

# Der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck von PCs

Peter Marwedel  
Informatik 12  
TU Dortmund

2014/03/23

# IT-Betrieb als Verursacher von CO<sub>2</sub>-Ausstoss

---

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

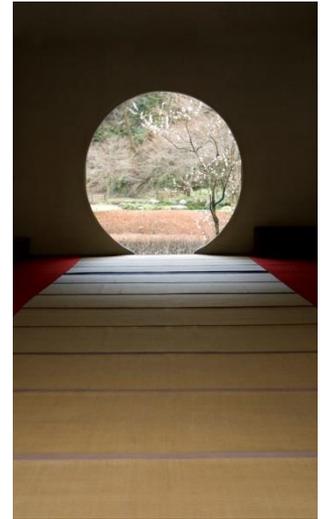
[<http://www.heise.de/newsticker/meldung/97276>].

- 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-CO<sub>2</sub>-Gasen, die bei der Produktion/Nutzung/Entsorgung freigesetzt werden; Rechnung auf **Energie**basis, weil die Umrechnung Energie/CO<sub>2</sub> unsicher ist und für die größten Anteile **Energiewerte** bekannt sind.



© Microsoft cliparts

# Einfluss der IT auf die CO<sub>2</sub>-Produktion

## Umfassende Betrachtung

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

Angaben mit  
größerer  
Unsicherheit als  
bei wissen-  
schaftlichen  
Arbeiten sonst  
üblich

# Energieaufwand bei der Herstellung von PCs

- Energieaufwand für Herstellung eines PCs mit **Röhrenmonitor**:
  - 1500 kWh (*nur Produktionsprozess, ohne Transport verschiedener Stoffe*; ☞ ca. 1,2 t CO<sub>2</sub> bei 800 g CO<sub>2</sub>/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 SF<sub>6</sub>.

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

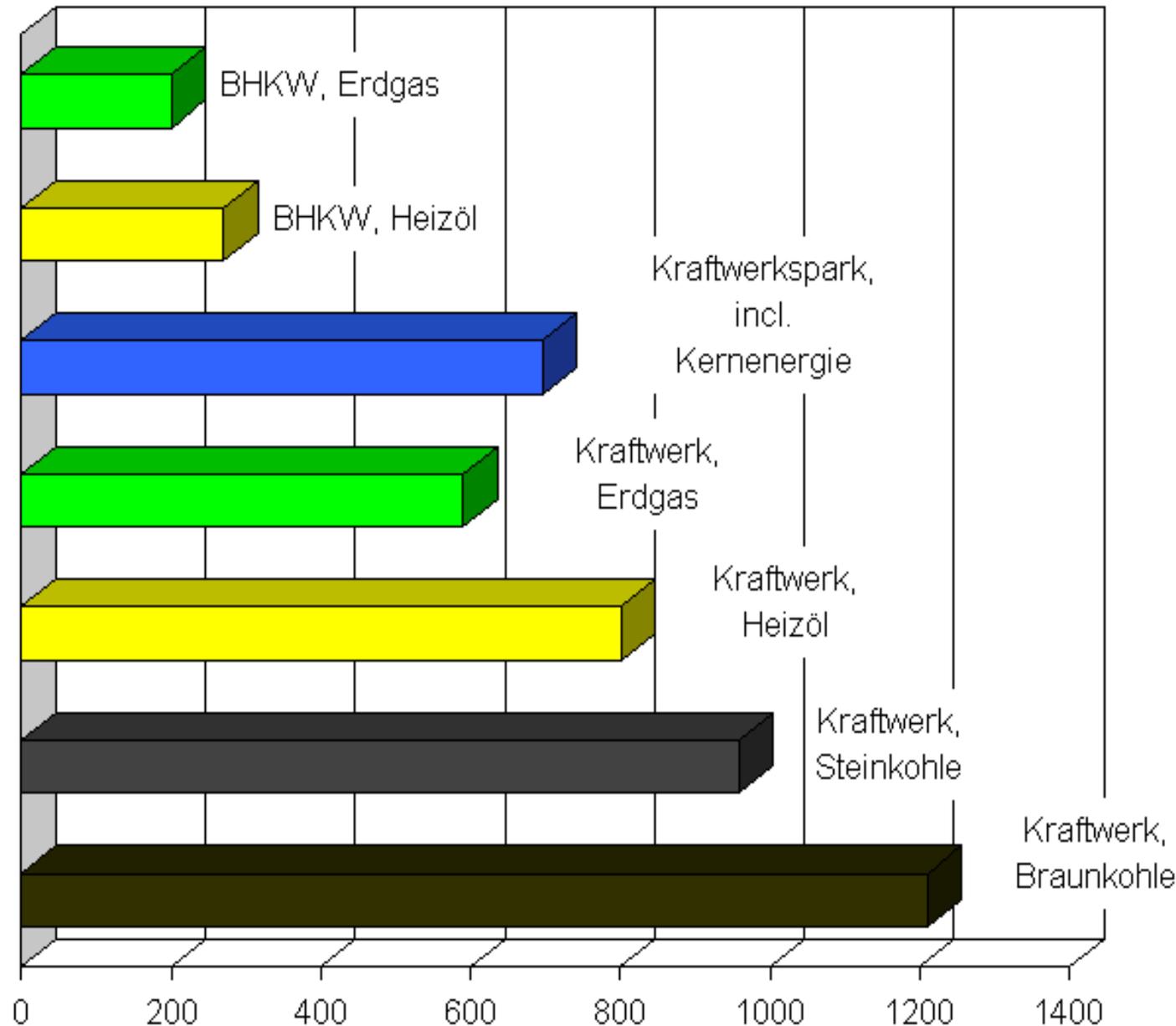
- Apple 24“ LED-Monitor: 382 kg CO<sub>2</sub> Äquivalent

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

☞ 477 kWh (bei Annahme eines Wertes von 800 g CO<sub>2</sub>/kWh)

Glizie GmbH [http://www.bhkws.de/bhkw\\_co2.htm](http://www.bhkws.de/bhkw_co2.htm)

# CO<sub>2</sub>- Emissionen bei der Strom- erzeugung [g/kWh<sub>el</sub>]



Glizie GmbH  
[http://www.bhkws.de/  
bhkw\\_co2.htm](http://www.bhkws.de/bhkw_co2.htm)

# Transport von PCs

- (See-) Schiff: 1 kg CO<sub>2</sub> / 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](http://www.worldshipping.org/pdf/liner_shipping_carbon_emissions_policy_presentation.pdf)

- Flugzeug (Cargo B747) 50 kg CO<sub>2</sub> / 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

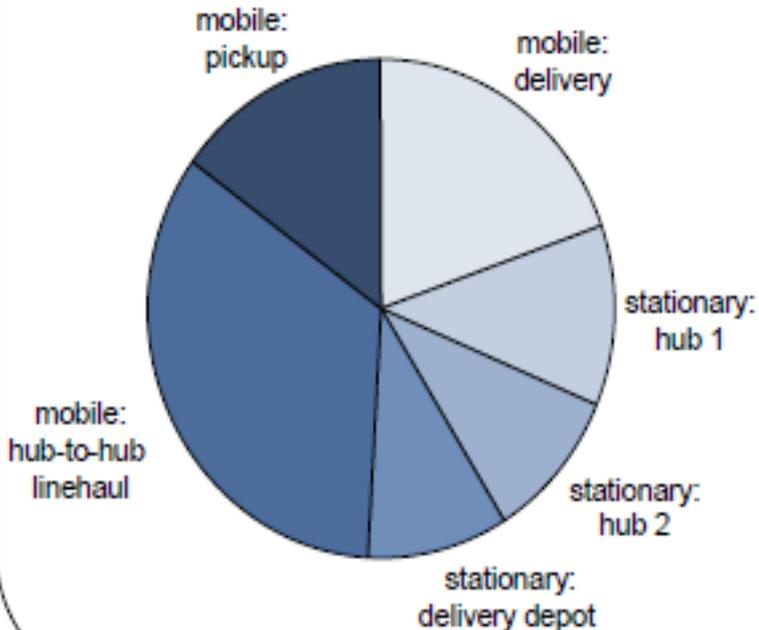
☞ 25 kWh

Jeweils aus CO<sub>2</sub>-  
Eintrag  
umgerechnet

■ Apple 24“-Monitor:  
48,75 kWh

# CO<sub>2</sub>-Eintrag beim Paket-Transport

relative share of the stationary and mobile processes in CO<sub>2</sub>-emissions for parcel delivery



(StaMoLo, 2007)

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

*Figure 2. Relative share in CO<sub>2</sub>-emissions and costs for DHL parcel delivery in Germany*

*„Mobile and stationary processes combined cause CO<sub>2</sub>-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)
  
- TFT-Monitor:
  - 17“: 25 W (Malte Marwedel, gemessen, pers. Kommunikation)
  - 24“: 57-81.2 W (an 220 V) (Apple \*)
  
- Laptop:
  - MSI 12“ Laptop: 30 W (Malte Marwedel, wie oben)
  - Samsung Ultra 5: 13 W (mit ext. Monitor, nur Notebook Anteil)
  
- Netzwerk-Infrastruktur: unberücksichtigt;  
aber: Tendenz zunehmend.

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

# 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

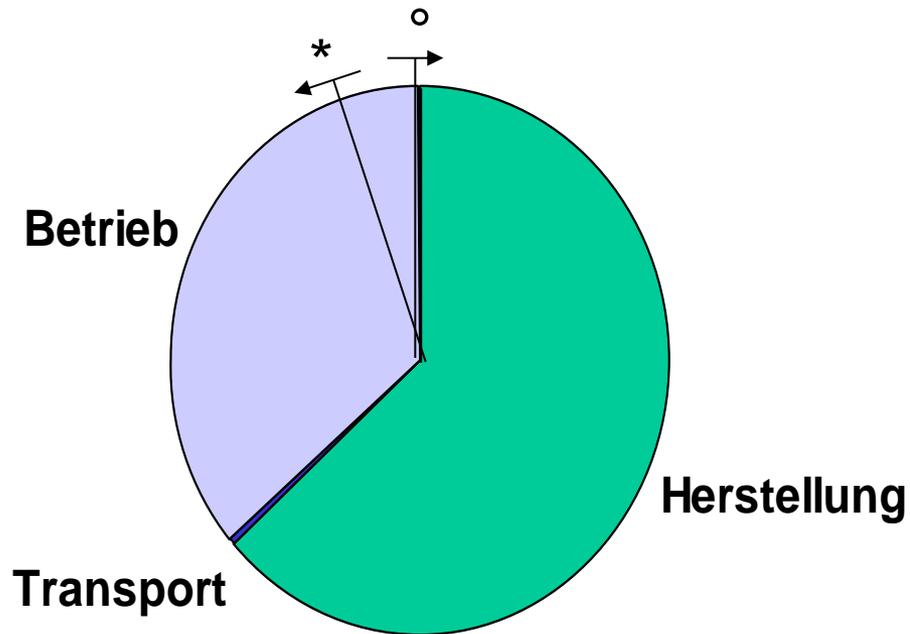
---

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

# Beispielrechnung: PC/Schiff

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

## Energieeinsatz

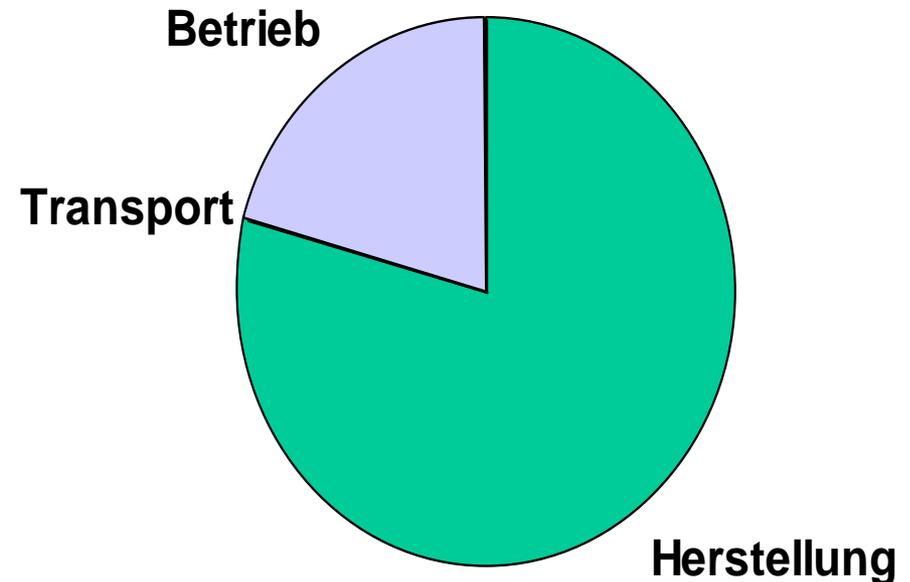


- \* Bei Beitrag zur Raumheizung
- ° Bei Klimatisierung größerer Anteil

# Beispielrechnung: Laptop/Schiff

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

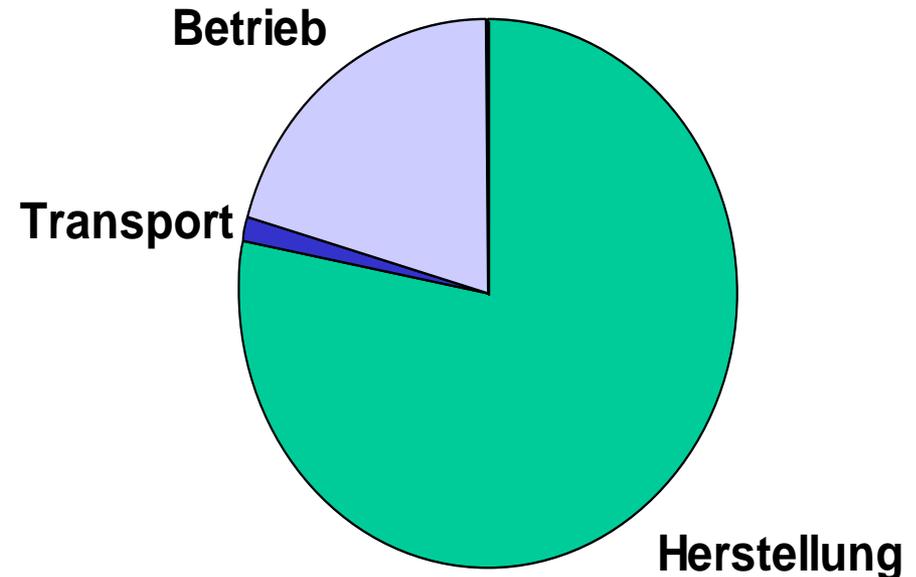
## Energieeinsatz



# Beispielrechnung: Laptop/Flugzeug

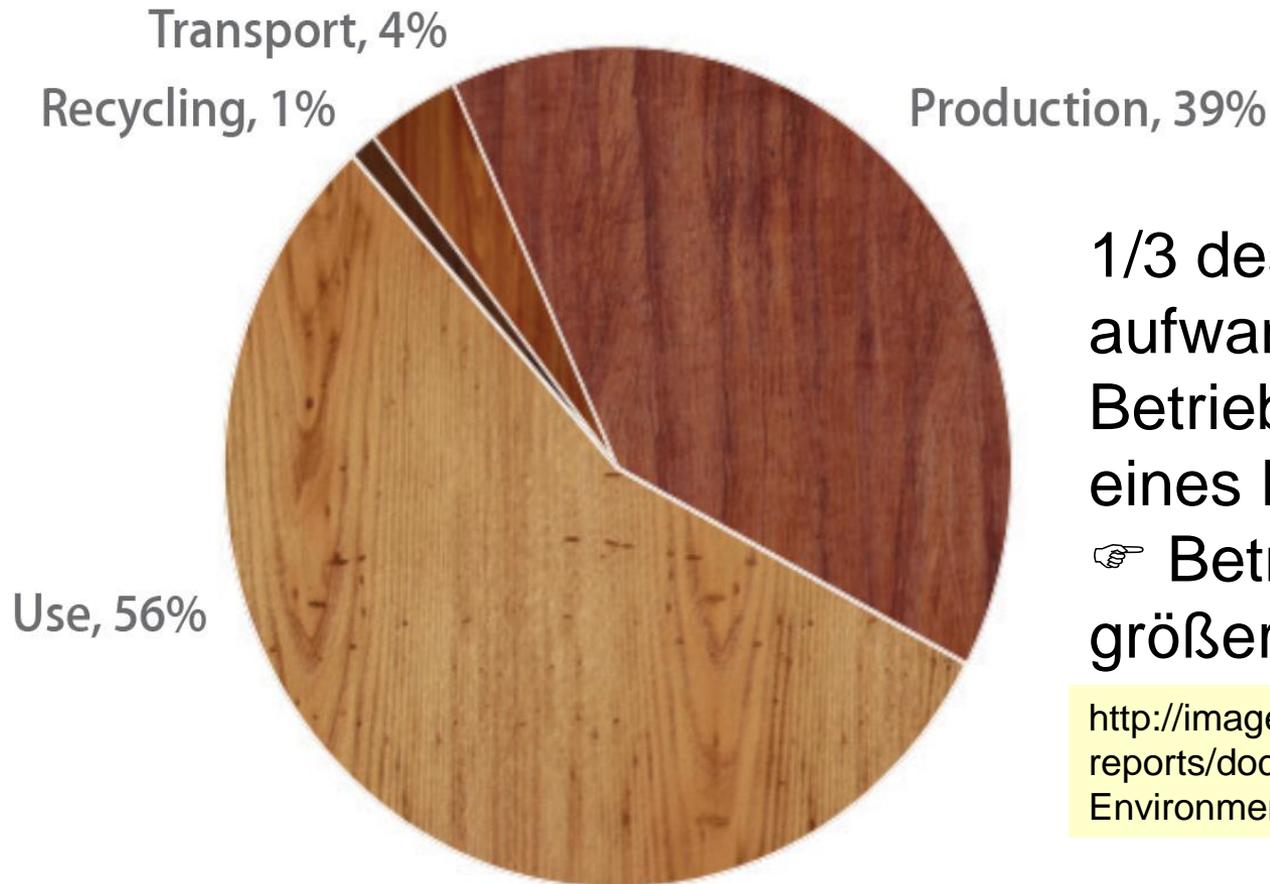
Herstellung	kWh
(Daten wie PC+Monitor)	1500
<b>Transport</b>	
4 kg per Flugzeug aus Asien + 1 Paket per DHL	25 0,8
<b>Betrieb</b>	
4 Jahre à 1800 Stunden	396
<b>Netzwerk</b>	
Nicht berücksichtigt	
<b>Entsorgung</b>	
Unbekannt.	

## Energieeinsatz



Hohe Werte für die Nutzung angesetzt!

# Anteile insgesamt für Apple 24“ Monitor



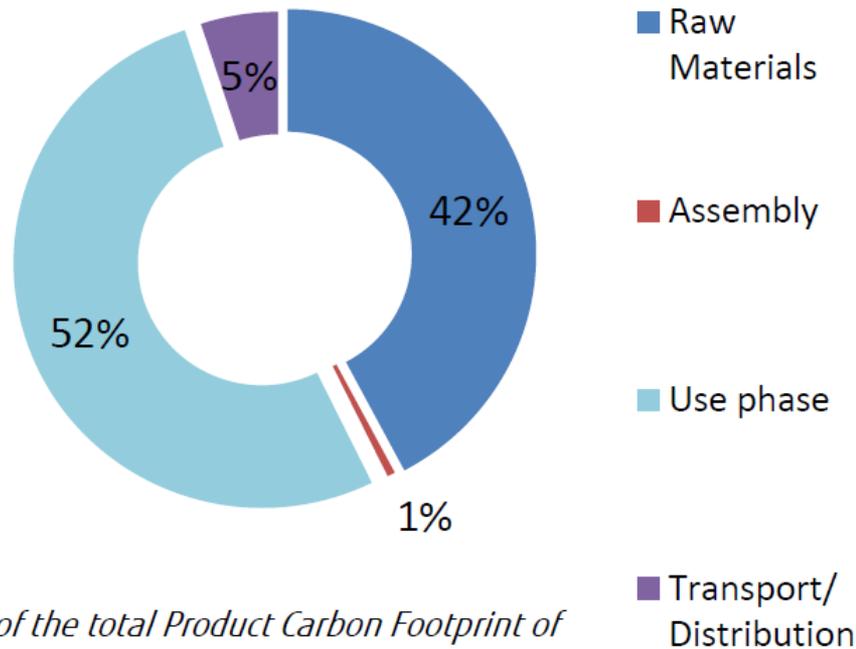
1/3 des Herstellungsaufwandes, 1/2 des Betriebsaufwandes eines Komplettsystems  
☞ Betriebsanteil größer

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

Total greenhouse gas emissions: 980 kg CO<sub>2</sub>e

# Verteilung für Fujitsu ESPRIMO E9900

## Umfassende Untersuchung einschl. Entsorgung (Paderborn)



re of the total Product Carbon Footprint of desktop ESPRIMO E9900

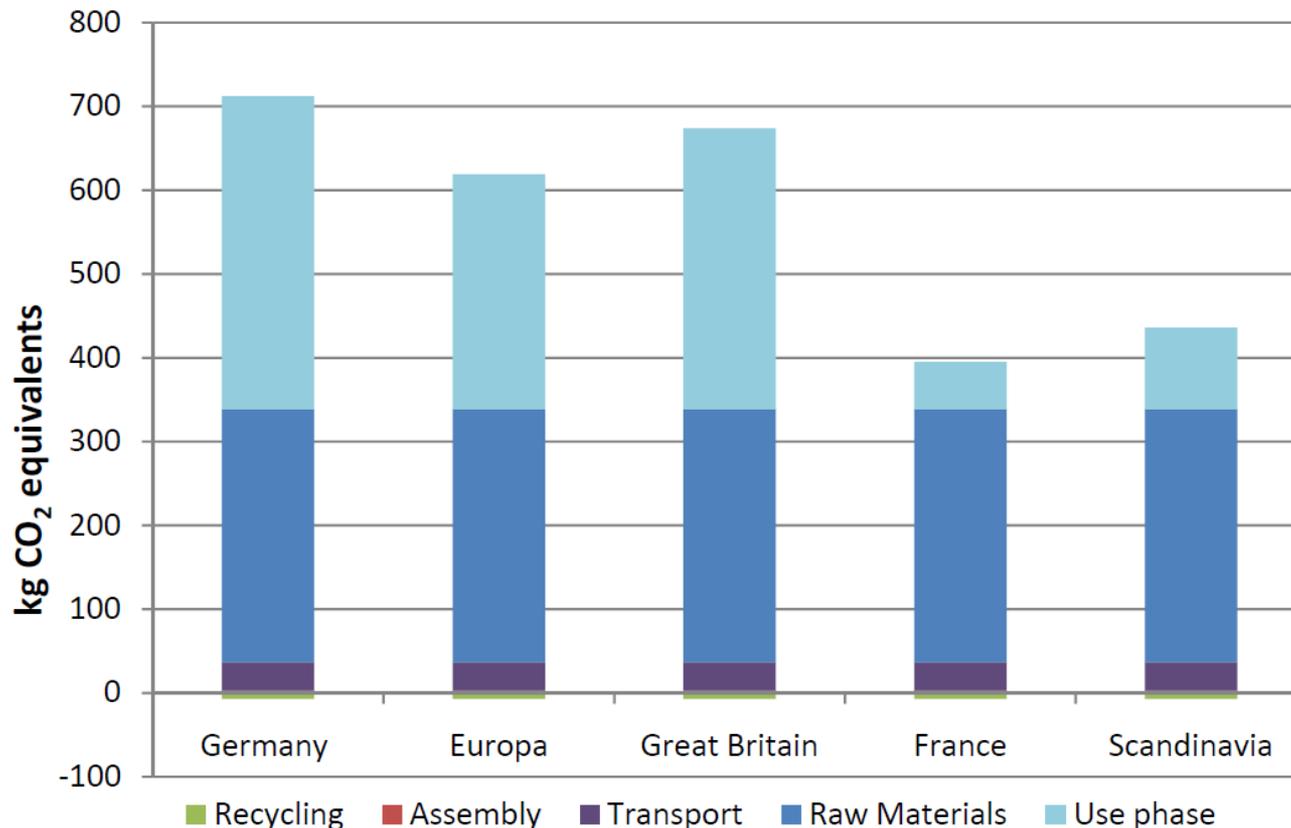
The emissions resulting from raw materials primarily originate from the production of components and the printed circuit board for the mainboard as well as from the production of memory, graphic card and power supply which are based on the Chinese energy mixes in energy supply subnets and the wafer production 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 CO<sub>2</sub>-Eintrags vom Energiemix



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>

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

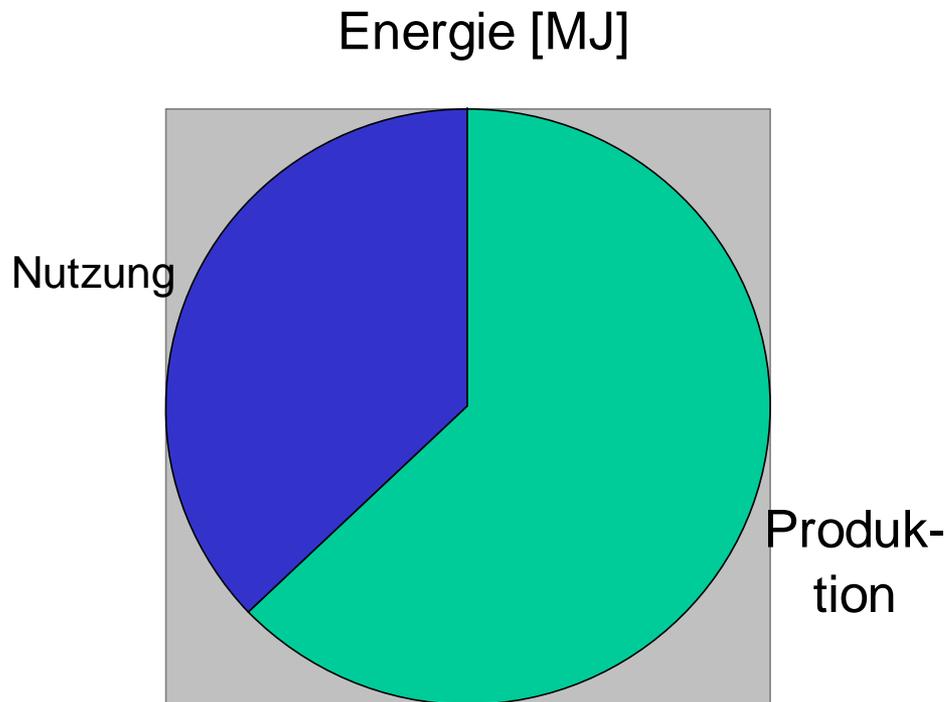
# Neue Veröffentlichung: Ergebnisse für Laptop

---

Liqui 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

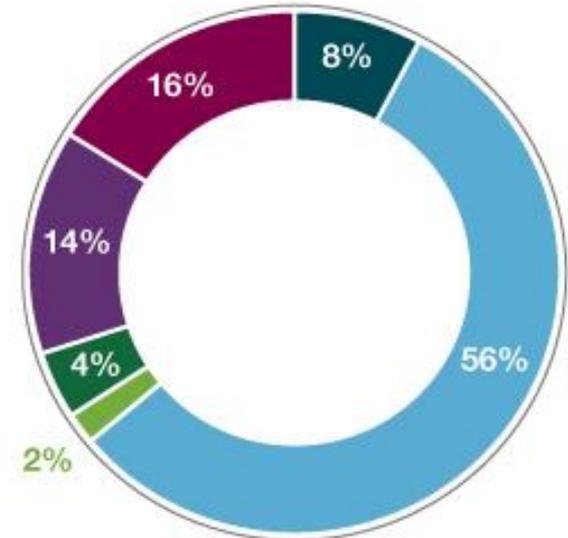
# Mobiltelefon (1)

Relativ einfaches Sony W890 (2008)

„23.8 kg CO<sub>2</sub>“ (Masterarbeit zur LCA)

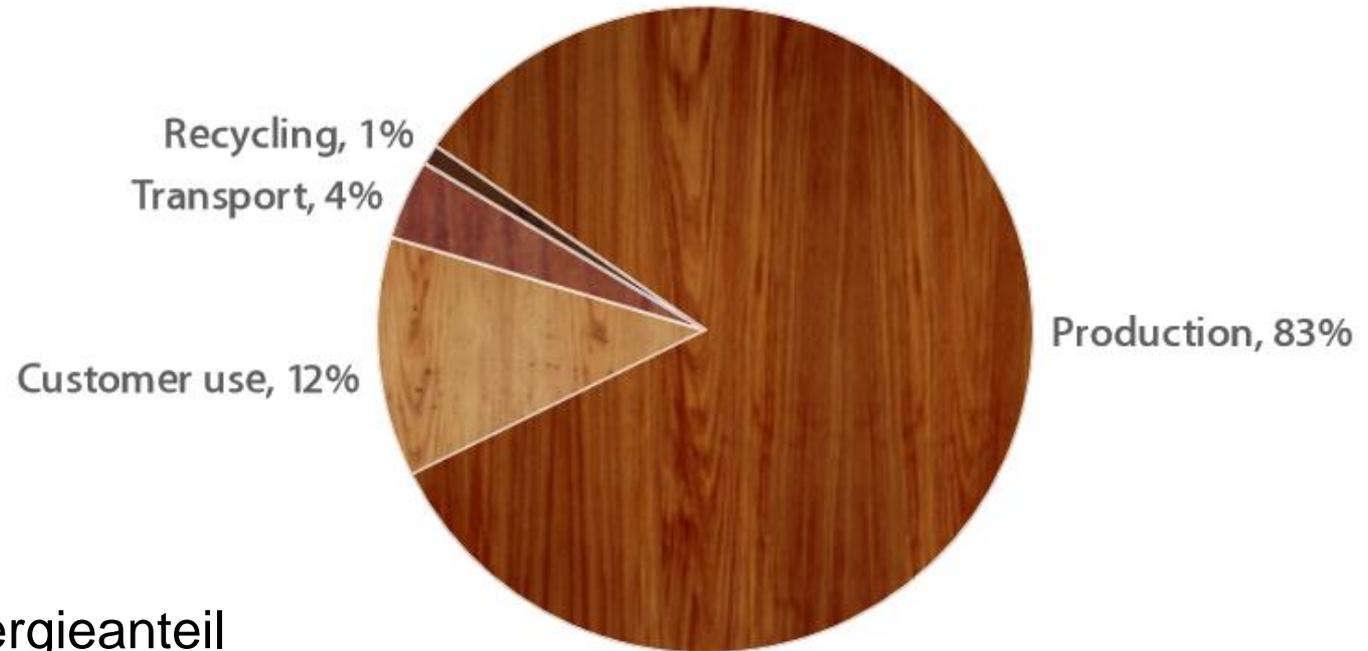
[<http://blogs.sonymobile.com/about-us/sustainability/carbon-footprint/approach/>]

- Sehr hoher Energieanteil der Fertigung
- Funknetz nicht vergessen!
- Einsatz seltener Materialien (Erden) weiteres Problem



# Mobiltelefone (2)

## Iphone 5S



Sehr hoher Energieanteil  
der Fertigung

Total greenhouse gas emissions: 75 kg CO<sub>2</sub>e

Einsatz seltener  
Materialien (Erden)  
weiteres Problem

[http://images.apple.com/environment/reports/docs/iPhone5s\\_product\\_environmental\\_report\\_sept2013.pdf](http://images.apple.com/environment/reports/docs/iPhone5s_product_environmental_report_sept2013.pdf)

# 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 CO<sub>2</sub>-Eintrags in die Atmosphäre verantwortlich
- Der größte Umweltschützer ist evtl. der, der seinen Rechner oder Smartphone schlicht ein Jahr länger nutzt.
- „Umweltengel“ für Altgeräte-Verwerter?
- Das Ergebnis ist nicht unbedingt im Interesse der Gerätehersteller

# Einfluss der IT auf den Energieverbrauch bzw. die CO<sub>2</sub>-Produktion

---

## Umfassende Betrachtung

- Verbrauch

- Fertigung
- Transport
- Betrieb
- Entsorgung



- und Verbrauchs**reduktion**

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

# Reduktion der CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-Produktion durch IT-Einsatz - Betrieb technischer Systeme -

---

- IT trägt während des Betriebes von Systemen zur Reduktion des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes bei. Beispiele:
  - Moderne Klimaregelungen,
  - Steuerung von Produktionsprozessen,
  - Erzeugung und Verteilung elektrischer Energie,
  - Intelligente Lenkung der Verkehrsströme.

# Reduktion der CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-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

---

Neben direkten Effekten auf die CO<sub>2</sub>-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.

Beispiele machen deutlich: indirekte Effekte lassen sich nie ganz ermitteln.

# Zusammenfassung

Plädoyer für eine umfassende Betrachtung des Einflusses der IT auf den Energieeinsatz bzw. die CO<sub>2</sub>-Produktion

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

*Vielfach vernachlässigt  
(„Scheuklappen“)*

Gesamtergebnis kann kaum bestimmt werden.

Präzisere Aussagen erfordern zusätzliche Forschung; bis zur Verfügbarkeit Nutzung vorhandener Ergebnisse!

