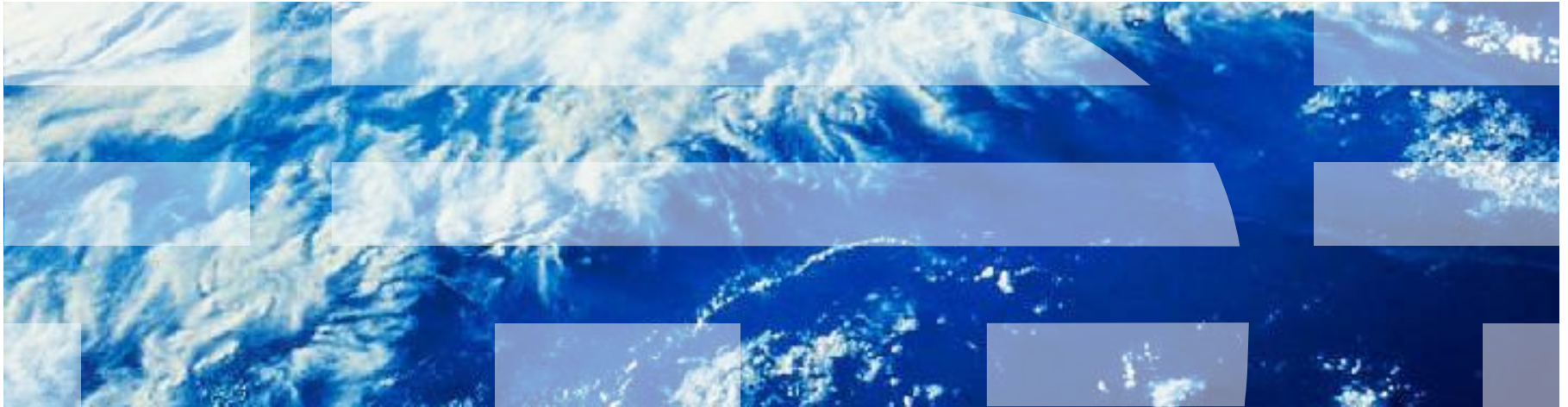


# IBM Storage

## Speichertechnologien, gestern, heute und morgen



# Agenda

**1 IBM Patente, IBM Storage Historie**

**2 Disk Technologien**

**3 Solid State Disks (SSD's)**

**4 Storage Class Memories**

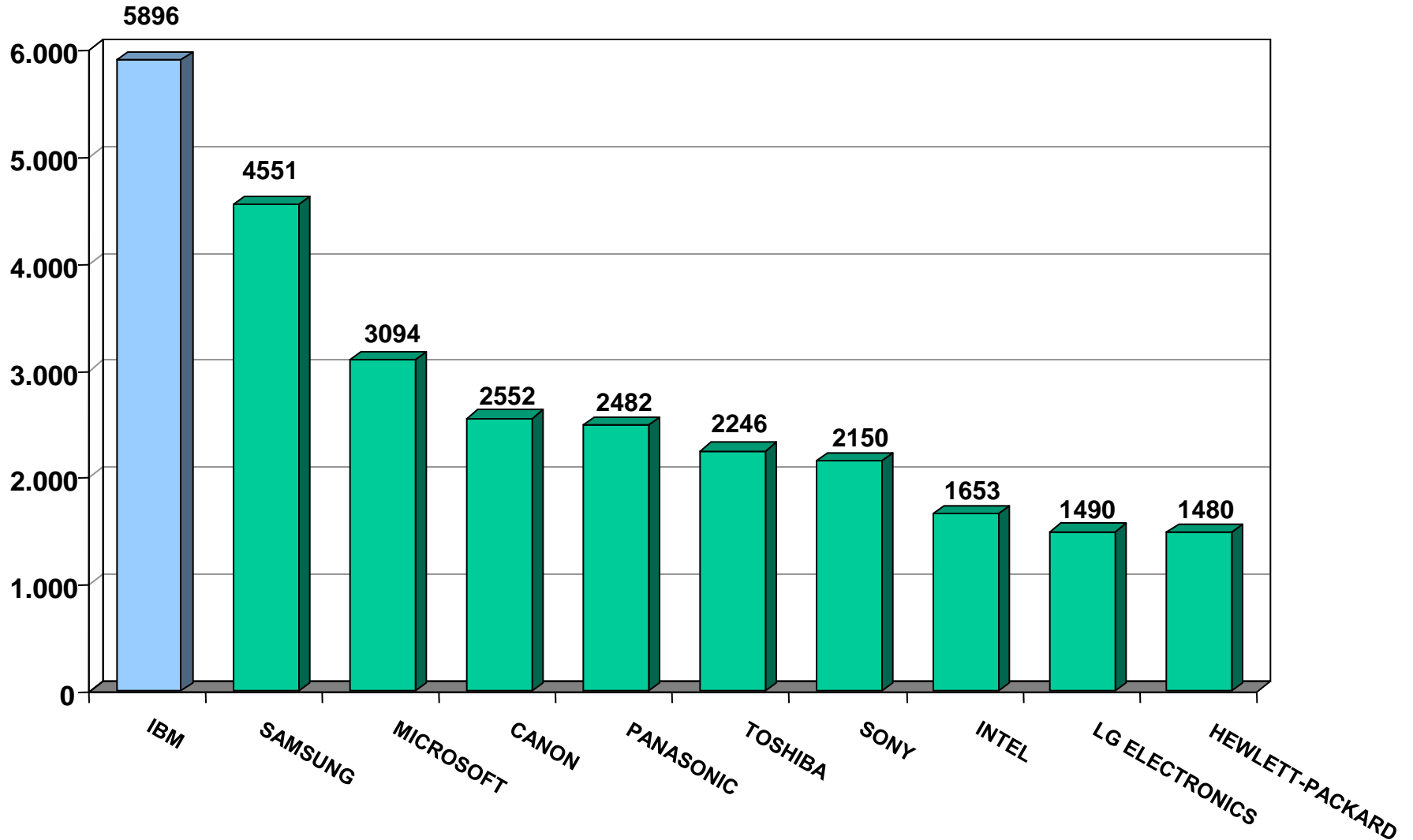
**5 Optische Storage Technologien**

**6 Tape Technologien**

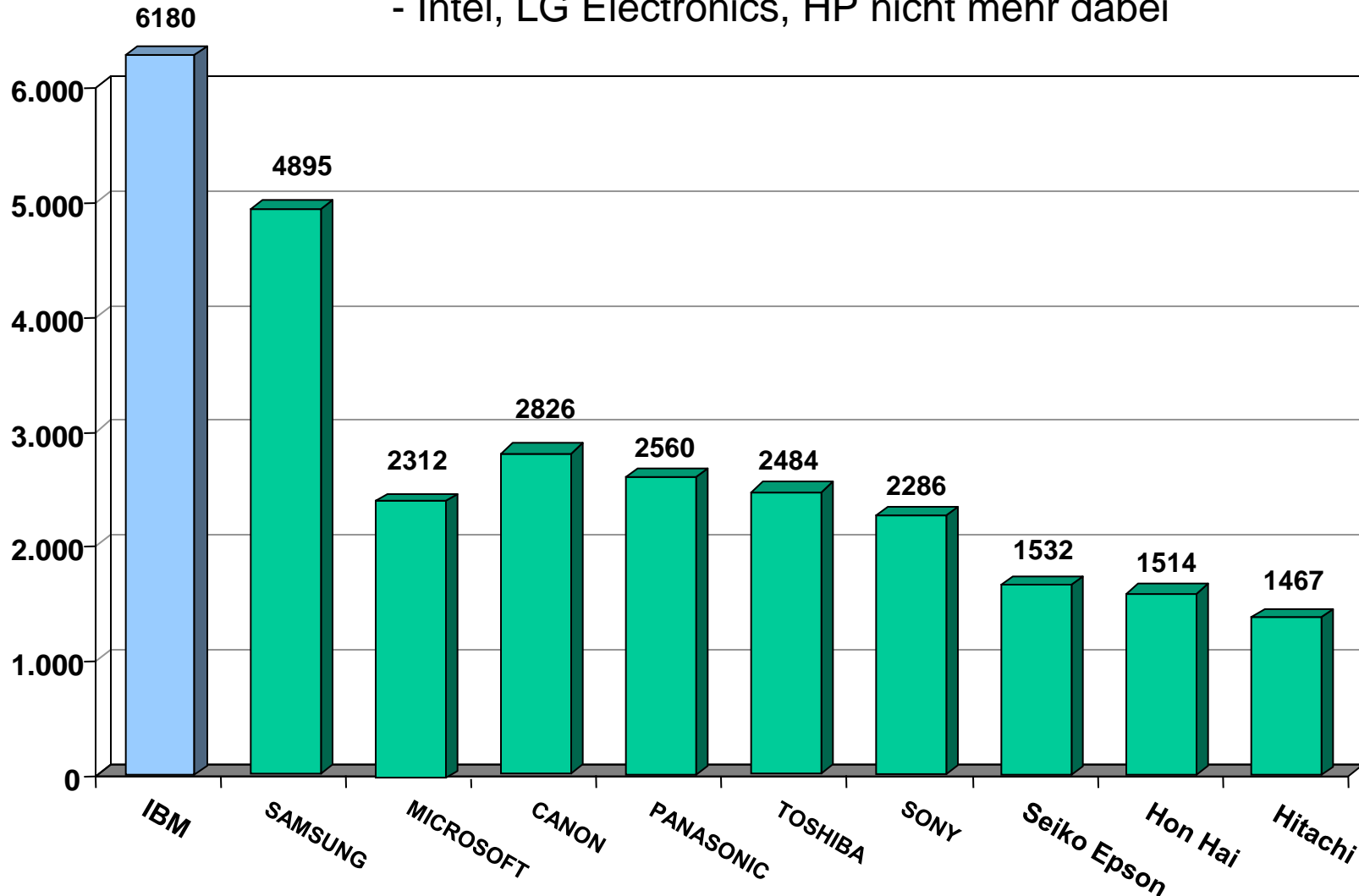
**7 Nano-Technologien**

# Top Ten US Patents granted - 2010

IBM

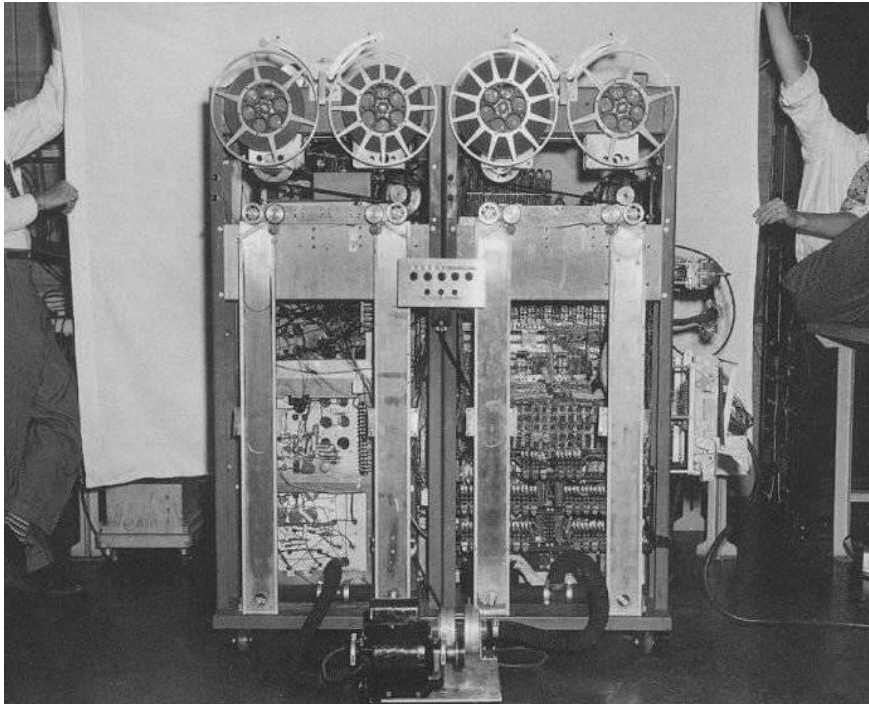


- IBM 19. Mal in Folge Patentführer (265 aus Deutschland)
- Intel, LG Electronics, HP nicht mehr dabei



# Innovation that matters

## Das Rollenband 726



1952:  
1,4 MB pro Rollenband  
720 Meter Länge  
100 BPI

## Die Magnetplatte RAMAC



1956: Die erste Platte der Welt  
5 MB  
50 Scheiben  
28 Zoll Durchmesser

## Reynold B. Johnson



Bild von 1971

### Zielsetzung Anfang der 50-er Jahre:

Die Möglichkeit, jeden Geschäftsvorfall dann zu bearbeiten, wenn er anfällt mit einer Leistung von etwa 10000 Fällen pro Tag!

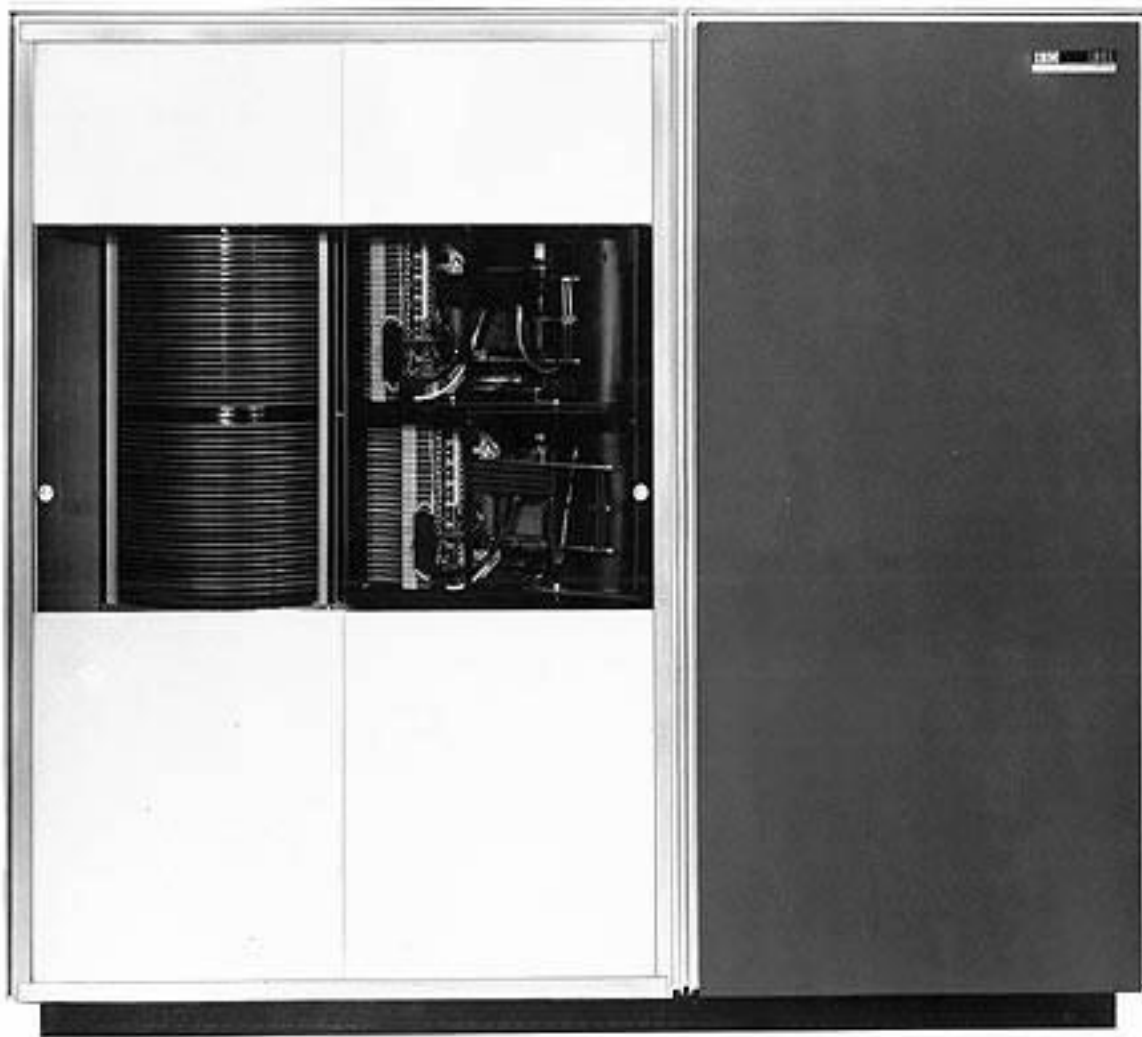
(Rechenanlage ohne Stapelverarbeitung)



- take the best people
- go to San Jose
- make something cool
- find a new way to store data



## 1952 - 1961 die Anfangsepoche der elektromagnetischen Speicherung



1961

IBM 1301  
28 und 56 MB per  
Plattenmodul

Air Bearing Sliders  
mit Landebahnen

Zugriffskamm mit  
Köpfen für jede  
Plattenoberfläche

Einführung der  
Zylinderarchitektur

Speicherkapazität jetzt 56 MB / Einheit



Der DASD-Schreib/Lesekopf hat Präzisionsfliegen gelernt

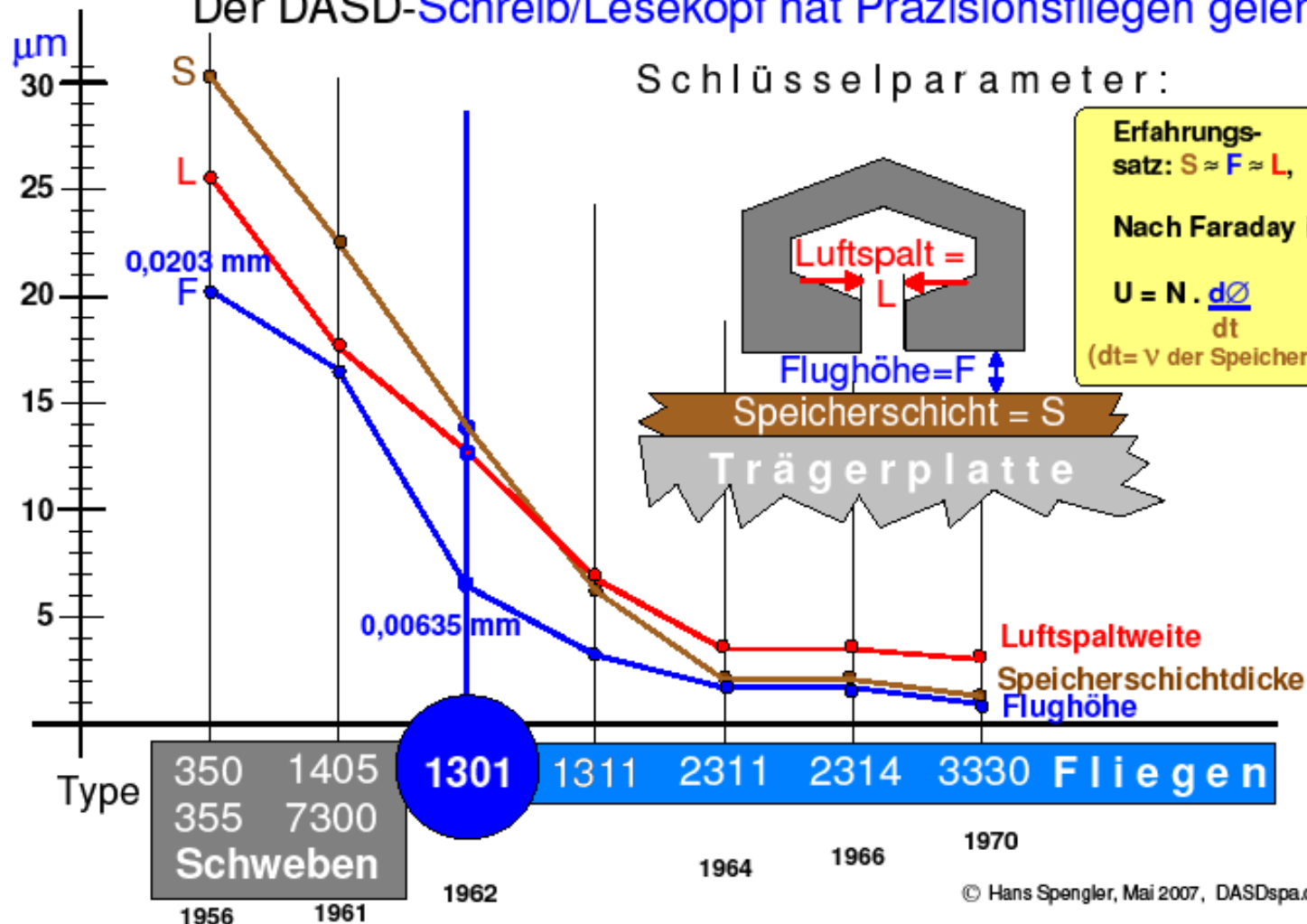
Schlüsselparameter:

Erfahrungssatz:  $S \approx F \approx L$ ,

Nach Faraday ist

$$U = N \cdot \frac{d\phi}{dt}$$

(dt = v der Speicherspür)

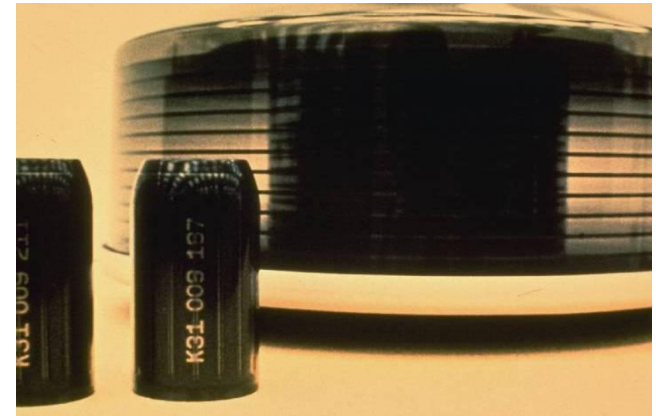




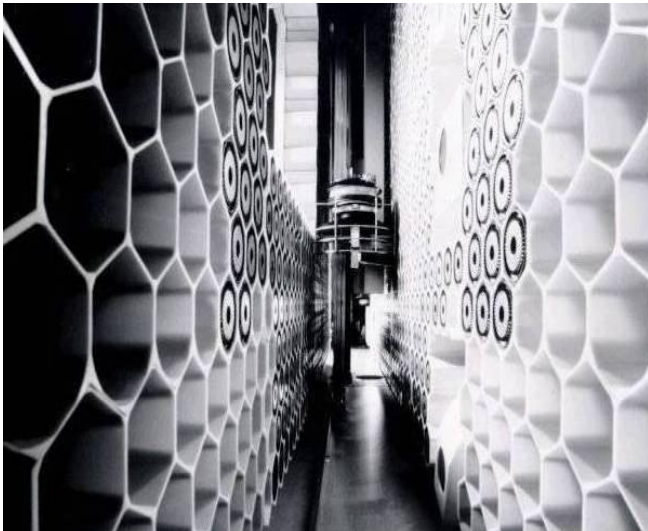
## 1962 - 1974 die "Winchester-Zeit", Epoche der Wechselplatten



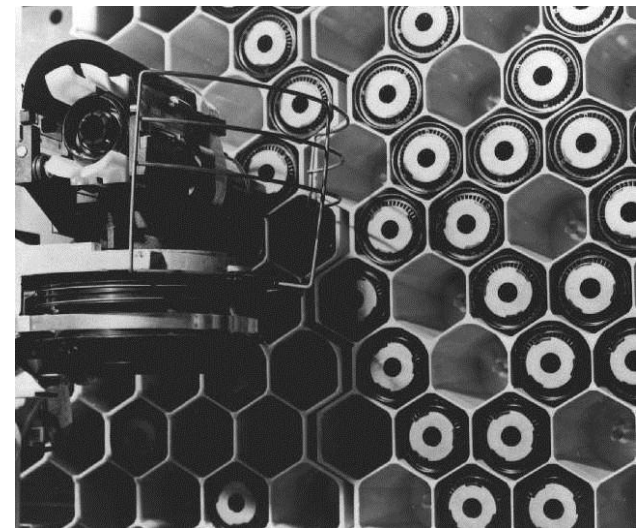
**1970**  
IBM 3330  
(800 MB)



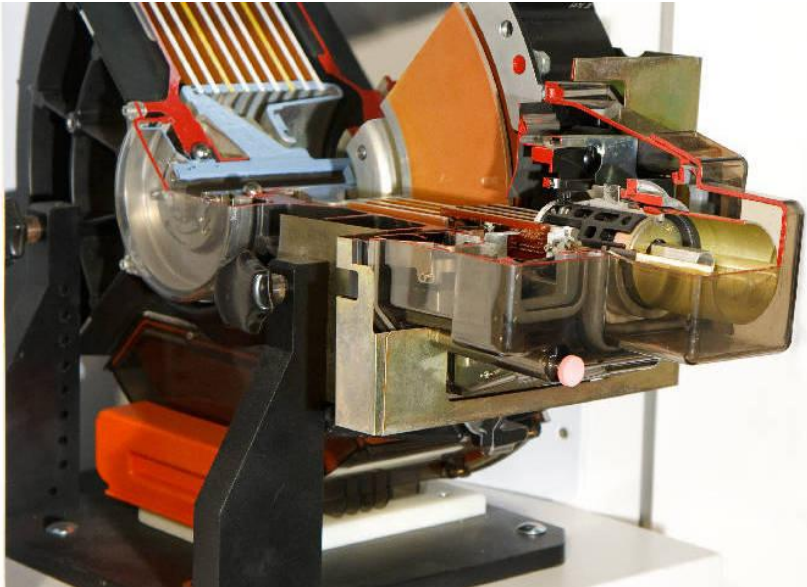
Bandpatronen mit 19.5 m Länge und 50 MB Kapazität



**1974** IBM 3850 MSS  
(bis 4720 Patronen  
und 236 GB)



## 1975 - 1994 Epoche der fest eingebauten Platten mit Kontrolleinheiten



**1981 - 1987**  
IBM 3380 Laufwerk  
14 Zoll Platten



**1989 - 1994**  
IBM 3390 Laufwerk  
10.5 Zoll Platten

## 1975 - 1994 Epoche der fest eingebauten Platten mit Kontrolleinheiten



**1992 IBM 3495 (45 TB)**



**1993 IBM 3494 (5 PB)**



„Magnetplatten“... das war eine der grössten Erfindungen der Welt!!

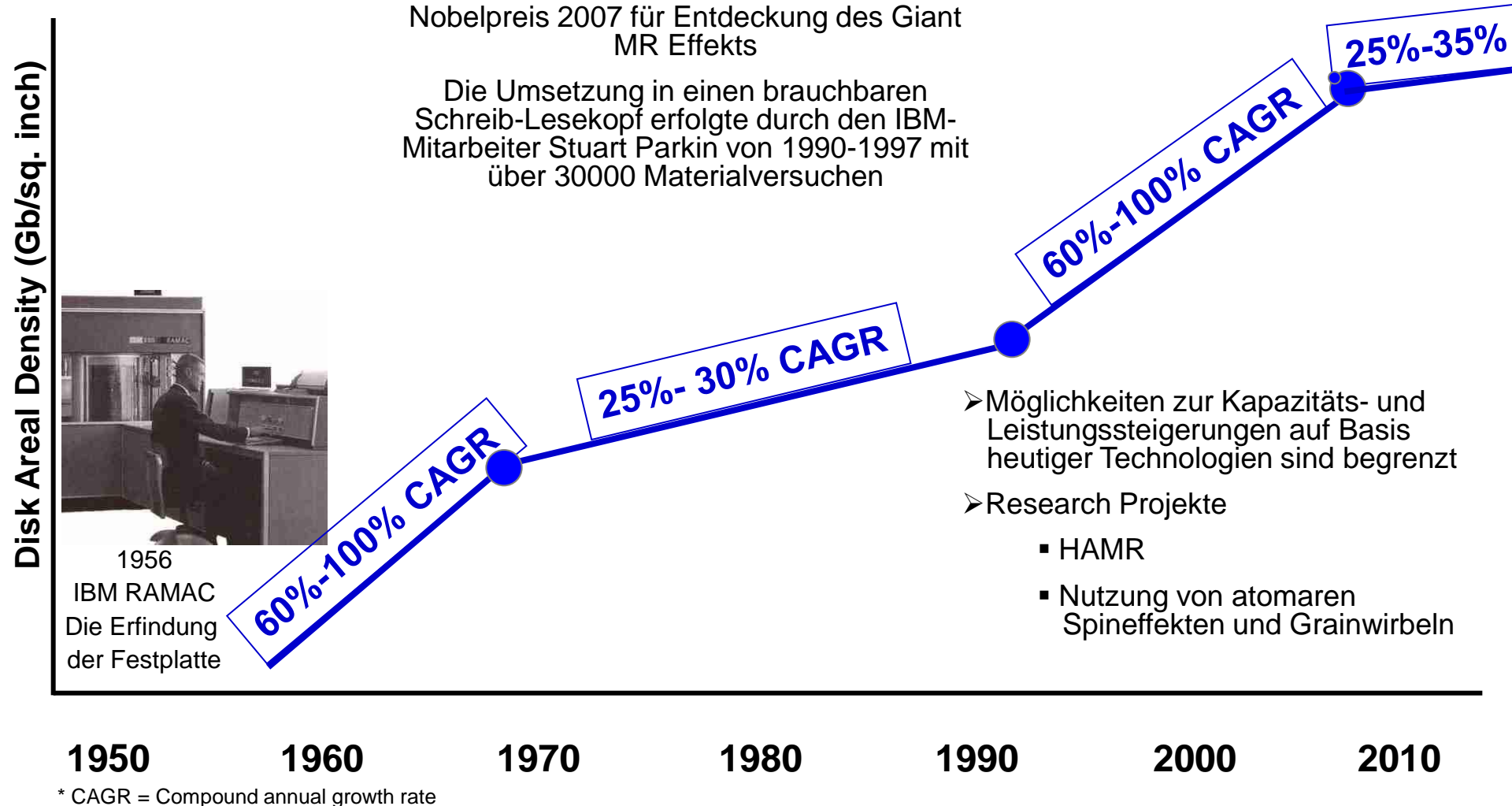


Die neue  
Plattenrotunde  
„Live“ zu sehen im  
IBM Museum:

Haus der  
Geschichte der  
IBM Daten-  
verarbeitung  
Sindelfingen  
Bahnhofstrasse 43

1984: RAMAC 350/355 wird zum “International Historic Mechanical Engineering Landmark”  
Technologie Welt Kultur Erbe

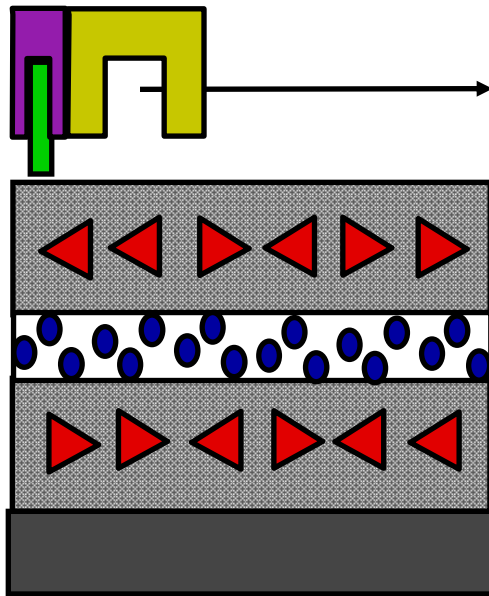
# Datenwachstum vs. Technologiefortschritt



## Adaption von unterschiedlichen Aufzeichnungstechniken auf die unterschiedlichen Laufwerksarten

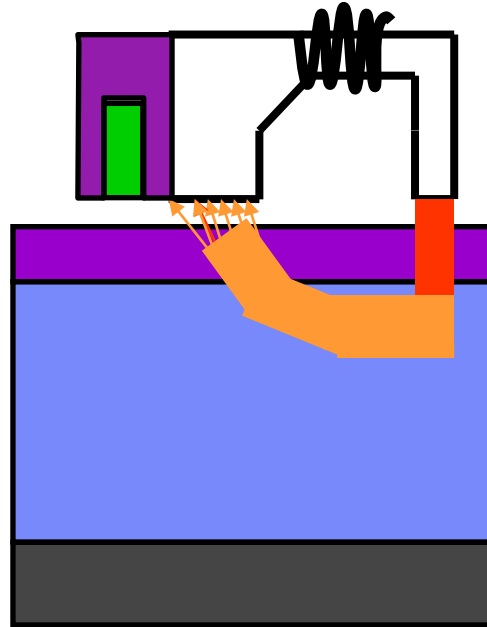
- ATA, SATA, FATA, **SAS (2.0)**, FC-Platten
- **2 ½ Zoll** vs. 3 ½ Zoll Formfaktor

AFC



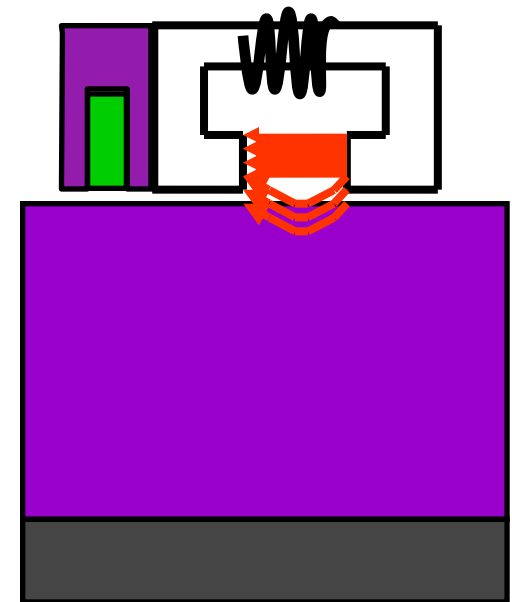
hochpreisig  
hohe Leistung  
hohe Zuverlässigkeit  
langlebig

Perpendicular



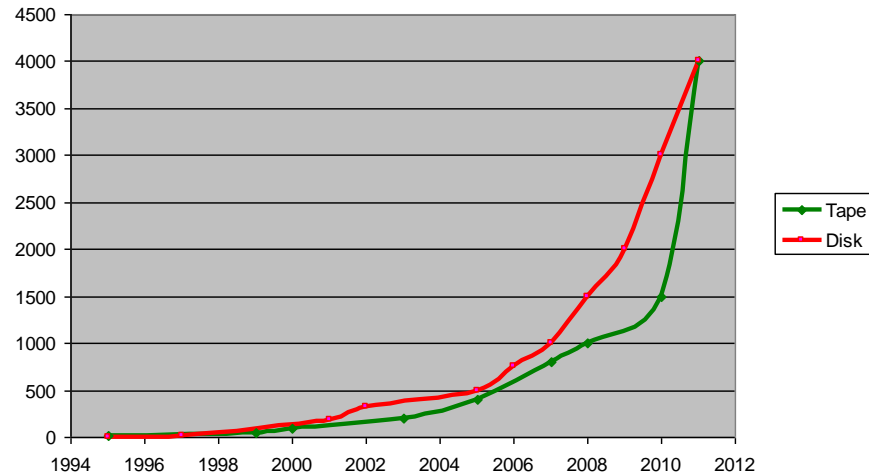
mittelpreisig  
mittlere Leistung  
hohe Zuverlässigkeit  
langlebig

Klassisch Longitudinal

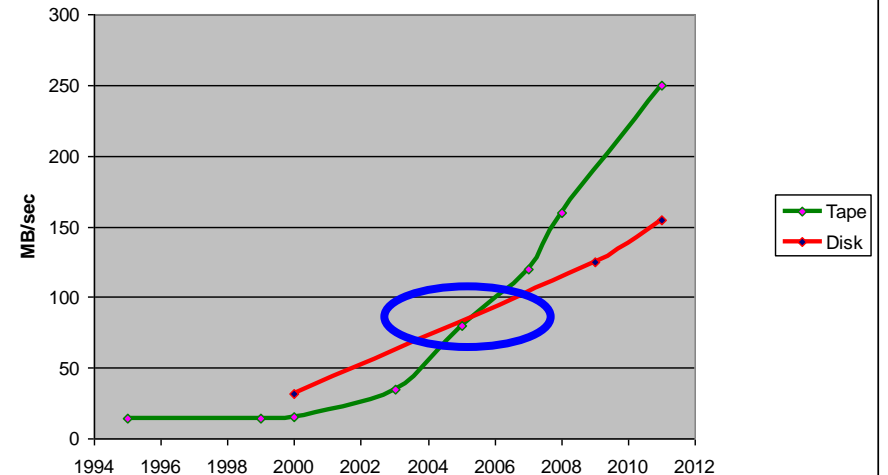


billig  
langsam  
mittlere Zuverlässigkeit  
kurzlebig

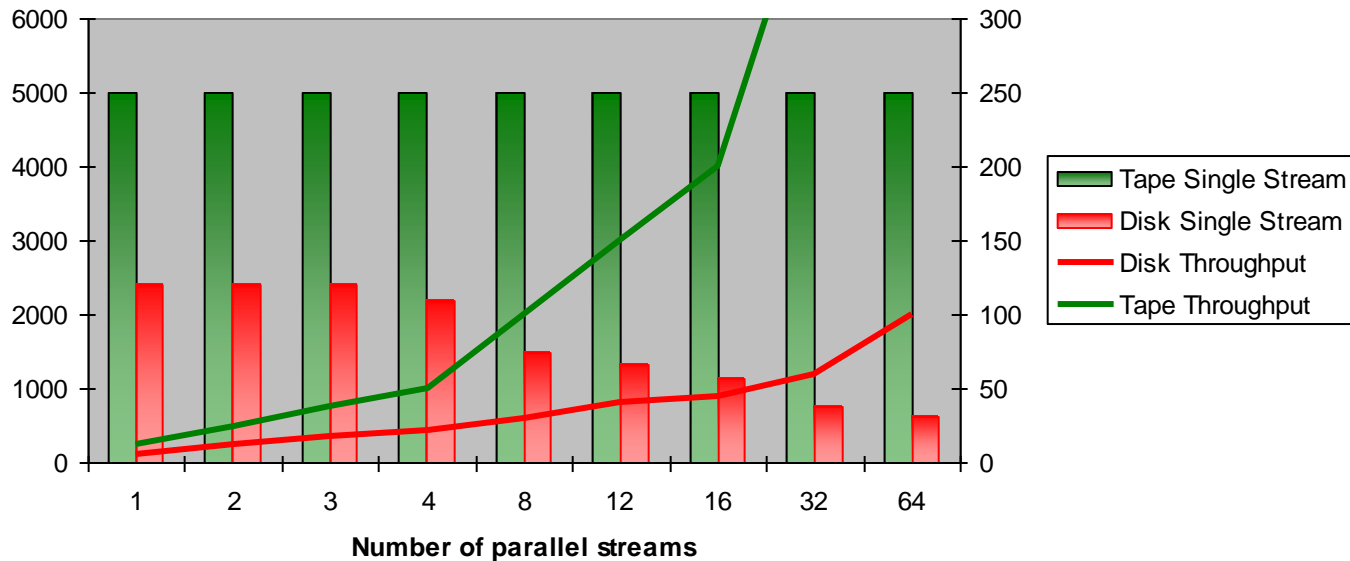
## Native Capacity



## Native Transfer Rate / MB/sec

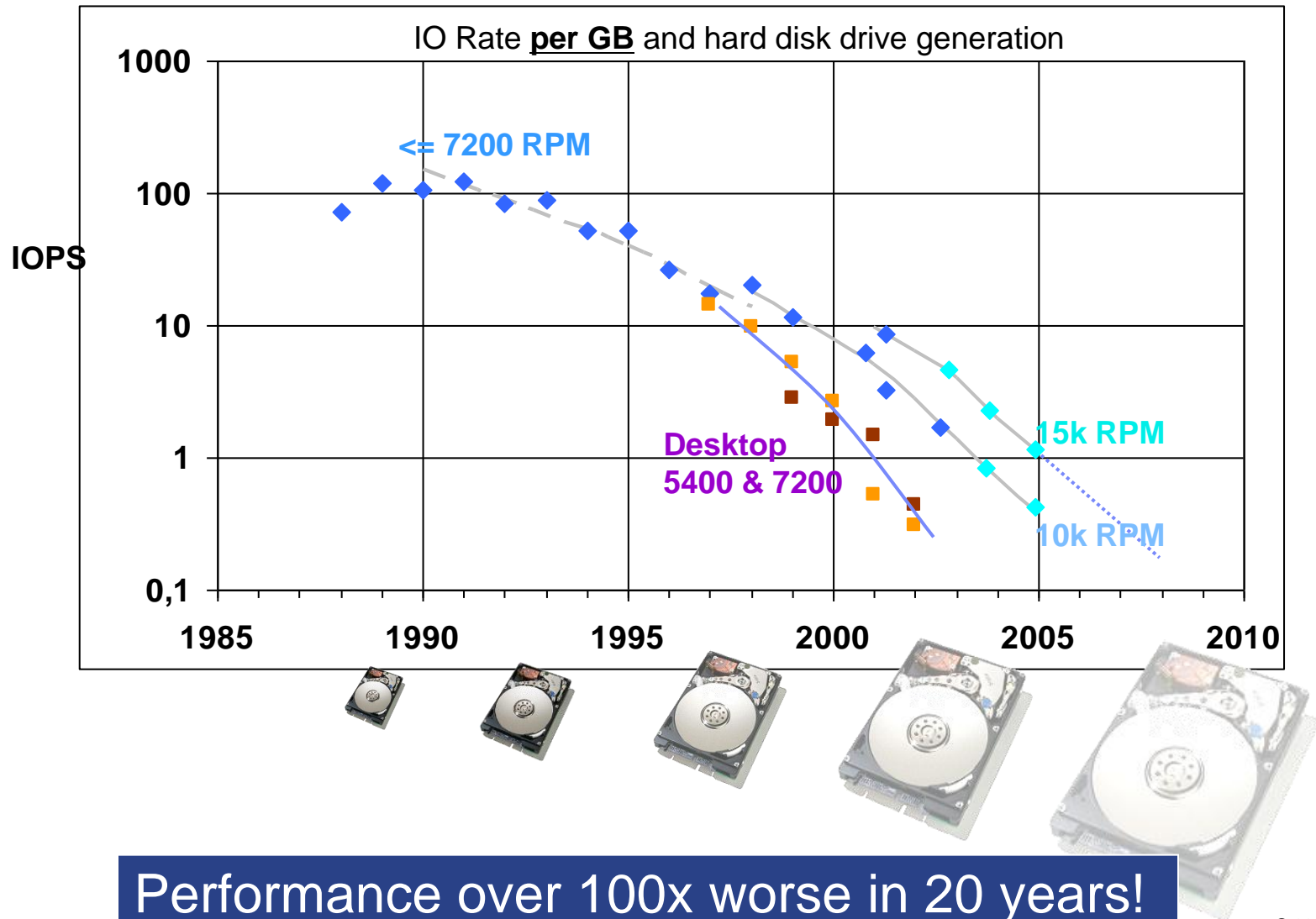


## Performance Disk vs Tape





## Disk Performance pro GB verschlechtert sich seit Jahren



## Flash Speicher

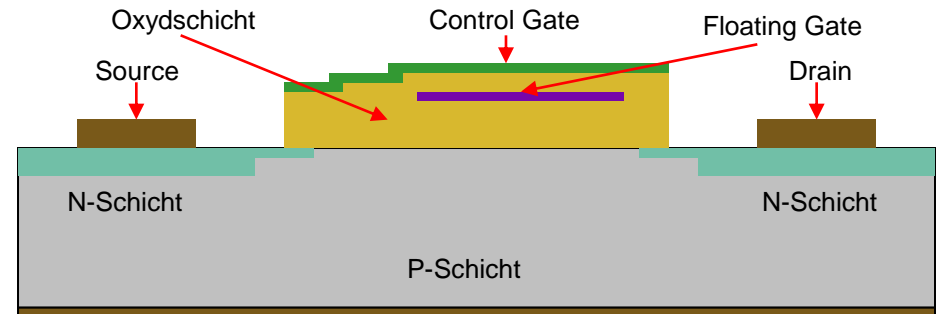
### ■ NAND oder NOR

### ■ SSDs mit RAM

- ist schon seit vielen Jahren verfügbar
- 100x höhere Kosten als Disk

### ■ SSDs mit Flash

- heute verfügbar
- 10x – 20x höhere Kosten als Disk
- Flash Memory heute
  - SLC (single level cell)
  - bis 100.000 Schreibvorgänge
  - MLC (multi level cell)
  - Neu: Schreibvorgänge wie SLC

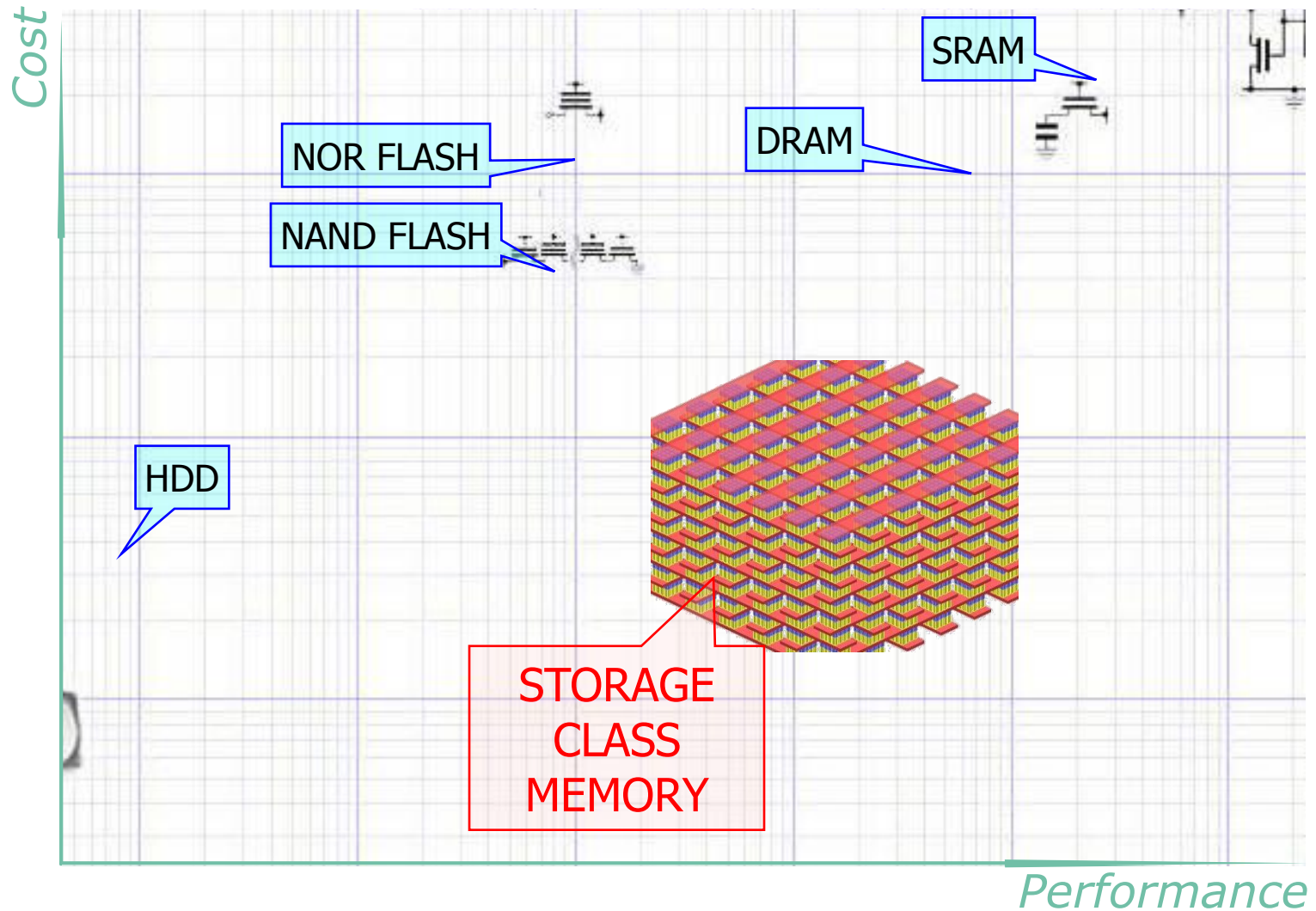


Aufbau einer Flash Speicherzelle mit Floating Gate



Flash-Speicher einer Compact-Flash-Speicherkarte

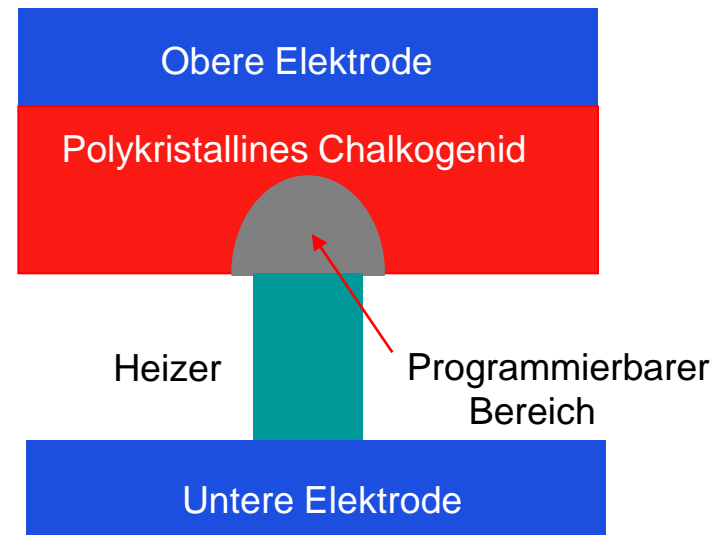
# SCM (Storage Class Memories) vs existierender Technologien



## PCM Phase Change Memories - Phasenwechselspeicher

- 1950 Erforschung von Chalkogeniden
- Optische Anwendungen via Laser
  - CD-/ DVD-RW
- Heute “elektrisch”
  - mittels Stromstößen
  - amorpher Zustand vs. kristalliner Zustand
  - 30 Mal schneller wie Flash
- IBM Multi Bit PCM Test-Chip in Rüschtikon
  - 90 nm CMOS Technologie
  - 100 x mehr Leistung zum schnellsten Flash Speicher
  - Write Latency nur bei 10 Mikro-Sekunden
  - miniaturisierbar (20 nm)

Querschnitt durch eine PCM-Zelle



# PCM Phase Change Memories - Phasenwechselspeicher

	Dynamic Random Access Memory (DRAM)	Flash	Phase-Change Memory (PCM)	Multi-Level Phase-Change Memory
<b>Timeframe</b>	<sup>1)</sup> Invented in 1966	Invented in 1980s	Available in limited number of smartphones - wide adoption expected by 2016	2016
<b>Speed</b>	Green	Red	Green	Yellow
<b>Density</b>	Yellow	Green	Yellow	Green
<b>Endurance</b>	Green	Red	Green	Yellow
<b>Retention</b>	Red	Green	Green	Green
<b>Scaling</b>	Orange	Yellow	Green	Green

CREDIT: IBM RESEARCH



Best in class



Average / Inadequate



Good / Adequate



Bad / Worse in class

- ▶ The qualification is relative and depends on the application
- ▶ Racetrack Memory is not included in this time horizon

<sup>1)</sup> Invented by IBM Fellow Dr. Robert Dennard  
1988 US National Medal of Technology

- Umsetzung des GMR Effekts
- Ohne ihn wären die heutigen Festplattenkapazitäten nicht möglich!
- Jetzt schreibt er Geschichte!
- Racetrack Memories werden ...die Welt verändern!



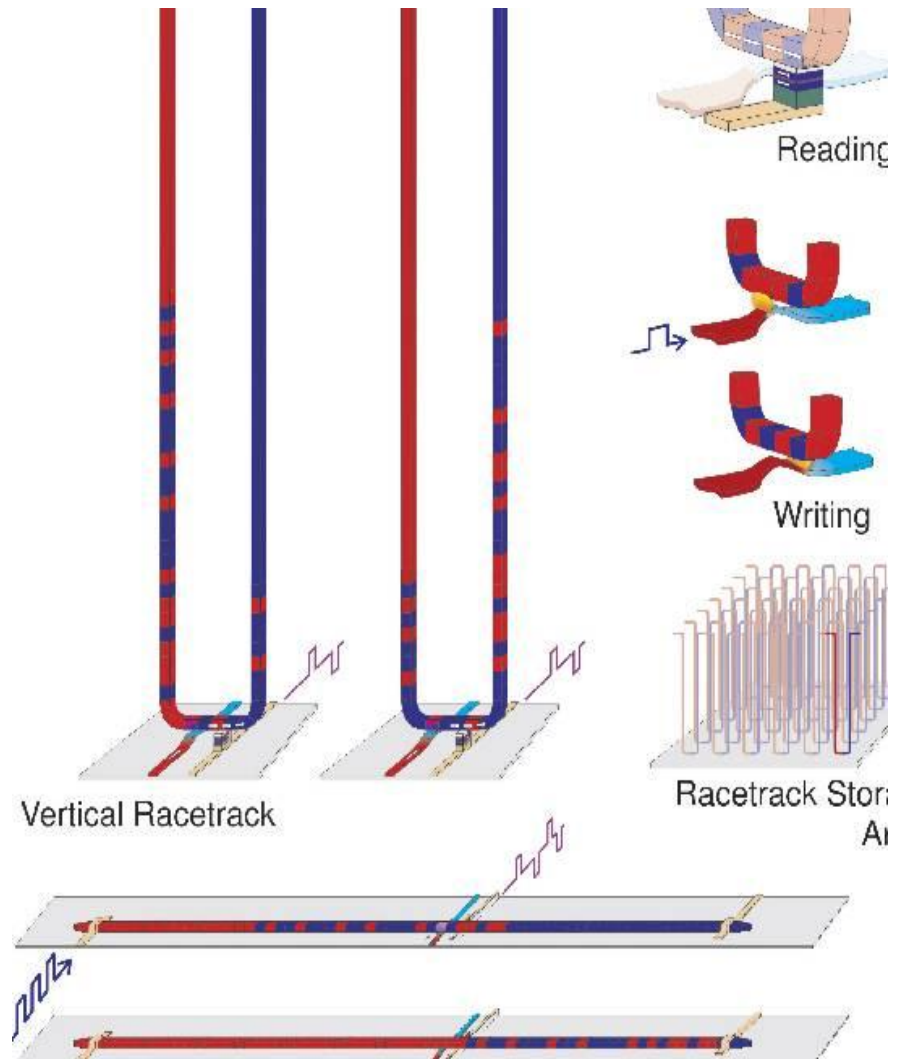
Stuart Parkin, IBM Fellow  
IBM Research Almaden

## Racetrack Memory Chips

- **Es bewegt sich nichts mehr**

- Magnetic Pattern auf Nano-Drähten
- Permalloy (FeNi-Legierung)
- Leistung im Nano-Sekunden Bereich
- Fast keinen Stromverbrauch
- Dreidimensionale Chip Technologie
- 100 Bits per Draht, mehrere Millionen Drähte per Chip
- 100-1000 fach höhere Kapazitäten zu Flash Memories

→ Vereinigt Leistungsfähigkeit von Flashspeichern und NV-RAM's mit den kapazitiven Möglichkeiten von Festplatten





Er hat die Freude verdient ....

Stuart Parkin

Juli 2009:

IUPAP-Award  
(International Union of Pure and  
Applied Physics-magnetism)

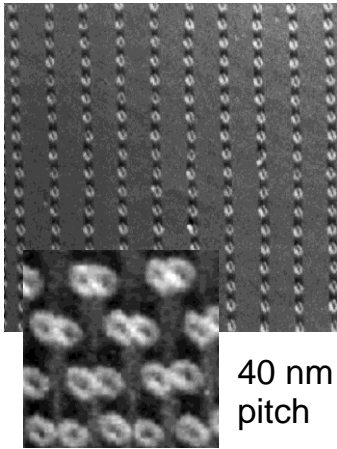
Louis Neel Medaille



# Millipede – was ist daraus geworden?

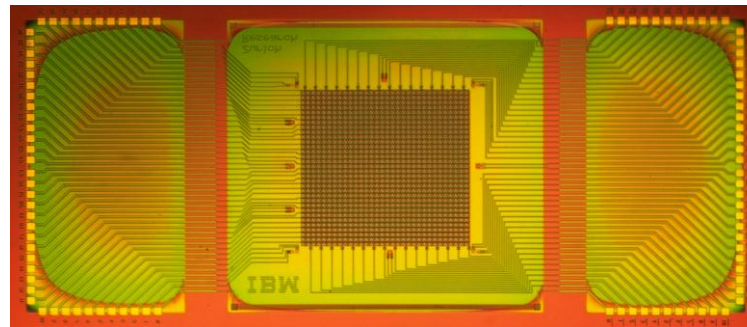
Thermomechanical  
Read/Write on  
Thin Polymer  
Media

40 nmbit size

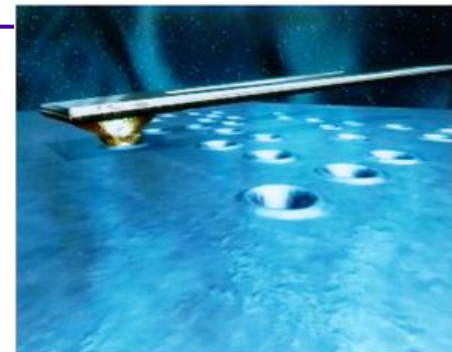
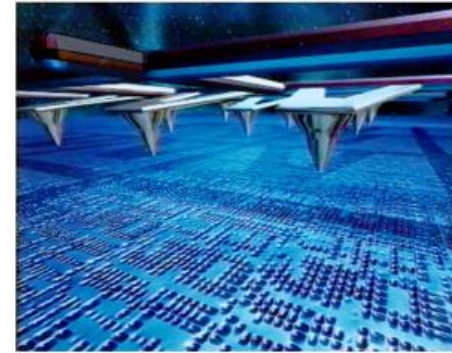
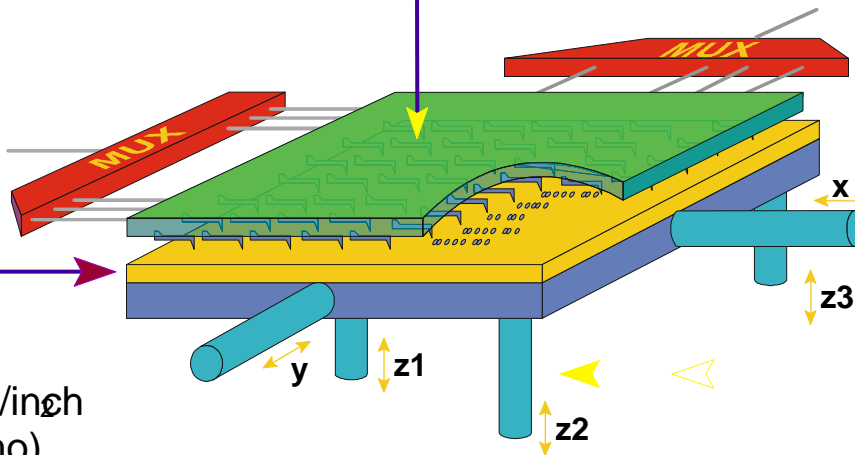


40 nm  
pitch

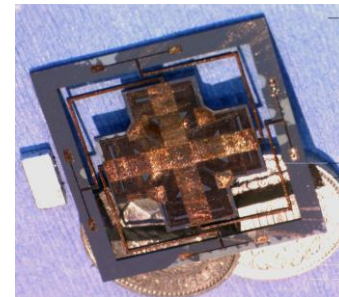
Areal Density 1 Tbits/inch  
(Single Lever Demo)



64 x 64 (4096) Cantilever Array Chip



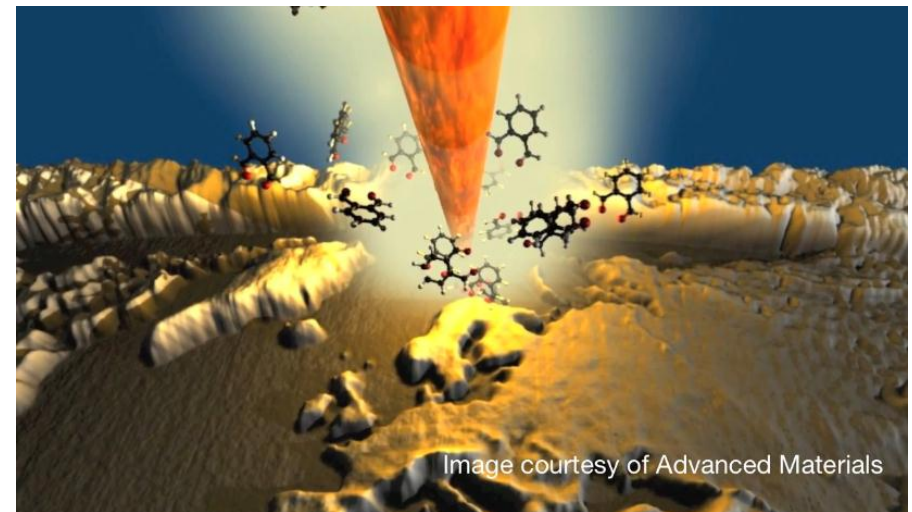
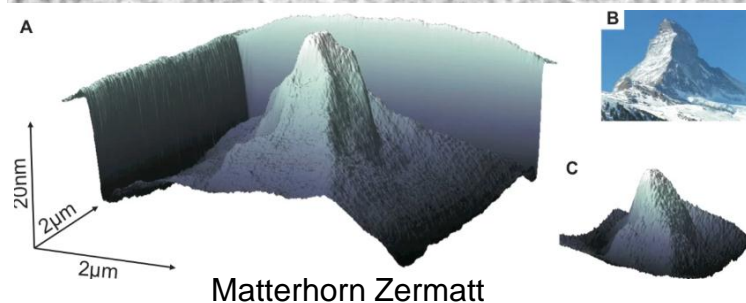
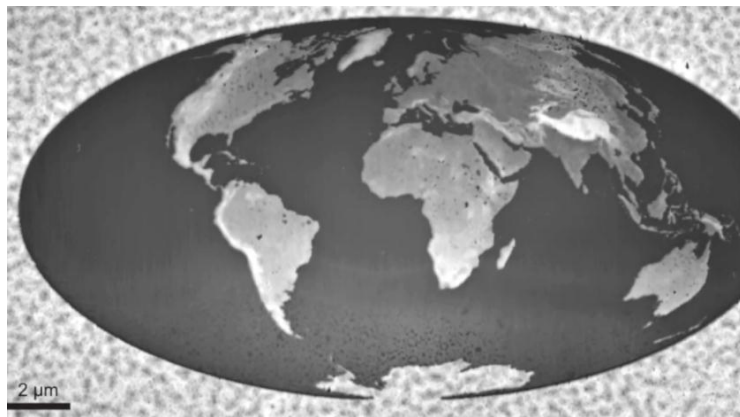
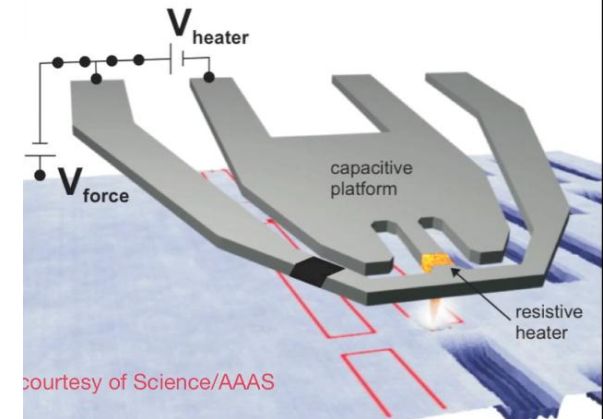
Micromechanical  
x/y/z Scanner



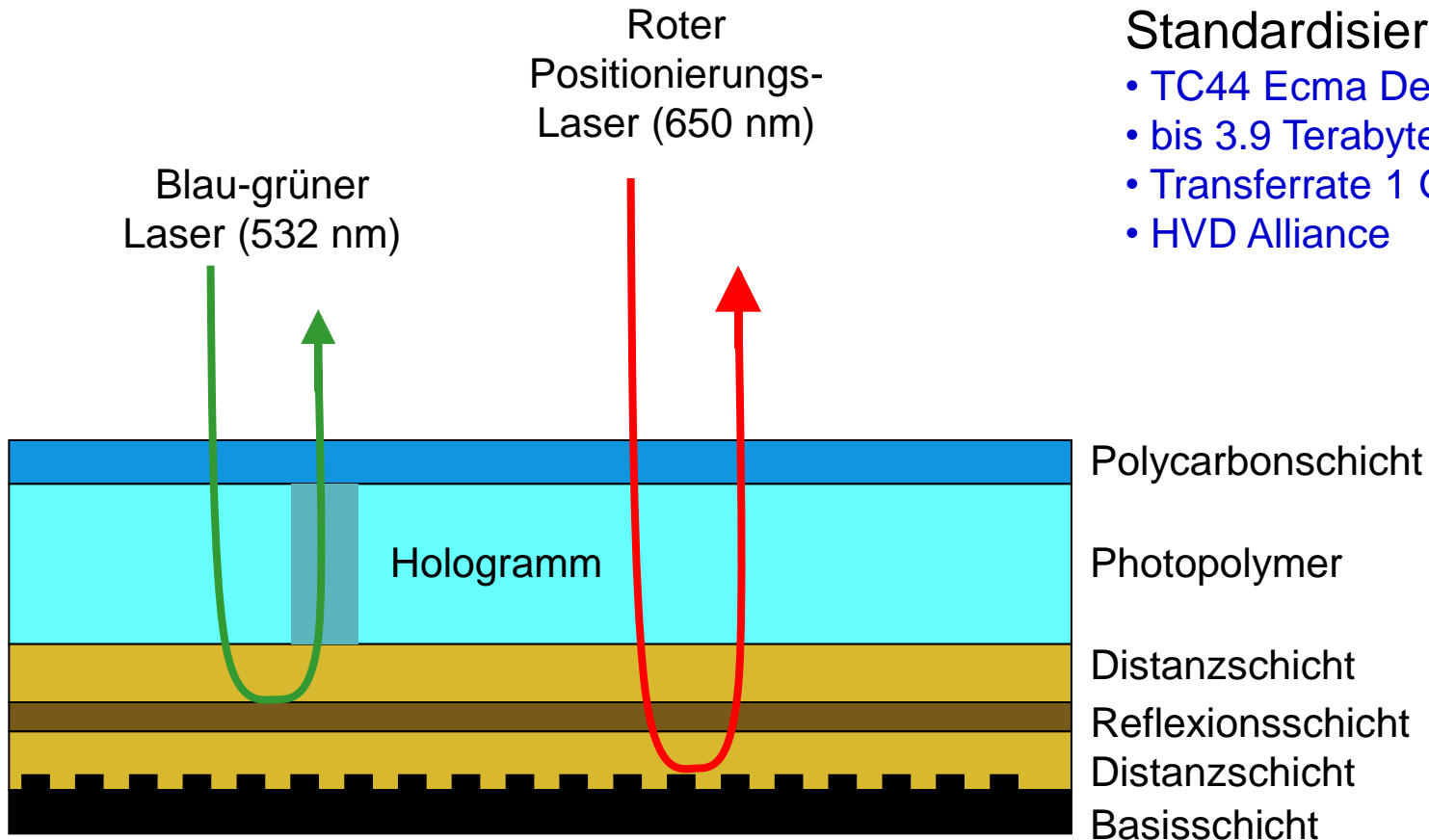
Silicon tips/ Polymer base layer	
<b>64x64 tips ready 2005</b>	<b>128x128 tips ready 2007</b>
<b>40GBytes on 7x7mm chip</b>	<b>160 GBytes on 7x7mm chip</b>
<b>35 Mbit/s</b>	<b>120 Mbit/s</b>

## Kleinste 3D Map der Welt

- Rüslikon Lab im April 2010
- Welt-Globus Image in 3D in 22x11 Mikrometer
- erzeugt in 2 Minuten, 23 Sekunden
  - auf Polymer und Molekular Glas
- 1000 dieser 3D Images auf einem "Salzkorn"



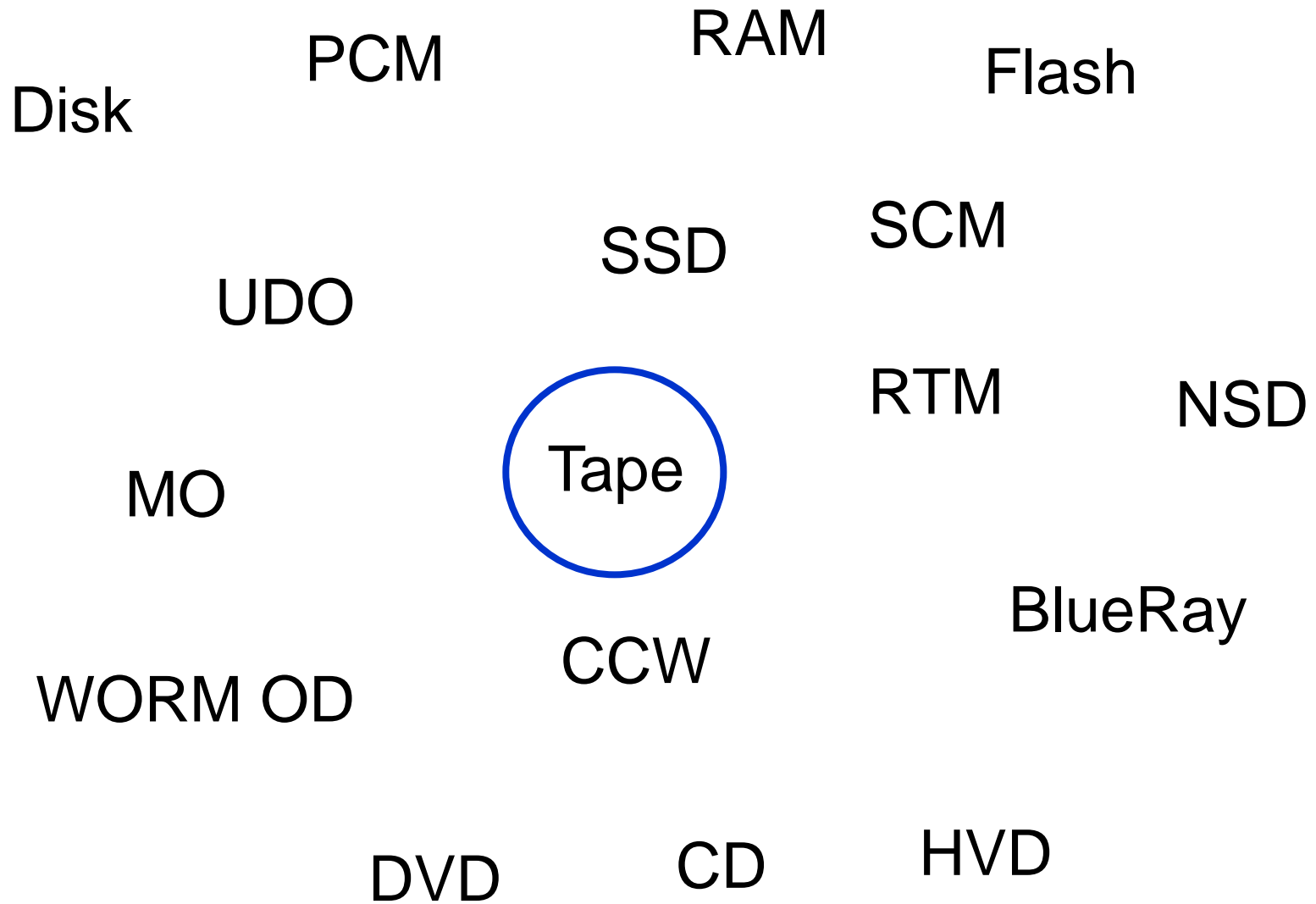
## Holographic Versatile Disc (HVD)



### Standardisierung

- TC44 Ecma Dez. 2004
- bis 3.9 Terabyte
- Transferrate 1 Gbit/s
- HVD Alliance

Prinzip der HVD (Holografic Versatile Disc)

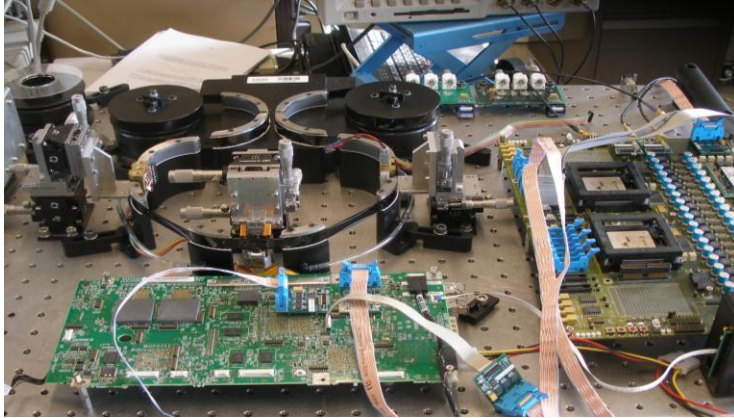




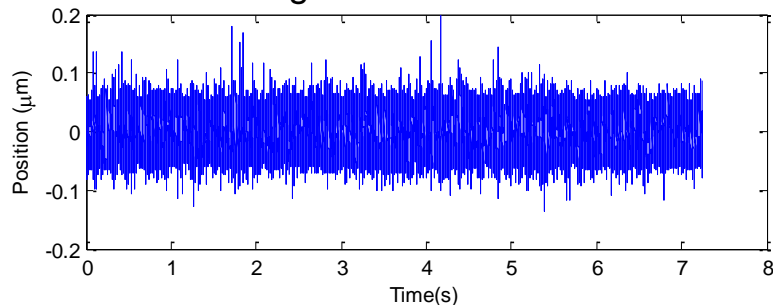
## 2010 Technical Highlight: 29.5Gbit/in<sup>2</sup> Demonstration mit GMR

Press release on Jan 22, 2010: <http://www.zurich.ibm.com/news/10/storage.html>

Demo Hardware Platform

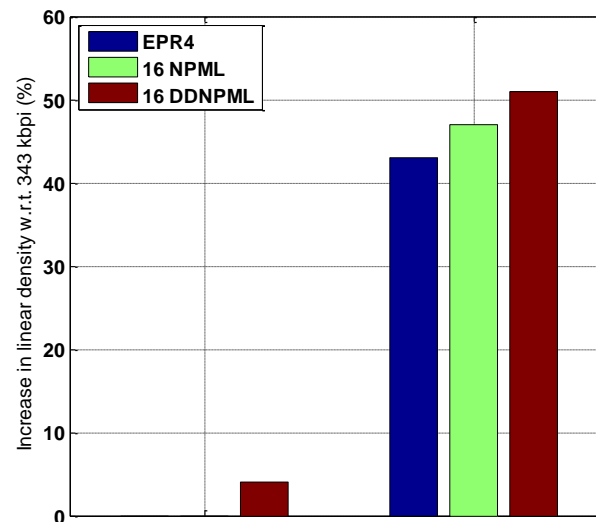


1-sigma PES = 23.4 nm



Track density = 57 ktpi (track width = 0.446 μm)

- Perpendicular Recording (senkrechte Bitanordnung)
- Ultrafeine Barium-Ferrit-Medien ohne Metallaufdampfen
- Reduktion der Spurbreitung auf unter 25 nm
- Spurbreite auf unter 0.45 μm (Faktor 25)
- Erhöhung S/L-Geschwindigkeit um Faktor 38



Target BER: 1e-4  
0.2 μm reader width

FPS4 Linear Density w/ 16 DDNPML: 518 ktpi

**Areal density of 29.5 Gb/in<sup>2</sup>**

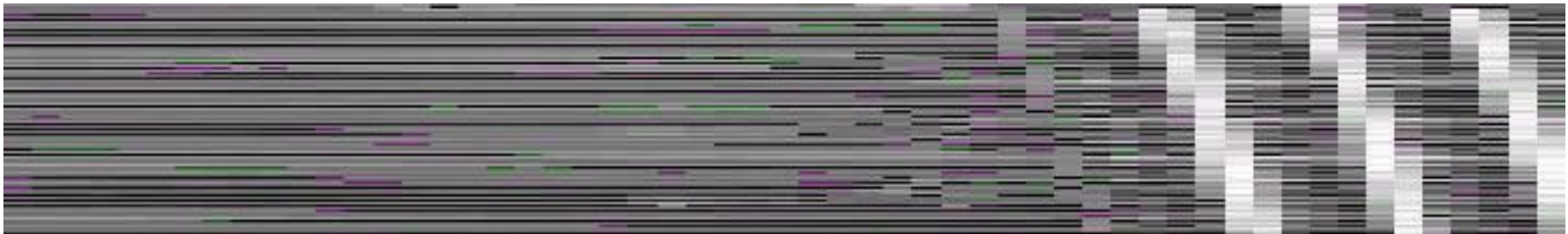
## IBM Research Center Almaden Dezember 2005: 100 Terabyte Tape

### Nanopatterning Tape Technik

Reactive Ion Etching Chip Technologie

- erlaubt Nanopattern Strukturen in Tape-Spuren,
- Neue genau kontrollierbare Dünnschichtbeschichtungstechnik
- Sputter Deposition
- Spurbreiten von 0.2 bis 0.5 Microns (200 – 500 Nanometer)

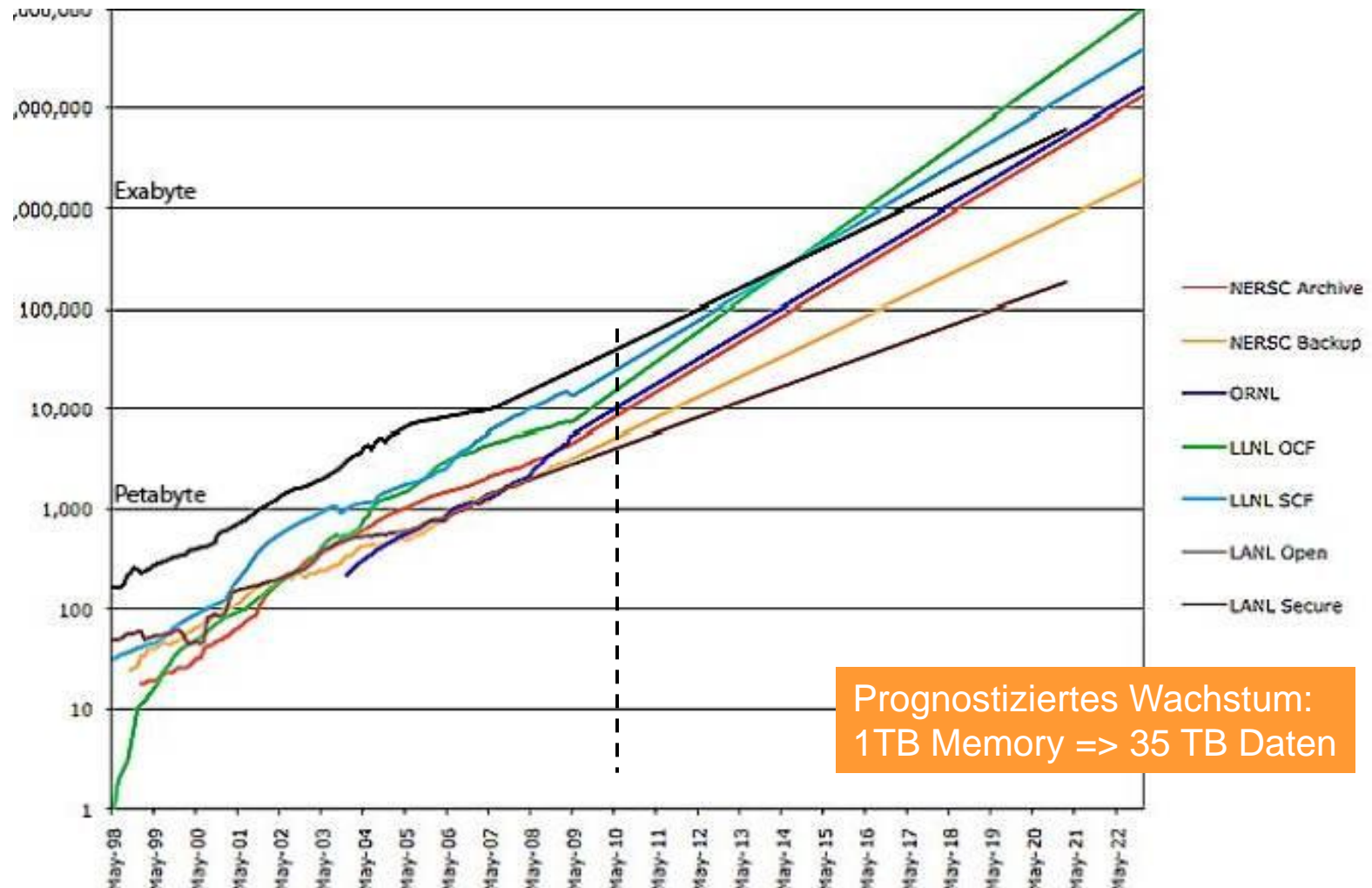
100 TB Kapazität bei 0.5 Microns auf klassischer ½ Zoll Kassette



Fertigungsprozesse technisch realisierbar in ein paar Jahren

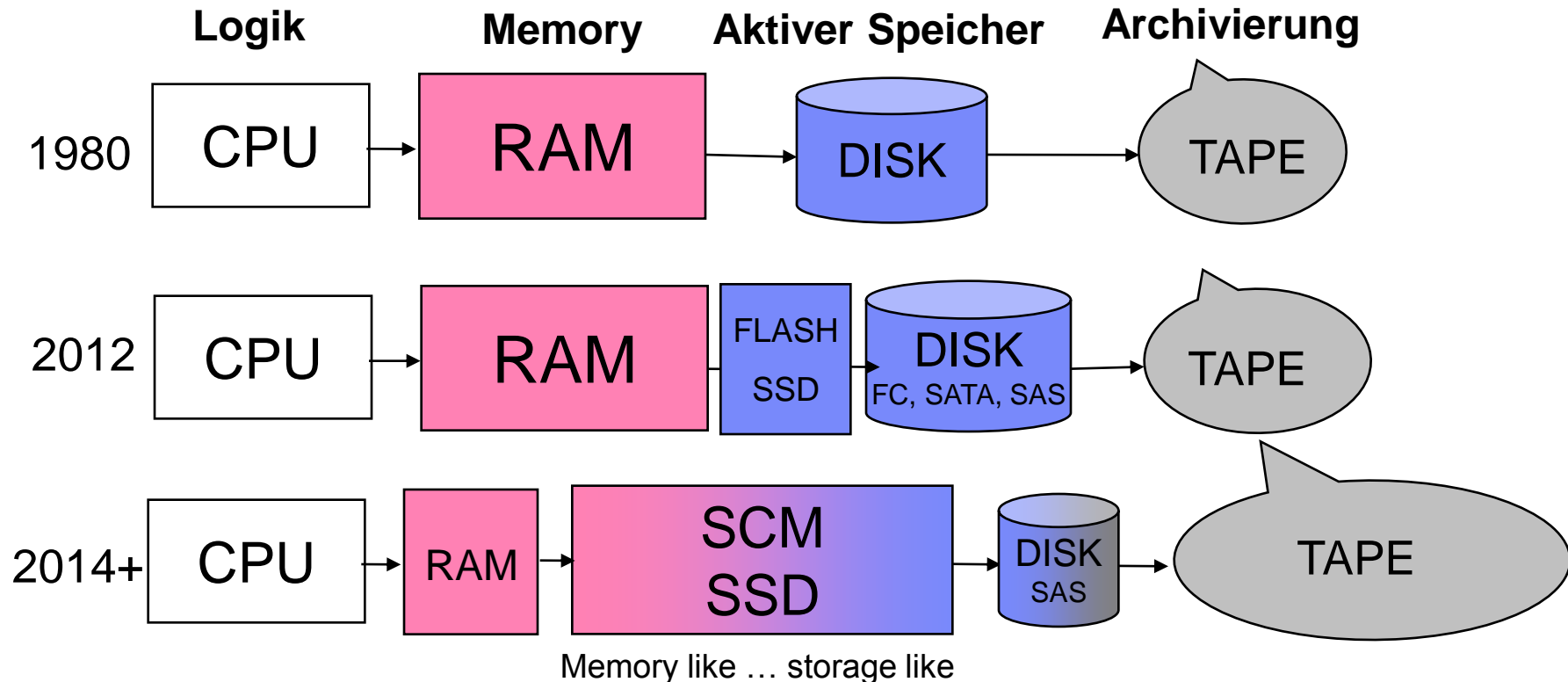


# Archiv Speicherumgebungen zeigen extremes Datenwachstum bis in Exabyte Bereich



Prognostiziertes Archiv Datenwachstum der U.S. Energie Labs bis Mai 2022

# Neuordnung der Speicherhierarchie



- SCM: Storage Class Memories:
- Racetrack Memories und Phase Change Memories
  - Stromunabhängig (non volatile)
  - schnellste Zugriffszeiten (wie DRAM)
  - niedrige Kosten per MB (wie Disk in ca.10 Jahren)
  - Solid State – keine beweglichen Teile

## Nano-Technologien

### Neues Nano-Technologie Zentrum IBM Rüschlikon

„Binnig and Rohrer Nanotechnology Center“ #

- **IBM und ETH Zürich**

- 60 Mio SFR für Gebäude (IBM)
- 30 Mio SFR für technische Infrastruktur (15 Mio ETH, 15 Mio IBM)
- ETH mietet 10 Jahre 50% des Gebäudes

- **Neue Voraussetzungen für die Nanotechnologie-Forschung**

- 950 Quadratmeter Reinraum
- 6 Noise Free LAB's im Keller (Silent Rooms)
  - keine Erschütterungen, keine Strahlung, einfach nichts!
  - Räume auf luftgefederten Betonsockeln mit 30 bis 68 Tonnen Gewicht
  - Nickel-Eisen-Legierung Auskleidung gegen externen Elektromagnetismus
  - Zwei Helmholtz-Spulenpaare kompensieren interne Strahlung
  - Maximale Temperaturschwankung pro Stunde von 0.1 Grad Celsius

# Heinrich Rohrer ETH, Gerd Binnig IBM, 1986 Nobelpreis für Physik  
für die Entwicklung des Rastertunnelmikroskops Anfang der 1980'er Jahre

## Nano-Technologien



Neues Nano-Technologie  
Forschungszentrum

IBM Rüschlikon  
und  
ETH Zürich

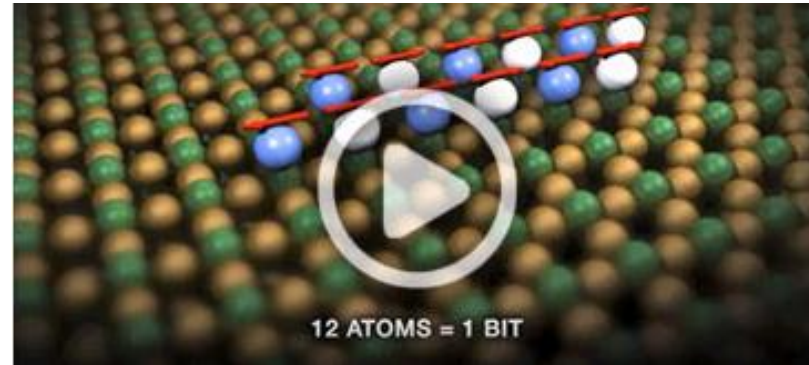
Fertigstellung Dez. 2010  
Einweihung Juni 2011

## Nano-Technologien

Januar 2012:

IBM Almaden + German Center For Free  
Electron Laser Science (CFEL)

### Atomic Scale Magnetic Memory



1 Bit = 2 Reihen von 6 Eisenatomen

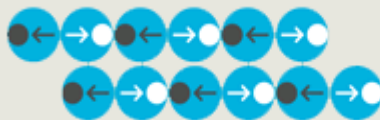
1 Byte = 96 Eisenatome = 4 x 16 nm

## 12 atoms needed to store one bit of data

IBM researchers have successfully used 12 atoms to store one bit of data by aligning their magnetic properties so that the group of atoms would not interfere with their neighboring group of atoms.



1



0

### Atomic-scale magnetic memory aerial density is potentially:

100x

denser than  
today's hard disk  
drive technology

160x

denser than  
NAND Flash

417x

denser than  
DRAM

10,000x

denser than  
SRAM