- Für Hardware außer Server (z.B. Speicher) können unterschiedliche Ausfallquoten gelten.

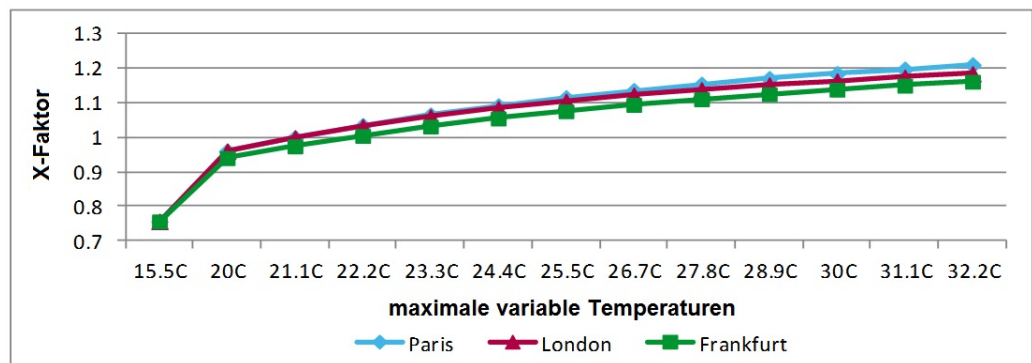
### Abbildung 9

*X-Faktor in Abhängigkeit der variablen Temperatur für Paris, London und Frankfurt*

Diese Daten zeigen, dass es bezüglich der Ausfallquote von Servern bei 20°C, zu einem Anstieg der Ausfälle kommt, wenn die Betriebstemperatur ansteigt. Daher führt ein einfaches Anheben eines FESTEN Temperatur-Sollwerts stets zu verminderter Zuverlässigkeit, wenn die Server der Kurve in **Abbildung 7** folgen.

Nach oben UND unten variable Temperaturen sind der einzige Weg zur Erhaltung der Zuverlässigkeit. Als Beispiel nehmen wir an, dass mein Datacenter die Hälfte des Jahres bei 16°C (X-Faktor = 0,8) läuft und die andere Hälfte des Jahres bei knapp 24°C (X-Faktor = 1,2), somit beträgt mein durchschnittlicher X-Faktor 1. Mit anderen Worten: Es besteht kein Einfluss auf meine Ausfälle.

**Abbildung 9** zeigt die Auswirkung der maximalen variablen Temperatur auf den X-Faktor in jeder der untersuchten Städte. Die Daten zeigen, dass eine Schwanungsbreite der IT-Umgebung bis hoch auf 21,1°C in Paris, Kosteneinsparungen ohne Nachteile bei der Zuverlässigkeit ermöglicht und jenseits dieser Temperatur zunehmend Ausfälle im Vergleich zum Basis-Szenario auftreten. Für London beträgt diese Temperatur ebenfalls 21,1°C und für Frankfurt 22,2°C. Dies wird wiederum größtenteils durch die Bin-Wetterdaten bestimmt. Bei einer hohen Zahl an Betriebsstunden bei kühlerer Temperatur (wie in Frankfurt) können diese die Betriebsstunden bei wärmerer Temperatur ausgleichen, in einer milderen Umgebung jedoch (wie in Paris) gibt es nicht so viele Betriebsstunden bei kühler Temperatur.



Ein Vergleich des Grundszenarios mit dem der höheren konstanten Temperatur von 27°C zeigt einen **Anstieg der Ausfälle von 31%**. Dies ist unabhängig vom Aufstellungsort, da die IT-Hardware nun das ganze Jahr hindurch derselben höheren Temperatur ausgesetzt ist.

Ein weiterer üblicher Diskussionspunkt im Zusammenhang mit der Zuverlässigkeit bei höheren IT-Temperaturen ist, was im Falle eines Stromausfalls passiert. Läuft mein Datacenter mit höherer Ausgangstemperatur, habe ich nur einen kleineren Zeitbereich, in dem sich alles abspielen kann, wenn mein Kühlsystem ausfällt, bevor ich meine Hardware überhitze und zerstöre<sup>9</sup>.

Leider scheint es heute nicht genug quantifizierte Daten zum Thema Zuverlässigkeit zu geben; die zugehörigen Daten sind zwar nützlich, allerdings auch unvollständig.

<sup>9</sup> Siehe White Paper 179, [Data Center Temperature Rise During a Cooling System Outage](#) (Temperaturanstieg im Datacenter bei Stromausfall).

## Alternative Szenarien

Die hier vorgestellte Untersuchung basierte auf einer bestimmten Architektur mit bestimmten Annahmen. Zwei wesentliche Varianten werden nachfolgend behandelt, weil sie in heutigen Datacentern üblich sind: Überdimensionierte Klimaschränke und gering ausgelastete Datacenter.

### Was ist, wenn meine Klimaschränke überdimensioniert sind?

In der oben beschriebenen Untersuchung sind wir davon ausgegangen, dass der Luftstrom vom Klimaschrank mit der Luftstrom-Anforderung des IT-Servers genau übereinstimmt, was aus Sicht der Investitionskosten das Optimum darstellt. Dies kommt in der Praxis jedoch so gut wie nie vor, weil immer ein Teil der kalten Luft an den Lufteinlässen der IT-Hardware vorbei strömt. In einem realen Datacenter liegt die installierte Luftstrom-Kapazität in den Klimaschränken stets über den Anforderungen der IT-Hardware, um zu gewährleisten, dass sämtliche IT-Geräte die erforderliche Menge an kalter Luft erhalten. Diese Überdimensionierung mag bis zu einem gewissen Grad Absicht und als Sicherheitsspielraum oder Redundanz gedacht sein, ein weiterer Teil ist jedoch nicht beabsichtigt, da eine Vorhersage von Lasten schwierig ist oder eine Verringerung von Lasten aufgrund der Virtualisierung erfolgen kann. Eine Auswertung durch das Uptime Institute<sup>10</sup> hat ergeben, dass die Überdimensionierung im Durchschnitt das 2,6fache der von der Hardware benötigten Größe beträgt. Diese Überdimensionierung ist offensichtlich ein Nachteil hinsichtlich der Investitionskosten, kann jedoch in der Tat den Energieverbrauch im Vergleich zum idealen "perfekt angepassten" Fall verringern.

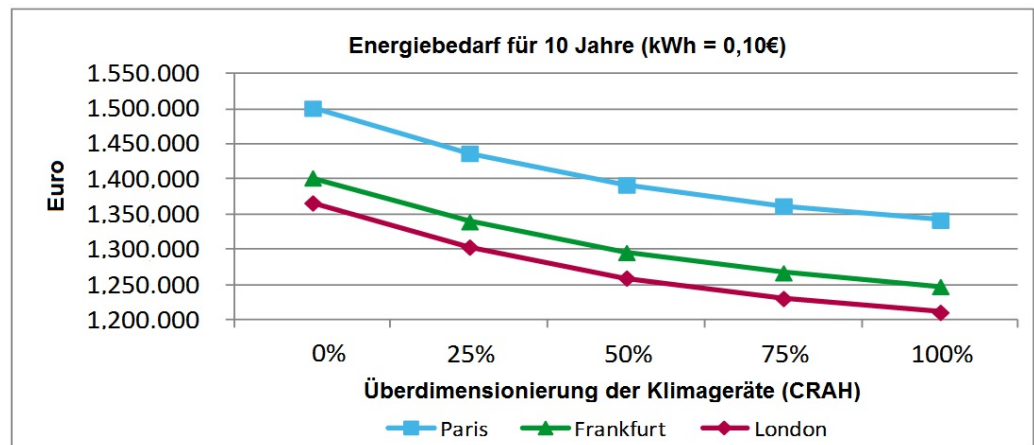
Dies liegt in den Lüftergesetzen, nach denen der Leistungsbedarf des Lüfters proportional zur 3. Potenz der Lüfterdrehzahl ist. Bei Überdimensionierung des Luftstroms aus den Klimaschränken laufen die drehzahlgeregelten Lüfter mit geringerem Durchsatz (d.h. mit niedrigerer Drehzahl) und verbrauchen daher weniger Energie. Wir haben die Folgen der zur Kühlung notwendigen Energie bei einem überdimensionierten Luftstrom über einen Zeitraum von 10 Jahren bei 25%, 50%, 75% und 100% untersucht und dabei die IT-Eingangstemperatur bis auf 27°C variieren lassen.

**Abbildung 11** zeigt, dass bei allen 3 Städten weniger Energie bei geringerer Überdimensionierung verbraucht wurde. Beachten Sie aber, dass die Überdimensionierung der Klimaschränke auch die Investitionskosten erhöht, was in typischen Fällen die Energieeinsparungen über einen Zeitraum von 10 Jahren übersteigt. Eine gewisse Überdimensionierung hilft zwar, Hot Spots vor der Hardware zu vermeiden, diese ist jedoch mit ordnungsgemäßer Betriebsführung in Einklang zu bringen.

<sup>10</sup>[https://uptimeinstitute.com/uptime\\_assets/c7f39bad00527fa4e2207a5f1d5dfc1f8295a0a27287bb670ad03fafbdaa0016-00000web4.pdf](https://uptimeinstitute.com/uptime_assets/c7f39bad00527fa4e2207a5f1d5dfc1f8295a0a27287bb670ad03fafbdaa0016-00000web4.pdf)

**Abbildung 11**

Auswirkung der Überdimensionierung des Klimaschranks auf die Energiekosten über 10 Jahre bei variabler Temperatur von 15,6 - 26,7°C



### Was ist, wenn mein Datacenter nur mit 50% Last betrieben wird?

Dies ist sicherlich eine wichtige Frage, da die Kapazitäten der meisten Datacenter (in kW) auf ungewissen zukünftigen Lasten beruhen, was zu Systemen führt, die in der Praxis nicht voll genutzt werden. Die meisten Datacenter laufen mit einer Last zwischen 30 und 60%.

Wir haben dieselbe Analyse wie oben durchgeführt, jedoch mit einem 1 MW Datacenter mit 50% Last (500 kW) und einer zusätzlichen Kapazität der Klimaschränke von 25%. **Tabelle 4** (Grundscenario verglichen mit variablen Temperaturen) und **Tabelle 5** (Grundscenario verglichen mit konstanten höheren Temperaturen) zeigen die Ergebnisse.

Beim Variieren der Temperaturen in einem Datacenter mit 50% Last verbessern sich die Einsparungen (als Prozentsatz der Energie mit der konstanten Temperatur im Grundscenario). Der größte Teil der zusätzlichen Einsparungen kommt daher, dass weniger Energie für die Kühlaggregate aufgewendet werden muss, was das Ergebnis von mehr freien Betriebsstunden der Kühlung ist. Dies liegt daran, dass der unter halber Last laufende Freikühler in der Lage ist, die Kaltwassertemperatur früher im Jahr zu erreichen (geringere Annäherungstemperatur).

Hier muss man sich bewusst sein, dass diese Einsparungen nur dann zu erzielen sind, WENN die Temperatur in Datacenter variieren kann. In der Praxis passiert das nahezu nie, da Regelungen nicht dafür ausgelegt sind, Temperaturen dynamisch/automatisch einzustellen. Tabelle 5 zeigt die Ergebnisse des Datacenters mit 50% Last bei Anhebung der Temperatur in den IT-Räumen auf einen festen Wert von 27°C. Im Vergleich mit dem Grundscenario mit konstanter Temperatur, stellt dies einen energetischen Nachteil in allen drei untersuchten Städten dar. Darüber hinaus erhöht sich auch der X-Faktor, da die IT-Hardware einer konstant höheren Temperatur ausgesetzt ist. Wie bereits erwähnt, kann dies hinsichtlich der Zuverlässigkeit wichtig sein. In allen Szenarien hat sich die PUE verbessert, was auf die begrenzt sinnvolle Verwendung dieses Maßes als einzigen Maßstab zur Entscheidungsfindung hindeutet.

**Tabelle 4**

Zusammenfassung der Ergebnisse des Vergleichs zwischen dem Grundszenario (20°C konstant) und dem bei variabler Temperatur (zwischen 15,6° und 26,7°C) bei einem Datacenter mit **50% LAST**

	Paris	London	Frankfurt
Gesamt-Energieverbrauch (kWh)	13% <b>Einsparung</b>	10% <b>Einsparung</b>	12% <b>Einsparung</b>
pPUE (nur Kühlung)	<b>Verbesserung</b> von 1,18 auf 1,15	<b>Verbesserung</b> von 1,171 auf 1,150	<b>Verbesserung</b> von 1,172 auf 1,147
Temperatur mit geringsten Gesamtbetriebskosten	27°C	27°C	27°C
X-Faktor	<b>Verbesserung</b> von 1 auf 0,904	<b>Verbesserung</b> von 1 auf 0,867	<b>Verbesserung</b> von 1 auf 0,89

**Tabelle 5**

Zusammenfassung der Ergebnisse des Vergleichs zwischen dem Grundszenario (20°C konstant) und dem bei **KONSTANTER** Temperatur von 27°C bei einem Datacenter mit **50% LAST**

	Paris	London	Frankfurt
Gesamt-Energieverbrauch (kWh)	8% <b>Mehrverbrauch</b>	3% <b>Mehrverbrauch</b>	10% <b>Mehrverbrauch</b>
pPUE (nur Kühlung)	<b>Verbesserung</b> von 1,18 auf 1,15	<b>Verbesserung</b> von 1,171 auf 1,148	<b>Verbesserung</b> von 1,172 auf 1,145
X-Faktor	<b>Verschlechterung</b> von 1 auf 1,309	<b>Verschlechterung</b> von 1 auf 1,309	<b>Verschlechterung</b> von 1 auf 1,309

Die in diese Tabellen dargestellten prozentualen Verbesserungen/Verschlechterungen lassen sich auf mehrere Faktoren zurückführen. Ein Datacenter mit 50% Last hat einen überdimensionierten Freikühler, durch den wir mehr Freikühl-Betriebsstunden erhalten, was wiederum weniger Betriebszeit für das Kühlaggregat bedeutet. Dies wirkt sich nicht nur auf den Energieverbrauch des Freikühlers und des Kühlaggregats aus, sondern auch (bei Betrieb mit variabler Temperatur) auf die Nachteile beim Stromverbrauch. Diese Veränderungen sind ortsspezifisch (Bin-Daten-spezifisch) und bei Änderungen dieser Dynamik, ändern sich auch die Hauptfaktoren für den Gesamt-Energieverbrauch.

Daher finden Sie in diesem Papier möglicherweise Ergebnisse, die der Intuition scheinbar widersprechen. Bedenken Sie, dass es sich bei sämtlichen dargestellten Ergebnissen um Einsparungen/Mehrausgaben für einen Ort und eine Last handelt, die in Relation zum Grundszenario betrachtet werden.

## Empfehlungen

Die Analysen des vorliegenden Papers zeigen, dass es zahlreiche Variablen gibt, die Kosteneinsparungen (oder auch Mehrkosten) beeinflussen und dass das Anheben der Temperaturen nicht immer sinnvoll ist. Bevor man die Temperatur in einem Datacenter verändert, muss man die Auslegungsbedingungen, die Systemeigenschaften, die Last etc. gut verstanden haben. Vor dem Anheben einer Datacenter-Temperatur empfehlen wir die folgenden Schritte:

- Maßnahmen zur Luftführung wie z.B. geschlossene Luftverteilung und Abdeckblenden müssen umgesetzt werden, bevor man versucht, die IT-Eingangstemperatur zu erhöhen. Dadurch werden Hot Spots vermieden. White Paper 153 [Implementing Hot and Cold Air Containment in Existing Data Centers](#) (Einsatz von Warmgang- und Kaltgangeinhausungen in bestehenden Datacentern) enthält nähere Informationen zur Umsetzung dieser Maßnahmen.
- Sie müssen verstanden haben, wie Ihre Hardware sich bei Anhebung der Temperatur verhält (Leistungsverbrauch und Lüftungsanforderungen). Erfragen Sie diese Angaben bitte bei Ihren Hardware-Lieferanten.
- Prüfen Sie, ob Sie die BIOS-Einstellungen Ihrer Hardware so ändern können, dass die Leistung bei höheren Temperaturen optimiert wird. Diese Vorgehensweise erfordert eine stärkere Zusammenarbeit zwischen den Facility- und IT-Abteilungen.
- Der X-Faktor beinhaltet eine Voraussage zur relativen Zunahme der Ausfallquoten. Sie sollten jedoch mit Ihrem/Ihren IT-Lieferanten sprechen, um festzulegen, ob die Veränderung signifikant genug ist, um diesen Aspekt weiter zu verfolgen.
- Da Datacenter nicht nur aus Servern bestehen, müssen Sie auch die Auswirkungen der Zuverlässigkeit auf andere Geräte wie Speichereinheiten und Netzwerkkomponenten verstanden haben.
- Sorgen Sie dafür, dass Ihr Kühlsystem bei erhöhten Temperaturen arbeiten kann (d.h. einige Kühlaggregate funktionieren bei höheren Kaltwassertemperaturen nicht).
- Achten Sie darauf, dass Ihr Wachstumsplan die möglichen negativen Auswirkungen hinsichtlich Energieverbrauchs einer erhöhten IT-Eingangstemperatur berücksichtigt. Mit anderen Worten: Einsparungen bei 50% Last können sich als Mehrkosten bei 80% Last herausstellen.
- Berechnen Sie, wie viel Energie Sie insgesamt durch Anhebung der Temperatur im Vergleich zu anderen Optimierungsstrategien einsparen können. Unternehmen wie z.B. Romonet<sup>11</sup> bieten Software an, die Ihnen dabei hilft, die Systemdynamik Ihres Datacenters zu analysieren. Dies ist wichtig, da sich jedes Datacenter anders verhält.
- Betrachten Sie bei der Auswertung von Änderungen die Gesamt-Energieeinsparungen als Maß, da PUE allein zu falschen Schlüssen führen kann.

<sup>11</sup> <http://www.romonet.com>



## Zusammenfassung

Betreiber von Datacentern machen sich viele Gedanken darüber, ob sie die Temperaturen in ihren IT-Bereichen erhöhen sollen. Ist das sicher? Was ist die richtige Temperatur? Ist es das höhere Risiko wert? Dies sind einige der im Raum stehenden Fragen. Das vorliegende Paper hilft bei der Erklärung der Auswirkungen einer erhöhten IT-Temperatur. Die Architektur muss vollständig verstanden worden sein und vor der Festlegung der Betriebspunkte muss eine vollständige Analyse erfolgt sein. Die vorliegende Untersuchung hat Folgendes gezeigt:

- Die Kühlarchitektur und die geographische Lage (insbesondere das Klima-Temperaturprofil) haben entscheidenden Einfluss auf den optimalen Sollwert der IT-Luftansaugtemperatur.
- Die Art des Server-Lüfters und die Luftstrom-Kurve sind entscheidende Faktoren.
- Ein Anheben der Temperaturen verbessert zwar die Effizienz der Kühlaggregate (durch Erhöhung der Freikühl-Betriebsstunden), diese Einsparungen können jedoch durch einen höheren Energieverbrauch der IT und der Klimaschranke wieder zunichte gemacht werden.
- Betriebsbedingungen wie z.B. die prozentuale Last und der Einfluss der Überdimensionierung/Redundanz von Klimaschranken bestimmen, ob man Kosten einspart oder Mehrkosten zu tragen hat.
- Sie sollten nicht davon ausgehen, dass eine Anhebung der Temperatur immer sinnvoll ist. Bevor Sie Änderungen vornehmen, müssen Sie Ihre spezifische Systemdynamik vollständig verstanden haben.
- Kühlsysteme mit direkter Freikühlung oder indirekten Luft-Luft-Wärmetauschern werden wahrscheinlich bessere Leistungen erbringen, als die hier untersuchten Kompakt-Kühlaggregate mit integriertem Freikühler.

## Infos zu den Autoren

**Wendy Torell** ist Senior Research Analyst im Schneider Electric Data Center Science Center. In dieser Funktion forscht sie zu Best Practices bei Auslegung und Betrieb von Datacentern, veröffentlicht White Papers und Artikel und entwickelt TradeOff Tools, um Kunden bei der Optimierung der Verfügbarkeit, Effizienz und Kosten ihrer Datacenter-Umgebungen zu helfen. Darüber hinaus berät sie Kunden zu Ansätzen der Verfügbarkeitskunde und Auslegungstechnik, um sie beim Erreichen der Leistungsziele ihrer Datacenter zu unterstützen. Sie hat ihr Studium am Union College in Schenectady, NY als Bachelor of Mechanical Engineering sowie ein MBA-Studium an der University of Rhode Island abgeschlossen. Wendy Torell ist ASQ Certified Reliability Engineer.

**Kevin Brown** ist Vice President Data Center Global Solution Offer & Strategy bei Schneider Electric. Er hat sein Studium an der Cornell University mit einem BS-Abschluss in Maschinenbau abgeschlossen. Vor seinem Wechsel zu Schneider Electric war Kevin Brown Director of Market Development bei Airxchange, einem Hersteller von Energierückgewinnungs-Produkten und -Bauteilen im Bereich Heizung, Klima und Lüftung. Davor hatte er zahlreiche leitende Management-Funktionen bei Schneider Electric inne, darunter die des Directors der Software Development Group.

**Victor Avelar** ist Director and Senior Research Analyst im Schneider Electric Data Center Science Center. Er ist verantwortlich für Design und Operations Research in Datacentern und berät Kunden bei Risikobewertung und Auslegungstechnik, um die Verfügbarkeit und Effizienz ihrer Datacenter-Umgebungen zu optimieren. Er hat einen Bachelorabschluss im Fach Maschinenbau des Rensselaer Polytechnic Institute und einen MBA des Babson College. Er ist Mitglied von AFCOM.


Die deutschsprachige Version dieses White Papers wurde von Michael Schumacher, Senior Systems Engineer, bearbeitet.



## Ressourcen

 [Fundamental Principles of Air Conditioners for Information Technology](#)  
White Paper 57


 [Economizer Modes of Data Center Cooling Systems](#)  
White Paper 132


 [Energy Impact of Increased Server Inlet Temperature](#)  
White Paper 138

 [Cooling Entire Data Centers Using Only Row Cooling](#)  
White Paper 139

 [Data Center Temperature Rise During a Cooling System Outage](#)  
White Paper 179

 [All White Paper](#)  
[whitepapers.apc.com](http://whitepapers.apc.com)

 [Cooling Economizer Mode PUE Calculator](#)  
TradeOff Tool 11

 [Alle TradeOff Tools™](#)  
[tools.apc.com](http://tools.apc.com)

## Kontaktieren Sie uns

Rückmeldungen und Anmerkungen zum Inhalt dieses White Paper:

Data Center Science Center  
[dcsc@schneider-electric.com](mailto:dcsc@schneider-electric.com)

Falls Sie Kunde sind und Fragen zu Ihrem spezifischen Datacenter-Projekt haben:

Sprechen Sie Ihren Schneider Electric Vertreter an  
[www.apc.com/support/contact/index.cfm](http://www.apc.com/support/contact/index.cfm)