

# Kosten-Nutzen-Analyse

1. Kostenbetrachtungen
2. Nutzenbetrachtungen
3. Kosten-Nutzen-Analysen
4. Mögliche Optimierungen

# 1. Kostenbetrachtungen

TCO – total cost of ownership (Gesamtkosten)  
Summe aller Kosten über die Lebenszeit eines Systems

## Investitionskosten

- Computer-Hardware und -Software
- Rechenzentrumsgebäude
- ...

## Betriebskosten

- Wartungskosten
- Humanressourcen
- Stromkosten
- ...

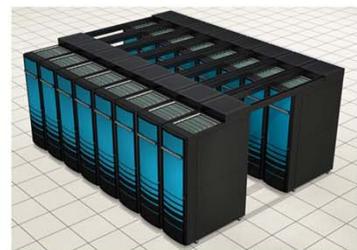
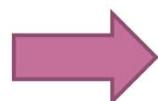
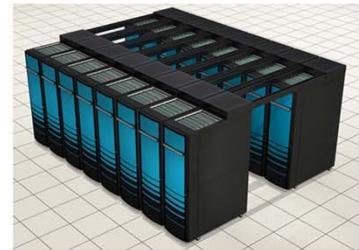
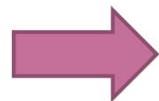
# Kosten in der Petascale-Ära

## Investitionskosten

- 2002: Earth Simulator (Yokohama): 600 M\$
- 2010: Tianhe-1A (Tjanin): 88 M\$
- 2011: K computer (Kobe): around 1 G\$
- 2011: Sequoia (Livermore): 250 M\$
- 2012: SuperMUC (Munich): 135 M€
  
- Beinhalten zum Teil das RZ-Gebäude
- Beinhalten zum Teil Stromkosten oder Kosten für ein Kraftwerk

# Kosten in der Petascale-Ära...

## Skalierbare Rechnersysteme



21.01.2015

Hochleistungsrechnen - © Thomas Ludwig

95/137

## Kosten in der Petascale-Ära...

### Betriebskosten für Strom

1 MW 24/7 für ein Jahr ergeben 8.760.000 kWh/a

0.11€/kWh ergeben 1.000.000 Euro pro Jahr

# Kosten in der Petascale-Ära...

## Betriebskosten für Strom

- 2002: Earth Simulator (Yokohama): 600 M\$
  - 3 MW → 2.5 M\$/a
- 2010: Tianhe-1A (Tjanin): 88 M\$
  - 4 MW → 3.5 M\$/a
- 2011: K computer (Kobe): etwa 1 G\$
  - 12 MW → 10 M\$/a
- 2011: Sequoia (Livermore): 250 M\$
  - 8 MW → 7 M\$/a
- 2012: SuperMUC (Munich): 135 M€
  - 3 MW → 5 M€/a

# Kosten in der Exascale-Ära

## Forschungs- und Entwicklungskosten

- Zahlreiche Exascale-Programme zum Bau eines Exaflops-Computers mit einem Exabyte-Speichersystem
- USA, Japan, Europa, China, Russland
  - Einige Milliarden Investitionen in F&E

## Geschätzte Investitionskosten

- Erster EFLOPS-Computer: 500-1000 M€

## Geforderte Betriebskostengrenze Strom

- 20 MW → 20 M€/a



## TCO für Klimaforschung am DKRZ

Insgesamt ca. 16 M€/a

- 8 M€ für Hardware
- 2,5 M€ für elektrischen Strom
- 3 M€ für Humanressourcen (Brainware)
- 1 M€ für das Gebäude (bei 25 Jahren Abschreibung)
- 0,5 M€ für Magnetbänder
- ...

## Energiekosten für DKRZ-Klimaforschung

### 5. IPCC-Statusbericht

- Deutscher Anteil nutzt ca. 30 Mio. Prozessorkernstunden
- DKRZ stellt 60 Mio. Prozessorkernstunden pro Jahr bereit
  
- D.h. Energiekosten des deutschen Beitrags zum  
5. IPCC-Bericht **ca. 1 M€**
  - **9.000.000 kWh zur Lösung** mit DKRZs Rechnersystem
  - 4.500 Tonnen CO<sub>2</sub> mit normalem deutschen Strom

Klimaforscher sollten den Klimawandel prognostizieren ...  
... nicht produzieren!

21.01.2015

Hochleistungsrechnen - © Thomas Ludwig

100/137

## Kollateralschäden durch HPC

### Stromverbrauch

1 MW 24/7 für ein Jahr ergibt 8.760.000 kWh/a  
20 MW 24/7 für ein Jahr ergibt 175.200.000 kWh/a

www.epa.gov

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY

Clean Energy

Contact Us   Search:  All EPA  This Area  Go

You are here: [EPA Home](#) » [Climate Change](#) » [Clean Energy](#) » [Clean Energy Resources](#) » [Greenhouse Gas Equivalencies Calculator](#)

## Greenhouse Gas Equivalencies Calculator

UPDATED May 2011. New NYUP sub region and national average non-baselode emissions rates updated. See the [revision history page](#) for more details.

Did you ever wonder what reducing carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions by 1 million metric tons means in everyday terms? The greenhouse gas equivalencies calculator can help you understand just that, translating abstract measurements into concrete terms you can understand, such as "equivalent to avoiding the carbon dioxide emissions of 183,000 cars annually."

This calculator may be useful in communicating your greenhouse gas reduction strategy, reduction targets, or other initiatives aimed at reducing greenhouse gas emissions.

**Other Calculators**  
There are a number of other web-based calculators that can estimate greenhouse gas emission reductions for

- individuals and households
- waste, and
- transportation.

For basic information and details on greenhouse gas emissions, visit the Emissions section of [EPA's climate change site](#).

www.epa.gov

175200000 kilowatt-hours of electricity  [? Click Here for Calculations and References](#)

**Option 2: If You Already Know the Quantity of Emissions**

If you have already estimated the quantity of emissions (e.g., metric tons of carbon dioxide or CO<sub>2</sub> equivalent), input the amount of emissions and select the appropriate units for the corresponding gas.

Amount	Unit	Gas
120,810	Metric Tons	CO <sub>2</sub> - Carbon Dioxide or CO <sub>2</sub> Equivalent*

1 kWh entspricht 0,69 kg CO<sub>2</sub>

21.01.2015 Hochleistungsrechnen - © Thomas Ludwig 103/137

www.epa.gov

## Equivalency Results

Click on the question mark ? link to read the explanation of that particular calculation

The information you entered above is equivalent to one of the following statements:

Annual greenhouse gas emissions from **23,688** passenger vehicles [?](#) (click calculation)

CO<sub>2</sub> emissions from **13,543,739** gallons of gasoline consumed [?](#)

CO<sub>2</sub> emissions from **280,954** barrels of oil consumed [?](#)

CO<sub>2</sub> emissions from **1,593** tanker trucks' worth of gasoline [?](#)

CO<sub>2</sub> emissions from the *electricity* use of **15,064** homes for one year [?](#)

21.01.2015

Hochleistungsrechnen - © Thomas Ludwig

104/137

## 2. Nutzenbetrachtungen

Hochleistungsrechnen erweitert Experiment und Theorie

Numerische Simulation – die Dritte Säule

- Numerische Simulation als Mittel der Erkenntnisgewinnung
- Unabdingbar für moderne Wissenschaft und Technik

HPC ermöglicht **wettbewerbsfähige** Wissenschaft und Technik

## HPC und Wissenschaft

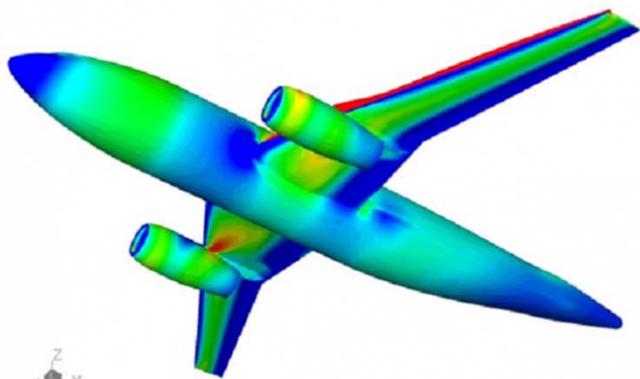
- Klima-/Erdsystemforschung
  - Verständnis der Wolkenbildung und Niederschläge
- Lebenswissenschaften
  - Verständnis des Gehirns und seine Simulation
  - Verständnis der Gene usw.
- Physik
  - Verständnis des Universums
  - Verständnis der kleinsten Bausteine
- vieles mehr ...

## HPC und Technik

- Automobilbau
  - Entwicklung effizienter Motoren
  - Optimierung von Reifen
- Flugzeugbau
  - Entwicklung sicherer und effizienter Flugzeuge
- Öl- und Gasindustrie
  - Erschließung neuer Reservoirs
- vieles mehr ...

## HPC und Technik...

Zusammenarbeit von Boing und ORNL  
(cf. <http://hpc4energy.org/hpc-road-map/success-stories/boeing/>)



21.01.2015

Hochleistungsrechnen - © Thomas Ludwig

108/137

## HPC und Technik...

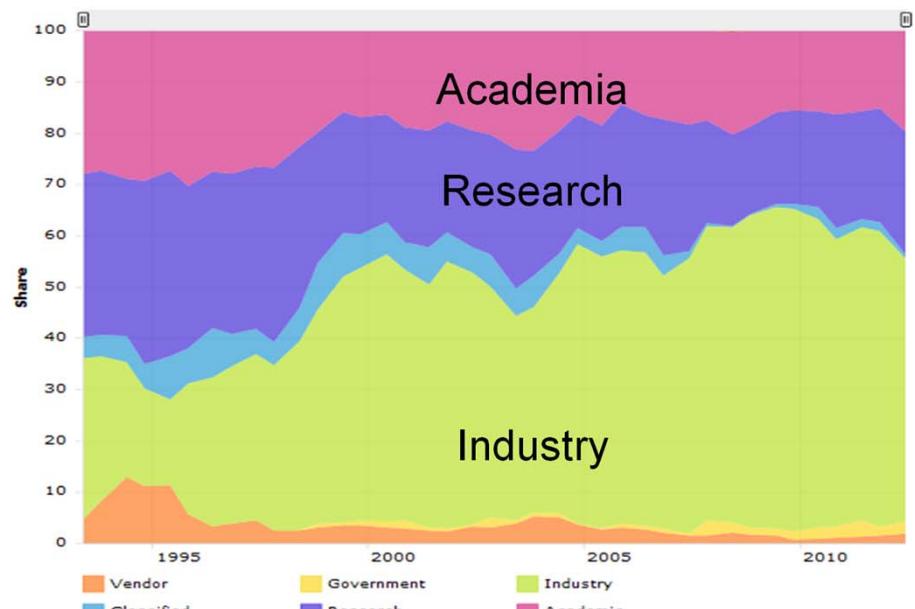
### Flugzeugdesign bei Boeing

- Modelliere Aeroelastizität
- Leichtere Verbundmaterialien für bessere Flügel
- 11 physikalische Flügeldesigns für 787 Dreamliner
  - Anstelle von 77 Flügeldesigns für 767
  - Konstruktion realer Testflügel deutlich verringert
  - Erhebliche Kosteneinsparungen!

# HPC in Wissenschaft und Technik

TOP500  
June 2012

system  
share



21.01.2015

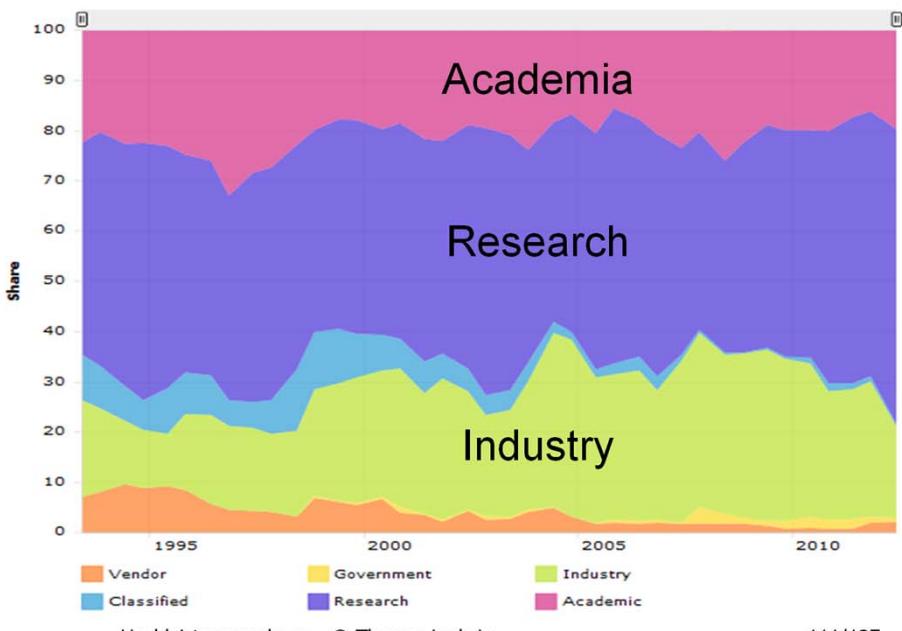
Hochleistungsrechnen - © Thomas Ludwig

110/137

# HPC in Wissenschaft und Technik...

TOP500  
June 2012

performance  
share



21.01.2015

Hochleistungsrechnen - © Thomas Ludwig

111/137

### 3. Kosten-Nutzen-Analyse

- Wie können wir die Kosten quantifizieren?
- Wie können wir den Nutzen quantifizieren?
- Wie definiert man eine Kosten-Nutzen-Relation?
  
- Was sind die möglichen Konsequenzen
  - ... für die Wissenschaft?
  - ... für die Industrie?
  - ... für die Gesellschaft?

## Beobachtung

Es gibt nicht viel systematische Forschung

Zur Beantwortung dieser Frage

tatsächlich: **nahezu keine Forschung**

Unser Ansatz hier:

- Betrachte praktische Beispiele
- Betrachte analytische Ansätze
- Betrachte mehr Beispiele ☺

## Kosten-Nutzen-Modell von Google



21.01.2015



Hochleistungsrechnen - © Thomas Ludwig

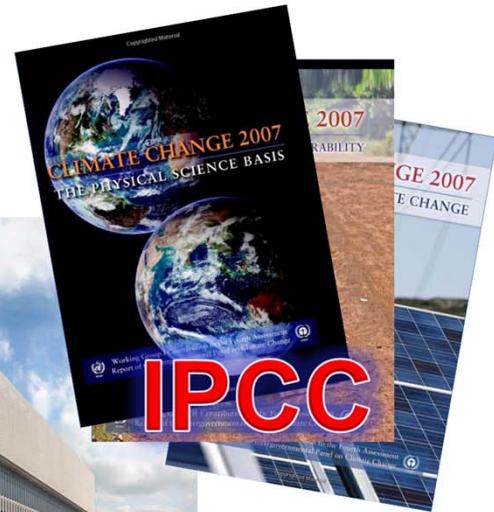
114/137

Verbrauch von 2160MW im Jahr 2010. Der Profit war sehr hoch!

## Kosten-Nutzen-Modell des DKRZ



21.01.2015



115/137

## Kosten-Nutzen-Modell des DKRZ...

TCO des DKRZ pro Jahr: etwa **16 M€**

Veröffentlichungen pro Jahr: Annahme: 100

Mittlere Kosten pro Veröffentlichung: 160.000 €

+ Kosten für Wissenschaftler ☺

Das sind Steuergelder –  
die Gesellschaft hätte gerne einen Nutzen davon

## Erster analytischer Ansatz

Suzy Tichenor (Council of Competitiveness) and  
Albert Reuther (MIT Lincoln Laboratory)

Making the Business Case for High Performance Computing: A  
Benefit-Cost Analysis Methodology  
CTWatchQuarterly, November 2006

- Aufsichtsräte der U.S. Industrie sehen HPC nur als Kostenfaktor
- Versuche also, Nutzen und Kosten in Wissenschaft und Technik zu quantifizieren
- Überzeuge die Entscheidungsträger

## Erster analytischer Ansatz...

### Maße

- benefit-cost ratio BCR (bcr = benefit / cost)  
[also: BCR = ROI / TCO]
- internal rate of return IRR (IRR=BCR-1)
  
- Benötigt eine akkurate Datenbasis
- Auswertung lief über ein Jahr

ROI – return on investment

## Erster analytischer Ansatz...

For research oriented organizations

$$\text{productivity}_{(\text{BCR})} = \frac{\text{(time saved by users on system)}}{\text{( time to parallelize )} + \text{( time to train )} + \cancel{\text{( time to teach )}} + \text{( time to administrate )} + \text{( system cost )}}$$

For industry environments

$$\text{productivity}_{(\text{BCR})} = \frac{\sum (\text{Profit gained or maintained by project})}{\text{( Cost of software )} + \text{( Training cost )} + \text{( Admin cost )} + \text{( System cost )}}$$

(cf. Jeremy Kepner, MIT Lincoln Laboratory, HPCS Productivity Team member)

## Beispielfall

MIT Lincoln Laboratory: 600-Prozessoren Cluster, 200 Nutzer, Vollkostenjahresverdienst 200.000 \$

- 36.000 Stunden Benutzerzeit eingespart
- Zeitaufwand zur Parallelisierung von 200 Benutzerprogrammen: 6.200 Stunden
- Zeit für Training: 800 Stunden
- Systemverwaltung benötigt 2.000 Stunden pro Jahr
- HPC-System kostet 500.000 \$ (äquivalent zu 5.000 Mitarbeiterstunden)

## Beispielfall...

$$BCR = \frac{[Salary] \times 36000}{[Salary] \times (6200 + 800 + 228 + 2000 + 5000)} = \frac{36000}{14028} = 2.6,$$

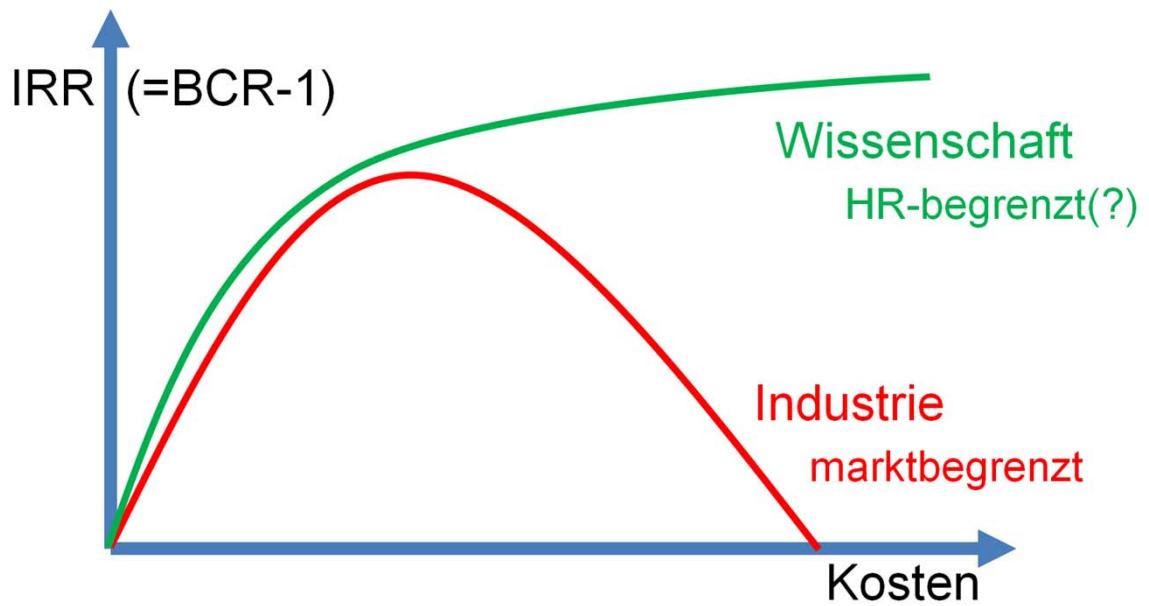
$$IRR_{\text{1year}} = BCR - 1 = 1.6 = 160\%.$$

Erspart Zeit für alle 200 Nutzer

Typischer Spruch eines Universitätskanzlers:

*"Warum Zeit sparen für Wissenschaftler – die sind ja eh da"*

## BCR-Überlegung [Ludwig]



## Zweiter analytischer Ansatz

Amy Apon (University of Arkansas),  
Stan Ahalt (University of North Carolina) et al.

High Performance Computing Instrumentation and Research  
Productivity in U.S. Universities

Journal of Information Technology Impact, Vol. 10/2, 2010

- Forschungsinstitute mit leistungsfähigen HPC-Systemen sind erfolgreicher mit ihrer Forschung
- Ergebnisse sind statistisch und ökonomisch signifikant

## Zweiter analytischer Ansatz...

Apon/Ahalt studieren die folgenden Variablen

- dRankSum      Summe der abgeleiteten Ränge (500...1)
- Counts          #Listen mit dieser Institution
- NSF            Summe NSF-Förderung
- Pubs           Summe der Veröffentlichungen
- FF              Summe der Bundesförderung
- DOE            Summe der DOE-Förderung
- DOD            Summe der DOD-Förderung
- NIH            Summe der NIH-Förderung
- USNews        Rang in US News und World Report

## Korrelationsanalyse

	Counts	NSF	Pubs	All Fed	DOE	DOD	NIH	USNews
dRankSum	0.8198	0.6545	0.2643	0.2566	0.2339	0.1418	0.1194	-0.243
Counts		0.6746	0.4088	0.3601	0.3486	0.1931	0.2022	-0.339
NSF			0.7123	0.6542	0.5439	0.2685	0.4830	-0.540
Pubs				0.8665	0.4846	0.3960	0.8218	-0.588
All Fed					0.4695	0.6836	0.9149	-0.543
DOE						0.1959	0.3763	-0.384
DOD							0.4691	-0.252
NIH								-0.500

cf. slides by Apon, Ahalt on “Investment in High Performance Computing”

21.01.2015

Hochleistungsrechnen - © Thomas Ludwig

125/137

dRankSum und Counts haben starke Korrelation mit Höhe der NSF-Förderung (0,6545 and 0,6746), d.h. dies belegt die Hypothese

NSF-Förderung und Publikationen haben höhere Korrelationen mit Counts als mit dRankSum, d.h. eine konstante Investition bringt mehr als ein einzelner hoher Rang

Hohe negative Korrelation mit USNews, weil “1” der beste Platz ist; zeigt dass Publikation sehr wichtig sind

## Nebenbemerkung zur wissensch. Methode

Die Forschung von Apon/Ahal ist ein typisches Beispiel für datengetriebene Wissenschaft – noch nicht datenintensiv

- „The Fourth Paradigm“
- Kombiniere existierende Daten und gelange zu neuen Einsichten
- Würde ich Forschung auf zweiter Ebene nennen
- Wir werden viel mehr davon zu sehen bekommen

## Kosten-Nutzen-Analyse

Zwei weitere Beispiele...

21.01.2015

Hochleistungsrechnen - © Thomas Ludwig

127/137

## Higgs Boson alias Gottesteilchen

- Der Bau des Large Hadron Collider (LHC) kostete ca. 4 Milliarden Euro
- Stromkosten pro Jahr ca. 18 Millionen Euro
- Gesamtbudget zum Betrieb pro Jahr ca. 800 Millionen Euro

**Gesamtkosten zum Finden des Higgs Boson  
11 Milliarden Euro**

# Was haben die Römer Physiker je für uns getan?

21.01.2015

Hochleistungsrechnen - © Thomas Ludwig

129/137

Galaxiekollision ☺

## 4. Mögliche Optimierungen

### Beobachtungen

- Meist entscheiden Politiker über Geldmittel
- Nutzen des Hochleistungsrechnens ist immer sehr hoch
  - Fast schon so nötig, wie ein Computer überhaupt

### Frage

- Können wir die finanziellen Ressourcen effizienter einsetzen, um einen höheren Nutzen zu haben?

## Wie erhöhen wir den BCR-Wert?

### Genereller Ansatz

- Erhöhe Nutzen und/oder **verringere Kosten**

### Im Detail

- Investiere in Humanressourcen
- Optimiere Programme (sequentielle und parallele)
- Verbessere die Leistung der Anwendungen
- Erhöhe somit die wissenschaftliche Produktivität

Hardware, Software, Brainware

## Wie messen wir das?

Im Detail: **verschiebe Ausgaben, verringere Kosten**

- Investiere in Humanressourcen
- Optimiere Programme (sequentielle und parallele)
  - Kosten gemessen in Gehalt pro Personenmonat
- Verbessere die Leistung der Anwendungen
  - Einsparungen durch Zeitgewinn und Energieeinsparung
- Erhöhe somit die wissenschaftliche Produktivität
  - Mehr Wissenschaft bei selbem Budget

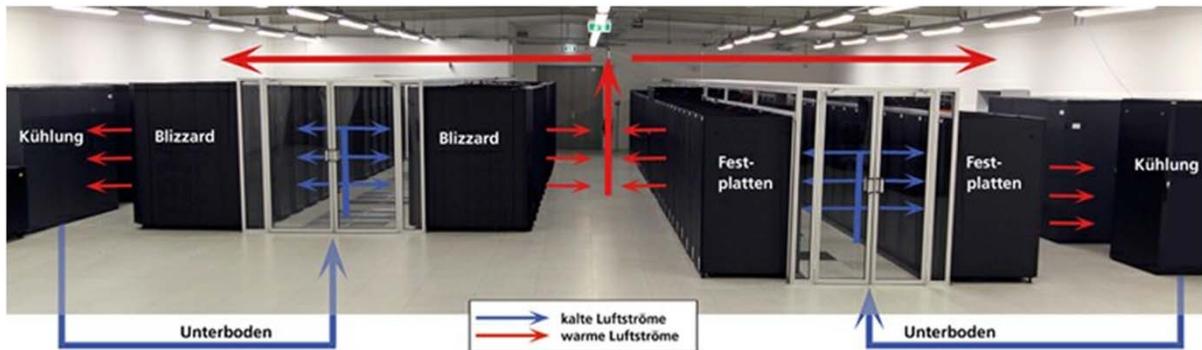
## Fiktives Beispiel Klimaforschung

### Beispiel: Produktionsläufe IPCC AR5

- Zur Erinnerung
  - Energiekosten des deutschen IPCC-Beitrags: ca. 1 M€
  - 9.000.000 kWh zur Lösung** mit DKRZ-System
  - 4.500.000 kg CO<sub>2</sub> mit regulärer deutscher Elektrizität
- Ansatz: optimiere Programm um 10% Laufzeit
  - Erspart 900.000 kWh
  - Erspart 100.000 € (ist ein Personenjahr)
  - Erspart 450 t CO<sub>2</sub>

## Reales Beispiel DKRZ

- Blizzard+Plattensystem 1,5 MW
- Kühlungssystem früher 0,45 MW
- Einhausung für ca. 100 T€ gekauft



- Spart im Jahr 100 T€ Strom und 425 t CO<sub>2</sub>

21.01.2015

Hochleistungsrechnen - © Thomas Ludwig

134/137

Siehe:

- <https://www.dkrz.de/about/kontakt/presse/aktuell/archiv-2013/energieeffizienz>

## Reales Beispiel HECToR

HECToR ist der UK National Supercomputing Service

- dCSE hat die Aufgabe, den Nutzern bei der Verbesserung ihrer Codes zu helfen
- Veröffentlichen viele Erfolgsgeschichten mit Quantifizierungen

Z.B.

- Ozeancode NEMO: höhere Geschwindigkeit und E/A
  - 6 PM Aufwand, spart 96 K£ pro Jahr
- Wichtiger Code der Materialwissenschaften CASTEP:  
4x schneller, 4x besser skalierbar
  - 8 PM Aufwand, spart 320 K£ - 480 K£ pro Jahr
- Plus: weniger Energieverbrauch pro Anwendung

## Schlussfolgerungen

### **Investiere in Personal !**

Wir benötigen mehr Spezialisten für HPC

- Code-Entwicklung
  - Höhere Qualität
- Code-Optimierung
  - Schneller, skalierbarer, energieeffizienter
- Rechenzentren
  - Energieeffizienter
- Viele andere Dinge...

## Kosten-Nutzen-Analyse

### Zusammenfassung

- Die Kosten für HPC sind sehr hoch
- Der Nutzen von HPC in Wissenschaft und Technik ist gewaltig!
- Kosten lassen sich relativ einfach quantifizieren
- Nutzen lässt sich sehr schwer quantifizieren
- Nutzen-Kosten-Relation lässt sich optimieren, indem man die Kosten verringert und/oder den Nutzen steigert
- Die Investition in Humanressourcen (Brainware) kann nachweislich die Nutzen-Kosten-Relation verbessern

21.01.2015

Hochleistungsrechnen - © Thomas Ludwig

137/137

## Kosten-Nutzen-Analyse

### Die zehn wichtigsten Fragen

- Benennen Sie ungefähre Kosten großer Rechnersysteme bzgl. Investitionen und Energieverbrauch
- Wie ist der ökologische Fussabdruck solcher Systeme?
- Mit welchen Maßen erfasst man wissenschaftliche Leistungen?
- Welche Zusammenhänge gibt es zwischen der Verfügbarkeit von HPC-Systemen und solcherart gemessenen Leistungswerten?
- Nennen sie Beispiele zur Verbesserung der Nutzen-Kosten-Relation bei HPC-basierter Wissenschaft
- Welche Änderung beim Einsatz finanzieller Mittel ist erfolgversprechend?