

# **OPTIMIERTE ENERGIEEFFIZIENZ DURCH GEREGLTE KALTGANGEINHAUSUNGEN**

## Whitepaper

Revision B: In dieser überarbeiteten Version wurden die neuesten Erkenntnisse über die Verluste durch die Server im Leerlauf eingearbeitet. Außerdem wurde ein moderneres und energieeffizienteres Umluftkühlgerät verwendet.

## INHALT

Executive Summary.....	3
Einleitung.....	3
Druckregelung mit etwa 20 Pa.....	3
SmartAisle™ Regelung mit Temperatur.....	4
Basisdaten für den Vergleich.....	5
Flächenberechnung aller geometrischen Spaltflächen.....	6
Tatsächlich wirksame Spaltflächen.....	7
Luftgeschwindigkeit und Volumenstrom durch Spalte.....	8
Luftverlust durch Server.....	10
Summe der Luftverluste.....	12
Stromkosten für den Antrieb der Umluftkühlgeräte.....	12
Ergebnisse Strombedarf/Stromkosten.....	16
Zusammenfassung und Bewertungen.....	17
Weitere Betrachtung und Ausblick.....	18
Referenzen.....	18

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1: Druckregelung.....	4
Abb. 2: SmartAisle™ Regelung mittels Temperatur.....	5
Abb. 3: Beispiel-Rechenzentrum.....	6
Abb. 4: Verlust an Kühlluft durch Schlitze am Beispiel Druckregelung.....	6
Abb. 6: Luftverlust.....	10
Abb. 7: Luftverlust.....	11
Abb. 8: Kennlinie eines typischen EC-Lüfters.....	13
Abb. 9: Ergebnisse „Jährlicher Strombedarf“.....	15
Abb. 10: Ergebnisse „Jährliche Stromkosten“.....	16

## EXECUTIVE SUMMARY

Der Vergleich hat ergeben, dass die SmartAisle™ Regelung mittels der Temperatur gegenüber der Druckregelung die wesentlich bessere Möglichkeit ist.

- nur ca. 40 % an Strombedarf für Antrieb der Lüfter im Vergleich zur Druckregelung
- zuverlässige Versorgung aller Kaltgänge
- keine negativen Auswirkungen auf Lüfter im IT-Equipment

## EINLEITUNG

Wegen steigender Stromkosten und wegen eines gestiegenen Umweltbewusstseins ist es heutzutage das Ziel fast jedes Betreibers das Rechenzentrum möglichst energieeffizient zu betreiben.

Die grundlegende Trennung der kalten Luft von der warmen Luft mit Blindplatten, Bürsten für Kabeleinführung, Kaltgang-Einhausung, usw. wurden von vielen bereits realisiert. Durch die Anpassung der Lüfterdrehzahl der Umluftkühlgeräte kann das Rechenzentrum weiter optimiert werden. Dies ist ein wesentlicher und wichtiger Bestandteil eines energieeffizienten Rechenzentrums. Durch die richtige Wahl der Regelung kann der Betreiber enorme Stromkosten einsparen. Zusätzlich kann durch die richtige Wahl die Verfügbarkeit erhöht werden. Der Ausfall eines Umluftkühlgeräts wird durch Erhöhung der Drehzahl der übrigen Umluftkühlgeräte kompensiert.

Es gibt zwei hauptsächlich gebräuchliche Regelungsprinzipien – die Druckregelung und die Regelung über die Kaltgangtemperatur.

## DRUCKREGELUNG MIT ETWA 20 PA

Bei dieser Überdruckregelung wird der Bereich des Doppelbodens und der eingehausten Kaltgänge permanent auf einem Differenzdruck von typischerweise 20 Pa gehalten (siehe Abb. 1).

Die Server saugen die Menge an Luft an, die zur Kühlung benötigt wird, und werden durch den Druck zusätzlich überdrückt.

Die Drehzahl der Lüfter in den Umluftkühlgeräten wird mit dem Drucksensor geregelt. Wenn die Server einen höheren Luftvolumenbedarf haben, als die Umluftkühlgeräte liefern, so sinkt der Druck in dem Bereich. Die Drehzahl wird erhöht. Bei einem niedrigeren Bedarf an Kühlluft erhöht sich der Druck in dem Bereich und die Drehzahl der Lüfter in den Umluftkühlgeräten wird verringert.

Der Kaltgang wird permanent etwas übertversorgt. Die Regelung erfolgt im „Partner-Mode“, d.h. alle Umluftkühlgeräte laufen mit gleicher Drehzahl.

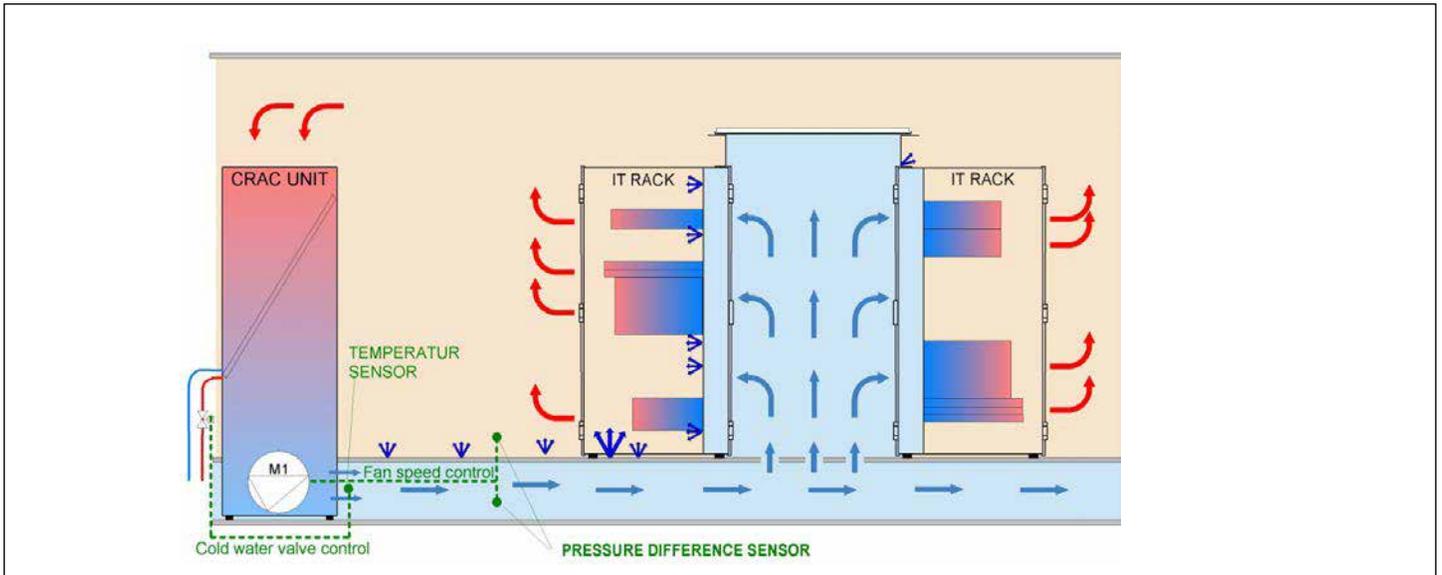


Abb. 1: Druckregelung

## SMARTAISLE™ REGELUNG MIT TEMPERATUR

Beim SmartAisle™ Regelungsprinzip werden mittels der Kaltgang-Temperatur, also der Zulufttemperatur für die Server, die Lüfter in den Raum-Klimageräten geregelt (siehe Abb. 2). Dieses Regelungsprinzip ist patentiert.

Der Raum des Doppelbodens und der Kaltgänge wird nahezu drucklos mit Kaltluft befüllt. Die Server saugen exakt die Menge an Luft an, die zur Kühlung benötigt wird.

Es strömt kontrolliert eine kleine Menge der Kaltluft durch die Luftregulierungsöffnung des Winkelprofils der Kaltgang-Einhausung in der Temperaturfühler T1 positioniert ist. Dieser Temperaturfühler regelt die Drehzahl der Lüfter in den Umluftkühlgeräten. Wenn die Server einen höheren Luftvolumenbedarf haben, als die Umluftkühlgeräte liefern, so ändert sich die Durchströmungsrichtung am Temperatursensor T1. Warme Luft strömt in den Kaltgang. Dies misst der Temperaturfühler T1, und die Kontrolleinheit regelt die Drehzahl der Lüfter in den Umluftkühlgeräten nach oben. Die Regelung erfolgt üblicherweise nach dem Sensor mit der höchsten Temperatur.

Um sicherzustellen, dass der Kaltgang nicht überversorgt wird, wird die Drehzahl der Umluftkühlgeräte kontinuierlich langsam gesenkt, bis etwas Warmluft aus der Warmzone an den Temperatursensor strömt. Daraufhin wird die Drehzahl wieder erhöht, und die Menge an Kaltluft erhöht sich. Dieser Zyklus wird kontinuierlich wiederholt. Die Regelung erfolgt im „Partner-Mode“, d.h. alle Umluftkühlgeräte laufen mit gleicher Drehzahl.

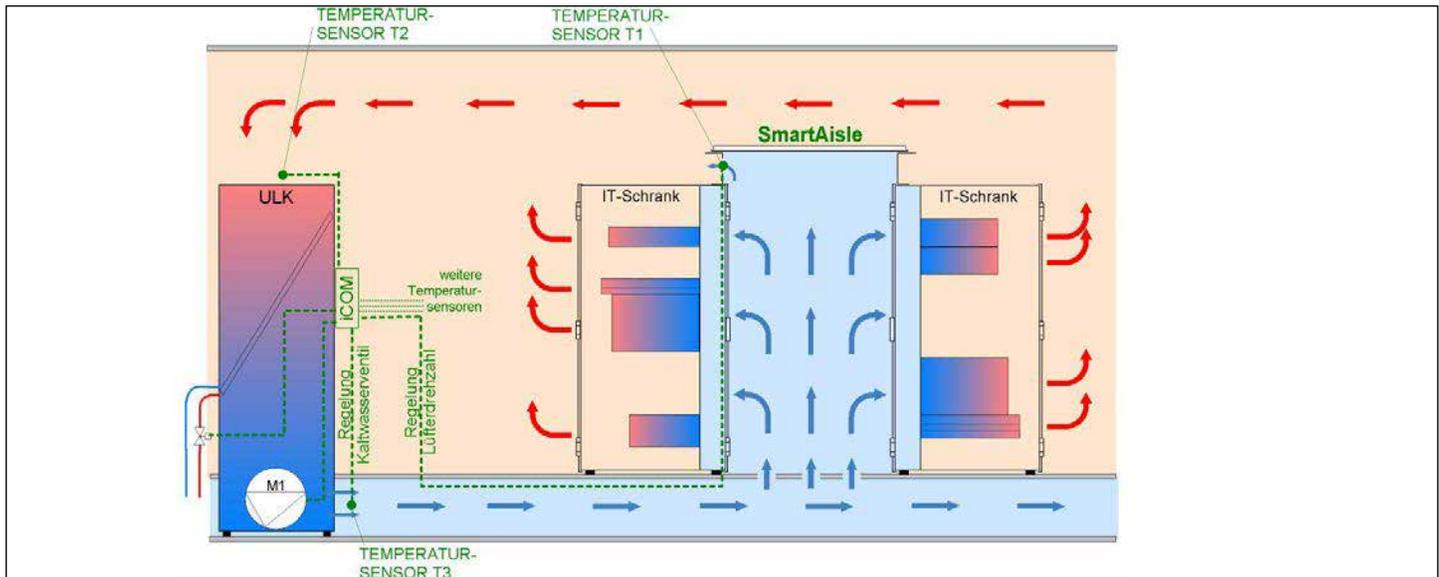


Abb. 2: SmartAisle™ Regelung mittels Temperatur

## BASISDATEN FÜR DEN VERGLEICH

Es wurde ein mittleres Beispiel-Rechenzentrum für den Vergleich gewählt (siehe Abb. 3).

- 3 Kaltgänge je 2 x 8 Schränke
- Schrank je 800 mm x 1200 mm x 2200 mm (B x T x H)
- Schrank je 5 kW Verlustleistung (DT = 15 K),
- d.h. 240 kW im Raum; 50% bestückt (6 x 4 HE); Rest Blindplatten 2 HE (11 ST)
- 50% der Zeit Leerlauf des IT-Equipments
- Kaltgang-Einhausung mit Schiebetüren an beiden Seiten
- Gitterplatten im Doppelboden
- Umluftkühlgerät Liebert PH091EL (Wassertemperatur Zulauf 15°C; Wassertemperatur Rücklauf 20 °C)
- Stromkosten 0,15 € pro kWh

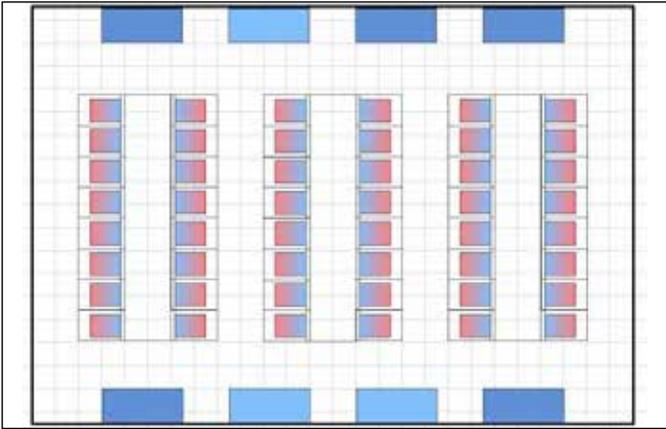


Abb. 3: Beispiel-Rechenzentrum

### Berechnung notwendiger Volumenstrom

Der für die Kühlung erforderliche Luftvolumenstrom ergibt sich aus der Energiegleichung für offene Systeme.

$$f(250 - 500) = 3,3 [m^3K / Wh]$$

$$V = \frac{(f(h) \times Q)}{\Delta T}$$

$$V = \frac{(3,3 \times 240.000)}{15} [m^3 / h]$$

$$V = 52.800 [m^3/h]$$

V = Volumenstrom [m³/h]

f(h) = Hilfsfaktor [m³K/Wh]

ΔT = Temperaturdifferenz [K]

Q = erforderliche Kühlleistung [W]

h = Betriebshöhe über Meeresniveau [m]

f(0-100) = 3,1 [m³K/Wh]

f(100-250) = 3,2 [m³K/Wh]

f(250-500) = 3,3 [m³K/Wh]

f(500-750) = 3,4 [m³K/Wh]

f(750-1000) = 3,5 [m³K/Wh]

Da in Realität Einhausungen nie vollständig luftdicht sind, geht - in Abhängigkeit von der Druckdifferenz - durch Spalte Luft verloren, die zusätzlich durch die Lüfter in den Umluftkühlgeräten umgewälzt werden muss.

## FLÄCHENBERECHNUNG ALLER GEOMETRISCHEN SPALTFLÄCHEN

Durch Komponenten, welche flexibel auf- oder eingebaut werden müssen (z. B. 19"-Equipment), und durch Kabeldurchführungen ergeben sich zwangsläufig Spalte und Öffnungen.

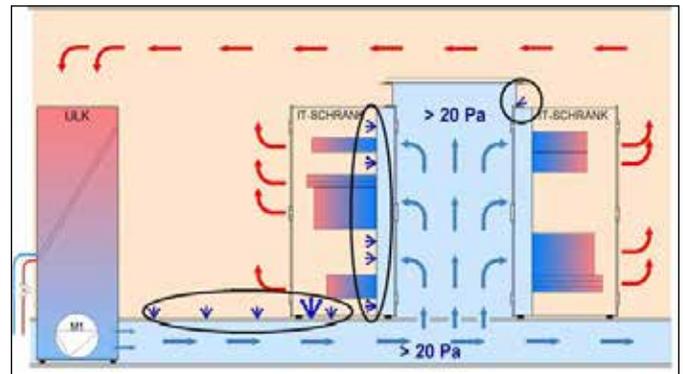


Abb. 4: Verlust an Kühlluft durch Schlitze am Beispiel Druckregelung

Der Schrank hat die größte geometrische Spaltfläche, da der Schrank flexibel Komponenten aufnehmen muss. Die größte Spaltfläche ergibt sich durch die 19"-Norm zwischen 19"-Einbauten und den 19"-Blindplatten. Auch durch die seitlichen Blenden für die Kalt-Warm-Trennung im Schrank und durch Bürsten ergeben sich Spaltflächen. Die Einhausung selbst hat eine verhältnismäßig geringe Spaltfläche. Beim Doppelboden ergeben sich hauptsächlich durch die Kabeldurchführung durch Bürsten oder ähnliches Spaltflächen.

	Druckregelung	SmartAisle™ Temperaturregelung
Schrank	0,529 m <sup>2</sup>	0,529 m <sup>2</sup>
Einhausung	0,093 m <sup>2</sup>	0,121 m <sup>2</sup> *
Doppelboden	0,454 m <sup>2</sup>	0,454 m <sup>2</sup>
Gesamtes Rechenzentrum	1,076 m <sup>2</sup>	1,104 m <sup>2</sup>

\* inkl. Luftregelungsöffnungen

Die Spaltflächen unterscheiden sich lediglich durch die Luftregelungsöffnungen, in denen bei der SmartAisle™ Regelung die Temperatursensoren angebracht sind.

## TATSÄCHLICH WIRKSAME SPALTFLÄCHEN

In Spalten kommt es immer zu einer mehr oder weniger stark ausgeprägten Strahleinschnürung. Der Effekt der Strahleinschnürung auf das Durchflussverhalten wird mit einer Kontraktionszahl  $\mu$  berücksichtigt. Durch die Kontraktion verringert sich die tatsächlich wirksame Spaltenbreite von kleinen Spalten.

Die Kontraktionszahl  $\mu$  gibt die Stärke der Strahleinschnürung wieder, und ist definiert als

$$\mu = \frac{A_1}{A_{Sp}}$$

wobei wie in Abb. 1 dargestellt,  $A_{Sp}$  der geometrische Spaltquerschnitt ist und  $A_1$  der Querschnitt des Strahls an der Stelle der stärksten Einschnürung (siehe Abb. 5).

Die Strahleinschnürung durch scharfkantige Labyrinthbleche ist groß und darf nicht vernachlässigt werden.

$\mu_0$  ist die Kontraktionszahl einer scharfkantigen Blende, welche nach Greitzer für einen unendlich langen Spalt ( $A_0/A_{Sp} \gg 1$ ) 0,611 ist.

Nach Trutnovsky und Komotori kann die Kontraktionszahl meines Drosselblechs näherungsweise wie folgt berechnet werden [1].

$$\mu = \mu_0 \times \frac{s+r}{s}$$

$s$  = Spaltweite [m]

$r$  = Kantenradius [m]

$\mu$  = Kontraktionszahl

$\mu_0$  = Kontraktionszahl (unendlicher Spalt) = 0,611

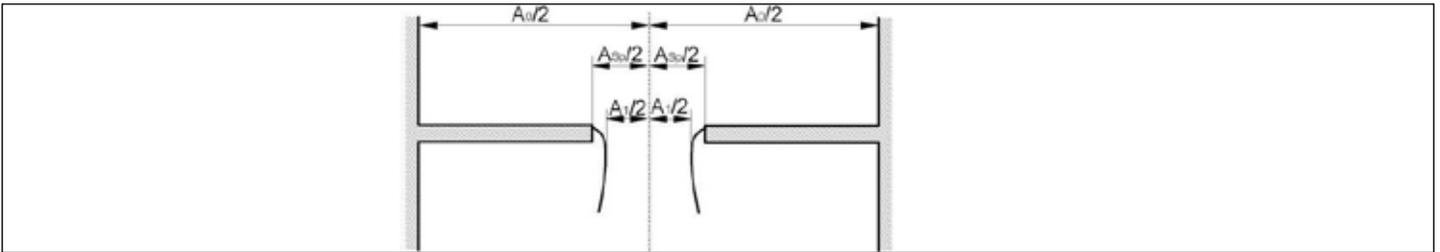


Abb. 5:

Daher ergeben sich in der Realität die folgenden tatsächlich wirksamen Spaltflächen.

	Druckregelung	SmartAisle™ Temperaturregelung
Schrank	0,485 m <sup>2</sup>	0,485 m <sup>2</sup>
Einhausung	0,074 m <sup>2</sup>	0,092 m <sup>2</sup> *
Doppelboden	0,322 m <sup>2</sup>	0,322 m <sup>2</sup>
<b>Gesamtes Rechenzentrum</b>	<b>0,882 m<sup>2</sup></b>	<b>0,899 m<sup>2</sup></b>

\* inkl. Luftregelungsöffnungen

## LUFTGESCHWINDIGKEIT UND VOLUMENSTROM DURCH SPALTE

Die Luftgeschwindigkeit durch Schlitze wird wie folgt berechnet.

$$v = \sqrt{\frac{(2 \times \Delta p)}{\rho}}$$

bzw.

$$\Delta p = \frac{(v^2 \times \rho)}{2}$$

$v$  = Luftgeschwindigkeit [m/s]

$\Delta p$  = Differenzdruck [Pa]

$\rho$  = Dichte [kg/m<sup>3</sup>];  $\rho_{\text{Luft, 25°C}} = 1,1839 \text{ kg/m}^3$

## Druckregelung

Diese Regelung erfolgt mit einem minimalen Druck von 20 Pa. Gemäß der Formel ergibt sich die Luftgeschwindigkeit:

$$v = \sqrt{\frac{(2 \times 20)}{1,1839}} [m/s]$$

$$v = 5,81 [m/s]$$

SmartAisle™ Temperaturregelung: Die Regelung erfolgt so, dass die Luft mit einer Geschwindigkeit von etwa 1 m/s durch die Regulierungsöffnungen strömt. Der dafür erforderliche Differenzdruck beträgt:

$$\Delta p = \frac{(1^2 \times 1,1839)}{2} [Pa]$$

$$\Delta p = 0,59 \approx 0,6 [Pa]$$

Der Verlust von Volumenstrom durch die Spalte wird folgendermaßen berechnet.

$$V = v \times A$$

V = Volumenstrom [m³/h]

v = Luftgeschwindigkeit [m/s]

A = Spaltfläche [m²]

Für das Objektbeispiel ergeben sich die folgenden Werte.

	Druckregelung	SmartAisle™ Temperaturregelung
Druck	20 Pa	0,6 Pa
Luftgeschwindigkeit	5,81 m/s	1,00 m/s
Verlust Volumenstrom durch Spalte	18.446 m³/h	3.238 m³/h

Bei der Druckregelung geht also erheblich mehr Luft durch die Spalte verloren. Das hat entscheidenden Einfluss auf den Energieverbrauch für die Luftumwälzung, da die Lüfter in den Umluftkühlgeräten erheblich mehr Luft fördern müssen.

Das folgende Diagramm (siehe Abb. 6) zeigt, dass mit steigendem Druck auch die Kaltluftverluste steigen.

SmartAisle™ arbeitet in einem Bereich mit einem geringen Verlust an Kaltluft durch die Spalte. Der Kaltluftverlust der Druckregelung ist viel höher.

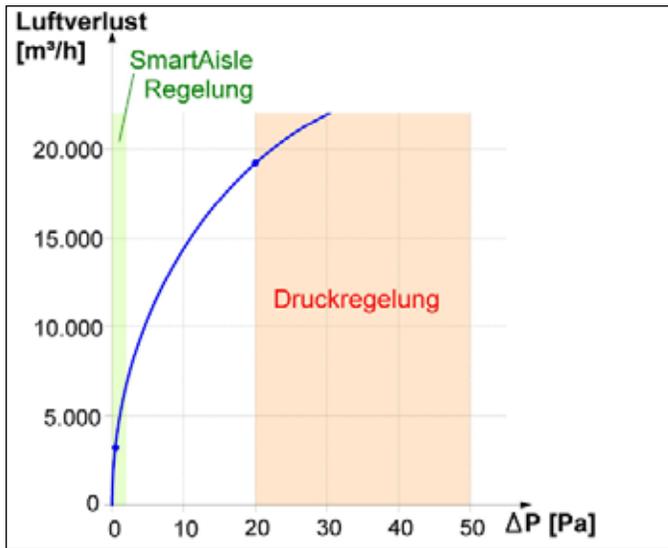


Abb. 6: Luftverlust

## LUFTVERLUST DURCH SERVER

Moderne Server werden typischerweise für einen drucklosen Betrieb entwickelt, d.h. das Lüfter-Design wird so konfiguriert, dass am Servereinlass und am Serverauslass kein positiver oder negativer statischer Druck vorliegt. Üblicherweise wird davon ausgegangen, dass Server im Leerlauf dicht sind (auch bei CFD Simulationen). Das theoretische Modell eines Servers, der dicht ist, ist aber falsch [1].

Daniel Kennedy hat einige Server bei unterschiedlichen Drücken vermessen. Die nachfolgende Tabelle zeigt die Zusammenfassung der prozentualen Leckage im Leerlauf aller vermessenen Servern. Er geht davon aus, dass etwa 70% der Zeit die Server im Leerlauf sind. Wegen der Server-Virtualisierung gehen wir von maximal 50% Leerlauf der Server für die nahe Zukunft aus.

Druck [in/H <sub>2</sub> O]	Druck [P]	Mehr-Luftbedarf von Servern im Leerlauf
0	0	0,0%
0,02	5	23,5%
0,04	10	39,7%
0,05	12,5	47,8%
0,06	15	56,0%
0,08	20	69,4%
0,1	25	82,6%
0,12	30	93,5%
0,14	35	105,1%
0,16	40	116,9%
0,18	45	126,5%
0,2	50	136,5%

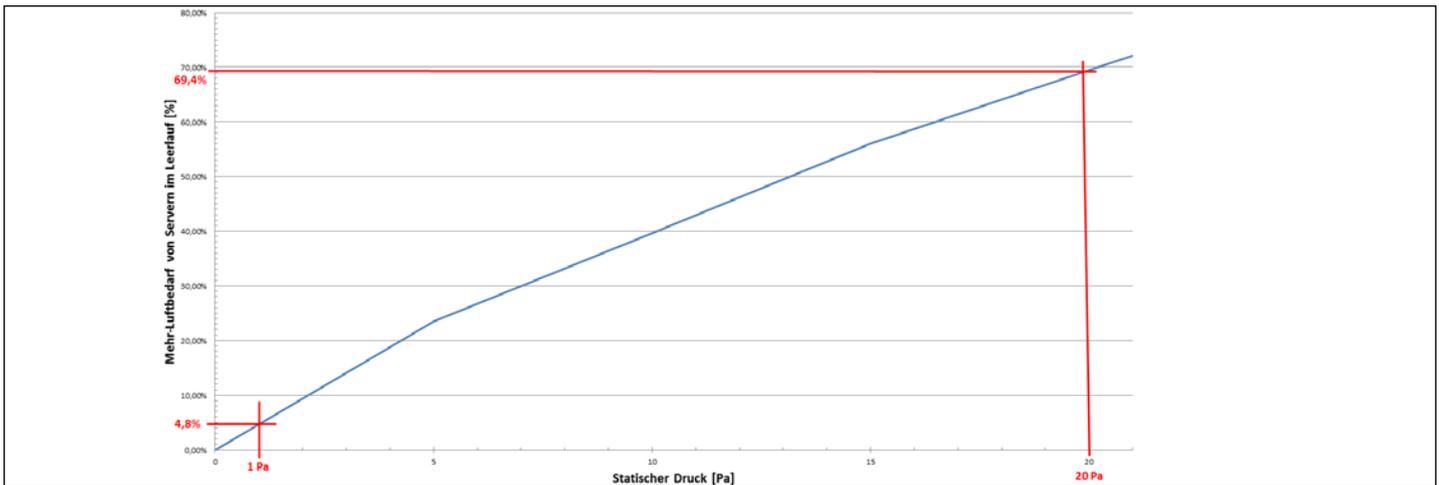


Abb. 7: Luftverlust

Gemäß den Messungen von Daniel Kennedy ergeben sich für unsere zwei Regelungen ein zusätzlicher Verlust an Volumenstrom durch die Server im Leerlauf von 69,4 % für die Druckregelung und 4,8 % für die SmartAisle™ Temperaturregelung.

Der Verlust von Volumenstrom durch die Server wird folgendermaßen berechnet.

$$V_s = k \times t \times V_t$$

VS = Verlust Volumenstrom durch Server [m³/h]

k = Koeffizient nach Daniel Kennedy

t = Zeit Leerlauf Server [%]

Vt = theoretischer Volumenstrom [m³/h]

Für das Objektbeispiel ergeben sich die folgenden Werte.

	Druckregelung	SmartAisle™ Temperaturregelung
Druck	20 Pa	0,6 Pa
Luftgeschwindigkeit	5,81 m/s	1,00 m/s
Verlust Volumenstrom durch Server (Leerlauf)	18.321 m³/h	1.267 m³/h

Bei der SmartAisle™ Temperaturregelung geht im Leerlauf-Modus der Server wesentlich weniger Kaltluft verloren.

## SUMME DER LUFTVERLUSTE

Im modernen und energie-effizienten Rechenzentrum mit Einhausungen geht durch Überdrücke durch Schlitze und durch die Server im Leerlauf Kaltluft verloren. In der Summe ist das im Vergleich der Druckregelung und der SmartAisle™ Temperaturregelung:

	Druckregelung	SmartAisle™ Temperaturregelung
Druck	20 Pa	0,6 Pa
Luftgeschwindigkeit	5,81 m/s	1,00 m/s
Theoretischer Volumenstrom	52.800 m³/h	52.800 m³/h
Verlust Volumenstrom durch Spalte	18.446 m³/h	3.238 m³/h
Verlust Volumenstrom durch Server (Leerlauf)	18.321 m³/h	1.267 m³/h
Gesamter notwendiger Volumenstrom für Kühlung	89.567 m³/h	57.305 m³/h

## STROMKOSTEN FÜR DEN ANTRIEB DER UMLUFTKÜHLGERÄTE

Je nach Anzahl von Umluftkühlgeräten im Rechenzentrum arbeiten die Umluftkühlgeräte im mehr oder weniger energieeffizienten Betrieb. Da in modernen Umluftkühlgeräten nur noch EC- Ventilatoren verwendet werden, sind die Umluftkühlgeräte grundsätzlich bei niedriger Drehzahl energieeffizienter. Die minimale Drehzahl beträgt üblicherweise 30%.

In Abb. 6 ist die gemessene Kennlinie „Leistungsaufnahme zu Lüfterdrehzahl“ eines typischen EC-Lüfters zu sehen. Für eine Drehzahl von 90% benötigt dieser EC- Lüfter eine Leistungsaufnahme von 1.130 Watt. Bei einer Drehzahl von 30% benötigt der Lüfter nur 90 Watt.

$$90\%: \frac{1130}{1350} = 0,83 \left[ \frac{W}{m^3/h} \right]$$
$$30\% \frac{90}{450} = 0,20 \left[ \frac{W}{m^3/h} \right]$$

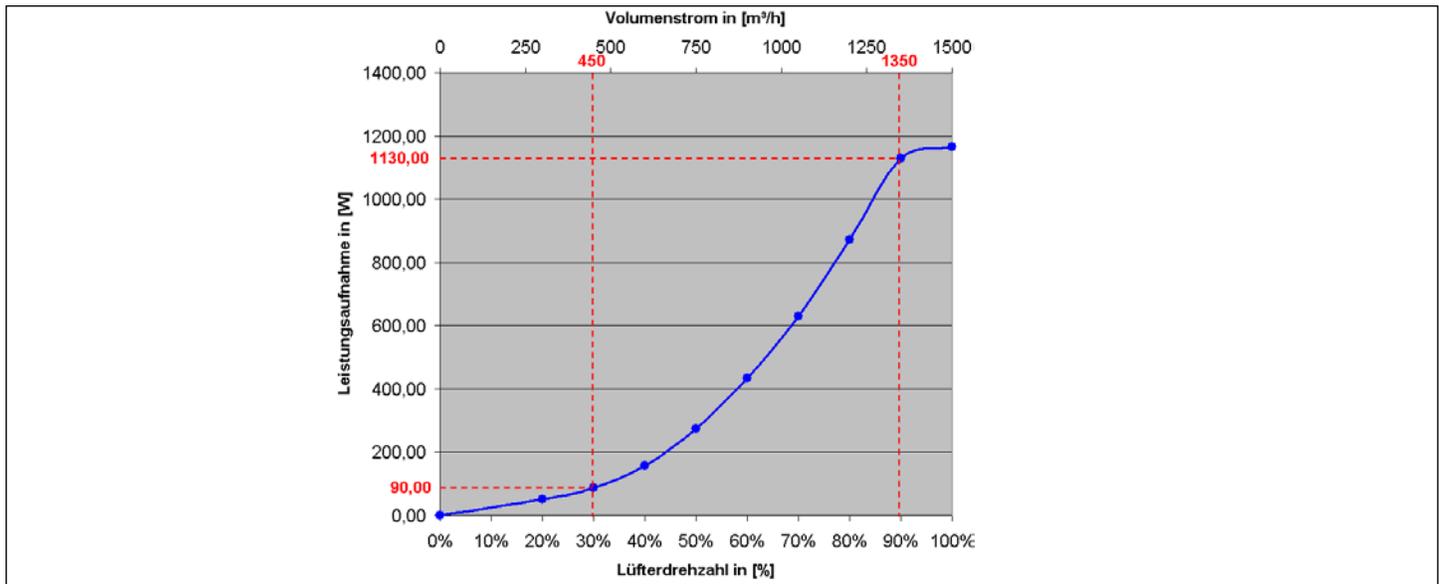


Abb. 8: Kennlinie eines typischen EC-Lüfters

Daraus folgt, dass der Lüfter bei 30% Drehzahl bezüglich der geförderten Luftmenge um das 4-fache effizienter arbeitet als bei einer Drehzahl von 90%!

Die Berechnung des Strombedarfs wurde anhand der Kalkulations-Software für das verwendete Umluftkühlgerät für 4 unterschiedliche Zustände berechnet.

Der Strombedarf für beide Regelungsarten wurde für unterschiedliche „Modes“, d.h. mit mehr oder weniger Umluftkühlgeräten berechnet.

Um die benötigte Luftmenge bereitzustellen, werden mindestens drei dieser Geräte benötigt. Im einfachsten Fall laufen diese ohne Lüfterregelung mit voller Drehzahl. In dieser Konfiguration wird am meisten Strom verbraucht.

Der jährliche Strombedarf wurde mit dem Strombedarf des verwendeten Umluftkühlgerätes aus der Kalkulations-Software berechnet.

### Parameter der Umluftkühlgeräte

Wasserzulauftemperatur	15 °C
Wasserrücklauftemperatur	20 °C
Zulufttemperatur	35 °C
Feuchtigkeit der Zuluft	25 %

Jährlicher Strombedarf = Strom x Anzahl Umluftkühlgeräte x 24 x 365 [kWh]

Ohne Regelung	
Anzahl Umluftkühlgeräte	3
Drehzahl Umluftkühlgeräte	100%

### Ohne Regelung

Jährlicher Strombedarf	131.663 kWh
Jährliche Stromkosten	19.749 €

Mit Drehzahlregelung laufen die Lüfter bei der Druckregelung immer noch mit nahezu voller Drehzahl, bei der Temperaturregelung entsprechend dem geringeren Luftbedarf mit nur etwa 70 %. Durch die stark nichtlineare Lüfterkennlinie ergibt sich daraus ein sehr viel geringerer Energiebedarf.

MODE Volllastbetrieb	Druckregelung	SmartAisle™ Temperaturregelung
----------------------	---------------	--------------------------------

Anzahl Umlüftkühlgeräte	3	3
Drehzahl Umlüftkühlgeräte	98%	67%
Jährlicher Strombedarf	126.407 kWh	45.990 kWh
Jährliche Stromkosten	18.961 €	6.899 €

Da in der Praxis so gut wie immer mit einer Redundanz von n+1 geplant wird, würden mindestens 4 Umlüftkühlgeräte eingesetzt werden, die drehzahl geregelt im Parallelbetrieb betrieben werden. Dadurch sinkt der Energiebedarf deutlich ab, zwischen den beiden Regelungsbetrieben besteht weiterhin ein sehr großer Unterschied.

MODE Normalbetrieb	Druckregelung	SmartAisle™ Temperaturregelung
--------------------	---------------	--------------------------------

Anzahl Umlüftkühlgeräte	4	4
Drehzahl Umlüftkühlgeräte	78%	52%
Jährlicher Strombedarf	94.258 kWh	29.784 kWh
Jährliche Stromkosten	14.139 €	4.468 €

Zur weiteren Optimierung der Energieeffizienz werden heute in vielen Fällen zusätzliche Umlüftkühlgeräte eingeplant, daraus ergibt sich eine weitere erhebliche Absenkung der Energiekosten. Zur Optimierung ist im Einzelfall eine Abstimmung von zusätzlichen Investitionskosten und eingesparten Betriebskosten erforderlich. In diesem Fall würden sich folgende weitere Einsparungen ergeben.

MODE Effizienter Betrieb	Druckregelung	SmartAisle™ Temperaturregelung
Anzahl Umlüftkühlgeräte	6	6
Drehzahl Umlüftkühlgeräte	54%	37%
Jährlicher Strombedarf	49.932 kWh	19.447 kWh
Jährliche Stromkosten	7.490 €	2.917 €

MODE Hocheffizienter Betrieb	Druckregelung	SmartAisle™ Temperaturregelung
Anzahl Umlüftkühlgeräte	8	8
Drehzahl Umlüftkühlgeräte	42%	33%
Jährlicher Strombedarf	35.741 kWh	20.323 kWh
Jährliche Stromkosten	5.361 €	3.048 €

Die Wirtschaftlichkeit dieser Vorgehensweise wird in einem weiteren Whitepaper näher untersucht werden.

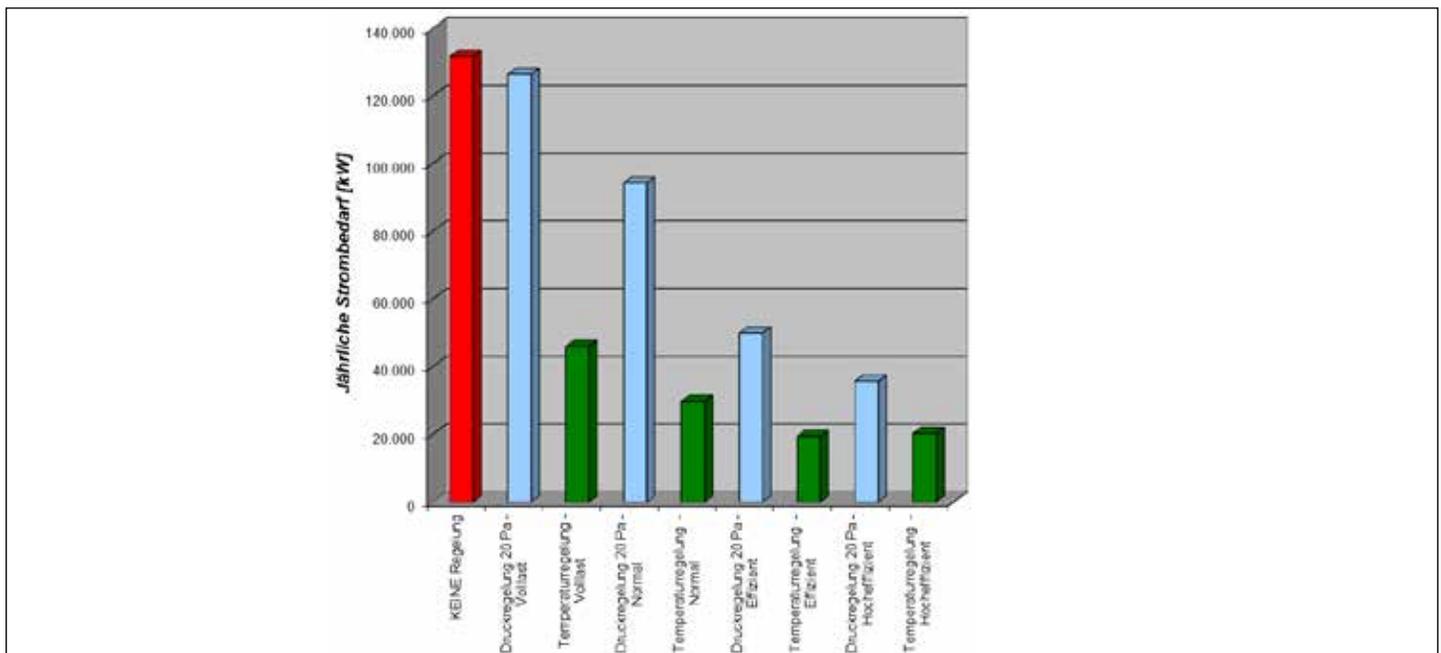


Abb. 9: Ergebnisse „Jährlicher Strombedarf“

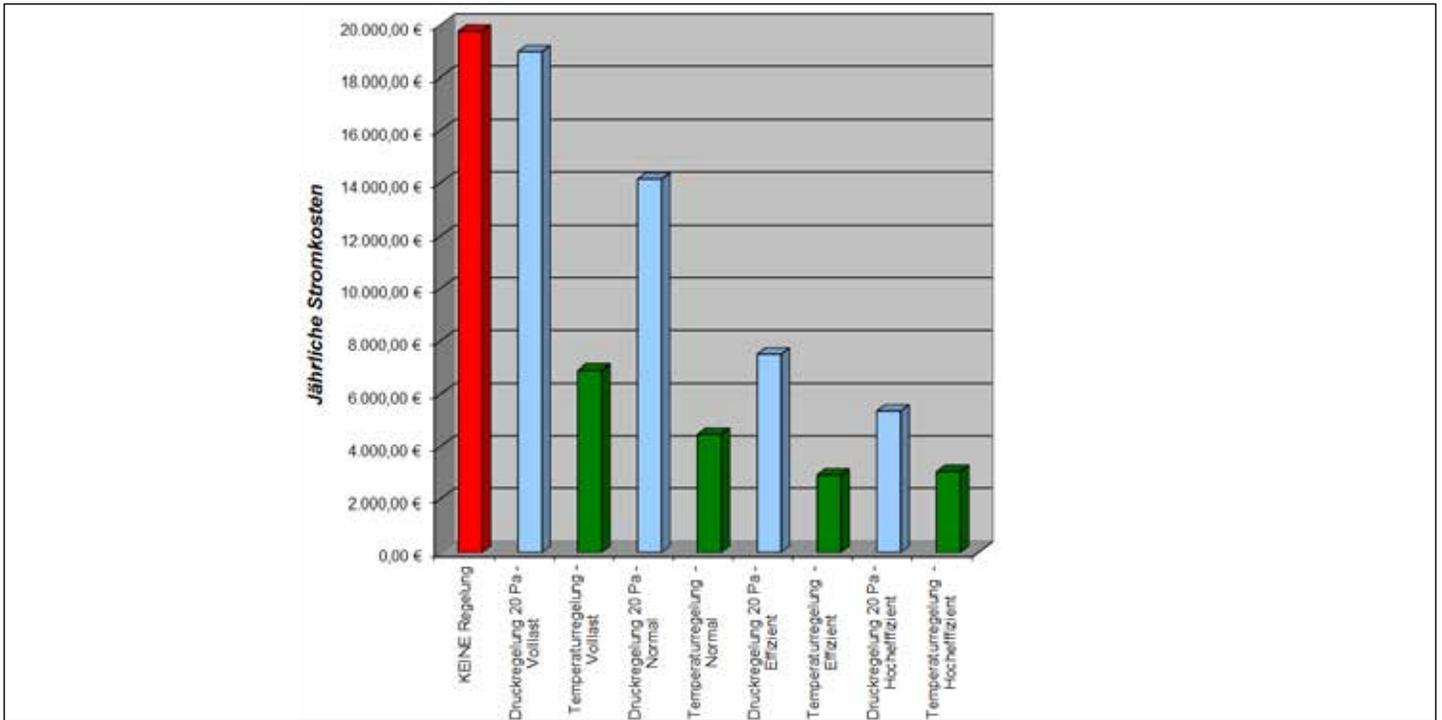


Abb. 10: Ergebnisse „Jährliche Stromkosten“

## ERGEBNISSE STROMBEDARF/STROMKOSTEN

Für den Betrieb der Umluftkühlgeräte wird für die SmartAisle™ Temperaturregelung im Vergleich zur Druckregelung weniger als die Hälfte an Strom benötigt! Dies gilt für alle 4 Modes „Volllastbetrieb“, „Normalbetrieb“, „Effizienter Betrieb“ und „Hocheffizienter Betrieb“.

## ZUSAMMENFASSUNG UND BEWERTUNGEN

Ein modernes und energieeffizientes Rechenzentrum sollte Umluftkühlgeräte mit drehzahlgeregelten Ventilatoren haben.

	Druckregelung	SmartAisle™ Temperaturregelung
Energiekosten	<p><b>Akzeptable Energieeffizienz</b></p> <p>Mit der Druckregelung ergeben sich permanent Kaltluftverluste durch Spalte und Abdichtungen (Bürsten, Schaumstoff, ...).</p>	<p><b>Beste Energieeffizienz (nur die halben Kosten im Vergleich zu Druckregelung)</b></p> <p>Mit dieser Regelung wird permanent gegen eine Druckdifferenz von 0 Pascal geregelt. Dadurch ergeben sich weniger Kaltluftverluste durch Spalte und Abdichtungen (Bürsten, Schaumstoff, ...).</p>
Kaltluftversorgung für unterschiedliche Kaltgänge	<p>Meist werden die Kaltgänge mit ausreichend Kaltluft versorgt. Bei unterschiedlichen Wärmelasten pro Kaltgang ist eine <b>Unterversorgung</b> eines Ganges mit Kaltluft <b>nicht ausgeschlossen</b>. Der Bereich des Doppelbodens hat einen Differenzdruck von mindestens 20 Pa. Dieser Druck wird durch die perforierten Doppelbodenplatten auf die Kaltgänge übertragen. Hat ein einzelner Gang einen höheren Luftbedarf als die 20 Pa liefern, so entsteht eine Unterversorgung dieses Kaltganges.</p>	<p>Jeder Kaltgang hat je nach Länge mindestens 2 Temperatursensoren, welche in der Luftregulierungsöffnung positioniert sind. Jeder Kaltgang wird einzeln überwacht. Üblicherweise wird die Drehzahl nach dem höchsten Temperaturwert in allen Gängen geregelt. Dies gewährleistet, dass <b>kein Kaltgang unterversorgt</b> wird.</p>
Auswirkungen auf das IT-Equipment	<p>Die Druckregelung arbeitet mit einem permanenten Differenzdruck von mindestens 20 Pa. Dies bedeutet, dass die Lüfter in den Servern, Switchen, ... einem permanenten Druck ausgesetzt sind. Durch diesen permanenten Druck <b>kann</b> es zu einer <b>Lebensdauerverkürzung des IT-Equipments</b> kommen.</p>	<p>Die Temperaturreglung regelt den Druck immer gegen 0 Pa. Dadurch ergeben sich keine permanenten Überdrücke für das IT-Equipment. Es ergeben sich somit <b>keine nachteiligen Auswirkungen</b>.</p>

## WEITERE BETRACHTUNG UND AUSBLICK

Die SmartAisle™ Temperaturregelung hat im Vergleich zur Druckregelung auch höhere Energieeinsparungen für die Kaltwassersätze (Chiller). Diese Einsparungen werden in einem folgenden White Paper erörtert.

## REFERENZEN

1. Dissertation Andreas Matthias, 2007. Das Durchflussverhalten von Labyrinthdichtungen bei unterschiedlichen Betriebsbedingungen.
2. Daniel Kennedy, 2012. Ramification of Server Airflow Leakage in Data Centers with Aisle Containment.



