

Von IBM zu IBM
4 Jahrzehnte Rechenzentrum
4 Jahrzehnte Großrechner-Entwicklung

Die Beschaffung des neuen IBM-Systems gibt Anlass, einen Blick zurück auf die Geschichte des RRZN und seines Vorläufers, des Hochschulrechenzentrums der vormals Technischen Hochschule Hannover zu werfen, die naturgemäß hochgradig geprägt wurde durch die Geschichte der Großrechner -Entwicklung. Diese Betrachtung kann natürlich keinen Anspruch auf Vollständigkeit erheben. Sie soll – als durchaus auch subjektiv gefärbter Blick eines Mitarbeiters, der seit 1960 „dabei“ ist – einige Stationen und Highlights aus einer insgesamt doch stürmischen Entwicklung aufzeigen.

Der Start mit einer IBM 650

Im Jahr 1957 wurde am Institut für Praktische Mathematik der damaligen Technischen Hochschule Hannover eine IBM 650, einer der ersten kommerziell verfügbaren „Großrechner“, installiert. Dieser Rechner war seinerzeit ein großer Fortschritt für die Hochschule, auch wenn man sich heute angesichts seiner Spezifikationen kaum noch vorzustellen vermag, was man überhaupt damit anfangen konnte:

- Elektronischer Rechner auf Röhrenbasis
- Arbeitsspeicher: Magnettrommelspeicher
- Kapazität: 2000 Zahlen à 10 Dezimalstellen
- Ein- und Ausgabe über Lochkarten
- Offline-Drucken der Ergebnisse aus den Lochkarten (rein numerisch)
- Betriebssystem: So gut wie keins!

Sowohl die Programmierung und auch die damals schon angebrachte Optimierung muten heutzutage geradezu archaisch an: Die Programmierung erfolgte in absolutem Maschinencode (kein Assembler)! Den Trommelspeicher mussten sich natürlich Instruktionen und Daten teilen. Zur Optimierung mussten die jeweils für den nächsten Schritt erforderlichen Informationen möglichst schnell greifbar sein (d. h. gerade vor den Köpfen der Trommel stehen). Daher sollte die jeweilige Operandenadresse drei Plätze nach der Instruktionsadresse liegen – in der Zeit war die Instruktion entschlüsselt und die Trommel hatte sich von der Instruktion zum Operanden gedreht. Entsprechend musste sich die Adresse der nächsten Instruktion einige Plätze weiter befinden – der genaue Wert war abhängig von der individuellen Instruktion. War die „Entfernung“ zu kurz gewählt, verpasste man die Information und musste wieder eine Trommelumdrehung warten... (Man stelle sich heute vergleichsweise einen Rechner vor, dessen einziger Speicher eine Platte ist und der über keinerlei Cache, keinerlei Interrupt, kein Instruction Prefetching, keine Branch Prediction etc. etc. verfügt!) So ergab sich ein über die Trommel verteiltes wildes Gemisch aus Instruktionen und Daten. Ein Programm verstehen zu wollen bedeutete immer wieder harte Analyse-Arbeit – selbst für den Autor. Aber das war Stand der Technik, als man sich noch etliche Jahre vor den Ansätzen zur Strukturierten Programmierung befand...

Da es praktisch kein Betriebssystem gab, konnten die Benutzer die Maschine nur in Blockzeit nutzen, wobei sie die Rechanlage unter Aufsicht des Personals selbst bedienen mussten.

Eine letzte Besonderheit sei erwähnt: Fortgeschrittene Benutzer konnten in die Hardware eingreifen. Es gab die sogenannte Schaltplatte, ein massives auswechselbares ca. 30 * 50 cm großes Steckerfeld mit mehreren hundert Steckplätzen, auf dem die interne Verschaltung der einzelnen Komponenten des Rechners über Steckverbindungen realisiert wurde. Neben der von IBM gelieferten Standardschaltung wurde am Rechenzentrum beispielsweise eine Schaltplatte zu optimierten Lösung linearer Gleichungssysteme entwickelt. Auch gab es eine Schaltplatte für eine erste symbolische Programmiersprache *Bell*. So wurde die Maschinen-

bedienung bei Nutzung spezieller Anwendungen um durchaus mechanische Schwerarbeit beim Auswechseln der Schaltplatten bereichert.

Alles in allem: Ein Start in der „Steinzeit“ der Datenverarbeitung, als Benutzer sich noch mit Dingen beschäftigen mussten, die heute allenfalls noch in Entwicklungslabors anfallen.

Natürlich ging die Entwicklung weiter, die Programmierung wurde durch Entwicklung von Programmiersprachen erleichtert (man konnte z. B. schon von FORTRAN II hören), und die IBM 650 sollte 1962 abgelöst werden von einer modernen IBM 7040 mit Satelliten-Rechner IBM 1401. Der Vertrag war bereits unterschrieben, als es zu tiefgreifenden Meinungsverschiedenheiten zwischen den Vertragsparteien über Fertigstellung, Lieferung und Unterstützung eines Algol-Compilers kam. Diesem Compiler kam seinerzeit insofern strategische Bedeutung zu, als sich die deutschen Hochschulen darauf geeinigt hatten, in erster Linie die Programmiersprache Algol zu lehren. Die Situation eskalierte zum vorläufigen Ende für IBM an der Technischen Universität Hannover: Die bestellten Systeme konnten zur Universität Göttingen umgeleitet werden. (Ironie am Rande: Die Algol-Zeit an den Hochschulen währte nicht lange. In relativ kurzer Zeit hatte sich an den meisten wissenschaftlichen Institutionen der eine oder andere FORTRAN-Dialekt als Hauptprogrammiersprache durchgesetzt)

Die CDC-Epoche (I): CDC 1604-A

Nach Hannover konnte 1963 kurzfristig eine CDC 1604-A geliefert werden, die 1965 durch einen „Satellitenrechner“ CDC 8090 ergänzt wurde. CDC war das Kürzel der jungen und (damals) noch kleinen amerikanischen Firma *Control Data Corporation*, die sich aus ehemaligen Mitarbeitern etablierten Firmen gebildet hatte, um ohne Rücksicht auf firmeninterne Bürokratie möglichst leistungsfähige Computer bauen zu können. Allen voran: Seymour Cray – dem bis in die 90er Jahre legendären Computer-Pionier. Das wussten wir damals natürlich noch nicht – aber es kamen die ersten „Cray-Geschichten“ auf, wie etwa die von den Konstruktionsplänen eines neuen Rechners, die Cray am Wochenende im Bett ersonnen haben soll, als er einmal krank war.

1965 wurde das Rechenzentrum aus dem Institut für Praktische Mathematik ausgegliedert und wurde zum Rechenzentrum der Technischen Universität.

Einige Spezifikationen der CDC 1604-A:

- Transistor-Rechner (diskrete Technologie)
- Taktzeit im Mikrosekunden-Bereich
- Magnetkernspeicher 32768 Wörtern á 48 Bits
- 8 Magnetbandlaufwerke
- Alphanumerische Ein-/Ausgabe über Lochkartenleser/Drucker an CDC 8090
- Betriebssystem zur sequentiellen Stapelverarbeitung

Einige Besonderheiten: Ein „Return Jump“ im Instruktionssatz unterstützte erstmals eine Unterprogrammtechnik. Interrupt-Technik ermöglichte erstmals eine Multiprogramming-Technik bei der Ansteuerung externer Geräte. Leider aber verfügte die 1604-A nicht über einen Speicherschutz-Mechanismus. Darum führten fehlerhafte Programme immer wieder zum Überschreiben des Betriebssystems und machten normalerweise mehrfach täglich Neustarts erforderlich. Da hiervon aber immer nur das aktuelle Programm betroffen war (das System kannte ja immer nur ein Programm, und eine Online-Datenhaltung gab es noch nicht), hielt sich der Schaden in Grenzen. Als Kuriosität sei noch erwähnt: Die 1604-A verfügte über einen Lautsprecher, der ständig mit dem Rechenwerk verbunden war. Durch geeignete Programmierung wurden Tonfolgen erzeugt, die den Operateuren bestimmte Betriebszustände akustisch signalisierten: beispielsweise, wenn Magnetbänder mit Benutzerdaten bereitgestellt werden sollten oder wenn die Maschine nichts mehr zu tun hatte, weil alle Jobs auf dem Eingabemagnetband abgearbeitet waren. Ansonsten

„murmelte“ die 1604-A bei ihrer Arbeit – je nach Art der Programme mit wechselnder Geräuschlage - ständig vor sich hin, und erfahrene Operateure konnten am Klang beurteilen, ob sie möglicherweise etwas Sinnvolles tat oder ob sie in eine Endlosschleife geraten war, was dann einen manuellen Jobabbruch nahelegte.

Auf dem Sektor der Programmierertechnik brachte die 1604-A einen wesentlichen Schritt in die Moderne: Mit einem FORTRAN-63- und einem ALGOL-60-Compiler konnten erstmals Programmiersprachen eingesetzt werden, was die Nutzbarkeit des Systems natürlich deutlich verbesserte.

Auch aus dieser Epoche sei etwas berichtet, was aus heutiger Sicht Sache eines Entwicklungslabors und nicht die eines Rechenzentrums wäre: Ab und zu lieferte der FORTRAN-63-Compiler nicht reproduzierbar völlig fehlerhafte Übersetzungen. Alle standardmäßigen Untersuchungen incl. Einschaltung des Herstellers führten zu keinem Ergebnis. Einzige Erklärung war schließlich ein sporadisch auftretender Hardwarefehler, der in Tests nicht erkannt wurde. Nach vielen Analyse-Arbeiten wurde eine Codefolge im Compiler gefunden, nach deren Durchlauf der Inhalt eines Speicherplatzes (eine Adresse) verändert war, ohne dass dieser angesprochen war. Mit diesem Ergebnis konnten die Techniker den Schaden reparieren - vorerst, denn nach einigen Monaten trat das gleiche Problem wieder auf. Es stellte sich heraus, dass "irgend etwas" den Speicherplatz immer wieder instabil machte – aber auch nur im Zusammenhang mit besagter Stelle im Compiler. Den Ausweg brachte ein damals neuartiger Ansatz: das ursächliche Problem muss nicht weiter stören, wenn es nach außen keine Wirkungen zeigt. Also wurde durch eine Modifikation im Compiler immer, wenn die Adresse falsch geworden wäre, die richtige Adresse eingesetzt, und alles war in Ordnung. Begegnung von Hardwareunzulänglichkeiten mit Softwarekorrekturen: heutzutage Standardtechnik auf den unteren Ebenen der Speicher- und Prozessor-Technologie.

Mit dem Einzug von CDC im Jahr 1963 begann die CDC-Epoche am Rechenzentrum, die schließlich bis 1994 reichte. Die CDC 1604-A selbst war bis 1973 im Einsatz. Seymour Cray hatte Mitte der 60er-Jahre die legendäre CDC 6600 kreiert, das erste System überhaupt mit getrennten Funktionseinheiten und 10 peripheren Prozessoren für die Systemsteuerung und Ein-/Ausgabe-Zwecke. Mit diesem System bewies er seinen Führungsanspruch bezüglich des schnellsten Rechners und war gleichzeitig IBM ein großer Dorn im Auge: Aus dieser Zeit wurden Reaktionen des IBM-Managements kolportiert, in denen man sich fragte, wieso eine kleine Firma mit 37 Mitarbeitern den schnellsten Rechner der Welt bauen kann, was einem selbst nicht mit Tausenden von Mitarbeitern gelang. Gründe für die Leistungsfähigkeit der CDC-Systeme lagen u. a. in der Ausrichtung auf den technisch/wissenschaftlichen Bereich (im kommerziellen Bereich hat CDC trotz späterer Bemühungen nie Fuß fassen können) und in der Architektur begründet, die Cray auch später in allen seinen weiteren Schöpfungen verfolgt hat: Entgegen dem allgemeinen Trend, der zu immer komplexeren Prozessorstrukturen führte, nahm er praktisch die RISC-Architektur vorweg – weswegen die CDC-Systeme von einem Konkurrenten etwas hilflos mit „schnell, aber doof“ belegt wurden.

Als die 1604-A schließlich abgelöst werden musste, warf IBM eine 360-85 und kurz danach eine 370-195 in den Ring. Seymour Cray hatte die CDC 6600 (Zykluszeit 100 nsec) inzwischen zur CDC 7600 (Zykluszeit 27,5 nsec, Primär- und Sekundärspeicher) weiterentwickelt, die zunächst preislich völlig unerreichbar war. Als Antwort auf IBMs größte und schnellste Maschine hat CDC dann einfach die Speichergößen der CDC 7600 halbiert: So wurde sie für uns erschwinglich und leistungstärkster Sieger für die anstehende Ablösung der CDC 1604-A.

Seymour Cray hatte CDC verlassen und seine eigene Firma gegründet. Die Control Data Corporation benannte sich in Control Data (CD) um, und ihre großen Systeme, die alle von der Architektur der CDC 6600/7600 abgeleitet waren, hießen nun CYBER.

Die CDC-Epoche (II): Die CYBER 76 mit Vorrechnern

Das lokale Rechenzentrum der Technischen Universität Hannover war inzwischen (1971) in das Regionale Rechenzentrum für Niedersachsen bzw. RRZN überführt worden. Aus Raumgründen wurde es aus dem Hauptgebäude in die Wunstorfer Str. 14 verlagert. Dort wurden dann 1973 eine CYBER 76 (vormals CDC 7600) zusammen mit zwei Vorrechnern CYBER 73 installiert.

Zu den Spezifikationen der CYBER 76:

- Prozessor mit 10 (12 ?) Funktionseinheiten
- Zykluszeit 27,5 nsec
- Primärspeicher: 32 K Wörter à 60 Bits
- Sekundärspeicher: 256 K Wörter à 60 Bits
- Peakleistung 36 Mips
- Erzielbar bei guter Fortran-Programmierung: 4 – 5 Mflops
- Plattenspeicher: 800 MByte (eine „unvorstellbar“ große Kapazität)

Gegenüber der abgelösten CDC 1604-A bedeutete diese Installation ein Leistungssprung um den Faktor ca. 50-60! Aber auch qualitativ wurde Neuland betreten: Mit dieser Konfiguration zog die Online-Datenhaltung ins RRZN ein, und ein Multiprogramming-Betriebssystem ließ einen Benutzer-Betrieb zu, der doch schon die Züge heutiger Prägung aufwies. Unseres Wissens weltweit erstmalig realisiert wurde die vollständige Ausrichtung der Gesamtkonfiguration auf Datenfernverarbeitung: Es gab keine Online-Lochkartenleser und keine Online-Drucker mehr, sondern ausschließlich „remote“ betriebene Datenstationen. Die Notwendigkeit, Rechenleistung am alten Ort im Hauptgebäude zugänglich zu machen, wurde damit zur Tugend. Zugleich wurde mit einem der beiden Vorrechner erstmals Dialog-Verarbeitung am RRZN realisiert. Insgesamt war dies die Geburtszeit des Kommunikationsnetzes der Universität Hannover.

Die CYBER 76 war weltweit über viele Jahre „das“ Arbeitspferd in vielen großen Einrichtungen der Forschung und Wissenschaft, und es dauerte verhältnismäßig lange, bis ihre auf ausgefeilter diskreter Schaltungstechnik basierende Geschwindigkeit durch hinreichend leistungsfähige integrierte Schaltkreise überboten werden konnte.

Unsere CYBER 76 wurde im Laufe der Jahre auf volle Speichergröße ausgebaut, die Vorrechner durch modernere Nachbauten ersetzt. Insgesamt war die CYBER 76 mehr als 13 Jahre lang bis 1986 in Betrieb – eine außergewöhnlich lange Zeit! Sie wurde noch einige Jahre im RRZN „aufgebahrt“ und hat 1998 sozusagen ihre letzte Ruhe im Heinz-Nixdorf-Museumsforum in Paderborn (HNF, <http://www.hnf.de>) gefunden.

Die CDC-Epoche (III): Die CYBER 180 - Systeme

Control Data waren die Zeichen der Zeit nicht verborgen geblieben: IBM hatte frühzeitig eine Byte-Struktur in seine Systeme gebracht und war mit der 360-Serie auf dem Weg zum Industrie-Standard. Auch Control Data hatte schon Jahre zuvor insgeheim mit der Entwicklung einer neuen Hard- und Software-Architektur begonnen, die nun zur Einsatzreife kam. Mit der CYBER 180-Serie und dem Betriebssystem NOS/VE kamen Hard- und Softwaresysteme auf den Markt, die vom ersten Entwicklungsschritt auf einander abgestimmt und – durchaus nicht marktüblich – durchgängig für einander konzipiert waren. Manche neutralen Kenner sagten, dass NOS/VE das beste und modernste Betriebssystem sei, das es bis dato gegeben hatte. Im RRZN wurden im Jahr 1986 als Ablösung der bisherigen CYBER-Systeme nun die leistungsfähigsten Systeme der CYBER 180-Serie (je ein Modell CYBER 180-990 mit 1 CPU und ein Modell 180-995 mit 2 CPUs) installiert.

Spezifikationen der CYBER 180-990:

- CPU mit integrierter Vektorverarbeitung

- 24 periphere Prozessoren
- Hauptspeicher 128 Mbyte
- Taktzeit 16 nsec
- Peak-Performance 62,5 Mflops

Der Leistungssprung zu dieser Konfiguration war nicht so beträchtlich wie bei der Vorgängerversion, doch zunächst wieder ausreichend. Neu war die Möglichkeit der Vektorverarbeitung. Die Entscheidung des RRZN für CYBER 180-990-Systeme und die positiven Betriebserfahrungen strahlten aus: Eine Reihe anderer Rechenzentren im Universitätsbereich, aber auch in der Industrie entschieden sich für die gleichen Systeme. Am RRZN waren die CYBER 180-Systeme bis 1994 im Einsatz.

In dieser Epoche fiel auch ein neuer Kontakt mit IBM, da der Eindruck bestand, man könne neueste IBM-Entwicklungen nicht außer Acht lassen. So wurde zusätzlich zu den CYBER-Anlagen eine IBM 4381 beschafft, die aber – außer für einige Spezialbenutzer – nicht besonders in Erscheinung getreten ist.

Der Übergang zur Unix-Ära

Schon gegen Ende der CYBER 76-Epoche hatte sich bereits abgezeichnet, dass leistungsfähige Unix-Workstations zunehmend Konkurrenz für große Zentralrechner wurden. So blieb es nicht aus, dass auch im RRZN die weiteren Planungen in Richtung Unix-Systeme liefen. Dieser Trend wurde auch dadurch beflügelt, dass Hersteller von Großrechnern (wie beispielsweise auch Cray) dazu übergingen, Unix-basierte Alternativen zu ihren angestammten Systemen zu entwickeln. Erste Ansätze von Parallelrechnern kamen auf, als die Leistung einzelner CPUs unter wirtschaftlichen und auch technischen Aspekten nicht mehr wesentlich gesteigert werden konnte. Deshalb ist die Zeit seither weniger durch einen Hersteller als vielmehr durch ein Betriebssystem, nämlich Unix, geprägt.

Der neue Top-Rechner am RRZN (der „Niedersächsische Vektorrechner“) sollte eine ETA 10 werden. Die ETA 10 war eine Weiterentwicklung der zuvor ebenfalls bei Control Data entwickelten CYBER 205, eines Hochleistungsvektorrechnersystems, das sich jedoch in Programmierung und Leistungsentfaltung häufig „spröde“ zeigte. Diese Weiterentwicklung wurde – wohl aufgrund der technischen und wirtschaftlichen Risiken - in eine eigene Firma namens ETA-Systems ausgelagert. Es waren Zykluszeiten von 5 nsec bei Betrieb in flüssigem Stickstoff geplant (luftgekühlte Exemplare mit 10 -12 nsec). Ein mit Control Data ausgehandelter Vertrag über ein ETA 10 Parallelrechnersystem stand 1989 unmittelbar vor der Unterschrift, als tags zuvor ETA die Einstellung seiner Aktivitäten bekannt gab. Vermutlich hat die japanische Konkurrenz, die inzwischen auch sehr leistungsfähige Rechner aufweisen konnte, zu dieser Entwicklung beigetragen. Dieser Schritt besiegelte zugleich das endgültige Ende der Control Data-Zeit am RRZN, denn nach Auslagerung der ETA-Entwicklung hatte Control Data praktisch keine eigene Großrechner-Entwicklung mehr vorangetrieben. Zugleich war – zumindest im Nachhinein betrachtet - spätestens das „Aus“ von ETA der Anfang vom Ende auch für Control Data selbst.

Als „Ersatz“ für die ETA 10 kam dann Firma Siemens mit Hochleistungsvektorrechnern von Fujitsu zum Zuge. Über mehrere Vorstufen wurde schließlich bis Ende 1991 ein System S400/40 (Zykluszeit 3,2 nsec, 4 CPUs, Peakleistung 5 Gflop) installiert. Diese Siemens-/Fujitsu-Systeme brachten zunächst „einen Hauch von IBM“ mit: Ihr Betriebssystem VSP/S war stark dem MVS-System von IBM nachempfunden und für RRZN-Mitarbeiter und RRZN-Benutzer gleichermaßen gewöhnungsbedürftig. Es konnte aber Ende 1992 durch UXP/M abgelöst werden, einer Fujitsu-eigenen Unix-Variante auf Basis System V Rel. 4 mit speziellen Funktionen zur Unterstützung der Vektorprozessoren.

Die Systeme CYBER 180-990/995, deren Aufgaben schließlich eine Unix-Cluster-Konfiguration aus Sun- und HP-Systemen übernehmen sollte, wurden noch bis 1994

betrieben. Mit ihrer Abschaltung war auch das Betriebssystem NOS/VE Vergangenheit – und von nun an war wirklich „alles in Unix“.

Die Neuzeit

Und damit kommen wir in die "Neuzeit": war früher ein Rechnerwechsel durchweg mit einem tiefgreifenden "Paradigmenwechsel" bei Hardware, Software, Systemunterstützung, Anwenderschulung und Dokumentation verbunden und mit entsprechend großen Anlaufzeiten bis zur effizienten Nutzung verbunden, hat sich die Nutzbarmachung heutiger Unix-basierter Systeme insgesamt deutlich vereinfacht. Sie haben zwar etliches von einem individuellen Charakter verloren und sind in diesem Kontext austauschbar geworden, jedoch war diese Entwicklung naturgemäß auch die Voraussetzung - ebenso wie eine Reihe anderer Standardisierungen im Bereich von Hardware, Schnittstellen und Protokollen - für die ständig zunehmende Vernetzung von Systemen und Dienste, was wiederum zu neuen Komplexitäten führte.

So kann der Rest kurz gefasst sein:

Mitte 1996 wurde die S400/40 aus wirtschaftlichen Gründen durch eine weitgehend kompatible VPP300 mit leicht verbesserten Spezifikationen ersetzt (Gesamtleistung ca. 8,8 Gflop). Jedoch war die Entwicklung von Vektorprozessoren und Vektorisierungstechniken weitgehend ausgereizt – weitere signifikante Leistungssteigerungen waren nur über Parallelverarbeitung inkl. der damit verbundenen Herausforderungen zu erreichen. So wurde Anfang 97 im RRZN eine kleine CRAY T3E mit zunächst 24 Prozessoren in Betrieb genommen, die u. a. zur Vorbereitung von Jobs diente, die im Rahmen des NVV („Norddeutscher Vektorrechnerverbund“) am ZIB in Berlin auf der großen CRAY T3D und später auf der CRAY T3E mit mehrere hundert Prozessoren verarbeitet werden sollten.

Und weiter ?

Mit der Installation des IBM-Systems wird das RRZN (bzw. das HLRN-System zusammen mit dem ZIB) für kurze Zeit in die Spitzengruppe der "TOP 500-Liste" der installierten Rechenleistung zurückkehren - eine Position, die das RRZN vorübergehend bei Installation der CYBER 76 (auch wenn es die Liste noch nicht gab) und später noch einmal bei der S400/40 innehatte. (Eine detaillierte Beschreibung des IBM-Systems und der HLRN-Konfiguration ist für die nächste BI vorgesehen.)

Natürlich sind Computer kein Selbstzweck, und so hoffen wir, dass es mit vereinten Anstrengungen seitens der Betreiber und der Benutzer gelingt, die Rechenleistung von 4 Teraflop des komplexen IBM/HLRN-Supercomputers (Faktor ca. 100.000 zur CYBER 76, ca. 1000 zur S400/40) für Fortschritte bei den großen wissenschaftlichen Herausforderungen unserer Zeit nutzbar zu machen und erkenntnisbringend einzusetzen.

Und zum Schluss dieses Streifzuges durch über 40 Jahre Rechenzentrumsgeschichte und (Super-) Computerentwicklung einige nicht unbedingt wörtlich zu nehmende Fragen, die jedoch den nach wie vor ungebremsten Drang zu (exponentieller?) Weiterentwicklung verdeutlichen: Leistung und Kapazität heutiger Taschencomputer übersteigen schon deutlich die der Supercomputer von vor ca. 25 Jahren. Wann wird man das heutige HLRN-System in die Tasche stecken können und zu welchen Zwecken wird es dann genutzt? Wie sehen dann die Supercomputer aus und wozu werden sie dann eingesetzt?...