

Das Rechenzentrum als Produktionsstätte für IT-Dienstleistungen – ein Kapazitätsmodell für Potentialfaktoren

Stefan Osterburg, Alexander Pinnow, Markus Winter

Institut für Technische und Betrieblich Informationssysteme
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Postfach 4120
39016 Magdeburg
stefan.osterburg@ovgu.de
alexander.pinnow@ovgu.de
ma.winter@sap.com

Abstract: Durch die Adaption geeigneter Verfahren der Produktionsplanung und -steuerung sollen ereignisgetriebene Betriebsstrukturen in Rechenzentren abgelöst werden. Zur Durchführung dieser Adaption ist es notwendig, die Strukturen eines Rechenzentrums auf Strukturen eines Produktionsbetriebes abzubilden.

Der Artikel beschreibt das Rechenzentrum als Produktionsstätte von IT-Dienstleistungen. Zur Vorhersage des Kapazitätsbedarfs physischer Potentialfaktoren sollen Prognoseverfahren eingesetzt werden. Der Einsatz dieser Verfahren erfordert Kenntnis über den Trendverlauf des Kapazitätsbedarfs. Zur Untersuchung dieses Trendverlaufs wird im Artikel ein Kapazitätsmodell für physische Potentialfaktoren im Rechenzentrum beschrieben.

1 Motivation

Der Betrieb von Rechenzentren wird heutzutage oft ereignisgetrieben durchgeführt. Als Reaktion auf neue Kundenbedarfe werden oftmals weitere Hardwaresysteme in das Rechenzentrum integriert. Auch wenn die Beschaffungskosten für zusätzliche Hardware von den Betreibern der Rechenzentren im Vergleich zu den Personalkosten meist als unkritisch betrachtet werden, führt der Ausbau der Informationsinfrastruktur zu einem erhöhten Administrations-, Wartungs- und damit letztlich auch Personalaufwand.

Für die Ablösung der ereignisgetriebenen Betriebsstrukturen erscheint die Adaption geeigneter Verfahren der operativen Produktionsplanung und -steuerung für die Entwicklung effizienterer Betriebskonzepte sinnvoll. Der Prozess der Bereitstellung und des Betriebs der Infrastruktur hat in der Praxis oft den Charakter eines IT-Projekts. Dieser Prozess soll durch erprobte Verfahren der Produktionsplanung und -steuerung standardisiert werden.

Zielsetzung ist die Erbringung vorgegebener IT-Dienstleistungen mit möglichst geringen Kosten. Die Umsetzung dieses Wirtschaftlichkeitsprinzips soll durch die Minimierung von Wartezeiten, Stillstandszeiten und Terminüberschreitungen sowie die Maximierung der Kapazitätsauslastung aller Betriebsmittel erreicht werden ([Kur05], S. 9 f.).

Die Bestimmung des Kapazitätsbedarfs kann nicht ausschließlich auf Basis der Absatzplanung durchgeführt werden. Auch bei konstantem Absatz von IT-Dienstleistungen führt zum Beispiel der Release-Wechsel von Softwareprodukten zu einer Änderung des Kapazitätsbedarfs.

Zur Vorhersage des erforderlichen Kapazitätsbedarfs im Rechenzentrum soll auf Basis des in der Vergangenheit beobachteten Bedarfs deren Entwicklung in die Zukunft extrapoliert werden. Hierzu stehen Prognoseverfahren wie die exponentielle Glättung erster Ordnung, die lineare Regressionsrechnung oder das Verfahren von Holt zur Verfügung ([Te06], S. 31 ff.). Der Einsatz dieser Methoden erfordert Kenntnis über den Trendverlauf der Bedarfsfunktion.

Zur Untersuchung des Trendverlaufs soll im Folgenden ein Kapazitätsmodell für physische Potentialfaktoren beschrieben werden.

2 Das Rechenzentrum als Produktionsbetrieb

Der Aufbau eines Rechenzentrums kann anhand seiner Informationsinfrastruktur beschrieben werden. Die Informationsinfrastruktur als Erkenntnisobjekt des Informationsmanagements umfasst die Einrichtungen, Mittel und Maßnahmen, die zur Produktion, Verbreitung und Nutzung von Informationen im Unternehmen benötigt werden ([HL05], S. 19).

| | | |
|--|---|---|
| Anwendungssoftware | | Personal Informationsmanager Systemplaner Projektleiter Benutzer Entwickler Systemservice DBA Techniker ... |
| Standardsoftware - horizontal - vertikal | Individualsoftware - Eigenentwicklung - Fremdsoftware | |
| Basissysteme | | |
| Entwicklungsumgebungen Datenbanksysteme Betriebssysteme Hardware (inklusive Netzwerk) | | |

Abbildung 1: Informationsinfrastruktur nach [Rau97], S. 13

Anhand dieser Definition lassen sich die in Abbildung 1 dargestellten Hauptkomponenten Anwendungssoftware, Basissysteme und Personal identifizieren. Zur Erfüllung der Anforderungen an ein Rechenzentrum aus unternehmensorganisatorischer, Anwender- und DV-Organisatorischer Sicht ist der Einsatz adäquater Basistechnologien erforderlich ([Rau93], S. 74).

Der Einsatz dieser Basistechnologien ermöglicht den Betrieb der Anwendungssoftware. Für die Nutzung, den Einsatz und die Administration der Basissysteme und der Anwendungssoftware wird Personal für verschiedene Aufgaben benötigt ([Rau97], S. 12-13).

Mittels Anwendungssoftware wird aus Anwendersicht auf atomarer Ebene durch Ausführung einer Funktion ein Zustandsübergang herbeigeführt, der durch eine Datenänderung dokumentiert wird:

$$(2.1) \quad f : D \rightarrow D^*$$

Eine Anwendungssoftware verfügt über eine bestimmte Menge von Funktionen:

$$(2.2) \quad F^A = \{f_1^A, \dots, f_n^A\}$$

Die Ausführung einer Folge von Funktionen mit einem definierten Anfangs- und Endpunkt wird als Prozess bezeichnet (Mertens 2004, S. 24) und stellt somit formal eine Ordnungsrelation für die Menge der Funktionen der Anwendungssoftware dar:

$$(2.3) \quad R \subseteq F^A \times F^A$$

Die Ausprägung eines solchen Prozesses beschreibt die Umsetzung einer Methode der Informationsfunktion. Das Rechenzentrum als Produktionssystem erzeugt IT-Dienstleistungen als Ausbringung der Informationsfunktion. Diese IT-Dienstleistungen werden den Konsumenten als IT-Produkte zur Verfügung gestellt ([ZBP06], S. 16 ff.). Das Produktionsprogramm eines Rechenzentrums umfasst somit IT-Dienstleistungen in Form von IT-Produkten.

Ein solches Produktionssystem lässt sich anhand seiner Produktionsfaktoren beschreiben. Faktoren, die planende, steuernde und organisatorische Aktivitäten ausführen, werden als dispositive Faktoren bezeichnet. Dispositive Faktoren bewirken die Kombination der Elementarfaktoren.

Die Instanzen der Infrastrukturkomponente Personal, die für den Aufbau der Infrastruktur (System Landscape Engineering) verantwortlich sind, verkörpern die dispositiven Produktionsfaktoren.

Elementarfaktoren lassen sich weiter in Verbrauchs- und Potentialfaktoren unterteilen. Verbrauchsfaktoren werden im Rahmen des Produktionsprozesses verbraucht, indem sie Bestandteil des Produktionsgutes werden oder durch ihre Eliminierung den Produktionsprozess erst ermöglichen. Potentialfaktoren stellen ihre Leistungspotentiale dem Produktionsprozess zur Verfügung, ohne ihre produktive Wirksamkeit innerhalb einer abgegrenzten Periode zu verlieren ([Zä01], S. 16 ff.).

Verbrauchsfaktoren lassen sich in physische und immaterielle Faktoren unterteilen. Immaterielle Verbrauchsfaktoren des Produktionssystems sind Bewegungsdaten, die durch die Produktionsfunktion in andere Daten transformiert werden und durch die daraus resultierende Zweckorientierung Informationen darstellen. Als physischer Verbrauchsfaktor kann der Strom für den Betrieb des Rechenzentrums betrachtet werden. Hierbei handelt es sich um einen annähernd konstanten Faktor, welcher weitgehend unabhängig von der produzierten Ausbringungsmenge ist, solange die Menge an Betriebsmitteln konstant bleibt.

Potentialfaktoren sind die Infrastrukturkomponenten Anwendungssysteme, Basiskomponenten sowie das Personal, das für den Betrieb der Infrastruktur verantwortlich ist. Auch Potentialfaktoren lassen sich wieder in physische und immaterielle Faktoren unterteilen. Anwendungssoftware sowie die Basissysteme Entwicklungsumgebungen, Datenbankmanagementsysteme mit den darin verwalteten Bestandsdaten und Betriebssysteme sind immaterielle Potentialfaktoren. Das Basissystem Hardware und das Personal, das für den Betrieb der Infrastruktur verantwortlich ist, sind physische Potentialfaktoren. Der Aufbau des beschriebenen Produktionssystems ist in Abbildung 2 dargestellt.

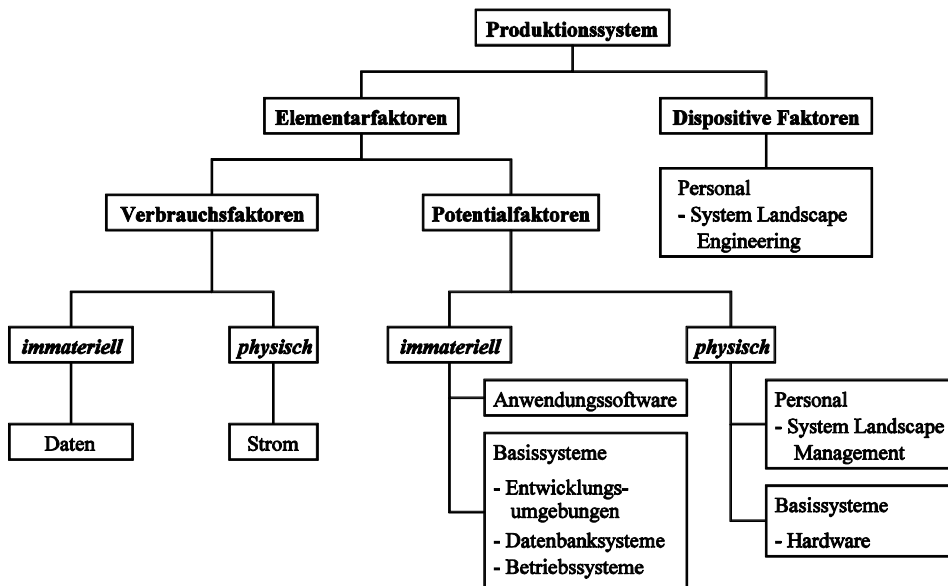


Abbildung 2: Das Rechenzentrum als Produktionssystem

3 Kapazitätsmodell eines Rechenzentrums

Die Informationsfunktion des Rechenzentrums stellt die für den Anwender als Konsument nutzbare Ressource dar. Die Ausführung der Informationsfunktion durch den Anwender führt aus Betreibersicht zu einer Auslastung der Kapazität der Informationsfunktion, das heißt zu einer Auslastung der zur Verfügung gestellten Kapazitäten an physischen Potentialfaktoren. Als Kapazität wird das Leistungsvermögen eines Potentialfaktors bezeichnet ([Ke92], S. 21). Ein Kapazitätsmodell für physische Potentialfaktoren im Rechenzentrum soll im Folgenden näher erläutert werden. Dieses Kapazitätsmodell kann als Grundlage für Prognoseverfahren zur Kapazitätsplanung dienen.

Hardware und Personal bilden die physischen Potentialfaktoren eines Rechenzentrums. Rechnersysteme als Hardwareeinheiten lassen sich als System aus den Hardwarekomponenten Prozessor, Speicher und Ein-/Ausgabegeräten betrachten. Ein-/Ausgabegeräte werden zur Kommunikation mit dem Rechnersystem verwendet. Der Prozessor ruft Instruktionen aus dem Speicher ab, dekodiert diese Instruktionen und führt sie anschließend aus.

Die Hardwarekomponente Speicher lässt sich in Primär- und Sekundärspeicher unterteilen. Primärspeicher verwaltet die Daten während des unmittelbaren Betriebs von Anwendungs- und Basissystemen ([Ta99], S. 113). Sekundärspeicher ist nichtflüchtiger Speicher und meist ein als Plattenspeicher ausgebildetes Medium. Die Kapazität des Sekundärspeichers ist üblicherweise ein Vielfaches größer als die Kapazität des Primärspeichers ([SH99], S. 44).

Jede Hardwarekomponente verfügt über eine Kapazität, die sich durch ein geeignetes Maß beschreiben lässt. Eine mögliche Kenngröße zur Beschreibung der Prozessorkapazität ist die Anzahl an Operationen, die von einem Prozessor pro Sekunde ausgeführt werden kann ([La92], S. 10). Die Kapazitätsbewertung erfolgt in Millionen Instruktionen pro Sekunde (MIPS).

Die Kommunikation der Ein-/Ausgabegeräte erfolgt über Kanäle. Ein Kanal ist die Verbindung zwischen dem Sender der Information und dem Empfänger. Als Maß zur Bestimmung der maximalen Übertragungsgeschwindigkeit eines Kanals wird die Bandbreite verwendet ([KPS06], S. 75 f.). Die Bewertung der Übertragungsgeschwindigkeit erfolgt in bit/s ([KPS06], S. 86).

Die Speicherkapazität ist eine Maßzahl, die definiert, wie viele Speicherzellen zur Speicherung von Binärzeichen auf dem Medium enthalten sind. Die Kapazitätsbewertung erfolgt in Bit oder Byte ([Sc98], S. 802). Die Kommunikation mit externen Speichersystemen erfolgt über Ein-/Ausgabegeräte. Neben der Speicherkapazität ist zusätzlich die Kanalbandbreite der Kommunikationskapazität zu berücksichtigen.

Die Entwicklung der Kapazitäten der Hardwarekomponenten lässt sich anhand des Mooreschen Gesetzes beschreiben. Das Moorsche Gesetz besagt, dass sich die Anzahl an Transistoren auf einem Schaltkreis etwa alle 18 Monate verdoppelt ([Ta99], S. 25).

Formal wächst die Kapazität C und damit die Leistungsfähigkeit der Hardwarekomponenten in Abhängigkeit von der Zeit t exponentiell. Der Faktor C_0 beschreibt die initiale Kapazität. Der Exponent λ beschreibt die Wachstumsrate. Es gilt:

$$(3.1) \quad C(t) = C_0 \cdot e^{\lambda t}$$

Für die Ver- n -fachung der Kapazität innerhalb der Zeit T_n gilt:

$$(3.2) \quad \begin{aligned} n \cdot C_0 \cdot e^{\lambda t} &= C_0 \cdot e^{\lambda(t+T_n)} \\ n \cdot C_0 \cdot e^{\lambda t} &= C_0 \cdot e^{\lambda t} \cdot e^{\lambda T_n} \\ n &= e^{\lambda T_n} \\ \ln n &= \lambda \cdot T_n \\ \lambda &= \frac{\ln n}{T_n} \end{aligned}$$

Die Wachstumsrate für eine Verdopplung der Kapazität alle 1,5 Perioden beträgt beispielsweise:

$$(3.3) \quad \lambda = \frac{\ln 2}{1,5} \approx 0,462$$

Für unterschiedliche Arten von Hardwarekomponenten können verschiedene Wachstumsraten gelten. Deshalb ist es sinnvoll, die Entwicklung des Kapazitätsbedarfs für jede Art Hardwarekomponente einzeln zu betrachten. Für den Einsatz von Prognoseverfahren ist keine Kenntnis über die tatsächliche Wachstumsrate nötig. Die Art der Trendfunktion muss jedoch bekannt sein um eine geeignete Variablentransformation durchzuführen. Hierzu ist zu untersuchen ob auch die Gesamtkapazität mehrerer Hardwareeinheiten verschiedener Generationen dem exponentiellen Trend folgt.

Werden im Modell nach n Perioden alle q Hardwareeinheiten der ältesten Generation gegen q aktuelle Hardwareeinheiten ausgetauscht, lässt sich zeigen, dass auch die Gesamtkapazität der Hardwarekomponenten im Rechenzentrum exponentiell wächst. Vereinfachend wird von homogenen Hardwarekomponenten innerhalb des betrachteten Modells ausgegangen.

Die Gesamtkapazität des Rechenzentrums $C_{Hardware}$ zum Zeitpunkt t ist die Summe der Gesamtkapazitäten jeder Hardwaregeneration im Rechenzentrum. Aus Formel 3.1 folgt bei angenommener Substituierbarkeit aller Hardwareeinheiten:

$$(3.4) \quad C_{Hardware}(t) = \sum_{i^*=0}^{n-1} q \cdot C_0^* \cdot e^{\lambda \cdot t^*}$$

Das Rechenzentrum besteht aus n Generationen von je q Hardwareeinheiten. Die Kapazität der ältesten Hardwaregeneration C_0^* lässt sich anhand der Formel 3.1 beschreiben:

$$(3.5) \quad C_0^* = C_0 \cdot e^{\lambda(t-n+1)}$$

Für die Kapazität des Rechenzentrums (siehe Formel 3.4) ergibt sich somit:

$$(3.6) \quad \begin{aligned} C_{Hardware}(t) &= \sum_{i^*=0}^{n-1} q \cdot C_0 \cdot e^{\lambda(t-n+1)} \cdot e^{\lambda i^*} \\ &= q \cdot C_0 \cdot e^{\lambda(t-n+1)} \cdot \sum_{i^*=0}^{n-1} (e^{\lambda})^{i^*} \end{aligned}$$

Die Summe beschreibt eine geometrische Reihe und lässt sich deshalb weiter umformen:

$$(3.7) \quad \begin{aligned} C_{Hardware}(t) &= q \cdot C_0 \cdot e^{\lambda(t-n+1)} \cdot \frac{e^{\lambda n} - 1}{e^{\lambda} - 1} \\ &= q \cdot C_0 \cdot \frac{e^{\lambda t}}{e^{\lambda(n-1)}} \cdot \frac{e^{\lambda n} - 1}{e^{\lambda} - 1} \\ &= q \cdot C_0 \cdot e^{\lambda t} \cdot \frac{e^{\lambda}}{e^{\lambda n}} \cdot \frac{e^{\lambda n} - 1}{e^{\lambda} - 1} \\ &= q \cdot \frac{e^{\lambda(n+1)} - e^{\lambda}}{e^{\lambda(n+1)} - e^{\lambda n}} \cdot C_0 \cdot e^{\lambda t} \\ &= q \cdot \frac{e^{\lambda n} - 1}{e^{\lambda n} - e^{\lambda(n-1)}} \cdot C_0 \cdot e^{\lambda t} \end{aligned}$$

Die Gesamtkapazität der Hardwarekomponenten eines Rechenzentrums wächst somit auch exponentiell. Es wird vermutet, dass die Gesamtkapazität im Durchschnitt jedoch langsamer als die eigentliche Kapazität der Hardwarekomponenten wächst. Dieser Effekt ließe sich dadurch erklären, dass im Rechenzentrum auch Hardwareeinheiten älterer Generationen eingesetzt werden. Für die durchschnittliche Kapazität $C_{Hardware}^{\emptyset}$ in einem Rechenzentrum mit n Hardwaregenerationen mit je q Hardwareeinheiten gilt:

$$(3.8) \quad \begin{aligned} C_{Hardware}^{\emptyset}(t) &= \frac{q}{q \cdot n} \cdot \frac{e^{\lambda n} - 1}{e^{\lambda n} - e^{\lambda(n-1)}} \cdot C_0 \cdot e^{\lambda t} \\ &= \frac{e^{\lambda n} - 1}{n(e^{\lambda n} - e^{\lambda(n-1)})} \cdot C_0 \cdot e^{\lambda t} \end{aligned}$$

Wird im Rechenzentrum mehr als eine Hardwaregeneration eingesetzt, wächst die durchschnittliche Kapazität $C_{Hardware}^{\emptyset}$ im Rechenzentrum langsamer als die allgemeine Kapazität C , welche das Leistungsvermögen der aktuellen Hardwaregeneration beschreibt. Das durchschnittliche Wachstum hängt von der Anzahl eingesetzter Hardwaregenerationen unabhängig von der Anzahl an Hardwareeinheiten je Generation ab. Für den Spezialfall, dass das Rechenzentrum nur aus einer aktuellen Hardwaregeneration besteht, ist die durchschnittliche Kapazität gleich der allgemeinen Kapazität. Es lässt sich zeigen, dass gilt:

$$(3.9) \quad \frac{\delta C_{Hardware}^{\emptyset}(t)}{\delta \lambda} \leq \frac{\delta C(t)}{\delta \lambda} \quad \text{für } \begin{array}{l} n \in \mathbb{N}^+ \\ \lambda \in \mathbb{R}, \lambda > 0 \\ C_0 \in \mathbb{R}, C_0 > 0 \end{array}$$

Für die erste Ableitung der Ungleichung ergibt sich:

$$(3.10) \quad \frac{e^{\lambda n} - 1}{n(e^{\lambda n} - e^{\lambda(n-1)})} \cdot C_0 \cdot \lambda \cdot e^{\lambda t} \leq C_0 \cdot \lambda \cdot e^{\lambda t}$$

$$\frac{e^{\lambda n} - 1}{n(e^{\lambda n} - e^{\lambda(n-1)})} \leq 1$$

Durch vollständige Induktion lässt sich nachweisen, dass gilt:

$$(3.11) \quad e^{\lambda n} - 1 \leq n(e^{\lambda n} - e^{\lambda(n-1)})$$

Die Ungleichung 3.11 gilt für den Fall $n = 1$:

$$(3.12) \quad \begin{array}{l} e^{\lambda 1} - 1 \leq 1(e^{\lambda 1} - e^{\lambda(1-1)}) \\ e^{\lambda} - 1 \leq e^{\lambda} - 1 \end{array}$$

Im Induktionsschritt ergibt sich für die Ungleichung 3.11:

$$(3.13) \quad e^{\lambda(n+1)} - 1 \leq (n+1)(e^{\lambda(n+1)} - e^{\lambda n})$$

Da für $\lambda > 0$ die Exponentialfunktion $e^{\lambda} > 1$ ist, muss gelten:

$$(3.14) \quad \begin{array}{l} e^{\lambda n} - 1 \leq n(e^{\lambda n} - e^{\lambda(n-1)}) \leq e^{\lambda} \cdot n(e^{\lambda n} - e^{\lambda(n-1)}) \\ e^{\lambda n} - 1 \leq n \cdot e^{\lambda(n+1)} - n \cdot e^{\lambda n} \\ e^{\lambda(n+1)} + e^{\lambda n} - 1 \leq n \cdot e^{\lambda(n+1)} + e^{\lambda(n+1)} - n \cdot e^{\lambda n} \\ e^{\lambda(n+1)} - 1 \leq n \cdot e^{\lambda(n+1)} + e^{\lambda(n+1)} - n \cdot e^{\lambda n} - e^{\lambda n} \\ e^{\lambda(n+1)} - 1 \leq (n+1)e^{\lambda(n+1)} - (n+1) \cdot e^{\lambda n} \\ e^{\lambda(n+1)} - 1 \leq (n+1)(e^{\lambda(n+1)} - e^{\lambda n}) \end{array}$$

q. e. d.

Abbildung 3 zeigt die Entwicklung der durchschnittlichen Prozessorkapazität im Rechenzentrum für das beschriebene Modell nach Formel 3.8 unter der Annahme, dass sich die Kapazität der Prozessoren alle zwei Perioden verdoppelt, eine Hardwaregeneration nach fünf Perioden ausgetauscht wird und die initiale Kapazität der aktuellen Hardwaregeneration nach Formel 3.1 8000 MIPS beträgt.

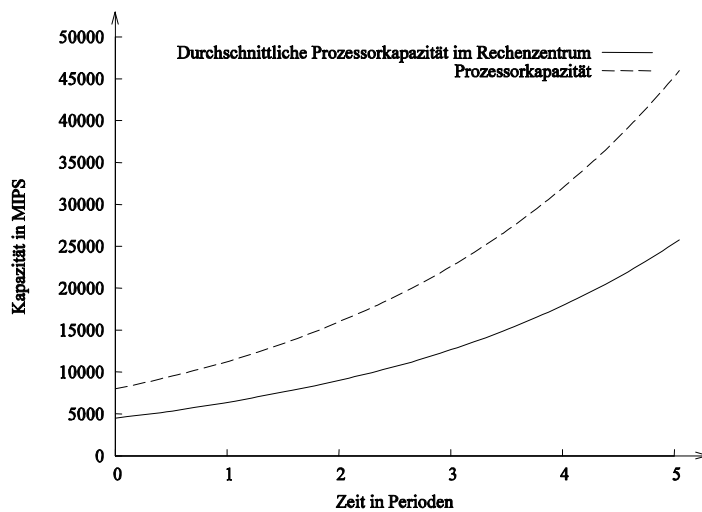


Abbildung 3: Entwicklung der Prozessorkapazität

Die exponentiell steigende Kapazität der Hardwarekomponenten wird von den Konsumenten auch in Anspruch genommen. Die Kompensation des technologischen Fortschritts durch einen steigenden Ressourcenverbrauch ist als Rebound-Effekt bekannt ([Rad00], S. 232). Die Steigerung des Ressourcenverbrauchs wird als primärer Rebound-Effekt bezeichnet ([Kuh04], S. 108).

Die Kapazität des Personals folgt nicht dem Trend des exponentiellen Wachstums der Kapazität der Hardwarekomponenten, sondern steht in Beziehung zur Menge der eingesetzten Potentialfaktoren. Ansonsten wäre der Betrieb eines Rechenzentrums aus finanziellen Gründen nicht durchführbar, da auch die Personalkosten exponentiell steigen würden. Besteht eine lineare Abhängigkeit zur eingesetzten Menge an Hardwareeinheiten, lautet die Kapazitätsfunktion für das Personal:

$$(3.15) \quad C_{\text{Personal}} = C_{\text{Fix}} + C_{\text{Var}} \cdot n \cdot q$$

Die Kapazität an Personal setzt sich aus einem fixen und einem variablen Anteil zusammen. Der fixe Anteil C_{Fix} ist die Kapazität an Personal, die unabhängig von der Anzahl an Hardwareeinheiten benötigt wird, um das Rechenzentrum zu betreiben. Der variable Anteil berechnet sich aus der Kapazität an Personal, die für den Betrieb einer Hardwareeinheit benötigt wird, multipliziert mit der Menge an Hardwareeinheiten. Die Menge der Hardwareeinheiten ergibt sich aus der Anzahl eingesetzter Hardwaregenerationen n und den eingesetzten Hardwareeinheiten je Generation q . Unterstellt wird eine vollständige Substituierbarkeit des Personals für den Betrieb des Rechenzentrums.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Die Elemente der Informationsinfrastruktur eines Rechenzentrums lassen sich auf die Faktoren eines Produktionssystems abbilden. Das Basissystem Hardware und das Personal, das für den Betrieb der Infrastruktur verantwortlich ist, sind physische Potentialfaktoren.

Die Kapazität der Hardwarekomponenten eines Rechenzentrums wächst exponentiell. Der Rebound-Effekt beschreibt den Umstand, dass diese zusätzlichen Kapazitäten vom Konsumenten auch verbraucht werden.

Die Kapazität des Personals folgt nicht dem Trend des exponentiellen Wachstums der Kapazität der Hardwarekomponenten, sondern steht in Beziehung zur Menge der eingesetzten Potentialfaktoren.

Bedarfsänderungen führen dazu, dass die zur Verfügung gestellte Kapazität an Potentialfaktoren nicht dem tatsächlichen Bedarf entspricht. Die dargestellten Erkenntnisse sind Voraussetzung für die Anwendung von Prognoseverfahren zur Extrapolation des in der Vergangenheit beobachteten Bedarfs in die Zukunft. Eine Linearisierung der exponentiellen Wachstumsfunktion ermöglicht den Einsatz von Prognoseverfahren wie der linearen Regressionsrechnung, der exponentiellen Glättung zweiter Ordnung oder des Verfahrens von Holt.

Literaturverzeichnis

- [HL05] Heinrich, L. J.; Lehner, F.: Informationsmanagement: Planung Überwachung und Steuerung der Informationsinfrastruktur. 8. Aufl., Oldenbourg, München, Wien, 2005.
- [Ke92] Kern, W.: Industrielle Produktionswirtschaft. Poeschel, Stuttgart, 1992.
- [KPS06] Klimant, H.; Piotraschke, R.; Schönfeld, D.: Informations- und Kodierungstheorie. Teubner, Stuttgart u. a., 2006.
- [Kuh04] Kuhlen, R.: Wissensökologie. In: (Kuhlen, R.; Seeger, T.; Strauch, D., Hrsg.) Grundlagen der praktischen Information und Dokumentation, Saur, München, 2004.
- [Kur05] Kurbel, K.: Produktionsplanung und -steuerung im Enterprise Resource Planning und Supply Chain Management, Oldenbourg, München, Wien, 2005.
- [La92] Langendörfer, H.: Leistungsanalyse von Rechensystemen: Messen, Modellieren, Simulation. Hanser, München u. a., 1992.

- [Rad00] Radermacher, F. J.: Building the Information Society: Labour Market Pressures, Globalisation, and the Political Goal of Sustainability as Challenges to the Regions in Europe. In: (Sturm, R.; Weinmann, G., Hrsg.) The information society and the regions in Europe: a British-German comparison, Nomos-Verl.-Ges., Baden-Baden, 2000.
- [Rau93] Rautenstrauch, C.: Integration Engineering: Konzeption, Entwicklung und Einsatz integrierter Softwaresysteme. Addison-Wesley, Bonn u. a., 1993.
- [Rau97] Rautenstrauch, C.: Effizienter Einsatz von Arbeitsplatzsystemen – Konzepte und Methoden des Persönlichen Informationsmanagements. Addison-Wesley Longman, Bonn u. a., 1997.
- [Sc98] Schneider, H.-J.: Lexikon der Informatik und Datenverarbeitung. Oldenbourg, München u. a., 1998.
- [Sc06] Schmalzhaf, G.: SAP Adaptive Computing – Implementierung und Anwendung. Galileo Press, Bonn, 2006.
- [SH99] Saake, G. ; Heuer, A.: Datenbanken: Implementierungstechniken. MITP , Bonn, 1999.
- [Ta99] Tanenbaum, A. S.: Structured computer organization. Prentice-Hall Internat., Englewood Cliffs u. a., 1999.
- [Te06] Tempelmeier, H.: Material-Logistik: Modelle und Algorithmen für die Produktionsplanung und -steuerung in Advanced-Planning-Systemen. 6. Aufl., Springer, Berlin, 2006.
- [Zä01] Zäpfel, G.: Grundzüge des Produktions- und Logistikmanagement. 2. Aufl. Oldenbourg, München, Wien, 2001.
- [ZBP06] Zarnekow, R.; Brenner, W.; Pilgram, U.: Integrated Information Management: Applying Successful Industrial Concepts in IT. Springer, Heidelberg, 2006.