

Der CO₂-Fußabdruck von PCs

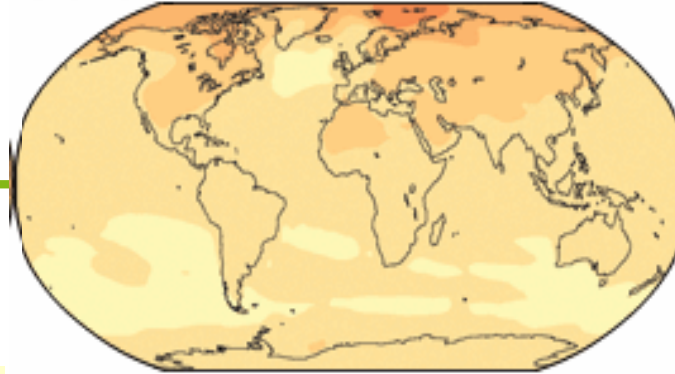
Peter Marwedel
Informatik 12
TU Dortmund

2012/04/19

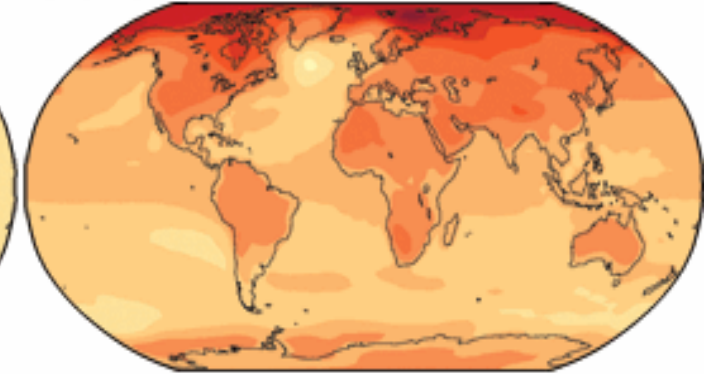
Vorhersage der globalen Erwärmung

„Projected future regional patterns of warming based on three emissions scenarios (low, medium, and high growth). Source: NASA Earth Observatory, based on IPCC Fourth Assessment Report (2007)“
[<http://www.epa.gov/climate-change/science/futurec.html>]

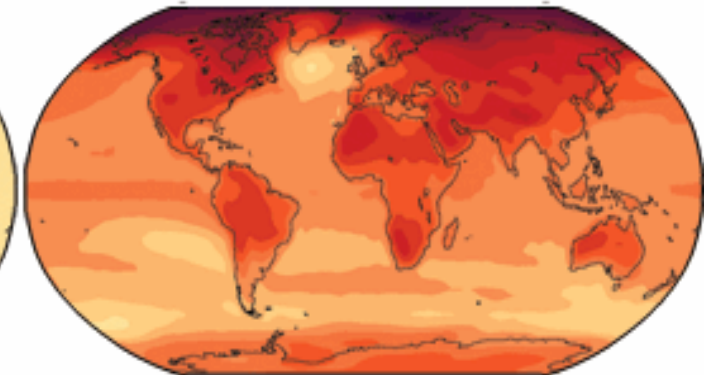
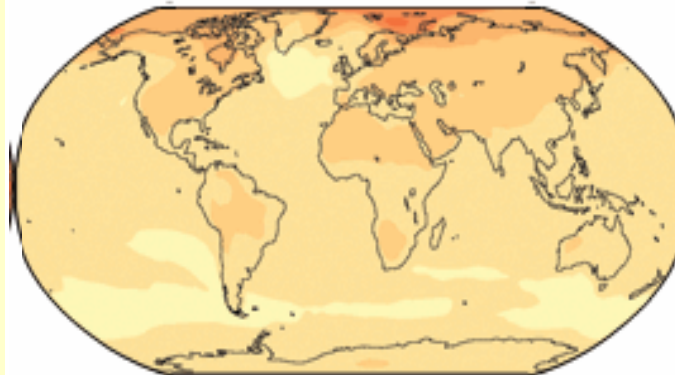
2020-2029



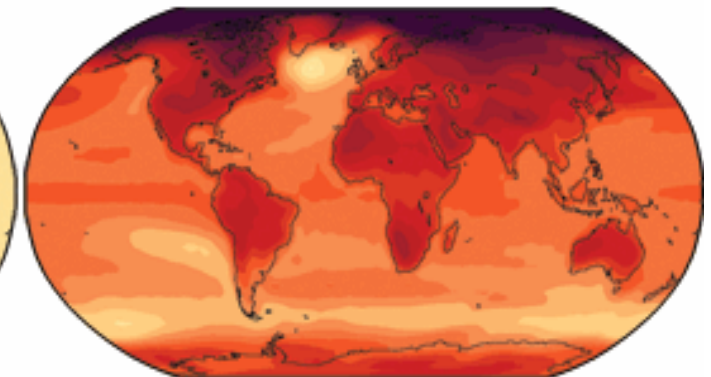
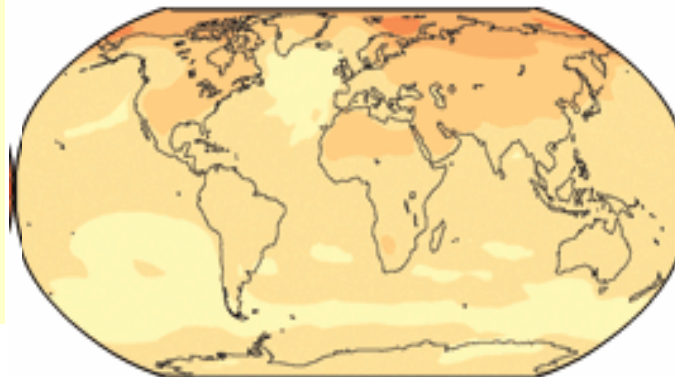
2090-2099



low growth (B1)



moderate growth (A1B)



high growth (A2)

Surface Temperature Change (°C)



IT-Betrieb als Verursacher von CO₂-Ausstoss

- Gartner: 2 % der CO₂-Emissionen entfallen auf den IT-Betrieb,
 - davon 23 % in Rechenzentren
 - und 40% durch den Betrieb von PC's und Monitoren.

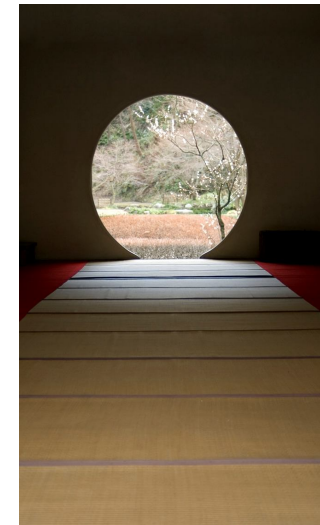
[<http://www.heise.de/newsticker/meldung/97276>].

- Environmental Protection Agency (EPA):
Die Energieeffizienz von Servern im Alltagsbetrieb sollte überhaupt erst einmal regelmäßig und standardisiert erfasst werden.

[Report to Congress on Server and Data Center Energy Efficiency Public Law 109-431, U.S. EPA ENERGY STAR Program, August 2007]

Ergebnisse

- ☞ Erkenntnis, dass bisherige Betrachtungen der Konsequenzen häufig nur isolierte Ausschnitte betrachtet haben (z.B. Fokussierung auf das Rechenzentrum, s. *Green Computing*)
- ☞ Versuch einer globaleren Modellrechnung (s. *Life-cycle assessment (LCA) – ISO 14040*)
- Hier nur **Energie**betrachtung; keine Umrechnung von nicht-CO₂-Gasen, die bei der Produktion/Nutzung/Entsorgung freigesetzt werden; Rechnung auf *Energiebasis*, weil die Umrechnung Energie/CO₂ unsicher ist und für die größten Anteile Energiewerte bekannt sind.



© Microsoft cliparts

Einfluss der IT auf die CO₂-Produktion

Umfassende Betrachtung



- Verbrauch
 - Fertigung
 - Transport
 - Betrieb
 - Entsorgung
- und Verbrauchs**reduktion**
 - Konstruktion effizienter Systeme
 - Betrieb effizienter Systeme
 - Energieproduktion und –verteilung
 - Niedrigenergiehäuser
 - ...

Energieaufwand bei der Herstellung von PCs (1)

- Energieaufwand für Herstellung eines PCs mit Röhrenmonitor:
 - 1500 kWh (*nur Produktionsprozess, ohne Transport verschiedener Stoffe*; ☞ ca. 1,2 t CO₂ bei 800 g CO₂/kWh)

[R. Kühr und E. Williams: Computer and the Environment – Understanding and Managing their Impacts, Kluwer, 2003] („Standardreferenz“)

- 1770 kWh (ohne „*bulk materials*“)

[E. Williams: Energy Intensity of Computer Manufacturing: Hybrid Assessment Combining Process and Economic Input-Output Methods, *Environ. Sci. Technology*, 2004, S. 6166-6174

- Mit Transportprozessen etc.: ~ 3000 kWh laut M. Kuhndt vom Wuppertal Institut für Umwelt, Klima und Technologie.

[<http://www.spiegel.de/netzwelt/tech/0,1518,538102,00.html>]

Produktion von TFT-Displays

- Geringerer Energieeinsatz bei Produktion, aber hoher Beitrag zur Erwärmung durch Einsatz von SF₆.

Maria Leet Socolof et al.: Environmental life-cycle impacts of CRT and LCD desktop computer displays, *Journal of Cleaner Production* 13 (2005) S. 1281-1294

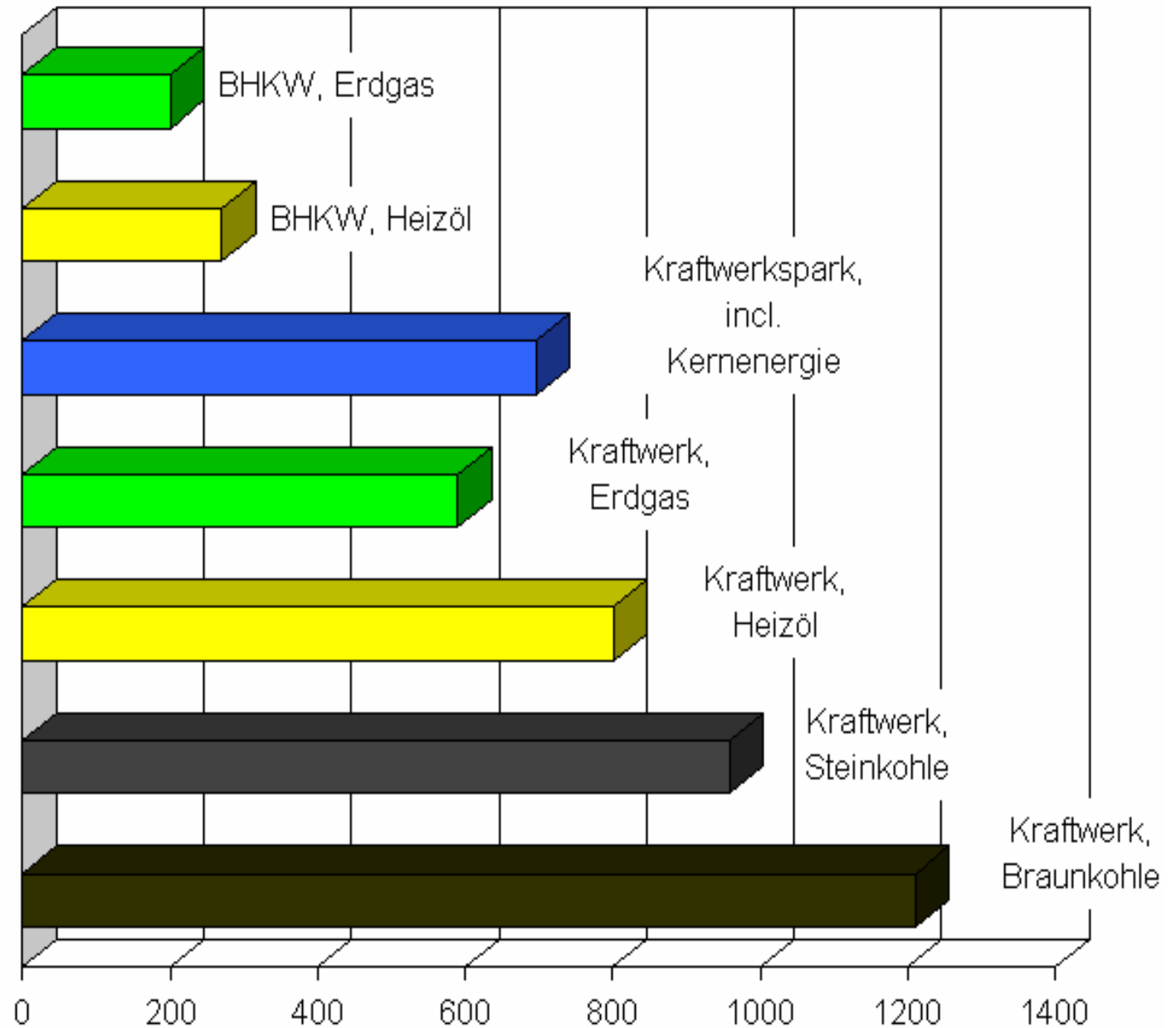
- Apple 24“ LED-Monitor: 382 kg CO₂ Äquivalent

<http://images.apple.com/environment/reports/docs/LED-Cinema-Display-Environmental-Report-20091120.pdf>

☞ 477 kWh (bei Annahme eines Wertes von 800 g CO₂/KWh)

Glizie GmbH http://www.bhkws.de/bhkw_co2.htm

CO₂- Emissionen bei der Strom- erzeugung [g/kWh_{el}]



Glizie GmbH
[http://www.bhkws.de/
 bhkws_co2.htm](http://www.bhkws.de/bhkws_co2.htm)

Transport von PCs

- (See-) Schiff: 1 kg CO₂ / 100 t km (Tonnenkilometer)
≅ 1,25 kWh/100 t km (bei 800 g/KWh)

http://www.worldshipping.org/pdf/liner_shipping_carbon_emissions_policy_presentation.pdf

- Flugzeug (Cargo B747) 50 kg CO₂ / 100 t km
≅ 62,5 kWh/100 t km

<http://www.fluglaerm.de/hamburg/klima.htm> auf der Basis von Lufthansa-Angaben

- Zum Vergleich: Rheinschiff, Mittelrheinstrecke, beladen **zu Berg**:
1 l Diesel / 100 t km (☞ ca. 3,25 kWh /100 t km)

Matthias Marwedel: Persönliche Kommunikation

Energieaufwand beim PC-Transport aus Asien

■ Annahmen PC/Schiff:

- 20 kg pro (PC+Monitor) und Verpackung
- 12.000 km Transportweg, Schiff
- 1,25 kWh/100 t km

☞ 3 kWh

■ Annahmen Laptop/Schiff:

- 4 kg pro Laptop und Verpackung

☞ 0,6 kWh

■ Annahmen Laptop/Flugzeug:

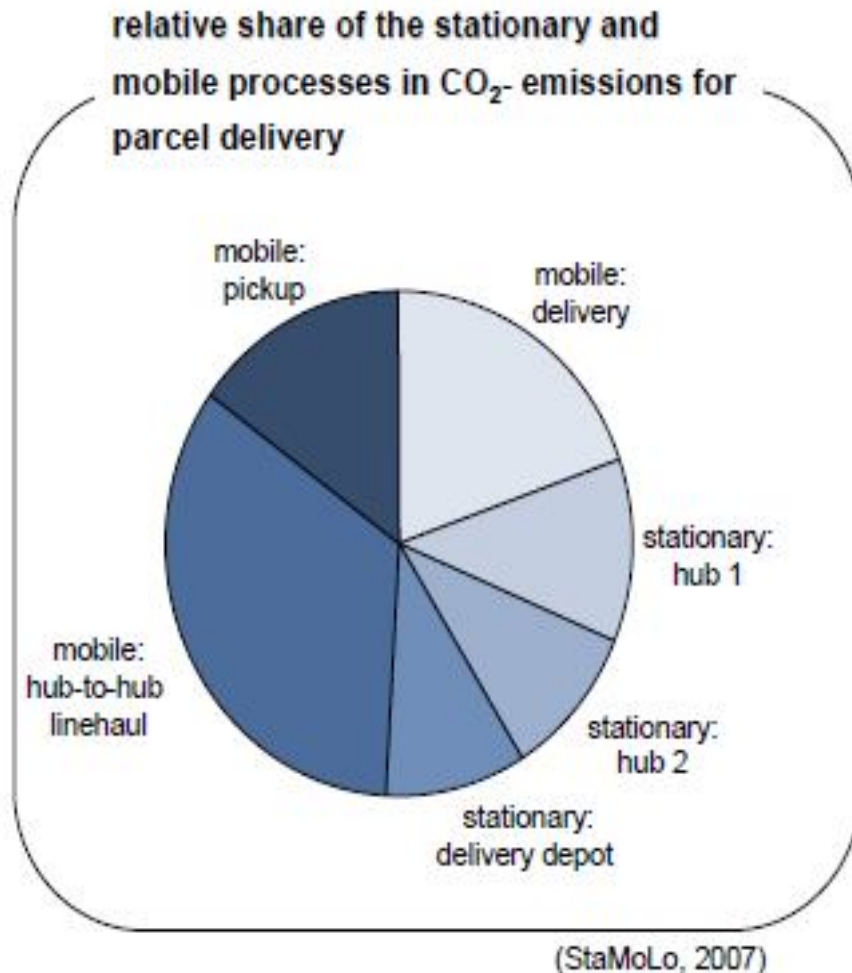
- 4 kg pro Laptop und Verpackung
- 10.000 km Transportweg, Flugzeug
- 62,5 kWh/100 t km

☞ 25 kWh

Jeweils aus CO₂-
Eintrag
umgerechnet

- Apple 24“-Monitor:
48,75 kWh

CO₂-Eintrag beim Paket-Transport



* $\approx 0,75-0,875$ kWh

Figure 2. Relative share in CO₂-emissions and costs for DHL parcel delivery in Germany

„Mobile and stationary processes combined cause CO₂-emission of approx. 0.6 – 0.7 kg per parcel on average (Deutsche Post World Net, 2007). This corresponds to around 0.25 litres of diesel.“*

Clausen et al.: Measures to abate green house gas emissions in logistics companies, <http://www.stamolo.de>

Betrieb von IT-Geräten

- PC: 95 W

Energy Star 4.0: Desktop-PC Klasse C im *idle*-Modus

- 17" TFT-Monitor: 25 W

- Laptop: 30 W (MSI 12" Laptop)

[Malte Marwedel,
gemessen, persönliche
Kommunikation]

- Apple 24" LED-TFT-Monitor: 57-81.2 W (an 220 V)

<http://images.apple.com/environment/reports/docs/LED-Cinema-Display-Environmental-Report-20091120.pdf>

- Netzwerk-Infrastruktur: unberücksichtigt;
aber: Tendenz zunehmend.

Energieaufwand beim Betrieb von Geräten

- Annahme: 1800 Stunden / a (Arbeitszeit gemäß ECTS)
- Annahme: Gerätenutzung von 4 Jahren
- Annahme PC:
 - 95 W PC (nur *idle*-Modus gerechnet)
 - 25 W Bildschirm
- ☞ 864 kWh
- Annahme Laptop:
 - 30 W Laptop
 - 25 W Bildschirm
- ☞ 396 kWh

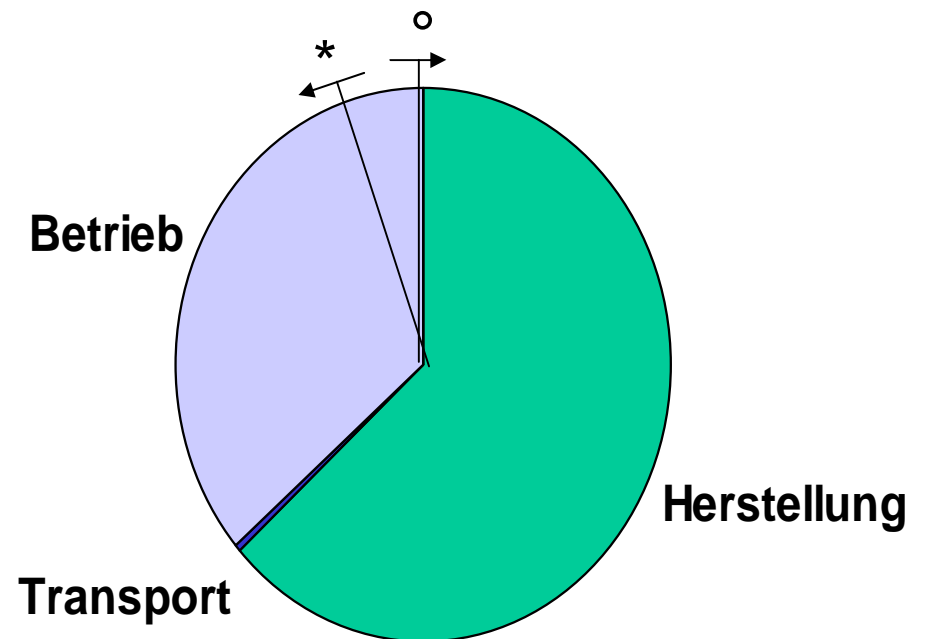
Entsorgung von IT-Geräten

- Apple 24“ LED-TFT-Monitor: 1% von 980 kg CO₂
~ 1,2 kWh (bei Faktor wie oben)
- Weitere Daten weitgehend unbekannt

Beispielrechnung: PC/Schiff

| Herstellung | kWh |
|--|----------|
| PC+Monitor | 1500 |
| Transport | |
| 20 kg per Schiff aus Asien + 2 Pakete per DHL | 3 1,6 |
| Betrieb | |
| 4 Jahre à 1800 Stunden | 864 |
| Netzwerk | |
| Nicht berücksichtigt | |
| Entsorgung | |
| Unbekannt. | |

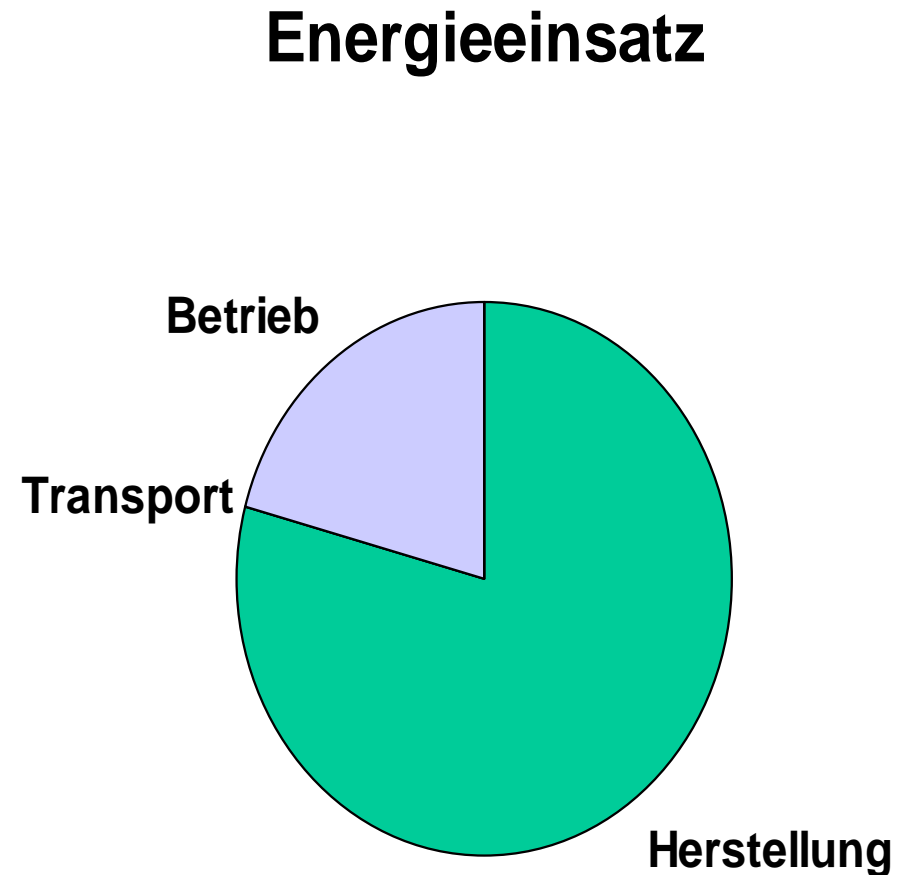
Energieeinsatz



- * Bei Beitrag zur Raumheizung
- ° Bei Klimatisierung größerer Anteil

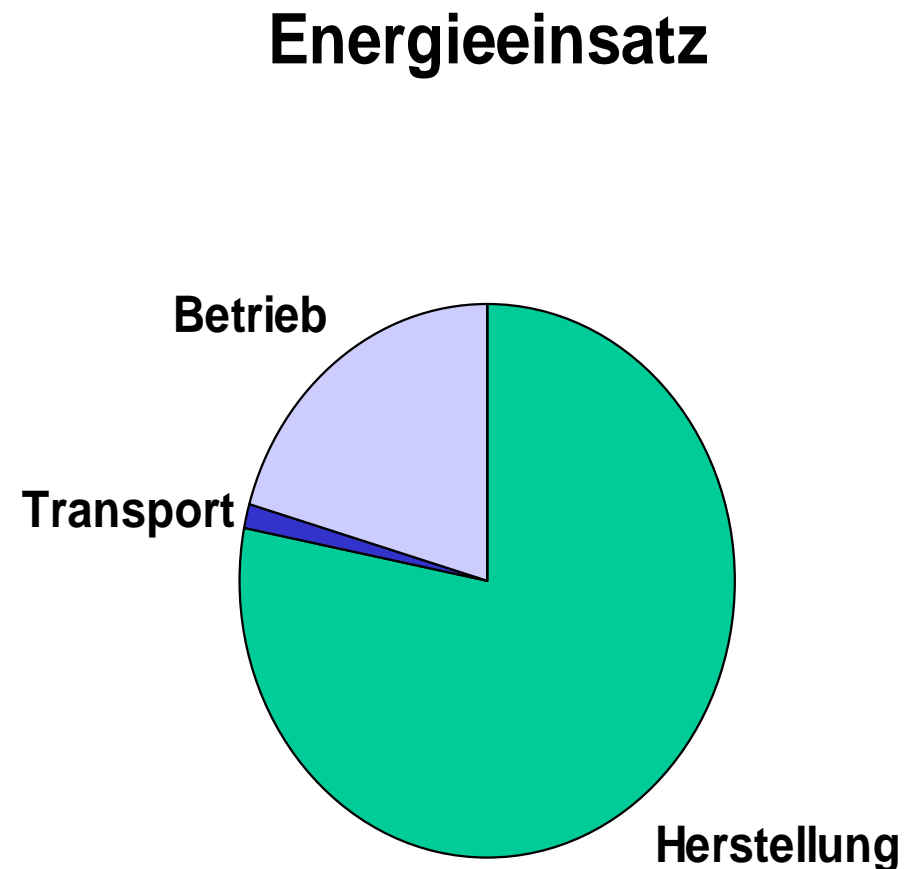
Beispielrechnung: Laptop/Schiff

| Herstellung | kWh |
|---------------------------|------|
| (Daten wie PC+Monitor) | 1500 |
| Transport | |
| 4 kg per Schiff aus Asien | 0,6 |
| + 1 Paket per DHL | 0,8 |
| Betrieb | |
| 4 Jahre à 1800 Stunden | 396 |
| Netzwerk | |
| Nicht berücksichtigt | |
| Entsorgung | |
| Unbekannt. | |

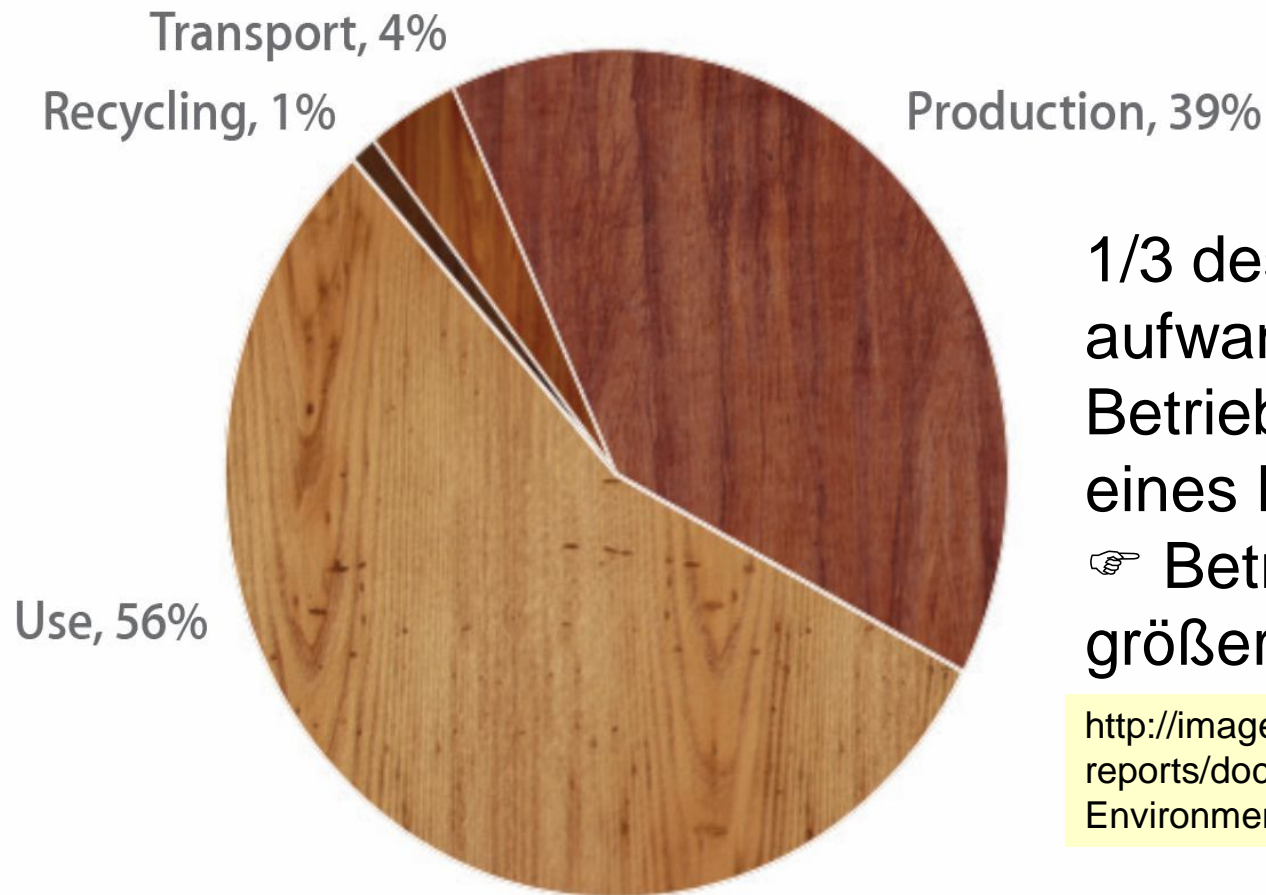


Beispielrechnung: Laptop/Flugzeug

| Herstellung | kWh |
|---|-----------|
| (Daten wie PC+Monitor) | 1500 |
| Transport | |
| 4 kg per Flugzeug aus Asien + 1 Paket per DHL | 25 0,8 |
| Betrieb | |
| 4 Jahre à 1800 Stunden | 396 |
| Netzwerk | |
| Nicht berücksichtigt | |
| Entsorgung | |
| Unbekannt. | |



Anteile insgesamt für Apple 24“ Monitor



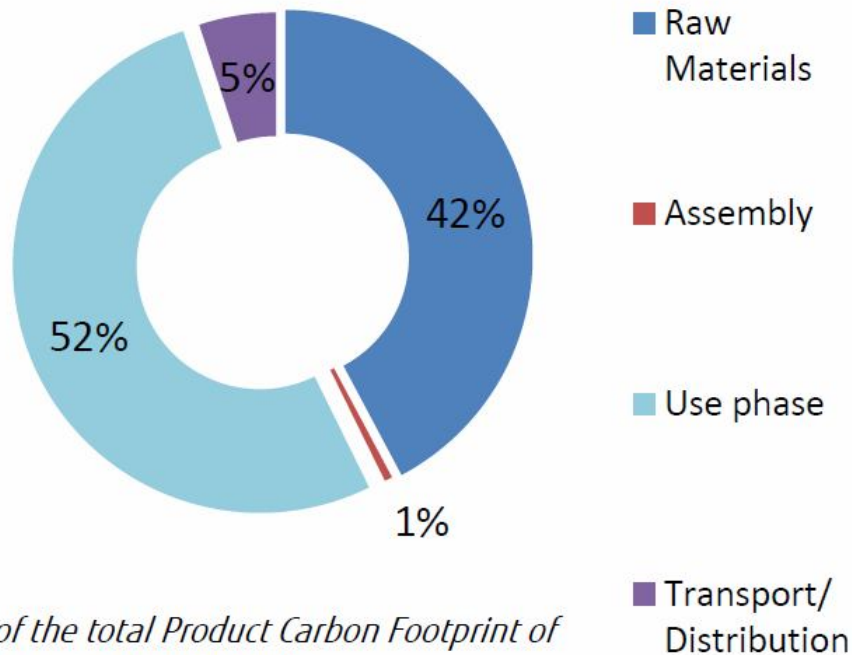
1/3 des Herstellungsaufwandes, 1/2 des Betriebsaufwandes eines Komplettsystems
☞ Betriebsanteil größer

<http://images.apple.com/environment/reports/docs/LED-Cinema-Display-Environmental-Report-20091120.pdf>

Total greenhouse gas emissions: 980 kg CO₂e

Verteilung für Fujitsu ESPRIMO E9900

Umfassende Untersuchung einschl. Entsorgung (Paderborn)



re of the total Product Carbon Footprint of desktop ESPRIMO E9900

The emissions resulting from raw materials primarily originate from the production of components and the printed circuit board for the mainboard as well as from the production of memory, graphic card and power supply which are based on the Chinese energy mixes in energy supply subnets and the wafer production for integrated circuits.

The mainboard and desktop assembly in Augsburg (Germany) contributes a very low share to the total footprint. This share mainly consists of the energy consumption for the manufacturing plant.

Almost all pre-products (excluding mainboards) are produced in Asia, particularly in China. The transport to our assembly in Germany takes place either by ship or by plane.

<http://fujitsu.fleishmaneuropa.de/wp-content/uploads/2010/12/Whitepaper-LCA-PCF-ESPRIMO-E9900.pdf>

Abhängigkeit des CO₂-Eintrags vom Energiemix

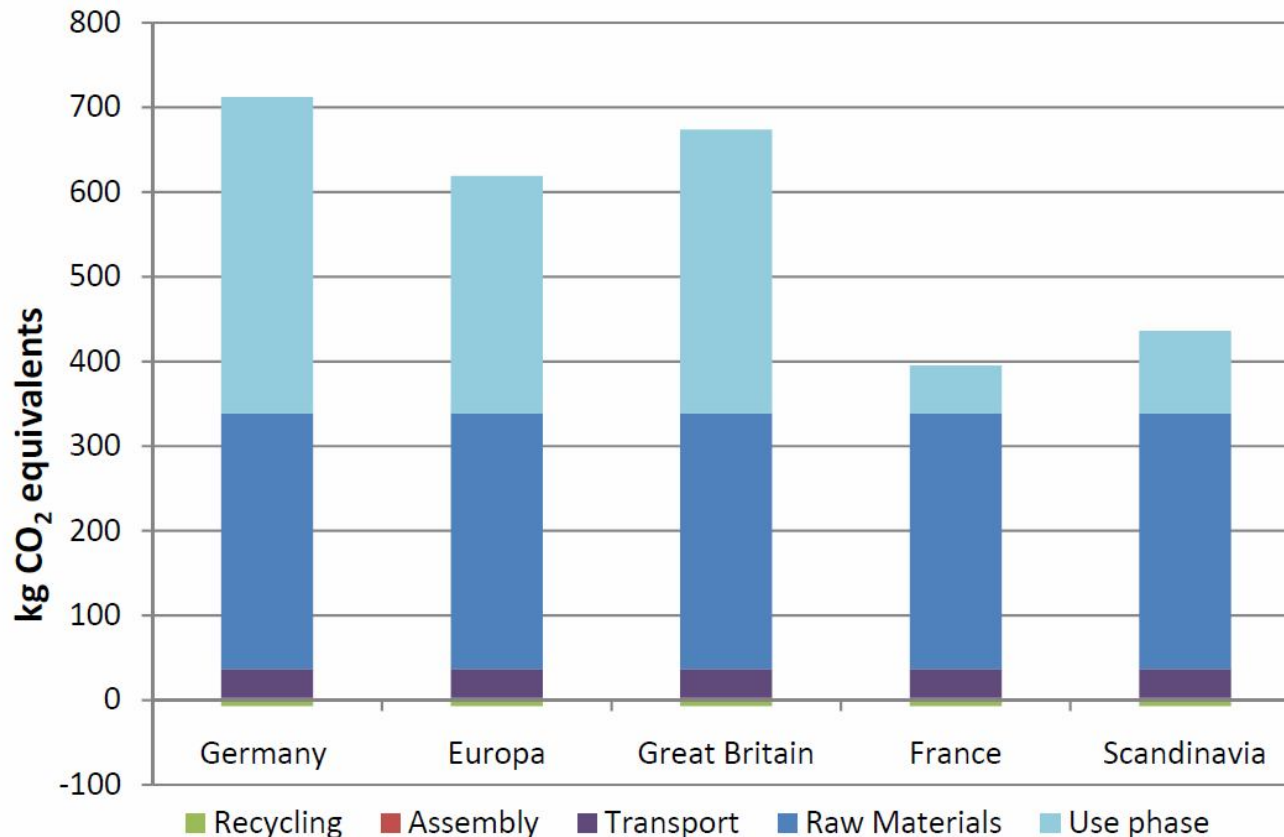


Figure 4: Total Product Carbon Footprint of the desktop ESPRIMO E9900 for the usage in different countries with specific energy mixes

Geringerer Nutzungsanteil bei hohem Anteil an erneuerbaren (Skandinavien) oder Kern-Energie (F)

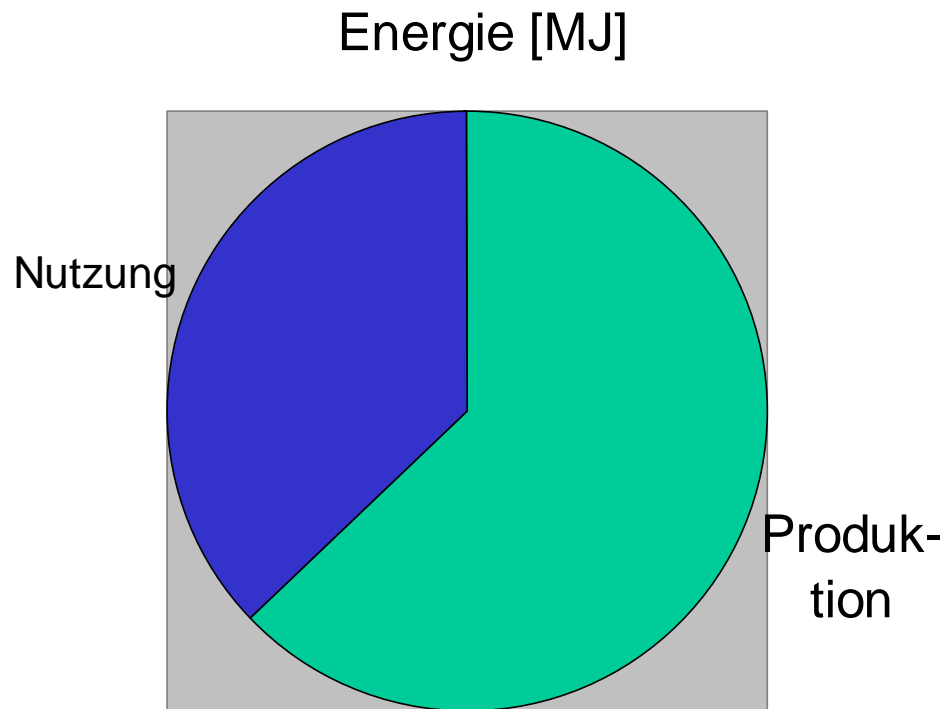
<http://fujitsu.fleishmaneuropa.de/wp-content/uploads/2010/12/Whitepaper-LCA-PCF-ESPRIMO-E9900.pdf>

Neue Veröffentlichung: Ergebnisse für Laptop

Liqiu Deng, Callie W. Babbitt and Eric D. Williams: Economic-balance hybrid LCA extended with uncertainty analysis: case study of a laptop computer, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 19, Issue 11, Juli 2011, S. 1198-1206

Genauere Analyse als vorhergehende Papiere, einschließlich weiterer Einflüsse, einschließlich Fehlerabschätzungen

Relativer Energiebedarf bei Notebooknutzung



- Dell Inspiron 2500 (2001)
- Nutzung von 2.9 Jahren
- 3010-4340 MJ (=0,84-1,2 MWh) für die Produktion
- Zum Vergleich: 7900-13.255 MJ (2,19-3,68 MWh) für Desktop + 17" Monitor, mit 68-81% Anteil für die Produktion

Unsicherheiten

Aufgrund des Fehlens standardisierter Verfahren für die LCA-Rechnung sind Ergebnisse nicht immer vergleichbar.

Sie geben keine Auskunft über die jeweiligen Anteile am globalen Energieverbrauch

Beobachtungen

- Die Herstellung ist für den größten Teil des Energieaufwandes und damit des CO₂-Eintrags in die Atmosphäre verantwortlich
- Der größte Umweltschützer ist evtl. der, der seinen Rechner schlicht ein Jahr länger nutzt.
- „Umweltengel“ für PC-Verwerter?
- Das Ergebnis ist nicht unbedingt im Interesse der Gerätehersteller

Einfluss der IT auf den Energieverbrauch bzw. die CO₂-Produktion

Umfassende Betrachtung

- Verbrauch

- Fertigung
- Transport
- Betrieb
- Entsorgung



- und Verbrauchs**reduktion**

- Konstruktion effizienter Systeme
- Betrieb effizienter Systeme
 - Energieproduktion und –verteilung
 - Niedrigenergiehäuser
 - ...

Reduktion der CO₂-Produktion durch IT-Einsatz - Konstruktion -

- Mittels IT gelingt die Konstruktion schadstoffärmerer und energieeffizienterer Systeme, z.B.:
 - Verbrennungsmotoren, die nur durch den Einsatz von Konstruktions- und Simulationssoftware die heute üblichen Standards erreichen.

Reduktion der CO₂-Produktion durch IT-Einsatz

- Betrieb technischer Systeme -

- IT trägt während des Betriebes von Systemen zur Reduktion des CO₂-Ausstoßes bei. Beispiele:
 - Moderne Klimaregelungen,
 - Steuerung von Produktionsprozessen,
 - Erzeugung und Verteilung elektrischer Energie,
 - Intelligente Lenkung der Verkehrsströme.

Reduktion der CO₂-Produktion durch IT-Einsatz

- Betrieb technischer Systeme -

- Beispiele

- IT-supported consistent planning processes for delivery areas and delivery tours. *Between 2001 and 2003, DHL could reduce the average mileage per delivery district in Germany by more than 12 %.*
- *Comprehensive tests and surveys run by Deutsche Post World Net show that the use of navigation systems by new drivers can help to reduce the daily mileage by up to 10 % (Marchiso et. al., 2003)].*

Clausen et al.: Measures to abate green house gas emissions in logistics companies, <http://www.stamolo.de>

Reduktion der CO₂-Produktion durch IT-Einsatz

- Dokumentenverteilung & Telekommunikation -

- Vision vom „papierlosen Büro“
- Nutzung von Telekommunikationstechniken:
 - Möglichkeit zur Mitarbeit an Geschäftsprozessen von entfernten Standorten aus,
 - Internetbasierte Kollaboration vermindert den Pendler- und Reiseverkehr.

Indirekte Effekte

IT besitzt neben den direkten Effekten auf die CO₂-Produktion eine große Zahl indirekter Effekte, deren genauer Einfluss schwer zu quantifizieren ist. Beispiele:

- Information über ferne Region ☞ Wunsch, diese Region auch zu besuchen,
- Information über ein Produkt ☞ Wunsch, dieses Produkt zu besitzen,
- Befriedigung der Bedarfe (z.B. Reisen, Besitz von Gütern, Kommunikation) durch virtuelle Güter.

Diese Beispiele machen deutlich, dass sich die indirekten Effekte wohl nie ganz ermitteln lassen.

Zusammenfassung

Plädoyer für eine umfassende Betrachtung des Einflusses der IT auf den Energieeinsatz bzw. die CO₂-Produktion

- Verbrauch
 - Fertigung, Transport
 - Betrieb
 - Entsorgung
- Verbrauchsreduktion
 - Konstruktion effizienter Systeme
 - Betrieb effizienter Systeme

Vielfach vernachlässigt

Gesamtergebnis kann kaum bestimmt werden.
Zusätzliche Forschung wäre erforderlich,
um präzisere Aussagen zu generieren.
Bis zur Verfügbarkeit müssen vorhandene
Ergebnisse genutzt werden.

