

# **Die Speicherhierarchie - Hauptspeicher -**

Peter Marwedel  
Informatik 12  
TU Dortmund

2011/05/13

---

# Hauptspeicherorganisation

---

Hauptspeicher ist weitere Ebene der Speicherhierarchie

Für Leistung wichtig: Latenz und Bandbreite

- Latenz relevant für Kosten eines Fehlzugriffs auf *Cache*
- Bandbreite wichtig in Kombination mit ...
  - großem L2-Cache ...
  - der große Cache-Blöcke verwendet.

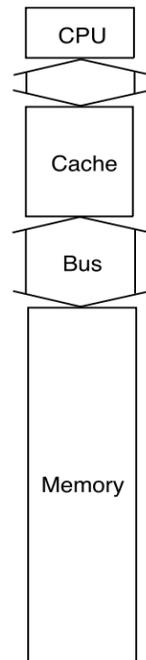
☞ Große Transfereinheiten zwischen *Cache* und Hauptspeicher, kein wortweiser Zugriff!

Verringerung der Latenz aufwendig

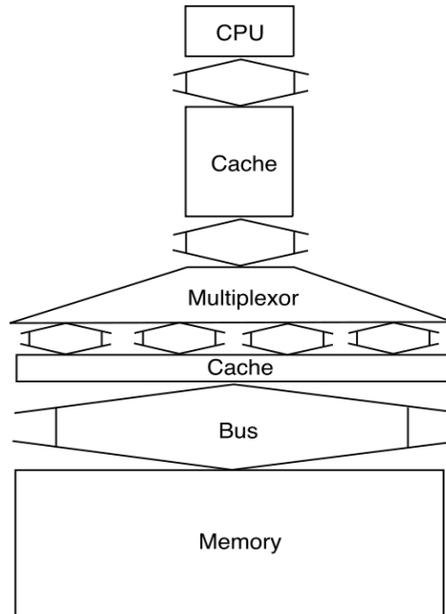
Verbesserung der Bandbreite durch geeignete Organisation des Speichers (relativ leicht) möglich

# Hauptspeicherorganisation (2)

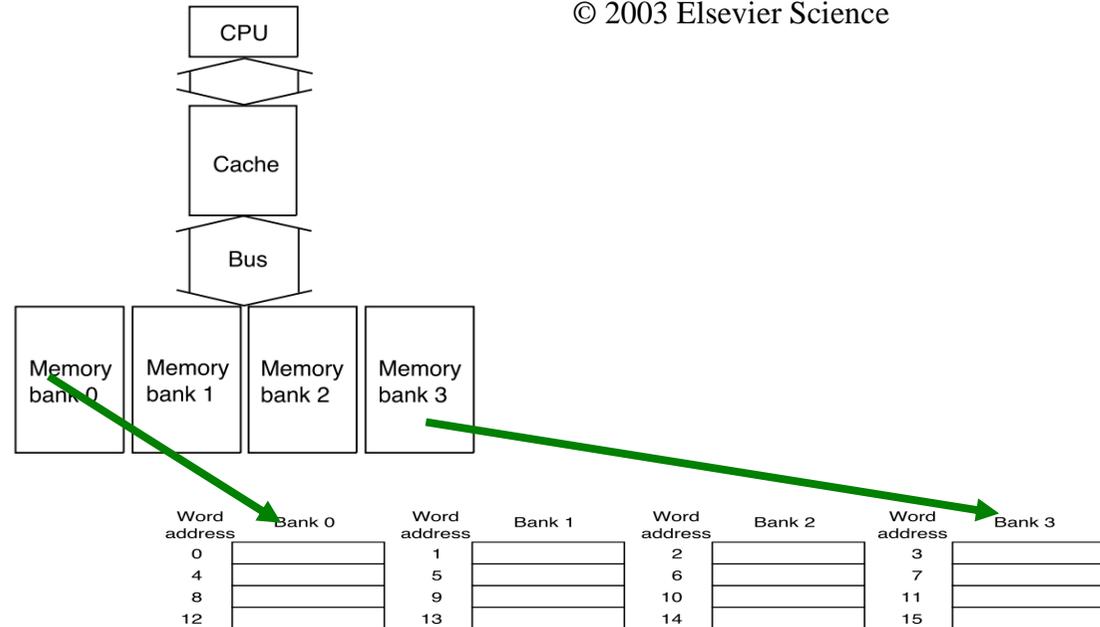
(a) One-word-wide memory organization



(b) Wide memory organization



(c) Interleaved memory organization



© 2003 Elsevier Science

- „Breiter“ Hauptspeicher: Höhere Bandbreite durch Parallele Zugriffe
- „Verschränkte“ Organisation (*interleaved*): logisch wie „breiter“ Speicher, Zugriff auf Bänke zeitlich sequentiell

## - Flashspeicher -

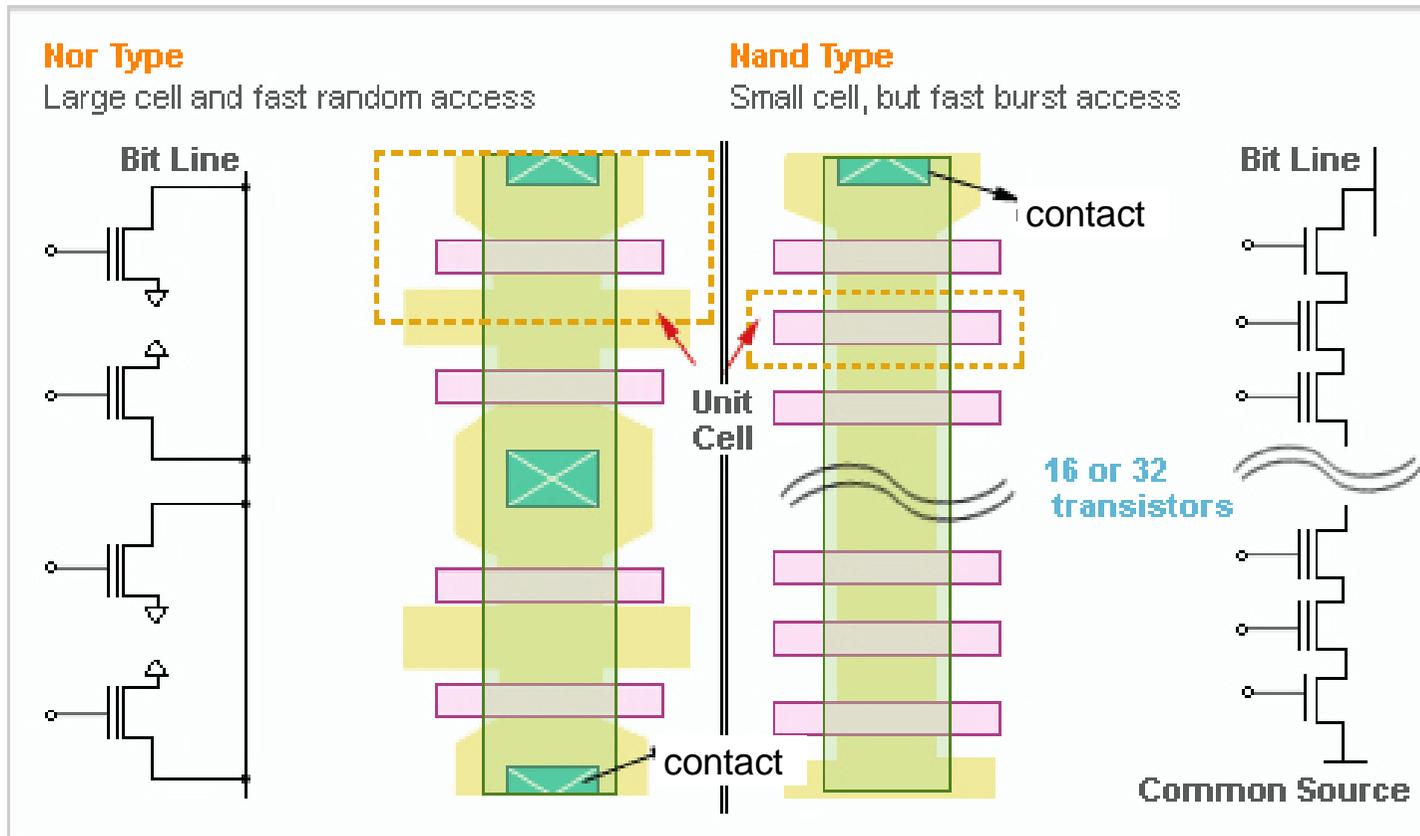
Peter Marwedel  
Informatik 12  
TU Dortmund

2011/05/13

# NOR- and NAND-Flash

NOR: Transistor between bit line and ground

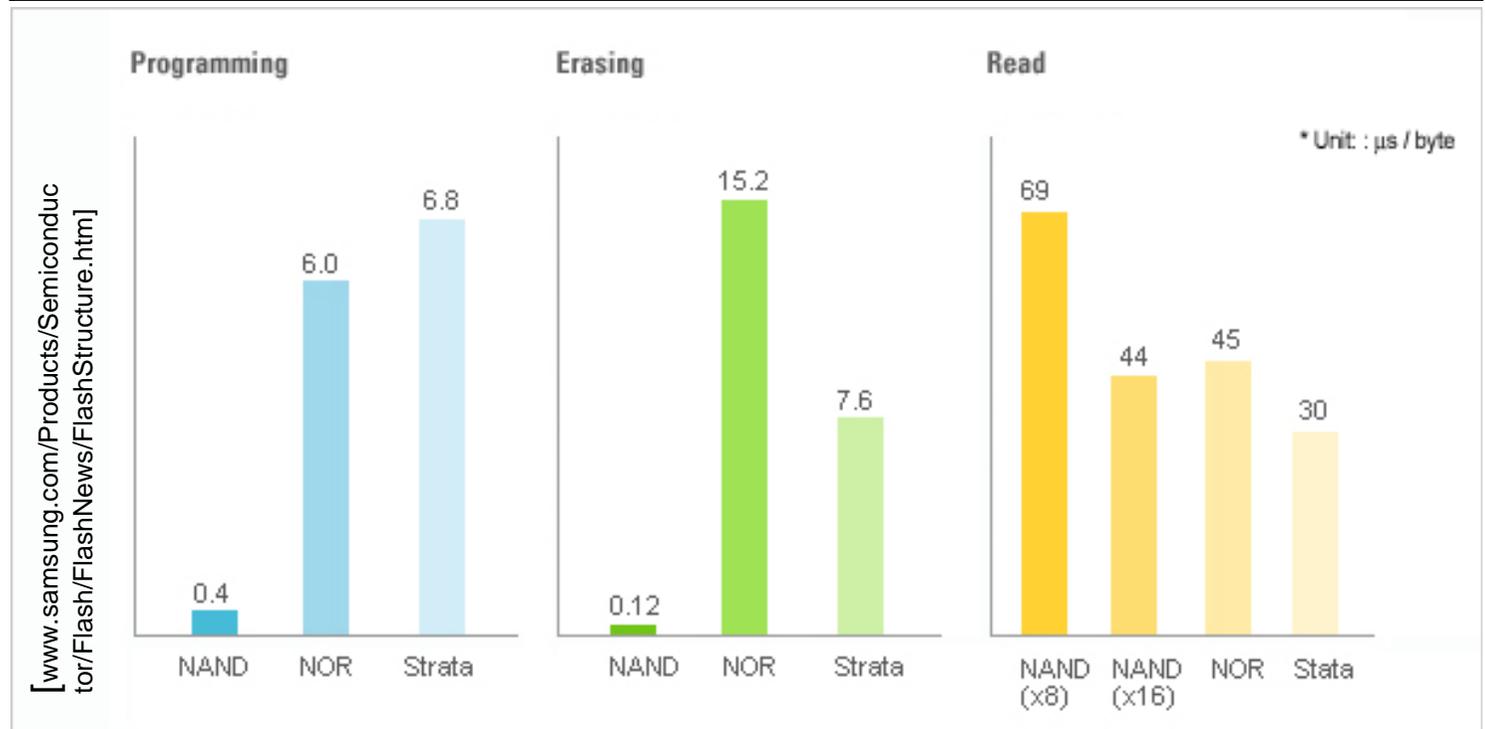
NAND: Several transistor between bit line and ground



was at [www.samsung.com/Products/Semiconductor/Flash/FlashNews/FlashStructure.htm] (2007)

# Properties of NOR- and NAND-Flash memories

Type/Property	NOR	NAND
Random access	Yes 😊	No 😞
Erase block	Slow 😞	Fast 😊
Size of cell	Larger 😊	Small 😊
Reliability	Larger 😊	Smaller 😞
Execute in place	Yes 😊	No 😞
Applications	Code storage, boot flash, set top box	Data storage, USB sticks, memory cards



---

# Characteristics of NAND Flash memory

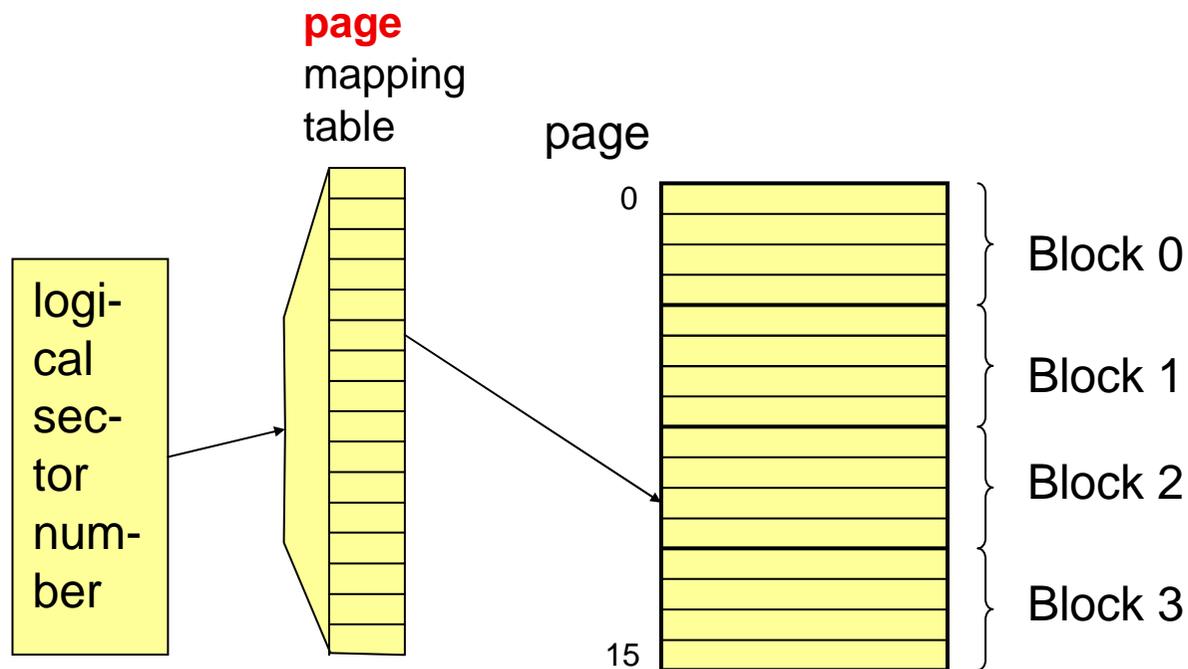
---

Memory partitioned into blocks (typ. 16-256 KB),  
blocks partitioned into pages (typ. 0.5-5 KB).  
Read/write operations performed in page units.

	Single Level Cell (SLC)	Multi Level Cell (MLC)
Read (page)	25 $\mu$ s	$\gg$ 25 $\mu$ s
Write (page)	300 $\mu$ s	$\gg$ 300 $\mu$ s
Erase (block)	2 ms	1.5 ms

J. Lee, S. Kim, H. Kwin, C. Hyun, S. Ahn, J. Choi, D. Lee, S. Noh: Block Recycling Schemes and Their Cost-based Optimization in NAND Flash Memory Based Storage System, EMSOFT'07, Sept. 2007

# Page/sector mapping flash transaction layer (FTL)



Inverted page table stored in flash memory (extra bits);  
“normal page” table constructed during initialization.

Page table may become large  
Used in low capacity NOR Flash memories

sector  $\approx$  page  
+ extra bits

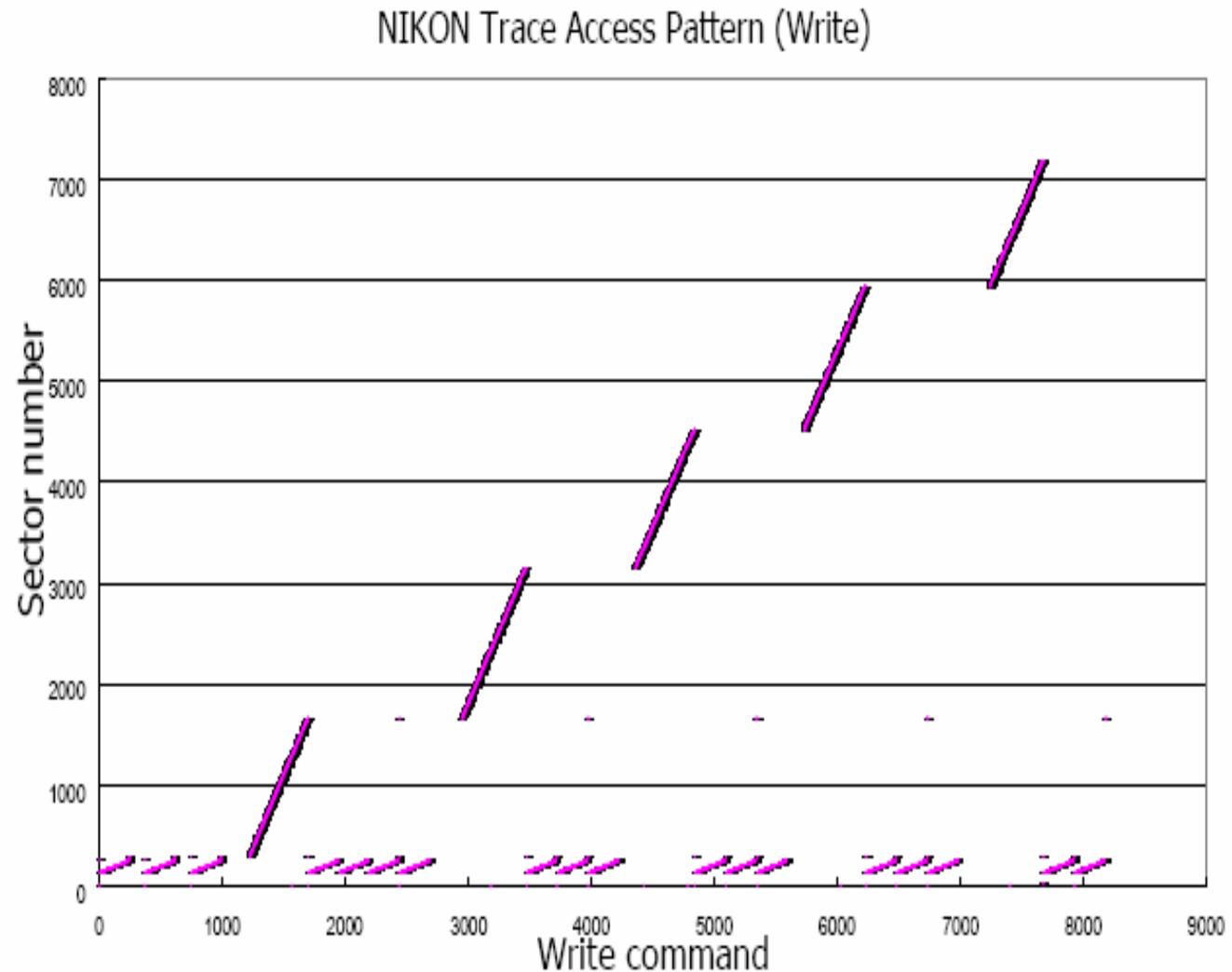
# Comparison Flash/Microdrive

	Sandisk Type I Flash	Sandisk Type II Flash	IBM Microdrive DSCM-10340
Capacity [MB]	64	300	340
Power [W] (standby/operating)	0,15/0.66	0,15/0,66	0,07/0.83
Write cycles	300.000	300.000	unlimited
Mean-time between failures [h]	>1.000.000	>1.000.000	service-life=min(5J, 8800 h operating)
Error rates, uncorrectable	< 1 per 10 <sup>14</sup>	<1 per 10 <sup>14</sup>	<1 per 10 <sup>13</sup>
Max. power ons	unlimited	unlimited	300.000
Shock tolerance	2000 G; 2000 G	2000 G;	175 G; 1500 G

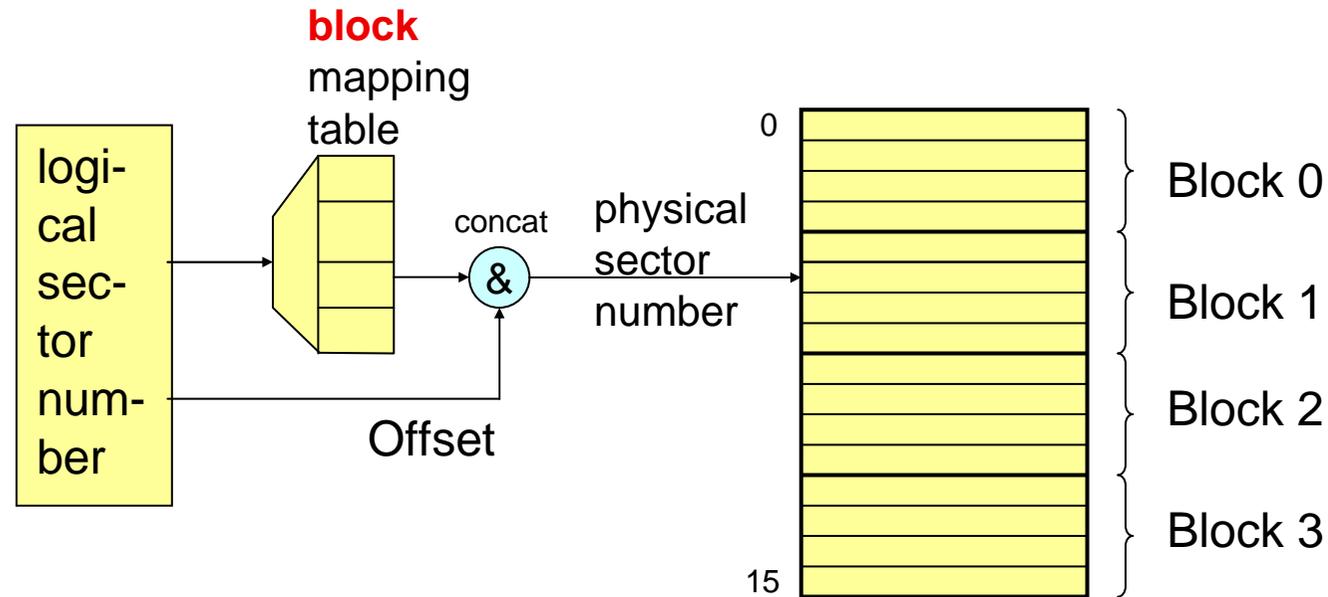
Source: Hennessy/Patterson, Computer Architecture, 2002

# Exploiting regularity

Usually,  
long  
sequence  
of  
sequential  
writes



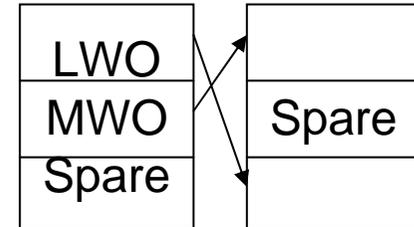
# Block mapping flash transaction layer (FTL)



- Mapping tables smaller than for page-based FTLs.
- ☞ used in high capacity NAND Flash memories
- Overall operation is simple,
- but successive writes require copying into a new block
- Degraded performance for random and repeated writes.
- ☞ Hybrid schemes

# Wear-leveling

- Example (Lofgren et al., 2000, 2003):
  - Each erase unit carries erase counter



- One erase unit set aside as a spare
- When one of the most worn out units is reclaimed, its counter is compared to least-worn out unit. If  $\Delta$  is large:
  - content of least-worn-out ( $\approx$  constants)  $\rightarrow$  spare
  - content of most worn-out  $\rightarrow$  least worn-out
  - most worn-out unit becomes the new spare

Counter increment may be lost if power is lost between erase and counter update

- ☞ Attempts to avoid erase counter in the same erase unit

Source: Gal, Toledo, *ACM Computing Surveys*, June 2005

---

# Flash-specific file systems

---

- Two-layer approach can be inefficient:
  - FTL emulates flash as a magnetic disc
  - Standard file system assumes magnetic discExample: deleted sectors not marked  not reclaimed
- Log-structured file systems just append new information
  - For disc-based file system:
    - Fast writes
    - Slow reads (head movement for gather operations)
  - Ideal for flash-based file system:
    - Writes done in new sectors
    - Reads not slow: no head movement
-  Specific log-based flash file systems
  - JFFS2 (NOR)
  - YAFFS (NAND)

Source: Gal, Toledo, *ACM Computing Surveys*, June 2005

---

# Summary

---

## Flash-based file systems

- NAND vs. NOR
- Page mapping
- Block mapping
- Wear – leveling
- Flash-oriented file systems

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

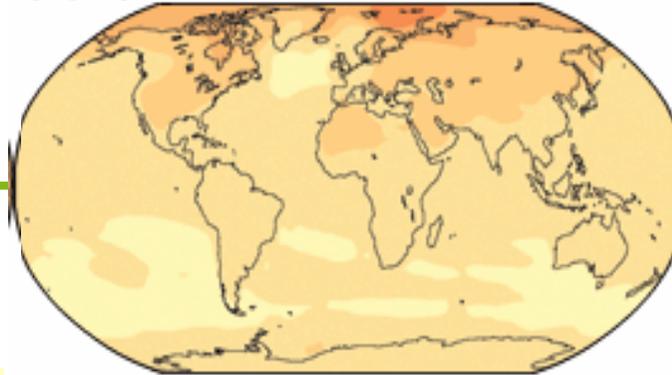
Peter Marwedel  
Informatik 12  
TU Dortmund

2011/05/14

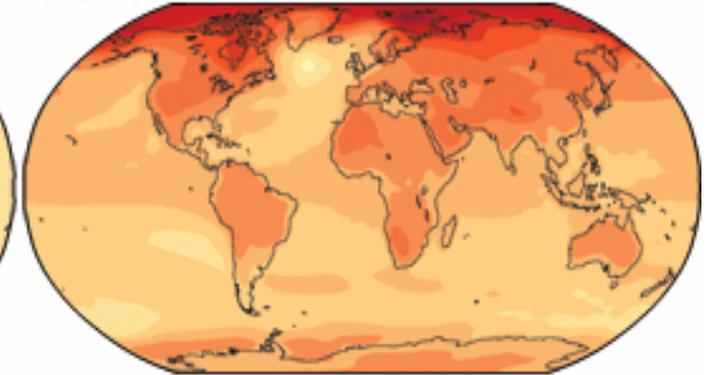
# Vorhersage der globalen Erwärmung

„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/futuretc.html>]

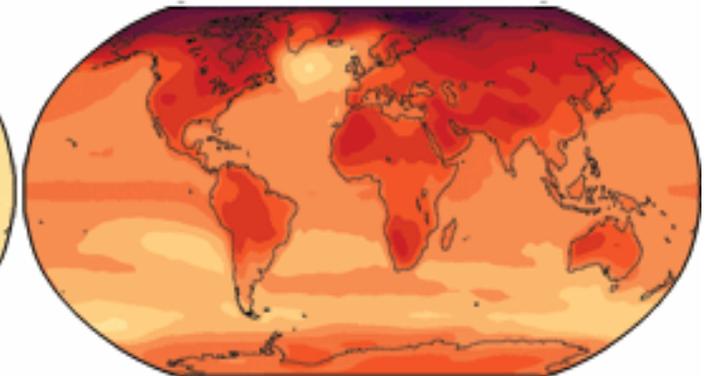
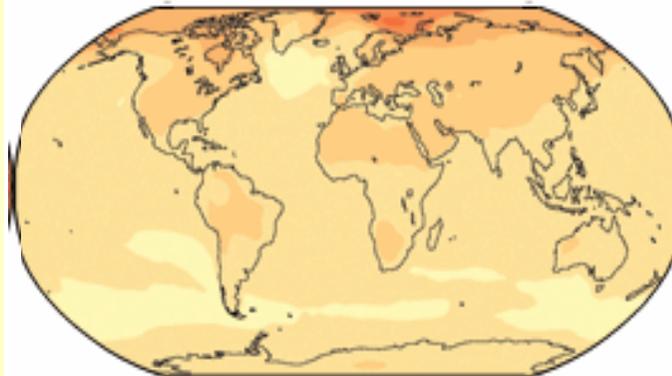
2020-2029



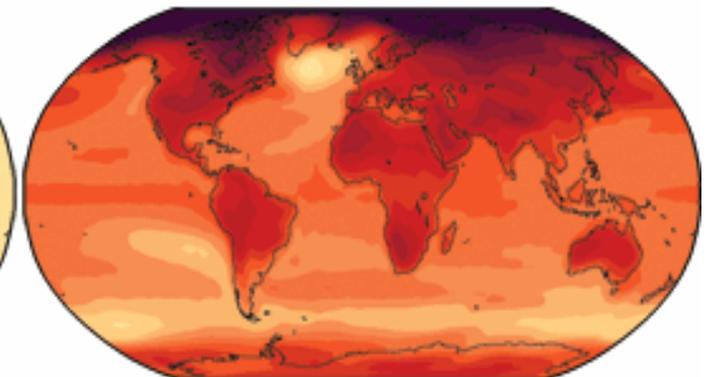
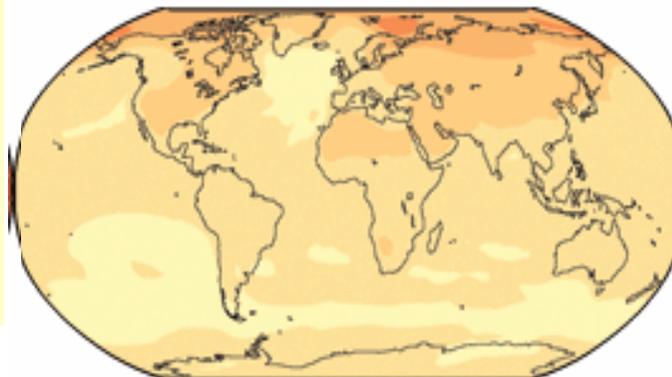
2090-2099



low growth (B1)



moderate growth (A1B)



high growth (A2)

Surface Temperature Change ( $^{\circ}\text{C}$ )



---

# 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]

---

# Hintergrund

---

- VDI KfIT - Komm. zur Planung zukünftiger Aktivitäten des VDI: Vorschlag zur Handreichung für Ingenieure vor Ort („Wie reagiert der Ingenieur auf die Herausforderung?“)
- *GI Grand Challenges* der Technischen Informatik: Vorschlag, sich einer der größten Herausforderungen der Menschheit anzunehmen

# 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 *Energiebasis*, 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
    - ...

# 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 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

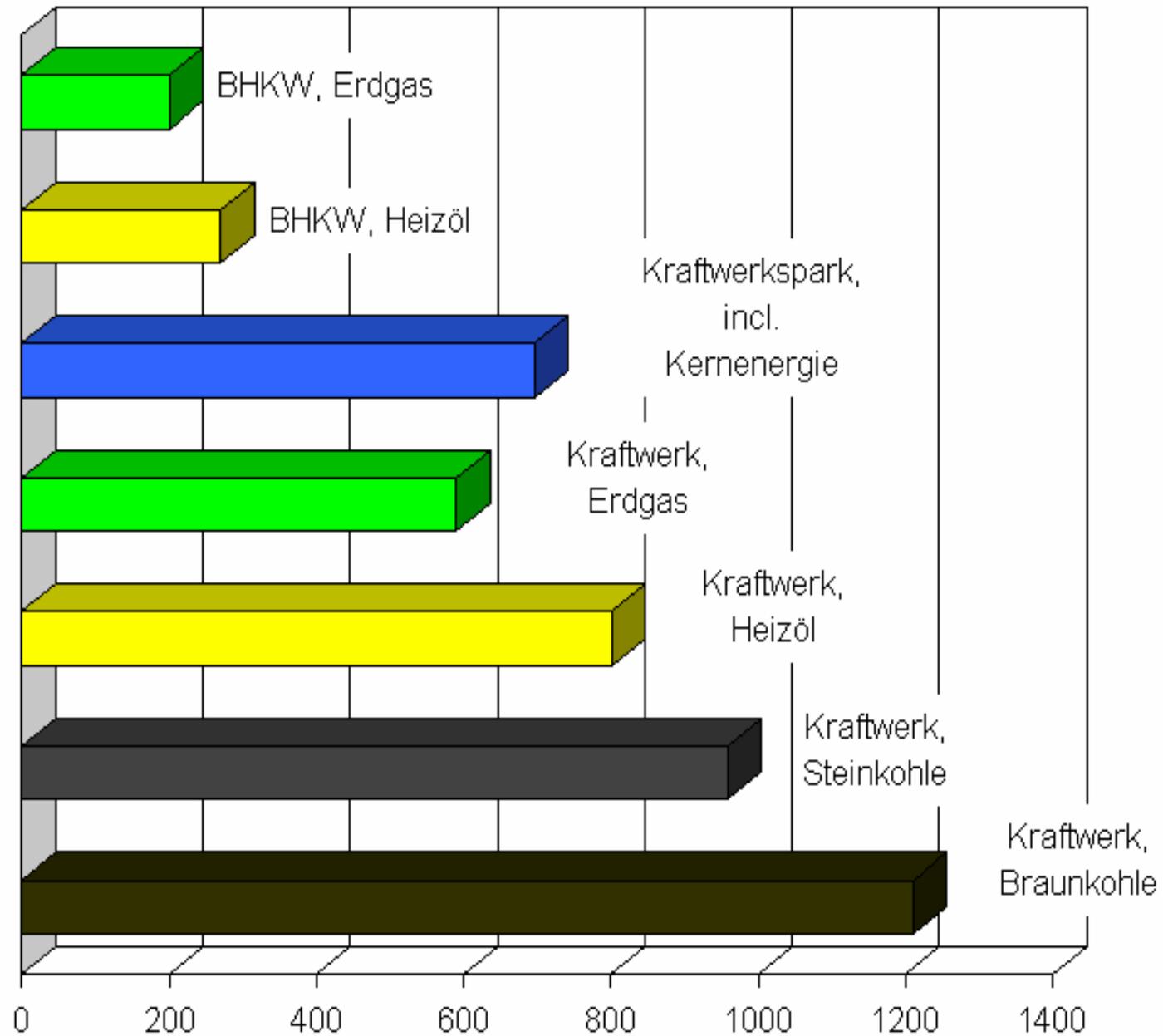
- Apple 24“ LED-Monitor: 382 kg CO<sub>2</sub> Äquivalent

<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/  
bhw\\_co2.htm](http://www.bhkws.de/bhkws_co2.htm)

---

# Herstellung von Laptops

---

- Dell Inspiron 2500 (2001): “52-67% weniger als bei einem Desktop-Computer”; die angegebenen Zahlen liegen dann aber bei 3 MJ/Laptop (Aufwände weiter gestiegen? Alte Zahlen unvollständig?).

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

---

# Trend der Werte?

---

- Aufgrund:
  - des fehlenden Anteils für den Stofftransport,
  - höherer Reinheitsklassen,
  - eines aufwändigen Produktionsprozesses für TFT-Schirme,
  - und der Zahlen von Apple

vermuten wir, dass Reduktionen des Energieaufwandes schwierig sind.

---

# 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:

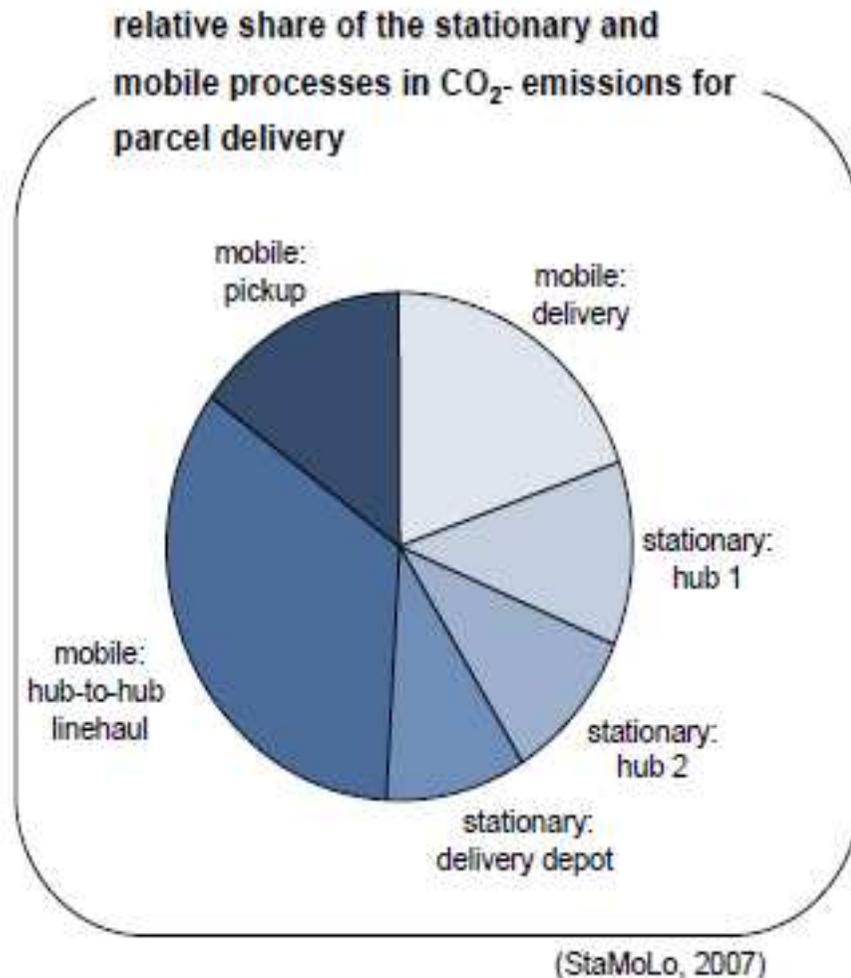
- 4 kg pro Laptop und Verpackung
- 10.000 km Transportweg, Flugzeug
- 62,5 kWh/100 t km

☞ 25 kWh

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

- Apple 24“-Monitor:  
48,75 kWh

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



\*  $\cong$  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

- 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

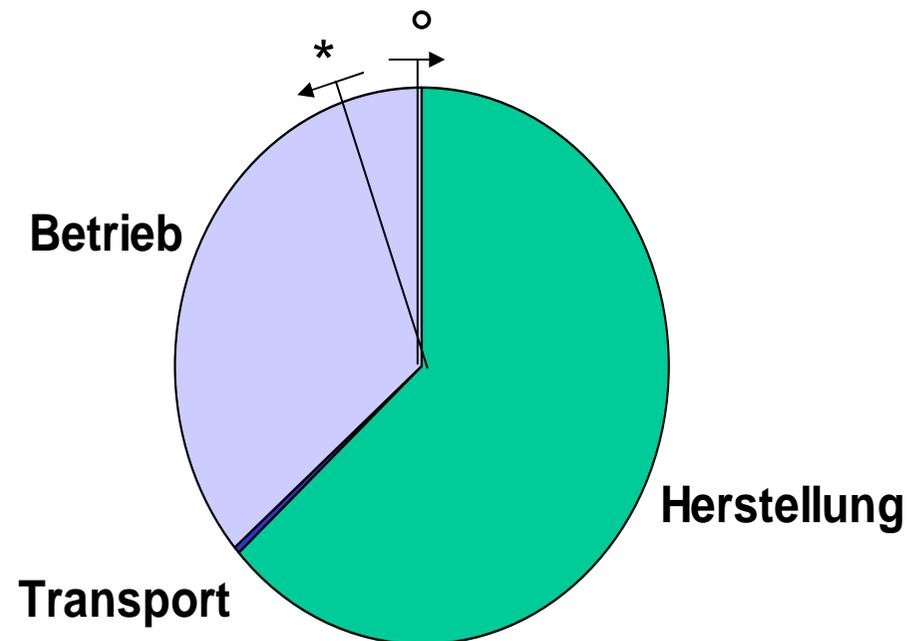
---

- Apple 24“ LED-TFT-Monitor: 1% von 980 kg 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



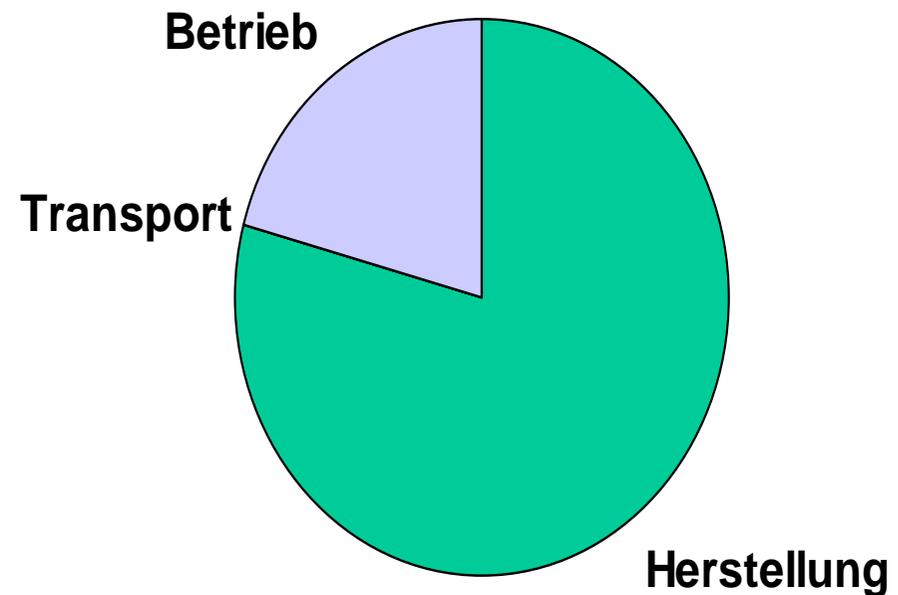
\* Bei Beitrag zur Raumheizung

° Bei Klimatisierung größerer Anteil

# Beispielrechnung: Laptop/Schiff

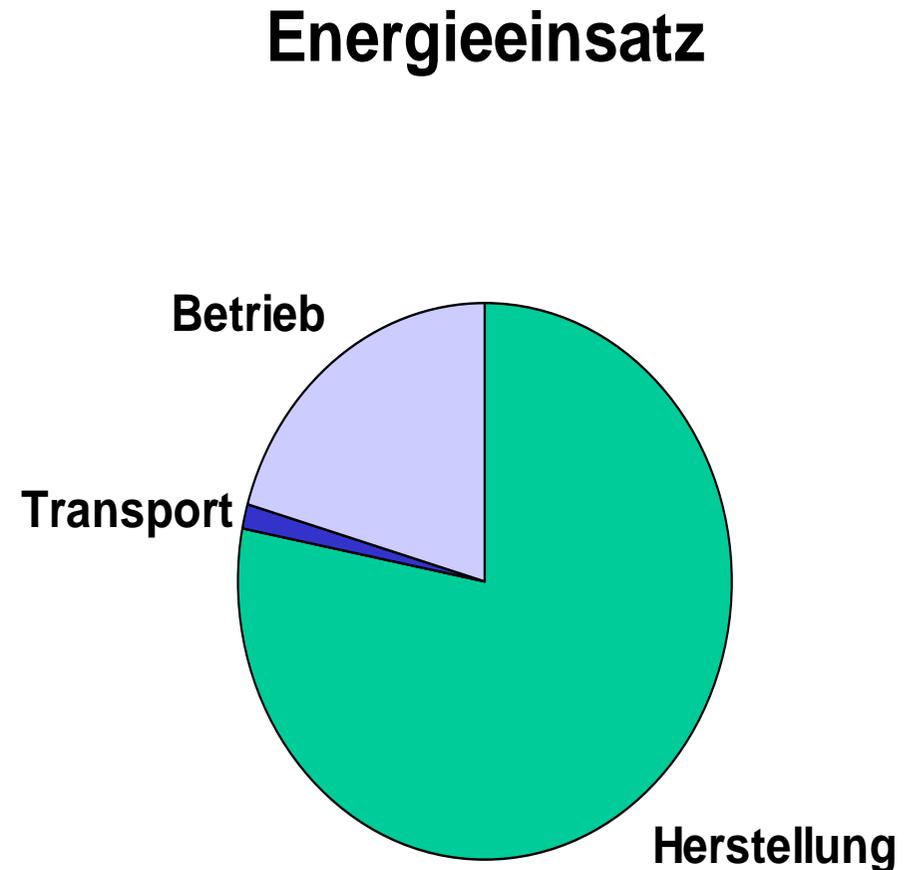
Herstellung	kWh
(Daten wie PC+Monitor)	1500
<b>Transport</b>	
4 kg per Schiff aus Asien	0,6
+ 1 Paket per DHL	0,8
<b>Betrieb</b>	
4 Jahre à 1800 Stunden	396
<b>Netzwerk</b>	
Nicht berücksichtigt	
<b>Entsorgung</b>	
Unbekannt.	

## Energieeinsatz

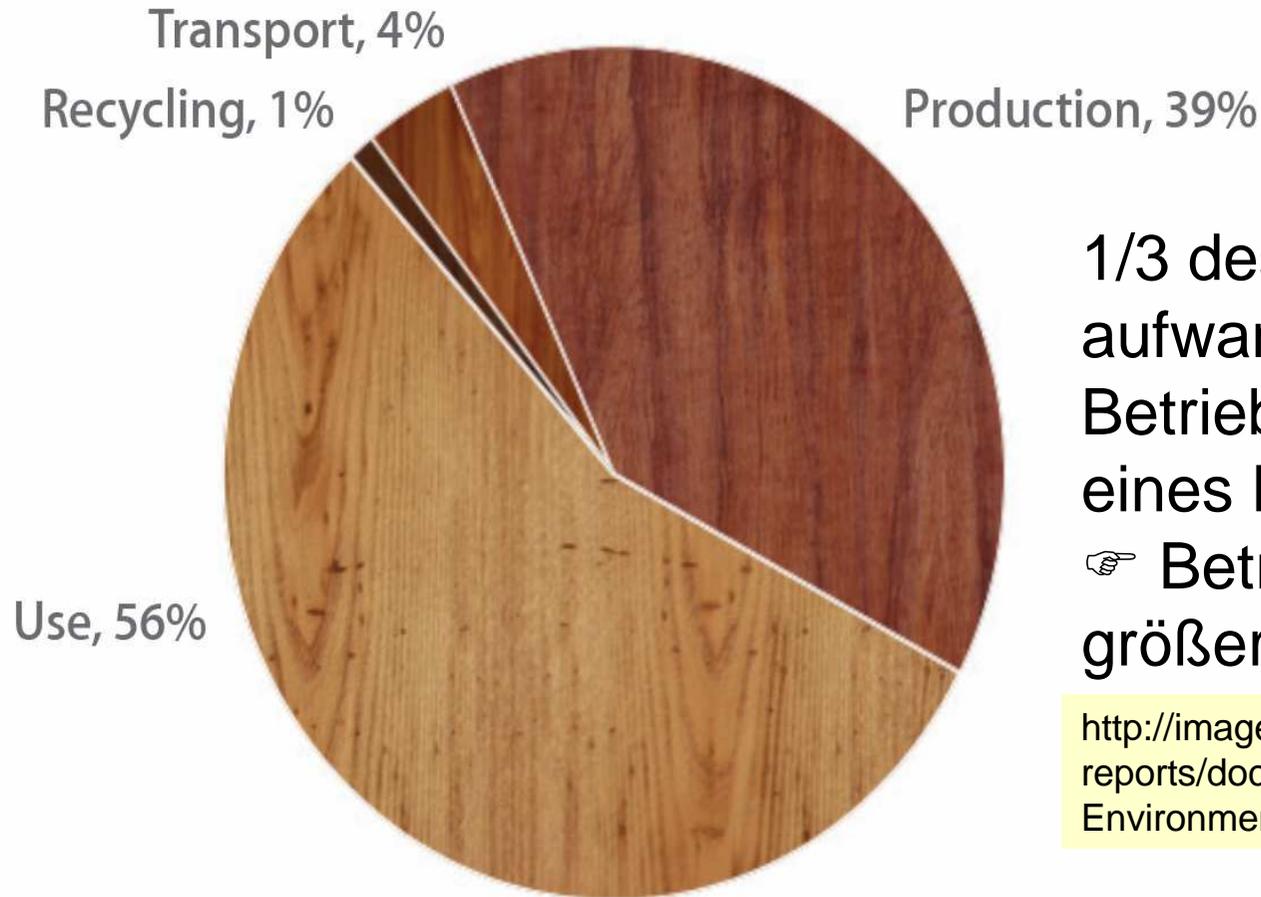


# Beispielrechnung: Laptop/Flugzeug

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.	



# Anteile insgesamt für Apple 24“ Monitor



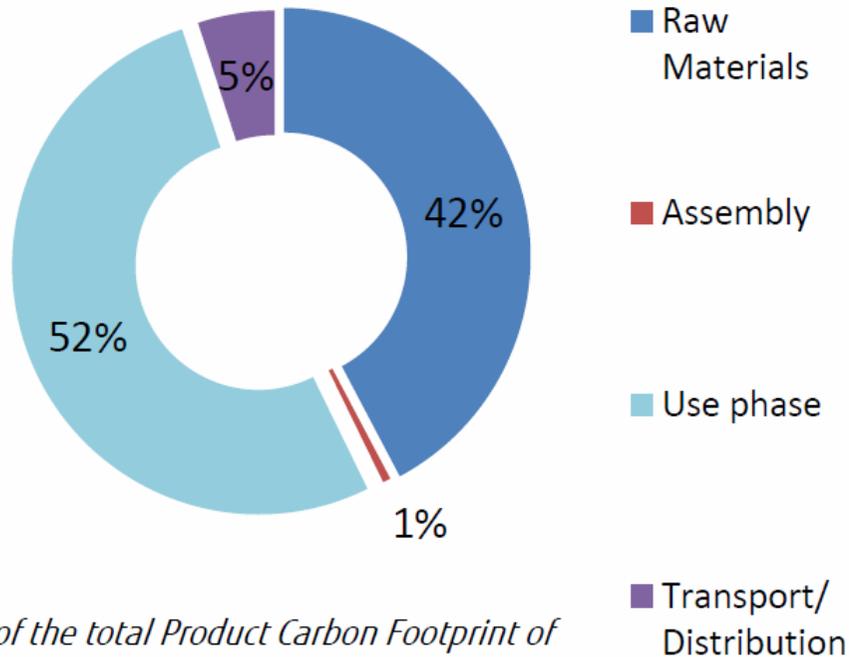
1/3 des Herstellungsaufwandes, 1/2 des Betriebsaufwandes eines Komplettsystems  
☞ Betriebsanteil größer

<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

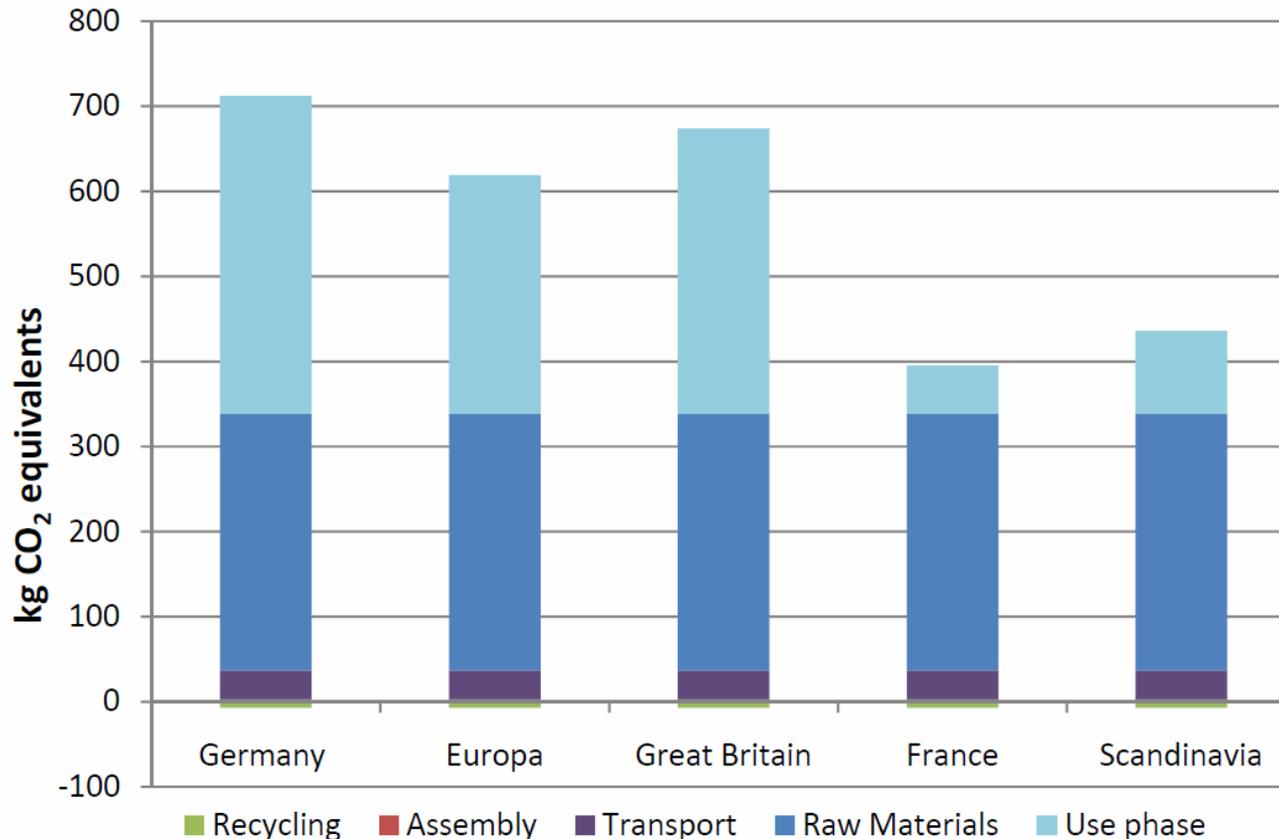


Figure 4: Total Product Carbon Footprint of the desktop ESPRIMO E9900 for the usage in different countries with specific energy mixes

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>

---

# Ergebnisse für Laptop

---

- 62-70% des Gesamt-Energiebedarfs notwendig bei der Herstellung

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

---

# 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 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 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

---

IT besitzt neben den 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.

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 CO<sub>2</sub>-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.

