

Das IBM-Großrechner-Betriebssystem z/OS

Christian Stangl

Historische Entwicklung und Systemarchitektur

Im April 2004 hatte der Konzern IBM einen runden Geburtstag zu feiern: der universelle Großrechner wurde 40 Jahre alt. Am 7. April 1964 wurde das „System /360“ der Öffentlichkeit vorgestellt. Es war die erste Datenverarbeitungsanlage, die für alle Aufgabenstellungen, ob nun kaufmännischer oder mathematisch-wissenschaftlicher Art, gleichermaßen geeignet war. Wichtigster Leitgedanke war die strikte Aufwärts- und Abwärtskompatibilität der Systeme, um den Kunden einen Investitionsschutz zu bieten. Und tatsächlich sind Programme aus den 60er Jahren auch heute noch auf den modernsten Modellen der Systemfamilie lauffähig. – Auch das Bayerische Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung, damals noch das Bayerische Statistische Landesamt, setzte ab 1968 auf die neue Systemarchitektur. Heute sind die jüngsten Nachkommen des „System /360“ im Einsatz: ein Großrechner vom Typ „IBM eServer zSeries“ und sein Betriebssystem „z/OS“. – Dieser Beitrag beschreibt die historische Entwicklung der großrechnerbasierten Datenverarbeitung und gibt einen Überblick über die Systemarchitektur des im Landesamt eingesetzten Großrechners. Ein Portrait über den Aufbau und die Terminologie des Betriebssystems schließt sich im nächsten Heft „Bayern in Zahlen“ an. Falls nicht anders angegeben, wurden die im Literaturverzeichnis aufgeführten Quellen verwendet.

Definition der Begriffe „Großrechner“ und „Betriebssystem“

Unter einem *Großrechner (Mainframe)* versteht man eine komplexe Datenverarbeitungsanlage, die auf Zuverlässigkeit und hohen Datendurchsatz optimiert ist. Durch redundante Auslegung hochwertiger Hardware und andere Technologien wird eine fast hundertprozentige Ausfallsicherheit erreicht. Die wichtigsten Betriebsarten sind der *Dialogbetrieb*, die *Stapelverarbeitung* und der *Client-Server-Betrieb*. Beim *Dialogbetrieb (interaktive Verarbeitung)* wird zwischen dem *Teilnehmer-* und dem *Teilhaberbetrieb* unterschieden. Beim *Teilnehmerbetrieb (Time Sharing)* arbeiten mehrere Benutzer mit unterschiedlichen, voneinander unabhängigen Programmen und Daten. Jedem Anwender steht dabei ein Teil des Rechners (Rechenzeit, Speicherplatz, Peripherie) zur Verfügung. Beim *Teilhaberbetrieb* können mehrere Anwender gleichzeitig mit denselben Programmen und Dateien (Datenbanken) arbeiten. Ein typisches Beispiel hierfür ist ein zentrales Buchungssystem. Bei der interaktiven Verarbeitung fand die Kommunikation mit dem Rechner früher über Datensichtgeräte (*Terminals*) statt. In Zeiten des Personal Computers werden diese Datensichtgeräte durch *Terminal-Emulationen* simuliert. Mit der *Stapelverarbeitung (Batch-Betrieb)* können aufwändige Verarbeitungsläufe „im Hintergrund“ durchgeführt werden. Beim *Client-Server-Betrieb* ermöglichen zahlreiche *Server-Funktionen* auch anderen Computern, die Ressourcen des Mainframe (z.B. Dateien, Hochleistungsdrucker) zu verwenden. Im Gegenzug kann

der Mainframe mit einer Reihe von *Client-Funktionen* die Dienste anderer Server nutzen. Durch die Möglichkeit, einen Großrechner in logische Partitionen aufzuteilen und gleichzeitig mit mehreren Betriebssystemen (z.B. auch mit *Linux*) zu betreiben, eignet er sich zur Konsolidierung von Serverfarmen, was zur Einsparung von Strom, Platz und Administrationskosten führt.

Kostensenkung
durch Server-
konsolidierung

Ein *Betriebssystem (Operating System)* wird in DIN 44300 als „die Programme eines digitalen Rechensystems, die zusammen mit den Eigenschaften der Rechenanlage die Grundlage der möglichen Betriebsarten des digitalen Rechensystems bilden und die insbesondere die Abwicklung von Programmen steuern und überwachen“ definiert. Ein Betriebssystem ist also *Software*. Es steuert und überwacht die Ausführung der Anwendungsprogramme. Außerdem bietet es zahlreiche Dienste an, z.B. zur Speicherverwaltung und Datensicherung, zum Datenschutz, zur Anwendungsentwicklung, zu Datenfernverarbeitung, Kryptographie und Drucksteuerung.

Meilensteine auf dem Weg zum modernen Großrechnersystem

Die Wurzeln der heutigen Datenverarbeitung, und damit auch der modernen Großrechnersysteme, reichen bis ins Altertum zurück. Die Entwicklung der Zahlensysteme bis hin zur binären Arithmetik, mit der heute jeder Computerprozessor intern arbeitet, ist die erste Wurzel. Die zweite Wurzel stellen die Errungenschaften auf dem

Unterschiedliche
Betriebsarten

Gebiet des Rechnens mit mechanischen Hilfsmitteln dar. Die Idee der automatischen Steuerung, bei der eine Reihe von Vorgängen in vorbestimmter Folge selbsttätig abläuft, ist schließlich die dritte Wurzel. Durch unzählige größere und kleinere Erfindungen in all diesen Bereichen verschaffte sich die Menschheit die Grundlage, das zu erschaffen, was heutzutage von kaum einem Arbeitsplatz und Privathaushalt mehr wegzudenken ist – den Computer. Die nachfolgende Zeittafel stellt wichtige Meilensteine auf dem Weg zur Datenverarbeitung unserer Tage zusammen, ohne jedoch den Anspruch auf Vollständigkeit zu erheben. Sie spezialisiert sich in ihrem Verlauf immer mehr auf die Themen, die für das im Landesamt eingesetzte Großrechnersystem relevant sind.

3. Jahrtausend v. Chr. Erfindung des Stellenwert-Zahlensystems in Mesopotamien.
- Um 2700 v. Chr. Erfinder des ersten Rechenbretts (*Abakus*), und damit der ersten „Rechenmaschine“, ist ein Minister am Hof des chinesischen Kaisers *Huang Ti*.¹
- Um 2000 v. Chr. Im babylonischen Reich bauen die Sumerer die ersten Rechentabellen für die Grundrechenarten.¹
- 62 n. Chr. *Heron von Alexandria* konstruiert für einen Tempel einen automatischen Türöffner. Eine weitere Erfindung von ihm ist ein automatisch angetriebenes fahrbares Tempelchen, das eine vollständige Opferzeremonie vorführt. Die Bewegungen können, je nach Aufbringung eines Zugseils auf eine Walze, variabel „programmiert“ werden.
- 82 Auf der griechischen Ägäisinsel Rhodos bauen Mathematiker ein erstes mechanisches Rechenwerk – ein *Astrolabium* mit 32 Bronzerädern und verschiedenen Skalen für astronomische Berechnungen.¹
8. Jahrhundert In Indien wird die Zahl Null „erfunden“.
- Um 820 Der arabische Mathematiker *Abu Dscha'far Muhammed Ibn Musa Al-Chwarazmi* entwickelt ein Konzept, um ein Berechnungsergebnis durch die Abarbeitung einer festgelegten Anweisungsfolge zu ermitteln. Heute wird eine rechnerische Prozedur mit dem Begriff *Algorithmus*, der sich vom letzten Namensbestandteil des Mathematikers ableitet, bezeichnet.
- 1617 *John Napier* entwickelt eine logarithmische Rechentafel. Daraus entsteht die Idee des logarithmischen Rechenstabes, des *Rechenchiebers*, der dann um 1650 seine heutige Form erreicht. Außerdem entwickelt er Rechenstäbchen zur Nachbildung von Einmal-eins-Tafeln.

Die erste urkundlich nachweisbare Rechenmaschine der Welt ist 1623 die *Rechenuhr* des Tübinger Professors *Wilhelm Schickard*, eine „Maschine, welche gegebene Zahlen im Augenblick automatisch addiert, subtrahiert, multipliziert und dividiert“. Schickard verwendet Zählräder mit zehn Zähnen und einem Übertragungszahn für den selbsttätigen Zehnerübertrag.

Der große französische Mathematiker *Blaise Pascal* stellt in Paris 1642 seine Rechenmaschine vor, die allerdings nur addieren kann.

Gottfried Wilhelm Freiherr von Leibnitz konzipiert und baut die erste echte Vierspeziesrechenmaschine zur Durchführung aller vier Grundrechnungsarten. Die Multiplikation wird durch fortgesetzte und gezählte Addition erreicht. Dadurch wurde die Kombination von Napierschen Rechenstäbchen mit dem Zählrad von Schickard überflüssig. Zusätzlich erbringt er den Nachweis, dass jede Zahl in einem Dualsystem (binäre Arithmetik) dargestellt werden kann.

Die Probleme mit den Fertigungstoleranzen, die Schickard, Pascal 1727 und Leibnitz hatten, werden durch den österreichischen Mathematiker *Antonius Braun* überwunden.

Der französische Mechaniker *Falcon* baut eine Webstuhlsteuerung 1728 und verwendet hierbei Holzbrettchen, die an bestimmten Stellen Löcher zur Auslösung von Steuerfunktionen aufweisen.

Der schwäbische Pfarrer *Matthäus Hahn* beginnt mit der serienmäßigen Herstellung von Rechenmaschinen nach dem Vorbild der Braunschen Maschine. 1774

Joseph-Marie Jacquard verwendet zur Webstuhlsteuerung gelochte Pappkarten, die Vorläufer der Lochkarten. 1805

Charles Babbage entwirft das Konzept des ersten digitalen Rechenautomaten, seiner *Analytical Engine*. Wie so viele Programmierer heutzutage spart er leider bei der Dokumentation, und so finden seine Ideen keine Verbreitung. Das Konzept wird erst rund 100 Jahre später realisiert. 1833

Der erste Programmierer der Welt ist eine Frau: *Ada Augusta King*, 1842 die Gräfin von Lovelace. Die geniale englische Mathematikerin setzt sich zum Ziel, gemeinsam mit Babbage die *Analytical Engine* zur Funktionsreife zu bringen. Sie erfindet das Zählregister für iterative Abläufe, konzipiert binär-arithmetische Rechenverfahren und denkt

¹ Wer War Was zum ersten Mal? 2004 Kalender, Harenberg Verlag, Dortmund

sich programmiertechnische Kniffe aus, um Formeln in einzelne Funktionsschritte umzusetzen. Die Feinmechanik ist allerdings noch nicht weit genug, um den Rechenautomat Realität werden zu lassen.²

In England wird das erste Patent für eine tastaturgesteuerte Addiermaschine erteilt. Die Geräte nehmen langsam die Form der heutigen Tischrechenmaschinen an.

Hermann Hollerith, Sohn deutscher Auswanderer und von Beruf Bergwerksingenieur, erfindet in den USA die elektromechanische Sortier- und Zählmaschine und benutzt erstmalig die Lochkarte als Informationsspeicher. Er ist somit der Begründer der maschinellen Datenverarbeitung. Die neue Technik besteht ihre Bewährungsprobe bei der amerikanischen Volkszählung im Jahr 1890 sowie bei der österreichischen Volkszählung im gleichen Jahr. Kaiser Franz Joseph I. besichtigt 1891 persönlich die neue Rechenanlage in Wien. „Er entfernte sich unter dem Ausdrucke der allerhöchsten Anerkennung für die bedeutenden Fortschritte, welche die amtliche Statistik in Bezug auf die Organisation wie auf die Technik des Verfahrens durch die Anwendung der Zählmaschine erfährt“ (Wiener Zeitung). Hollerith gründet eine Gesellschaft, aus der später, nach der Fusion mit anderen Gesellschaften, das Unternehmen *International Business Machines (IBM)* entsteht.

Zusätzlich zur 45-spaltigen Lochkarte mit runden Löchern wird die 80-spaltige Lochkarte mit eckigen Löchern eingeführt. Sie findet bis in die 80er Jahre Verwendung.³

Wissenschaftler in Deutschland und den USA erkennen, dass die Zeit jetzt reif für den digitalen Rechenautomaten ist. Jeder von ihnen muss die Rechnerstruktur neu erfinden, da ihnen das Werk von *Babbage* nicht bekannt ist.

Der Deutsche *Konrad Zuse* stellt den ersten programmgesteuerten Rechenautomat der Welt, die Z3, fertig. Rechen- und Speicherwerk sind aus insgesamt ca. 2 600 Fernmelderelais aufgebaut. Zahlenwerte werden über eine Tastatur eingegeben, die Ausgabe erfolgt über ein Lampenfeld. Das Rechenprogramm wird in einen Kinofilmstreifen gelocht. Für eine Multiplikation benötigt der Rechner 4-5 Sekunden.

An der Harvard University wird der erste amerikanische Rechenautomat in Betrieb genommen. Der *Harvard Mark I*, entworfen und gebaut vom Wissenschaftler *Howard H. Aiken*, ist eine riesige Maschine mit etwa 750 000 Einzelteilen, 3 000 Kugellagern und 80 Kilometer Leitungsdraht. Der auch als *IBM Automatic Sequence*

Control Calculator (ASCC) bekannte Rechner leitet eine Entwicklung ein, die den USA eine führende Stellung auf dem Gebiet der Datenverarbeitung verschafft. Die Programme sind auf Lochstreifen gespeichert, und durch die Verwendung von Endlosstreifen wird die Wiederholung von Unterprogrammen möglich. Ein Multiplikationsvorgang dauert etwa 6 Sekunden.

Am 9. September um 15.45 Uhr wird ein Relais des *Harvard Mark II* durch eine Motte blockiert. Die Mitarbeiterin *Grace Hopper* klebt die Motte in das Logbuch und notiert: „First actual case of bug being found“. Anschließend wird vermerkt, dass die Maschine erfolgreich „debugged“ (entwanzt) wurde. Der Begriff *Debugging* für die Bereinigung von Programmfehlern ist geboren. Übrigens: die Original-Motte ist mittlerweile im National Museum of American History in Washington D.C. ausgestellt.⁴ 1945

Konrad Zuse entwickelt die erste universelle Programmiersprache der Welt und nennt sie *Plankalkül*.⁵

Die beiden US-Amerikaner *John P. Eckert* und *John W. Mauchly* entwickeln den ersten elektronischen Digitalrechner *ENIAC (Electronical Numerical Integrator and Computer)*. Er ist mit 18 000 Elektronenröhren und 1 500 Relais bestückt und benötigt bei einem Gewicht von 30 t eine Stellfläche von 140 m². Mit einer Grundtaktung von 10 kHz wird eine Multiplikation in 2,8 Millisekunden durchgeführt. Damit erreicht der Großrechner die etwa 2 000fache Rechenleistung seiner Vorgänger. Die Programmierung erfolgt über eine Unzahl von Schaltschnüren, Steckern und Schaltern. Bedingte Befehle und Rückwärtsverzweigungen sind nicht möglich.¹ 1946

Aufgrund der Unzulänglichkeiten der externen Programmsteuerung mittels Lochstreifen und Schalttafeln formuliert *John v. Neumann* schon bald die Idee, neben den Zahlenwerten auch das Programm rechnerintern zu speichern. Außerdem empfiehlt er wie *Konrad Zuse* die Verwendung des dualen Zahlensystems. Durch bedingte Verzweigungsbefehle soll der Rechenautomat in der Lage sein, selbsttätig logische Entscheidungen über Änderungen des Programmablaufs zu treffen.

William Shockley, *John Bardeen* und *Walter Brattain* erfinden den Transistor, der später den Computer revolutioniert und eine Aus- 1947

1 Wer War Was zum ersten Mal? 2004 Kalender, Harenberg Verlag, Dortmund

2 Fachhochschule Worms (<http://www.fh-worms.de>)

3 IBM Deutschland (<http://www-5.ibm.com/de/ibm/unternehmen/chronik/>)

4 Naval Historical Center (<http://www.history.navy.mil>)

5 Technische Universität Berlin (<http://inf.cs.tu-berlin.de/~zuse/history/Programmiersprachen.html>)

fallsicherheit ermöglicht, die mit Elektronenröhren nicht erreichbar ist.

- 1948 Wenn man die von John von Neumann formulierte Architektur des rechnerinternen gespeicherten Programms als eine der grundlegenden Eigenschaften eines „Computers“ betrachtet, so ist der *IBM Selective Sequence Electronic Calculator (SSEC)* der erste Computer der Welt. Er wird am 24. Januar in Betrieb genommen und kann Befehle sowohl von einem Lochstreifen als auch von seinem kleinen Relaispeicher abarbeiten.⁶

Bald darauf, am 21. Juni, nimmt in Manchester der erste ausschließlich speicherprogrammierte Computer seinen Betrieb auf. Er trägt den Namen *Small Scale Experimental Machine*, wird aber bald nur noch mit „Baby“ bezeichnet.⁷

Die Fähigkeit des speicherprogrammierten Computers, logische Entscheidungen zu treffen und sein Programm selbsttätig zu modifizieren, führt in Verbindung mit den Geschwindigkeiten elektronischer Schaltkreise und der großen Kapazität magnetischer Speichermedien zu einer bisher nicht dagewesenen Leistungsfähigkeit, die die Wende in Richtung auf ein „Informationszeitalter“ einläutet.

Auch wenn der *SSEC*, wie der *ENIAC*, noch ein Einzelstück ist, beginnt die amerikanische Industrie schon bald mit der serienmäßigen Herstellung von Datenverarbeitungsanlagen. Diese werden nicht mehr ausschließlich für Berechnungen, sondern beispielsweise auch zur Textverarbeitung verwendet.

Die kommerzielle Nutzung der Computer beginnt mit der *IBM 604*. Das Programm mit maximal 70 Verarbeitungsschritten wird bei diesem Rechner noch extern auf einer Schalttafel gesteckt. Über 5 600 Geräte werden davon installiert, nachdem ursprünglich nur ein Bedarf von 75 Exemplaren erwartet wurde. Im Jahr 1975, also 27 Jahre nach der Auslieferung, sind davon immer noch 434 Maschinen in Betrieb.

- 1951 Der erste in Serie gebaute Großrechner wird ausgeliefert: der *Universal Automatic Computer I (UNIVAC I)* der Computerfirma *Remington Rand*.⁸
- 1952 *Grace Hopper* beschreibt das Konzept des *Compilers*, mit dem höhere Programmiersprachen in Maschinenbefehle umgesetzt und mit vorgefertigten Standardroutinen kombiniert werden können.
- 1953 Die Firma *IBM* liefert das erste Modell ihrer 700er-Serie aus, die den Großrechnermarkt das nächste Jahrzehnt dominiert und *IBM* den ersten Platz unter den Computerherstellern einbringt.

Auf Initiative von *John Backus* entwickelt *IBM* die erste maschinenunabhängige, problemorientierte Programmiersprache *FORTRAN (FORMula TRANslation)*, die sich besonders zur Lösung von mathematisch-wissenschaftlichen Aufgabenstellungen eignet.

Der *IBM 704* ist der erste kommerzielle Großrechner, der mit Gleitkommaarithmetik arbeitet.

Die frühen Computer hatten nur einen kleinen internen Arbeitsspeicher und eine langsame Speicherperipherie, für die in erster Linie Magnetbänder und Lochkarten verwendet wurden. Beim internen Arbeitsspeicher geht nun die Entwicklung hin zum Magnetkernspeicher. Der *IBM 305 RAMAC* verfügt als erster Computer über einen Magnetplattenturm mit beweglichen Schreib- und Leseköpfen als externen Speicher. Damit wird neben der sequentiellen Verarbeitung auch der Datendirektzugriff möglich.³

Weltweit arbeiten rund 1 300 Computer.⁴

Es erscheint die erste Version der Programmiersprache *ALGOL (ALGOritmic Language)*, aus der sich später unter anderem die Programmiersprachen *PL/I*, *C* und *Java* entwickeln.⁵

IBM kündigt einen Computer an, der auch für mittlere Unternehmen erschwinglich ist. Die *IBM 1401* wird zur erfolgreichsten Datenverarbeitungsanlage ihrer Zeit, ihr Arbeitsspeicher hat eine Kapazität von bis zu 16 KB. Es können bis zu sechs Magnetbandstationen angeschlossen werden, aber auch ein reiner Lochkartenbetrieb ist möglich.

Das Ende der ersten Computergeneration mit ihren Relais und Elektronenröhren kündigt sich an, der Weg wird frei für die, auf Basis der Transistor-Technik gebaute, zweite Computergeneration.

Mit *COBOL (COmmon Business Oriented Language)* wird die klassische Programmiersprache für kommerzielle Anwendungen entwickelt.⁵

Die *Fairchild Corporation* beginnt mit der Auslieferung der ersten integrierten Schaltkreise auf Silizium-Basis („Microchips“). Erfunden wurden diese von *Robert Noyce*, dem späteren Mitbegründer der Firma *Intel*.

3 IBM Deutschland (<http://www-5.ibm.com/de/ibm/unternehmen/chronik/>)

5 Technische Universität Berlin (<http://irt.cs.tu-berlin.de/~zuse/history/Programmiersprachen.html>)

6 Columbia University, New York City (<http://www.columbia.edu/acis/history/ssec.html>)

7 University of Manchester, Großbritannien (http://www.computer50.org/mark1/new_baby.html)

8 HostHelp.de (<http://hosthelp.de/History/zOS-History/zos-history.html>)

Professor *Fernando Corbató* vom *Massachusetts Institute of Technology (MIT)* entwickelt für die *IBM 7094* das *Compatible Time Sharing System (CTSS)*. Ein „Time Sharing System“ ermöglicht es, von mehreren Datensichtgeräten (Terminals) unabhängig voneinander Aufgaben abwickeln zu können. Dabei bekommt jeder Teilnehmer einen bestimmten Anteil der Gesamtrechnerleistung zugewiesen. In der Folge wird im Rahmen des Projekts „Multiple Access Computers (MAC)“, an dem unter anderem die *Bell Telephone Laboratories* beteiligt sind, mit der Entwicklung des Betriebssystems *Multics* begonnen.⁹

Die Zahl der weltweit eingesetzten Computer steigt auf ca. 7 300.⁸

1962 An der *University of Manchester* wird erstmals das Konzept des virtuellen Arbeitsspeichers realisiert.

1963 Weltweit sind bereits rund 16 500 Computer installiert. Die meisten Rechenanlagen werden für eine bestimmte Anwendung zusammengestellt, universell einsetzbare Computer gibt es so gut wie gar nicht. Die Hersteller bauen individuelle Geräte, abhängig davon, ob diese für mathematisch-wissenschaftliche oder kaufmännische Zwecke benötigt werden.⁸

1964 Am 7. April kündigt *IBM* das *System /360* an, eine Architektur für kompatible Computer unterschiedlicher Leistung. *Gene Amdahl*, *Gerry Blaauw* und *Fred Brooks* hatten sich die neue Rechnerarchitektur ausgedacht und *Bob Evans* leitete bei *IBM* das Team, welches das Konzept in die Praxis umsetzte. Das Ereignis markiert das Ende der Pionierzeit der elektronischen Datenverarbeitung. Bisher war jedes System eine Neuschöpfung gewesen, mit eigener Hardwarestruktur, Software und Speicherperipherie. Allein *IBM* hatte mehrere unterschiedliche Produktlinien gepflegt, und bei jedem Systemwechsel mussten die Anwendungen neu programmiert werden. Nun soll dieser Wildwuchs ein Ende haben. Das *System /360* erhebt den Anspruch, alle nur denkbaren Aufgaben mit einer einzigen Rechnerarchitektur zu lösen. Die Zahl 360 im Namen steht für die 360 Winkelgrade des vollen Kreises und soll die Universalität des Systems symbolisieren. Als Betriebssystem kommt vorerst das *DOS/360 (Disk Operating System/360)* oder das *TOS/360 (Tape Operating System/360)* zum Einsatz, abhängig davon, ob der Rechner über Magnetplatten oder nur über Magnetbandgeräte verfügt.

Und noch eine Neuerung kommt mit dem *System /360*: alle binären Speicherstellen (*Bits*) werden in Achtergruppen zusammengefasst – es ist die Geburtsstunde des *Byte*. Der so strukturierte Prozessor und Speicher eignet sich gleichermaßen für Zeichenverarbeitung, Dezimalarithmetik, Binär- und Gleitkommaechnen.^{3,10}

IBM beginnt mit der Auslieferung des Betriebssystems *OS/360 (Operating System/360)*. Es ist auf das *System /360* zugeschnitten, besitzt Stapelverarbeitungsfähigkeit und setzt den Magnetplattenbetrieb voraus. Es erscheint in drei Versionen. Das sehr einfache *OS/360-PCP (Primary Control Program)* kann nur ein Programm zu einer Zeit ausführen und findet außerhalb der *IBM* kaum Verwendung. Beim *OS/360-MFT (Multiprogramming with a Fixed number of Tasks)* kann der Arbeitsspeicher in Partitionen aufgeteilt werden, in denen dann jeweils ein Programm ablaufen kann. Eine dynamische Konfigurationsänderung ist ohne einen Neustart des Rechners jedoch nicht möglich. *OS/360-MVT (Multiprogramming with a Variable number of Tasks)* schließlich erlaubt die gleichzeitige Ausführung einer variablen Anzahl von Anwendungen bei dynamischer Nutzung des Speichers.

Im Auftrag des US-Verteidigungsministeriums beginnt der Aufbau des *ARPAnet*, aus dem sich später das *Internet* entwickelt. Ziel des Netzwerkes ist es, die Interoperabilität zwischen unterschiedlichen Computerausrüstungen herzustellen.¹¹

Frustriert durch die andauernden Misserfolge ziehen sich die *Bell Telephone Laboratories* von der Entwicklung des Betriebssystems *Multics* zurück. *Dennis Ritchie* und *Ken Thompson* beginnen die Arbeiten an einem eigenen Betriebssystem. Da es für einen einzelnen Benutzer konzipiert ist nennen sie es *UNIX*, in Anspielung auf das Mehrplatzsystems *Multics*.¹²

IBM bringt die Nachfolgeserie ihres *System /360* auf den Markt. Da die 70er-Jahre begonnen haben, wird es *System /370* genannt.

Mit der Realisierung des virtuellen Arbeitsspeicherkonzepts wird für das *System /370* das Betriebssystem *OS/VS1 (Operating System / Virtual Storage 1)* als Nachfolger von *OS/360-MFT* ausgeliefert. Als Nachfolger von *OS/360-MVT* ist das Betriebssystem *OS/VS2* erhältlich. Beide bieten Unterstützung für einen einzelnen virtuellen Adressraum (*Single Virtual Storage, SVS*), der aufgrund der 24-Bit-Adressierung bis zu 16 MB groß sein kann. Online-Anwendungen basieren typischerweise auf der neuen Datensichtstation *IBM 3270* und auf der Softwarekomponente *Time Sharing Option (TSO)*.

Als Weiterentwicklung von *OS/VS2* erscheint das Betriebssystem *MVS/370 (Multiple Virtual Storage /370)*, welches eine Vielzahl von virtuellen Adressräumen mit jeweils bis zu 16 MB ermöglicht.

3 IBM Deutschland (<http://www-5.ibm.com/de/ibm/unternehmen/chronik/>)

8 Hosthelp.de (<http://hosthelp.de/History/zOS-History/zos-history.html>)

9 Multics Home Page (<http://www.multicians.org/history.html>)

10 Die Zeit (<http://www.zeit.de>)

11 Taylor, Ed: TCP/IP ohne Geheimnis, Heise, Hannover, 1994

12 Bell Laboratories (<http://cm.bell-labs.com/cm/cs/who/dmr/hist.html>)

Zur Zugriffskontrolle ist das *Resource Access Control Facility (RACF)* erhältlich.

1975 Der Marktführer IBM konzentriert sich auf Großrechner für kaufmännische Anwendungen zur zuverlässigen Verarbeitung größter Datenmengen. Für wissenschaftliche Aufgabenstellungen, die höchste Rechenleistung benötigen, entwickelt *Seymour Cray* seinen ersten Supercomputer, den *Cray I*.

1981 Nachfolger des Betriebssystems *MVS/370* wird *MVS/XA (Multiple Virtual Storage / Extended Architecture)*. Durch die 31-Bit-Adressierung können die virtuellen Adressräume jetzt eine Größe von bis zu 2 GB annehmen, wobei auch ältere 24-Bit-Programme ohne Anpassung weiterhin lauffähig sind.

1985 Mit den Großrechnern *IBM ES/3090* wird eine neue Schicht in der Speicherhierarchie eingeführt: der *Expanded Storage*. Er wird zunächst zur schnellen Auslagerung inaktiver virtueller Speicherbereiche (*Paging*) verwendet. Mit dem *Processor Resource / System Manager (PR/SM)* kann der Prozessorkomplex logisch aufgeteilt werden: mehrere, auch unterschiedliche Betriebssysteme können in logischen Partitionen (*Logical Partitions, LPARs*) auf ein und derselben Datenverarbeitungsanlage parallel aktiv sein, als ob mehrere selbständige Rechner zur Verfügung stünden.

1988 Die dritte Version der MVS-Systemfamilie, das Betriebssystem *MVS/ESA (Multiple Virtual Storage / Enterprise Systems Architecture)*, führt den systemverwalteten Speicher (*System-Managed Storage, SMS*, auch *Storage Management Subsystem*) ein. Eine weitere Neuheit ist der *Hiperspace*, eine Technik, mit der Programme große Datenmengen im schnellen *Expanded Storage* zwischenspeichern können.

1990 Passend zum Beginn der 90er Jahre kündigt IBM ihr *System /390* mit der Rechnerfamilie *ES/9000 (Enterprise System/9000)* an. Periphere Hardware kann jetzt über ein optisches Kanalnetzwerk (*Enterprise System Connection, ESCON*) mit einer Datenübertragungsrate von bis zu 17 MB/s angeschlossen werden.¹³

1991 *Linus Torvalds* beginnt in Helsinki mit der Entwicklung des Betriebssystems *Linux*.

1993 Unter dem Namen *MVS OpenEdition* erhält das Betriebssystem *MVS/ESA* neben den klassischen Eigenschaften eines MVS-Systems zusätzlich die Funktionalität eines *UNIX*-Systems.

1994 In den neuen Großrechnern *IBM S/390 Parallel Enterprise Server* lösen luftgekühlte *CMOS*-Prozessoren (*Complementary Metal Oxide*

de Semiconductor) die wassergekühlten bipolaren Prozessoren ab. Trotz höherer Leistung benötigen diese weniger Strom und Platz. Mehrere *MVS/ESA*-Systeme lassen sich zu einem *Parallel Sysplex*-Verbund zusammenschließen (*Clustering*) und wirken nach außen wie ein einziger Rechner. Vorteile dieser Technik sind u.a. die Ausfallsicherheit, die dynamische Lastverteilung (*Workload Balancing*) und die gemeinsame Nutzung verteilter Magnetplattenbestände (*Shared DASD*). Mit dem *Open Systems Adapter (OSA)* kann die Verbindung zu einem lokalen Netzwerk (*Local Area Network, LAN*) auf der Basis von *TCP/IP* hergestellt werden.¹³

Mit der sechsten *MVS*-Version wird das Betriebssystem in *OS/390* umbenannt. 1996

IBM beginnt mit Versuchen, das Betriebssystem *Linux* auf dem *System /390* lauffähig zu machen. Bereits zwei Jahre später hat der Pinguin *Tux* seinen festen Platz im Großrechner erobert. Unter Verwaltung des Betriebssystems *z/VM (z/Virtual Machine)* können zahlreiche virtuelle *Linux*-Systeme auf einem einzigen Großrechner ihren Beitrag zur Serverkonsolidierung leisten. 1998

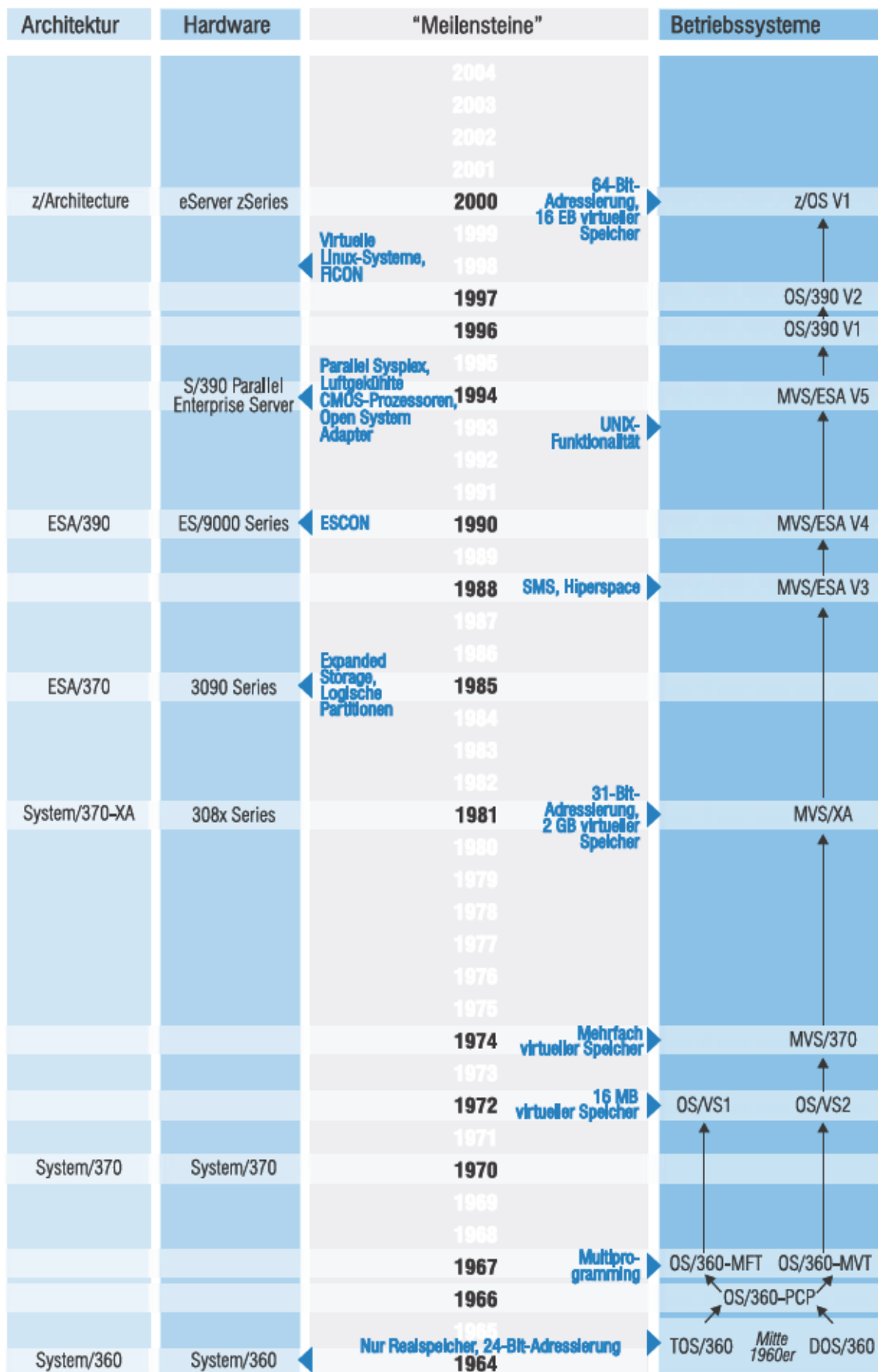
Die aktuellen Modelle des *System /390* erhalten die Bezeichnung *IBM S/390 Parallel Enterprise Server G5*. Sie verfügen über Spezialprozessoren zur Kryptographie (*CMOS Cryptographic Coprocessor* und *PCI Cryptographic Coprocessor*). Der *Open Systems Adapter-Express (OSA-Express)* ermöglicht den Anschluss an *Gigabit Ethernet*- und *Fast Ethernet*-Netzwerke, und mittels *Fibre Channel Connectivity (FICON)* sind Datenübertragungen zu peripheren Geräten mit 100 MB/s möglich.¹³

Das *Jahr-2000-Problem* beschäftigt die IT-Fachwelt. Vor einigen Jahrzehnten wäre es den Pionieren der Datenverarbeitung nie in den Sinn gekommen, angesichts der kleinen Speicherkapazitäten Jahreszahlen vierstellig abzuspeichern. Jetzt müssen zahllose System- und Anwendungsprogramme angepasst werden, damit es beim Übergang von „99“ auf „00“ zu keinen Programmabstürzen oder Fehlfunktionen kommt. 1999

Die Weiterentwicklung des *IBM System /390* erscheint unter der Bezeichnung *IBM eServer zSeries 900*. Eine entsprechende Namensanpassung erfährt auch das Betriebssystem: aus *OS/390* wird *z/OS*. Es ist die mittlerweile achte Version der *MVS*-Systeme. Das „z“ in den Namen steht für „zero down time“ und soll die Höchstverfügbarkeit symbolisieren, die durch redundante Auslegung hochwertigster Hardware in Kombination mit *Parallel Sysplex* 2000

¹³ IBM United States (<http://www-1.ibm.com/library/history/exhibits/>)

Entwicklung der IBM-Großrechnersysteme - 1964 bis 2004



erreicht wird. Die *z/Architecture* arbeitet nun mit der 64-Bit-Adressierung, was virtuelle Adressräume mit einer Größe von 16 EB (16 Exabyte = 17 179 869 184 GB) möglich macht. Für den *Linux*-Betrieb sind eigene Spezialprozessoren (*Integrated Facility for Linux, IFL*) vorhanden. Trotz aller technischen Veränderungen können ältere Programme mit 24- oder 31-Bit-Adressierung ohne Anpassung weiterverwendet werden.

2004 Das größte Modell der neuen *IBM eServer zSeries 990* verfügt über 32 Prozessoren und 256 GB Arbeitsspeicher. Das Herz des Computers ist das *Multichip Module (MCM)*. In einem Raum von 9,4 cm x 9,4 cm x 1,9 cm sind auf 101 Glaskeramiksichten über 3,2 Milliarden Transistoren untergebracht. Für *Java*-basierende Anwendungen wird ein weiterer Spezialprozessor eingeführt: der *zSeries Application Assist Processor (zAAP)*.¹³

Die Systemarchitektur

Die Hardware

Ein Großrechner der *IBM eServer zSeries* wird als *Central Processor Complex (CPC)* bezeichnet, wobei sich diese Bezeichnung auf den eigentlichen Rechner, nicht jedoch auf die angeschlossene Peripherie (z. B. Magnetplatten, Drucker) bezieht. Die Hauptelemente eines *CPC* sind die Prozessoren (*Processing Units, PUs*), der Hauptspeicher (*Central Storage*) und das Ein-/Ausgabe-Subsystem (*Channel Subsystem*).

Bei den Prozessoren wird unterschieden zwischen den allgemeinen Zentralprozessoren (*Central Processors, CPs*) und Spezialprozessoren, die die *CPs* in bestimmten Bereichen entlasten. Als Spezialprozessoren existieren derzeit

- die *Integrated Facilities for Linux (IFLs)*, auf denen die Betriebssysteme *Linux* und *z/VM* ausgeführt werden können,
- die *Internal Coupling Facilities (ICFs)*, auf denen nur *Coupling Facility Control Code (CFCC)* ablaufen kann, und die dem Zusammenschluss mehrerer *z/OS*-Systeme zu einem *Parallel Sysplex* dienen,
- die *zSeries Application Assist Processors (zAAPs)* zur Abwicklung *Java*-basierender Anwendungen,
- die *CMOS Cryptographic Coprocessors (CCFs)* und
- die *PCI Cryptographic Coprocessors (PCICCs)* für kryptographische Berechnungen und zur sicheren Speicherung der *Master Keys*, mit denen alle anderen Schlüssel und Zertifikate verschlüsselt sind, sowie
- die *System Assist Processors (SAPs)*, auf denen der *Microcode* des *Channel Subsystems* ausgeführt wird.

Ein Teil des Hauptspeichers, *Hardware System Area (HSA)* genannt,

wird für *Microcode* und Kontrollinformationen benötigt, der restliche Teil des Hauptspeichers heißt *Realspeicher (Real Storage)*. Er ist logisch in 4 KB große Bereiche, die *Frames* genannt werden, unterteilt. Programme und Daten müssen in den Realspeicher geladen werden, bevor sie der Rechner verarbeiten kann.

Der hohe Datendurchsatz der *zSeries* wird durch die Ein-/Ausgabe-Architektur erreicht. Sämtliche Ein-/Ausgabe-Operationen werden vom *Channel Subsystem* erledigt, die *CPs* sind von Ein-/Ausgabe-Aufgaben weitestgehend entlastet. Alle Ein-/Ausgabe-Geräte (*Devices*) werden über Steuereinheiten (*Control Units*) an das *Channel Subsystem* angeschlossen. Die Verbindung zwischen Steuereinheit und *Channel Subsystem* nennt man Kanalpfad (*Channel Path*) bzw. einfach Kanal (*Channel*). Die gängigsten Kanalarten sind *Enterprise System Connection (ESCON)* und *Fibre Channel Connectivity (FICON)*.

Der *Central Processor Complex* kann mit dem *Processor Resource/Systems Manager (PR/SM)* logisch aufgeteilt werden. In den *Logical Partitions (LPARs)* können unterschiedliche Betriebssysteme betrieben werden. Im Landesamt werden derzeit eine *LPAR* mit dem Betriebssystem *z/OS* und zwei *LPARs* mit dem Betriebssystem *z/VM* produktiv verwendet. Unter der Verwaltung der *z/VM*-Systeme laufen rund 20 virtuelle *Linux*-Server.

Die Steuerung des Mainframe durch den Operator erfolgt über die *Hardware Management Console (HMC)*, die über ein eigenes Netzwerk mit dem *Support Element (SE)* innerhalb des *CPC* verbunden ist.

Das Betriebssystem z/OS

z/OS ist die Weiterentwicklung des Betriebssystems *MVS*. *MVS* steht für *Multiple Virtual Storage* (mehrfach virtueller Speicher). Virtueller Speicher ist eine Illusion, die durch die Systemarchitektur geschaffen wird: der Rechner scheint über mehr Arbeitsspeicher zu verfügen, als es in Wirklichkeit der Fall ist. Erreicht wird dies dadurch, dass vom (virtuellen) Arbeitsspeicher, der in 4 KB große *Pages* unterteilt ist, nur die *Page* in einen freien *Frame* des Realspeichers geladen wird, die zur Verarbeitung durch den Prozessor gerade benötigt wird. Inaktive *Pages* werden vom Realspeicher auf einen Hilfsspeicher, üblicherweise Magnetplatten, ausgelagert. Dort werden diese Datenblöcke als *Slots* bezeichnet. Den Vorgang des Ein- und Auslagerns von Speicherseiten nennt man *Paging*. Der Anwender hat dabei den Eindruck, dass ihm die ganze Zeit ein großer zusammenhängender Speicherbereich (*Adressraum, Address space*) zur Verfügung steht. Jede Art von Arbeit, ob nun Online-

Hoher Datendurchsatz

Logische Partitionen

Speichervirtualisierung

Prozessoren für spezielle Anwendungen

13 IBM United States (<http://www-1.ibm.com/ibm/history/exhibits/>)

Anwender oder Stapelverarbeitungsauftrag, wird in einem eigenen virtuellen Adressraum ausgeführt.

Alle virtuellen Adressräume sind nach dem gleichen Schema aufgebaut (siehe Schaubild 2). Zwei imaginäre Linien teilen jeden Adressraum. Zum einen ist dies *The Line* an der 16 MB-Adressgrenze. Programme, die mit 24-Bit-Adressierung arbeiten, müssen unterhalb dieser Linie im virtuellen Adressraum residieren, da sie höhere Speicheradressen nicht ansprechen können. Die zweite Linie ist *The Bar* an der 2 GB-Adressgrenze. Bis zu dieser Linie können Programme mit 31- und 64-Bit-Adressierung geladen werden, oberhalb der 2 GB-Linie können nur Daten, aber keine Programme abgelegt werden. Um die Daten dort ansprechen zu können, muss ein Programm mit der 64-Bit-Adressierung arbeiten

In jedem virtuellen Adressraum wird ein Teil des Speichers durch Systembereiche belegt, die in allen Adressräumen den gleichen Inhalt haben. Diese Systembereiche werden deshalb *Common Area* genannt. Die restlichen Speicherbereiche haben in jedem Adressraum einen individuellen Inhalt und werden unter der Bezeichnung *Private Area* zusammengefasst. Jeder Bereich unterhalb der 16 MB-Adressgrenze hat, mit einer Ausnahme, einen Erweiterungsbereich oberhalb *The Line*, der den Namenszusatz *Extended* trägt.

Arbeitsspeicher
für das Betriebs-
system

Zur *Common Area* gehört die 8 KB große *Prefixed Storage Area (PSA)*, die Hardware-spezifische Steuerinformationen beinhaltet und bei Speicheradresse „0“ beginnt. Die *Common Service Area (CSA)* und die *Extended Common Service Area (ECSA)* sind Datenbereiche, die von allen aktiven virtuellen Adressräumen angesprochen werden können, was hauptsächlich zur Kommunikation zwischen unterschiedlichen Adressräumen verwendet wird. In der *Link Pack Area (LPA)* werden Programme bereitgestellt, die besonders häufig benötigt werden. So wäre es unter dem Aspekt der Performance alles andere als vorteilhaft, wenn z.B. Ein-/Ausgabe-Routinen bei jedem Aufruf erst

von einer Magnetplatte in den Arbeitsspeicher geladen werden müssten. Bei der *LPA* wird zwischen drei Unterarten unterschieden. Der Inhalt der *Pageable Link Pack Area (PLPA)* bzw. *Extended Pageable Link Pack Area (EPLPA)* unterliegt, wie der Name schon vermuten lässt, dem *Paging*. Vom *Paging* ausgenommen ist der Inhalt der *Fixed Link Pack Area (FLPA)* bzw. *Extended Fixed Link Pack Area (EFLPA)*. Die *Modified Link Pack Area (MLPA)* bzw. *Extended Modified Link Pack Area (EMLPA)* ist für Programme, die durch eine Softwarewartung verändert wurden und die noch nicht fest in das Betriebssystem übernommen werden sollen, vorgesehen. Die *System Queue Area (SQA)* und die *Extended System Queue Area (ESQA)* beinhaltet Datentabellen, die vom Betriebssystem zur Verwaltung der Konfiguration und Arbeitslast verwendet werden. Der *Nucleus* und der *Extended Nucleus* enthalten die Basisroutinen des Betriebssystems. Sie werden beim Systemstart (*Initial Program Load, IPL*) geladen und initialisiert.

Die *Private Area* besteht neben der *User Region* und *Extended User Region*, wo auszuführende Programme und deren Daten gespeichert werden, auch aus einigen Systembereichen. Diese Systembereiche haben in allen Adressräumen einen individuellen Inhalt und werden vom Betriebssystem zur Speicherung Adressraum-spezifischer Informationen verwendet. Die 16 KB große *System Region* ist einer dieser Bereiche. In der *Local System Queue Area (LSQA)* bzw. *Extended Local System Queue Area (ELSQA)* finden sich Tabellen zur Steuerung des Adressraums. Die *Scheduler Work Area (SWA)* bzw. *Extended Scheduler Work Area (ESWA)* beinhaltet Kontrollblöcke zur Verwaltung des Anwenderprogramms. In den *Subpools 229, 230 und 249* werden von besonders autorisierten Systemroutinen Kontrollinformationen abgelegt.

Arbeitsspeicher
für Programme
und Daten

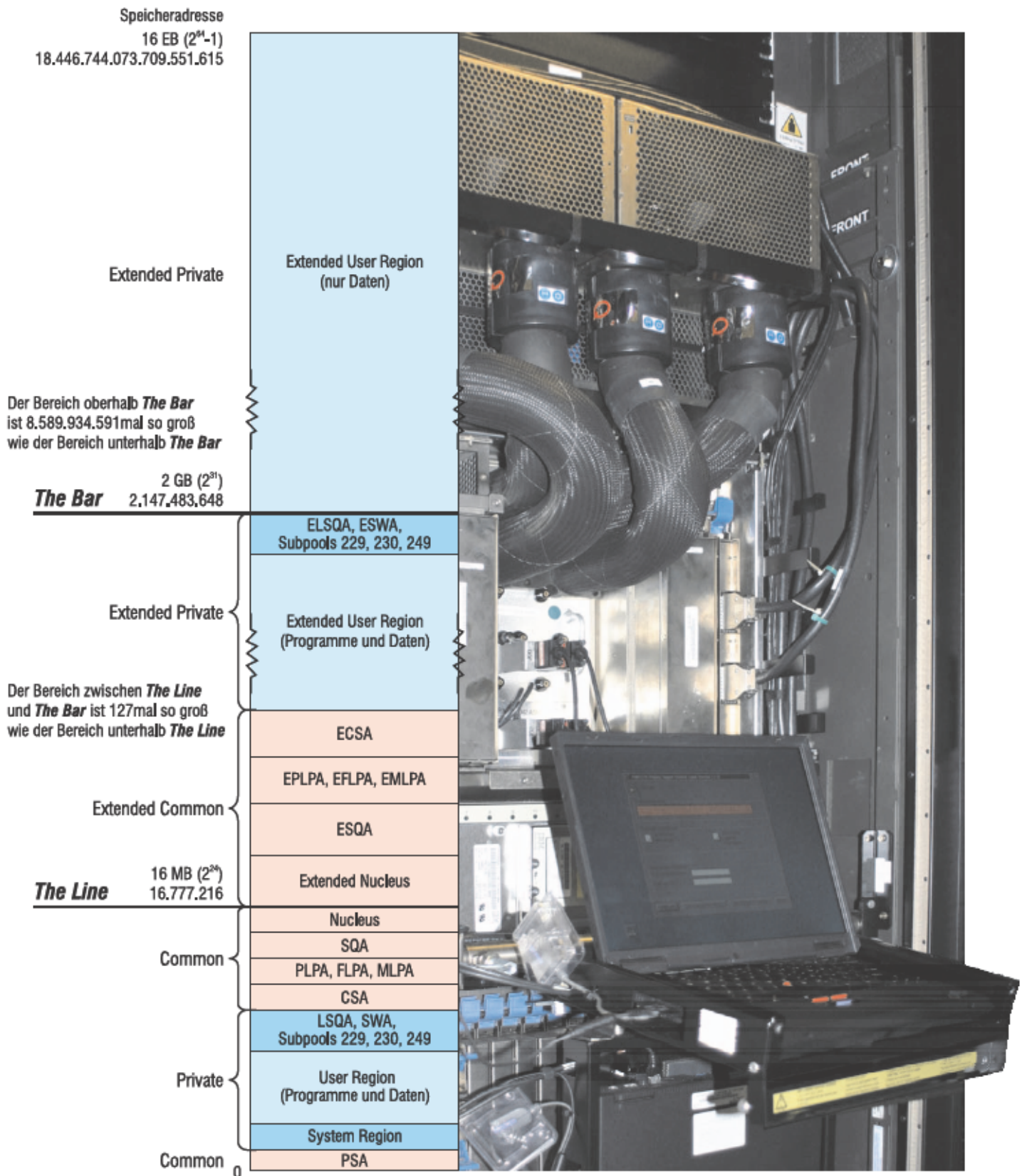
Nähere Informationen zu den Basiselementen und optionalen Zusatzkomponenten von *z/OS Version 1 Release 3*, wie sie auf dem Mainframe des Landesamts derzeit im Einsatz sind, enthält der zweite Teil des Aufsatzes im nächsten Heft „Bayern in Zahlen“.

Literatur

- Geschichte der Datenverarbeitung und der Großrechner:
Ganzhorn, K. / Walter W. [1976]: Die geschichtliche Entwicklung der Datenverarbeitung. IBM Deutschland GmbH, Stuttgart
„History of Computing“ (IEEE Computer Society):
<http://www.computer.org/history/development/index.html>
- Geschichte der IBM und ihrer Hard- und Software:
<http://www-1.ibm.com/ibm/history/>
- z/OS-Fachliteratur:
Herrmann P. / Kabschull U. / Spruth W. G. [2003]: Einführung in z/OS und OS/390. Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, München
Germain C. [1983]: Das Programmier-Handbuch der IBM-DV-Systeme, Carl Hanser Verlag, München, Wien
- Die komplette z/OS-Systemliteratur:
<http://www-1.ibm.com/servers/eserver/zseries/zos/bkserv/>

- Zum Thema Großrechner und Rechenzentrum im Landesamt sind folgende Publikationen erschienen:
Giehl, R. [1968]: „Die Entwicklung der statistischen Aufbereitungstechnik“, Zeitschrift des Bayerischen Statistischen Landesamts, 100. Jahrgang, Heft I
Giehl, R. [1970]: „Das Rechenzentrum des Bayerischen Statistischen Landesamts – 25 Jahre praktische Erfahrung in der maschinellen Datenverarbeitung“, Zeitschrift des Bayerischen Statistischen Landesamts, 102. Jahrgang, Heft I
Giehl, R. [1983]: „Abteilung Maschinelle Datenverarbeitung (Statistik) und mathematisch-statistische Methoden“, 160 Jahre Amtliche Statistik in Bayern von 1833 bis 1983, Sonderveröffentlichung des Bayerischen Landesamts für Statistik und Datenverarbeitung
Stangl, Chr. [2001]: „Datensicherung im Rechenzentrum“, Zeitschrift des Bayerischen Landesamts für Statistik und Datenverarbeitung, 132. Jahrgang, Heft 9
Stangl, Chr. [2002]: „Informationsverarbeitung (Statistik), Rechenzentrum“, Zeitschrift des Bayerischen Landesamts für Statistik und Datenverarbeitung, 133. Jahrgang, Heft 3

Aufbau eines virtuellen Adressraums unter z/OS



Glossar

ANSI	American National Standards Institute; US-amerikanisches Nationales Standardisierungsinstitut	Linux	Freies, UNIX-ähnliches Betriebssystem
CICS	Customer Information Control System; Transaktionsmonitor	LPD	Line Printer Daemon; Druckserver
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor; komplementärer Metalloxid-Halbleiter	LPAR	Logical Partition; dient der Aufteilung eines Großrechners in mehrere virtuelle Großrechner
CP	Central Processor; zentrale Verarbeitungseinheit (auch Central Processing Unit, CPU)	Mainframe	Großrechner
CPC	Central Processor Complex; Großrechner (ohne periphere Geräte)	MB	Megabyte; $2^{20} = 1\,048\,576$ Byte
DASD	Direct Access Storage Device; Magnetplatte	Microcode	Mikroprogramme zur Steuerung von Computerprozessoren
ENIAC	Electronical Numerical Integrator and Computer; erster elektronischer Digitalrechner aus dem Jahr 1946	MIPS	Misleading Indicator of Processor Speed
ESCON	Enterprise System Connection; Geräteanschlusstyp auf Glasfaserbasis	MVS	Multiple Virtual Storage
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers; US-amerikanisches Institut der Elektro- und Elektronik-Ingenieure	POSIX	Portable Operating System Interface; Schnittstellenstandard des IEEE für UNIX-Systeme
IMS	Information Management System; Datenbanksystem	Tux	Name des Pinguins, der das Maskottchen des Betriebssystems Linux ist
ISO	International Standards Organization; Internationale Standardisierungsorganisation	Unicode	Zeichencode, bei dem jedem Schriftzeichen aller Schriftkulturen ein eindeutiger Schlüssel zugewiesen wird. Dadurch soll der Konvertierungsaufwand beim Datenaustausch zwischen unterschiedlichen Computerplattformen vermieden werden.
Java	Eine von der Firma Sun Microsystems entwickelte Programmiersprache	UNIX	Ein ursprünglich von den Bell Laboratories entwickeltes Betriebssystem, das hauptsächlich in der Programmiersprache C geschrieben ist und mittlerweile auf fast alle Prozessortypen portiert wurde
JES2	Job Entry Subsystem 2	VPN	Virtual Private Network (virtuelles privates Netzwerk); Computernetz, das zum Transport privater Daten ein öffentliches Netzwerk nutzt
KB	Kilobyte; $2^{10} = 1\,024$ Byte	VTAM	Virtual Telecommunication Access Method
Kerberos	Name des vom Massachusetts Institute of Technology (MIT) entwickelten Authentifizierungsdienst und dem von diesem Dienst verwendeten Netzwerkprotokoll. Der Name stammt aus der griechischen Mythologie. Kerberos war ein dreiköpfiger Hund, der den Hades bewachte.	XML	Extensible Markup Language
		XPG4	X/Open Portability Guide Issue 4; Regelwerk des von 13 führenden Computerherstellern gegründeten X/Open-Konsortiums zur Standardisierung von UNIX-Systemen