

Plädoyer für eine ganzheitliche Betrachtung des Zusammenhangs zwischen Informationstechnologie und CO₂-Produktion

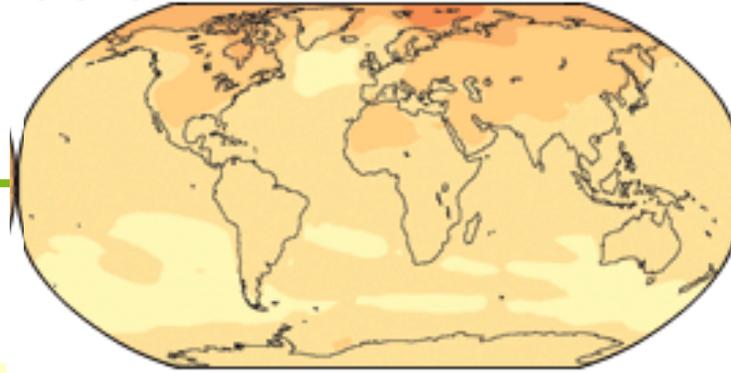
Peter Marwedel

TU Dortmund, Informatik 12
Informatik Centrum Dortmund (ICD)
Dortmund, Germany

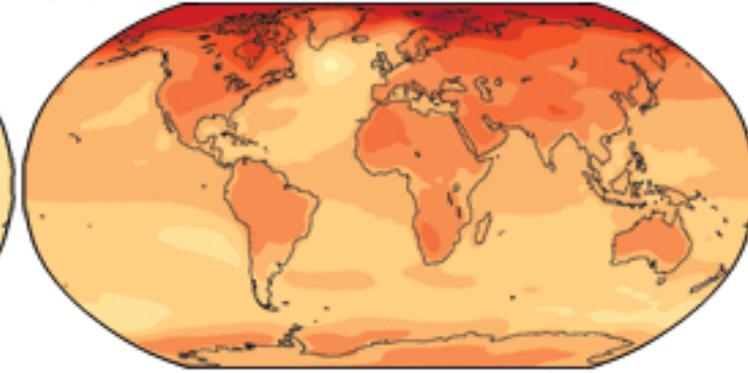


Vorhersage der globalen Erwärmung

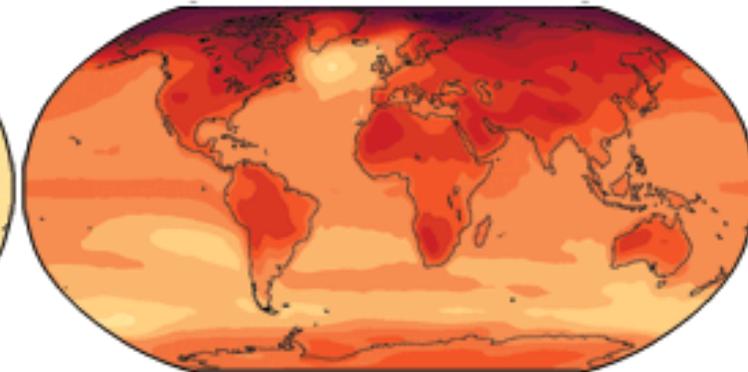
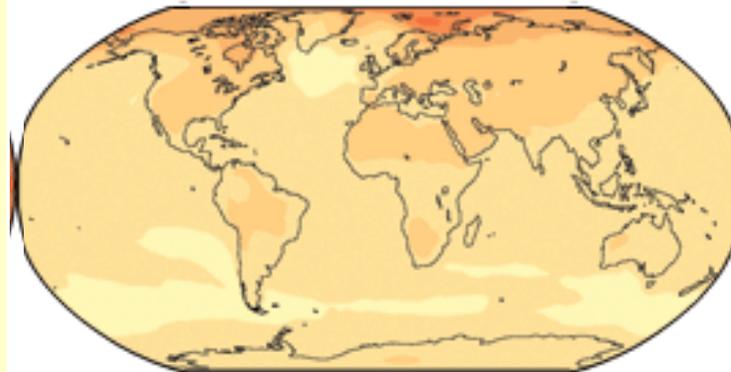
2020-2029



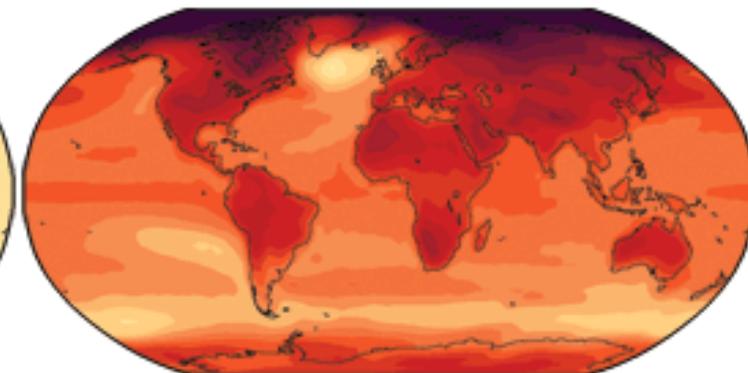
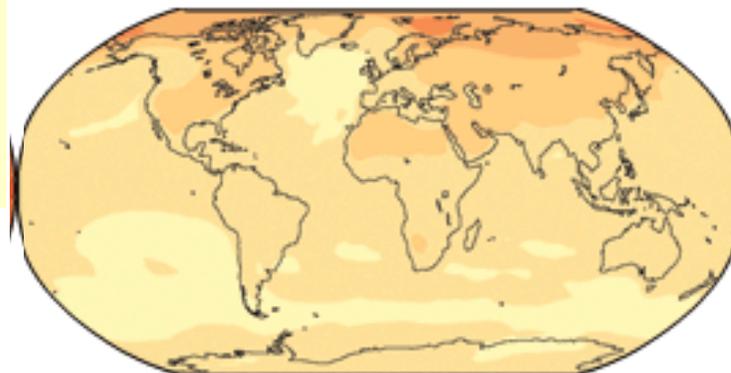
2090-2099



low growth (B1)



moderate growth (A1B)



high growth (A2)

„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>]

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]

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

Erste 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 CO₂-Bilanz



© 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
 - ...

„Disclaimer“

Alle nachfolgenden Beispiel-Rechnungen basieren auf sorgfältig recherchierten Daten, sind aber dennoch mit großen Unsicherheiten behaftet.

Sie geben keine Auskunft über die jeweiligen Anteile an der globalen CO₂-Produktion.

CO₂-Produktion bei der Herstellung von IT-Geräten (1)

- Energieaufwand für Herstellung eines PCs mit Röhrenmonitor: 1500 kWh (*nur Produktionsprozess, ohne Transport verschiedener Stoffe*)

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

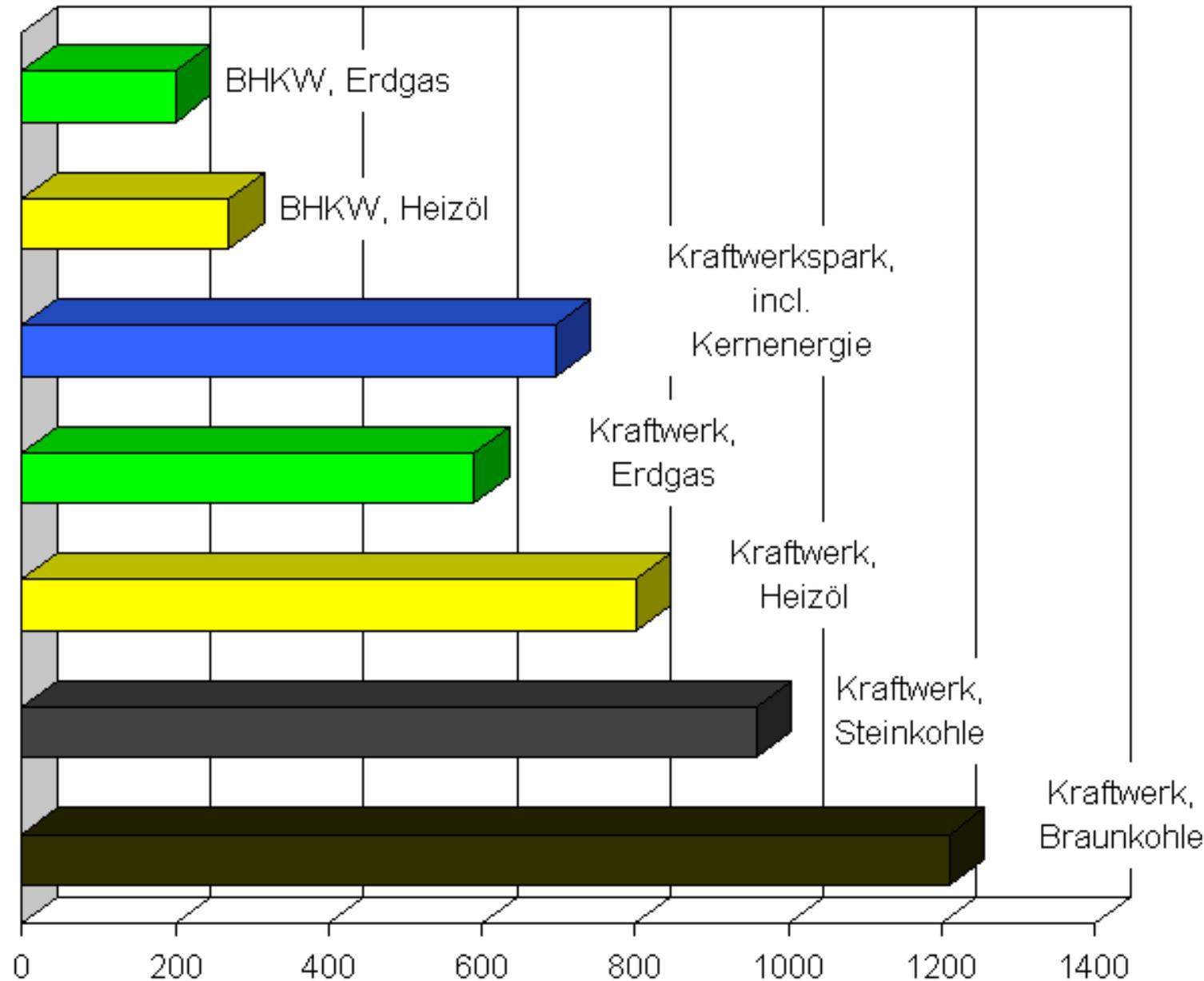
3000 kWh laut Michael Kuhndt vom Wuppertal Institut für Umwelt, Klima und Technologie

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

CO₂-Produktion bei der Herstellung von IT-Geräten (2)

- Leider sind keine neueren Zahlen und keine Zahlen für Notebooks oder Flachbildschirme bekannt. Vermutung:
 - Aufgrund höherer Reinheitsklassen,
 - eines aufwändigen Produktionsprozesses für TFT-Schirme
 - und des fehlenden Anteils für den Stofftransport dürfte der echte Energieaufwand derzeit eher höher sein.

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



Glizie GmbH
[http://www.bhkws.de/
bhw_co2.htm](http://www.bhkws.de/bhkws_co2.htm)

CO₂-Erzeugung bei der PC-Produktion

- Annahmen:

- 1500 kWh/(PC+Monitor)
- 800g/kWh (Heizöl-Kraftwerk)

☞ 1200 kg CO₂/(PC+Monitor)

- Verhältnisse bei LCD-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) p. 1281-1294]

* Nachtrag 12/2009

Transport von PCs

- (See-) Schiff: 1,3 kg CO₂ / 100 t km (Tonnenkilometer)

[<http://www.shipsandboxes.com/eng/downloads/article.php?DownloadID=1457598051>]

- Rheinschiff, Mittelrheinstrecke, beladen **zu Berg**: 1 ℓ Diesel / 100 t km (☞ ca. 2.6 kg CO₂ /100 t km)

Matthias Marwedel
(Binnenschiffer): Persönliche
Kommunikation

- Flugzeug (Cargo B747) 50 kg CO₂ / 100 t km

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

CO₂-Eintrag beim PC-Transport aus Asien

- Annahmen PC/Schiff:
 - 20 kg pro (PC+Monitor) und Verpackung
 - 12.000 km Transportweg, Schiff
 - 1,3 kg CO₂ /100 t km
- ☞ 3,12 kg CO₂
- Annahmen Laptop/Schiff:
 - 4 kg pro Laptop und Verpackung
- ☞ 0,6 kg CO₂
- Annahmen Laptop/Flugzeug:
 - 4 kg pro Laptop und Verpackung
 - 10.000 km Transportweg, Flugzeug
 - 50 kg CO₂ /100 t km
- ☞ 20 kg CO₂

CO₂-Eintrag beim Paket-Transport

relative share of the stationary and mobile processes in CO₂- emissions for parcel delivery

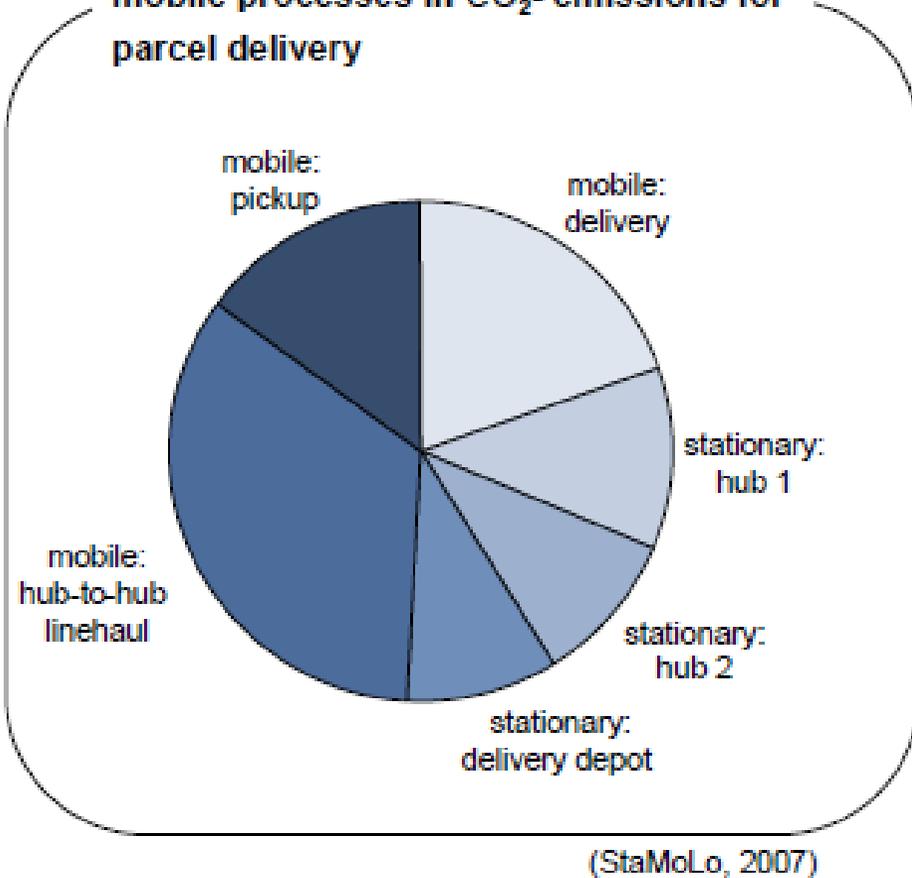


Figure 2. Relative share in CO₂-emissions and costs for DHL parcel delivery in Germany

„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 für Multi-media-Anwendungen im *idle*-Modus

- 17“ TFT-Monitor: 25 W

- Laptop: 30 W (MSI 12“ Laptop)

[Malte Marwedel,
gemessen, persönliche
Kommunikation]

- Netzwerk-Infrastruktur: nicht genau bekannt;
Schätzung: noch einmal etwa dieselbe Leistung

CO₂-Eintrag beim Betrieb von Geräten

- Annahme: 1800 Stunden / a (Arbeitszeit gemäß ECTS)
- Annahme: Gerätenutzung von 4 Jahren
- Erdöl-Kraftwerk mit 800 g CO₂ / kWh_{el}
- Annahme PC:
 - 95 W PC (nur *idle*-Modus gerechnet)
 - 25 W Bildschirm
- ☞ 691 kg CO₂
- Annahme Laptop:
 - 30 W Laptop
 - 25 W Bildschirm
- ☞ 317 kg CO₂

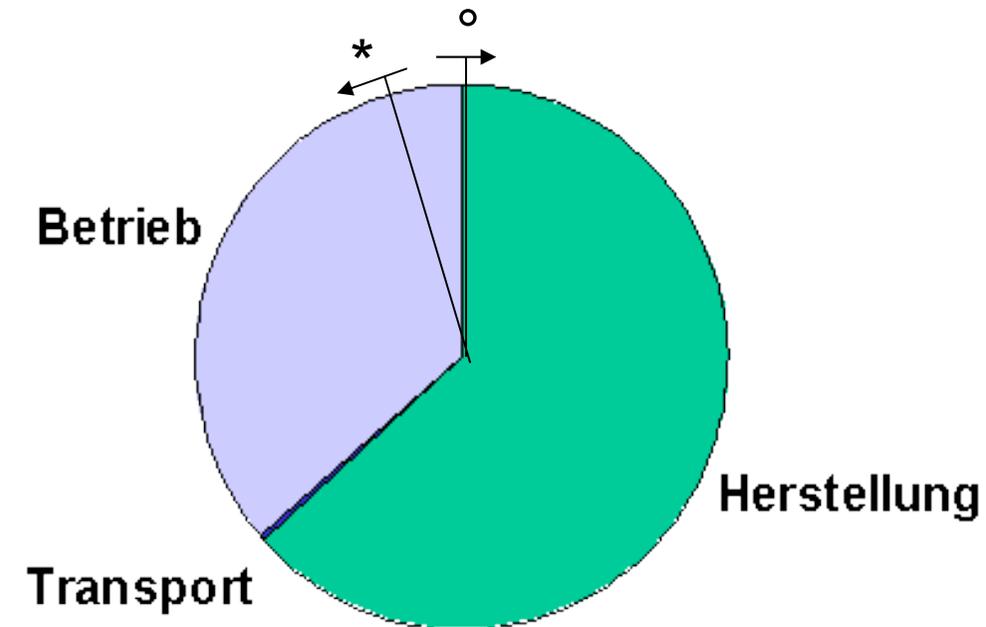
Entsorgung von IT-Geräten

- Energieaufwand bei der Entsorgung weitgehend unbekannt

Beispielrechnung: PC/Schiff

Herstellung	CO ₂ [kg]
PC+Monitor	1200
Transport	
20 kg per Schiff aus Asien	3,12
+ 2 Pakete per DHL	1,3
Betrieb	
4 Jahre à 1800 Stunden	691
Netzwerk	
Nicht berücksichtigt	
Entsorgung	
Unbekannt.	

Beitrag zur CO₂-Produktion

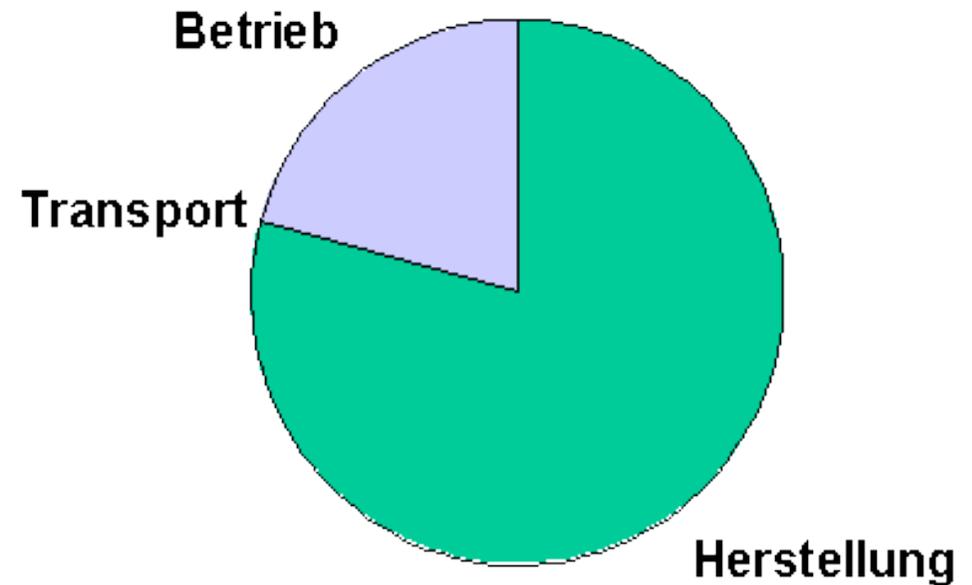


- * Bei Beitrag zur Raumheizung
- ° Bei Klimatisierung größerer Anteil

Beispielrechnung: Laptop/Schiff

Herstellung	CO ₂ [kg]
(Daten wie PC+Monitor)	1200
Transport	
4 kg per Schiff aus Asien + 1 Paket per DHL	0,6 0,6
Betrieb	
4 Jahre à 1800 Stunden	317
Netzwerk	
Nicht berücksichtigt	
Entsorgung	
Unbekannt.	

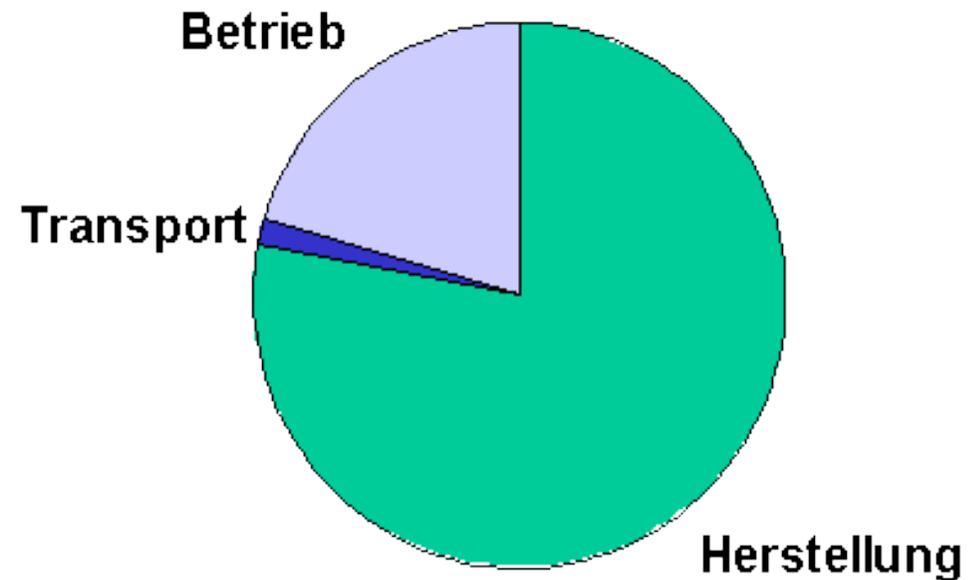
Beitrag zur CO₂-Produktion



Beispielrechnung: Laptop/Flugzeug

Herstellung	CO ₂ [kg]
(Daten wie PC+Monitor)	1200
Transport	
4 kg per Flugzeug aus Asien + 1 Paket per DHL	20 0,6
Betrieb	
4 Jahre à 1800 Stunden	317
Netzwerk	
Nicht berücksichtigt	
Entsorgung	
Unbekannt.	

Beitrag zur CO₂-Produktion



Beobachtungen

- Die Herstellung ist für den größten Teil 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 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 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.



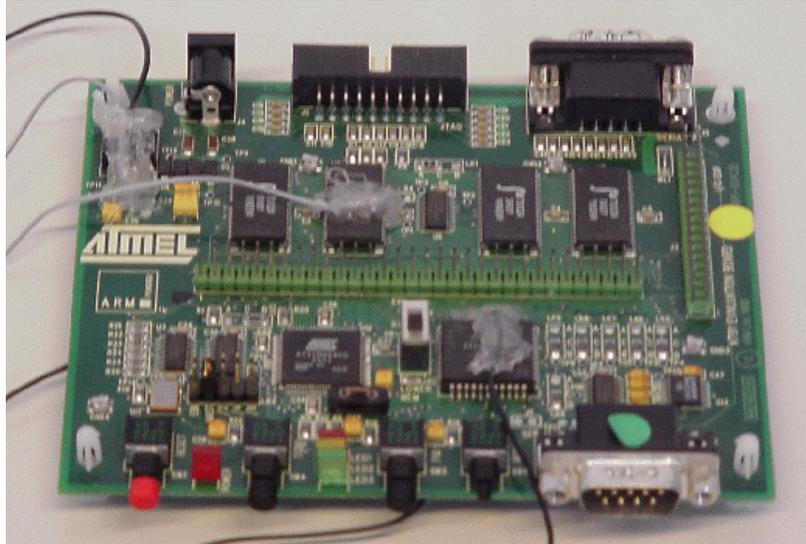
CO₂-Eintrag pro ℓ Kraftstoff

- LKW: 2,6 kg CO₂ / ℓ Diesel

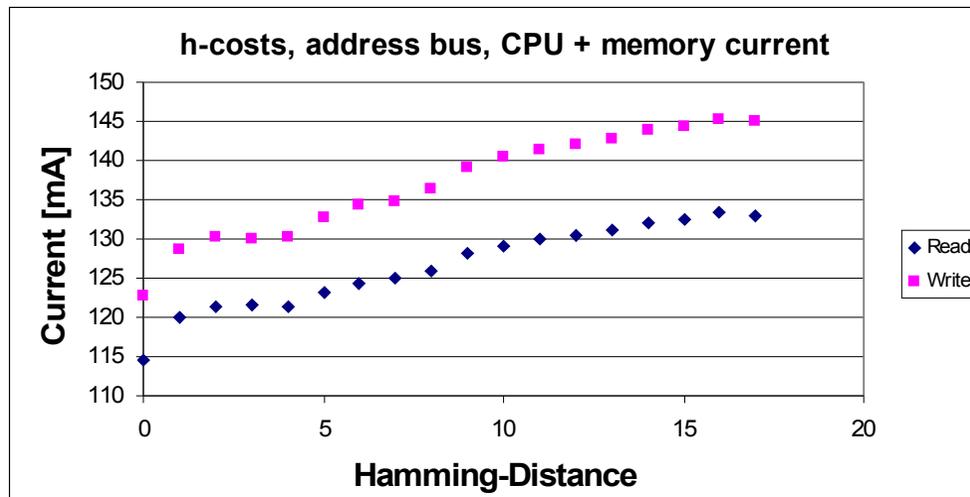
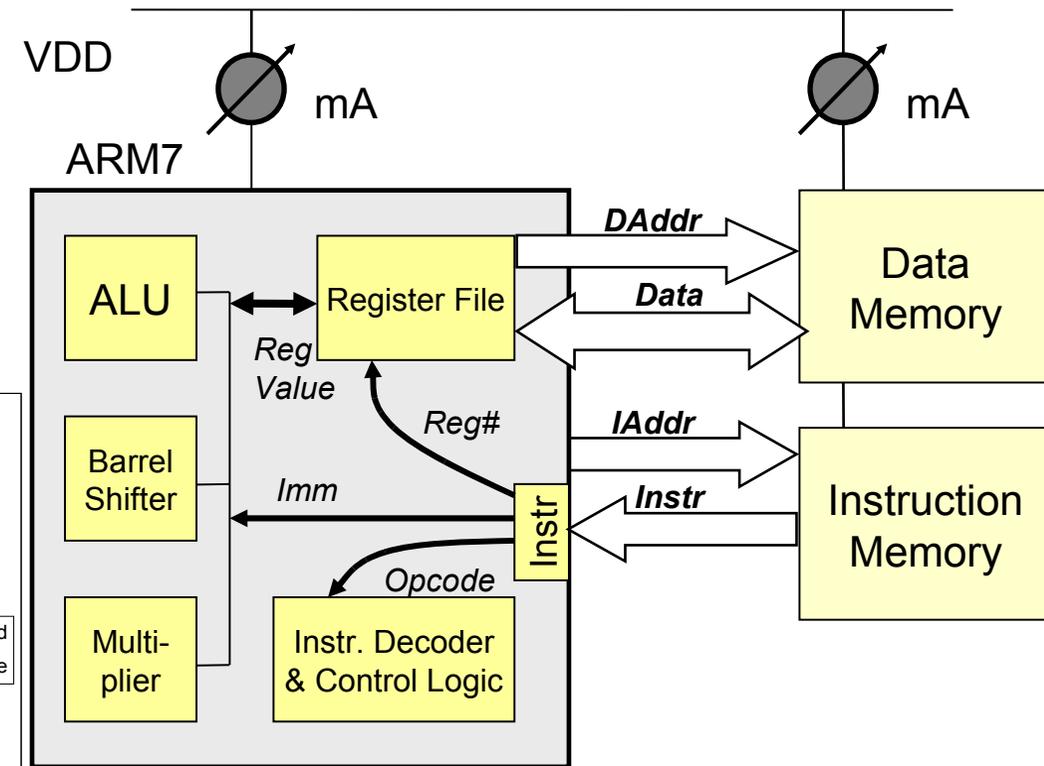
Clausen et al.: Measures to abate green house gas emissions in logistics companies, <http://www.stamolo.de>

- Für das bei Seeschiffen eingesetzte Schweröl entstehen zusätzliche Umweltbelastungen durch zusätzliche Schadstoffe.

Eigene Arbeiten: Source of energy models: measurements



E.g.: ATMELEVAL board with
ARM7TDMI and ext. SRAM



Instruction dependent costs in the CPU

Cost for a sequence of m instructions

$$\begin{aligned}
 E_{\text{cpu_instr}} = & \sum \text{MinCostCPU}(\text{Opcode}_i) + \\
 & \alpha_1 * \sum w(\text{Imm}_{i,j}) + \beta_1 * \sum h(\text{Imm}_{i-1,j}, \text{Imm}_{i,j}) + \\
 & \alpha_2 * \sum w(\text{Reg}_{i,k}) + \beta_2 * \sum h(\text{Reg}_{i-1,k}, \text{Reg}_{i,k}) + \\
 & \alpha_3 * \sum w(\text{RegVal}_{i,k}) + \beta_3 * \sum h(\text{RegVal}_{i-1,k}, \text{RegVal}_{i,k}) + \\
 & \alpha_4 * \sum w(\text{IAddr}_i) + \beta_4 * \sum h(\text{IAddr}_{i-1}, \text{IAddr}_i) + \\
 & \text{FUCost}(\text{Instr}_{i-1}, \text{Instr}_i)
 \end{aligned}$$

w : number of ones;

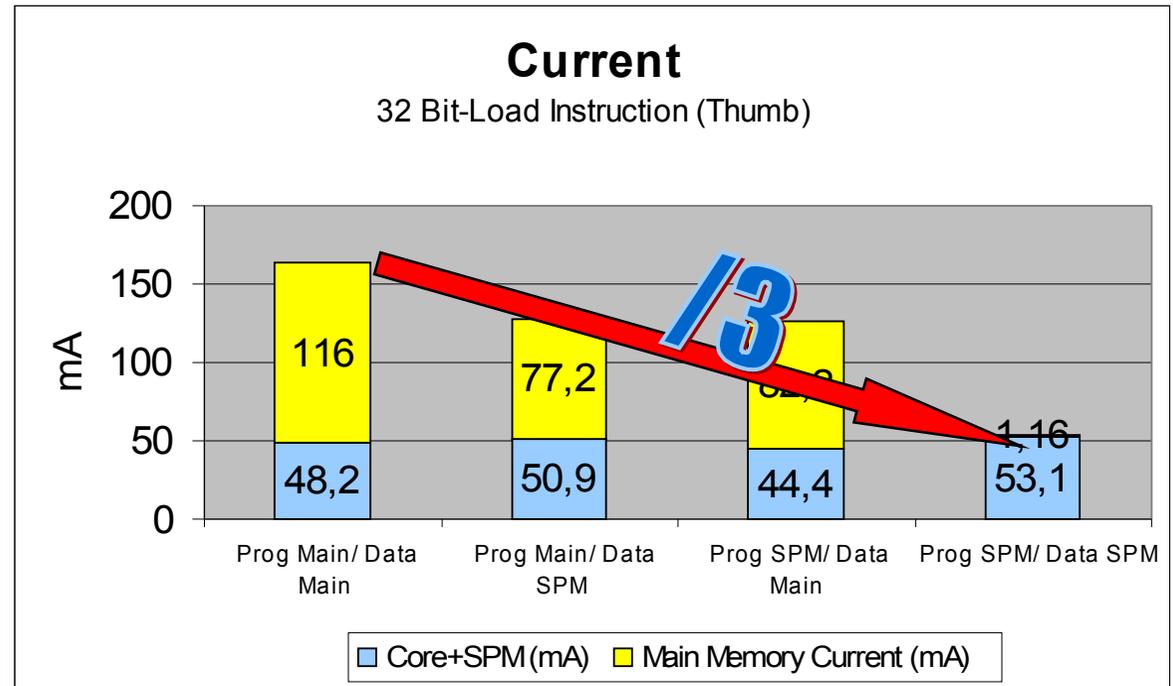
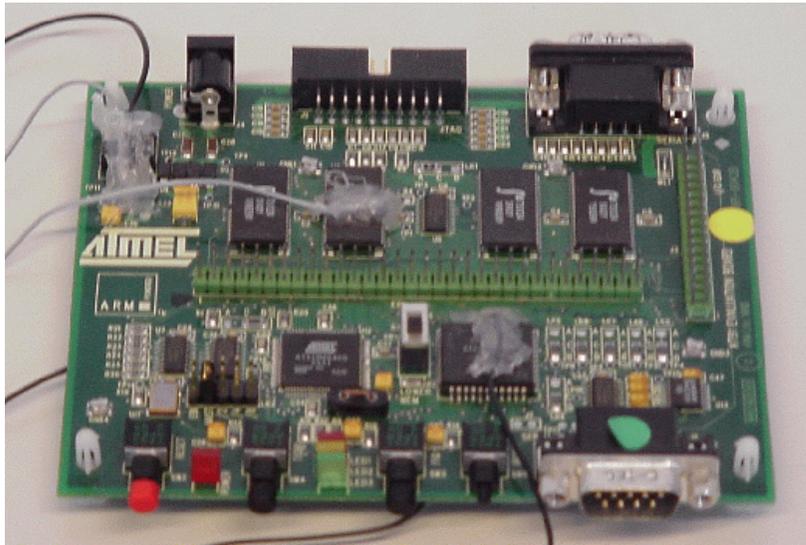
h : Hamming distance;

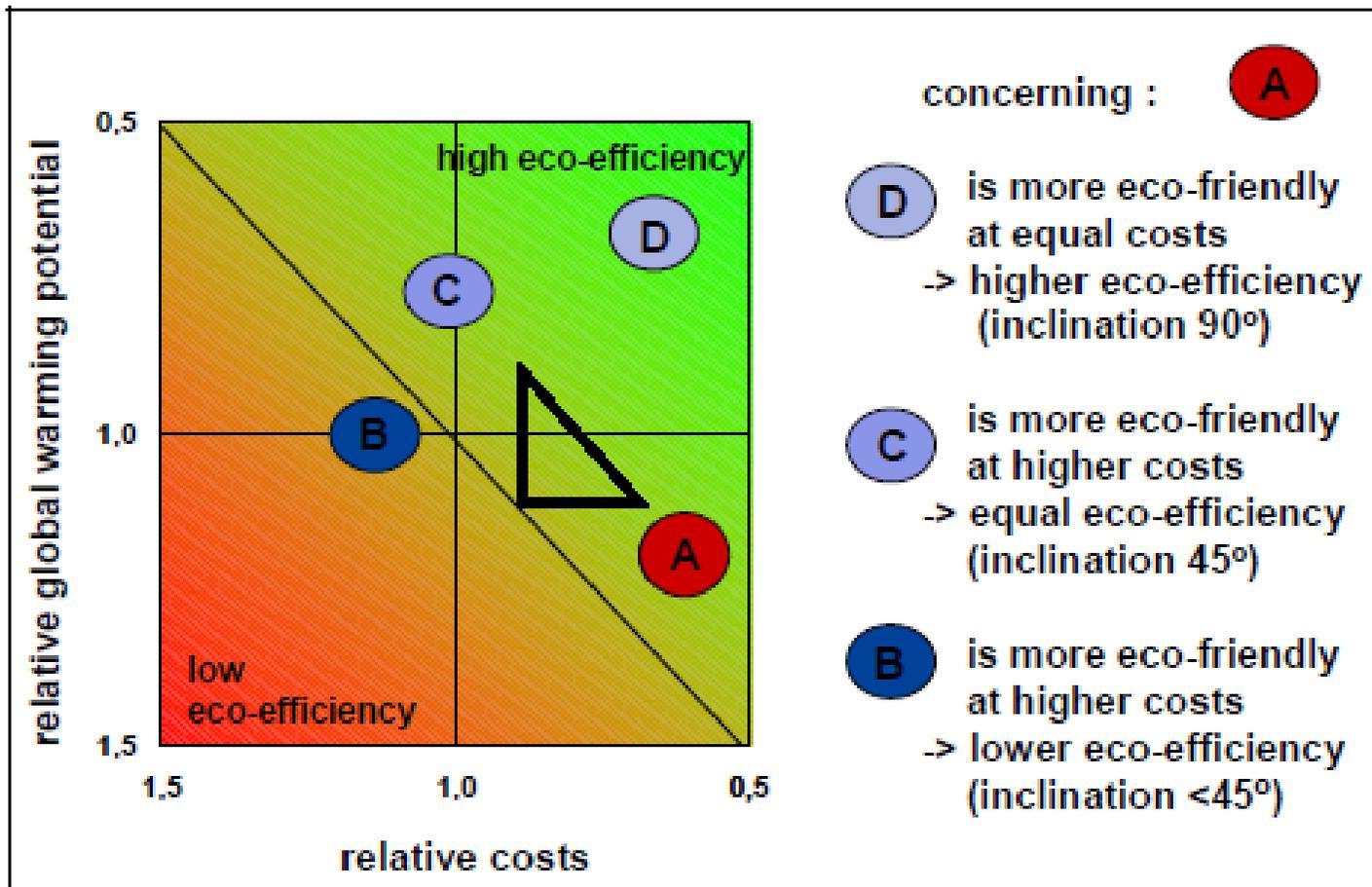
FUCost: cost of switching functional units

α, β : determined through experiments

Comparison of currents using measurements

E.g.: ATMEL board with ARM7TDMI and ext. SRAM





Eco-efficiency portfolio of different alternatives

