



Geschichte des Hochleistungsrechnens

Prof. Dr. Thomas Ludwig DKRZ / UHH

PREDIGER 1,9

**WAS GESCHEHEN IST, WIRD
WIEDER GESCHEHEN,
WAS MAN GETAN HAT, WIRD MAN
WIEDER TUN:
ES GIBT NICHTS NEUES UNTER
DER SONNE.**

[HTTP://WWW.BIBLESERVER.COM/TEXT/EU/PREDIGER1](http://www.bibleserver.com/text/EU/PREDIGER1)

Der Mensch

0,283765 x 0,847102

1 Gleitkommaoperation
(Floating Point Operation [FLOP])

Berechnungsdauer? 100 Sekunden?

Rechenleistung Mensch: 0,01 FLOPS

[Flop/s]

Die Fragestellungen

- ▶ Astronomie
- ▶ Wetter
- ▶ Kriegsführung
- ▶ Strömungsmechanik
- ▶ Klima
- ▶ Teilchenphysik
- ▶ Bioinformatik
- ▶ Medizin
- ▶ Ingenieurwissenschaften
- ▶ Finanzwirtschaft
- ▶ Geisteswissenschaften

Die Methodik

Hochleistungsrechnen

- ▶ Verwende viele gleichartige Komponenten und nutze deren aggregierte Rechenleistung

Vorgehensweise

- ▶ Zerlege die Aufgabenstellung in parallel ausführbare Teile
- ▶ Jede Komponente berechnet einen Teil
- ▶ Gelegentlich müssen sich die Komponenten koordinieren
- ▶ Am Ende werde die Teile zu einem Gesamtergebnis zusammengefügt



Astronomie

Alexis-Claude Clairaut (1713-1765)

Beschließt 1757, die Flugbahn des Halleyschen Kometen neu und besser zu berechnen

Er teilt sich die Berechnungen mit zwei Freunden

- ▶ Joseph-Jérôme Le Français de Lalande
- ▶ Nicole-Reine Étable de la Brière Lepaute



Erstes Parallelrechnen

- ▶ Die drei arbeiten ab 1757 im Palais du Luxembourg an einem gemeinsamen Tisch
- ▶ Lalande und Lepaute behandeln das Dreikörperproblem als Iterationsverfahren, das Saturn und Jupiter jeweils 1-2 Grad um die Sonne herum bewegt
- ▶ Lalande und Lepaute arbeiten zusammen und reichen Clairaut die Ergebnisse
- ▶ Clairaut berechnet dann die Flugbahn des Kometen
- ▶ Er prüft zusätzlich alle Berechnungen auf Fehler

- ▶ $0,01 \text{ FLOPS/C} \times 3\text{C} \times 3600\text{s/h} \times 9\text{h/d} \times 100\text{d}$
etwa 100.000 FLOP

Ergebnis

14. November 1757: die Ergebnisse werden der Académie des Sciences präsentiert

- ▶ Vorhersage für den 15. April 1758
- ▶ Komet taucht am 13. März 1758 auf

Heute wissen wir: der Fehler kam u.a. dadurch zustande, daß Uranus und Neptun noch unentdeckt waren, aber einen Einfluß ausüben

Clairaut hat als erster mathematische Arbeit aufgeteilt und gezeigt, daß lange Berechnungen in effizient parallel berechenbare Teile zerlegt werden können



18. Jahrhundert



Parallelrechnen

- ▶ Inspiriert durch Adam Smith Schrift zum „Wohlstand der Nationen“
 - ▶ Konzept der Arbeitsteilung analysiert
- ▶ 1765: Nautical Almanach durch Nevil Maskelyne
 - ▶ 5 Computer
- ▶ 1790: Trigonometrische Tabellen durch Gaspard de Prony
 - ▶ >100 Computer



19. Jahrhundert

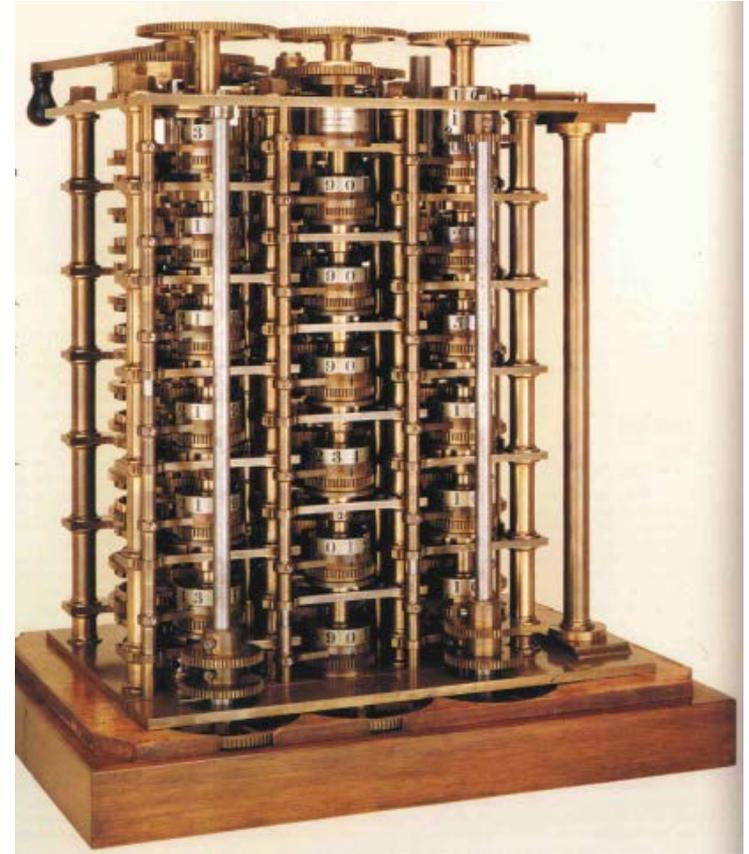
Charles Babbage: Difference Engine

On the Economy of Machinery and Manufactures (1832)

- ▶ Analyse des Industriekapitalismus

Difference Engine (1822)

- ▶ Nur Demonstrator

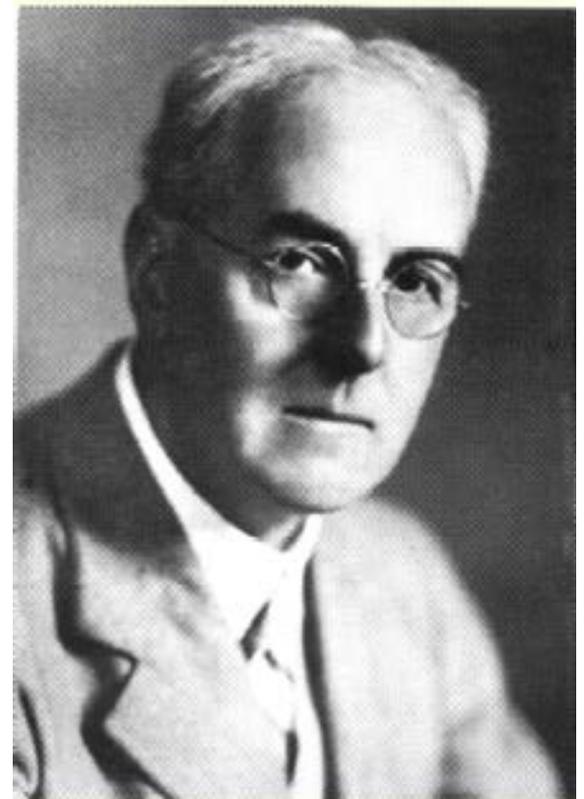




Wetter

Lewis Fry Richardson (1881-1953)

- ▶ Wetteraufzeichnungen seit ca. 1780
- ▶ Vilhelm Bjerknes fordert 1904 eine numerische Wettervorhersage, da die Wetterentwicklung physikalischen Gesetzen gehorcht
 - ▶ Kann keinen praktikablen Weg angeben
- ▶ 1922 veröffentlicht Richardson sein Buch *Weather Prediction by Numerical Process*



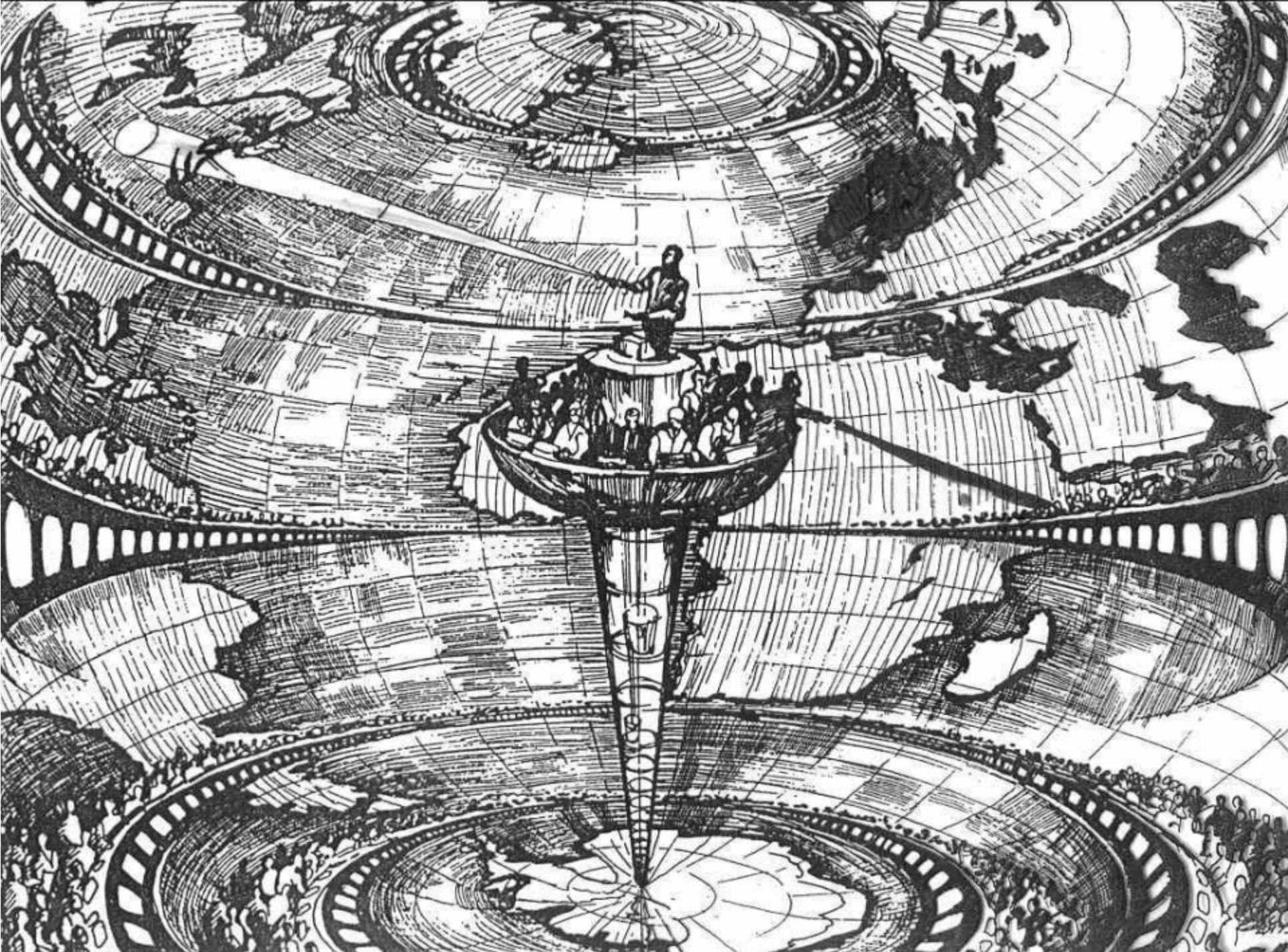
Richardsons Vision

Perhaps some day in the dim future it will be possible to advance computations faster than the weather advances and at a cost less than the saving to mankind due to the information gained

[Richardson, WPNP]

Richardsons *Forecast Factory*

- ▶ Er entwickelt Differentialgleichungen für Temperatur, Feuchtigkeit, Druck usw.
- ▶ Teilt den Globus in 2000 Felder auf, an denen diese Eigenschaften alle 3 Stunden berechnet werden sollen
- ▶ Er schätzt, dass er 32 Computer pro Feld benötigt, um die Zeitvorgabe einhalten zu können
- ▶ Insgesamt also 64.000 Computer
also 640 FLOPS



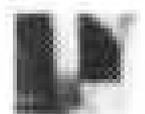
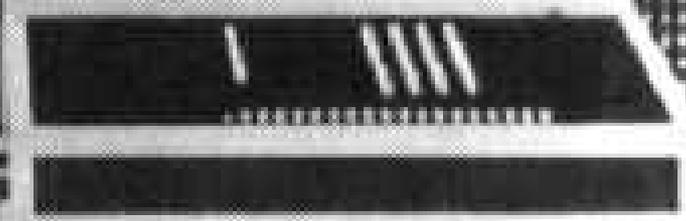
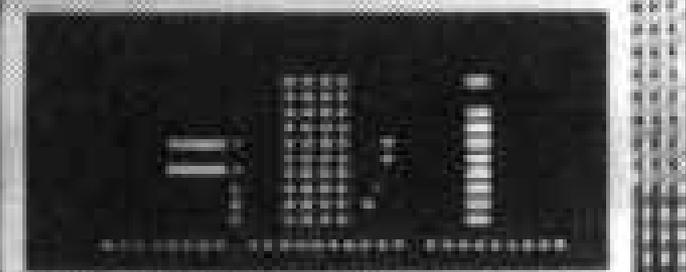
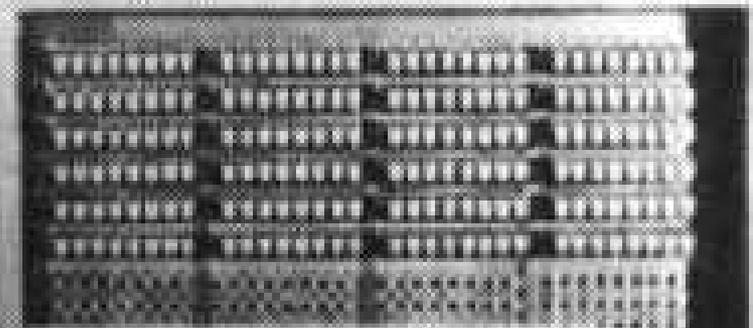
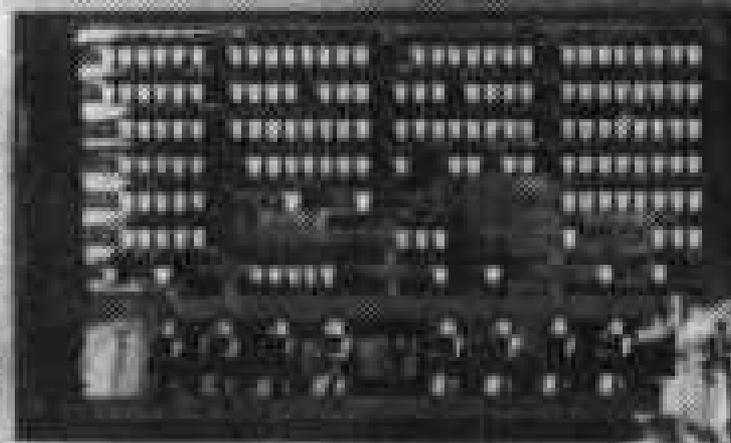
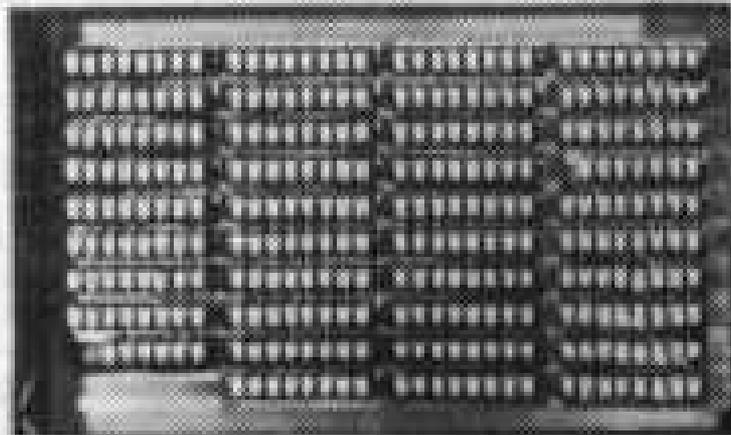


Elektrische Computer



Konrad Zuses Z3

- ▶ Konrad Zuse nimmt 1941 den ersten programmierbaren Rechner der Welt in Betrieb, die Z3
 - ▶ Den Vorläufer, die Z1, bezeichnet er als *mechanisches Gehirn*
- ▶ 2000 Relais, 5-10 Hz Taktung
- ▶ Rechenleistung ca. 0,3 FLOPS
- ▶ Anwendungsgebiet: Tragflügelberechnungen (Strömungsmechanik + Kriegsführung)

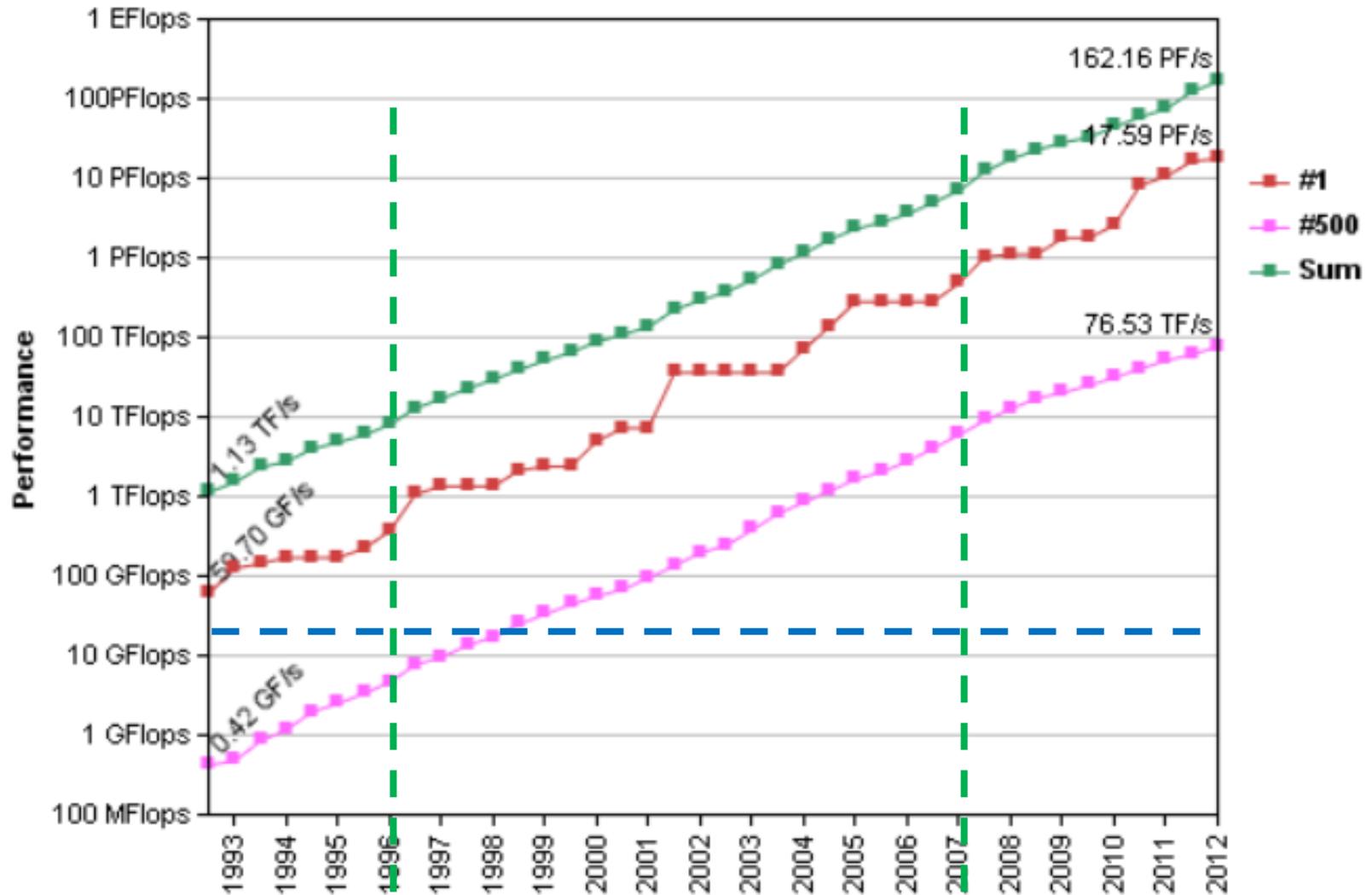


1993-2012

Die Entwicklung der Rechenleistung wird in der TOP500- Liste erfaßt

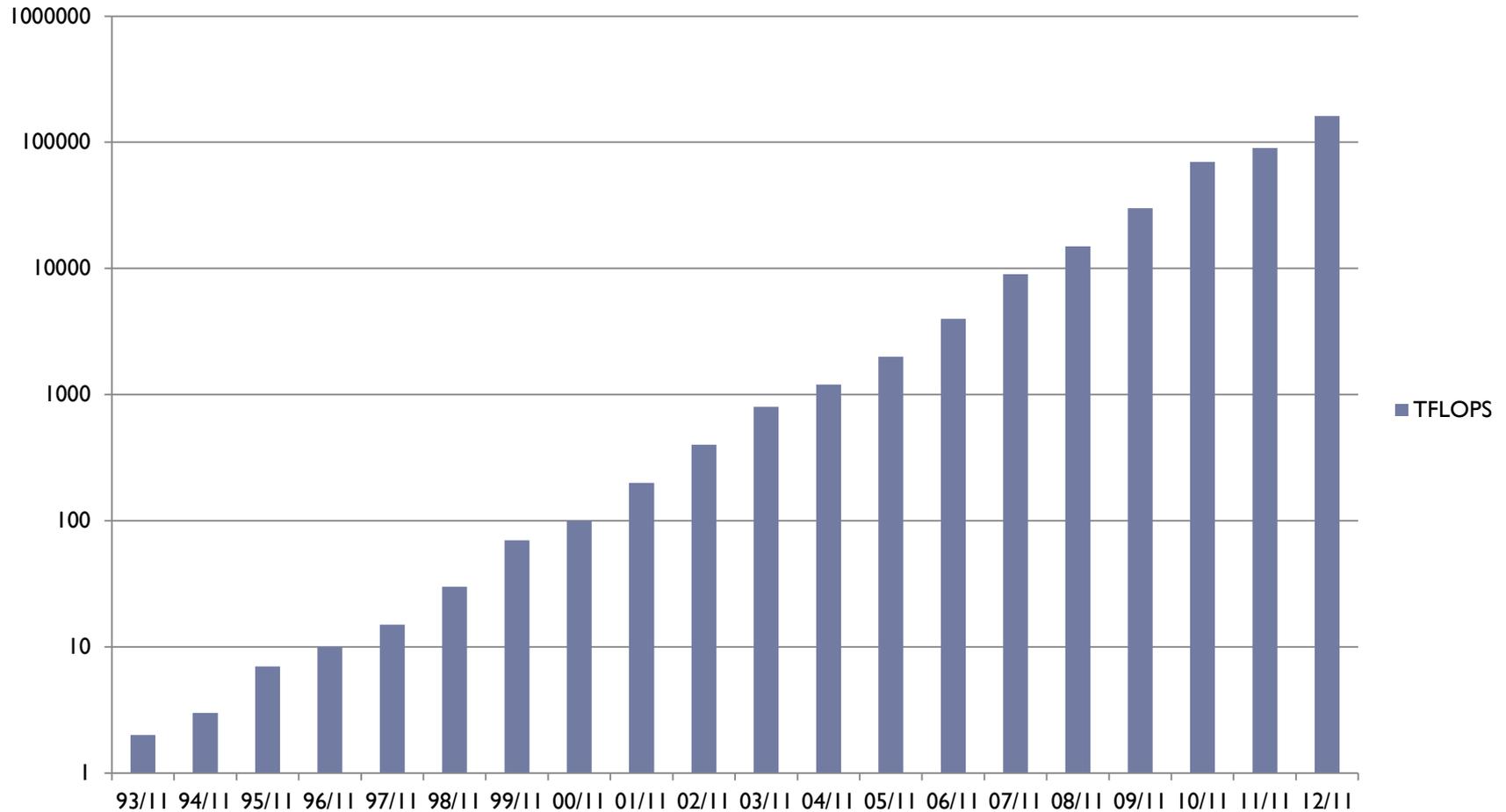
- ▶ Zweimal pro Jahr: Juni und November
- ▶ Verzeichnet die 500 weltweit leistungsstärksten Systeme

Leistungsentwicklung in 20 Jahren



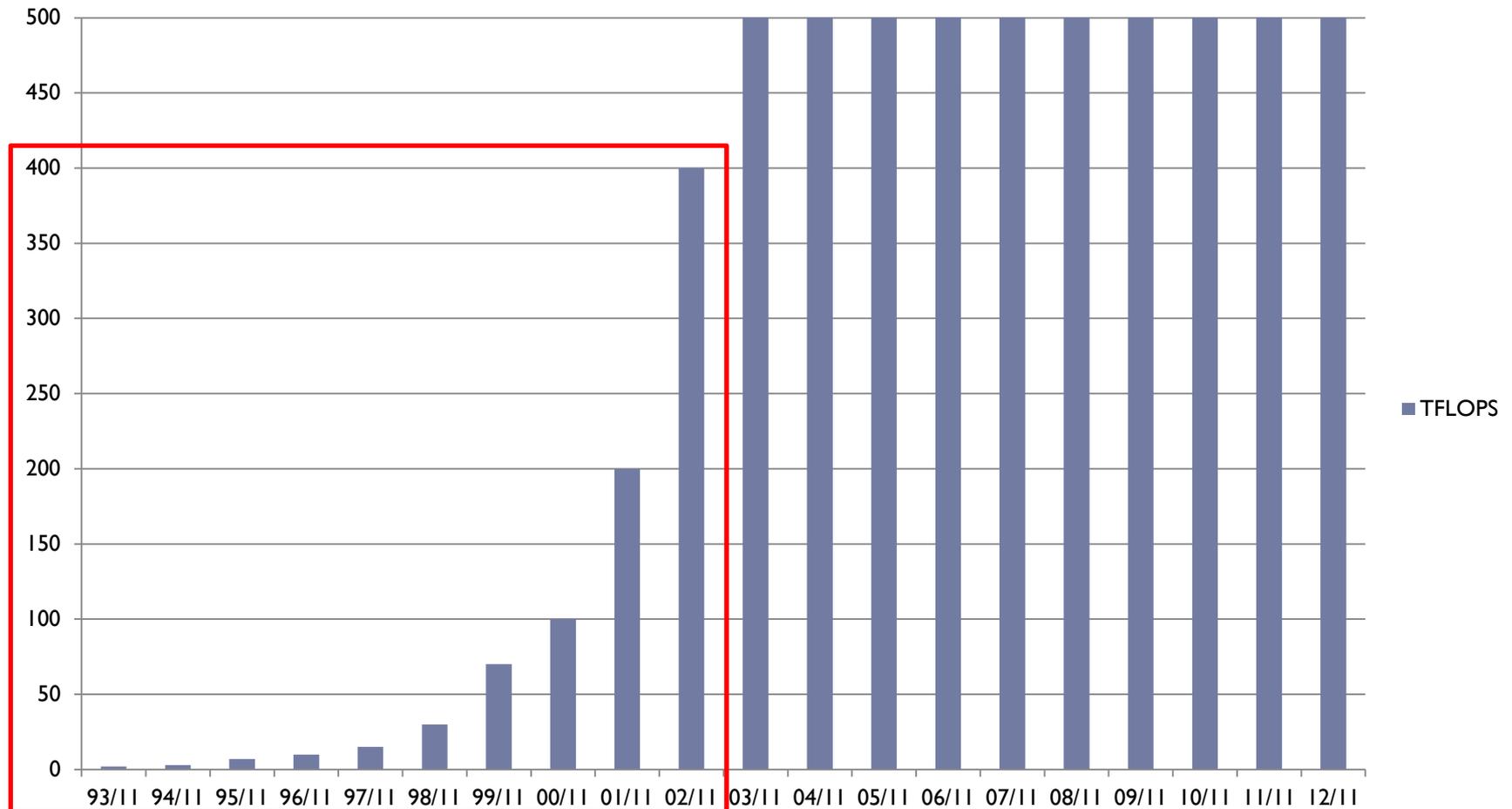
Leistungsentwicklung in 20 Jahren

TOP500 alle Systeme



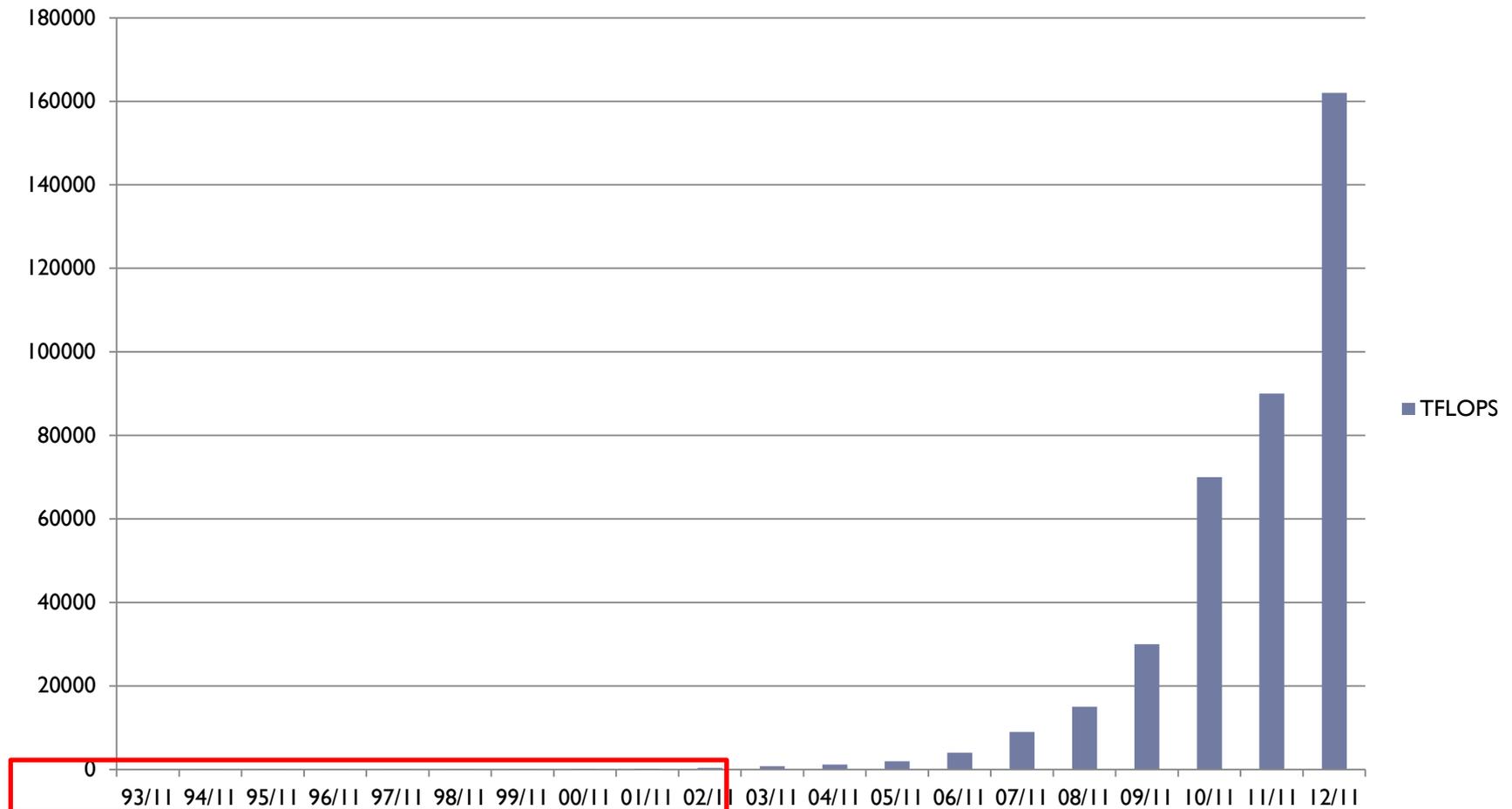
Leistungsentwicklung in 20 Jahren

TOP500 alle Systeme



Leistungsentwicklung in 20 Jahren

TOP500 alle Systeme



Leistungszuwachs 1941-2012

- ▶ Zuse Z3: 0,3 FLOPS
- ▶ TOP500 alle: 162.000.000.000.000.000 FLOPS

Faktor 5×10^{17} in 70 Jahren

Etwa Faktor 1.000 in 11 Jahren

Diese Rechenleistung wird von den Wissenschaften als dritte Säule der Erkenntnis komplett aufgebraucht

Experiment – Theorie – Simulation

TOP500 Nov. 2012

| Rank | Site | System | Cores | Rmax (TFlop/s) | Rpeak (TFlop/s) | Power (kW) |
|------|--|--|---------|-------------------|--------------------|---------------|
| 1 | DOE/SC/Oak Ridge National Laboratory United States | Titan - Cray XK7 , Opteron 6274 16C 2.200GHz, Cray Gemini interconnect, NVIDIA K20x Cray Inc. | 560640 | 17590.0 | 27112.5 | 8209 |
| 2 | DOE/NNSA/LLNL United States | Sequoia - BlueGene/Q, Power BQC 16C 1.60 GHz, Custom IBM | 1572864 | 16324.8 | 20132.7 | 7890 |
| 3 | RIKEN Advanced Institute for Computational Science (AICS) Japan | K computer , SPARC64 VIIIfx 2.0GHz, Tofu interconnect Fujitsu | 705024 | 10510.0 | 11280.4 | 12660 |
| 4 | DOE/SC/Argonne National Laboratory United States | Mira - BlueGene/Q, Power BQC 16C 1.60GHz, Custom IBM | 786432 | 8162.4 | 10066.3 | 3945 |



TOP500 Nov. 2012 / Deutschland

| Rank | Site | System | Cores | Rmax (TFlop/s) | Rpeak (TFlop/s) | Power (kW) |
|------|---|---|--------|-------------------|--------------------|---------------|
| 5 | Forschungszentrum Juelich (FZJ) Germany | JUQUEEN - BlueGene/Q, Power BQC 16C 1.600GHz, Custom Interconnect IBM | 393216 | 4141.2 | 5033.2 | 1970 |
| 6 | Leibniz Rechenzentrum Germany | SuperMUC - iDataPlex DX360M4, Xeon E5-2680 8C 2.70GHz, Infiniband FDR IBM | 147456 | 2897.0 | 3185.1 | 3422.7 |
| 27 | HWW/Universitaet Stuttgart Germany | HERMIT - Cray XE6, Opteron 6276 16C 2.30 GHz, Cray Gemini interconnect Cray Inc. | 113472 | 831.4 | 1043.9 | |
| 84 | Universitaet Frankfurt Germany | LOEWE-CSC - Supermicro Cluster, QC Opteron 2.1 GHz, ATI Radeon GPU, Infiniband Clustervision/Supermicro | 16368 | 299.3 | 508.5 | 416.8 |



MareNostrum, Barcelona (11/2004)

Gewinner
des
Schönheitswettbewerbs



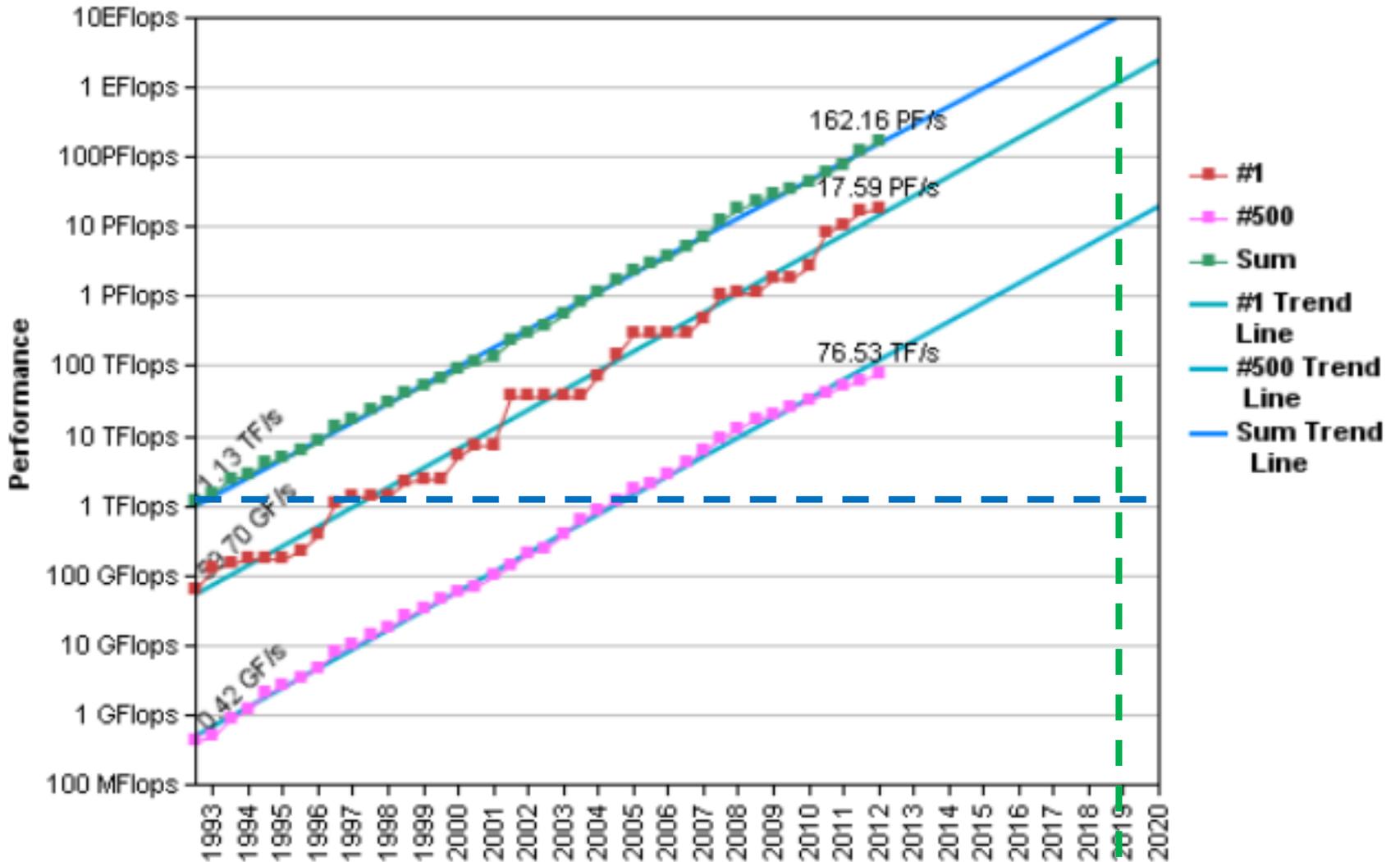




Mathematische Gesellschaft Hamburg - © Thomas Ludw.

Copyright 2005. Barcelona Supercomputing Center - BSC

Hochrechnung der Leistungsentwicklung



Exascale-Era

Exaflops-Rechner

- ▶ 2019/2020
- ▶ 1 Exaflops
- ▶ 1 Milliarde Rechnerkerne
- ▶ 32 Pbyte Hauptspeicher
- ▶ 20 M€/a für Strom

Und dann? 2030? 2040? 2050?

- ▶ Zettaflops
- ▶ Yottaflops
- ▶ ???

Anwendungsgebiete

Die üblichen Verdächtigen ...

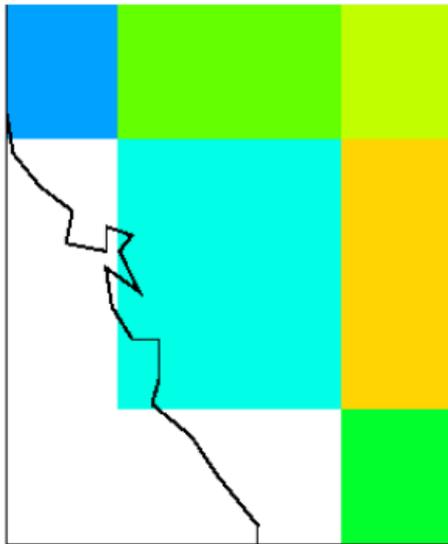
[Wenn ich einen Rechner der Leistung x hätte,
dann könnte ich endlich mal y berechnen...]

Kosmologie: Galaxiekollisionen



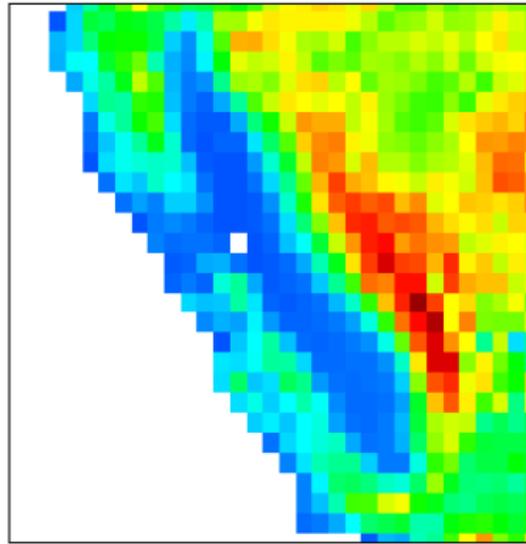
Klimaforschung: Wolkenberechnung

Endlich Cloudcomputing !



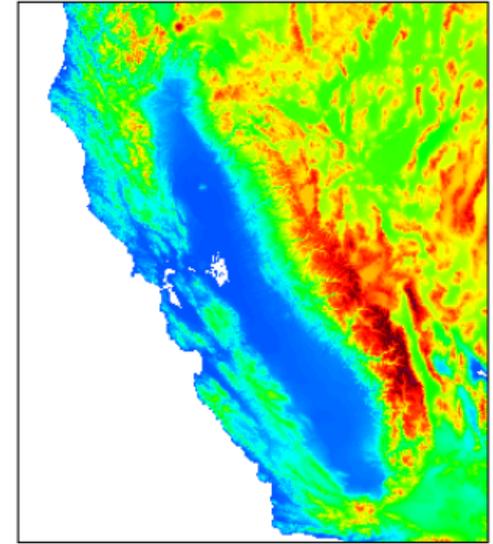
200km

Typical resolution of
IPCC AR4 models



25km

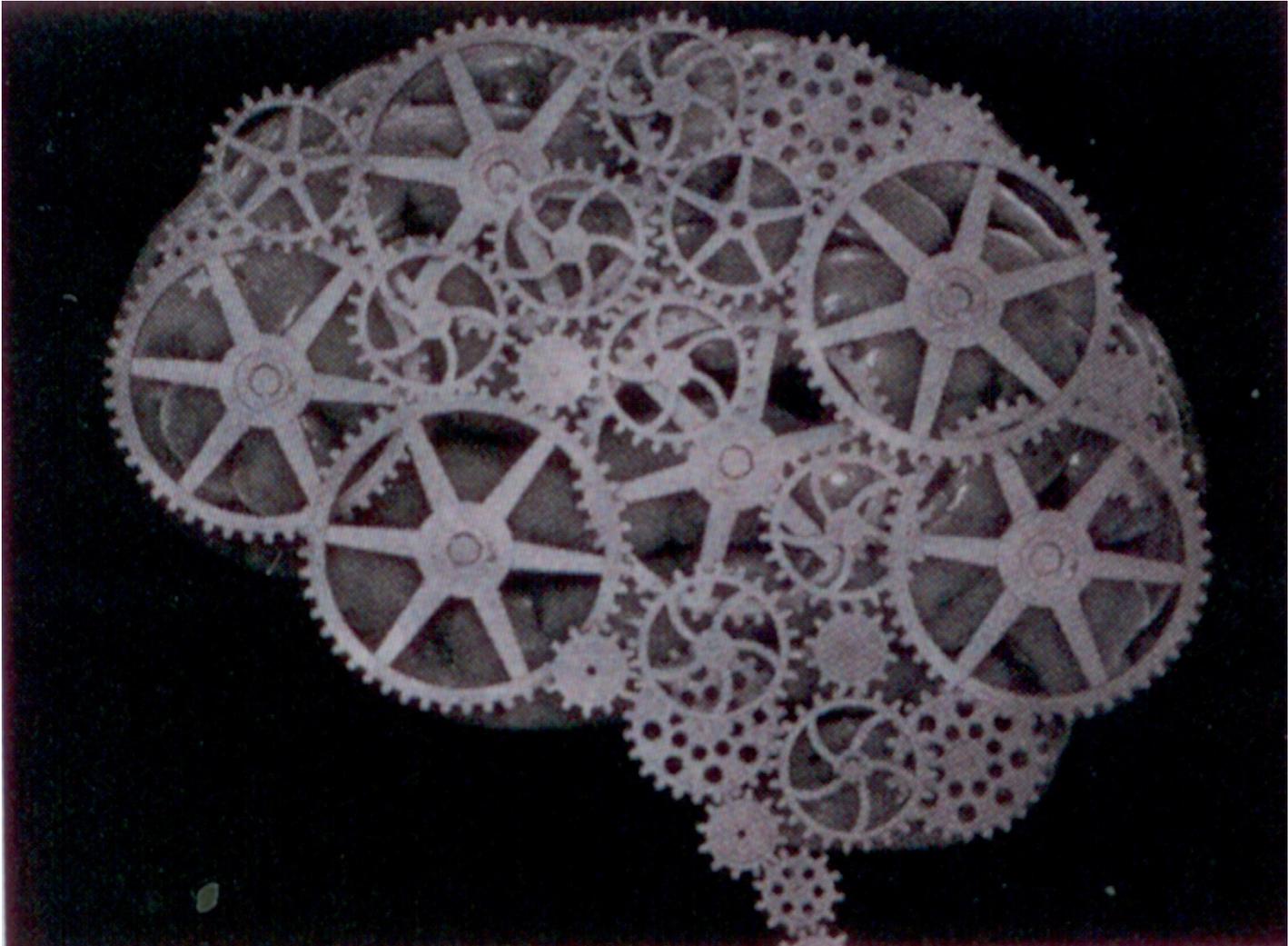
Upper limit of climate models
with cloud parameterizations



1km

Cloud system resolving models
are a transformational change

Biologie: Simulation des Gehirns







PREDIGER 1,18

**DENN:
VIEL WISSEN, VIEL ÄRGER,
WER DAS KÖNNEN MEHRT,
DER MEHRT DIE SORGE.**

[HTTP://WWW.BIBLESERVER.COM/TEXT/EU/PREDIGER1](http://www.bibleserver.com/text/EU/PREDIGER1)

