

Auf dem Weg zum integrierten Energieproduktivitäts-Monitoring im Rechenzentrum

- Konzept und Status Quo der prototypischen Implementierung -

Björn Schödwell¹, Bernhard Barz², Rüdiger Zarnekow¹

¹Fachgebiet für Informations- und Kommunikationsmanagement
Technische Universität Berlin
Straße des 17. Juni 135
10623 Berlin

&

²regio iT Gesellschaft für Informationstechnologie mb
Lombardenstr. 24
52070 Aachen

b.schoedwell@tu-berlin.de
bernhard.barz@regioit.de
ruediger.zarnekow@tu-berlin.de

Abstract: Der Klimawandel und steigende Energiekosten erhöhen den Druck auf IT-Dienstleister, die Energieproduktivität in Rechenzentren (RZ) zu verbessern. Die Basis dazu ist eine integrierte Überwachung und Steuerung der Betriebsparameter der Informations- und Gebäudetechnik. Nach wie vor fehlen in Forschung und Praxis Ansätze zur Implementierung eines systemübergreifenden Energieproduktivitäts-Monitoring im RZ. Dieser Beitrag erläutert, wie ein derartiges Monitoring-System im Rahmen des Projektes Government Green Cloud Laboratories (GGC-Lab) prototypisch umgesetzt wird. Dazu wird ein Kennzahlensystem zur ganzheitlichen Bewertung der Energieproduktivität im RZ abgeleitet, der konzeptionelle Aufbau des zur automatisierten Datenerfassung erforderlichen Monitoring-Systems erläutert und die bei der Implementierung der Konzepte gewonnenen Einsichten dargestellt. Insbesondere wird untersucht, inwiefern sich bereits vorhandene Datenquellen eines Bestandsrechenzentrums in ein übergeordnetes Gesamtsystem integrieren lassen. Der Beitrag liefert Praktikern einen ersten Ansatz zur Etablierung des Energieproduktivitäts-Monitoring und identifiziert zudem Forschungsbedarf in diesem Bereich.

1 Einleitung

Der Klimawandel und die Verknappung natürlicher Ressourcen verstärken die globalen Bemühungen umweltverträglicher zu wirtschaften. Insbesondere der ökologische Einfluss von Informationstechnik (IT) und Informationssystemen (IS) wird mit zunehmender Durchdringung aller Wirtschafts- und Lebensbereiche kritisch hinterfragt. Im Positiven unterstützen bspw. betriebliche Umweltinformationssysteme Organisationen dabei, ihre Geschäftsprozesse ökologischer zu gestalten (Green IS) [WBC10]. Im Negativen wird die IT z.B. durch deren steigenden Energiebedarf und die damit

induzierten Kohlenstoffdioxid-Emissionen selbst zu einem Problem und werden Möglichkeiten zur Verminderung des Einflusses der vermehrten IT-Nutzung auf die Umwelt erforscht (Green IT) [Lo11]. Der Betrieb von Rechenzentren (RZ) erfährt besondere Beachtung, nachdem zahlreiche wissenschaftliche Studien stark wachsende IT-Bestände und Strombedarfe von RZ nachgewiesen haben (z.B. [EP07, Be08, Sc11]).

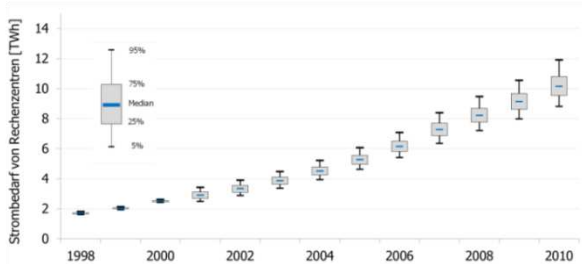


Abb. 1: Strombedarf der Rechenzentren in Deutschland von 1998 bis 2010, [Sc11]

Abb. 1 zeigt die Entwicklung des Strombedarfs von RZ in Deutschland [Sc11]. Trotz der mit Miniaturisierung, Parallelisierung und sonstiger Optimierung von Komponenten herstellerseitig stetig erzielten Verbesserung der Energieproduktivität (EP) der Hardware führt überproportionales Nachfragewachstum nach IT-Diensten, aber auch eine ineffiziente IT-Nutzung zu wachsenden IT-Beständen in RZ [Sc11]. Der infolgedessen sich ebenfalls erhöhende Strombedarf drängt bei zunehmenden Energiepreisen IT-Dienstleister dazu, stärker als bisher die EP im RZ zu überwachen und zu steigern.

Großes energetisches Optimierungspotential verspricht das RZ-übergreifende Lastmanagement [Ne09]. Daher wird im Rahmen des nationalen Forschungsprojektes Government Green Cloud Laboratories (GGC-Lab) derzeit die energie- und kosteneffiziente Verlagerung kommunaler Fachanwendungen in einer labortechnischen Community Cloud erprobt [Re11]. Die energiebedarfsoptimierte Migration der IT-Lasten zwischen den vier am Projekt beteiligten, lokal verteilten RZ sollen dezentrale Ressourcencontroller mit Hilfe von quasi in Echtzeit gemessenen Kennzahlen realisieren [Sc13a]. Die dazu erforderlichen Messwerte zu den Ressourcenbedarfen der Fachanwendungen sowie zu den Auslastungen und Energiebedarfen der RZ-Infrastrukturen soll jeweils ein systemübergreifendes Monitoring-System (MS) bereitstellen [Sc13a].

Ein derartiges MS ist aber nicht nur die Voraussetzung für das energiebedarfsoptimierte Lastmanagement zwischen den Instanzen einer Community Cloud, sondern auch die Basis für die zielgerichtete Ableitung von Maßnahmen zur Verbesserung der EP in einem individuellen RZ. Denn nur die integrierte Erfassung und Analyse von Kapazitäts-, Leistungs- und Energiebedarfsdaten der IT und der Gebäudetechnik mit Hilfe von aussagekräftigen Kennzahlen wird den vielschichtigen Wechselwirkungen zwischen den Infrastruktursystemen eines RZ gerecht und ermöglicht eine kontrollierte Verbesserung der EP im RZ. Während in der Literatur bereits erste Ansätze zur Bewertung der EP im RZ verfügbar sind, wurden die praktischen Möglichkeiten zur automatisierten, integrierten Erfassung der zur Berechnung der Kennzahlen erforderlichen Daten mittels eines übergeordneten MS bisher kaum beachtet. Vor diesem Hintergrund werden mit diesem Beitrag folgende Forschungsfragen adressiert:

- Mit welchen Kennzahlen kann die EP im RZ ganzheitlich überwacht werden und inwiefern besteht diesbezüglich weiterer Forschungsbedarf?
- Welche Herausforderungen und Lösungsansätze sowie übertragbaren Einsichten ergeben sich bei der prototypischen Implementierung eines EPMS?

Zur Beantwortung der Fragen gliedert sich der Beitrag wie folgt. Abschnitt 2 erläutert die Methodik. Abschnitt 3 stellt den Stand der Forschung zu EP-Kennzahlen für RZ und zum Monitoring in RZ dar. In Abschnitt 4 werden ein ganzheitliches Kennzahlensystem konstruiert und der konzeptionelle Aufbau eines EPMS erläutert. In Abschnitt 5 werden die Schritte der prototypischen Implementierung im RZ eines mittelständischen IT-Dienstleisters dargestellt und in Abschnitt 6 die bei der praktischen Umsetzung gewonnenen Einsichten diskutiert. Abschnitt 7 fasst den Beitrag zusammen, blickt auf dessen Grenzen und formuliert Forschungsbedarf. Der Betrachtungsrahmen des Beitrags richtet sich damit an Forscher im Bereich der Energie- und Ressourceneffizienz von RZ und IT-Dienstleister, die im RZ ein EPMS etablieren wollen.

2 Forschungsmethodisches Vorgehen

Dem Beitrag wird das erkenntnistheoretische Paradigma der gestaltungsorientierten Forschung zugrunde gelegt (engl.: Design Science) [He04]. Im Gegensatz zur verhaltenorientierten Forschung werden proaktiv Artefakte gestaltet (hier: Kennzahlensystem und integriertes EPMS) und diese im Anwendungszusammenhang evaluiert, um die Herausforderungen der Praxis erklären und lösen zu können [Ös10, WH07]. Da das Forschungsgebiet nicht vollständig wissenschaftlich erschlossen ist, ist die Arbeit durch ein exploratives Vorgehen gekennzeichnet. Demzufolge wurde ein konzeptionell-deduktives Forschungsdesign gewählt und im Sinne der Triangulation mit verschiedenen, überwiegend qualitativen Methoden gearbeitet. Diese sind Literaturanalyse, Experteninterviews und Prototyping im Kontext einer Einzelfallstudie, um erste Erkenntnisse zur Konstruktion eines übertragbaren Ansatzes zu generieren.

3 Stand der Forschung

Trotz eines einheitlichen funktionalen Aufbaus sind RZ je nach Größe, Zweck oder Verfügbarkeitsanforderungen technisch sehr heterogen [Sc12a]. Abb. 2 listet die den funktionalen Hauptsystemen Gebäudetechnik und IT typischerweise untergeordneten funktionalen Systeme und technischen Subsysteme. Dabei bestimmt ausgehend von der jeweils installierten Kapazität der physischen Infrastrukturen (Dimensionierung je nach Ausbaustufe) und deren Betriebscharakteristika (Kennlinie der Leistungserstellung in Abhängigkeit vom Energiebedarf) die aktuelle Nachfrage nach IT-Diensten die Auslastung und den Energiebedarf der IT und in Verbindung mit den vorliegenden Umweltbedingungen auch den energetischen Aufwand zur Klimatisierung des RZ sowie die Gesamtverluste bei der Wandlung, Speicherung und Übertragung der zum Betrieb des RZ erforderlichen Energie. Abb. 3 veranschaulicht vereinfachend diese elementaren Wechselwirkungen, die direkt die EP im RZ beeinflussen.

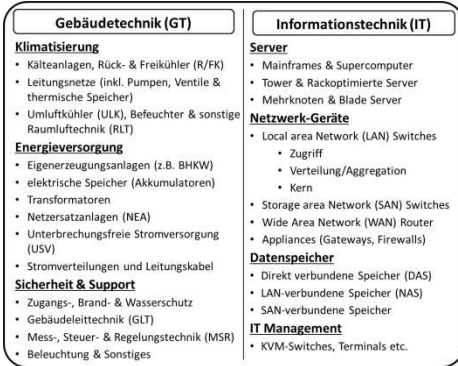


Abb. 2: Physische Infrastrukturen, [Sc13b]

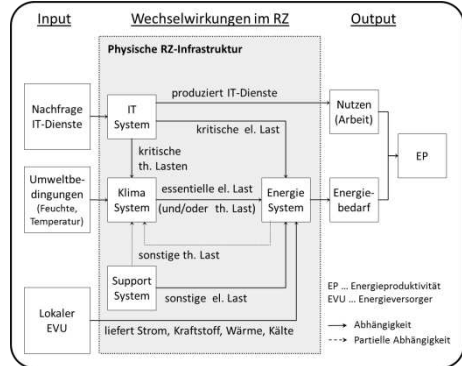


Abb. 3: Wechselwirkungen im RZ, [Sc13b]

Um energetische Wechselwirkungen im RZ abzubilden und den Erfolg von Verbesserungsmaßnahmen zu kontrollieren, können IT-Dienstleister die Energieeffizienz (EE) bzw. EP auf Ebene des gesamten RZ, der funktionalen bzw. technischen Systeme oder einzelner Komponenten mit Hilfe von Kennzahlen erheben. Derartige Kennzahlen bilden sich i.d.R. aus dem Verhältnis von Nutzen zu Aufwand (Energiebedarf). Die Perspektive unterscheidet sich insofern, als dass EE-Kennzahlen eine Verminderung des Energieeinsatzes bei gleichbleibendem Nutzen, EP-Kennzahlen hingegen die Erhöhung des Nutzens bei gleichem Energieeinsatz fokussieren [An08]. Im Folgenden werden, um den Umfang zu begrenzen, die wichtigsten Ansätze mit Bezug zur EE bzw. EP angeführt, um in Abs. 4.1 ein ganzheitliches Kennzahlensystem zu konstruieren. Eine umfassende Übersicht zu Kennzahlen für RZ findet sich in [Sc13b].

3.1 Energieproduktivitäts-Kennzahlen für RZ

Ende der achtziger Jahre begannen in der Schweiz 14 IT-Dienstleister mit der Kennzahl K als Quotient des Energiebedarfs der IT und des gesamten RZ (siehe Gl. 1) die EE der Gebäudetechnik zu vergleichen [Ae09]. Autoren griffen in der Folge den Ansatz mit variierenden Bezeichnungen auf, wobei The Green Grid (TGG) mittlerweile den Namen Data Center infrastructure Efficiency (DCiE) bzw. für deren Inverse den Titel Power Usage Effectiveness (PUE) etabliert haben [Be07]. Zudem haben die Lawrence Berkeley National Laboratories (LBNL) ein Kennzahlensystem vorgestellt und sukzessive weiterentwickelt, das die EE/EP ausgewählter funktionaler bzw. technischer Systeme und Komponenten der Gebäudetechnik erfasst [GTW06, Ma09, Ma10]. Komplementäre Kennwerte für die Gebäudetechnik finden sich in [Sc12b].

$$K = DCiE = \frac{1}{PUE} = \frac{\text{Energie IT}}{\text{Energie RZ}} = \frac{\text{Energie IT}}{\text{Energie IT} + \text{Energie GT}} \quad (\text{Gl. 1})$$

Geforscht wird nach wie vor an Kennzahlen, die die EE/EP der IT abbilden. Wichtig ist hier die Unterscheidung des physischen und logischen Nutzens. Physischer Nutzen beschreibt die von der Hardware verrichtete Arbeit, also die Anzahl der Rechenzyklen der Server, der Lese- und Schreibvorgänge der Datenspeicher oder der übertragenen Bits der Netzwerkgeräte [Br07]. Im Gegensatz dazu bemisst der logische Nutzen auf

Anwendungsebene bspw. die Anzahl der beantworteten Anfragen, abgeschlossenen Datenbanktransaktionen und aufgebauten Netzwerkverbindungen oder aber auf Geschäftsebene die Anzahl der abgerufenen Instanzen der IT-Dienste als Bündel mehrerer, ggfs. verteilter Anwendungen [An08]. Dabei muss berücksichtigt werden, dass im RZ auch immer administrative Anwendungen bzw. Dienste (Monitoring, Datenbankmanagement, Virtualisierung, etc.) laufen, die Arbeit der Hardware erfordern, aber aus Kundenperspektive keinen direkten Nutzen stiften [B110].

Einen ersten Ansatz zur Bewertung der EE der IT auf Basis des physischen Nutzens liefern [Ae02] und führen die Kennzahl C2 als Quotient des Strombedarfs datenverarbeitender IT-Komponenten zum IT-Gesamtenergiebedarf inklusive der Netzteile und Lüfter ein. In Analogie zur DCiE wird mit C2 eine Verminderung des Energiebedarfs der IT-internen Versorgungsinfrastruktur fokussiert. Alternativ interpretieren Autoren die Auslastung der IT als Indikator für deren EP [BP07], da aufgrund des meist hohen Energiebedarfs der IT-Systeme im Leerlauf eine höhere Auslastung i.d.R. auch zu einer höheren EP des Systems führt. Im Gegensatz dazu schlagen Autoren die Kennzahl IT Productivity Per Embedded Watt (IT-PEW) explizit als Quotient der Anzahl der Netzwerktransaktionen, Lese- und Schreibvorgänge oder Rechenzyklen und des IT-Energiebedarfs vor [Br07], ohne aber auf Möglichkeiten zur systemübergreifenden Aggregation des physischen Nutzens der Server, Speicher und Netzwerke einzugehen.

$$DCeP = \frac{\text{Nutzen RZ}}{\text{Energie RZ}} = \frac{\text{Energie IT}}{\text{Energie RZ}} \times \frac{\text{Nutzen RZ}}{\text{Energie IT}} = DCiE \times ITeP = DCiE \times \frac{\sum_{i=1}^M V_i * U_i(t,T) * T_i}{\text{Energie IT}} \quad (Gl.2)$$

Einen Ansatz auf Basis des logischen Nutzens liefert TGG mit der Data Center energy Productivity (DCeP) [An08]. Diese kann nach Gl.2 in die Subkennzahlen DCiE und IT energy Productivity (ITeP) zerlegt werden. Der Gesamtnutzen des RZ ergibt sich aus der Summe des Nutzens aller in einer Messperiode produzierten IT-Dienste [An08]. Zur Aggregation wird der individuelle Nutzen eines IT-Dienstes i jeweils mit dem Gewichtungsfaktor V_i bewertet und mit der Nutzenfunktion U_i multipliziert, die die Veränderung des Nutzens abhängig von Zeitpunkt t und Dauer der Ausführung T berücksichtigt [An08]. Da aufgrund der subjektiven Gewichtung und der Individualität der IT-Dienste die DCeP zweier RZ nicht miteinander vergleichbar ist, wird nach wie vor untersucht, ob hardwarenahe Proxies wie die CPU-Auslastung für den Nutzen zum RZ-übergreifenden Vergleich der DCeP angewendet werden können [Ha09]. Um dabei den Aufwand für Hintergrunddienste zu berücksichtigen, die keinen Nutzen aus Kundensicht generieren, kann die mit einem Proxy errechnete DCeP dann mit der Kennzahl Data Center compute Efficiency (DCCE) multipliziert werden, die das Verhältnis von primären zu insgesamt produzierten IT-Diensten abbildet [B110].

3.2 Monitoring in RZ

Die Basis zur Berechnung von EE/EP-Kennzahlen bildet die Erfassung der erforderlichen Messwerte. In RZ werden i.d.R. bereits in mehr oder weniger großem Umfang die Sicherheit, Verfügbarkeit, Kapazität und Performanz der IT und Gebäudetechnik mit verschiedenen MS von unterschiedlichen Fachabteilungen überwacht [Sc12c]. Das Gebäudemanagement beobachtet mit der meist herstellerepezifischen Gebäude-

leittechnik (GLT) über Feldbusse (z.B. Modbus) die Prozessdaten aus Direct Digital Controllern (DDC) bzw. speicherprogrammierbaren Steuerungen (SPS) der Mess-, Steuer- und Regelungstechnik (MSR) [Sc12c]. Getrennt davon überwachen die IT-Abteilungen zur Einhaltung von Service Level Agreements (SLA) über Ethernet-basierte Protokolle (z.B. Simple Network Management Protocol, SNMP) die Erreichbarkeit, Auslastung und ggfs. den Durchsatz und die Latenz der IT-Systeme sowie bei hohen Leistungsdichten oft auch die Temperaturen in den IT-Räumen und von einzelnen IT-Komponenten (z. B. CPU) [Sc12c]. Neben proprietärer Software werden dazu eine Vielzahl von Open Source Lösungen wie NAGIOS oder MRTG eingesetzt.

Energie-MS (EMS) halten aktuell zunehmend Einzug in RZ. Neben eigenständigen EMS werden dazu vermehrt Data Center Infrastruktur Management (DCIM) Lösungen genutzt, die EMS-Funktionen integrieren [Dr13]. Wichtig in Bezug auf die Qualität der Datenerfassung ist beim Energiemonitoring immer die Unterscheidung zwischen der direkten Messung einer Größe mit externen Sensoren (Stromzähler, Wandler, iPDU) bzw. mit in das Zielsystem installierten Sensoren (IT-Netzteil) und der indirekten Messung über einen Indikator und eine im Zielsystem hinterlegte Kennlinie (Energiebedarfsmodell) [Dr13]. Entscheidend ist zudem, ob Messwerte das Integral bzw. den gleitenden Durchschnitt oder nur den augenblicklichen Zustand bei Abtastung darstellen [Dr13]. Wie das Energiemonitoring im RZ ganzheitlich umgesetzt und welche konkreten Techniken dazu genutzt werden können, erläutern [Sc12b].

Tab. 1 listet zusammenfassend Dimensionen des Monitorings, deren Betrachtungsgegenstand und exemplarische Messgrößen. Deutlich wird, dass beim Monitoring der Verfügbarkeit, Kapazität und Performanz bereits viele Betriebsparameter überwacht werden, die auch zur Berechnung von EE/EP-Kennzahlen benötigt werden.

Tab. 1: Dimensionen des Monitorings in RZ und beispielhafte Messgrößen

Dimension	Betrachtungsgegenstand und Messgrößen
Verfügbarkeit	Erreichbarkeit von IT-Komponenten und Systemen, Verbindungen und IT-Diensten ggf. mit Darstellung/Berücksichtigung von Abhängigkeiten über bewertete Verkettung von Ereignismeldungen, Status (an/aus) der Gebäudetechnik (ULK, KA, USV, NEA, etc.), Stromqualität (Spannung, Phasenverschiebung), Temperaturen (CPU, IT-Gehäuseein- und -auslass, Kalt- und Warmgang, Zu-/Abluft, Vor-/Rücklauf, Außenluft) und ggfs. Feuchtegrade
Kapazität	max. Leistung der Server (z. B. Anzahl/Taktfrequenz CPU/Kerne), Datenspeicher (Speicherplatz bzw. Anzahl/Volumen Lese-/Schreibvorgänge) und Netzwerkgeräte (Anzahl/ Bandbreite Ports und LAN/SAN/WAN/Internet-Verbindungen), max. Leistung der Engpässe der Gebäudetechnik (ULK, KA, USV, Trafo, etc.), nutzbare Fläche, Höheneinheiten Rack, etc.
Performanz	aktuelle Leistung/Durchsatz (ggfs. indirekt über Auslastung) von IT-Systemen und -Anwendungen, elektrische Leistung/Arbeit der Stromversorgungssysteme (Ausgang) & thermische/mechanische Leistung/Arbeit der Klimatisierungssysteme (über Drehzahlen, Temperaturen und Volumen-/Massenströme)
Energie	Bedarf chemischer (Brennstoff), elektrischer, thermischer und kinetischer (Massenströme Kühlmedien) Energie, für thermische Energie Temperaturen wie bei Verfügbarkeit, Massenströme wie bei Performanz
Sicherheit	IT-Zugriff, Rauchentwicklung, Wassereintritt, Flüssigkeitsaustritt, Zutritte

4 Konzeption

4.1 Entwurf des Kennzahlensystems

Die Konstruktion des Kennzahlensystems folgt den in Abs. 3.1 angeführten Ansätzen und speziell für technische Systeme dem Gl.3 zu Grunde liegen Paradigma. Demnach ergibt sich die EE/EP aus dem Nutzen N und dem Energiebedarf E, wobei letzterer in einen statischen Anteil E_0 bei Leerlauf des Systems bzw. der Komponente und einen dynamischen Anteil E_{dyn} abhängig von der aktuellen Last untergliedert werden kann. Neben dem Energiebedarf muss zudem der jeweils eindeutig zu definierende Nutzen entweder direkt gemessen oder bspw. indirekt über die Kapazität K (= maximaler Nutzen bzw. Leistungsvermögen) und deren Auslastung A bestimmt werden.

$$EP = \frac{EE}{E} = \frac{N}{E_0 + E_{\text{dyn}}(N)} \quad \text{mit } N = K \times A \quad \text{und } K = \max. N \quad (\text{Gl. 3})$$

Dabei ist die Definition des Nutzens für gebäudetechnische Systeme trivial, für die IT-Systemklassen aber nicht gänzlich ohne weitere Differenzierung möglich. Insbesondere bei den Datenspeichern kann der physische Nutzen in der Anzahl oder dem Datenvolumen der realisierten Lese- und Schreibvorgänge (IO), gleichwohl aber auch im belegten Speicherplatz selbst bestehen. Diesbezüglich bietet sich eine zusätzliche Klassifizierung nach Anwendung des Speichersystems (Datenbank = Anzahl IO, Dateisystem = Datenvolumen IO, Backup/Archiv = Speicherplatz) an. Nicht notwendig ist dies hingegen für den physischen Nutzen von Servern, die allgemein der Berechnung von Daten dienen (Anzahl Rechenzyklen = CPU-Zeit * Takt), und die Netzwerke, die allesamt Daten übertragen (Anzahl übertragene Bits), gleichwohl bspw. im letzteren Fall eine Unterscheidung in LAN, SAN und WAN und ggfs. des LAN in Zugriffs-, Verteilungs- und Kernnetz eine differenziertere Bewertung ermöglicht.

Eine Prämisse des Kennzahlensystems ist, dass Kennzahlen untergeordnete Subkennzahlen aggregieren. Dazu können Subkennzahlen funktional verknüpft oder die Bildungsvorschrift der übergeordneten Kennzahl mit Hilfe von weiteren Parametern neu definiert werden. Bei Auslastungen können zur Aggregation bspw. Mittel-, Maximal- oder Minimalwerte der Komponenten/Subsysteme angesetzt, die Auslastung der/des wichtigsten Komponente/Subsystems übernommen oder diese gewichtet aufsummiert werden [BP07]. Problematisch ist dies bei der physischen EP der IT-Systemklassen, da diese verschiedene Einheiten besitzen. Ein Ansatz besteht in der Normalisierung der absoluten EP mit auf Grund des stetigen Fortschritts gleitende Obergrenzen. Hier besteht Forschungsbedarf, so dass auf eine funktionale Aggregation verzichtet und stattdessen auf Ebene der gesamten Hardware auf [Br07] und für das gesamte IT-System auf [An08] abgestellt wird. Forschungsbedarf besteht nach wie vor ebenfalls zu Effizienzkennzahlen für das Software-System, d.h. zu Möglichkeiten mit Hilfe von Kennzahlen Aussagen zu treffen, inwiefern gleiche Funktionalitäten mit alternativen Softwarelösungen bei geringerem Ressourcenbedarf bereitgestellt werden können.

Abb. 4 zeigt den prototypischen Entwurf des Kennzahlensystems. Um die Darstellbarkeit zu gewährleisten, sind keine EE/EP-Kennzahlen auf Ebene der technischen IT-Subsystemklassen und für Komponenten aufgeführt. Die Pfeile symbolisieren die

Abhängigkeiten zwischen den Kennzahlen, wobei auch hier der Übersichtlichkeit halber systemübergreifende Zusammenhänge auf einer Ebene nicht abgebildet sind.

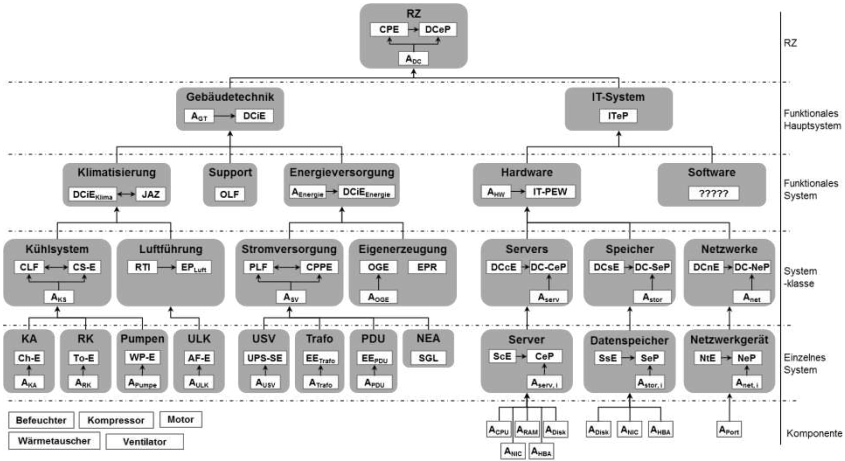


Abb. 4: Hierarchisches Kennzahlensystem zur Energieproduktivität im RZ, eigene (vgl. [Ae02, An08, Be07, B110, BP07, Br07, GTW06, Ma09, Ma10, Sc12b, Sc13b])

4.2 Entwurf integriertes EPMS

Ein EPMS dient allgemein der Erhebung der für das EE/EP-Kennzahlensystem benötigten Messwerte. Dazu muss das EPMS Daten unterschiedlicher Quellen über verschiedene Schnittstellen und Protokolle erfassen. Zudem müssen in abweichenden Formaten und Messzyklen erfasste „Rohdaten“ zur Speicherung auf Standardgrößen normiert und mit Metainformationen wie Erfassungszeiten bzw. -intervalle und die Messwertqualität versehen werden, um nachgelagerte Auswertungen zu unterstützen. Bei der Nachbearbeitung werden dann gleichartige Daten aggregiert und unterschiedliche Intervalle bzw. Messzeiträume harmonisiert, so dass Kennzahlen zeitsynchron visualisiert und auf Korrelation untersucht werden können. Zur Weiterverarbeitung dienen konfigurierbare Reports und der Datenexport über Standard-Webprotokolle. Bei Auswertungen sollte dabei immer gekennzeichnet werden, von welcher örtlichen/zeitlichen Granularität und Qualität (indirekte vs. direkte Messung, Messgenauigkeit) die Daten sind, um eine stetige Verbesserung der Messung anzureizen.

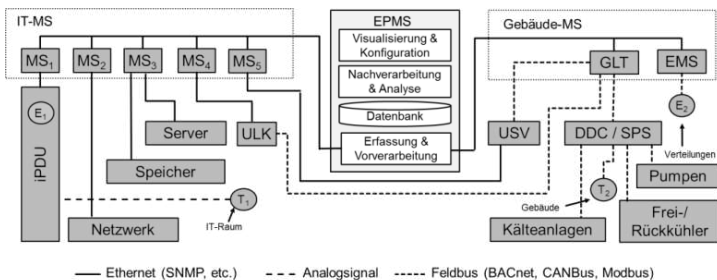


Abb. 5: Schematischer Aufbau eines integrierten EPMS, eigene (vgl. [Sc12])

Ob das EPMS ein im RZ bereits genutztes MS oder aber eine individuell entwickelte Lösung ist, ist sekundär. Der Vorteil eines bestehenden MS ist, dass dessen vorhandene Funktionalitäten zur Analyse, Konfiguration und Visualisierung genutzt werden können. Ggfs. kann dieses aber die möglichen Schnittstellen/Protokolle zur systemübergreifenden Integration der benötigten Messwerte anderer MS einschränken.

5 Prototypische Implementierung

Die vorgestellten Konzepte werden derzeit in einem der am GGC-Lab teilnehmenden RZ umgesetzt, um ihre Anwendbarkeit und ihren praktischen Nutzen zu evaluieren. Nachfolgend werden die bei der prototypischen Implementierung erfolgten Schritte sowie die dabei identifizierten Herausforderungen und Lösungsansätze dargestellt.

5.1 RZ-spezifische Ziele und Anforderungen

Im GGC-Lab soll das EPMS projektspezifische Kennzahlen zur energieoptimierten IT-Lastverlagerung bereitstellen [Sc13]. Zudem sind in dem RZ Optimierungsmaßnahmen notwendig, um die in der Planung definierten Werte für DCiE und Jahresarbeitszahl (JAZ) zu erreichen. Das primäre Ziel aus Sicht des IT-Dienstleisters bei der Umsetzung des EPMS ist daher, über die automatisierte Berechnung von Kennwerten, weitreichende Erkenntnisse zu den energetischen Wechselwirkungen im RZ zu generieren und umfassende Unterstützungs- und Verifizierungsfunktionen zu erhalten, die eine betriebssichere Steuerung des RZ hin zum optimalen Betriebspunkt ermöglichen. Darüber hinaus soll das EPMS anwendungs- und prozessbezogenen Energie- und Ressourcenbedarfe für verursachungsgerechtere Abrechnungen erfassen können.

Hinzu kommen weitere Anforderungen. Allem voran soll das EPMS marktfähig sein, d.h. als eigenständige Anwendung implementiert und bei der Entwicklung standardisierte Methoden, Schnittstellen und Protokolle verwendet werden. Zugleich sollen die Anzahl der notwendigen, unterschiedlichen Schnittstellen/Protokolle minimiert und der Aufwand zur Konfiguration des EPMS auf die Anpassung an die jeweils in einem RZ vorhandene Mess- und Systemtechnik begrenzt werden. Hinzu kommen die Gewährleistung einer geräteunabhängigen Bedienung auf Basis einer Weboberfläche und die Sicherstellung der Integrationsfähigkeit und Flexibilität durch Nutzung von Java-Technologien. Darüber hinaus soll das EPMS Mehr-Mandanten-fähig und flexible Strukturen pro Mandant (Verwaltung mehrerer unabhängiger RZ, Aggregation zu virtuellen Betriebsstellen) unterstützen. Dabei sollen die Aggregationsfunktionen EE/EP-Kennzahlen horizontal und vertikal zusammenfassen können.

5.2 Systemanalyse

Das RZ nutzt keine Eigenerzeugungsanlagen oder Anbindungen an Fernwärme und -kältenetze, so dass sich die Erfassung der versorgungsseitigen Energien auf Strommessungen beschränken. Diesbezüglich ist das RZ mit 20 in Verteilungen untergebrachten Sensoren (Stromzähler) ausgestattet, mit der auf Ebene der Einspeisung,

ausgewählter funktionaler/technischer Systeme (Kältetechnik, USV, IT) sowie auf Ebene einzelner Räume Energiebedarfe viertelstündlich gemessen werden können. Über das eigenständige EMS können die Messwerte ausgelesen und Energiebedarfe pro Sensor über definierbare Zeiträume dargestellt werden. Eine Aggregation zu Kennzahlen ist nicht möglich, sondern erfordert den Datenexport und eine manuelle Weiterbearbeitung. Zudem wurden im Rack für das GGC-Lab zwei iPDUs installiert, deren Messdaten für einzelne IT-Systeme über eine systemspezifische Weboberfläche dargestellt bzw. über eine offene Schnittstelle mit SNMP exportiert werden können.

Weiterhin ist zur Erfassung von Temperaturen und Feuchten in Server- und Betriebsräumen sowie für den Außenbereich ein eigenständiges Messsystem installiert. Die Messwerte werden IP-basiert mit NAGIOS erfasst, gespeichert und visualisiert. Mit der GLT sind zudem umfangreiche Daten aus der MSR zu den Betriebszuständen der Gebäudetechnik verfügbar, die auf einem OPC-Server gespeichert und dort ausgewertet werden können. Speziell die Performanz der IT wird derzeit nicht kontinuierlich erfasst. Speziell die Daten von physischen und virtuellen Servern können aber über herstellerspezifische Administrations-Tools und die vorhandenen Virtualisierungs-Lösungen abgerufen und dargestellt werden. Vereinzelt wird zudem die Auslastung der WAN- bzw. Internetverbindungen mit MRTG über Netflow-Techniken erfasst.

5.3 Stand der Umsetzung und nächste Schritte

Auf Grund der Komplexität des Vorhabens wurde eine stufenweise Entwicklung des EPMS beschlossen. Durch Methoden der agilen Software-Entwicklung wird sichergestellt, dass bestimmte Funktionen zu definierten Entwicklungsstufen zur Verfügung stehen. Ziel der abgeschlossenen ersten Entwicklungsstufe war die Berechnung und Darstellung der Kennzahlen DCiE und JAZ¹ sowie der Verteilung der Energiebedarfe auf funktionale/technische Systeme der Gebäudetechnik. Dazu wurde eine SNMP-basierte Schnittstelle zum EMS entwickelt und die Messwerte in einer ersten Datenbankstruktur gespeichert. Mit den Werten aus dem EMS können neben DCiE und JAZ zudem Wirkungsgrade und Auslastungen der Transformatoren und USV sowie die Verluste der Stromverteilung und NEA erfasst und differenziert dargestellt werden. Die Berechnungsvorschriften und Visualisierungen der Kenngrößen werden dabei zunächst jeweils fest vorgegeben, sollen aber zukünftig konfigurierbar sein.

Im noch andauernden zweiten Entwicklungsschritt werden aktuell die Performanzdaten der physischen/virtuellen Server und Klimatisierung integriert. Die Daten sollen jeweils über NAGIOS abgefragt werden. Die Performanz- bzw. Auslastungsdaten der Server können hierbei problemlos über das Application Programming Interface (API) der Virtualisierungssoftware importiert werden. Zur Erhebung der Performanz- und Auslastungsdaten der Klimatisierung aus der GLT wird derzeit noch eine angepasste Schnittstelle zu einem „Nicht-IT-Protokoll“ (hier: Modbus) entwickelt. Mit Vervollendung dieses Schrittes können dann erste IT-spezifische und alle gebäudetechnischen Kennwerte parallel und zeitsynchron dargestellt werden. Mit dem darauf folgenden

¹ Die thermische Arbeit (Nutzen) der Klimatisierung wird aus dem Energiebedarf (Abwärmemenge) der gesamten IT, der ULK und der USV-Anlagen abgeleitet.

dritten Entwicklungsschritt sollen schließlich die Energiebedarfe einzelner technischer IT-Systeme SNMP-basiert von den iPDUs abgerufen und auch die Performanzdaten für Datenspeicher und Netzwerkgeräte integriert werden, so dass alle IT-spezifischen EE/EP-Kennwerte aus Abb. 4 berechnet und visualisiert werden können.

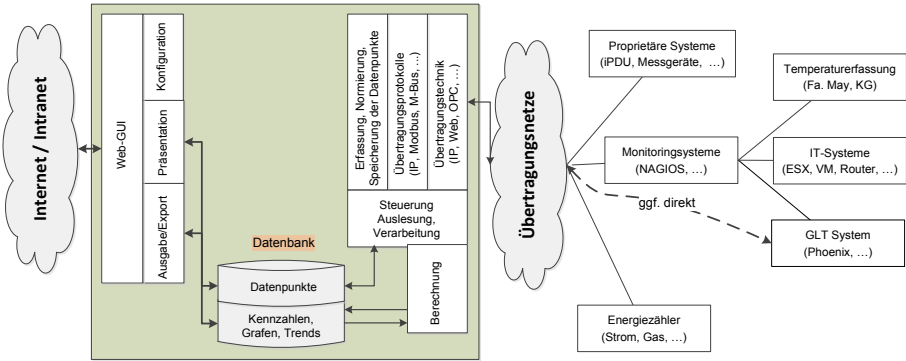


Abbildung 3: Architekturmodell des EPMS, eigene

6 Diskussion

Die Implementierung des EPMS ist nicht abgeschlossen. Ein Grund sind die Herausforderungen bei der Integration der Messwerte der GLT. Insbesondere die Entwicklung der Schnittstelle zum OPC-Client gestaltet sich als zeitaufwändig, da zusätzliche Informationen des Herstellers zur Implementierung des Clients und möglichen Extraktion der Messdaten notwendig sind. Allein die fehlerfreie Zuordnung der Vielzahl an verfügbaren Messdaten zu den jeweiligen gebäudetechnischen Anlagen erschwert die zügige Umsetzung aufgrund nicht standardisierter, herstellerepezifischer Vereinbarungen. Des Weiteren ist problematisch, dass das EMS nur Energiebedarfswerte im 15-Minuten Raster ausgibt, so dass kurzzeitige Lastspitzen der Stromversorgung nicht erfasst werden. Auch kann die Bestückung des RZ mit Strommessgeräten nicht den Energiebedarf einzelner Systeme der Gebäudetechnik abbilden, so dass weitere Sensoren installiert werden müssten, um die entsprechenden Kennzahlen zu erfassen.

Ähnliche Probleme gelten für das IT-seitige Messsystem. Aktuell wird geprüft, inwiefern die physischen und logischen Performanzdaten der Server, Speicher und Netzwerkgeräte gemessen werden können, ohne dabei die Ressourcen des jeweiligen Zielsystems zu stark zu beanspruchen. Zudem kann derzeit aus systemtechnischen Gründen das Zeitraster zur Abtastung der Performanzdaten mit NAGIOS nicht kleiner als eine Minute sein, so dass hier ebenfalls IT-Lastspitzen verloren gehen. Grundsätzlich müssen IT-Dienstleister, um die EE/EP einzelner IT-Systeme bestimmen zu können, iPDUs mit ausgangsseitiger Messung des Energiebedarfs nutzen bzw. Energiemessdaten der IT-Systeme einbinden. Erstere sind im RZ nicht flächendeckend vorhanden, so dass noch geprüft wird, in welchem Umfang die vorhandene Hardware ihren Strombedarf protokolliert bzw. ob eine Aufrüstung des RZ mit iPDUs finanziell möglich ist.

7 Fazit

Die Verbesserung der EP im RZ mittels Kennzahlen hin zu einer optimalen Betriebsführung gewinnt für IT-Dienstleister zunehmend an Bedeutung. Der Beitrag schlägt ein ganzheitliches Kennzahlensystem vor, erläutert konzeptionell das zur integrierten Erfassung der Kennzahlen erforderliche EPMS und verdeutlicht die Schritte, Herausforderungen und Lösungsansätze bei der prototypischen Implementierung der Konzepte. Zu einer Generalisierung reicht der Umfang dieser Einzelfallstudie nicht aus, sondern sind weitere Verifizierungen notwendig, die Gegenstand unserer zukünftigen Forschungsarbeit sind. Dennoch zeigt die Studie, dass für RZ mit heterogenen Infrastrukturen die Entwicklung einer individuellen, angepassten EPMS-Lösung ein begehbarer Weg ist. Dabei offenbart sich aber grundsätzlich die Notwendigkeit zur Abstimmung eines hersteller- und systemübergreifenden offenen Standards zur erleichterten Integration und Kommunikation von Messdaten in RZ.

Forschungsbedarf besteht auch in Bezug auf Ansätze und Methoden zur Aggregation der physischen EP verschiedener IT-Systemklassen, zur Erfassung und zum RZ-übergreifenden Vergleich der logischen EP der IT sowie zu den notwendigen Allokationsmechanismen, um logische und physische EP der IT miteinander zu verknüpfen. Dazu müssen IT-Dienstleister die Ressourcenbedarfe und IT-Leistungsabrufe auf verschiedenen Ebenen (physisch vs. virtueller Server vs. Anwendung vs. IT-Dienst) protokollieren und deren Abhängigkeiten über Korrelationsanalysen evaluieren. Eine entscheidende Grundlage ist die konsequente Kapselung von Anwendungsschichten im Sinne einer n-Tier-Architektur und die Überwachung von Warteschlangen zwischen den Schichten. Die Einführung derartiger Anwendungsarchitekturen ermöglicht nicht nur die Bewertung der EP der IT auf verschiedenen Ebenen, sondern ist zudem ein Baustein für eine verursachungsgerechtere IT-Leistungsverrechnung.

Literatur

- [Ae02] Aebischer, B. et. al.: Efficiency Indicator for High Electric-Load Buildings: The Case of Data Centres. In: Proc. 2nd Int. Conf. on Improving Electricity Efficiency in Commercial Buildings, Ademe. Nizza, Frankreich, 27-29 Mai, 2002.
- [Ae09] Aebischer, B.: Energieeffizienz im Rechenzentrum. Umwelt Perspektiven (2/2009), April, 2009; S. 16-19
- [An08] Anderson, D. et. al.: A Framework for Data Center Energy Productivity. White Paper #13, The Green Grid, Beaverton, 2008.
- [Be07] Belady, C. et. al.: The Green Grid Data Center Power Efficiency Metrics: PUE and DCiE. White Paper #6, The Green Grid, Beaverton, 2007.
- [BP07] Belady, C.; Patterson, M.: The Green Grid Productivity Indicator. White Paper #15, The Green Grid, Beaverton, 2008.
- [Be08] Behrendt, F. et. al.: Konzeptstudie zur Energie- und Ressourceneffizienz im Betrieb von Rechenzentren. IZE TU Berlin, Universitätsverlag, Berlin, 2008.
- [Bl10] Blackburn, M. et. al.: The Green Grid Data Center Compute Efficiency Metric: DCcE. White Paper #34, The Green Grid, Beaverton, 2010.

- [Dr13] Drenkelfort, G. et. al.: Energiemonitoring im IKT-Umfeld - Standards und Trends, In: Proc. 15. Tagung der Fachgruppe Betriebliche Umweltinformationssysteme der Gesellschaft für Informatik e.V. (5. BUIS-Tage), Oldenburg, Springer, 2013.
- [EP07] EPA: Report to Congress on Server and Data Center Energy Efficiency. Forschungsbericht, U. S. Environmental Protection Agency (EPA), 2007.
- [GTW06] Greenberg, S.; Tschudi, W.; Weale, J.: Self Benchmarking Guide for Data Center Energy Performance Version 1.0. LBNL & Rumsey Engineers, Berkeley, 2006.
- [He04] Hevner, A. R. et. al.: Design Science in Information Systems Research. MIS Quarterly (28:1), 2004; S. 75-105.
- [Lo11] Loos, P. et. al.: Green IT: Ein Thema für die Wirtschaftsinformatik? Wirtschaftsinformatik (53:4), 2011; S. 239-247
- [Ma09] Mathew, P. et. al.: Self-benchmarking Guide for Data Centers: Metrics, Benchmarks, Actions. LBNL & Rumsey Engineers, Berkeley, 2009.
- [Ma10] Mathew, P. et. al.: Self-benchmarking Guide for Data Center Infrastructure, LBNL & Rumsey Engineers, Berkeley, 2010.
- [Ne09] Nebel, W. et. al.: Untersuchung des Potentials von rechenzentrenübergreifendem Lastmanagement zur Reduzierung des Energieverbrauchs in der IKT, Forschungsbericht, OFFIS, Oldenburg, 2009.
- [Ös10] Österle, H. et. al.: Memorandum zur gestaltungsorientierten Wirtschaftsinformatik, In (Österle, H.; Winter, R.; Brenner, W. Hrsg.): Gestaltungsorientierte Wirtschaftsinformatik: Ein Plädoyer für Rigor und Relevanz, infowerk, St. Gallen, 2010; S. 1-6
- [Re11] Repschläger, J. et. al.: Konzeption einer Community Cloud für eine ressourceneffiziente IT-Leistungserstellung. Informatik 2011 – 4.Workshop Informatik und Nachhaltigkeitsmanagement, Berlin, 2011.
- [Sc11] Schödwell, B.: Modellgestützte Szenarioanalyse zum Stromverbrauch deutscher Rechenzentren unter Berücksichtigung von Branchentrends, Diplomarbeit, TU Berlin, Fachgebiet Energiesysteme (EnSys), Berlin, 2011.
- [Sc12a] Schödwell, B.; Wilkens, M.: Übersicht zum technischen Aufbau von Rechenzentren. In: Rechenzentren und Green Cloud Computing - Ein aktuelles Handbuch für die Öffentliche Verwaltung. Heise Zeitschriften Verlag, 2012.
- [Sc12b] Schödwell, B. et. al.: Towards a Green Performance Indicator Framework (GPIF) to improve the Energy Efficiency of Data Centers – A Resource Usage based Approach. In (Lang, K.-D. et. al. Hrsg.): Proc. Electronic Goes Green 2012+, Fraunhofer, Berlin, 2012; S. 1-6
- [Sc12c] Schödwell, B. et. al.: Auf dem Weg zu einem ganzheitlichen, quantitativen Bewertungsansatz für das Energiemonitoring in Rechenzentren. Informatik 2012 – 5.Workshop Informatik und Nachhaltigkeitsmanagement, Braunschweig, 2012.
- [Sc13a] Schödwell, B.; Ereik, K.; Zarnkow, R.: Erfolgsfaktoren und Herausforderungen bei der Implementierung eines Messkonzeptes zum energie- und kosteneffizienten Lastmanagement in einer Community-Cloud, In: Proc. 15. Tagung der Fachgruppe Betriebliche Umweltinformationssysteme, Oldenburg, Springer, 2013.
- [Sc13b] Schödwell, B.; Ereik, K.; Zarnkow, R.: Data Center Green Performance Measurement: State of the Art and Open Research Challenges, In: Proc. of the 19th Americas Conference on Information Systems, Chicago, 2013.
- [WBC10] Watson, R.; Boudreau, M.-C.; Chen, A.: Information Systems and Environmentally Sustainable Development. MIS Quarterly (34:1), 2010; S. 23-38
- [WH07] Wilde, T., Hess, T.: Forschungsmethoden der Wirtschaftsinformatik - Eine empirische Untersuchung, Wirtschaftsinformatik (49:4), 2007; S. 280-287