



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

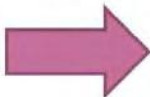
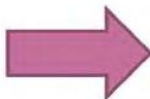
Investitionskosten

- 2002: Earth Simulator (Yokohama): 600 M\$
- 2010: Tianhe-1A (Tjanin): 88 M\$
- 2011: K computer (Kobe): etwa 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





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 M€ für elektrischen Strom
- 3,5 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 stellte 60 Mio. Prozessorkernstunden pro Jahr bereit
 - IBM Power6 „Blizzard“ mit 8.500 Rechnerkernen
- 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 CO₂ mit normalem deutschen Strom

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

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



Clean Energy



[Contact Us](#)

Search: ☐ All EPA ☒ This Area

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-baseload emissions rates updated. See the [revision history page](#) for more details.

Did you ever wonder what reducing carbon dioxide (CO₂) 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](#). 350

Clean Energy Home

Basic Information

Energy and You

Clean Energy
Programs

Clean Energy
Resources

Site Map

175200000

kilowatt-hours of electricity ▼

Calculate Equivalent

[? 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), you can input the amount of emissions and select the appropriate units for the corresponding gas.

Amount

Unit

Gas

120,810

Metric Tons ▼

CO₂

[Carbon Dioxide or CO₂ Equivalent*](#)

1 kWh entspricht 0,69 kg CO₂

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](#))

CO₂ emissions from 13,543,739 gallons of gasoline consumed ?

CO₂ emissions from 280,954 barrels of oil consumed ?

CO₂ emissions from 1,593 tanker trucks' worth of gasoline ?

CO₂ emissions from the electricity use of 15,064 homes for one year ?



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



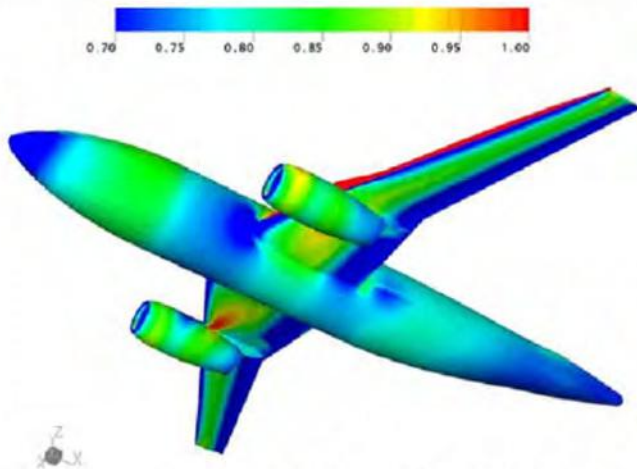
HPC und Wissenschaft

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

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

Zusammenarbeit von Boing und ORNL

(cf. <http://hpc4energy.org/hpc-road-map/success-stories/boeing/>)



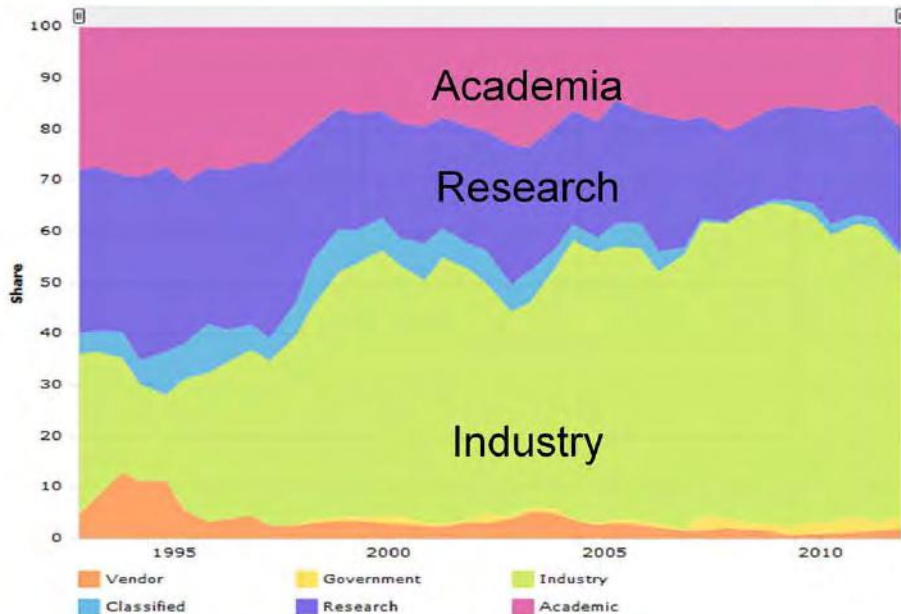
Flugzeugdesign bei Boeing

- 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

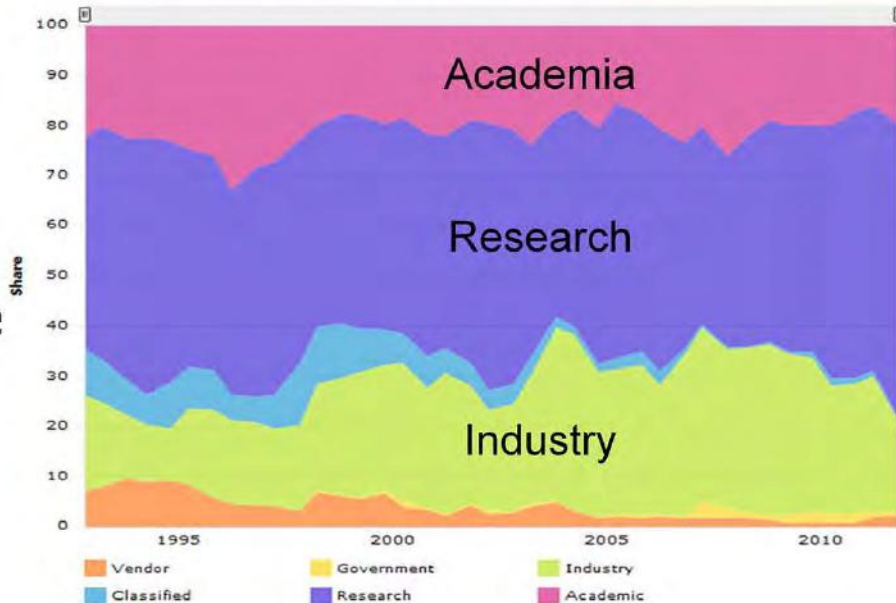
system
share



HPC in Wissenschaft und Technik...

TOP500
June 2012

performance
share





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?

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



17.10.2017

Hochleistungsrechnen - © Thomas Ludwig

362

Kosten-Nutzen-Modell des DKRZ



17.10.2017



Hochleistungsrechnen • © Thomas Ludwig



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

Erster analytischer Ansatz...

For research oriented organizations

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

For industry environments

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

(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...

$$BCR = \frac{[Salary] \times 36000}{[Salary] \times (6200 + 800 + 27.8 + 2000 + 5000)} = \frac{36000}{14028} = 2.6,$$

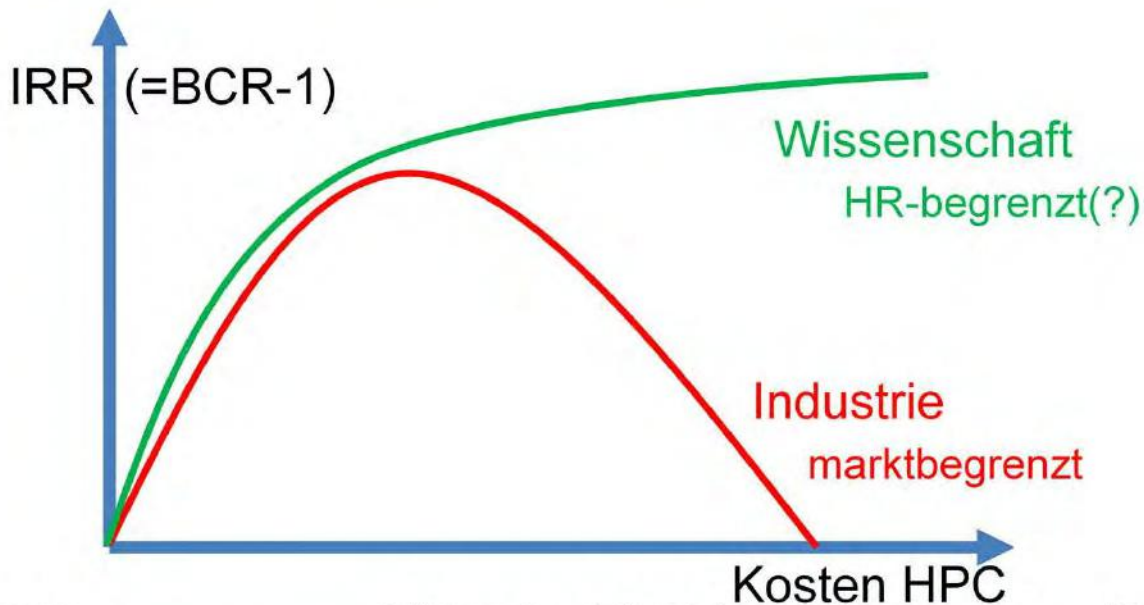
$$IRR_{1year} = BCR - 1 = 1.6 = 160\%.$$

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”



Nebenbemerkung zur wissenschaftl. Methode

Die Forschung von Apon/Ahalt 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

Zwei weitere Beispiele...



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?



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
- Optimierte 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
- Optimierte 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**

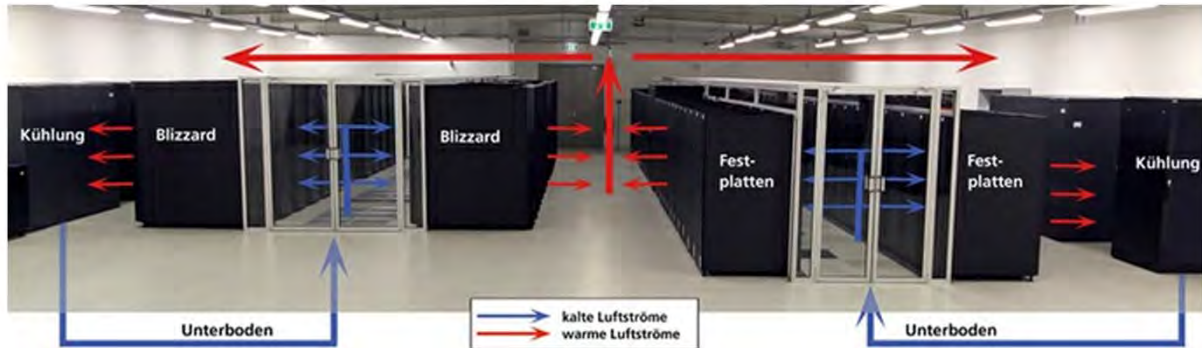
Fiktives Beispiel Klimaforschung

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 CO₂ mit regulärer deutscher Elektrizität
- Ansatz: optimiere Programm um 10% Laufzeit
 - Erspart 900.000 kWh
 - Erspart 100.000 € (ist ein Personenjahr)
 - Erspart 450 t CO₂

Reales Beispiel DKRZ (2012)

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



- Spart im Jahr 100 T€ Strom und 425 t CO₂

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

Investiere in Personal !

Wir benötigen mehr Spezialisten für HPC

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

- 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

Kosten-Nutzen-Analyse

Die 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?