Forschung zur Leistungsmodellierung von Rechnerinstallationen in Rechenzentren der DDR

Gerhard Bergholz

Dorfhainer Straße 26
01189 Dresden
gerhard-bergholz@t-online.de

Abstract: In diesem Beitrag werden einige ausgewählte Ergebnisse auf dem Gebiet der Forschung zur Leistungsmodellierung von Rechnerinstallationen dargestellt, die der Autor und seine Mitarbeiter in den 70er und 80er Jahren erzielt haben. Ausgangspunkt dieser Forschung war die Betrachtung der Rechnerinstallation als Einheit von Arbeitslast und Rechnerkonfiguration. Wissenschaftliche Ergebnisse sind in zahlreichen Veröffentlichungen von mir und meinen Mitarbeitern vorgestellt worden. Dabei standen analytische Bedienungsmodelle, Modelle der ereignisdiskreten stochastischen Simulation, Methoden der Arbeitslast- und Leistungsmessung und Verfahren der Leistungsverbesserung im Vordergrund. Die praktischen Ergebnisse dieser Arbeit fanden ihren Niederschlag in verschiedenen Rechenzentren durch Bereitstellung von Werkzeugen und durch entsprechende Rationalisierungseffekte.

1 Einordnung der Forschung zur Leistungsmodellierung

1.1 Leistungsmodellierung als Forschungsgebiet

Mit der wachsenden Komplexität der Rechnersysteme wurden in den 60er und 70er Jahren, die in den Anlagen ablaufenden Prozesse immer komplizierter, wodurch die Diskrepanz zwischen der Leistungsfähigkeit der rechentechnischen Komponenten und ihrer effektiven Nutzung ständig zunahm. Zur Beseitigung dieses Widerspruchs wurde im internationalen Maßstab das Forschungsgebiet Leistungsmodellierung von Rechnerinstallationen entwickelt.

Die Leistungsmodellierung von Rechnerinstallationen dient vor allem der Verbesserung der Arbeitslastverteilung zwischen den Ressourcen und nicht so sehr der Erhöhung der Ressourcengeschwindigkeiten und Vergrößerung der Speicherkapazitäten. Sie ist in ihren Methoden durch ihre Strukturorientierung weitgehendst unabhängig vom aktuellen Niveau der Computertechnik und verliert auch für die Zukunft bei der Leistungsmodellierung von verteilten Systemen nicht ihre Bedeutung.

Die Leistungsmodellierung von Rechnerinstallationen hat auch eine wesentliche strukturbeschreibende Eigenschaft, die weit über die Leistungsmodellierung hinausgeht. Sie beschreibt für das Ziel der Leistungsbewertung, die Wechselwirkung zwischen Gerätetechnik, Betriebssystem und Anwenderprogrammen unter den Bedingungen ihrer Anwendung als geschlossene Einheit.

1.2 Forschungskollektiv Leistungsmodellierung

Bereits während meiner Tätigkeit in der Industrie bei der Einsatzvorbereitung von Prozessrechnern, habe ich mich mit der Leistungsmodellierung beschäftigt.

Nach meiner Berufung als Hochschullehrer an die Sektion Informationsverarbeitung der TU Dresden im Jahr 1985, konnte ich die während meiner Industrietätigkeit begonnene Forschung auf dem Gebiet der Leistungsmodellierung fortsetzen und ein Forschungskollektiv für die Leistungsmodellierung von Rechnerinstallationen im Wissenschaftsbereich Rechnersysteme dieser Sektion aufbauen. Es zeigte sich, dass der bei der Leistungsmodellierung von Prozessrechnern ausgearbeitete methodische Ansatz auch für die Leistungsmodellierung des Multiprogrammbetriebs in Rechenzentren geeignet war.

Nach meiner Berufung auf den Lehrstuhl Informatik und (in Personalunion) zum Direktor des Rechenzentrums der Bergakademie Freiberg wurde diese Arbeit fortgesetzt, wobei vor allem Doktoranden oder promovierte Assistenten als Mitarbeiter beteiligt waren.

Die vom Kollektiv entwickelten Methoden der Leistungsmodellierung von Rechnerinstallationen haben universellen Charakter für die verschiedenen Anwendungsgebiete der Rechentechnik. Eine Verbindung der Forschung mit dem aktuellen praktischen Rechenbetrieb war aber aus Gründen der Modellbildung und Validierung der Modelle von großer Bedeutung. Nur bei der Orientierung auf die Anwendung, die in der Praxis auch genutzt wird, kann die Arbeitslast festgestellt werden.

Dieser Beitrag hat als Schwerpunkt die Forschungsarbeit für die Leistungsmodellierung des Multiprogrammbetriebs von ESER-Anlagen in Rechenzentren. Die dabei verwendeten Methoden sind von dieser Anwendung unabhängig.

1.3 Rahmenbedingungen in der DDR

Ab Mitte der 70er Jahre fand in vielen Rechenzentren der DDR der Übergang zum Einsatz von Rechnersystemen des ESER statt (s. [Me04]). Damit verbunden war der Übergang zum Multiprogrammbetrieb (Multitasking) in den Rechenzentren.

Die Zahl der Rechenanlagen in der DDR reichte zu keiner Zeit für den vorhandenen Datenverarbeitungsbedarf aus. Das bedeutet jedoch nicht, dass wir uns auf spezielle Lösungen, die allein von der absoluten Ressourcenknappheit ausgingen, konzentriert haben. Unser Anliegen war vielmehr allgemeine Methoden für die verschiedenen Einsatzgebiete der Rechnerinstallationen auszuarbeiten und in den aktuell vorhandenen Anwendungen zu erproben.

1.4 Zusammenarbeit mit Rechenzentren

Im Rahmen der Tätigkeit meines Kollektivs fand eine direkte Zusammenarbeit mit einem Rechenzentrum der Massendatenverarbeitung dem Datenverarbeitungszentrum (DVZ) Dresden (Direktor K. H. Müller) statt. Die Ergebnisse dieser Zusammenarbeit wurden in Berichten von Ingenieurpraktika, Großen Belegen, Diplomarbeiten und Dissertationen niedergelegt. Im Rahmen des Forschungsseminars des Wissenschaftsbereichs Rechnersysteme (Leiter H. Löffler) wurden diese ausführlich diskutiert.

In den unter meiner Leitung im Zweijahresabstand durchgeführten 6 Problemseminaren von 1980 bis 1990 mit der Thematik „Leistungsverbesserung von Rechnerinstallationen“ wurde eine Basis des Erfahrungsaustauschs mit den Mitarbeitern verschiedener Rechenzentren geschaffen. Neben der Darlegung unserer Ergebnisse trugen die Vertreter der Rechenzentren dabei eigene Ergebnisse der anwendungsorientierten Forschungsarbeit vor.

1.5 Forschungskoordinierung

Die Forschung zur Leistungsmodellierung von Rechnerinstallationen wurde im Rahmen der Hauptforschungsrichtung (HFR) „Informationsverarbeitungssysteme“ (Leitung H. Meier) koordiniert. Über die jährlichen Tagungen der HFR und anderen Veranstaltungen entstand ein reger Meinungsaustausch mit Informatikern des Zentrums für Rechentechnik der Akademie der Wissenschaften und verschiedener Hochschulen. Da in dieser HFR auch die Rechnernetzentwicklung koordiniert wurde, hatten wir immer einen Einblick in die Entwicklung künftiger Rechnerkonfigurationen als Rechnernetze.

Ich war in den Jahren 1975 - 1980 der DDR-Vertreter in der Arbeitsgruppe „Statistische Methoden der Bewertung von Betriebssystemen“ der Kommission für Rechentechnik der Akademien der sozialistischen Länder. Die Arbeitsgruppe stand unter der Leitung des ungarischen Vertreters M. Arato. Vom Leiter der Arbeitsgruppe wurden zu diesem Thema jährliche Tagungen in Visegrad mit internationaler Beteiligung organisiert. Die Beratungen der Arbeitsgruppe fanden meist am Rande dieser Tagungen in Visegrad statt.

2 Rechnerinstallation – Einheit von Arbeitslast und Rechnerkonfiguration

Nachdem im ersten Abschnitt dieses Beitrags die von uns durchgeführte Forschung organisatorisch eingeordnet ist, erfolgt in den nächsten Abschnitten eine Darlegung der Methoden und inhaltlichen Ergebnisse dieser Forschung.

2.1 Rechnerinstallation

Eine Rechnerinstallation wird von uns als Rechnersystem während des Rechenbetriebs angesehen und besteht aus der Wechselwirkung zwischen der Rechnerkonfiguration und einer Arbeitslast. Eine Rechnerinstallation stellt eine Abstraktion bezüglich der

gerätetechnischen Komponenten, bezüglich des Betriebssystems, bezüglich der Anwenderprogramme und bezüglich der Nutzereingriffe dar. Die gerätetechnische *Rechnerkonfiguration* umfasst die gerätetechnischen Ressourcen eines Rechnersystems.

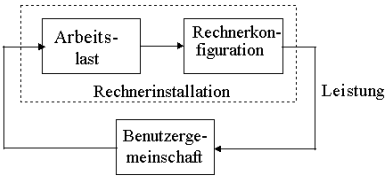

Abbildung 1: Zusammenhang zwischen Arbeitslast und Rechnerkonfiguration

Bei der Betrachtung des Rechenbetriebs ist nicht allein die Rechnerkonfiguration Bestandteil des Systems, sondern auch die Gesamtheit der Programme, Daten und Nutzerkommandos, die seitens der Benutzergemeinschaft während des Rechenbetriebs auf die Rechnerkonfiguration einwirken, gehören dazu. Diese werden zusammenfassend *Arbeitslast* genannt und stellen Forderungen an die Ressourcen der Rechnerkonfiguration dar (s. Abbildung 1).

2.2 Ressourcenorientierte Darstellung der Bedienungsmodelle

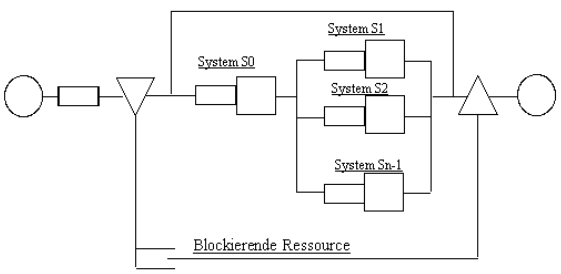

Abbildung 2: Bedienungsnetz für den Multiprogrammbetrieb

Die Wechselwirkung zwischen der Arbeitslast in Form von Forderungen und der Rechnerkonfiguration in Form der Bedienstationen und einer blockierenden Ressource kann durch ein Bedienungsnetz ressourcenorientiert dargestellt werden (s. Abbildung 2). In der Literatur erfolgt die grafische Darstellung der Bedienungsmodelle (Warteschlangenmodelle) meist ressourcenorientiert, weil damit eine gute Grundlage für den Übergang zur analytischen Untersuchung mit Hilfe der Theorie der Markowschen Prozesse vorhanden ist.

2.3 Forderungslaufplan als arbeitslastorientierte Darstellung

Bei der Modellbildung des praktischen Rechenbetriebs ist aber zunächst eine arbeitslastorientierte Darstellung der Bedienungsmodelle erforderlich, bevor zur ressourcenorientierten Betrachtung übergegangen werden kann. Dazu wurde von mir das

Instrument des Forderungslaufplans geschaffen. In der Abbildung 3 ist der Forderungslaufplan eines Forderungsstromes für den Multiprogrammbetrieb mit Berücksichtigung der Kanalbelegung dargestellt. Die arbeitslastorientierte Beschreibung kommt besonders in der zweimaligen Belegung des Kanals zum Ausdruck, was bei einer ressourcenorientierten Beschreibung nicht darstellbar ist.

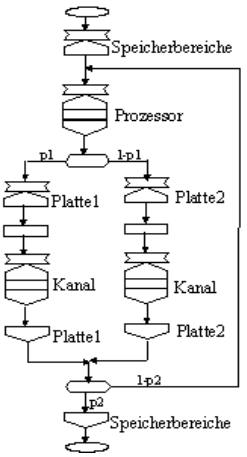

Abbildung 3: Forderungslaufplan für den Multiprogrammbetrieb mit Berücksichtigung der Kanalbelegung

Bei der Analyse von Betriebssystemen wurden in der Literatur Petrinetze angewendet. Dabei wurden verschiedene Erweiterungen des Petrinetzes für die Leistungsmodellierung vorgenommen. In [Be00] wurde gezeigt, wie sich ein GSPN (Generalized Stochastic Petri Net) in einen Forderungslaufplan überführen lässt und umgekehrt. Der Vorteil des Forderungslaufplans gegenüber dem GSPN liegt in der durch die Betrachtung als Wechselwirkung von Forderungen und Ressourcen vorhandene Problemnähe, die beim GSPN verloren geht.

Die Unterteilung der Rechnerinstallation in Forderungen und Ressourcen und die Nutzung des Forderungslaufplans ist auch heute bei verteilten Systemen nicht überholt. Die Methode des Forderungslaufplans war in unseren Untersuchungen ein wichtiges Mittel für die Modellbildung. Sie wurde in allen Abschnitten der Leistungsmodellierung einschließlich der Arbeitslast- und Leistungsmessung genutzt.

3 Arbeitslastmodell

Neben der Entwicklung von Leistungsverhaltensmodellen ist die Arbeitslastanalyse eine wichtige Aufgabe bei der Leistungsmodellierung. Dazu ist ein Arbeitslastmodell erforderlich.

Wir können hier zwei Modellschichten unterscheiden: die Modellschicht der geteilt genutzten Ressourcen und die Modellschicht der (jeder Forderung) fest zugeordneten Ressourcen. Dabei handelt es sich bei der Modellschicht der geteilt genutzten

Ressourcen meist um *Prozessoren* (auch E/A-Prozessoren) und bei der Modellschicht der fest zugeordneten Ressourcen meist um *Arbeitsspeicher*.

Als Arbeitslastkenngrößen wurden für die geteilt genutzten Ressourcen die *Beschäftigungskoeffizienten* x_i (i=1,...,n) eingeführt, die den Anteil der Arbeitslast angeben, der auf die entsprechende Ressource fällt. Das Arbeitslastmodell der geteilt genutzten Ressourcen stellt einen Zusammenhang zwischen den Operationszeiten T_{ok} der einzelnen geteilt genutzten Ressourcen und den Beschäftigungskoeffizienten dieser Ressourcen her.

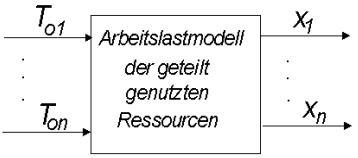

Abbildung 4: Arbeitslastmodell der geteilt genutzten Ressourcen

In der Abbildung 4 ist der Zusammenhang zwischen den Operationen und den Beschäftigungskoeffizienten der geteilt genutzten Ressourcen für das Arbeitslastmodell der geteilt genutzten Ressourcen dargestellt. Die Operationszeiten können aus den gerätetechnischen Daten der einzelnen Ressourcen gewonnen werden. Für den Verarbeitungsprozessor wurde hier der ESER-Mix (s. [SEWI75]) genutzt. In [HALO82] wurde die Erstellung von Befehlsmixen für SKR-Einsatzfälle aus Messungen vorgestellt. Für die Wechselplattenspeicher hängt die Positionierzeit vom Zylinderabstand zwischen zeitlich benachbarten Plattenoperationen und damit von der Anordnung der Dateien auf den Plattestapeln ab. Mit Hilfe des Forderungslaufplanes können die Beschäftigungskoeffizienten aus den Operationszeiten der einzelnen Geräte bestimmt werden.

Als komprimierte Arbeitslastkenngröße für die festzugeordneten Ressourcen wurde der *Multiprogrammfaktor M* eingeführt, der die Parallelität eines zwischen den Forderungen angibt.

4 Entwicklung analytischer Bedienungsmodelle

4.1 Einfacher Ansatz für ein dimensionsloses Leistungsverhaltensmodell

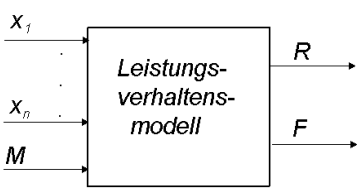

Abbildung 5: Ansatz für ein dimensionsloses Leistungsverhaltensmodell

Aus der Physik ist bekannt, dass die dimensionslose Betrachtung die Allgemeinheit von Modellen erhöht. Bereits bei der Einführung der Arbeitslastkenngrößen wurden dimensionslose Größen betrachtet. Für den Multiprogrammbetrieb wurden die beiden dimensionslosen Leistungsbewertungsgrößen *Leistungsfaktor R* und *Verweilzeitfaktor F* eingeführt. Der Leistungsfaktor gibt an, wie sich die Leistung eines Forderungsstapels durch den Multiprogrammbetrieb erhöht und der Verweilzeitfaktor zeigt um wie viel sich die Verweilzeit einer Forderung gegenüber der Summenbedienzeit vergrößert.

Die mathematische Beschreibung der Rechnerinstallation als Zusammenhang zwischen den Arbeitslastkenngrößen und den Leistungsbewertungsgrößen wurde *Leistungsverhaltensmodell* genannt. In der Abbildung 4 ist als Ansatz für ein dimensionsloses Leistungsverhaltensmodell der Zusammenhang zwischen den dimensionslosen Arbeitslastkenngrößen und den Leistungsbewertungsgrößen dargestellt.

4.2 Anwendung der Theorie der Markowprozesse

Mit Hilfe der Bedienungstheorie wurde von uns eine Reihe analytischer Bedienungsmodelle entwickelt und untersucht, die den Zusammenhang zwischen den Arbeitslastkenngrößen und den Leistungsbewertungsgrößen herstellen.

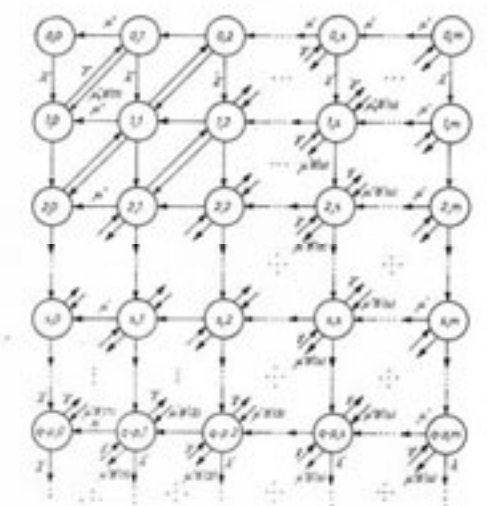

Abbildung 6: Zustandsgraph für das Bedienungsnetz mit Blockierung [Be89]

Im Rahmen der Bedienungstheorie wurde die Theorie Markowscher Prozesse genutzt. Dazu musste ein Zustandsgraph aufgestellt werden. In der Abbildung 6 ist der *Zustandsgraph* für ein Einklassen-Bedienungsnetz mit Blockierung angegeben. Ausführliche Untersuchungen von Einklassen- und Mehrklassen-Bedienungsmodellen vom Central-Server-Typ wurden in [Le82] durchgeführt. Es wurde von ihm dazu das Werkzeug KOMPLEX (s. [BL88]) geschaffen. Die Ergebnisse der Untersuchungen fanden ihren Niederschlag in der Dissertation A [Le83] und der Dissertation B [Le89] von D. Lehmann.

4.3 Analytisches Zweischichtenmodell

Für das Leistungsverhaltensmodell einer Rechnerinstallation wurde der entsprechende Zustandsgraph in die beiden Bereiche der geteilt genutzten Ressourcen und der festzugeordneten Ressourcen, die wesentlich unterschiedliche Übergangsraten haben, eingeteilt und in die Form eines schichtenförmigen Aufbaus gebracht [Be86]. Das wird in der Abbildung 7 mit den Schichten A, B schematisch dargestellt.

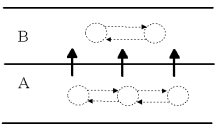

Abbildung 7: Zum Zweischichtenaufbau des Zustandsgraphen

Dabei wurde für die untere Modellschicht A die Zustandsgraphen einer Schar geschlossener Bedienungsnetze mit den geteilt genutzten Ressourcen als Bedienstationen erhalten. In der Abbildung 8 ist ein geschlossenes Bedienungsnetz als Teil der unteren Modellschicht dargestellt. Die einzelnen Bedienungsnetze unterscheiden sich durch die Zahl der in jedem Netz aktiven Forderungen (k=1,2,...,n).

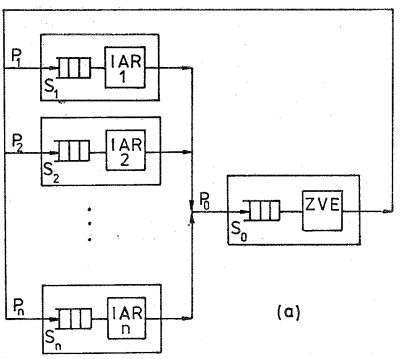

Abbildung 8: Geschlossenes Central-Server-Bedienungsnetz

Für die obere Modellschicht B wurde ein Zustandsgraph erhalten, der für ein virtuelles Mehrkanal-Bedienungssystem (s. Abbildung 9) gilt. Diese Modellschicht wird Modellschicht der fest zugeordneten Ressourcen genannt, wobei der Mehrkanalbedienungsknoten die fest zugeordneten Ressourcen repräsentiert.

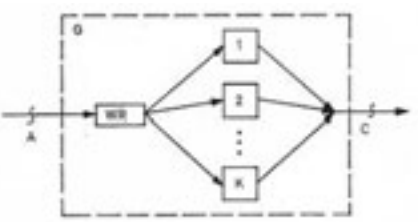

Abbildung 9: Virtuelles Mehrkanalbedienungssystem für die obere Modellschicht

5 Entwicklung eines hybriden Zweischichtenmodells

Eine wichtige Ergänzung der analytischen Modellierung durch die Simulation war in der oberen Schicht, die Einbeziehung der Parallelität innerhalb eines Auftrages in einem Jobnetz.

Für die ereignisdiskrete stochastische Simulation wurde das von ROBOTRON bereitgestellte Programmiersystem SIMDIS genutzt, das mit der GPSS-Sprache programmiert werden kann. Im Rahmen der Forschungsarbeiten des Kollektivs wurden umfangreiche Simulations-Untersuchungen durchgeführt (s. z. B. [HM82]). Der Versuch ein größeres praxisrelevantes Zweischichtenmodell durch die Simulation direkt nachzubilden scheiterte am zu großen Rechenzeitaufwand. Die großen Unterschiede der Übergangsraten zwischen den Schichten, ließen die vollständige Simulation des Zweischichtenmodells scheitern.

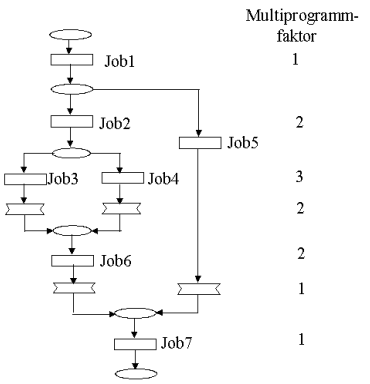

Abbildung 10: Einfaches Simulationsmodell für ein Jobnetz

Aber da die Simulation vor allem für die obere Schicht notwendig war, bot sich als Ausweg die hybride Modellierung des Zweischichtenmodells an. Wenn man die untere Modellschicht als Schar geschlossener Bedienungsnetze analytisch nachbildet und in der oberen Schicht die Simulation durchführt, ist das Rechenzeitproblem gelöst. In diesem Fall muss nur mit der niedrigen Frequenz der oberen Modellschicht die Simulation durchgeführt werden (s. Abbildung 10). Der zusätzliche Aufwand für die analytische Berechnung der Schar geschlossener Bedienungsnetze hatte dabei kein großes Gewicht. So wurde in ein solches hybrides Zweischichtenmodell für die Jobablaufplanung entwickelt und untersucht. In der Dissertation A von G. Mrosko (s. [Mr85]) wurden die Forschungsergebnisse auf diesem Gebiet zusammenfassend dargestellt.

6 Arbeitslast- und Leistungsmessung

Die standardmäßig bei ESER vorhandenen Messmittel genügten nicht allen Anforderungen, die sich aus der Leistungsmodellierung ergaben. Für die Bestimmung der Beschäftigungskoeffizienten des Leistungsverhaltensmodells war zusätzlich die Messung der E/A-Bedienungszeiten erforderlich. Im Rahmen der Zusammenarbeit mit

dem DVZ Dresden wurde dafür ein Leistungsmonitor EAMON für OS/ES entwickelt, implementiert (s. [De83], [De86]) und genutzt. Die Ergebnisse der Arbeit zu EAMON wurden in der Dissertation A von M. Dettke die er vor der Fakultät für Elektrotechnik/Elektronik der TU Dresden 1987 verteidigte, zusammenfassend dargestellt. Der Leistungsmonitor EAMON wurde in enger Zusammenarbeit mit L. Zipfel als Grundlage für die Leistungsverbesserung durch Umverteilung der Betriebssystemdateien genutzt (s. Abschnitt 8.2).

7 Synthetisches Arbeitslastmodell

Von M. Müller (s. [BM86]) wurde ein synthetisches Arbeitslastmodell SAMOS für das Betriebsystem OS/ES entwickelt. Im Gegensatz zur passiven Leistungsmessung im Nutzrechenbetrieb, war mit diesem Modell eine Möglichkeit zur aktiven Erzeugung einer Arbeitslast, bestehend aus synthetischen Programmen mit gewünschten Arbeitslastkenngrößen, vorhanden. Unter Nutzung von vorgegebenen Arbeitslast-kenngrößen wurden Arbeitslasten mit vorgegebenem Profil, für die Realisierung in einer Rechnerinstallation des ESER in Form von synthetischen Jobs erzeugt und anschließend abgearbeitet. Dabei wurde auch die Erzeugung von abhängigen Jobs, die in einem Jobnetz abgearbeitet werden, in das Modell einbezogen. Die Arbeiten zu diesem Thema fanden ihren Abschluss in der Dissertation A von M. Müller (s. [Mü87]).

8 Leistungsverbesserung

Die Forschung zur Leistungsmodellierung sollte nicht nur neue Erkenntnisse und Werkzeuge zur Leistungsmodellierung schaffen. Für den praktischen Rechenbetrieb sollte sie auch direkte Leistungsverbesserungen realisieren.

8.1 Leistungsverbesserung durch Umverteilung der Betriebssystemdateien

Durch die E/A-Operationen der Wechselplatten wird ein wesentlicher Anteil der Arbeitslast erzeugt. Dabei wird davon ausgegangen, dass die meisten E/A-Zugriffe zu den Betriebssystemdateien erfolgen. Unter den Bedingungen der Massendatenverarbeitung beträgt der Anteil Zugriffe zu den Systemdateien mehr als 50%. Als Maßnahme zur Leistungsverbesserung bot sich hier eine Umverteilung der Systemdateien über die Plattenstapel an (s. [Be84]). Ziel dieser Umverteilung war die Verringerung der Positionierzeit der Systemdatenzugriffe. Die entsprechenden Algorithmen zur Optimierung der Systemdateien wurden im Werkzeug OPDA [BZ86] implementiert und im DVZ Dresden genutzt. Die Ergebnisse der Arbeit zu diesem Thema fanden Eingang in die Dissertation A von L. Zipfel (s. [Zi87]).

8.2 Jobnetzoptimierung

In den Projekten der Massendatenverarbeitung der DVZ wurde von den Datenverarbeitungszentren für eine Reihe von Projekten, das periodisch zu verarbeiten

waren, ein Jobnetz aufgebaut (s. Abbildung 10), das durch ein erweitertes Betriebssystem automatisch abgearbeitet wurde. Die im Projekt vorhandenen Jobabhängigkeiten wurden dabei berücksichtigt. Über die optimale Gestaltung der Jobnetze wurde eine Maximierung des Leistungsfaktors erreicht. Bei der Jobnetzoptimierung wurden die bekannten mathematischen Verfahren der Netzplantechnik genutzt (s. [Sc84]).

9 Breitenanwendung und Nachhaltigkeit der Ergebnisse

Die Leistungsmodellierung von Rechnersystemen ist eine wichtige Grundlage für die Leistungsverbesserung dieser Systeme. Dabei war die hier betrachtete *Leistungsmodellierung von Rechnerinstallationen* nicht auf die Erhöhung der Ressourcengeschwindigkeiten und verfügbaren Speicherkapazitäten, sondern auf die Verbesserung ihrer Struktur gerichtet.

Eine umfassende Analyse, die alle Aspekte von Arbeitslast und Ressourcen enthält, war nur beim praktischen Betrieb einer Rechnerinstallation möglich. Dabei setzte die Erfassung repräsentativer Arbeitslasten die Analyse von Rechnerinstallationen voraus, die sich im Breiteneinsatz befanden. Das war, neben den Zielen der unmittelbaren Leistungsverbesserung, der wichtigste Grund, warum wir damals die Hauptrichtung unserer Forschung auf den praktischen Rechenbetrieb in Rechenzentren orientiert haben.

Aus Gründen der Nachhaltigkeit galt dabei die Vorrausetzung, dass die strukturellen und mathematischen Ansätze so getroffen werden mussten, dass ihre Anwendbarkeit sich nicht nur auf den Rechenbetrieb in Rechenzentren beschränkte. Die von mir vorher für die Leistungsmodellierung von Prozessrechner und später zur Leistungsmodellierung von parallelen und verteilten Rechnersystemen durchgeführten Arbeiten, haben gezeigt, dass die bei der Leistungsmodellierung der Rechnerinstallationen in den Rechenzentren verwendeten strukturellen und mathematischen Ansätze für die Modellbildung bei einer breiten Klasse von Rechnerinstallationen mit Rechnernetzkonfigurationen anwendbar waren und sind.

Literaturverzeichnis

[BL88] Bergholz, G.; Lehmann, D.: The KOMPLEX Performance Prediction Tool. Syst. Anal. Model. Simul. 5 (1988)3, 243-251.

[BM86] Bergholz, G.; Müller, M.: Synthetische Arbeitslastmodelle. edv-aspekte 4 (1986) s. 60-64.

[Be79] Bergholz, G.: Zur Leistungsanalyse von Rechnersystemen der Stapelverarbeitung. Problemseminar „ Analyse von Rechnersystemen und der Kommunikation in komplexen Informationsverarbeitungssystemen“, Weißig (1979)

[Be80] Bergholz, G.: Zur Leistungsanalyse und Leistungsverbesserung im praktischen Rechenbetrieb. Problemseminar „ Leistungsverbesserung von Rechnerinstallationen“, Weißig (1980)

[Be84] Bergholz, G.: Leistungsbewertung im Rechenbetrieb. rechentechnik/datenverarbeitung 21 (1984) S.10-13.

[Be86] Bergholz, G.: Modellierung Einer EDVA durch ein Bedienungssystem mit virtuellem Bedienungsknoten. Elektron. Inf.verarb. Kybern. EIK 22 (1986) 4 167-177.

[Be89] Bergholz, G.: Leistungsmodellierung von Rechnersystemen. Akademieverlag Berlin (1989) 223 Seiten, 102 Abbildungen und 31 Tabellen.

[Be00] Bergholz, G.: Zur graphischen Darstellung von Modellstrukturen im Rahmen der Leistungsmodellierung. ASIM-Workshop Multiagentensystems and Individual-based Simulation Würzburg 3 (2000)

[BR92] Bergholz, G.; Richter, K.: Performance evaluation of computer networks with blockings. Computional Systems Analysis, A. Sydow (Editor) Elsevier Science Publishers , Amsterdam (1992)

[BZ86] Bergholz, G.; Zipfel, L.: OPDA – Optimale Dateiverteilung auf externen Geräten. edv-aspekte 4 (1986) S. 62-64

[De82] Dettke, M.: Leistungsmessung mittels Softwaremonitor EAMON. Problemseminar „Leistungsverbesserung von Rechnerinstallationen“, Weißig (1982)

[De86] Dettke, M.: Leistungsmessung und –bewertung unter Einsatz empirischer Modelle. Problemseminar „ Leistungsverbesserung von Rechnerinstallationen“, Weißig (1986)

[HL82] Hamann, C.-J.; Lotzkat, O.: Erstellung von Befehlsmixen für SKR-Einsatzfälle. Problemseminar „ Leistungsverbesserung von Rechnerinstallationen“, Weißig (1982)

[HM28] Hamann, Cl.-J.; Mrosko, G: Simulation von Verhaltensmodellen zur Leistungsbewertung von Rechnerkonfigurationen. 27. Intern. Wiss. Koll. TH Ilmenau (1982)

[Me07] Merkel, G.: Computerentwicklung in der DDR – Rahmenbedingungen und Ergebnisse. GI –Edition Friedrich Naumann, Gabriele Schade (Hrsg.) Informatik in der DDR – eine Bilanz Tagungsband zu den Symposien 7. –9. Oktober 2004 in Chemnitz 11.-12. Mai 2006 in Erfurt. S. 40-54

[Le82] Lehmann, D.: „Central-Server“- Modelle – Mittel zur Leitungsvorhersage. Problemseminar „Leistungsverbesserung von Rechnerinstallationen“, Weißig (1982)

[Le83] Lehmann, D.: Analytische Verhaltensmodelle zur Leistungsbewertung im praktischen Rechenbetrieb. Dissertation A. Fakultät für Elektrotechnik/Elektronik TU Dresden (1983)

[Le89] Lehmann, D.: Leistungsmodellierung von Rechnerinstallationen – Stand – Tendenzen – Ein verallgemeinerter Zugang über analytische Verfahren. Dissertation B. Fakultät für Elektrotechnik/Elektronik TU Dresden (1989)

[Mr85] Mrosko, G.: Untersuchung der Jobablaufsteuerung mit Hilfe hybrider Modelle. Dissertation A. Fakultät für Elektrotechnik/Elektronik der Tu Dresden (1985)

[Mü87] Müller, M.: Ein synthetisches Arbeitslastmodell als Mittel der zur Leistungsverbesserung von Rechnersystemen. Dissertation A. Fakultät für Elektrotechnik/Elektronik der TU Dresden (1987)

[SW75] Seidel, G.; Wiedemuth, D.: ESER - Funktionsprinzipien des Einheitlichen Systems der Elektronischen Rechentechnik. Schriftenreihe Informationsverarbeitung. Verlag Die Wirtschaft, Berlin (1975)

[Sc84] Schreiber, E.: Programme zur Leistungsbewertung im DVZ Dresden. rechentechnik/datenverarbeitung 21 Heft 1 (1984) S. 8-9

[Zi87] Zipfel, L.: Optimale Dateiverteilung auf Direktzugriffsdatenträger – Ein Beitrag zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit von Datenverarbeitungsanlagen. Dissertation A. Fakultät für Elektrotechnik und Informatik der TU Dresden (1987)