

Universität Hamburg
Fachbereich Informatik
Seminar Leistungsanalyse unter Linux
Leitung: Prof. Dr. Thomas Ludwig, Michael Kuhn, Julian Kunkel und Timo Minartz
Wintersemester 2011/12

Einführung in die Leistungsanalyse

Jan Hendrik Bartels
Schwalbenweg 5
21614 Buxtehude
Tel.: 04161 556126
Email: Jan-Hendrik-Bartels@live.de

Wirtschaftsinformatik
5. Semester

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung.....	1
1.1 Ablauf der Leistungsanalyse	2
1.2 Gründe für die Leistungsanalyse.....	2
1.3 Das Problem mit der Definition von Leistung.....	4
1.4 Anwender der Leistungsanalyse	4
2 Komponenten und Kennzahlen der Leistungsanalyse.....	6
2.1 Hardware.....	6
2.2 Software	7
2.3 Kennzahlen	8
2.4 Last	9
3 Methoden der Leistungsanalyse.....	10
3.1 Analytische Modelle	11
3.2 Simulation.....	11
3.3 Messung.....	12
3.3.1 Monitoring im Detail.....	12
4 Repräsentation	14
5 Resümee	14
Literaturverzeichnis	16

1 Einleitung

„Der Anfang ist die Hälfte des Ganzen.“

ARISTOTELES (384 - 322 v. CHR.)

In der vorliegenden Seminararbeit wird das Thema „Einführung in die Leistungsanalyse“ behandelt. Der ausschlaggebende Grund, der zur Wahl des Seminarthemas führte, ist dem Interesse geschuldet subjektiven Aussagen, wie „Heute braucht mein Rechner wieder Ewigkeiten“ oder „Das Internet ist heute wieder so langsam“ zu analysieren und anschließend objektiv beantworten zu können.

Um die subjektiven Aussagen von Anwendern einordnen zu können, muss zunächst ein Verständnis über die Entstehung von Leistung existieren. Wie schnell ein Vorgang verarbeitet werden kann, hängt von der Hard- und Software ab. Darüber hinaus reicht es nicht aus, dass die anfallenden Aufgaben vom System reibungslos verarbeitet und durchgeführt werden. Die Leistung eines Systems muss gemessen und außerdem überwacht werden. Nur so können die Messwerte in Relation zueinander gesetzt werden, schließlich muss gewusst werden, ob ein bestimmter Messwert gut oder schlecht ist. Liegt der Messwert im Erwartungsbereich, darunter oder darüber? Markiert er eine Tendenz?

Die Leistungsanalyse ist demzufolge eine der wichtigsten Aufgaben, aber auch eine der umfassendsten und zeitaufwendigsten Aufgaben. Sie ist umfassend, weil sich viele komplexe Faktoren auf die Leistung eines Systems auswirken, sodass in den allerwenigsten Fällen ein einziger Faktor die Leistung beeinflusst. Des Weiteren kommt hinzu, dass es nicht immer eine genaue Vorstellung von Leistung gibt. Aus diesem Grund werden verschiedene Anwender der Leistungsanalyse vorgestellt. Zeitaufwendig ist das Verfahren, bedingt dadurch, dass nicht eine einzige Messung Aufschluss über Engpässe und Leistungseinbrüche gibt. Es muss beobachtet werden, wie sich die Leistung an verschiedenen Wochentagen bemisst. Zusätzlich müssen Vergleichswerte durch wiederholtes Messen, zu den Ergebnissen geschaffen werden. Infolgedessen erfordert die Leistungsanalyse fundiertes Wissen über die Grundlagen von Hard- und Software und deren Zusammenspiel.

Das Ziel der vorliegenden Seminararbeit ist es einen Überblick über die Leistungsanalyse zu geben. Aus diesem Grund werden in den ersten Kapiteln der Hintergrund der Leistungsanalyse und die Sichten der verschiedenen Anwender auf die Leistungsanalyse vorgestellt. Anschließend wird der Ablauf der Leistungsanalyse erläutert, um die Anwendungsmöglichkeiten der Leistungsanalyse aufzuzeigen.

1.1 Ablauf der Leistungsanalyse

Bevor die Leistungsanalyse durchgeführt werden kann, müssen die Gründe und die Ziele für eine Leistungsanalyse definiert werden. Im zweiten Schritt der Leistungsanalyse werden dann die Komponenten ausgewählt, die eine entscheidende Rolle bei der Erfüllung der Aufgaben des Rechnersystems einnehmen. Ausgewählte Komponenten werden überwacht und analysiert. Anschließend müssen Kennzahlen, die die Leistung der Komponente und die Auswirkung auf das gesamte Rechnersystem darstellen, ermittelt und bestimmt werden. Zusätzlich müssen noch Mindest- und Maximalwerte für die ausgewählten Kennzahlen festgelegt werden, um Trends zu erkennen und den reibungslosen Betrieb des Rechnersystems zu gewährleisten. Der vierte Schritt der Leistungsanalyse befasst sich mit der Last, die auch Workload genannt wird. Hier wird festgelegt, welcher Lasttyp bei einem Modell oder einem Testsystem verwendet wird. Die verschiedenen Lasttypen werden später im Kapitel 2.4 thematisiert. Nach der Auswahl der Last wird das Analyseverfahren zur Leistungsanalyse ausgewählt. Im dritten Kapitel werden die unterschiedlichen Methoden der Leistungsanalyse vorgestellt. Mit der Auswahl der Leistungsanalysemethode sind die Vorbereitungen abgeschlossen und die Durchführung der Leistungsanalyse kann beginnen. Die durch die Analysemethoden gesammelten Informationen über einzelne Komponenten werden ausgewertet und als Entscheidungsgrundlage für zukünftige Entscheidungen verwendet.

1.2 Gründe für die Leistungsanalyse

Die Leistungsanalyse von Rechnersystemen besitzt eine entscheidende Bedeutung in vielen Bereichen der IT. Bekanntermaßen möchten die Administratoren, sowie auch die Anwender die bestmögliche Leistung für einen zur Verfügung stehenden Etat. Aufgrund der vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten der Analysemethoden, wie der Simulation von Rechnersystemen, ist die Vorhersage der Leistung eines Rechnersystems noch bevor es entwickelt oder erworben werden kann möglich. Im Zuge dessen können Entscheidungen, ob ein Rechensystem die Anforderungen an den gewünschten Einsatzzweck erfüllt, in einem sehr frühen Stadium der Entwicklung getroffen werden.

Eine andere Methode der Leistungsanalyse ist die Messung. Sie erfolgt am bereits existierenden Rechnersystem und dient der Lokalisierung von möglichen Leistungsengpässen. Die protokollierten Ergebnisse dienen zudem als Grundlage für Optimierungen und deren Bewertung. Die Optimierung hat für die Betreiber von Rechnersystemen einen großen Stellenwert, schließlich lässt sich durch die Verbesserung des Systems der Kosten-Nutzen-Faktor verbessern. Zusätzlich gewährt eine regelmäßige Messung auch eine Frühwarnfunktion. Diese gibt

Informationen darüber, ob das Rechnersystem anfallende Aufgaben noch bewältigen kann oder eine Investition in neue Hard- und/oder Software getätigt werden muss. Da die Leistung bei der Anschaffung neuer Rechensysteme ausschlaggebend ist, kann mithilfe der Messung anhand von Testsystemen ein direkter Vergleich zwischen verschiedenen Alternativen durchgeführt werden.

Ergo entspringt die Leistungsanalyse nicht bloß dem Bedürfnis der Leistungsermittlung. Vielmehr sind ökonomische Gründe der Auslöser von Leistungsmessungen. Das Rechensystem muss sowohl den Leistungsansprüchen als auch dem finanziellen Rahmen eines Unternehmens entsprechen. Aus diesem Grund preisen viele Hersteller ihre Produkte mit Testwerten aus eigenen Messungen an. Jedoch stammen die Kennzahlen aus diesen Messungen oft aus einem optimalem Testumfeld, das heißt einem Umfeld, das die maximale Leistung der Komponente ermöglicht oder aber einer Umgebung, die nicht imstande ist, zusätzliche Aufgaben zu erfüllen und im Unternehmen deshalb nicht umgesetzt wird.

„Dies mag im Bereich der privaten Nutzung von Rechensystemen und Systemkosten von wenigen Tausend Euro noch vertretbar sein. Wenn aber ein Hochleistungsrechner für einen Betrag von mehreren Hunderttausend Euro für eine ganz spezifische Simulationsaufgabe beschafft wird, ist eine vorherige Analyse der existierenden Alternativen in Hinblick auf den geplanten Einsatzzweck sehr wichtig.“¹.

Die ausschlaggebenden Gründe für die Einführung der Leistungsanalyse von Rechensystemen sind folglich:

- Der Kosten-Nutzen-Faktor: bedeutet die bestmögliche Leistung zu den geringsten Kosten
- Der technische Fortschritt: heute haben Rechnersysteme mehr Leistung als Supercomputer der 70er und 80er Jahre
- Verschärfter Wettbewerb zwischen Herstellern:
 - Positionierung auf dem Markt
 - Welcher Hersteller bietet die Hardware mit der besten Leistung, welcher Hersteller das beste Preis-/Leistungsverhältnis und welcher Hersteller bietet den besten Service?
- Vergleich zwischen zwei oder mehreren Rechensystemen
- Überprüfung der Leistung, um systeminterne Engpässe zu finden und Verbesserungen durchzuführen
- Dezentrale Verarbeitung von Daten mit integriertem Funktions- und/oder Lastausgleich
- Zunehmende Vernetzung verschiedener Anlagen ²

¹ Daniel Versick 2009, S. 2

² Vgl. Mathias Haas und Werner Zorn, S.14

1.3 Das Problem mit der Definition von Leistung

Bevor die Leistung eines Rechensystems bestimmt werden kann, muss eine genaue Vorstellung von Leistung existieren. Diese Hürde ist erst genommen, wenn der Anwendungsbereich und die damit verbundenen Aufgaben exakt bestimmt sind. Leistungsbewertungen, die bevor eine Zuordnung in ein Aufgabenbereich vollführt wurde, getätigt wurden, geben meist nur die Leistung, wie sie in der Physik definiert ist als Arbeit pro Zeit wieder. Da die Leistung eines Rechensystems mit vom Unternehmensziel bestimmt wird, ist solch eine Bewertung für ein komplettes Rechensystem wenig sinnvoll. Hinzu kommt, dass die Leistung von vielen verschiedenen Faktoren beeinflusst wird. Sowohl müssen die maximal mögliche Leistung der Hardware als auch die Leistungsfähigkeit der Software berücksichtigt werden. Aber auch die anfallende Last darf nicht außerachtgelassen werden. Ein Rechensystem, welches mit vielen Aufträgen belastet ist, wird mehr Zeit zur Erfüllung seiner Aufgaben benötigen als ein Rechensystem mit wenigen Aufträgen. Die Schwierigkeiten bei einer Definition zeigen die folgenden Zitate von Jain und Doherty „Contrary to common belief, performance evaluation is an art....Like artist, each analyst has a unique style. Given the sample problem, two analyst may choose different performance metrics and evaluation methodologies.“³ und „Performance is the degree to which a computing system meets expectations of the person involved in it.“⁴. In Anbetracht dieser Problematik werden im nächsten Kapitel die unterschiedlichen Sichtweisen und Ziele der Anwender der Leistungsanalyse betrachtet.

1.4 Anwender der Leistungsanalyse

Aufgrund der vielen Bereiche, die mit dem Rechensystem in Zusammenhang stehen, gibt es unterschiedliche Betrachtungsweisen eines Rechensystems. Diese Betrachtungsweisen sind die des:

- Hard- und/oder Softwareentwicklers
- Systemadministrators
- Systemanalytiker
- Rechenzentrumsleiters

Jede Sichtweise setzt dabei andere Prioritäten für eine Leistungsanalyse bei der Auswahl von Kennzahlen, welche auch Metriken genannt werden. Der Softwareentwickler ist daran interessiert das Programmverhalten zu überprüfen. Die Software soll für die Erfüllung ihrer Aufgabe möglichst wenige Ressourcen des

³ Raj Jain 1991, S. 7

⁴ Doherty 1970, Zitiert von Holger Brunst, Mathias Müller 2011,

Rechnersystems verbrauchen. Während der Ausführung der Software soll es zu keinem Absturz kommen, weder des Programmes noch des gesamten Betriebssystems. Außerdem soll die Sicherheit nicht beeinflusst werden. Mit Programmen, wie Oprofile, Perf und Valgrind können Entwickler ihre Programme analysieren. Die Programme erzeugen nach der Analyse des Quellcodes Profile, die auch Error-Logfiles genannt werden, anhand derer der Softwareentwickler Probleme erkennen kann. Ein weiterer Vorteil der durch die Verwendung der Tools entsteht, ist das der Softwareentwickler nicht auf Fehlerberichte von Benutzern warten muss, sondern von vornherein Verbesserungen durchführen kann. Benutzerstatistiken dienen aufgrund dessen hauptsächlich der Feststellung von oft genutzten Funktionen der Software und deren Optimierung. Hierbei muss allerdings abgewogen werden, ob sich der Aufwand für die Optimierung und der Nutzen, den der Benutzer erhält, lohnt.

Der Systemanalytiker richtet seinen Fokus bei der Leistungsanalyse auf die Gewinnung von Informationen, die das Rechnersystemverhalten darstellen. Die gesammelten Informationen werden verwendet, um die Last für Modelle der Leistungsanalysemethoden zu beschreiben und um bereits bestehende Modelle zu verifizieren. Zusätzlich sollen wichtige Parameter und deren Grenzwerte erkannt werden, um Konflikte innerhalb des Rechnersystems zu vermeiden.

Ein Systemadministrator hingegen nutzt die Leistungsanalyse, um die Verwendung der Ressourcen des Rechnersystems zu erfassen und anhand dieser Engpässe, die meist Flaschenhälse genannt werden, zu erkennen. Mit Hilfe des Tools iotop werden die Eingabe- und Ausgabetransferraten für die laufenden Prozesse erkannt. Mit dem Tool strace kann die Kommunikation der Prozesse, mit dem Linux-Kernel angezeigt werden. Das Tool lsof zeigt offene Dateien an. Die Tools vmstat, top und iostat liefern Information über die Auslastung des Prozessors, sowie des Speichers und der Programme, die für die Auslastung verantwortlich sind.

Neben der Sicht des Hard- und Softwareentwicklers, des Systemanalytikers und des Systemadministrators existiert die Sicht der Rechenzentrumsleitung. Das oberste Gebot bei einem Rechenzentrum ist die effiziente Nutzung der vorhandenen Leistung. Die Leistungsanalyse dient also vornehmlich dazu, die vorhandene Hardware zu rechtfertigen. Ebenso kann festgestellt werden, wie viel Leistung von welchem Nutzer des Rechenzentrums real verbraucht wurde und ob dieser Support benötigt, weil die zur Verfügung stehende Leistung nicht optimal genutzt wurde. Infolge dessen wird erkannt, ob die Hardware für die Bedürfnisse des Nutzers geeignet ist und die Ressourcen beschränkt werden müssen, damit die Nutzer, die die Leistung benötigen auf diese zugreifen können. Zusätzlich kann die Erweiterung der Infrastruktur für das Rechenzentrum geplant werden.

2 Komponenten und Kennzahlen der Leistungsanalyse

2.1 Hardware

Aufgrund der Leistungsbeschränkung durch die physikalische Kapazität der Hardware eines Rechnersystems, wird im folgenden Abschnitt ein Überblick über die wichtigsten Komponenten gegeben.

Die Grundlage der meisten Rechnersysteme bildet heute die Von-Neumann-Architektur.. Sie besteht aus vier Funktionseinheiten. Diese sind das Rechenwerk, das Steuerwerk, der Speicher (Memory) und das Ein-/Ausgabewerk (I/O-Unit) , wie in Abb. 1 dargestellt. Die Verbindung zwischen den Funktionseinheiten übernimmt das Bus-System.

Der Von-Neumann-Rechner arbeitet streng sequentiell. Diese Gegebenheit ist sowohl ein Vorteil als auch ein Nachteil, da die Befehle und die Daten aus dem Speicher stammen. Die Befehle und Daten werden Schritt für Schritt verarbeitet und müssen sich aus diesem Grund die maximale Geschwindigkeit des Bus-Systems teilen. Dieser architektonische Sachverhalt ist unter der Bezeichnung Von-Neumann-Flaschenhals bekannt und wurde von John Backus eingeführt. Die Verarbeitungsgeschwindigkeit des Prozessors, der heute die beiden wichtigsten Komponenten des Von-Neumann-Rechners in sich vereint, nämlich das Rechen- und das Steuerwerk, steigerte sich im Zeitraum von 1986 bis 2000 jährlich um knapp 60%. Dies entspricht einer Verdoppelung der Leistung alle eineinhalb Jahre. Diese Entwicklung ist als Moore's Law bekannt. Im Vergleich dazu verdoppelt sich die Leistung des Speichers alle zehn Jahre und erhöht den Einfluss des Von-Neumann-Flaschenhalses.

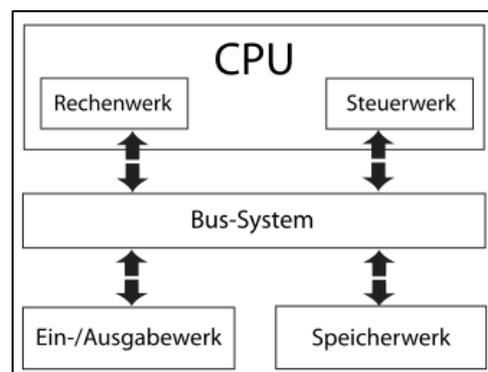


Abb. 1: Schematischer Aufbau eines Von-Neumann-Rechners (wikimedia.org, 2007)

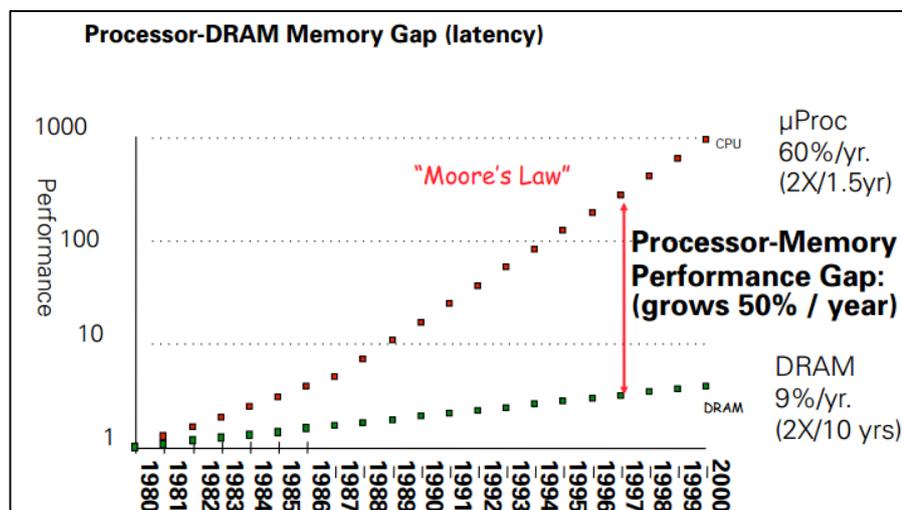


Abb. 2: Leistungsentwicklung Prozessor und DRAM im Vergleich (Holger Brunst und Matthias S. Mueller, 2011)

Zur Beschleunigung der Arbeitsweise und um den Von-Neumann-Flaschenhals zu umgehen, sehen moderne Architekturen mehrstufige *Caches* zwischen dem Hauptspeicher und dem Prozessor vor. Der Cache ist ein kleiner, aber sehr schneller Speicher. Innerhalb des Prozessors wird zusätzlich versucht die sequenzielle Ausführung der Befehle innerhalb des Prozessors zu parallelisieren.

Die Leistung einer *Festplatte* hängt von der Umdrehungsgeschwindigkeit, sowie der Kapazität ab. Eine hohe Umdrehungsgeschwindigkeit ist gleichbedeutend mit einer geringen Zugriffszeit des Schreib-/ Lesekopfes. Die Umdrehungsgeschwindigkeit von SATA-Festplatten liegen zwischen 5400 rpm und 7200 rpm. Festplatten besitzen sowohl eine konstante Drehzahl als auch eine konstante Datendichte. Infolgedessen nimmt pro Spur von innen nach außen die Datenmenge zu. Gleiches gilt für die Zugriffszeit, welche am äußeren Rand der Festplatte am höchsten ist. Dementsprechend hat die Kapazität einen beträchtlichen Einfluss auf die Leistung.

Zusätzlich zur Kapazität und zur Umdrehungsgeschwindigkeit wird die Durchsatzleistung durch den verwendeten Controller mitbestimmt. Dieser ist entweder auf dem Mainboard bereits vorhanden oder kann durch eine PCI-Karte nachgerüstet werden, um den Anschluss für weitere Festplatten zu gewährleisten. Der Haupteinsatzzweck eines Controllers ist aber nicht die Möglichkeit weitere Festplatten anzuschließen, sondern das Zusammenfassen mehrerer Festplatten zu einem RAID (Redundant Array of Independent Disks). Bei einem RAID werden die Daten über die verwendeten Festplatten verteilt, je nach RAID-Typ geschieht dies unterschiedlich. Sollte eine Festplatte ausfallen, ist es möglich, dass alle Daten widerhergestellt werden können. Die Größe der Daten, die geteilt als sogenannte Chunks auf die Festplatten verteilt werden, ist bei der Erstellung eines RAID-Arrays anzugeben und beeinflusst sowohl den Durchsatz als auch die Antwortzeit.

Neben dem Prozessor und dem Speicher limitiert das Netzwerk die Leistung eines Rechnersystems. Für die Leistung von Bedeutung ist die Topologie, also die Struktur, nach der das Netzwerk aufgebaut ist. Durch die Topologie werden die Latenz und die Bandbreite beeinflusst. Des Weiteren existieren Vor- und Nachteile bezüglich der Ausfallsicherheit und der Sicherheit des Netzwerkes. Zum Beispiel ist ein Netzwerk mit Bus-Topologie leicht abzuhören und ein defektes Kabel unterbindet die Kommunikation eines gesamten Netzwerkbereiches.

2.2 Software

Je nachdem wie Anwendungen auf den Speicher zugreifen, hat dies einen relevanten Einfluss auf die Leistung eines Rechnersystems. In diesem Zusammenhang kommt der Wahl des Betriebssystems, die Nutzung einer

Virtualisierungsschicht, die I/O- Scheduling- Technik⁵, das Dateisystem und die Organisation der Datenträger, beispielsweise durch Partitionierung oder einen Software-Raid, große Bedeutung zu.

Weitere Leistungsfaktoren sind die *Algorithmen*, die ein Programm verwendet, um das gewünschte Ergebnis zu berechnen. Je nachdem wie effizient die Befehle für die Ausführung der Berechnung sind und wie komplex die Problemstellung ist, lässt sich der Quellcode optimieren und die Berechnung beschleunigen. Hierbei wird der Programmierer nur von der Syntax und der Semantik der *Programmiersprache*, in der das Programm verfasst wurde, eingeschränkt. Der Compiler ist zuständig für die Übersetzung der Befehle in Anweisungen, die das Rechnersystem ausführen kann. Während der Übersetzung wird der Quellcode nochmals durch den Compiler optimiert.

2.3 Kennzahlen

Kennzahlen lassen sich in drei Bereiche einordnen: Kennzahlen zur Zeit, zum Durchsatz und zur Auslastung. Folglich ist es wichtig viele unterschiedliche Kennzahlen zu kennen und ihren Bezug untereinander zu verstehen. Aus diesem Grund wird im Folgenden ein Überblick über häufig verwendete Kennzahlen gegeben.

Antwortzeit/ Latenz: Die Latenz, die häufig auch Antwortzeit genannt wird, ist das Intervall zwischen dem Absenden einer Anfrage an ein System und dem Erhalt einer Antwort nach der Bearbeitung.

Reaktionszeit: „Während die Antwortzeit den gesamten Zeitraum beinhaltet, der zur Bearbeitung einer Anfrage erforderlich ist, besteht die Reaktionszeit nur aus dem Teil der Antwortzeit, die zwischen Nutzeranfrage und Start der Aktion vergeht, die die Nutzeranfrage bewirkt.“⁶

Durchsatz: Als Durchsatz wird der Quotient aus der Anzahl an Aufträgen und der benötigten Zeit für die Bearbeitung bezeichnet.

Verlustrate: Die Verlustrate enthält die Aufträge, die vom Rechnersystem abgelehnt werden oder die Aufträge, die auf dem Weg zur Bearbeitung pro Zeiteinheit verloren gegangen sind.

⁵ Ab Kernel 2.6 stehen unter Linux vier Algorithmen zur Verfügung: Completely Fair Queuing, Deadline, NOOP und Anticipatory. Das Kernelargument, das den Algorithmus setzt heißt elevator und ist meistens in der grub.conf zu finden.

⁶ Daniel Versick 2009, S.23

Auslastung: Als Auslastung wird die Belastung einer Komponente oder des gesamten Rechensystems bezeichnet. Der Wert wird aus dem Verhältnis vom tatsächlichen und vom maximalen Durchsatz berechnet.

Zugriffszeit: Unter der Zugriffszeit wird die verstrichene Zeit, die nach dem Eintreffen eines Schreib- oder Lesebefehls und dem Beginn der Ausführung verging, verstanden.

2.4 Last

Bei der Ermittlung einer Kennzahl ist immer die Last, unter anderem als Workload bekannt, zu beachten. Mit Last werden zum Beispiel die Anfragen der Benutzer an ein System oder die Anzahl an Aufträgen an einen Prozessor bezeichnet.⁷ Des Weiteren werden die Anzahl der Benutzer und der Datenumfang als Beschreibung von Last verwendet.⁸ Bei der Bewertung eines Rechnersystems ist die Beachtung der Last von entscheidender Bedeutung. Schließlich arbeitet ein Rechensystem schneller, desto weniger Aufträge es abarbeiten muss.

Im Laufe der vergangenen Jahre wurden folgende Arten von Last für den Vergleich von Rechensystemen verwendet:⁹

- Addition Instruction
- Instruction Mixes
- Kernels
- Synthetic Programs
- Application Benchmarks

Am Anfang der Entwicklung von Rechnersystemen war die Leistung des Prozessors gleichbedeutet mit der Leistung des Gesamtrechnersystems. Das Kriterium, welches bei einem Vergleich von Rechnersystemen über die bessere Leistung entschied, war die Schnelligkeit der Addition Instruction.

Als die Leistung eines Rechnersystems begann von immer mehr Hardwarekomponenten abhängig zu werden, wurde der Instruction Mix als Last verwendet. Enthalten im Instruction Mix sind verschiedene Arten von Anweisungen verbunden mit einer variablen Anwendungshäufigkeit. Der am häufigsten verwendete Instruction Mix war der Gibson Mix.

Aufgrund der fortschreitenden Entwicklung der Rechnersysteme wurde über mögliche Alternativen als Last nachgedacht. Aus diesen Überlegungen entstand der Kernel. Als Kernel werden Funktionen bezeichnet, die sehr häufig von einem

⁷ Vgl. Raj Jain 1991, S. 4

⁸ Vgl. Ludwig Frank 1996, S. 125

⁹ Vgl. Raj Jain 1991, S. 48

Prozessor ausgeführt werden, wie zum Beispiel die Durchsuchung eines Baumes oder das Sortieren.

Angesichts der Tatsache, dass keine bisher verwendete Last die Ein- und Ausgabeperipherie belastet und Anwendungen diese zunehmend verwenden, wurden solche Anweisungen ein wichtiger Bestandteil der Last zur Leistungsmessung.¹⁰

Als Application Benchmark wird die Last bezeichnet, die einer repräsentativen Last des späteren Anwendungszweckes entspricht. Ein Beispiel hierfür wäre ein Rechnersystem für Flugplatzreservierungen. Die Last wäre dann zum Beispiel die Anzahl an Reservierungen in einem festgelegten Zeitraum.

Wichtig ist zudem die Unterscheidung der Begriffe Benchmark und Benchmarking. Der Begriff des Benchmarks bezeichnet die Last, welche bei der Leistungsmessung verwendet wird. Im Gegensatz dazu, steht das Benchmarking für den Vergleich zweier oder mehrerer Rechnersysteme durch die Leistungsmessung.

3 Methoden der Leistungsanalyse

Die zur Leistungsbewertung zur Verfügung stehenden Methoden werden in drei Gruppen eingeteilt: analytische Modelle, Simulation und Messung. Unterschieden werden die Gruppen anhand der Art, wo die Leistungsanalyse stattfindet. Existiert kein reales Rechnersystem, werden Leistungsanalysen mit Hilfe von Modellen eines Rechnersystems durchgeführt. Es ist zum einen möglich mit mathematischen Mitteln die Leistung eines Rechnersystems zu beschreiben, zum anderen kann die Leistungsvorhersage unter Zuhilfenahme von Simulationswerkzeugen erfolgen.

Existiert im Gegensatz dazu ein reales Rechnersystem, können an diesem Messungen zur Bestimmung der Leistung erfolgen.

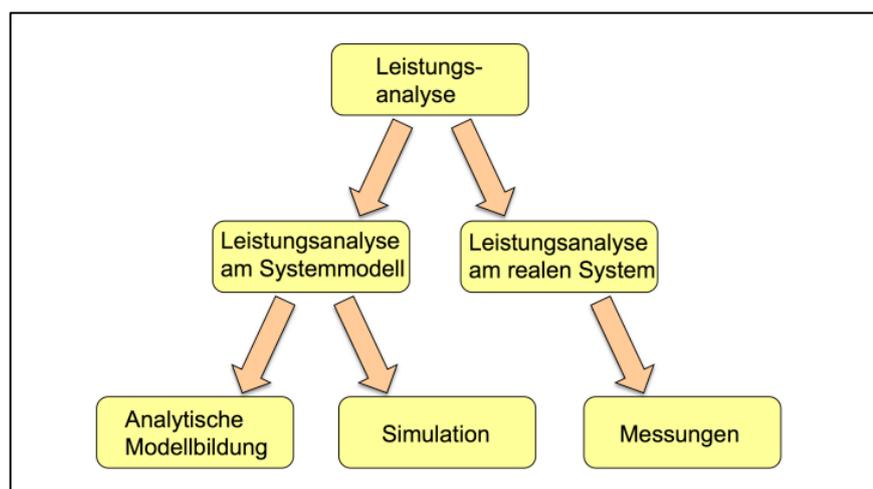


Abb. 3: Methoden der Leistungsanalyse (Daniel Versick, 2009)

¹⁰ Vgl. Raj Jain 1991, S. 51

3.1 Analytische Modelle

Bei den analytischen Modellen wird das Rechnersystem anhand von Gleichungen beschrieben. Problematisch dabei ist die Erstellung des Modells. Die zu untersuchenden Aspekte müssen herausgefunden und mitsamt der Umgebung korrekt modelliert werden. Da die analytische Modellierung häufig während der Entwicklung eingesetzt wird, beruht das Modell häufig auf Annahmen von der Leistung einzelner Komponenten. Sowohl als auch aufgrund des mathematischen Aufwands sind die Modelle daher auf die allernötigsten Eigenschaften reduziert. Bei umfangreicheren Modellierungsaufgaben gelangt die analytische Modellierung an ihre Grenzen.

Ein ganz entscheidender Pluspunkt des analytischen Modells ist die Bewertung. Besteht eine mathematische Darstellung des Rechnersystems, so lassen sich leicht optimale Werte für Parameter feststellen und das Modell lässt sich optimieren.

3.2 Simulation

Bevor eine Simulation ausgeführt werden kann, muss das zu bewertende Rechnersystem modelliert werden. Dazu wird das Rechnersystem abstrahiert. Das bedeutet, dass es auf die zu untersuchenden Faktoren beschränkt wird. Zu den Faktoren gehören die Struktur und das Verhalten, welche aber dem originalen Rechnersystem entspricht. Zu diesem Zweck wird im Regelfall eine zeitdiskrete, ereignisorientierte Simulation verwendet. Das Verfahren zeichnet sich dadurch aus, dass die Zeit stets durch neue Ereignisse voranschreitet. Ferner wird zwischen der *stochastischen Simulation* und der *deterministischen Simulation* unterschieden.

Bei der stochastischen Simulation werden Zufallszahlen verwendet, um die Dauer und den Zeitpunkt eines Ereignisses zu bestimmen. Die Last zur Ausführungszeit wird ebenfalls mithilfe eines Schätzwertes festgelegt. Das bedeutet wiederum, dass die Ereignisse, die während der Simulation auftreten, sorgfältig anhand der Anzahl an Simulationsdurchläufen und dem Auftreten des Ereignisses interpretiert werden müssen.

Die deterministische Simulation hingegen wird verwendet, wenn für ein Rechnersystem bereits Ergebnisse aus der analytischen Modellierung oder aus den Messungen am realen System vorliegen. Die Simulation wird dann mit diesen Ergebnissen ausgeführt. Anhand der Lastmodelle wird zwischen der Trace- und der Ausführungsgesteuerten Simulation unterschieden.

- Trace-gesteuerte Simulation:
Traces sind Protokolle von Anweisungen, die an ein Rechensystem gesendet wurden. Die Trace-gesteuerte Simulation ist aus diesem Grund sehr

realitätsnah, weil reale und nicht künstliche Anforderungen an ein Modell gestellt werden.

- **Ausführungsgesteuerte Simulation:**
Bei dieser Art von Simulation werden während der Durchführung zusätzliche Programme (meist Benchmarks) ausgeführt, die die Last realistisch darstellen. Der Vorteil dieser Methode liegt in ihrer Genauigkeit. Als Nachteil sind der hohe Modellierungsaufwand und die hohe Rechenzeit zu nennen.

3.3 Messung

Im Gegensatz zur analytischen Modellierung und der Simulation wird bei der Methode der Messung kein Modell benötigt, da die Messung am bereits vorhandenen Rechner-System erfolgt. Das Anwendungsgebiet bleibt jedoch die Bemessung der Leistung einzelner Komponenten oder des gesamten Rechnersystems. Die Messung wird untergliedert in die Bereiche Monitoring und Benchmarking.

- **Monitoring**
Beim Monitoring wird unter Zuhilfenahme von Hardware-, Software- oder Hybrid-Monitoren das Rechnersystem überwacht und Messwerte der zu untersuchenden Systemkomponenten aufgezeichnet. Die Überwachung dient dazu, das Verständnis des Rechnersystems zu vereinfachen. Ferner besteht durch die Überwachung die Möglichkeit Leistungsengpässe zu erkennen, damit Optimierungen vorgenommen werden können. Zusätzlich werden die Daten, wie beispielsweise Traces gesammelt, sodass bessere Parameter für die Modellierung zur Verfügung stehen.
- **Benchmarking**
Benchmarks sind Programme, die auf dem Rechnersystem ausgeführt werden, um die Vergleichswerte zu bestimmen. "Dabei wird nicht ausschließlich die Leistungsfähigkeit der Hardware, sondern vielmehr die des Gesamtsystems unter Einschluß insbesondere des Übersetzers und des Betriebssystems bestimmt."¹¹

3.3.1 Monitoring im Detail

Wie bereits zuvor erwähnt dient ein Messmonitor, im Folgenden nur noch Monitor genannt, zur Erfassung der Aktivitäten eines Rechnersystems. Folglich dient ein Monitor der Leistungsüberwachung, der Sammlung und der Analyse von

¹¹ Peter Rechenberg und Gustav Pomberger, Informatik-Handbuch S. 414

Leistungsdaten, sowie der Anzeige der Ergebnisse.¹² Die Gründe für den Einsatz von Monitoren variieren je nach Anwender. Um die Leistung einer Datenbank zu gewährleisten überwacht ein Systemadministrator die Lastverteilung der Festplatten. Ein Analyst wird überprüfen wollen, ob die modellierte Last der realen Last eines Rechnersystems entspricht. Ein Softwareentwickler wiederum kann einen Monitor verwenden, um sich über häufig verwendete Funktionen der Anwendung zu informieren, damit er diese effizienter gestalten kann.

Hinsichtlich des Aufgabenfelds wird klar, dass unterschiedliche Monitore Verwendung finden. Die Monitore werden nach Kriterien, wie dem Implementierungslevel, dem Trigger Mechanismus und der Art der Ergebnisanzeige unterschieden¹³. Werden die Monitore nach dem Implementierungslevel klassifiziert, so existieren Hardware-, Software- und Hybrid-Monitore für die Leistungsbeobachtung. Die Software-Monitore werden verwendet, um zum Beispiel das Betriebssystem, das Netzwerk und die Anwendungen, wie beispielsweise Datenbanken zu überwachen. Die Software Monitore sind in höheren Programmiersprachen verfasste Anwendungen. „Sie können alles aufzeichnen, was auf der Programmierenebene sichtbar ist, und liefern daher neben internen Leistungsgrößen auch benutzerrelevante Werte (z.B. Durchsatz und Antwortzeit).“¹⁴ Im Gegensatz dazu benötigt ein Hardware-Monitor zusätzliche Hardware, wie zum Beispiel Messsonden und Counter, um elektrische Signale des Rechnersystems zu erfassen. Üblicherweise wird mit Hardware-Monitoren die Ausführungszeit von Befehlen gemessen. Es kann aber auch die Anzahl an Speicherzugriffen gezählt werden. Bei der Verwendung eines Hybrid-Monitors kommt eine Mischung aus Hard- und Software-Monitor zum Einsatz.

Erfolgt eine Gruppierung anhand des Auslösungsmechanismus, wird zwischen Event-Driven und Sample-Driven entschieden. Ein Event-Driven Monitor wird nur beim Auftreten von ausgewählten Zustandsänderungen des Rechnersystems aktiv. Beim Sample-Driven Monitor erfolgt die Messung in festgelegten Zeitintervallen. Die Klassifizierung von Monitoren anhand der Art der Ergebnisdarstellung unterscheidet zwischen On-line- und Batch Monitoren. Ein On-line Monitor zeigt den Zustand des Rechnersystems in regelmäßigen Abständen. Der Batch-Monitor wiederum sammelt kontinuierlich Informationen, welche dann zu einem späteren Zeitpunkt mit Hilfe einer zusätzlichen Analysesoftware ausgewertet wird.

Zu Beachten ist bei allen Monitoren der sogenannte Overhead. Mit Overhead wird die Last bezeichnet, die ein Monitor während seiner Verwendung vom Rechnersystem zur Ausführung erzeugt. Somit kann er die Messung verfälschen. Mit Ausnahme der Hardware Messmonitore verursacht jede andere Art von Monitor einen Overhead.

¹² Vgl. Ludwig Frank 1996, S. 175

¹³ Vgl. Raj Jain 1991, S. 94

¹⁴ Ludwig Frank 1996, S. 175/176

4 Repräsentation

Der nächste Schritt der Leistungsanalyse, der nach der Durchführung ausgeführt wird, ist das Präsentieren der ausgewerteten Ergebnisse. Der Anlass der Repräsentation sind die in Kapitel 1.2 genannten Gründe für die Leistungsanalyse. Dabei zu beachten sind die unterschiedlichen Sichtweisen auf die Leistungsanalyse (Kapitel 2.1) und die damit verbundene Auswahl von Messwerten und Kennzahlen.

Die Repräsentation dient vornehmlich der Entscheidungshilfe.¹⁵ Zum Beispiel ob der Ausbau eines Rechenzentrums notwendig ist. Deshalb gilt Allgemein „An analysis whose results cannot be understood by the decision makers is as good as one that was never performed.“¹⁶ In Anbetracht dieser Aussage sollten die erhobenen Informationen des Rechnersystems umsichtig mit Hilfe von Grafiken veranschaulicht und erläutert werden. Die Darstellung sollte dabei übersichtlich, verständlich und interpretierbar sein. Die Erläuterungen müssen anhand der Grafik nachvollziehbar sein. Das ausschlaggebende Argument für eine Visualisierung der Informationen ist, dass ein Bild einprägsamer ist und der Leser Zeit spart, um die Informationen zu erfassen. Häufig verwendete Diagramme sind das Gantt-Diagramm, das Tortendiagramm und das Säulendiagramm. Anwendung finden aber auch das Kurvendiagramm und das Sequenz-Diagramm.

5 Resümee

Die Leistungsanalyse von Rechnersystemen existiert seit dem Beginn der Entwicklung der ersten Rechnersysteme. Am Anfang war es die Aufgabe der Leistungsanalyse den Fortschritt der Entwicklung zu beweisen. In der heutigen Zeit sind weitere Aufgabenbereiche hinzugekommen.

Abhängig vom Anwender erfüllt die Leistungsanalyse heute einen anderen Zweck. Die Hard- und Softwareentwickler überprüfen noch immer, ob die Hardware oder die Software eine Verbesserung gegenüber der vorherigen Entwicklung darstellt. Der Systemanalytiker sucht weiterhin nach Richtwerten, um Parameter für die Modellierung von Rechnersystemen zu spezifizieren oder diese zu validieren. Die Sichten des Systemadministrators und des Rechenzentrumsleiters sind im Vergleich zu den ersten Jahren der Rechnersystementwicklung neu. Deshalb dient die Leistungsanalyse heute nicht nur dem Nachweis der Leistung und dem Finden von Leistungsengpässen. Vielmehr dient die Leistungsanalyse zum Beispiel der Rechenzentrumsleistung dazu, den Nutzern des Rechenzentrums einen Support bereitzustellen. Ein Systemadministrator kann durch die Leistungsanalyse feststellen, ob die Mitarbeiter eines Unternehmens die Ressourcen der Rechnersysteme im Netzwerk unnötig überlasten. Die Leistungsanalyse dient dementsprechend noch

¹⁵ Vgl. Raj Jain 1991 S. 139

¹⁶ Raj Jain 1991 S. 139

immer zur Leistungsermittlung, jedoch werden die Ergebnisse abhängig vom Anwender, unterschiedlich interpretiert.

Die Leistung eines ganzen Rechnersystems ist nicht mehr gleichbedeutend mit der Leistung des Prozessors. Das Zusammenspiel der einzelnen Komponenten aus Hard- und Software erzeugt die Leistung. Aus diesem Grund sind die Anforderungen an eine Leistungsanalyse gestiegen. Sie erfolgt nach einem festgelegten Schema. Zunächst muss das Ziel festgelegt werden. Danach werden die Komponenten, die überwacht werden sollen bestimmt. Die Kennzahlen, die die Leistung wiedergeben, müssen ausgesucht werden. Als Bezug zum Anwendungskontext des Rechnersystems muss die Last für die Leistungsanalyse bestimmt werden, damit die Vergleichbarkeit der Ergebnisse gewahrt wird. Als nächstes wird die Methode des Analyseverfahrens ausgewählt. Daraufhin erfolgt die Ausführung der Leistungsanalyse und die Auswertung der Ergebnisse. Abschließend werden die gewonnenen Informationen als Entscheidungsgrundlage für zukünftige Entscheidungen verwendet. Die Leistungsanalyse erfordert demnach eine sorgfältige Ausführung, ansonsten wird das Ergebnis schon bei geringen Abweichungen verfälscht.

Trotz des großen Umfangs der Leistungsanalyse und dem damit verbundenen Zeitaufwand, ist eine Durchführung der Leistungsanalyse lohnenswert. Die Leistung von bestehenden Rechnersystemen wird verbessert. Des Weiteren werden mögliche Leistungsengpässe schon bei der Entwicklung entdeckt oder aber das am besten geeignete Rechnersystem für den Anwendungsbereich ermittelt. Die zahlreichen Möglichkeiten des Monitorings ermöglichen eine Leistungsanalyse in fast allen Situationen.

Literaturverzeichnis

- Raj Jain, The Art of Computer Systems Performance Analysis, John Wiley, New York, 1991, ISBN 0-471-50336-3
- Martin Haas und Werner Zorn, Methodische Leistungsanalyse von Rechensystemen, R. Oldenbourg Verlag München Wien, 1995, ISBN 3-486-20779-2
- Daniel Versick, Verfahren und Werkzeuge zur Leistungsmessung, analyse und -bewertung der Ein-/Ausgabeeinheiten von Rechensystemen, Logos Verlag Berlin GmbH, 2009 , ISBN 978-3-8325-2393-0
- Ludwig Frank, Planung und Betrieb von Rechensystemen, VDE Verlag GMBH Berlin,1996, ISBN 3-8007-2064-7
- Julian Kunkel, performance of parallel applications
- Peter Rechenberg und Gustav Pomberger, Informatik-Handbuch, Carl Hanser Verlag München Wien, 2002, ISBN 3-446-21842-4
- Hans Günther Kruse, Leistungsbewertung bei Computersystemen, Springer, 2009, ISBN 978-3-540-71053-0
- Evi Nemeth, Garth Snyder und Trent R. Hein, Linux-Adminstrationshandbuch, ADDISON-WESLEY, 2007, ISBN 978-3-8273-2532-7
- Performance Analysis of Computer Systems, Holger Brunst und Matthias S. Mueller
 - „Vorlesung_01" http://tu-dresden.de/die_tu_dresden/zentrale_einrichtungen/zih/lehre/ws1112/lars/vorlesungen/lars_lecture_01_introduction.pdf, 02.04.2012
 - „Vorlesung_02" http://tu-dresden.de/die_tu_dresden/zentrale_einrichtungen/zih/lehre/ws1112/lars/vorlesungen/lars_lecture_02_requirements-metrics-techniques.pdf, 02.04.2012
 - „Vorlesung_03" http://tu-dresden.de/die_tu_dresden/zentrale_einrichtungen/zih/lehre/ws1112/lars/vorlesungen/lars_lecture_03_workloads.pdf, 02.04.2012
 - „Vorlesung_05" http://tu-dresden.de/die_tu_dresden/zentrale_einrichtungen/zih/lehre/ws1112/lars/vorlesungen/lars_lecture_05_monitoring.pdf, 02.04.2012
 - „Vorlesung_07" http://tu-dresden.de/die_tu_dresden/zentrale_einrichtungen/zih/lehre/ws1112/lars/vorlesungen/lars_lecture_07_presentation.pdf, 02.04.2012
- Aufbau der Von-Neumann Architektur, Lukas Grossar, 2007
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/de/d/db/Von-Neumann_Architektur.svg