



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Energie BFE

STROMEFFIZIENTE RECHENZENTREN DURCH SENSIBILISIERUNG ÜBER EINE TRANSPARENTE KOSTENRECHNUNG

Schlussbericht

Ausgearbeitet durch

Alois Huser, Encontrol AG

Bremgartenstrasse 2, 5443 Niederrohrdorf, info@encontrol.ch, www.encontrol.ch

Martin Bänninger, Telekurs Services AG

Hardturmstr. 201, 8021 Zürich, martin.baenninger@telekurs.com,
www.telekurs.com

Impressum

Datum: 10. Oktober 2008

Im Auftrag des Bundesamt für Energie, Forschungsprogramm Elektrizität

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen

Postadresse: CH-3003 Bern

Tel. +41 31 322 56 11, Fax +41 31 323 25 00

www.bfe.admin.ch

BFE-Bereichsleiter, michael.moser@bfe.admin.ch

BFE-Projektnummer: 102259

Bezugsort der Publikation: www.energieforschung.ch und www.electricity-research.ch

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung.....	4
2	Resumé	4
3	Abstract.....	4
4	Einleitung und Ausgangslage	6
5	Projektziele	6
6	Aufbau Excel-Tool	6
7	Methodik und Systemgrenzen	8
7.1	Übersicht.....	8
7.2	Kapitalkosten	9
7.3	Betriebskosten	9
8	Dateneingabe.....	10
9	Ergebnisse	12
10	Plausibilisierung und Tests	12
10.1	Praxistest.....	12
10.2	Vergleich mit Modell von Koomey	13
11	Anwendung	15
12	Empfehlungen und Vorschlag für weitere Arbeiten	15
12.1	Empfehlungen an Planer und Rechenzentrum-Betreiber	15
12.2	Vorschlag für weitere Arbeiten.....	15
13	Literaturverzeichnis	16
14	Anhang.....	17
14.1	Berechnungsbeispiel mit dem Excel-Tool mit anonymisierten Daten mit den folgenden Arbeitsblättern	17
14.2	Berechnung des Modellvergleichs mit dem Modell von Jonathan Koomey	22

1 Zusammenfassung

Die IT-Server weisen immer höhere Integrationsdichten auf, was zu hohen Strombelastungen pro Fläche des Rechenzentrums mit entsprechenden Problemen bei der Wärmeabfuhr führt. Die Nachfrager der IT-Dienstleistungen (IT-Abteilungen) sind sich den steigenden Stromverbräuchen und Stromkosten oft nicht bewusst.

Im Projekt wird ein Kostenmodell entwickelt, das transparent darstellt, welche Rolle der Stromverbrauch und die Energieeffizienz beim Betrieb eines Rechenzentrums spielen. Das Modell zeigt auch auf, wie die Entwicklung in Zukunft aussieht, wenn von steigenden Integrationsdichten, höheren spezifischen Strombezügen und höherer Versorgungssicherheit von Rechenzentren ausgegangen wird.

Im Rahmen der Gruppe *Swiss DataCenter EnergyEfficiency Group (Energieeffizienz in Rechenzentren)* wurde ein Modell auf Excel-Basis erstellt und getestet. Eine Sensitivitätsanalyse bezüglich Variation der installierten elektrischen Leistung und der Verfügbarkeitsklasse der Infrastruktur wurde durchgeführt. Das Modell wurde an Hand von Daten von zwei bestehenden Rechenzentren plausibilisiert.

Das Betriebskostenmodell wurde auch mit dem amerikanischen Modell von Koomey [1] verglichen. Beide Modelle verfolgen denselben Ansatz und verwenden gleiche Methoden. Koomey integriert im Unterschied zu unserem Modell die Kapitalkosten der IT-Geräte.

2 Résumé

Les serveurs IT présentent des densités d'intégration toujours plus élevées, ce qui conduit à de hautes intensités de courant par surface de centre de calcul et par conséquent des problèmes d'évacuation de chaleur. Les acquéreurs de prestations de service IT (départements IT) ne sont souvent pas conscients des consommations de courant et des coûts d'électricité croissants.

Le projet comprend le développement d'un modèle de coûts, qui présente de manière transparente les rôles que jouent la consommation de courant et l'efficacité énergétique dans l'exploitation d'un centre de calcul. Le modèle montre aussi le développement futur, si l'on admet des densités d'intégration croissantes et des fournitures d'électricité spécifiques plus élevée des centres de calcul.

Un modèle a été créé et testé sur une base Excel dans le cadre du groupe *Swiss DataCenter EnergyEfficiency Group (Efficience énergétique dans les centres de calcul)*. Une analyse de sensibilité a été réalisée, concernant les variations de la puissance électrique installée et la classe de disponibilité de l'infrastructure. Le modèle a été validé par des données obtenues de deux centres de calcul existants.

Le modèle de coûts d'exploitation a également été comparé avec le modèle américain de Koomey [1]. Les deux modèles utilisent la même disposition et appliquent les mêmes méthodes. A la différence de notre modèle, Koomey intègre également les coûts de capital des appareils IT.

3 Abstract

IT servers nowadays have increasingly higher integration densities, which leads to high current loadings per area of the computer centre, with the corresponding heat dissipation problems. The users of the IT services (IT departments) are themselves often unaware of the increasing current consumption and electricity costs.

In the project, a cost model is developed that transparently demonstrates the role that the consumption of electricity and energy efficiency play in the operation of a computer centre. The

model also shows how this development will appear in the future on the assumption of increasing integration density and higher specific electricity use at computer centres.

Within the context of the Swiss Data Centre Energy Efficiency Group (Energy efficiency in computer centres) a model on an Excel basis was be drawn up and tested. A sensitivity analysis was carried out with regard to variations in the installed electrical power and the availability class of the infrastructure, and the plausibility of the model was verified based on data from two existing computer centres.

The operational cost models were also compared with the American model from Koomey [1]. Both models use the same approach and make us of the same methods. Unlike our model, Koomey also integrates the capital costs of the IT equipment.

4 Einleitung und Ausgangslage

Die IT-Server weisen immer höhere Integrationsdichten auf, was zu hohen Strombelastungen pro Fläche des Rechenzentrums mit entsprechenden Problemen bei der Wärmeabfuhr führt. Die Nachfrager der IT-Dienstleistungen (IT-Abteilungen) sind sich den steigenden Stromverbräuchen und Stromkosten nicht bewusst. Die Stromkosten werden von den Rechenzenterbetreibern meist auch nicht den Nachfragern von IT-Dienstleistungen (IT-Abteilungen als Mieter) transparent weiterverrechnet (z.B. Mietpreis auf der Basis von Flächen als m²). Dies führt dazu, dass die Betreiber der Rechenzentren und die Betreiber der Infrastruktur Fragen der Energieeffizienz nicht mit den IT-Spezialisten diskutieren können und der Nachfrager kein Interesse hat, den Stromverbrauch zu senken.

Das Projekt soll ein Kostenmodell entwickeln, das transparent darstellt, welche Rolle der Stromverbrauch und die Energieeffizienz beim Betrieb eines Rechenzentrums spielen. Das Modell soll auch aufzeigen, wie die Entwicklung in Zukunft aussieht, wenn von steigenden Integrationsdichten, höheren spezifischen Strombezügen und höherer Versorgungssicherheit von Rechenzentren ausgegangen wird.

Auch die amerikanische Umweltbehörde kommt in ihrem Bericht an den Kongress zur folgenden Empfehlung an die Regierung (U.S. Environmental Protection Agency ENERGY STAR Programm (2007)):

„Work with industry to develop better tools, such as life-cycle risk models and total cost of ownership models that incorporate energy costs for management of energy in data centers.“

5 Projektziele

Das Projekt soll ein Kostenmodell entwickeln, das transparent darstellt, welche Rolle der Stromverbrauch und die Energieeffizienz beim Betrieb eines Rechenzentrums spielen. Das Modell soll auch aufzeigen, wie die Entwicklung in Zukunft aussieht, wenn von steigenden Integrationsdichten und höheren spezifischen Strombezügen von Rechenzentren ausgegangen wird.

Das Rechnungsmodell kann auf der Basis von Betriebskosten rasch, effizient und glaubwürdig zur Entscheidungsfindung beitragen. Der IT-Leiter kennt seine Kosten und die wichtigsten Kostentreiber, sowie die Zusammenhänge von IT und der Infrastruktur. Sein Auftrag beinhaltet hohe Verfügbarkeit und tiefe Investitions-/Betriebskosten, aber auch hohe Energieeffizienz und eine nachhaltige Bewirtschaftung.

6 Aufbau Excel-Tool

Das Simulationswerkzeug basiert auf dem Programm Excel®¹. Es sind nur Grundfunktionen (ohne Makrofunktionen) von Excel verwendet worden. Das Programm gliedert sich in folgende Arbeitsblätter:

- **Titelblatt:** Neben den Angaben zur Version und den Autoren des Modells kann in diesem Arbeitsblatt das Rechenzentrum, der Ort und die ausführende Person erfasst werden. Diese Informationen dienen nur zur Identifikation und Dokumentation der Simulation.
- **Eingabedaten:** Dies ist das Hauptarbeitsblatt. Für vier Varianten werden hier die Informationen erfasst und die Resultate berechnet.

¹ Windows und Excel sind eingetragene Marken der Microsoft Corporation.

- **Resultatdiagramm elektr. Leistung für die IT:** Die Simulationsresultate *Kosten pro m²* werden in Funktion der installierten elektrischen Leistung grafisch dargestellt.
- **Resultatdiagramm Verfügbarkeit:** Die Simulationsresultate *Kosten pro m²* werden in Funktion der Verfügbarkeit grafisch dargestellt.
- **Erklärungen:** Die Eingaben sind in diesem Arbeitsblatt beschrieben.
- **Berechnungen:** Auswahllisten oder Berechnungsformeln sind in diesem Arbeitsblatt hinterlegt.

Die Eingabefelder sind mit hellgelbem Hintergrund markiert. Berechnete Felder sind mit einem Zellschutz versehen.

Neben der Grundvariante bietet das Programm die Möglichkeit, je vier Varianten für die Variation der elektrischen Leistung für die IT sowie für die Variation der Verfügbarkeitsanforderung einzugeben.

7 Methodik und Systemgrenzen

7.1 Übersicht

Das Modell berechnet die Kapital- und Betriebskosten eines Rechenzentrums aus der Sicht eines Rechenzentrumsbetreibers, welcher Rechenzentrumsfläche an IT-Betreiber vermietet. Daher sind die Kapitalkosten der eigentlichen IT-Geräte und der Racks nicht im Modell enthalten. Die Verteilung der Art der IT-Geräte (Server, Disk-Speicher, Tape-Speicher, Netzwerkgeräte) kann indirekt mit der *installierten elektrischen Leistung* und mit dem Faktor *Benutzte elektr. Leistung/installierte Leistung* berücksichtigt werden. Dazu müssen aber elektrische Leistungen der verschiedenen IT-Geräte bekannt sein. Der Faktor *Benutzte elektr. Leistung/installierte Leistung* kann auch dazu benutzt werden, eine Unterauslastung eines sich im Aufbau befindlichen Rechenzentrums zu simulieren.

Das Modell ist für die Untersuchung von Kostenauswirkungen bei der Variation von elektrischer Leistungsdichte pro Nutzfläche und der Variation der Verfügbarkeitsanforderungen ausgelegt.

Die Verfügbarkeitsanforderungen werden international in sogenannte Tier – Klassen I bis IV eingeteilt (The Uptime Institute (2006)):

- Tier I: Basis ohne redundanten Systeme
- Tier II: Redundante USV- und Notstrom-Systeme
- Tier III: Redundante USV- und Notstrom-Systeme und elektrische Versorgungspfade
- Tier IV: 2 unabhängige Infrastrukturen (inkl. Kälteversorgung) mit redundanten USV- und Notstrom-Systemen und elektrische Versorgungspfad

Die Auslegung der Infrastruktursysteme gemäss den Tiers-Klassen hat einen grossen Einfluss auf die Investitions- und Betriebskosten. Die Investitionen für die technische Infrastruktur werden folgendermassen erhöht (Wertetabelle im Arbeitsblatt *Berechnungen* hinterlegt).

- Tier 1: 0%
- Tier 2: 25%
- Tier 3: 50%
- Tier 4: 100%

Diese Erhöhungsfaktoren sind grobe eigene Schätzungen.

Das Model benötigt Daten zu den folgenden Bereichen:

- Auslegung
- Betrieb: Betriebszeit, Energie, Finanzen und Personal
- Investitionen und Anlagen

Nicht berücksichtigt wurden im Modell die Rückbau- und Entsorgungskosten der Infrastruktur am Ende der Lebenszeit. Auch nicht berücksichtigt werden externe Umweltkosten (Verschmutzung der Umwelt, Klimaerwärmung, Landverschleiss usw. durch den Ressourcenverbrauch).

Aus diesen Angaben werden die jährlichen Kapital- und Betriebskosten berechnet. Daraus werden die folgenden Kennwerte berechnet:

- Kapitalkosten pro Nutzungsfläche
- Stromkosten pro Nutzungsfläche
- Bewirtschaftungskosten ohne Strom pro Nutzungsfläche
- Totalkosten pro Nutzungsfläche
- Kosten pro installierter elektrischer Leistung

7.2 Kapitalkosten

Die Kapitalkosten werden für den Bau (Rohbau des Gebäudes) und die technische Infrastruktur getrennt ausgewiesen. Die eigentlichen IT-Geräte werden in diesem Modell nicht berücksichtigt. Zur technischen Infrastruktur gehören:

- Stromversorgung ab Einspeisung des Energieversorgungsunternehmens (Hochspannungsanlagen, Transformatoren, Niederspannungsverteilanlagen, Netzersatzanlagen, USV Anlagen, Erdungen und Potentialausgleich)
- Beleuchtungsanlagen
- Kommunikationsanlagen
- Sicherheits- und Gefahrenmeldeanlagen (Einbruch, Brand usw.)
- Zutrittskontrollanlage
- Brandlöschanlage
- Lüftungsanlagen
- Kälteanlagen

Der Bau und die Technik weisen eine unterschiedliche Nutzungszeit aus und werden über unterschiedliche Perioden abgeschrieben: Beispiel: Bau 30 Jahre, Technik 10 Jahre. Die einzelnen Anlagen der technischen Infrastruktur werden zugunsten eines einfachen Modells nicht unterschiedlich abgeschrieben.

Die Kapitalkosten werden gemäss einer statischen Annuitätenmethode als jährliche Annuitäten aus den Investitionen berechnet nach der Excelformel

$$RMZ(Zins;Zzr;Bw)^2$$

wobei:

- **Zins:** Zinssatz pro Periode (konstant über Abschreibungszeit)
- **Zzr:** Anzahl Jahre über welche die jeweilige Annuität (Rente) gezahlt wird.
- **Bw:** Investitionsbetrag, welcher über eine Reihe zukünftiger Zahlungen abgeschrieben wird (inkl. Zinskosten).

7.3 Betriebskosten

Die Betriebskosten werden unterteilt in:

- Verwaltung
- Strom
- Bedienung und Überwachung
- Sicherheit und Bewachung
- Reinigung und Pflege
- Wartung Infrastruktur

Die Kosten für die Positionen *Verwaltung* und *Reinigung* werden direkt mit Jahreskosten eingegeben.

Die Kosten für die Positionen *Bedienung und Überwachung* und *Sicherheit und Bewachung* werden indirekt über die Anzahl Mitarbeiter und Mitarbeiterjahreskosten eingegeben. Mit diesen Angaben ist

² RMZ = **Regelmäßige Zahlung**: Gibt die konstante Zahlung einer Annuität pro Periode zurück, wobei konstante Zahlungen und ein konstanter Zinssatz vorausgesetzt werden.

sofort ersichtlich, ob das Rechenzentrum dauernd oder nur zu gewissen Zeiten durch Personal überwacht wird.

Die Kosten für die *Wartung Infrastruktur* werden über die Komplexität und das mittlere Alter der Anlagen bestimmt. Im Datenblatt Berechnungen sind Faktoren hinterlegt für die Berechnung von jährlichen Kosten aus den Investitionen gemäss der folgenden Formel:

Jährliche Wartungskosten (CHF/a) = Investitionen (CHF) * Faktor *Anlagenkomplexität* * Faktor *mittl. Alter*

wobei :

- **Anlagenkomplexität:** einfach = 2%; mittel = 3%; hoch = 4%
- **Mittl. Alter:** 1-2 Jahre = 1.25; 3-7 Jahre = 1.0; >8 Jahre = 1.5

Diese Angaben sind aus der Erfahrung eines Rechenzentrumsbetreibers entnommen.

Die Stromkosten werden berechnet aus der Multiplikation des Strombezugs und dem mittleren Strompreis. Im mittleren Strompreis (CHF / MWh) müssen alle Kostenkomponenten enthalten sein, d. h. die Leistungskosten und Fixkosten sind auf die Energiemenge umgelegt. Die bezogene Energiemenge pro Jahr wird folgendermassen berechnet:

Strombezug (MWh/a) = installierte el. Leistung für IT [kW] * Benutzungsfaktor * Jahresbetriebsstunden (h) * IT-Faktor Anteil Stromverbrauch der IT an Gesamtstromverbrauch

wobei:

Benutzungsfaktor: Benutzte elektr. Leistung / installierte Leistung: Welcher Anteil der installierten elektrischen Leistung wird durch die IT-Geräte tatsächlich bezogen.

IT-Faktor: Der Anteil des Stromverbrauchs der IT am Gesamtstromverbrauch des Rechenzentrums. Je höher dieser Wert ist, desto effizienter läuft die Infrastruktur des Rechenzentrums. Je höher die Verfügbarkeitsanforderungen sind, desto kleiner ist normalerweise dieser Faktor.

8 Dateneingabe

Die Eingabefelder sind mit gelber Hintergrundfarbe hinterlegt.

Im Arbeitsblatt *Titelblatt* kann der Benutzer die folgenden Angaben eingeben:

- Rechenzentrum
- Ort
- Ausführung durch
- Datum

Diese Angaben dienen nur zur Dokumentation und zur Identifikation der Arbeit. Sie werden in späteren Berechnungen nicht verwendet.

Neben einer Grundvariante ist das Excel-Tool vorbereitet für die Eingabe von 4 Varianten für die Variation des elektrischen Leistungsbedarfs der IT und vier weiteren Varianten für die Variation der Verfügbarkeit. Weitere Varianten können ohne Weiteres durch Kopieren von Spalten hinzugefügt werden.

Die folgenden Eingaben werden im Arbeitsblatt *Eingabedaten* durch den Benutzer erwartet:

Auslegung

Nutzfläche [m²]

Effektive RZ-Fläche für die IT

Bruttofläche [m²]

Gesamtfläche inkl. Infrastruktur, Büro und Verkehrsfläche

installierte el. Leistung für IT pro m² [W/m²]

Bei der IT zur Verfügung stehende installiert elektrische Leistung.

Verfügbarkeitsanforderungen

Tier 1 ... 4

Hat Einfluss auf die Investitionskosten der Infrastruktur:

1: Faktor 1

2: Faktor 1.25

3: Faktor 1.5

4: Faktor 2

Betriebszeit

Jahresbetriebsstunden

Geben Sie die Jahresstunden des Betriebs ein. Bei einem Betrieb 7 Tage x 24 Stunden ergibt sich eine Jahresbetriebsstundenzahl von 8760.

Energie

mittlerer Strompreis [CHF/MWh]

Im mittleren Energiepreis sind alle Kosten (Leistungskosten, Grundkosten usw.) enthalten.

Anteil Stromverbrauch der IT an Gesamtverbrauch [%]

Geben Sie das Verhältnis des Stromverbrauchs der IT zum Gesamtstromverbrauch des Rechenzentrums (IT und Infrastruktur) ein. Dieser Wert liegt zwischen 30 und 70 %. Je grösser dieser Wert ist, desto höher ist die Energieeffizienz der Infrastruktur.

Benutzte elektr. Leistung / installierte Leistung

Geben Sie das Verhältnis der effektiven durchschnittlichen elektrischen Leistung bei der IT im Verhältnis zur geplanten installierten Leistung ein. Mit dieser Eingabe berücksichtigen Sie die eingeplante elektrische Reserveleistung für die IT.

Finanzen und Personal

Zinssatz [%]

Geben Sie den realen Zinssatz ein, mit welchem die Investitionen über die Abschreibungsdauer belastet sind (Annuitätenmethode). Dieser Zinssatz ist über die ganze Amortisationsdauer konstant.

Anzahl Mitarbeiter Bedienung u. Überwachung

Geben Sie die Anzahl Mitarbeiter ein, welche für die Bedienung und Überwachung der Infrastrukturanlagen zuständig sind.

Aufwand Mitarbeiter Bedienung u. Überwachung [CHF/a]

Geben Sie die Personalkosten ein pro Mitarbeiter des Bedienpersonals pro Jahr. In den Kosten sind neben den Lohn- und Sozialkosten auch die Arbeitsplatzkosten enthalten.

Anzahl Mitarbeiter Bewachung

Geben Sie die Anzahl Mitarbeiter ein, welche für die Bewachung der Infrastrukturanlagen zuständig sind.

Aufwand Mitarbeiter Bewachung [CHF/a]

Geben Sie die Personalkosten ein pro Mitarbeiter des Bewachungspersonals pro Jahr. In den Kosten sind neben den Lohn- und Sozialkosten auch die Arbeitsplatzkosten enthalten.

Investitionen und Anlagen

Investitionen Bau pro m² Bruttofläche [CHF/m²]

Geben Sie die spezifischen Investitionskosten pro m² Bruttofläche des Rechenzentrums für den Rohbau ein.

Amortisationsdauer Bau [Jahre]

Geben Sie die Anzahl Jahre des Rohbaus ein, über welche die Investition abgeschrieben wird. Beispiel: 30 Jahre.

**Investitionen Infrastruktur
pro kW-el.Leistung [CHF/kW]
Amortisationsdauer Technik [Jahre]**

Geben Sie die spezifischen Investitionskosten pro kW-el.Leistung (installierte Leistung an der IT) ein.

Geben Sie die Anzahl Jahre der technischen Infrastruktur ein, über welche die Investition abgeschrieben wird.
Beispiel: 10 Jahre.

Komplexität der Anlagen

einfach, mittel, hoch

Hat Einfluss auf die Höhe der Wartungskosten:

einfach: 2% der Investitionen der Infrastruktur pro Jahr

mittel: 3% der Investitionen der Infrastruktur pro Jahr

hoch: 4% der Investitionen der Infrastruktur pro Jahr

Alter der Anlagen

1-2 Jahre, 3-7 Jahre, > 8 Jahre

Hat Einfluss auf die Höhe der Wartungskosten:

1-2 Jahre: Faktor 1.25

3-7 Jahre: Faktor 1

> 8 Jahre: Faktor 1.5

Betriebskosten pro Jahr

Verwaltung [CHF/a]

Geben Sie die jährlichen Kosten für die Verwaltung des Rechenzentrums aus der Sicht des Betreibers der Infrastruktur ein (ohne Verwaltung der eigentlichen IT-Geräte).

Reinigung und Pflege [CHF/a]

Geben Sie die jährlichen Kosten für die Reinigung und Pflege der Infrastruktur des Rechenzentrums ein.

Tab. 8-1 Eingabefelder.

9 Ergebnisse

Für jede Variante werden durch das Programm die folgenden Kennwerte pro Jahr berechnet:

- Kapitalkosten / Nutzungsfläche [CHF/m²*a]
- Stromkosten / Nutzungsfläche [CHF/m²*a]
- Bewirtschaftungskosten ohne Strom / Nutzungsfläche [CHF/m²*a]
- Totalkosten / Nutzungsfläche [CHF/m²*a]
- Kosten / inst. El. Leistung [CHF/kVA*a]

In zwei Diagrammen werden die Kennwerte

- Kapitalkosten / Nutzungsfläche [CHF/m²*a]
- Stromkosten / Nutzungsfläche [CHF/m²*a]
- Bewirtschaftungskosten ohne Strom / Nutzungsfläche [CHF/m²*a]

grafisch dargestellt. Im ersten Diagramm werden die Kosten in Abhängigkeit der installierten elektrischen Leistung (Spalten C bis F des Eingabeblattes) und im zweiten Diagramm in Abhängigkeit der Verfügbarkeitsklasse (Spalten G bis J des Eingabeblattes) dargestellt.

10 Plausibilisierung und Tests

10.1 Praxistest

Das Modell konnte im Rahmen der Gruppe *Swiss DataCenter EnergyEfficiency Group* (*Energieeffizienz in Rechenzentren* mit den Firmen Telekurs Services AG, Amstein+Walthert AG, CEPE, Jobst Willers Engineering AG, Thomas Bürki GmbH) angewendet und getestet werden.

Eine Sensitivitätsanalyse bezüglich Variation der installierten elektrischen Leistung und der Verfügbarkeitsklasse der Infrastruktur wurde durchgeführt (Bild 1). Das Modell wurde an Hand von Daten von zwei bestehenden Rechenzentren plausibilisiert. Die Berechnungen ergaben nach Meinung der Prüfung durch die Betreiber der Rechenzentren gute Resultate. Aus Gründen der Vertraulichkeit können die Berechnungen und Resultate nicht veröffentlicht werden.

Das Modell wurde weiter in der Vorprojektphase eines grösseren geplanten Rechenzentrums in der Schweiz angewendet. Dem Bauherrn konnte mit den Simulationen in diesem Modell die zukünftige Kostenstruktur aufgezeigt werden. Diese Erkenntnisse fliessen nun in die weitere Planungsphase des Rechenzentrums ein.

Das Betriebskostenmodell wurde auch mit dem amerikanischen Modell von Koomey [1] verglichen. Beide Modelle verfolgen denselben Ansatz und verwenden gleiche Methoden. Koomey integriert im Unterschied zu unserem Modell die Kapitalkosten der IT-Geräte.

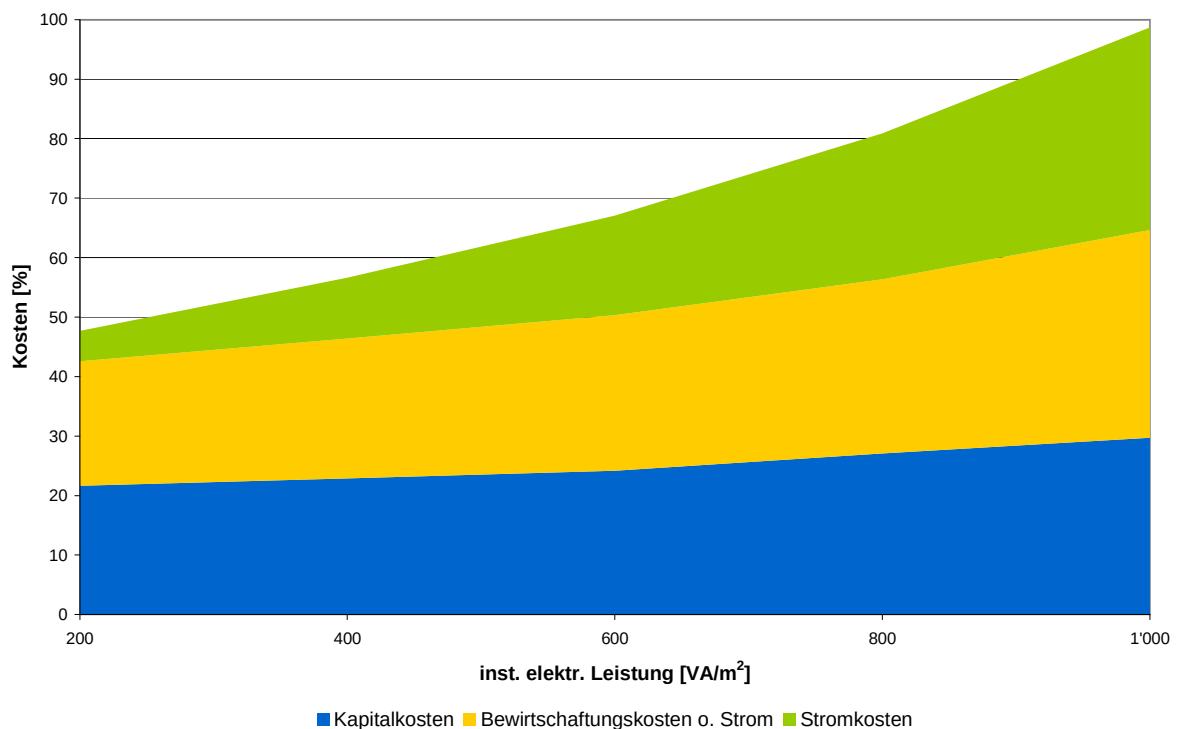


Bild 1 Kostenverlauf in Abhängigkeit der installierten elektrischen Leistung pro m².

Im Anhang ist ein Berechnungsbeispiel des Excel-Tools mit anonymisierten Daten beigelegt.

10.2 Vergleich mit Modell von Koomey

Etwa gleichzeitig mit der Erarbeitung dieses Modells wurde in den USA ein ähnliches Berechnungsmodell veröffentlicht (Jonathan Koomey et al, 2007). Ein typisches Rechenzentrum wurde mit dem Modell durchgerechnet. Im Modell „Koomey“ sind im Gegensatz zu unserem Modell die Kapitalkosten der eigentlichen IT-Geräte und der Racks im Modell enthalten. Das Rechenzentrum weist folgende Kennzahlen aus:

- Rechenzentrums-Fläche: 1'800 m²
- Installierte elektrische Leistung inkl. Infrastruktur: 4'400 kW
- Installierte elektrische Leistung für IT-Geräte pro IT-Raum-Fläche: 1'200 W / m² (16 kW gemessene elektrische Last pro Rack)
- Verfügbarkeitsklasse: Tier III

- Im Rechenzentrum beherbergte IT-Dienste: Prozessorlastige Berechnungen im Bereich Finanzdienstleistungen mit geringem Anteil an Speichermedien
- Investitionskosten: +/- \$ 100 Mio., wobei 30% IT-Geräte und 70% Infrastruktur → etwa \$ 55'000 / m².
- Totale Jahreskosten pro IT-Raum-Fläche: \$ 13'200 / m²
- Die Jahreskosten verteilen sich folgendermassen auf die Kostengruppen:
 - Kapitalkosten Infrastruktur: 42%
 - Kapitalkosten IT: 33%
 - Betriebskosten: 15%
 - Energiekosten: 10%

Die Kapitalkosten der Infrastruktur bilden den grössten Kostenblock. Dieser ist um den Faktor 1.68 grösser als die Betriebs- und Energiekosten zusammen. Wenn die Kapitalkosten IT weggelassen werden sieht die Aufteilung folgendermassen aus:

- Kapitalkosten Infrastruktur: 62%
- Betriebskosten: 22%
- Energiekosten: 15%

Wenn ein etwa gleich grosses Rechenzentrum in unserem Modell berechnet wird, entstehen mit Erfahrungswerten aus der Schweiz die folgenden Resultate:

- Totale Jahreskosten pro IT-Raum-Fläche: CHF 7'000 / m²
- Die Jahreskosten verteilen sich folgendermassen auf die Kostengruppen:
 - Kapitalkosten Infrastruktur: 55%
 - Betriebskosten: 25%
 - Energiekosten: 20%

Die genauen Eingaben und Resultate sind im Anhang beigefügt.

Der Vergleich der Resultate der zwei Modelle zeigen in der Tendenz ähnliche Resultate: Die Kapitalkosten bilden den grössten Kostenfaktor mit einem Anteil von etwa 60%. Der Anteil der Energiekosten wird in unserem Modell mit einem Wert von 20% etwas höher gewichtet als bei Koomey mit 15%.

Die totalen Jahreskosten werden mit unserem Modell und den Erfahrungswerten in der Schweiz um 20% tiefer geschätzt (CHF 7'000.- im Vergleich zu CHF 8'800.- → - 20%). Dies ist vor allem auf die tieferen geschätzten Infrastrukturinvestitionen zurückzuführen. Allgemein kann aber gesagt werden, dass eine Übereinstimmung im Bereich +/-20% vorhanden ist, was bei den unterschiedlichen geografischen Standorten in verschiedenen Ländern mit anderen Investitionskosten ein gutes Resultat darstellt.

11 Anwendung

Dieses Modell ergibt eine Schätzung der Gesamtkosten eines Rechenzentrums. Durch die transparente Zusammensetzung von verschiedenen Kostenarten können Auswirkungen von Änderungen im Design von Rechenzentren auf die Kostenstruktur aufgezeigt werden.

Mit diesem Modell kann abgeschätzt werden, welchen Einfluss die Verfügbarkeitsanforderungen und die elektrische Leistungsdichte auf die Energiekosten haben. Die Simulationen haben gezeigt, dass der Anteil der Stromkosten an den Gesamtkosten von etwa 10% bei 200 W/m² auf etwa einen Drittel bei 1'000 W/m² ansteigt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass der Strombedarf für die Luftförderung der Kühlung überproportional und die Kapitalkosten der Infrastruktur nur unterproportional ansteigen.

Die Verfügbarkeitsanforderungen haben vor allem einen grossen Einfluss auf die Kapitalkosten. Diese Kapitalkosten sind von den Investitionen abgeleitet und diese wiederum sind auch abhängig von der installierten Leistung. Wenn energieeffiziente Server eingesetzt werden, welche eine geringere elektrische Leistung benötigen, so kann die Infrastruktur kleiner dimensioniert werden und damit sind geringere Investitionen respektive Kapitalkosten verbunden. Je höher die Verfügbarkeitsanforderungen sind (z.B. Tiers IV) desto stärker fällt dieser Aspekt ins Gewicht, denn alle Systeme sind redundant ausgelegt. Diese redundante Auslegung hat weiter zur Folge, dass die Systeme in einem ungünstigen Teillastbetrieb fahren mit einer tieferen Energieeffizienz.

Das Modell kann auch eine Grundlage sein für eine kostenwahre Weiterverrechnung von Kosten des Rechenzentrum-Betriebs an die Mieter (IT-Dienstleister). So sollte dem Energiekostenanteil bei einem Rechenzentrum mit einer hohen elektrischen Leistungsdichte eine hohe Beachtung geschenkt werden und Energiekosten (v.a. Berücksichtigung der Preisentwicklung) sollten separat weiterverrechnet werden. Damit wird auch eine Sensibilisierung der IT-Nachfrageseite bezüglich dem Energieverbrauch erreicht.

Für ein geplantes zukünftiges Rechenzentrum einer grösseren Schweizer Stadt konnte das Simulationsmodell die zukünftigen Betriebskosten abschätzen. Bereits in der Vorprojektphase konnten Erkenntnisse gewonnen werden, welche die Planung in Richtung Optimierung des Strombedarfs beeinflussen wird. Beispielsweise wurde eine Alternativvariante bei der Kühlung ausgearbeitet, welche mit der direkten Luftkühlung arbeitet statt mit Kältemaschinen mit Rückkühlung.

12 Empfehlungen und Vorschlag für weitere Arbeiten

12.1 Empfehlungen an Planer und Rechenzentrum-Betreiber

Das in dieser Arbeit beschriebene Excel-Tool steht zur freien Anwendung zur Verfügung. Wir empfehlen, bereits in einer frühen Planungsphase eines Rechenzentrums eine Kostensimulation mit dem Excel-Tool durchzuführen.

Auf der Basis der erarbeiteten Kosten sollen die fixen und variablen Kostenanteile den Mietern (IT-Dienstleister) verursachergerecht weiterverrechnet werden.

Wenn ein Betreiber verschiedene Rechenzentren führt, so lassen sich mit dem Simulationsmodell Kennwerte erarbeiten für einen Benchmark-Vergleich der verschiedenen Rechenzentren.

12.2 Vorschlag für weitere Arbeiten

In jüngster Zeit sind international viele Studien erschienen zum Thema der Energieeffizienz bei der IT allgemein und bei Rechenzentren im Speziellen. Diese Erkenntnisse verbunden mit den Erfahrungen bei der Anwendung des in dieser Studie erarbeiteten Rechenmodells sollen für die Zielgruppe „Betreiber von Rechenzentren“ aufbereitet werden.

Wir empfehlen daher, ein Merkblatt zu erarbeiten für Rechenzentrum-Betreiber mit Tipps zu:

- Planung eines Rechenzentrums mit optimiertem Energieverbrauch
- Betrieb eines Rechenzentrums mit optimiertem Energieverbrauch
- Controlling und Benchmarks
- Verursachergerechte Weiterverrechnung von Kapital- und Betriebskosten
- Eventuell kann ein Best Practice-Fall demonstriert werden.

13 Literaturverzeichnis

Jonathan Koomey et al (2007): A Simple Model for Determining True Total Cost of Ownership for Data Centers, Uptime Institute White Paper, 2007

U.S. Environmental Protection Agency ENERGY STAR Programm (2007): Report to Congress on Server and Data Center Energy Efficiency Public Law 109-431, August 2, 2007

The Uptime Institute (2006): Tier Classification Define Site Infrastructure Performance, Santa Fé, 2006

14 Anhang

14.1 Berechnungsbeispiel mit dem Excel-Tool mit anonymisierten Daten mit den folgenden Arbeitsblättern

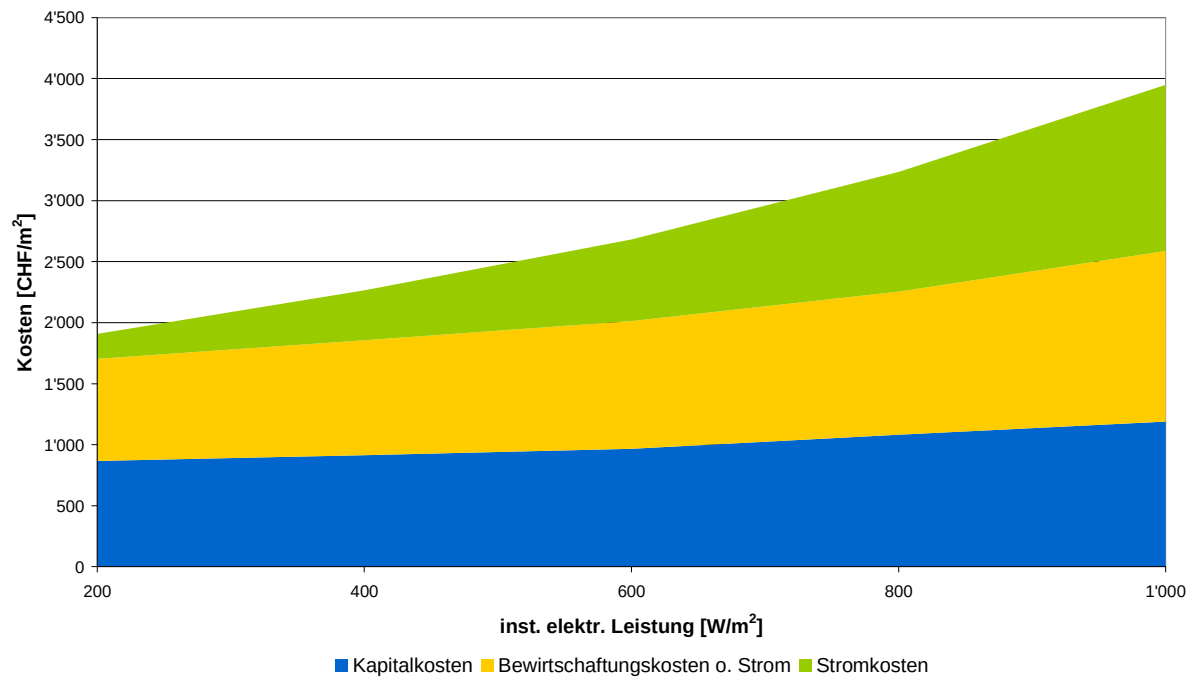
- Titelblatt
- Eingabe- und Resultattabelle
- Diagramme
- Beschreibung der Eingaben
- Berechnungsformeln

RZ-Kostenmodell

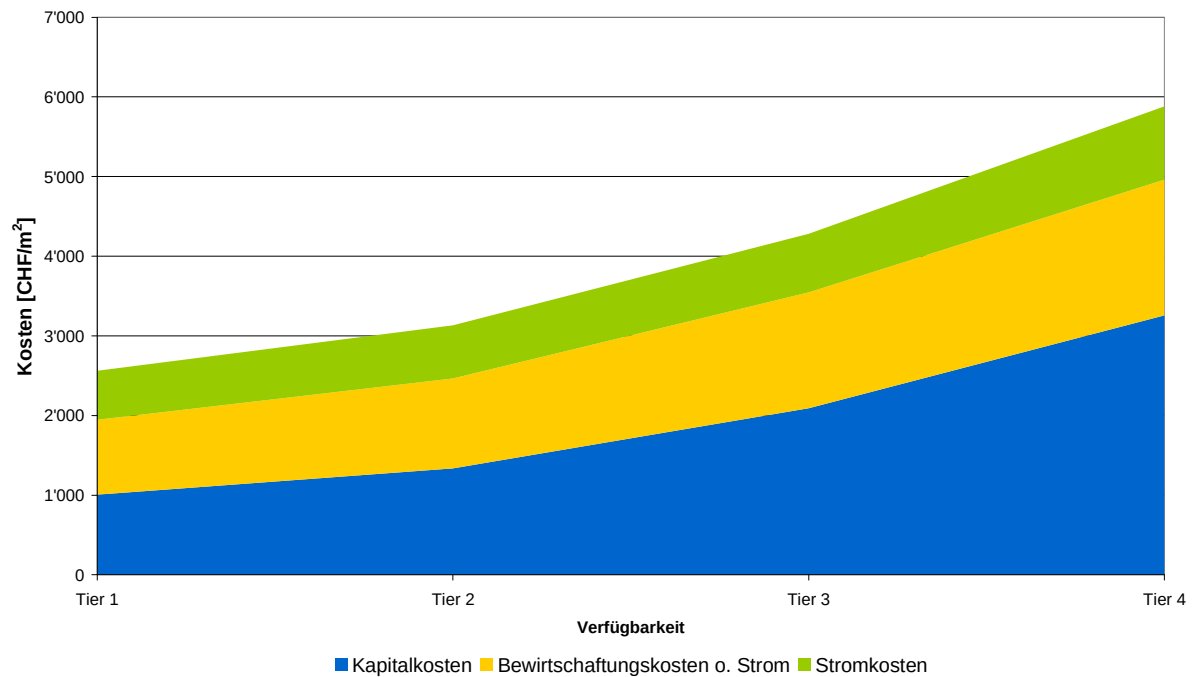
Version	1.1
Datum	11.07.2008
Autoren	Martin Bänninger, Telekurs AG Alois Huser, Encontrol AG © Telekurs AG und Encontrol AG
Rechenzentrum	Muster
Ort	Musterdorf
Ausführung durch	Hans Muster
Datum	11.07.2008

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Eingabedaten									
2			Variation von elektr. Leistungsbedarf für IT				Variation von Verfügbarkeiten			
3	Basisdaten	Gundvariante	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
4	Auslegung									
5	Nutzfläche netto [m ²]	3'300	3'300	3'300	3'300	3'300	3'300	3'300	3'300	3'300
6	Bruttofläche [m ²]	13'000	13'000	13'000	13'000	13'000	13'000	13'000	13'000	13'000
7	Verhältnis Brutto-/Nettofläche	4	4	4	4	4	4	4	4	4
8	installierte el. Leistung für IT pro m ² [W/m ²]	200	400	600	800	1'000	600	600	600	600
9	installierte el. Leistung für IT [kW]	660	1'320	1'980	2'640	3'300	1'980	1'980	1'980	1'980
10	Verfügbarkeitsanforderung [Tier 1...4]	Tier 2	Tier 2	Tier 2	Tier 2	Tier 2	Tier 1	Tier 2	Tier 3	Tier 4
11	Betriebszeit									
12	Jahresbetriebsstunden	8'760	8'760	8'760	8'760	8'760	8'760	8'760	8'760	8'760
13	Energie									
14	mittlerer Strompreis [CHF/MWh]	100	100	100	100	100	100	100	100	100
15	Anteil Stromverbrauch der IT an Gesamtverbrauch [%]	60	60	55	50	45	60	55	50	40
16	Benutzte elektr. Leistung / installierte Leistung	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
17	Strombezug [MWh/a]	6'745	13'490	22'075	32'377	44'968	20'236	22'075	24'283	30'353
18	Finanzen und Personal									
19	Zinsfaktor [%]	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
20	Anzahl Mitarbeiter Bedienung u. Überwachung	6	8	10	12	13	8	10	12	14
21	Aufwand Mitarbeiter Bedienung u. Überwachung [CHF/a]	150'000	150'000	150'000	150'000	150'000	150'000	150'000	150'000	150'000
22	Anzahl Mitarbeiter Bewachung	10	10	10	10	15	10	12	14	16
23	Aufwand Mitarbeiter Bewachung [CHF/a]	100'000	100'000	100'000	100'000	100'000	100'000	100'000	100'000	100'000
24										
25	Investitionen und Anlagen									
26	Investitionen Bau pro m ² Bruttofläche [CHF/m ²]	1'800	1'800	1'800	1'800	1'800	1'800	1'800	1'800	1'800
27	Investitionen Bau [CHF]	23'400'000	23'400'000	23'400'000	23'400'000	23'400'000	23'400'000	23'400'000	23'400'000	23'400'000
28	Amortisationsdauer Bau [Jahre]	30	30	30	30	30	30	30	30	30
29	Investitionen Infrastruktur pro kW-el. Leistung [CHF/kW]	12'500	7'000	5'200	4'800	4'500	7'000	9'000	14'000	18'000
30	Investitionen Infrastruktur [CHF]	10'312'500	11'550'000	12'870'000	15'840'000	18'562'500	13'860'000	22'275'000	41'580'000	71'280'000
31	Total Investitionen [CHF]	33'712'500	34'950'000	36'270'000	39'240'000	41'962'500	37'260'000	45'675'000	64'980'000	94'680'000
32	Amortisationsdauer Technik [Jahre]	10	10	10	10	10	10	10	10	10
33	Komplexität der Anlagen [einfach, mittel, hoch]	mittel	mittel	mittel	mittel	mittel	mittel	mittel	hoch	hoch
34	Alter der Anlagen [1-2 Jahre, 3-7 Jahre, > 8 Jahre]	> 8 Jahre	> 8 Jahre	> 8 Jahre	> 8 Jahre	> 8 Jahre	3-7 Jahre	3-7 Jahre	3-7 Jahre	3-7 Jahre
35										
36	Kapitalkosten pro Jahr [CHF/a]	2'857'720	3'017'981	3'188'927	3'573'556	3'926'132	3'317'137	4'406'918	6'907'004	10'753'290
37	Kapital- und Zinskosten Bau [CHF/a]	1'522'204	1'522'204	1'522'204	1'522'204	1'522'204	1'522'204	1'522'204	1'522'204	1'522'204
38	Kapital- und Zinskosten Infrastruktur [CHF/a]	1'335'516	1'495'778	1'666'724	2'051'352	2'403'929	1'794'933	2'884'714	5'384'800	9'231'086
39										
40	Betriebskosten pro Jahr [CHF/a]	3'435'770	4'454'840	5'660'840	7'097'936	9'105'050	5'129'360	5'932'120	7'227'072	8'650'940
41	Verwaltung [CHF/a]	430'000	430'000	430'000	430'000	430'000	430'000	430'000	430'000	430'000
42	Strom [CHF/a]	674'520	1'349'040	2'207'520	3'237'696	4'496'800	2'023'560	2'207'520	2'428'272	3'035'340
43	Bedienung und Überwachung [CHF/a]	900'000	1'200'000	1'500'000	1'800'000	1'950'000	1'200'000	1'500'000	1'800'000	2'100'000
44	Sicherheit und Bewachung [CHF/a]	1'000'000	1'000'000	1'000'000	1'000'000	1'500'000	1'000'000	1'200'000	1'400'000	1'600'000
45	Reinigung und Pflege [CHF/a]	60'000	60'000	60'000	60'000	60'000	60'000	60'000	60'000	60'000
46	Wartung Infrastruktur [CHF/a]	371'250	415'800	463'320	570'240	668'250	415'800	534'600	1'108'800	1'425'600
47										
48	Totalkosten pro Jahr [CHF/a]	6'293'490	7'472'821	8'849'767	10'671'492	13'031'182	8'446'497	10'339'038	14'134'076	19'404'230
49										
50	Kennwerte									
51	Kapitalkosten / Nutzungsfläche [CHF/m ² *a]	866	915	966	1'083	1'190	1'005	1'335	2'093	3'259
52	Stromkosten / Nutzungsfläche [CHF/m ² *a]	204	409	669	981	1'363	613	669	736	920
53	Bewirtschaftungskosten ohne Strom / Nutzungsfläche [CHF/m ² *a]	837	941	1'046	1'170	1'396	941	1'129	1'454	1'702
54	Totalkosten / Nutzungsfläche [CHF/m ² *a]	1'907	2'264	2'682	3'234	3'949	2'560	3'133	4'283	5'880
55	Kosten / inst. El. Leistung [CHF/kVA*a]	9'536	5'661	4'470	4'042	3'949	4'266	5'222	7'138	9'800

RZ-Kostenmodell nach elektr. Leist. für die IT



RZ-Kostenmodell nach Verfügbarkeit



Erklärungen

Eingabefelder

Auslegung

Nutzfläche [m²]

Bruttofläche [m²]

installierte el. Leistung für IT pro m² [W/m²]

Verfügbarkeitsanforderungen

Eingabefelder sind gelb markiert

Effektive RZ-Fläche für die IT

Gesamtfläche inkl. Infrastruktur, Büro und Verkehrsfläche

Bei der IT zur Verfügung stehende installiert elektrische Leistung.

Tier 1 ... 4

Hat Einfluss auf die Investitionskosten der Infrastruktur:

1: Faktor 1

2: Faktor 1.25

3: Faktor 1.5

4: Faktor 2

Betriebszeit

Jahresbetriebsstunden

Geben Sie die Jahresstunden des Betriebs ein. Bei einem Betrieb 7

Tage x 24 Stunden ergibt sich eine Jahresbetriebsstundenzahl von 8760.

Energie

mittlerer Strompreis [CHF/MWh]

Im mittleren Energiepreis sind alle Kosten (Leistungskosten, Grundkosten usw.) enthalten.

Geben Sie das Verhältnis des Stromverbrauchs der IT zum Gesamtstromverbrauch des Rechenzentrums (IT und Infrastruktur) ein.

Dieser Wert liegt zwischen 30 und 70 %. Je grösser dieser Wert ist, desto höher ist die Energieeffizienz der Infrastruktur.

Geben Sie das Verhältnis der effektiven durchschnittlichen elektrischen Leistung bei der IT im Verhältnis zur geplanten installierten Leistung ein. Mit dieser Eingabe berücksichtigen Sie die eingeplante elektrische Reserveleistung für die IT.

Anteil Stromverbrauch der IT
an Gesamtverbrauch [%]

Benutzte elektr. Leistung /
installierte Leistung

Finanzen und Personal

Zinssatz [%]

Geben Sie den realen Zinssatz ein, mit welchem die Investitionen über die Abschreibungsdauer belastet sind (Annuitätenmethode). Dieser Zinssatz ist über die ganze Amortisationsdauer konstant.

Anzahl Mitarbeiter Bedienung u. Überwachung

Geben Sie die Anzahl Mitarbeiter ein, welche für die Bedienung und Überwachung der Infrastrukturanlagen zuständig sind.

Aufwand Mitarbeiter Bedienung u.
Überwachung [CHF/a]

Geben Sie die Personalkosten ein pro Mitarbeiter des Bedienpersonals pro Jahr. In den Kosten sind neben den Lohn- und Sozialkosten auch die Arbeitsplatzkosten enthalten.

Anzahl Mitarbeiter Bewachung

Geben Sie die Anzahl Mitarbeiter ein, welche für die Bewachung der Infrastrukturanlagen zuständig sind.

Aufwand Mitarbeiter Bewachung [CHF/a]

Geben Sie die Personalkosten ein pro Mitarbeiter des Bewachungspersonals pro Jahr. In den Kosten sind neben den Lohn- und Sozialkosten auch die Arbeitsplatzkosten enthalten.

Investitionen und Anlagen

Investitionen Bau pro m² Bruttofläche [CHF/m²]

Geben Sie die spezifischen Investitionskosten pro m² Bruttofläche des Rechenzentrums für den Rohbau ein.

Amortisationsdauer Bau [Jahre]

Geben Sie die Anzahl Jahre des Rohbaus ein, über welche die Investition abgeschrieben wird. Beispiel: 30 Jahre.

Investitionen Infrastruktur
pro kW-el.Leistung [CHF/kW]

Geben Sie die spezifischen Investitionskosten pro kW-el.Leistung (installierte Leistung an der IT) ein.

Amortisationsdauer Technik [Jahre]

Geben Sie die Anzahl Jahre der technischen Infrastruktur ein, über welche die Investition abgeschrieben wird. Beispiel: 10 Jahre.

Komplexität der Anlagen

einfach, mittel, hoch

Hat Einfluss auf die Höhe der Wartungskosten:

einfach: 2% der Investitionen der Infrastruktur pro Jahr

mittel: 3% der Investitionen der Infrastruktur pro Jahr

hoch: 4% der Investitionen der Infrastruktur pro Jahr

Alter der Anlagen

1-2 Jahre, 3-7 Jahre, > 8 Jahre

Hat Einfluss auf die Höhe der Wartungskosten:

1-2 Jahre: Faktor 1.25

3-7 Jahre: Faktor 1

> 8 Jahre: Faktor 1.5

Betriebskosten pro Jahr

Verwaltung [CHF/a]

Geben Sie die jährlichen Kosten für die Verwaltung des Rechenzentrums aus der Sicht des Betreibers der Infrastruktur ein (ohne Verwaltung der eigentlichen IT-Geräte).

Reinigung und Pflege [CHF/a]

Geben Sie die jährlichen Kosten für die Reinigung und Pflege der Infrastruktur des Rechenzentrums ein.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Berechnungen									
2	Verfügbarkeitsanforderung				Komplexität der Anlagen				Alter der Anlagen	
3	Tier 1	1			einfach	0.02			1-2 Jahre	1.25
4	Tier 2	1.25			mittel	0.03			3-7 Jahre	1
5	Tier 3	1.5			hoch	0.04			> 8 Jahre	1.5
6	Tier 4	2								
7										
8										

14.2 Berechnung des Modellvergleichs mit dem Modell von Jonathan Koomey

	A	B
1	Eingabedaten	
2		
3	Basisdaten	Gundvariante
4	Auslegung	
5	Nutzfläche netto [m ²]	1'800
6	Bruttofläche [m ²]	6'000
7	Verhältnis Brutto-/Nettofläche	3
8	installierte el. Leistung für IT pro m ² [W/m ²]	1'200
9	installierte el. Leistung für IT [kW]	2'160
10	Verfügbarkeitsanforderung [Tier 1...4]	Tier 3
11	Betriebszeit	
12	Jahresbetriebsstunden	8'760
13	Energie	
14	mittlerer Strompreis [CHF/MWh]	100
15	Anteil Stromverbrauch der IT an Gesamtverbrauch	50
16	Benutzte elektr. Leistung / installierte Leistung	0.80
17	Strombezug [MWh/a]	30'275
18	Finanzen und Personal	
19	Zinsfaktor [%]	5.00
20	Anzahl Mitarbeiter Bedienung u. Überwachung	3
21	Aufwand Mitarbeiter Bedienung u. Überwachung	150'000
22	Anzahl Mitarbeiter Bewachung	5
23	Aufwand Mitarbeiter Bewachung [CHF/a]	100'000
24		
25	Investitionen und Anlagen	
26	Investitionen Bau pro m ² Bruttofläche [CHF/m ²]	1'800
27	Investitionen Bau [CHF]	10'800'000
28	Amortisationsdauer Bau [Jahre]	30
29	Investitionen Infrastruktur pro kW-el.Leistung [CHF/kW]	14'000
30	Investitionen Infrastruktur [CHF]	45'360'000
31	Total Investitionen [CHF]	56'160'000
32	Amortisationsdauer Technik [Jahre]	10
33	Komplexität der Anlagen [einfach, mittel, hoch]	hoch
34	Alter der Anlagen [1-2 Jahre, 3-7 Jahre, > 8 Jahre]	3-7 Jahre
35		
36	Kapitalkosten pro Jahr [CHF/a]	6'576'883
37	Kapital- und Zinskosten Bau [CHF/a]	702'555
38	Kapital- und Zinskosten Infrastruktur [CHF/a]	5'874'328
39		
40	Betriebskosten pro Jahr [CHF/a]	5'432'056
41	Verwaltung [CHF/a]	215'000
42	Strom [CHF/a]	3'027'456
43	Bedienung und Überwachung [CHF/a]	450'000
44	Sicherheit und Bewachung [CHF/a]	500'000
45	Reinigung und Pflege [CHF/a]	30'000
46	Wartung Infrastruktur [CHF/a]	1'209'600
47		
48	Totalkosten pro Jahr [CHF/a]	12'008'939
49		
50	Kennwerte	
51	Kapitalkosten / Nutzungsfläche [CHF/m ² *a]	3'654
52	Stromkosten / Nutzungsfläche [CHF/m ² *a]	1'682
53	Bewirtschaftungskosten ohne Strom / Nutzungsfläche [CHF/m ² *a]	1'336
54	Totalkosten / Nutzungsfläche [CHF/m ² *a]	6'672
55	Kosten / inst. El. Leistung [CHF/kVA*a]	5'560