

Die Energieeffizienz der Informationsgesellschaft: Wo ist sie geblieben?

Lorenz Hilty

Forschungsgruppe Informatik und Nachhaltigkeit

Institut für Informatik, Universität Zürich

Abteilung Technologie und Gesellschaft, Empa



**Universität
Zürich**^{UZH}

Institut für Informatik

Forschungsgruppe Informatik und Nachhaltigkeit
Prof. Dr. Lorenz Hilty, Folie 1



Materials Science & Technology

Überblick

1. Immer mehr Rechenleistung für immer weniger Energie
2. Immer mehr Datenübertragung für immer weniger Energie
3. IKT kann in anderen Bereichen Energie sparen helfen.
Beispiele: Mobilität, Medien, Heizen/Kühlen
4. Warum brauchen wir trotz steigender Energieeffizienz insgesamt (noch) nicht weniger Energie?

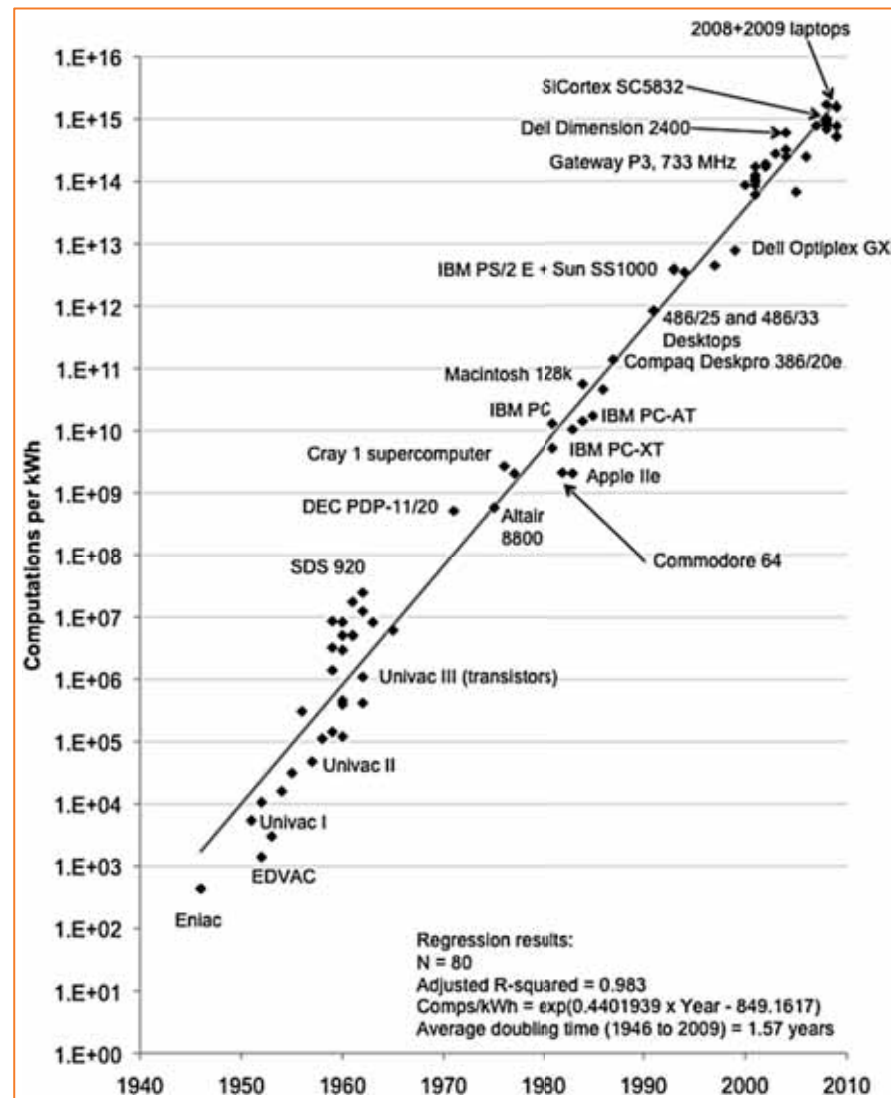


1. Immer mehr Rechenleistung für immer weniger Energie

Koomey's Gesetz der zunehmenden Energieeffizienz

Computations per kilowatt-hour over time. These data include a range of computers, from PCs to mainframe computers and measure computing efficiency at peak performance. Efficiency doubled every 1.57 years from 1946 to 2009.

Source: Koomey, J., Berard, S., Sanchez, M., and Wong, H. (2011): "Implications of Historical Trends in the Electrical Efficiency of Computing" Annals of the History of Computing, IEEE, March 2011, Volume: 33 (3), pp. 46 - 54



Ein heutiger (2012) Laptop-Computer rechnet pro Energieeinheit rund 3 Mio. mal mehr als die ersten Mikrocomputer um 1980.

Damals hätte man, um die Rechenleistung eines heutigen Laptops zu erbringen, die elektrische Leistung eines kleinen AKW benötigt.



Universität
Zürich

Institut für Informatik

Forschungsgruppe Informatik und Nachhaltigkeit
Prof. Dr. Lorenz Hilty, Folie 3



Materials Science & Technology

Cray 1A Supercomputer (1976)
5.5 Tonnen
160 MIPS für 115 kW

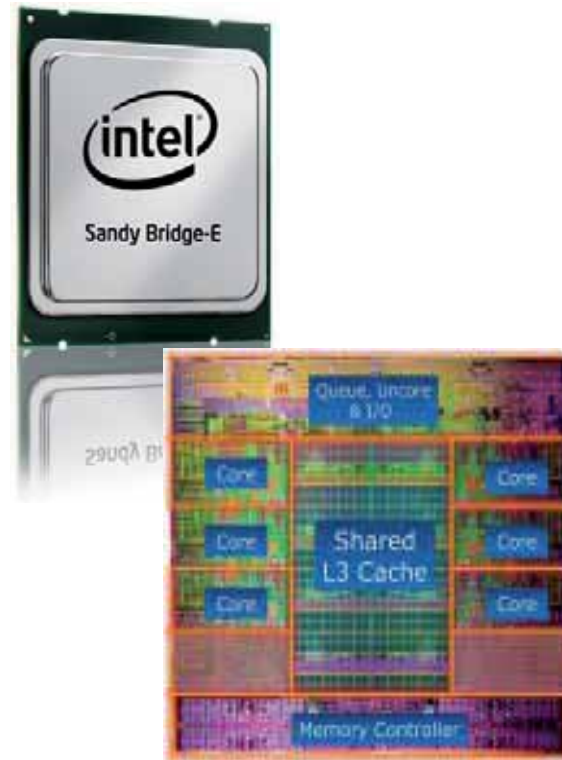
MIPS = Million Instructions Per Second



\$ 7 900 000

Bildquelle: Wikipedia

Intel Core i7 3960X (2012)
45 Gramm
178 000 MIPS für 130 W



\$ 990

Bildquelle: Wikipedia



Universität
Zürich^{UZH}

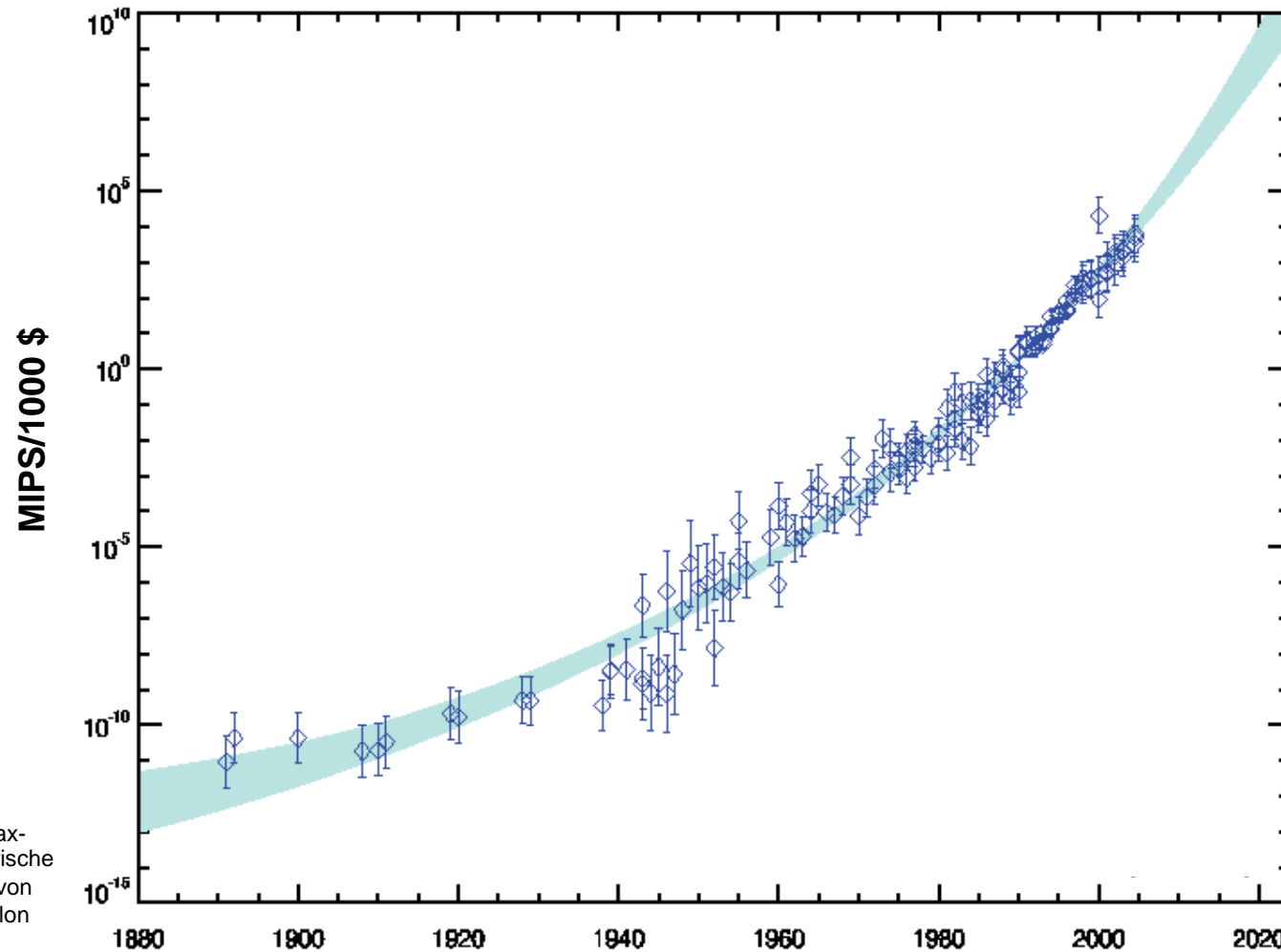
Institut für Informatik

Forschungsgruppe Informatik und Nachhaltigkeit
Prof. Dr. Lorenz Hilty, Folie 4



Materials Science & Technology

... immer mehr Rechenleistung für immer weniger Geld



Quelle: Hermann Brunner, Max-Plank-Institut für Extraterrestrische Physik, basierend auf Daten von Hans Moravec, Carnegie Mellon University



Universität
Zürich^{UZH}

Institut für Informatik

Forschungsgruppe Informatik und Nachhaltigkeit
Prof. Dr. Lorenz Hilty, Folie 5



Materials Science & Technology

Energieeffizienz und Preis

Stromverbrauch pro Transistor 1971-2011: Faktor **5000** weniger

Preis pro Transistor 1971-2011: Faktor **50 000** weniger

**Rechnen wird zwar unglaublich schnell energieeffizienter,
aber noch 10 mal schneller billiger.**



Überblick

1. Immer mehr Rechenleistung für immer weniger Energie
2. Immer mehr Datenübertragung für immer weniger Energie
3. IKT kann in anderen Bereichen Energie sparen helfen.
Beispiele: Mobilität, Medien, Heizen/Kühlen
4. Warum brauchen wir trotz steigender Energieeffizienz insgesamt (noch) nicht weniger Energie?



1. Immer mehr Datenübertragung für immer weniger Energie

Wird **ein Gigabyte** (1000 Megabyte) über das Internet übertragen, verursacht das im Durchschnitt einen Stromverbrauch von:



- | | |
|-------------------|--------|
| A: 136 kWh | 57 h |
| B: 7 kWh | 3 h |
| C: 1.8 kWh | 45 min |
| D: 0.2 kWh | 5 min |



... aber die Ergebnisse unterscheiden sich

Study	Type	System boundary			Data for	Energy intensity
		Networking equipment	Transmission lines	Terminal devices		
(Kooimey et al. 2004)	Top-down	X	X	X	2000	136 kWh/GB
(Taylor and Kooimey 2008)	Top-down	X	X	X	2006	8.8 - 24.3 kWh/GB
(Weber et al. 2010)	Top-down	X	X	X	2008	7 kWh/GB
(Pickavet et al. 2008)	Top-down	X	X		2008	1.8 kWh/GB
(Lanzisera et al. 2012)	Top-down	X			2008	0.47 kWh/GB
(Baliga et al. 2007)	Hybrid	X	X		2007	0.91 - 2.52 kWh/GB
(Baliga et al. 2009)	Hybrid	X	X		2008	> 0.167 kWh/GB
present study	Bottom-up	X	X		2009	< 0.2 kWh/GB

Quelle: eigene Darstellung

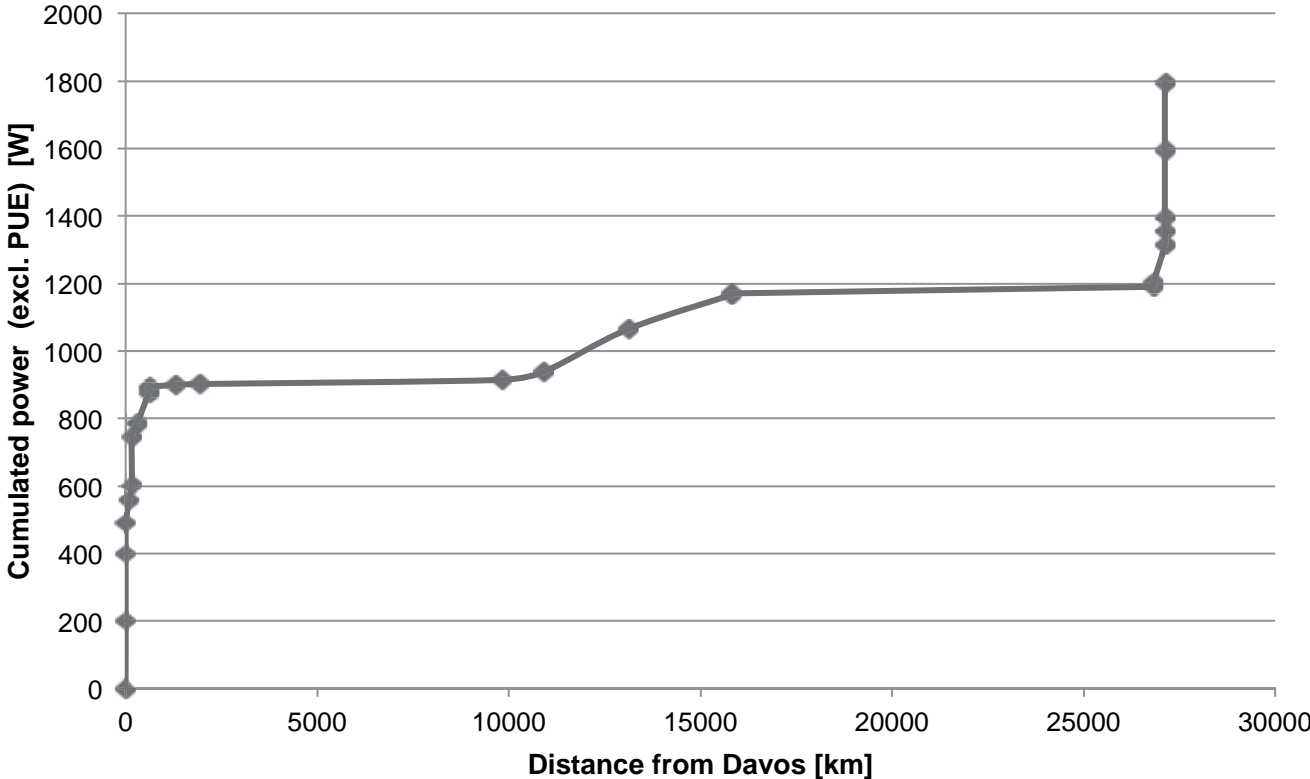
Die Nachfrage wächst mit:

Geht man von 0.2 kWh/GB aus (unsere eigene Untersuchung), so verursachen die täglich 4 Milliarden Downloads von Youtube-Videos einen Bedarf von 260-3000 Megawatt Dauerleistung (nur für die Übertragung).



Energie und Entfernung im Internet

Fallstudie Videoconferencing Davos – Nagoya mit 40 Mbit/s



Quelle: eigene Darstellung



Überblick

1. Immer mehr Rechenleistung für immer weniger Energie
2. Immer mehr Datenübertragung für immer weniger Energie
3. IKT kann in anderen Bereichen Energie sparen helfen.
Beispiele: Mobilität, Medien, Heizen/Kühlen
4. Warum brauchen wir trotz steigender Energieeffizienz insgesamt (noch) nicht weniger Energie?



3. IKT hilft Energie sparen – Beispiele

Die Empa veranstaltete 2009 das erste “World Resources Forum” in Davos in Kooperation mit der Universität Nagoya, Japan.

Flug Japan-Schweiz und zurück: 2.1 Tonnen CO₂ / Person

Idee: Flüge vermeiden durch Videoconferencing

A. Vorträge

B. Publikum

C. Pausen



<http://www.worldresourcesforum.org>



Universität
Zürich^{UZH}

Institut für Informatik

Forschungsgruppe Informatik und Nachhaltigkeit
Prof. Dr. Lorenz Hilty, Folie 12



Materials Science & Technology



<http://www.worldresourcesforum.org>



Universität
Zürich^{UZH}

Institut für Informatik

Forschungsgruppe Informatik und Nachhaltigkeit
Prof. Dr. Lorenz Hilty, Folie 13



Materials Science & Technology



<http://www.worldresourcesforum.org>



Universität
Zürich^{UZH}

Institut für Informatik

Forschungsgruppe Informatik und Nachhaltigkeit
Prof. Dr. Lorenz Hilty, Folie 14



Materials Science & Technology

Bilanz:

- vermiedene Interkontinentalflüge: 76 Personen, **-151 Tonnen CO₂**
- ersetzt durch Reisen nach Nagoya: **+16 Tonnen CO₂**
- zusätzliche Reisen nach Nagoya: 83 Personen, **+18 Tonnen CO₂**
- Full-HD-Videoconferencing via Internet, 4 Kanäle, ganze Konferenz:

+165 kg CO₂

Quelle: V C Coroama, L M Hilty, M Birtel (2012) Effects of Internet-Based Multiple-Site Conferences on Greenhouse Gas Emissions. Telematics and Informatics 4: 29. 362-374



Printmedien oder elektronische Medien?

mat:
Media Analytics Tool

Erstellt automatisch
Ökobilanzen für viele
Varianten der Medien-
nutzung.

Entwickler:
Roland Hischier, Empa
Michael Keller, Uni ZH
Denkfabrik Visuelle
Kommunikation

www.denk-fabrik.ch/mat

Papiermedien	
Erstes Papiermedium	
Format	A4
Anzahl Seiten	Seiten
Flächengewicht	g/m ²
Papiertyp	Papier, holzfrei/ungestrich
Druckverfahren	Bogenoffset
Leser pro Exemplar	Leser
Zweites Papiermedium	
Format	A5
Anzahl Seiten	Seiten
Flächengewicht	g/m ²
Papiertyp	Zeitungspapier
Druckverfahren	Rollenoffset
Leser pro Exemplar	Leser

Für beide Medien	
Distributionsmodell	Abonnement (Strasse)
Liefweg in km	km

Smartphone	
Betrachtungszeit	min
Empfangene Datenmenge	MB

Tablet	
Betrachtungszeit	min
Empfangene Datenmenge	MB

Computer	
Betrachtungszeit	min
Empfangene Datenmenge	MB
Daten ausdrucken?	Nein
Papiertyp	Zeitungspapier
Doppelseitig drucken?	Ja

TV	
Betrachtungszeit	min

Bewertungsfaktoren	
Bitte auswählen	
<input checked="" type="checkbox"/>	Treibhauseffekt
<input type="checkbox"/>	Kumulierter Energieaufwand
<input type="checkbox"/>	Umweltbelastungspunkte
<input type="checkbox"/>	ReCiPe, Ecosystem Quality
<input type="checkbox"/>	ReCiPe, Human Health
<input type="checkbox"/>	ReCiPe, Resources

Einstellungen	
Strom aus	Schweiz
Smartphone	
*Off-Zeit	0 Stunden pro Tag
Telefonieren	1 Stunden pro Tag
Datentransfer (inkl. SMS)	1 Stunden pro Tag
Lebensdauer des Geräts	2 Jahre
Ladegerät angeschlossen	Immer
Tablet	
*Off-Zeit	0 Stunden pro Tag
Aktive Gerätenutzung	2 Stunden pro Tag
Lebensdauer des Geräts	2 Jahre
Ladegerät angeschlossen	Nur zum Laden
Computer	
*Off-Zeit	10 Stunden pro Tag
Aktive Gerätenutzung	4 Stunden pro Tag
Lebensdauer des Geräts	4 Jahre
TV	
*Off-Zeit	1 Stunden pro Tag
Aktive Gerätenutzung	2.5 Stunden pro Tag
Lebensdauer des Geräts	6 Jahre



Universität
Zürich

Institut für Informatik

Forschungsgruppe Informatik und Nachhaltigkeit
Prof. Dr. Lorenz Hilty, Folie 16



Materials Science & Technology

Smart heizen und kühlen?

Thermische Speicher nicht nur nutzen, um Kompressoren und Heizungen optimal zu betreiben, sondern um “demand shaping” zu ermöglichen.

Beispiel Minergie-Bürohochhaus:

	Winter	Summer
Current situation (measured data)	43 398 kWh	92 2167 kWh
Simulation Results		
New Control Strategies	37 054 kWh	76 979 kWh
Dynamic Electricity Pricing	31 770 kWh	76 138 kWh



Kaltwasserspeicher 2 x 13 000 Liter

Energieeinsparung resultiert u.a. daraus, dass die Abwärme der Kühlaggregate besser genutzt wird.



Überblick

1. Immer mehr Rechenleistung für immer weniger Energie
2. Immer mehr Datenübertragung für immer weniger Energie
3. IKT kann in anderen Bereichen Energie sparen helfen.
Beispiele: Mobilität, Medien, Heizen/Kühlen
4. Warum brauchen wir trotz steigender Energieeffizienz insgesamt (noch) nicht weniger Energie?



4. Wo ist die Energieeffizienz geblieben?

- Rebound-Effekt:
Effizienz erzeugt zusätzliche Nachfrage.
Häufig ist der Auslöser nicht die Energieeffizienz, sondern die Zeit-, Raum-, Massen- oder Kosteneffizienz.
- Graue Energie wird oft vernachlässigt:
Die Energie für unsere IKT wird zum Teil in Asien verbraucht; wir werden effizienter auf Kosten der CO₂-Emissionen z.B. chinesischer Kohlekraftwerke.
- Relevante Einsparungen erfordern Verhaltensänderungen:
z.B. virtuelle Meetings, dynamische Strompreise, energie-autarke Geräte...



Was ist zu tun?

- Energie ist nicht gleich Energie:
Demand Shaping: Hohe elektrische Leistung dann anfordern, wenn genug Strom aus erneuerbaren Quellen zu Verfügung steht
- Energie dezentral gewinnen:
Energy harvesting: Zukünftige IKT kann sich teilweise selbst versorgen (Basisstationen, mobile Geräte), energie-autarke IKT
- Von der Natur lernen:
Energy awareness: Technische Systeme können über ihren eigenen Energieverbrauch informiert sein und Energie optimal managen.
- Nur Grenzen machen kreativ:
Solange nicht innerhalb begrenzter (Energie-)Ressourcen operiert werden muss, führt mehr Effizienz zu Mehrverbrauch.





ICT for Sustainability

ETH Zurich, Switzerland
February 14 – 16, 2013

www.ict4s.org



Universität
Zürich^{UZH}

ETH

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich



Materials Science & Technology