



# **GREEN IT:** Zukünftige Herausforderungen und Chancen

**Hintergrundpapier  
für die BMU/UBA/BITKOM-Jahreskonferenz 2009**

## IMPRESSUM

Herausgeber: Umweltbundesamt  
Wörlitzer Platz 1  
06844 Dessau-Roßlau

Telefon: 03 40 - 21 03-0  
Telefax: 03 40 - 21 03-2285

E-Mail: [info@umweltbundesamt.de](mailto:info@umweltbundesamt.de)  
Internet: [www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de)

Projektbetreuung: Dr. Heidrun Moser  
Fachgebiet III 1.1 Übergreifende internationale und sozioökonomische Aspekte des Produktbezogenen Umweltschutzes, Produkte und Nachhaltiger Konsum, Innovationsprogramm Produktbezogener Umweltschutz und Nachhaltiger Konsum  
Das vorliegende Papier wurde im Rahmen des UFOPLAN-Vorhabens „Produktbezogene Ansätze in der Informations- und Kommunikationstechnik“ (Förderkennzeichen 370893302) erarbeitet. Die hierin geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen.

Bearbeitung: PD Dr. Klaus Fichter  
Dr. Severin Beucker  
Dr. Jens Clausen  
Dr. Ralph Hintemann  
Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit gemeinnützige GmbH  
Clayallee 323  
D-14169 Berlin  
Tel. 030 306 45 1000  
[www.borderstep.de](http://www.borderstep.de)

In Zusammenarbeit mit  
Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung (IZT) und dem  
Fraunhofer-Institut für Mikrointegration und Zuverlässigkeit (IZM)

Gestaltung: Maik Eimertenbrink, Borderstep Institut, Berlin

Titelbild: © Sándor F. Szabó

Stand: Februar 2009

Auflage: 400

Aus Gründen der einfacheren Lesbarkeit wird auf eine geschlechtsspezifische Differenzierung, z.B. „Bürgerinnen und Bürger“ verzichtet. Solche Begriffe gelten im Sinne der Gleichberechtigung grundsätzlich für beide Geschlechter.

Gedruckt auf Recyclingpapier aus 100 % Altpapier.

## **INHALTSVERZEICHNIS**

<b>1</b>	<b>Einleitung: „Green durch IT“ und „Green in der IT“</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Energieverbrauch der Informations- und Kommunikationstechnik</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>Materialeffizienz in der IKT</b>	<b>10</b>
<b>4</b>	<b>Seltene Metalle - essentielle Rohstoffe für IKT-Produkte</b>	<b>17</b>
<b>5</b>	<b>Umwelt- und Sozialstandards in den Vorketten von IKT-Herstellern</b>	<b>23</b>
<b>6</b>	<b>Handlungsbedarfe: Herausforderungen und Chancen</b>	<b>28</b>
	<b>Glossar</b>	<b>30</b>
	<b>Literatur</b>	<b>33</b>

## ZUSAMMENFASSUNG

Während in der Diskussion um Green IT bis dato Energiefragen und die Nutzungsphase der Geräte und Infrastrukturen im Mittelpunkt stehen, beleuchtet das Hintergrundpapier die zukünftigen Chancen und Herausforderungen von Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) mit Blick auf die sozialen und stofflichen Aspekte der vor- und nachgelagerten Produktlebensphasen. Neben einer kurzen Übersicht der aktuellen Trends und Herausforderungen im Bereich der Energieeffizienz von IKT analysiert das Papier drei besonders bedeutsame Felder einer nachhaltigkeitsorientierten Gestaltung und Nutzung von IKT-Geräten und -Infrastrukturen: (1.) Die Materialeffizienz der IKT-Geräte und -Infrastrukturen, (2.) Seltene Metalle als Rohstoff der IKT-Industrie sowie (3.) Umwelt- und Sozialstandards in den Vorketten von IKT-Herstellern und Händlern. Im letzten Abschnitt des Papiers werden vier Handlungsempfehlungen formuliert:

- (1.) Deutschland braucht über den auf dem IT-Gipfel 2008 vorgelegten ersten „Aktionsplan Green IT-Pionier Deutschland“ hinaus einen Masterplan „Green durch IT 2020: Vom Potenzial zum Erfolg“.
- (2.) Green in der IT: Leichter, leiser, eleganter: Chancen materialeffizienter IKT nutzen.
- (3.) Seltene Metalle: Materialrisiken der IKT durch das Schließen von Stoffkreisläufen mindern.
- (4.) Das Problemlösungspotenzial der IKT-Industrie in der Vorkette nutzen.

# 1 EINLEITUNG: „GREEN DURCH IT“ UND „GREEN IN DER IT“

Für die heutige Informations- und Wissensgesellschaft bildet die Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) die technische Basis und trägt als dynamisches Innovationsfeld maßgeblich zur wirtschaftlichen Entwicklung bei. Dabei kann die IKT in vielen wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Bereichen einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz und zur Einsparung von natürlichen Ressourcen (vgl. Glossar) leisten, z.B. durch die intelligente Steuerung von Stromnetzen und Gebäuden oder die Vermeidung von Verkehr durch Telearbeit oder Telefon- und Videokonferenzen. Die diesbezüglichen Potenziale zur Energieeinsparung und zur Reduktion klimaschädlicher Treibhausgasemissionen sind beträchtlich. So gehen globale Potenzialabschätzungen davon aus, dass durch gezielte Anstrengungen von Politik, Wirtschaft und gesellschaftlichen Akteuren im Jahr 2020 rund 7,8 Mrd. t CO<sub>2</sub>-Äquivalente (CO<sub>2</sub>e) allein durch die intelligente Nutzung von IKT vermieden werden können. Das entspräche rund 15 % der für 2020 angenommenen weltweiten Emissionen in Höhe von 51,9 Mrd. t CO<sub>2</sub>e (Climate Group 2008, 29).

Abschätzungen für die Europäische Union gehen ebenfalls davon aus, dass bei optimaler und gezielter Nutzung von IKT diese zu einer Reduzierung von Treibhausgasemissionen in der Größenordnung von rund 15 % der Gesamtemission in der EU im Jahr 2020 beitragen können (Erdmann et al. 2004, 37). Besonders große Reduktionspotenziale werden dabei durch die Substitution physischer durch digitale Güter (E-Mails, Fotos, Musik usw.), bei IKT-gestützten Dienstleistungen (Online-Buchungen, Online-Banking etc.), der intelligenten Steuerung von Stromnetzen und Stromversorgung sowie im Bereich der Gebäudeautomatisierung gesehen.

Bisherige Studien zeigen zwar erhebliche Umweltentlastungspotenziale durch den intelligenten Einsatz von IKT („Green durch IT“), sie machen aber auch deutlich, dass deren Erschließung erhebliche und gezielte Anstrengungen sowohl auf Seiten der Politik (z.B. im Rahmen der Forschungs-, Innovations- und Diffusionsförderung), auf Seiten der IKT-Wirtschaft als auch bei den Anwendern erfordert und potenzielle Reboundeffekte zu berücksichtigen sind (Hilty 2008).

In jüngster Zeit sind in Deutschland eine Reihe von Initiativen ergriffen worden, die sich um die Erschließung von Umweltentlastungspotenzialen in einzelnen Bereichen bemühen. Dazu zählen z.B. der Förderschwerpunkt „IT goes green“ im Umweltinnovationsprogramm von Bundesumweltministerium und Umweltbundesamt, das Förderprogramm „E-Energy“ des Bundeswirtschaftsministeriums oder der Schwerpunkt "Leistungselektronik zur Energieeffizienz-Steigerung" innerhalb des Förderprogramms "IKT 2020" des Bundesforschungsministeriums. Außerdem wurde auf dem Dritten Nationalen IT-Gipfel 2008 ein „Aktionsplan: Green IT-Pionier Deutschland“ vorgelegt, der eine erste Bündelung und Zusammenschau einzelner Initiativen vornimmt. Gleichwohl fehlt es bis dato an einer umfassenden und kohärenten nationalen Strategie und Roadmap für die Erschließung der Umweltentlastungspotenziale durch den intelligenten Einsatz von IKT („Green durch IT“) sowie an einem damit verbundenen nationalen Monitoringprozess. Hier besteht erheblicher Handlungsbedarf.

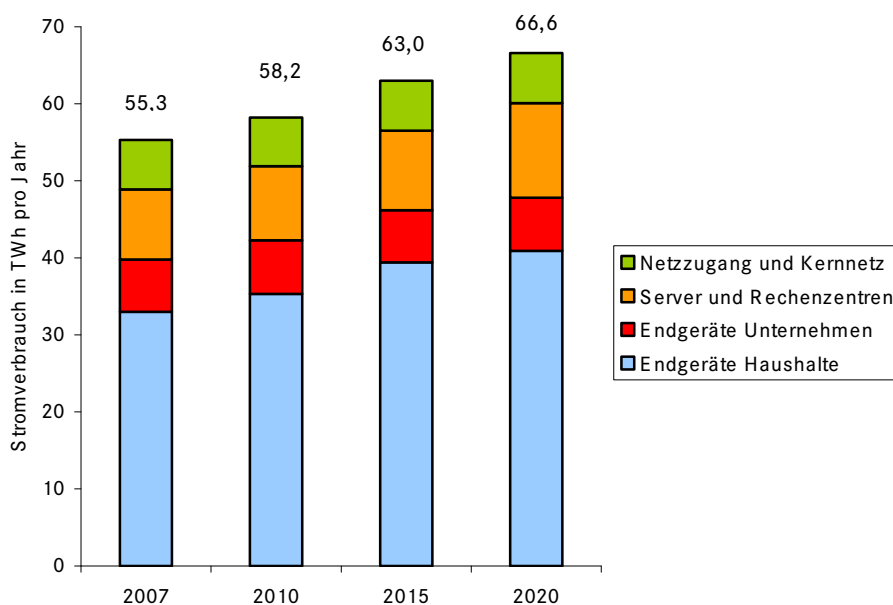
Neben den Umweltentlastungspotenzialen der IKT sind die Herstellung von IKT-Geräten (PCs, Notebooks, Fernseher etc.) und Infrastrukturen (Rechenzentren, Mobilfunknetze usw.) sowie deren Nutzung mit großem Energie- und Ressourcenverbrauch verbunden. So werden die Emissionen, die 2007 allein mit dem Stromverbrauch von IKT-Geräten und Infrastrukturen in der Nutzungsphase verbunden waren, auf weltweit rund 2,1 Mrd. t CO<sub>2</sub>e geschätzt. Auch wenn die Umweltbelastungen der IKT-Hardware im Verhältnis zu den oben genannten Entlastungspotenzialen durch intelligente Stromnetze, Gebäudeautomatisierung usw. deutlich geringer ausfallen, so zeigt sich doch auch bei ihr erheblicher Handlungsbedarf. Dies gilt angesichts der rasanten Zunahme der Gerätezahl und der Nutzung von Internet und mobilen Medien umso mehr. Im Mittelpunkt des vorliegenden Hintergrundpapiers stehen daher die Herausforderungen und Chancen, die mit dem Umweltverbrauch der IKT-Geräte und -Infrastrukturen sowie deren energie- und materialeffizienter Gestaltung („Green in der IT“) verbunden sind.

Ziel dieses Hintergrundpapiers ist es, wichtige, bis dato in der Debatte um Green IT wenig beachtete Aspekte näher zu beleuchten und dabei zukünftige Chancen, Herausforderungen und Handlungsbedarfe herauszuarbeiten. Nach einer kurzen Übersicht der aktuellen Trends und Herausforderungen im Bereich der Energieeffizienz von IKT,

erörtert das Papier drei besonders bedeutsame Felder einer nachhaltigkeitsorientierten Gestaltung und Nutzung von IKT-Geräten und -Infrastrukturen: (1.) Die Materialeffizienz der IKT-Geräte und -Infrastrukturen: in diesem Abschnitt werden neben dem mit der IKT verbundenen Materialverbrauch, vor allem die Größenordnungen der durch verschiedene Technologiealternativen realisierbaren Effizienzpotenziale erläutert. (2.) Seltene Metalle als Rohstoff der IKT-Industrie: in diesem Abschnitt werden die Nutzung und die damit verbundenen Umwelteffekte der IKT-Industrie am Beispiel von ausgewählten Metallen beschrieben. (3.) Umwelt- und Sozialstandards in den Vorketten von IKT-Herstellern und Händlern: hier wird auf die laufenden Aktivitäten großer Akteure der IKT-Industrie zur Um- und Durchsetzung entsprechender Standards, deren Zertifizierung in den internationalen Zuliefererketten sowie die zukünftigen Herausforderungen eingegangen.

## 2 ENERGIEVERBRAUCH DER INFORMATIONS- UND KOMMUNIKATIONSTECHNIK

Der IKT-bedingte Stromverbrauch in Deutschland ist von ca. 38 TWh in 2001 (Cremer et al. 2003) auf ca. 55 TWh in 2007 gestiegen (Fraunhofer IZM/ISI 2009). Dies entspricht ca. 10,5 % des deutschen Stromverbrauchs. Das stärkste Wachstum ist dabei bei den IKT-Infrastrukturen, d.h. bei den Servern und Rechenzentren sowie den Festnetzen und dem Mobilfunk zu verzeichnen. Den relativ größten Anteil am IKT-bedingten Stromverbrauch haben aber nach wie vor die Endgeräte. Der Stromverbrauch von Computern, Fernsehern, Audio-Geräten, mobilen Geräten und Telefonen in Privathaushalten lag 2007 bei rund 33 TWh. Der Verbrauch von Endgeräten in Unternehmen und Behörden betrug im selben Jahr 6,8 TWh. Sollten in den kommenden Jahren über die ohnehin am Markt zu beobachtenden Energieeffizienzsteigerungen bei Geräten nicht erhebliche zusätzliche Anstrengungen unternommen werden, dann ist mit einem weiteren Anstieg des IKT-bedingten Stromverbrauchs auf rund 67 TWh bis zum Jahr 2020 zu rechnen (Fraunhofer IZM/ISI 2009). Dieser würde maßgeblich aus der weiterhin wachsenden Anzahl von Computern (PCs, Notebooks, Homeserver), Fernsehgeräten und mobilen Geräten (Handys, DigiCams etc.) in Privathaushalten sowie aus der ebenso wachsenden Nutzung des Internets und der damit verbundenen Inanspruchnahme von Servern und Rechenzentren resultieren.



**Abbildung 1: Basisprognose des IKT-bedingten Strombedarfs in Deutschland bis 2020 (Quelle: Fraunhofer IZM/ISI 2009).**

Wie bisherige Studien zeigen (Fraunhofer IZM/ISI 2009, BMU 2008), müssen die Wachstumsdynamik beim Gerätebestand, der rasant steigende Datenverkehr in Internet und Mobilfunknetzen, stetig neue Anwendungen und die Konvergenz bei den IKT-Dienstleistungen („Triple Play Services“ etc.), nicht zwangsläufig zu einer Zunahme des IKT-bedingten Stromverbrauchs in Deutschland führen. Werden über die bereits laufenden Aktivitäten und Initiativen auf legislativer Ebene (Energiebetriebene Produkte-Gesetz (EBPG), Einführung von Energieeffizienzkennzeichen etc.), im Bereich umweltfreundliche Beschaffung und freiwillige Maßnahmen des produktbezogenen Umweltschutzes sowie die bereits zum Teil bestehende marktliche Wettbewerbsdynamik bei der Energieeffizienz von Mikrochips, Komponenten und Endgeräten hinaus umfangreiche weitere Maßnahmen ergriffen, ist die Realisierung eines „Green in der IT“-Szenarios möglich, in dem der IKT-bedingte Stromverbrauch bis 2020 konstant gehalten, bzw. in einigen Segmenten sogar gesenkt werden kann. Aus der Vielzahl von Ansatzpunkten zur Realisierung eines „Green in der IT“-Szenarios erscheinen insbesondere folgende Bereiche von zentraler Bedeutung:

- Intensivierung der Verbraucherinformation bzgl. der Energiesparmöglichkeiten bei IKT in privaten Haushalten. Die Ansatzpunkte hierfür werden z.B. in der Verbraucherbrochure „Computer, Internet und Co.: Geld sparen und Klima schützen“ des Umweltbundesamtes vorgestellt. Eine Verbesserung der Verbraucherinformation muss auch über eine Ausweitung und Verbesserung der Energieeffizienzkennzeichnung von IKT-Geräten erfolgen.
- Über das software-basierte Power-Management von Geräten und die Nutzung von Energiesparpotenzialen durch Virtualisierungssoftware hinaus, ist die Berücksichtigung von Energieeffizienzgesichtspunkten bei der Software-Entwicklung, insbesondere bei Standard-Anwendungen mit hohen Nutzerzahlen von zentraler Bedeutung (z.B. Vermeidung software-bedingter „Veralterung“ der Hardware aufgrund eines steigenden Rechen- und Speicherbedarfs).
- Förderung besonders energieeffizienter Endgeräte wie z.B. Mini- und Kompaktcomputer, die mit einer Leistungsaufnahme von 15 – 30 Watt deutlich energieeffizienter sind als klassische PCs (80 – 100 Watt) und für die meisten Nutzer ausreichende Leistungskapazitäten bieten.
- Verstärkter Einsatz energieeffizienter Systemlösungen wie z.B. Thin Client & Server Based Computing (vgl. Glossar). Der Strombedarf von Thin-Client-Arbeitsplätzen (inklusive Servernutzung) liegt bei weniger als der Hälfte von vergleichbaren PC-Nutzungen (Fraunhofer UMSICHT 2008).
- Unterstützung der schnellen Verbreitung von energiesparenden Lösungen für Server und Rechenzentren. Die BMU-Broschüre „Energieeffiziente Rechenzentren: Best Practice-Beispiele aus Europa, USA und Asien“ zeigt, dass bereits heute vielfältige Möglichkeiten bestehen, den Energieverbrauch von Servern und Rechenzentren zu senken und deren Energieeffizienz deutlich zu steigern. In den nächsten Jahren kommt es vor allem darauf an, dass diese Lösungen auf breiter Front umgesetzt werden. Informationsmaterialien, die insbesondere auch kleinere Unternehmen und Organisationen unterstützen sind mittlerweile vorhanden (BITKOM 2008).

Am Beispiel von Servern und Rechenzentren zeigt sich, dass sich die Anstrengungen zur Realisierung einer „Green in der IT“-Strategie sowohl ökologisch als auch ökonomisch auszahlen würden. Der Stromverbrauch von Servern und Rechenzentren in Deutschland lag in 2008 bei 10,1 TWh, die Stromkosten bei rund 1,1 Mrd. € (Fichter 2008). Dies entspricht einem Anteil am Gesamtstromverbrauch von rund 1,8 % und bedeutet, dass in Deutschland nahezu vier mittelgroße Kohlekraftwerke<sup>1</sup> ausschließlich für die Versorgung von Servern und Rechenzentren benötigt werden. Würden in den kommenden Jahren über die ohnehin bereits beobachtbaren Effizienztrends (Servervirtualisierung etc.) hinaus keine zusätzlichen Maßnahmen von Seiten der Politik, der IT-Hersteller und der Betreiber von Rechenzentren ergriffen, so würde der Stromverbrauch deutscher Rechenzentren bis 2013 auf 14,86 TWh/a ansteigen. Dies entspricht einer Zunahme des Stromverbrauchs von 47 %. Die Stromkosten deutscher Rechenzentren würden sich in diesem „Business-as-usual“-Szenario innerhalb von nur fünf Jahren auf 2,2 Mrd. € pro Jahr verdoppeln.

Werden dahingegen von Seiten der Wirtschaft und der Politik zusätzliche Effizienzsteigerungsmaßnahmen ergriffen und ein Teil der heute bereits verfügbaren Best-Practice-Lösungen zumindest bei rund der Hälfte aller Rechenzentren angewendet, so ließe sich eine Senkung des Stromverbrauchs von rund 10 % erzielen. Sollte dieses „Moderate Effizienzsteigerung“-Szenario eintreten, würde der Stromverbrauch deutscher Rechenzentren auf 9,14 TWh in 2013 sinken.

---

<sup>1</sup> Dabei wird von Mittellast-Kraftwerken in der Größe von 600 MW elektrische Leistung und einer Jahresbruttostromerzeugung von 3 TWh pro Kraftwerk ausgegangen. Bei einem Umrechnungsfaktor von 1,1 von Endverbrauchsstrom zu Bruttostromerzeugung ergibt sich daraus eine Endverbrauchsstrommenge von 2,8 TWh.



Geht man davon aus, dass die besten heute verfügbaren Energieeffizienz-Technologien und Lösungen durch massive Anstrengungen auf breiter Front, d.h. bei rund 90 % aller Rechenzentren angewendet werden, so wird der Stromverbrauch durch Server und Rechenzentrumsinfrastruktur bis 2013 auf 6,65 TWh sinken. Im Falle dieses „Green IT“-Szenarios würde der Stromverbrauch von Rechenzentren trotz einem Zuwachs an Datenverarbeitung sowie rechen- und speicherintensiven Anwendungen innerhalb von nur fünf Jahren um fast 40 % sinken. Im „Green IT“-Szenario würden sogar die Stromkosten bis 2013 auf 998 Mio. € fallen, und dies trotz weiterhin steigender Strompreise.

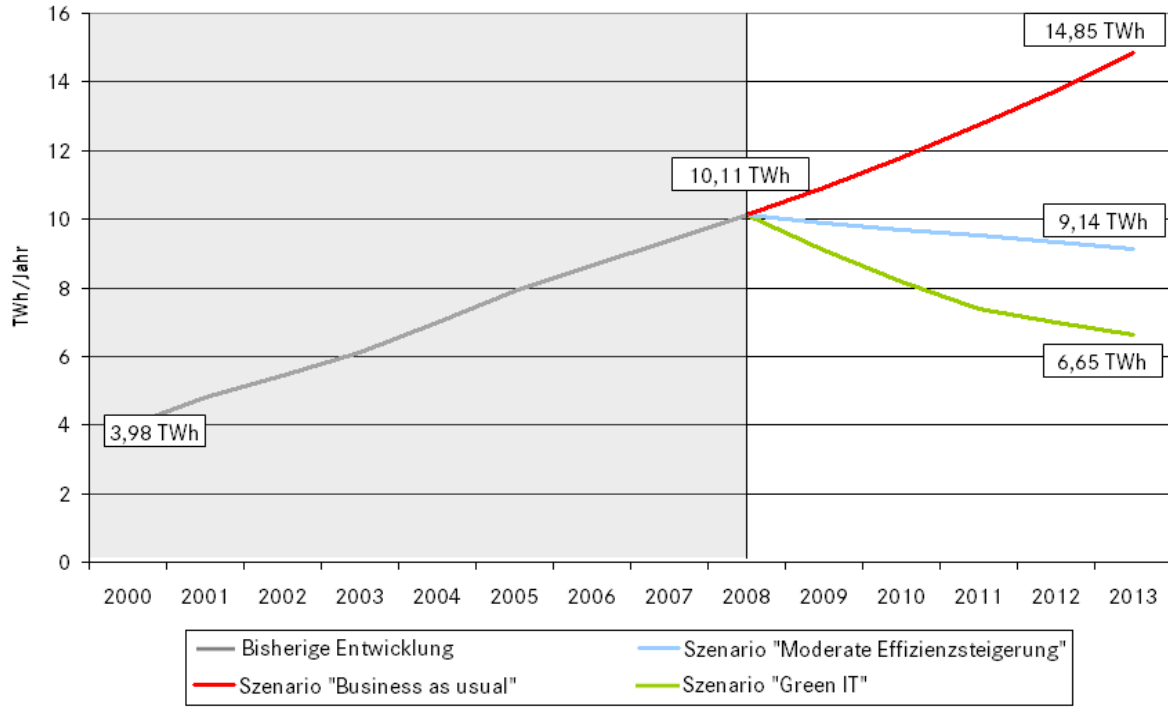


Abbildung 2: Stromverbrauch von Rechenzentren in Deutschland (Quelle: Borderstep Institut).

### 3 MATERIALEFFIZIENZ IN DER IKT

Im Mittelpunkt der Diskussion um Green IT standen bis dato Energiefragen und die Nutzungsphase der Geräte und Infrastrukturen. Gründe für diese Schwerpunktsetzung lagen in der aktuellen Debatte um den Klimawandel und den deutlich steigenden Energiekosten durch die Intensivierung der IKT-Nutzung. Dabei wurde zumeist lediglich der Energieverbrauch bei der Nutzung der IKT berücksichtigt, während die Anteile in der Produktion, bei der Logistik und bei der Entsorgung in der Regel nicht Eingang in die Betrachtung fanden. Dies war sowohl durch die mangelnde Datenverfügbarkeit als auch durch die fehlenden ökonomischen Anreize – im Gegensatz zu den Preissignalen bei der Nutzung der IKT - begründet.

Für eine umfassende Betrachtung der Umweltauswirkungen der IKT ist allerdings eine Ausweitung der Betrachtung in zweierlei Hinsicht notwendig. Zum ersten müssen neben energiebezogenen Fragen auch Aspekte des Materialverbrauchs und der Umweltinanspruchnahme betrachtet werden. Zum zweiten gilt es, neben der Nutzungsphase von IKT-Geräten und -Infrastrukturen auch die vor- und nachgelagerten Produktlebensphasen zu berücksichtigen. Nachdem im vorangegangenen Kapitel Energiefragen behandelt wurden, werden im Folgenden der Aspekt des Materialverbrauchs und der Materialeffizienz der IKT betrachtet. Der spezifischen Frage seltener Metalle ist dann das anschließende Kapitel gewidmet.

Fragen der Materialeffizienz stellen die IKT-Branche vor neue Herausforderungen. Im Vergleich zu anderen Branchen und Segmenten zeichnet sich die IKT durch eine sehr hohe Dynamik aus, wodurch sowohl die Analyse der Umweltauswirkungen als auch die Einleitung von Maßnahmen zu deren Reduzierung erheblich erschwert werden. Die hohe Innovationsgeschwindigkeit der Branche führt dazu, dass innerhalb kürzester Zeit vollkommen neue Produkte auf den Markt kommen bzw. vorhandene Produkte durch neue digitale Produkte ersetzt werden. Hinzu kommen die sehr kurzen Produktlebenszyklen der IKT-Geräte im Vergleich zu anderen Gütern.

Für die Analyse der Materialeffizienz der IKT bietet sich eine Aufteilung in Rechenzentren, Telefon- und Datennetze sowie Endgeräte an. Im Folgenden wird auf die in den Segmenten Rechenzentren sowie Endgeräte gebundenen Materialien (Materialbestand) eingegangen, da hier die durchschnittlichen Produktzyklen deutlich kürzer sind als im Bereich der eher langlebigen Netze. Damit ist in diesen beiden Segmenten auch die Materialflussdynamik höher und stellt besondere Herausforderungen an den Materialverbrauch und die Materialeffizienz.

#### **Materialbestand von Servern und Rechenzentren**

Rechenzentren stellen komplexe Systeme dar, die aus einer Vielzahl von Komponenten bestehen. Zieht man die Systemgrenze so, dass die Gebäude- und Raumhülle nicht einbezogen wird, so lässt sich der Materialbestand grob in fünf Kategorien fassen:

- Informations- und Kommunikationstechnik: Server, Speicher und Netzinfrastruktur
- Elektrik: Unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV (vgl. Glossar)), Stromverteilung, Notstromaggregate
- Computer-Einhausungen: Racks etc.
- Kühlungs- und Klimatisierungssysteme
- Sonstige Infrastruktur, z.B. Brandschutz, Sicherheitstechnik, Eingangschleusen, Leitstände, Doppelböden

Untersuchungen, die sich mit den Mengen und Arten von Material in diesen Kategorien befassen, existieren bislang kaum. Aus den bisherigen Analysen zu den ökologischen Implikationen des Betriebs von Rechenzentren finden sich in der Regel nur Zahlen zur Anzahl und Struktur von Servern. Dies ist insbesondere auf den Fokus dieser Analysen auf die Energieeffizienz in Rechenzentren zurückzuführen (z.B. Koomey 2007, Fichter 2008, Fraunhofer IZM/ISI 2009). Für eine Analyse des Materialbestandes in Rechenzentren greift eine Fokussierung auf die Server und Betrachtung des Gewichtes deutlich zu kurz. Sie gibt jedoch einen ersten Anhaltspunkt für die Bedeutung des Segments Rechenzentren. Die Anzahl an Servern in Deutschland lag im Jahr 2008 bei ca. 2,2 Millionen (Fichter 2008, 4). Geht

man von einem durchschnittlichen Gewicht von 16 kg aus, so ergibt sich daraus eine Gesamtmenge von rund 35.000 t Material.<sup>2</sup>

Zahlen, die eine Analyse des Materialbestandes der weiteren Ausstattung von Rechenzentren erlauben, liegen bis dato nicht vor. Dabei ist davon auszugehen, dass die Materialmenge erheblich ist. Marktforscher haben beispielsweise kalkuliert, dass die Investitionen in Speichersysteme im Jahr 2009 in Deutschland mit knapp 3 Mrd. € ca. 15 % oberhalb der Investitionen für Server liegen werden (Techconsult 2009)<sup>3</sup>. Eine erste Erfassung des Materialbestandes deutscher Rechenzentren wird im derzeit laufenden UFOPLAN-Vorhaben „Produktbezogene Ansätze in der IKT“ vorgenommen.

## Trends im Bereich Rechenzentren

Generell ist im Bereich Rechenzentren weiterhin mit einer deutlichen Zunahme des Bedarfs an zentraler Rechenleistung und Datenspeicherkapazität zu rechnen.<sup>4</sup> Dabei ist davon auszugehen, dass es zu einer weiteren Konzentration der Rechenleistung in großen Rechenzentren kommt. Treiber hierfür sind unter anderem auch die Anstrengungen zur Verbesserung der Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit. Vorreiter der Entwicklung sind die IT-Unternehmen selbst. So hat IBM die Zahl seiner Rechenzentren zwischen 1997 und 2007 von 155 auf sieben verringert (Computerwoche 2007)<sup>5</sup>. Auch Hewlett Packard will die Anzahl der weltweiten Rechenzentren sehr stark von 85 auf sechs reduzieren (Hewlett Packard 2008a). Die Zentralisierung für sich allein bedeutet jedoch nicht zwingend eine Verringerung des Materialbedarfs. Insgesamt wird für die kommenden Jahre in Deutschland auch weiterhin mit einer steigenden Serveranzahl gerechnet (Techconsult 2009). Mit der Zentralisierung nehmen zusätzlich auch die Anforderungen an die Verfügbarkeit der Systeme zu. Die IT-Systeme selbst – aber auch die weitere Infrastruktur wie unterbrechungsfreie Stromversorgung und Klimatisierung - werden zunehmend redundant ausgelegt.

Aktuelle IT-Trends wie Virtualisierung, Grid Computing oder Cloud Computing (vgl. Glossar) können eine material-effiziente Nutzung der zentralen Hardware im Rechenzentrum ermöglichen. Diese Konzepte helfen, die Auslastung der Systeme deutlich zu erhöhen und freie Rechenkapazitäten für andere Anwendungen und Nutzer zur Verfügung zu stellen. So liegt die Auslastung bei Volumen-Servern zurzeit häufig nur bei 15 % und niedriger. Über Virtualisierung ist eine erhebliche Steigerung möglich. Damit sinkt der Materialbedarf; die Reduktion der Serveranzahl bis zum Faktor 10 beim Einsatz von Virtualisierung ist heute keine Seltenheit (BITKOM 2008b, 23).

Durch Grid Computing (vgl. Glossar) wird prinzipiell eine Nutzung auch weniger leistungsstarker Server im Verbund mit anderen möglich, um ausreichende Rechenleistungen zur Verfügung zu stellen. Allerdings besteht hier zurzeit ein deutlicher Zielkonflikt zur Energieeffizienz. Die Steigerung der Energieeffizienz bei Servern ist derzeit so groß, dass es sich häufig aus wirtschaftlichen Gründen lohnt, einen Server frühzeitig durch ein energieeffizientes neues Modell auszuwechseln (BITKOM 2008b, 23). Der Betrieb mehrerer alter Server als Grid rechnet sich daher zurzeit aus wirtschaftlichen Erwägungen für Unternehmen aufgrund der Energiekosten nicht. Durch die Internalisierung externer Kosten der Rohstoffgewinnung könnte sich dies allerdings verändern. Bislang fehlen allerdings die Datengrundlagen zur Klärung der Frage, wann aus ökologischer Sicht der „ideale“ Ersatzzeitpunkt ist.

---

<sup>2</sup>Die Betrachtung der Gerätemasse gibt einen ersten Anhaltspunkt der Materialrelevanz, sagt selbst aber noch nichts über die damit verbundenen Rohstoffverbräuche und Umwelteffekte aus. Von besonderer Bedeutung für die Materialeffizienz sind die verwendeten seltenen Metalle die in Kapitel 4 näher betrachtet werden.

<sup>3</sup>Auch wenn davon auszugehen ist, dass der Materialeinsatz pro investiertem € bei Servern deutlich höher liegt als bei Speichersystemen, so zeigt diese Wertbetrachtung doch, dass der Bereich der Speichersysteme keinesfalls zu vernachlässigen ist.

<sup>4</sup>Siehe dazu auch die Ausführungen zum Energiebedarf von Server und Rechenzentren in Kapitel 2

<sup>5</sup>Die Verringerung der Zahl der Rechenzentren ging dabei nicht mit einer Verringerung der Geschäftstätigkeit einher. Gemäß IBM Geschäftsberichten stieg der Umsatz im Zeitraum von 1997 bis 2007 um ca. 25 % auf 98,5 Mrd.\$, die Zahl der Mitarbeiter um ca. 15 % auf 386.588 (IBM 1997 und IBM 2007).

Bei der Hardware-Entwicklung in Rechenzentren zeigen sich aktuell folgende Trends:

- Aktuell ist ein Trend zur Konzentration der Rechenleistung auch innerhalb von Rechenzentren festzustellen. Neben dem generellen Trend zur Miniaturisierung und Leistungssteigerung wird künftig insbesondere damit gerechnet, dass die Absatzzahlen von Mainframe-Systemen (vgl. Glossar) und Blade-Servern (vgl. Glossar) weiter zunehmen wird (BITKOM 2008a: 3, Fraunhofer IZM/ISI 2009). Diese Konzentration der Rechenleistung und die effiziente Nutzung von Rechnerkapazitäten führen zu einer relativen Materialersparnis.
- Experten rechnen damit, dass die heute verbreiteten rotierenden Festplatten in einigen Jahren durch Solid State Disks (SSD) (vgl. Glossar) mit Flash-Speicher-Chips (vgl. Glossar) abgelöst werden. Die aktuellen Preisentwicklungen bei SSD machen diese Entwicklung wahrscheinlich. Bezüglich des Produktgewichts und des Energieverbrauchs weisen SSD deutliche Vorteile auf.<sup>6</sup>
- Die aktuellen Anstrengungen zur Verbesserung der Energieeffizienz der IT-Systeme haben einen positiven Materialeffekt auf die Rechenzentrumsinfrastruktur. Benötigen die IT-Systeme weniger Strom und erzeugen damit auch weniger Abwärme, so werden damit kleinere USVs und Klimaanlagen benötigt.

Insgesamt kann festgestellt werden, dass im Bereich Server und Rechenzentren viele Entwicklungen existieren, die zu einer Verbesserung der Materialeffizienz führen. Es ist aber fraglich, ob diese Effizienzsteigerungen nicht durch die starke Zunahme des Bedarfs an IT-Leistung und Datenvolumen sowie die steigenden Verfügbarkeitsanforderungen kompensiert werden.

### **Materialeffizienz von IKT-Endgeräten**

Besonders im Bereich der IKT-Endgeräte hat die hohe Dynamik der Branche sehr deutliche Auswirkungen auf den Materialbedarf. Neue IKT-Geräte wie Mobiltelefone, Digitalkameras, MP3-Player, DVD-Recorder erobern innerhalb weniger Jahre den Massenmarkt. Sie wecken neue Bedürfnisse oder ersetzen klassische analoge Geräte. Heute gibt es mit mehr als 100 Mio. Verträgen deutlich mehr Mobiltelefonanschlüsse als Einwohner in Deutschland (BITKOM 2008c). Die Zahl der Geräte wird inklusive Altgeräte sogar darüber liegen. Auch wenn die einzelnen Geräte für sich sehr leicht sind, bedeutet dies allein für Mobiltelefone einen Massenstrom von ca. 16.600 t, für Digitalkameras ist mit ca. 4.600 t zu rechnen. Dabei sind die Nutzungszeiten dieser Geräte sehr gering. Typischerweise wird ein Mobiltelefon heute nicht länger als zwei Jahre genutzt.

Tabelle 1 zeigt den Gerätebestand sowie die daraus errechnete Masse von typischen IKT-Produkten in Haushalten und Unternehmen und Behörden<sup>7</sup>. Die Betrachtung der Gerätemasse gibt einen ersten Anhaltspunkt der Materialrelevanz der verschiedenen Produktkategorien, sagt selbst aber noch nichts über die damit verbundenen Rohstoffverbräuche und Umwelteffekte aus. Wie zu ersehen ist, sind große Massen an Elektronik vor allem in den privaten Haushalten vorhanden. Dabei liegen TV-Geräte mit 1,7 Mio. t Material deutlich an der Spitze. Weitere Produktkategorien, die einen erheblichen Materialverbrauch verursachen, sind PCs (0,28 Mio. t), Drucker (0,22 Mio. t) und Röhrenmonitore (0,29 Mio. t). Auch im Bereich der Unternehmen und Behörden verursachen PCs/Workstations (0,13 Mio. t) sowie Röhrenmonitore (0,14 Mio. t) den größten Materialbedarf. Insbesondere durch den Ersatz von Röhrenmonitoren durch Flachbildschirme als Monitor sind hier in den letzten Jahren schon erhebliche Einsparungen der Gesamtmasse erreicht worden. Jedoch bedeutet diese Gewichtsreduzierung nicht zwangsläufig eine positive Ressourcenbilanz. Am Beispiel Röhrenmonitor vs. Flachbildschirm muss festgestellt werden, dass auf Grund des Produktwechsels hin zu Flachbildschirmen die Nachfrage nach seltenen Metalle wie z.B. Indium ansteigt.

---

<sup>6</sup> Für eine umfassende Bewertung der Ressourceneffizienzpotenziale dieser Technologie wäre eine genaue Betrachtung der verwendeten Materialien sowie der Fertigungs- und Entsorgungsprozesse notwendig.

<sup>7</sup> Obwohl Fernsehgeräte in Analogtechnik nicht zu Geräten der IKT zählen, wurden sie in diese Übersicht mit aufgenommen, da hier in den nächsten Jahren ein Wandel zu Flachbildschirmen erfolgt, die der IKT-Branche zugerechnet werden können.

	Geräteart	Bestand (in 1.000 Stk)*	Durchschnittsmasse pro Gerät (in kg)	Gesamtmasse der Gerätegruppe (in t)
Private Haushalte	PC	27.833	10	278.332
	Laptop	10.431	3	31.293
	Drucker	31.778	7	222.443
	Flachbildmonitor	15.595	6	93.569
	Röhrenmonitor	14.325	20	286.491
	Handys	110.000	0,15	16.650
	MP3	18.709	0,1	1.871
	Digitalkamera	18.421	0,25	4.605
	Camcorder	5.088	0,5	2.544
	TV Röhre 4:3	39.039	30	1.171.163
	TV Röhre 16:9	12.540	30	376.207
	TV Flach 4:3	3.257	15	48.858
	TV Flach 16:9	5.045	20	100.894
	Game-Konsole (stationär)	7.615	3	22.844
Unternehmen und Behörden	PC und Workstation	15.087	10	150.872
	Laptop	5.642	3	16.925
	Flachbildmonitor	5.880	6	35.281
	Röhrenmonitor	7.242	20	144.842

**Tabelle 1: Typische IKT-Geräte - Bestand und Materialverbrauch in Deutschland (\*Berechnungen Borderstep auf Basis Techconsult, Burda Community Network GmbH, BITKOM, Statistisches Bundesamt).**

Von Bedeutung für die Materialeffizienz sind auch externe Netzteile und Batterieladegeräte von IKT-Produkten. Deren Anzahl ist in den letzten Jahren sehr deutlich angestiegen. Die amerikanische Umweltbehörde EPA geht davon aus, dass durchschnittlich fünf bis zehn externe Netzteile oder Batterieladegeräte pro Haushalt verwendet werden (US EPA 2009). Geht man von ähnlichen Verhältnissen in Deutschland aus, so summiert sich die Anzahl der Geräte auf bis zu 400 Millionen. In der Regel werden Netzteile und Batterieladegeräte im Bündel mit den eigentlichen IKT-Produkten verkauft. In den vergangenen Jahren wurden bei externen Netzteilen und Batterieladegeräten bereits spürbare Verbesserungen hinsichtlich der Materialeffizienz erreicht. Treiber dieser Entwicklung war insbesondere die Tatsache, dass sie häufig mit mobilen Geräten verwendet werden und daher aus Komfortgründen kleiner und leichter ausgeführt wurden. Außerdem wurden über freiwillige Initiativen wie den Code of Conduct (EU), den Energy Star und den Blauen Engel Verbesserungen hinsichtlich Energieverbrauch und Umwelteigenschaften erreicht (Bio Intelligence Service 2007: XI). Dennoch besteht in diesem Themenfeld aufgrund der sehr großen Anzahl der Geräte ein erheblicher Handlungsbedarf. Im Abschlussbericht der EUP-Vorbereitungsstudie für Eco-Design zum Lot 7 (Battery chargers and external power supplies) sind eine Vielzahl von technischen Maßnahmen beschrieben, mit denen die Energie- und Materialeffizienz der Geräte verbessert werden kann (Bio Intelligence Service 2007: VII 1 ff.). Im Hinblick auf die Materialeffizienz ist insbesondere die Verlängerung der Lebensdauer, die Mehrfachnutzung und die Weiternutzung der Geräte zu nennen. Dieses kann durch eine Standardisierung der Geräte erreicht werden.

### Trends bei IKT-Endgeräten

Die IKT-Branche rechnet für die Zukunft mit einer weiteren Zunahme der Innovationsdynamik. Es werden noch raschere Technologiewechsel und Produktlebenszyklen erwartet (BITKOM/Berger 2007: 164). Mit Blick auf

Marktumsatz und Wertschöpfung bietet dies vielfältige Chancen. Auch in Bezug auf das Ausschöpfen von Potenzialen zur Energieeinsparung während der Nutzungsphase der Produkte (siehe Kapitel 2) erweist sich die Dynamik als förderlich. In Bezug auf den Materialbedarf ist der Sachverhalt jedoch kritischer zu betrachten.

Die IKT-Trends der Digitalisierung und Konvergenz, der Allgegenwärtigkeit (Ubiquität) und der weiteren Miniaturisierung und Leistungssteigerung führen generell dazu, dass immer mehr und immer kleinere IKT-Geräte produziert und in den Markt gebracht werden. Außerdem nimmt der IKT-Anteil in anderen Produkten wie z.B. Automobilen oder Haushaltsgeräten ständig zu.

Die Folgen dieser technologischen Entwicklung für den Materialbedarf der IKT sind jedoch keineswegs klar und zum Teil gegenläufig:

- Durch Digitalisierung und Konvergenz kann sich prinzipiell die Zahl der Einzelgeräte verringern. Beispiele sind Multifunktionsgeräte (Drucker, Kopierer, Scanner, Fax) oder Mobiltelefone, die gleichzeitig als Kamera, Audio- und Video-Player, Spielekonsole, Diktiergerät oder zum mobilen Internetzugang genutzt werden. In der Realität ist diese Entwicklung allerdings bislang nicht festzustellen. Auch wenn bestimmte Geräte durchaus multifunktional ausgelegt sind, gibt es zumeist dennoch Spezialgeräte. Außerdem kommen neue Geräte wie Settop-Boxen für TV, WLAN-Equipment, Zweit-Notebooks für die Reise (Netbooks) hinzu. Die Digitalisierung führt zudem zu einem erheblichen Anstieg der Datenmenge und des Datenverkehrs; so ist sie insbesondere für die Vervielfachung des Datenverkehrs im Internet durch Audio- und Videodigitalisierung verantwortlich (Cisco 2008).
- Mit der Ubiquität der IKT steigt die Anzahl der Produkte und Produktkategorien stark an. Außerdem steigt der Anteil der IKT in anderen Produkten. Schon heute erzielt die verarbeitende Industrie rund 80 % ihrer Wertschöpfung mit Produkten, die so genannte Embedded Systems enthalten (BITKOM/Berger 2007: 73). Durch die Möglichkeiten der Vernetzung ist davon auszugehen, dass dieser Trend sich weiter fortsetzen wird und sich ein Internet der Menschen und Dinge entwickelt. Der IKT-Einsatz ermöglicht aber auch eine Verbesserung der Ressourceneffizienz bei etablierten Produkten (z.B. Waschmittel sparen durch „intelligente“ Waschmaschine).
- Miniaturisierung bedeutet eine Verringerung des Endgerätengewichts. Ob damit eine Verringerung des Ressourcenbedarfs einhergeht, hängt von der Rohstoffintensität und dem Verarbeitungsaufwand der eingesetzten Materialien ab und kann nur durch detaillierte Analysen im Einzelfall geklärt werden.<sup>8</sup> Miniaturisierung und Leistungssteigerung ermöglichen gleichzeitig aber auch weitere Einsatzfelder der IKT. Teilweise werden die Vorteile, die durch die Miniaturisierung von Komponenten beim Gerätgewicht erreichbar wären, durch zusätzliche Komponenten und Funktionalitäten vollständig kompensiert. So ist die Masse eines PCs in den vergangenen 20 Jahren nicht gesunken. Auch bei Mobiltelefonen ist zurzeit festzustellen, dass die Geräte nicht mehr kleiner werden, sondern multifunktionaler und bedienfreundlicher – z.B. über deutlich größere Displays.

Verbunden mit diesen Trends ist auch ein erheblicher Preisverfall bei IKT-Hardware. Diese Preissenkungen führen wiederum zu einer erhöhten Nachfrage nach Geräten, so dass der Materialverbrauch erhöht wird und Rebound-Effekte entstehen. Insgesamt ist auch weiterhin mit einem deutlichen Anstieg der Anzahl von IKT-Geräten in Haushalten, Unternehmen und Behörden zu rechnen. Fraunhofer IZM/ISI (2009) geht von einem Anstieg des Gerätebestands bei Computern und Peripherie in Haushalten von ca. 40 % bis zum Jahr 2020 aus, bei mobilen Geräten sogar um 50 % (Basisjahr 2007) (Fraunhofer IZM/ISI 2009). In Unternehmen und Behörden wird mit einem Anstieg von PCs, Laptops und deren Peripherie um ca. 20 % gerechnet (Fraunhofer IZM/ISI 2009), was die steigende Bedeutung einer umweltfreundlichen Beschaffung unterstreicht.

---

<sup>8</sup> Miniaturisierung bedeutet auch oft einen hohen Ressourcenaufwand durch die verwendeten Materialien (siehe Kap. 4) und die Fertigung (Reinräume, Veredelung von Materialien).

## Nutzung systemischer Ansätze zur Verbesserung der Materialeffizienz

Wie die vorangehenden Ausführungen gezeigt haben, ist aufgrund der stetig wachsenden IKT-Nutzung in Unternehmen, Verwaltung und Privathaushalten in Zukunft kaum mit einer Verringerung des Materialbedarfs zu rechnen, auch wenn es bei den einzelnen Endgeräten und den Einzelsystemen in Rechenzentren und Telekommunikationsnetzen deutliche Verbesserungen geben wird. Ein viel versprechender Ansatz, die Materialeffizienz von IKT-Anwendungen nachhaltig zu verbessern, besteht darin, nicht nur die einzelnen Geräte effizienter zu machen, sondern eine Optimierung des IKT-Gesamtsystems vorzunehmen. Besondere Chancen bieten hier insbesondere die Desktop-Virtualisierung durch Thin Clients und Konzepte des Server Based Computing bzw. Server Centric Computing (vgl. Glossar). Untersuchungen machen klar, dass Thin Client-Lösungen im Vergleich zu „klassischen“ PC-Nutzungen sowohl erhebliche ökonomische als auch ökologische Vorteile bieten (Fraunhofer UMSICHT 2006 und UMSICHT 2008). Bei Berücksichtigung aller Produktlebensphasen (Herstellung, Distribution, Nutzung, Entsorgung/ Recycling) zeigt sich, dass Thin Client Lösungen (inklusive Serveranteil) im Vergleich zu stationären PC-Lösungen mit rund 50 % geringeren Treibhausgasemissionen verbunden sind und damit einen erheblichen Klimaschutzbeitrag leisten können (Fraunhofer UMSICHT 2008). Auch die Betrachtung der in den Endgeräten und Servern gebundenen Materialmasse lässt vermuten, dass Thin Client Lösungen zu Ressourceneinsparungen beitragen.

Bei Thin Clients sind die besonders energie- und materialintensiven Bauteile wie Prozessoren, Platinen und Speicherchips kleiner und weniger komplex als die in PCs eingesetzten Komponenten. Der Einsatz von Thin Client-Lösungen seit Ende der 90er Jahre zeigt nicht nur, dass die Systeme in Firmen und Verwaltung praxistauglich sind, sondern auch, dass die Betriebskosten von Thin Client & Server Based Computing deutlich niedriger liegen als bei vergleichbaren PC-Anwendungen und zu Einsparungen von bis zu 60 % beitragen können (Prangenberg 2007). Durch die aktuellen technischen Fortschritte beim Server Based Computing ist damit zu rechnen, dass zurzeit noch teilweise bestehende Hemmnisse in Zukunft deutlich reduziert werden. Hierzu kann insbesondere das Konzept der Desktopvirtualisierung (VDI – Virtual Desktop Infrastructure (vgl. Glossar)) beitragen. Dabei erfolgt eine Virtualisierung des individuellen PC-Desktops im Rechenzentrum. Die Anwender können über Thin Clients auf ihre persönlichen virtuellen Einzelrechner im Rechenzentrum zugreifen, ihnen bleibt der individuelle „Personal Computer“ mit seinen Einstellungen und Programmen erhalten (BITKOM 2008f: 4),

Server Based Computing bietet noch weitere Vorteile hinsichtlich der Materialeffizienz. Mit Hilfe des Konzeptes ist es grundsätzlich möglich, neben Thin Clients auch andere Endgeräte einzusetzen, die über deutlich geringere Rechenleistungen als aktuelle PCs verfügen. Somit können Endgeräte wie Netbooks, Kompakt-PCs oder auch ältere PCs und Laptops eingesetzt werden. Bislang wurde der Austausch von PCs in der Regel nicht vorgenommen, weil die Geräte nicht mehr funktionsfähig waren, sondern weil die Anforderungen der Betriebssysteme und Anwendungen an die Hardware so stark gestiegen sind, dass die Leistungsfähigkeit nicht mehr ausreichte. Wird die Rechenleistung dagegen in das Rechenzentrum verlagert und damit das Endgerät entlastet, so sind leistungsschwächere Endgeräte mit einer deutlich verlängerten Nutzungsdauer einsetzbar. Die notwendige Leistungssteigerung im Rechenzentrum kann wesentlich effizienter als am Endgerät erreicht werden - bei einer konservativ angenommen Anzahl von 20 Clients pro Server ist der Austausch eines einzelnen Servers sicher materialeffizienter.

## Lösungsstrategien

Wie die obigen Ausführungen gezeigt haben, sind in Bezug auf die Materialeffizienz von IKT-Produkten unterschiedliche Entwicklungspfade denkbar. Während die Energieeffizienz durch die höheren Leistungsaufnahmen, den gestiegenen Einsatz von IKT und den gestiegenen Energiepreisen mittlerweile aufgrund wirtschaftlicher Überlegungen in das Bewusstsein der IKT-Anwender und Anbieter gelangt ist, fehlen entsprechende Preissignale hinsichtlich der Materialeffizienz noch weitgehend. Um hier dennoch Fortschritte zu erreichen, steht der IKT-Branche, den Anwendern und der Politik eine Reihe von Ansätzen zur Verfügung:

- *Ausnutzung der sich durch die Miniaturisierung und Leistungssteigerung ergebenden Materialeinsparungen und Verlängerung der Nutzungszeiten von IKT-Geräten:* Die möglichen Erfolge durch Miniaturisierung und

Leistungssteigerung sind erheblich. Häufig werden sie jedoch durch gestiegene Anforderungen ausgeglichen. So kann beispielsweise ineffizient programmierte Software die erreichte Leistungssteigerung kompensieren und dazu führen, dass die Nutzungsdauer der Geräte verringert wird. Effizient programmierte Software und Konzepte wie Server Centric Computing können die Nutzungszeiten von IKT-Geräten deutlich verlängern. Außerdem wäre zumindest teilweise eine (wieder verstärkt) modulare Bauweise der Geräte sinnvoll, um Leistungsanpassungen vorzunehmen, ohne gleich das ganze Gerät auszuwechseln. Hierfür ist die Standardisierung von Schnittstellen und Protokollen eine wichtige Voraussetzung.

- *Ermittlung von Stoffströmen und Entwicklung von Bewertungsverfahren für Materialeffizienz:* Forschungsbedarf besteht insbesondere in der Ermittlung und Bewertung des Ressourcenbedarfs von IKT. Bislang existieren insgesamt sehr wenige Informationen zu den Stoffströmen über den gesamten Lebenszyklus und die Zulieferketten der Produkte. Das Innovationstempo im IKT-Sektor erschwert die Analysen und Bewertungen erheblich. Es ist davon auszugehen, dass der Einsatz von IKT weiterhin deutlich zunehmen wird. Ob diese Zunahme durch Fortschritte in der Materialeffizienz kompensiert werden können, erscheint zumindest fraglich. Für eine ganzheitliche Bewertung wären aber auch die möglichen Materialeffizienzsteigerungen, die IKT in anderen Branchen ermöglicht, mit in die Bewertung aufzunehmen.
- *Nutzung systemischer Ansätze:* insbesondere verstärkter Einsatz von Thin Clients in Unternehmen und öffentlicher Verwaltung.
- *Einsatz von Geräten mit angepasster Leistung:* Vielfach werden Geräte eingesetzt, deren Leistungsmerkmale für die eigentlichen Aufgaben überdimensioniert sind. Dies gilt sowohl für den Geräteeinsatz in Haushalten als auch in Unternehmen und Behörden. So wären bei vielen Anwendern, die Ihren PC ausschließlich für Office-Anwendungen, E-Mail und Internet nutzen, anstatt klassischer PCs z.B. Mini-PCs/Kompakt-PCs oder Netbooks sinnvoll, die deutlich materialeffizienter sind (Clausen, Fichter, Hintemann 2009).
- *Erhöhung der Auslastung von Servern und Rechenzentren durch Virtualisierung und Cloud Computing:* Zum Vergleich, zur Bewertung und zum Monitoring der Potenziale dieser Entwicklung fehlen zurzeit noch geeignete Benchmark-Kriterien.
- *Standardisierung von externen Netzteilen und Batterieladegeräten:* Durch eine Standardisierung dieser Geräte können erhebliche Potenziale zur Materialeinsparung erreicht werden. Standardisierte Geräte können über die Lebensdauer der zugehörigen IKT-Geräte hinaus genutzt werden. Außerdem können Sie für mehrere Endgeräte gleichzeitig verwendet werden.
- *Information und Bewusstseinswandel:* Zumeist bieten materialeffiziente IKT-Geräte wesentliche Vorteile für den Nutzer: Sie sind leichter und wirken meist eleganter. Vielfach sind auch Vorteile wie z.B. der Verzicht auf einen Lüfter und ein niedrigerer Energieverbrauch mit dem niedrigen Materialeinsatz verbunden. Dies sind wichtige Ansatzpunkte, um materialeffiziente Geräte und Lösungen bei Verbrauchern und Nutzern bekannt und attraktiv zu machen.



## 4 SELTENE METALLE - ESSENTIELLE ROHSTOFFE FÜR IKT-PRODUKTE

Metalle stellen für die IKT-Industrie zentrale Rohstoffe dar. Neben den mengenmäßig bedeutenden Metallen Eisen, Aluminium, Kupfer, Nickel und Zink sind es in der IKT-Industrie jedoch vor allem die in geringen Mengen eingesetzten Metalle wie z.B. Beryllium, Indium, Tantal oder die Platingruppenmetalle (PGM), die essentielle Bestandteile vieler elektronischer Bauteile (z.B. in Kondensatoren, Mikrochips, Festplatten, Bildschirmen, etc.) sind und sich aufgrund der massenhaften Produktion von Computern, Mobiltelefonen und deren Infrastruktur zu relevanten Stoffströmen entwickelt haben (siehe Kap. 3). Ein Mobiltelefon beispielsweise besteht zu rund 25 Gewichtsprozent aus Metallen (ohne Akku und Ladegerät (MakelTfair 2007a: 10)). In ihm sind etwa 250 mg Silber, 24 mg Gold und 9 mg Palladium enthalten (Hagelüken 2008). Pro Gerät sind dies zwar sehr geringe Mengen – aber hochgerechnet auf die Gesamtzahl der auf den Markt gebrachten Mobiltelefone erreicht der Einsatz dieser Metalle den Tonnenbereich. Bei weltweit ca. 1 Mrd. verkaufter Geräte im Jahr 2006 bedeutet dies allein für den Einsatz dieser Metalle in Mobiltelefonen einen Verbrauch von 250 t Silber, 24 t Gold und 9 t Palladium (Hagelüken 2008). Zusätzlich haben auch die Vielfalt und der Reinheitsgrad der benötigten Elemente mit der Leistungssteigerung in der Mikroelektronik stark zugenommen. So ist z.B. die Anzahl der für die Herstellung eines Computerchips benötigten Elemente von ca. 11 im Jahr 1980 auf über 45 Elemente gestiegen - dabei handelt es sich in der Mehrzahl um sogenannte seltene Metalle (Graedel 2008).

Der Begriff der „seltenen“ Metalle ist chemisch nicht definiert. Die Gruppe dieser Metalle umfasst viele Edelmetalle, Schwermetalle (Dichte  $> 10 \text{ g/cm}^3$ ) und Lanthanoide. Viele der seltenen Metalle kommen in der Natur nicht als reine Lagerstätten sondern vergesellschaftet oder als Beimengungen anderer Mineralien oder Metalle vor. Behrendt et al. (2007: 10 ff.) haben in einer Studie zum Abbau von Coltan folgende Kriterien auf ihre Eignung zur Definition seltener Metalle untersucht:

- Hohe oder stark gestiegene Preise: Die Studie kommt zu dem Ergebnis, dass der Preis allein kein Indikator für Knappheit ist, da Metallpreise kurz- und mittelfristig starken Schwankungen unterliegen können, für die z.B. langfristige Investitionsentscheidungen, neue Anwendungen oder auch Preisbildungsprozesse und Börsenspekulation verantwortlich sein können.
- Geringe Reichweiten der Reserven: Im geologischen Sinne bedeuten Reserven die erfassten und unter derzeitigen wirtschaftlichen und technischen Rahmenbedingungen abbaubaren Vorräte. In Verbindung mit der jährlichen Produktion der Metalle ergibt sich die statische Reichweite, die anzeigt, wie lange das Metall bei derzeitigem Verbrauch noch verfügbar ist. Der Nachteil der statischen Reichweite liegt darin, dass sie keine dynamischen Wachstumsprozesse und Nachfragetrends berücksichtigt. Ressourcen umfassen in diesem Zusammenhang diejenigen Lagerstätten, die bei fortschreitender Technologie und steigenden Preisen wirtschaftlich erschließbar werden. Diese werden auch als Reservebasis bezeichnet.
- Metalle, die in wenigen Ländern abgebaut oder produziert werden: Die Versorgung unterliegt dann v.a. politisch-wirtschaftlichen sowie wettbewerblichen Risiken. In diesem Fall spricht man auch von einer strukturellen Knappheit.

In aktuellen Arbeiten für das Umweltbundesamt werden weitere Kriterien untersucht. Hervorzuheben ist dabei das Kriterium der dissipativen Verwendung. Hierunter werden Metalle verstanden, die nur in geringen Mengen in Produkten und/ oder in einer Vielzahl von kleinen Produkten verwendet werden.

Neben den genannten Gründen hängt die Verfügbarkeit von Rohstoffen auch maßgeblich von politischen, sozialen und rechtlichen Faktoren ab, die durch die Förderländer sowie den Welthandel bestimmt werden. Graedel (2008) nutzt den Begriff der "kritischen" Metalle und hat zur Bewertung die Kriterien Versorgungsrisiko (Supply Risk) sowie Materialrisiko (Material Risk) eingeführt. Unter Versorgungsrisiko werden dabei vor allem geologische, soziale, politische und ökonomische Aspekte gefasst, die die Verfügbarkeit einschränken, während der Begriff des Materialrisikos Umweltaspekte sowie die Wichtigkeit eines Stoffes für verschiedene Anwendungen berücksichtigt. Hierbei spielen die Substituierbarkeit und die geschätzte Verbrauchsentwicklung eines Stoffes eine zentrale Rolle.

## Umweltrelevanz seltener Metalle

Die oben genannten Vorschläge zur Bestimmung der seltenen Metalle enthalten keine Kriterien der Umweltrelevanz. Der Abbau und die Nutzung von seltenen Metallen in der IKT und in anderen Anwendungsbereichen stellen jedoch aus Sicht der Umwelt eine relevante Größe dar. Für die Entwicklung von Strategien zur Versorgung und zum Einsatz dieser Metalle sind die folgenden Aspekte entscheidend:

- *Umweltwirkungen der Förderung, Gewinnung und Verarbeitung:* Die Förderung und Gewinnung vieler der in der IKT-Industrie verwendeten Metalle ist mit hohen Umweltwirkungen verbunden<sup>9</sup>. Dies gilt insbesondere für die seltenen Metalle, die zum großen Teil nur in geringen Konzentrationen vorkommen und daher unter großem Materialaufwand, Flächen- und Energieverbrauch gewonnen werden. Schließlich ist die Verarbeitung der Metalle zum Endprodukt selbst mit Umweltwirkungen und Energieverbrauch verbunden. Bedingt durch die jeweiligen Produktionsverfahren der IKT-Industrie (Sputtern (vgl. Glossar), Bedampfen, Lotbäder, etc.) gehen bereits große Anteile verfahrenstechnisch bedingt nicht in das Produkt ein. Zwar werden viele der Produktionsrückstände aufgrund der hohen Materialkosten recycelt, es sind jedoch noch erhebliche Anstrengungen notwendig, um Materialeffizienzpotenziale in der Produktionstechnik zu realisieren.
- *Reboundeffekte durch verstärkte Nutzung von seltenen Metallen:* Für den Anstieg des Verbrauchs seltener Metalle sowie die Vielfalt der genutzten Elemente sind mehrere Effekte verantwortlich. Zum einen werden durch Technologiewechsel, wie z.B. die Substitution von Röhrenbildschirmen (CRT-(Cathode Ray Tube) Displays) durch Flachbildschirme (LCD-Liquid Crystal Displays) innerhalb kurzer Zeiträume große Mengen spezifischer Rohstoffe, wie z.B. Indium, benötigt. Zum anderen führt die kontinuierliche Leistungssteigerung und Miniaturisierung in der Mikroelektronik zu kurzen Produktlebenszyklen und somit einer erhöhten Anzahl an Endgeräten. Beispielsweise ist der Bedarf an den Metallen Tantal und Niob in den vergangenen Jahren deutlich angestiegen, da sie ein wichtiges Element für die Herstellung von mikroelektronischen Kondensatoren sind, die vor allem in Mobiltelefonen zum Einsatz kommen (Fh-ISI/IZT 2009: 104). Galliumarsenid ist ein bevorzugtes Material für die Herstellung von Hochleistungsmikrochips, deren Einsatzmenge ebenfalls stark ansteigt (Fh-ISI/IZT 2009: 113).

Miniaturisierung und Leistungssteigerung sind Effekte, die grundsätzlich den Materialverbrauch in der IKT reduzieren und die Energieeffizienz steigern können, wie beispielsweise die Entwicklung neuer energieeffizienterer Servergenerationen verdeutlicht (siehe auch Kap. 3). Sie können jedoch auch zu erheblichen Rohstoff- und Energieverbräuchen durch Reboundeffekten führen.

- *Rezyklierbarkeit seltener Metalle:* Umweltwirkungen und Verfügbarkeit von seltenen Metallen werden auch stark durch deren Rezyklierbarkeit aus existierenden Anwendungen und Produkten bestimmt. Diese ist von der Masse und der Verteilung des Elementes in dem jeweiligen Produkt oder eines Bauteils und dem Aufwand sowie den Kosten für die Rückgewinnung abhängig. Während für viele Rohstoffe wie Stahl, Kupfer und Blei aufgrund hoher Preise und Massenströme gute Recyclingquoten erzielt werden, so sind diese bei seltenen Metallen schwieriger zu realisieren. Oftmals werden seltene Metalle in geringen Mengen und feiner Verteilung, z.B. als Dotierungselement (vgl. Glossar) verwendet<sup>10</sup>. Die seltenen Metalle, die in geringen Mengen dissipativ eingesetzt werden, gehen so z.B. in den Massenfraktionen des Elektronikschrotts

---

<sup>9</sup>Die Förderung, die Gewinnung und das Recycling vieler seltener Metalle ist zudem mit vielfältigen, zusätzlichen Effekten verbunden, die z.T. auf die Toxizität der Metalle selbst (z.B. Schwermetalle wie Cadmium, Blei oder Quecksilber) oder auf deren Verwendung oder Freisetzung beim Recycling zurückzuführen sind (z.B. Verwendung von Quecksilber zur Rückgewinnung von Gold aus Elektronikschrott). Die tatsächlichen Effekte hängen sehr stark von den Bedingungen im jeweiligen Förder- oder Verarbeitungsland ab und werden hier nicht detailliert behandelt. Zu dieser Thematik sind eine Vielzahl aktueller Studien erschienen (siehe z.B. MakeITfair 2007a, Behrendt et al. 2008, Walle/Jennings 2001).

<sup>10</sup>Beispielsweise beträgt der durchschnittliche Germaniumgehalt je Kilometer installiertem Glasfaserkabel 0,224 g. Für die Herstellung einer 1mm<sup>2</sup> Hochleistungs-LED werden im Schnitt 0,17 mg Indium benötigt (siehe Fh-ISI/IZT 2009: 97 ff).

verloren. Neben den Recyclingtechniken spielt die vorhergehende Sammlung der Altprodukte eine wesentliche Rolle, denn eine Vielzahl besonders der kleineren IKT-Produkte wird am Lebensende nicht an Recyclinghöfen etc. abgegeben, sondern verbleibt entweder "zu Hause in der Schublade" oder wird mit dem Restmüll entsorgt. In der Produktgruppe der IT- und Telekommunikationsgeräte (außer Monitor) wurden in der EU-27 im Jahr 2006 nur 27,8 % der auf den Markt gebrachten Geräte wieder eingesammelt (Huisman et al. 2007). Mit der Entsorgung der Geräte im Restmüll gehen die enthaltenen Stoffe dem Wirtschaftskreislauf unwiederbringlich verloren und ersetzen keine Primärrohstoffe.

## **Vertiefende Betrachtung ausgewählter seltener Metalle**

Eine aktuelle Studie des Fraunhofer-Instituts für System- und Innovationsforschung (ISI) sowie des Instituts für Zukunftsstudien und Technologiebewertung (IZT) hat den Rohstoffbedarf für ausgewählte Zukunftstechnologien analysiert (Fh-ISI/IZT 2009). Für das Technologiefeld der IKT wurden diejenigen Rohstoffe betrachtet, die aus wirtschaftlichen Gründen sowie wegen ihrer geringen Reichweite als kritisch für die Versorgung der Industrie eingeschätzt werden. Allen unten genannten Rohstoffen ist zudem gemeinsam, dass ihr Abbau und ihre Gewinnung mit großen Umweltwirkungen verbunden sind. Mittels Projektionen für das Jahr 2030 wurde der jeweilige Zuwachs des Bedarfs ausgewählter Rohstoffe bestimmt<sup>11</sup>. Zu Rohstoffen, bei denen Versorgungsengpässe entstehen könnten, gehören demnach die in Tabelle 2 aufgeführten Metalle.

Für eine Bewertung der langfristigen Verfügbarkeit seltener Metalle für IKT-Produkte sind zusätzliche Faktoren wie die Bedarfsentwicklungen in anderen Branchen entscheidend. Vor diesem Hintergrund sind die Rohstoffe Gallium, Germanium sowie Indium besonders kritisch zu bewerten. Ihre Anwendung ist sowohl für die IKT-Industrie als auch viele andere Schlüsseltechnologien essentiell, da sie schwer oder gar nicht zu substituieren sind. Weitere Engpässe können sich durch die Kopplung der Produktion an andere Metalle ergeben. So sind beispielsweise die Reserven von Gallium nicht als limitiert anzusehen, aber dennoch ist die Jahresproduktion stark durch strukturelle Knappheit geprägt, da sie von der Zink- und Bauxitförderung in wenigen Abbaugebieten abhängig ist (China 32 %, Deutschland 19 %, Kasachstan 14 %, Japan 11 % und Russland 10 %). Bedarfstreiber für den Verbrauch von Gallium sind insbesondere Hochleistungs-Mikrochips sowie die Dünnschicht-Photovoltaik (Fh-ISI/IZT 2009: 347 f.).

---

<sup>11</sup>Zur Auswahl der Rohstoffe, den dabei angewandten Kriterien sowie dem methodischen Aufbau der Studie siehe Fh-ISI/IZT (2009: 5 ff). In die Analyse wurden sowohl Massenrohstoffe mit hoher Weltproduktion, wie Eisen, Kupfer, Chrom, als auch Spezialitäten, d.h. Rohstoffe mit einer Weltproduktion von einigen 1.000 t/a, wie Indium, Selen, Gallium einbezogen.

<b>Zinn</b>		
<i>Anwendung in der IKT-Industrie:</i>	<i>Rohstoffbedarf 2006 [t]</i>	<i>Rohstoffbedarf 2030 [t]</i>
Bleifreie Lote	188.000	232.900
Weitere Anwendungen: z.B. Weißblech, Chemikalien, Legierungen, Glas und ITO (Indium Tin Oxid)-Gläser		
Jahresproduktion 2006: 302.000 t	Reserven: 6,1 Mio. t	Reservebasis: 11 Mio. t
<b>Silber</b>		
<i>Anwendung in der IKT-Industrie:</i>	<i>Rohstoffbedarf 2006 [t]</i>	<i>Rohstoffbedarf 2030 [t]</i>
Bleifreie Lote	5.100	9.300
RFID	1,05	5.670
Mikroelek. Kondensatoren	210	518
Displays (OLED)	0	28
Weitere Anwendungen: z.B. Schmuck und Silberwaren, Photographie, Elektrik/Elektronik, Hartlegierungen, Photovoltaik		
Jahresproduktion 2006: 20.200 t	Reserven: 270.000 t	Reservebasis: 570.000 t
<b>Indium</b>		
<i>Anwendung in der IKT-Industrie:</i>	<i>Rohstoffbedarf 2006 [t]</i>	<i>Rohstoffbedarf 2030 [t]</i>
Display (LCD, u.a.)	230	1.580
Weiß LED	8	144
Weitere Anwendungen: z.B. Dünnschicht-Photovoltaik		
Jahresproduktion 2006: 510 t	Reserven: 2.800 Mio. t	Reservebasis: k.A., stark abhängig von Zinkförderung
<b>Gallium</b>		
<i>Anwendung in der IKT-Industrie:</i>	<i>Rohstoffbedarf 2006 [t]</i>	<i>Rohstoffbedarf 2030 [t]</i>
Weiß LED	3	46
Hochleistungs-Mikrochip	18	209
Weitere Anwendungen: z.B. Dünnschicht-Photovoltaik		
Jahresproduktion 2006: 99 t	Reserven: k.A., stark abhängig von Zink- und Bauxitförderung	Reservebasis: 1 Mio. t
<b>Germanium</b>		
<i>Anwendung in der IKT-Industrie:</i>	<i>Rohstoffbedarf 2006 [t]</i>	<i>Rohstoffbedarf 2030 [t]</i>
Glasfaserkabel	20	158
Weitere Anwendungen: z.B. Infrarot-Detektoren, Photovoltaik, Kondensatoren, Katalysatoren		
Jahresproduktion 2006: 90 t	Reserven: 450.000 t	Reservebasis: k.A., stark abhängig von Zinkförderung
<b>Tantal</b>		
<i>Anwendung in der IKT-Industrie:</i>	<i>Rohstoffbedarf 2006 [t]</i>	<i>Rohstoffbedarf 2030 [t]</i>
Mikroelek. Kondensatoren	551	1.410
Weitere Anwendungen: z.B. hochfeste und korrosionsfreie Stähle, Hochtemperaturanwendungen, Optiken		
Jahresproduktion 2006: 1.390 t	Reserven: > 43.000 t	Reservebasis: k.A.,
<b>Niob</b>		
<i>Anwendung in der IKT-Industrie:</i>	<i>Rohstoffbedarf 2006 [t]</i>	<i>Rohstoffbedarf 2030 [t]</i>
Mikroelek. Kondensatoren	288	1.410
Weitere Anwendungen: z.B. hochfeste und leichte Stähle, Hochtemperaturanwendungen, Optiken, Medizintechnik		
Jahresproduktion 2006: 44.500 t	Reserven: 4.400.000 t	Reservebasis: k.A.,

**Tabelle 2: Seltene Metalle mit besonderer Relevanz für die IKT-Industrie (Quelle: Eigene Bearbeitung nach Daten von Fraunhofer ISI / IZT 2009).**

Der Germaniumbedarf ist wegen des Ausbaus der Glasfasernetze sowie der verstärkten Nachfrage von Infrarotdetektoren stark angestiegen. Besonders durch den geplanten Ausbau von Breitbandnetzen für Internet, Telekommunikation etc. sind weitere Verbrauchssteigerungen zu erwarten (Fraunhofer IZM/ISI 2009). Für die Herstellung von Glasfasernetzen sowie von Infrarotlinsen stellt Germanium bisher ein essentielles, nicht substituierbares Element dar. Die aktuelle Fördermenge wird vor allem durch die Kopplung an den Abbau von Zinkerzen limitiert. Es

wird deshalb bereits die zusätzliche Gewinnung von Germanium aus Flugaschen der Kohleverbrennung erwogen (Fh-ISI/IZT 2009: 332).

Indium ist ein zentrales Element für die Herstellung von transparenten, leitenden Gläsern (ITO(Indium-Tin-Oxide)-Glas), die die Grundlage der LCD-Flachbildschirmtechnologie sowie vieler Dünnschicht-Photovoltaiktechnologien sind. Indium ist sowohl hinsichtlich der bekannten Reserven als auch in Bezug auf die Produktionsmengen, die stark von der Zinkförderung in wenigen Abbaugebieten (China 48 %, Südkorea 17 %, Japan 10 %, Kanada 10 %) abhängen, ein limitierter Rohstoff<sup>12</sup>. Sein Einsatz in Displays stellt bisher eine schwer substituierbare Anwendung dar. Aktuell befindet sich z.B. Antimonzinnoxid (ATO) als Substitut in der Erprobung (Fh-ISI/IZT 2009: 77), das zwar aus Gesichtspunkten der Rohstoffversorgung eine mögliche Alternative darstellt, jedoch wegen seiner Toxizität und Kanzerogenität umstritten ist.

Der wachsende Bedarf an den Metallen Zinn und Silber wird neben den bleifreien Loten durch eine Vielzahl paralleler Anwendungen erzeugt. Silber wird außer in der Elektronik- und Photovoltaikindustrie aufgrund seiner antibakteriellen Eigenschaften auch verstärkt in der Lebensmittel- und Bekleidungsindustrie sowie im Holzschutz angewandt. Silber in gedruckten RFID-Etiketten wird bisher kaum zurück gewonnen, da die RFID-Etiketten dissipativ in anderen Abfallstoffströmen verteilt vorliegen und noch keine geeigneten Rückgewinnungsmöglichkeiten existieren (Fh-ISI 2009: 302).

## Lösungsstrategien

Zur Vermeidung der Abhängigkeiten von spezifischen, seltenen Metallen oder auch zur Verlängerung der Reichweiten ausgewählter Rohstoffe, stehen folgende Lösungsansätze zur Verfügung:

- *Suche nach Substituten:* Einer der wirkungsvollsten, aber auch am schwierigsten zu realisierenden Lösungsansätze ist die Substitution seltener Metalle durch umweltgerechtere und besser verfügbare Materialien. So wurde beispielsweise Tantal, welches lange Zeit Voraussetzung für die Herstellung mikroelektronischer Kondensatoren war, aufgrund starker Preissteigerungen, kurzfristig durch Niob ersetzt. Dieses wurde aufgrund geringerer Nachfrage zeitweise zu niedrigeren Preisen angeboten<sup>13</sup>. Eine andere Alternative stellen so genannte Low Temperature Cofired Ceramics (LTCC) dar, die Mehrlagenschaltungen auf der Basis von gesinterten Keramikträgern ermöglichen.

In Einzelfällen sind die genutzten Eigenschaften der verwendeten Elemente jedoch so spezifisch, dass sich bisher kein Ersatz finden lässt (z.B. Indium in der Displayherstellung). Die Substitution seltener Metalle setzt in der Regel intensive Forschung voraus und umfasst neben dem Austausch spezifischer Elemente auch das Überprüfen der Funktion und möglicher alternativer Prinzipien<sup>14</sup>.

- *Optimierung von Rohstoff- und Energieeinsatz:* In der IKT-Industrie ist die Minimierung des Rohstoffeinsatzes wegen hoher Rohstoffkosten bereits in vielen Anwendungen und Komponenten realisiert worden. Beispielsweise wurde der Materialeinsatz für Bauteile wie Mikrochips und Festplatten durch Miniaturisierung und neue Fertigungstechnologien zur Leistungssteigerung (z.B. EUV(Extreme Ultraviolette-Lithographie) kontinuierlich gesenkt. Hinzu kommt, dass auch bei geschlossenen Produktionskreisläufen noch erhebliche Effizienzsteigerungen in Bezug auf Material- und Energieverbräuche der Produktionsverfahren möglich

---

<sup>12</sup> Anfang Januar meldete die Sächsische Zeitung den Fund eines ca. 1000 Tonnen großen Indium-Vorkommens im Erzgebirge durch die Bergakademie Freiberg, das bei weiter steigenden Indiumpreisen in der Zukunft abbauwürdig sein könnte.

<sup>13</sup> Ein anderes Beispiel ist der Ersatz bleihaltiger Lote durch Zinn-Silber-Lote, wengleich der Grund für die Substitution umweltpolitisch motiviert war und zunächst zu höheren Kosten für die Lote geführt hat.

<sup>14</sup> In diesem Zusammenhang eröffnen Querschnittswissenschaften wie die Nanotechnologie grundsätzlich neue Prinzipien und Ansätze. Dies zeigen z.B. die Forschungsarbeiten von IBM zur Datenspeicherung auf Grundlage der Milliped-Technologie, bei der mit einer Nanospitze Informationen in ein polymerbeschichtetes Siliziumsubstrat geschrieben werden (<http://www.zurich.ibm.com/st/storage/concept.html>, letzter Abruf Februar 2009).

sind. Um einen aktuellen Stand zu erhalten, sind Datenerhebungen bei Herstellern bzw. für neue Prozesse und Produktionskonzepte notwendig, um daraus Rückschlüsse über die Umweltwirkungen alternativer Verfahren abzuleiten.

- *Optimierung der Recyclinginfrastrukturen und -techniken und globalen Recyclingkreisläufe:* Das Recycling von Metallen ist in vielen Industriezweigen mit großen Massenströmen etablierte Praxis. Im Falle der IKT-Industrie sind die Herausforderungen aufgrund der dissipativen Verteilung der eingesetzten Metalle in einzelnen Bauteilen oder vielen miniaturisierten Produkten größer. Zudem ändert sich die stoffliche Zusammensetzung der Komponenten und Bauteile rasch. Diese Entwicklung könnte sich aufgrund immer kürzerer Produktzyklen (siehe Kap. 3) noch verstärken (Buchert et al. 2007: 1f). Zur Wiedergewinnung dieser Stoffe müssen Recyclingtechniken entwickelt und eingesetzt werden, die auf eine effiziente Rückgewinnung der Edelmetalle ausgerichtet sind. In der Verbesserung der Sammelinfrastruktur liegt ein weiterer zentraler Schlüssel zur Steigerung der Recyclingmengen. Hier müssen besonders für kleine IKT-Produkte geeignete Sammelstrukturen gefunden werden. Ein Lösungsansatz hierfür könnten von den Herstellern initiierte Leasing- oder Rücknahmemodelle darstellen, die der Industrie Zugriffsoptionen auf im Produkt enthaltene Rohstoffe sichern und das Prinzip der Produktverantwortung stärken.

Das Recycling von Gebrauchsgütern der IKT-Industrie und die Rückgewinnung dissipativ verteilter Metalle wird gleichzeitig durch begrenzte Reserven und steigende Rohstoffpreise seltener Metalle attraktiver und führen so zur Entwicklung effizienter Recyclingtechniken. Beispielsweise sind inzwischen quecksilber- und cyanidfreie Recyclingverfahren für die Rückgewinnung von Gold aus Elektronikschrott verfügbar. In Japan sind Verfahren zur Rückgewinnung von Indium aus Flachdisplays entwickelt worden (siehe Fh-ISI/IZT 2009: 87). Damit ergeben sich, unter der Berücksichtigung der ökobilanziellen Bewertung, Möglichkeiten für die Rückgewinnung seltener Metalle und das Schließen von Stoffkreisläufen und damit für den Ersatz von unter hohen Umweltwirkungen gewonnenen Primärrohstoffen. Ob und in welchem Maße diese Verfahren zum Einsatz kommen, hängt jedoch von der weiteren Forschung und Entwicklung der Recyclingverfahren sowie dem Transfer der entsprechenden Technologien in die Länder ab, in denen große Mengen Elektronikschrott im informellen Sektor unter einfachsten Bedingungen mit teilweise hohen stofflichen Verlusten recycelt werden. Die Vermeidung solchen unkontrollierten "Individualrecyclings" verspricht die Erschließung großer Umweltentlastungspotenziale. Um diese Potenziale erschließen zu können, sind nicht nur effiziente Recyclingtechnologien notwendig, sondern gesamtheitliche Konzepte, die den informellen Sektor einbinden.

## 5 UMWELT- UND SOZIALSTANDARDS IN DEN VORKETTEN VON IKT-HERSTELLERN

Zu Beginn des Jahrtausends hat die Elektronikindustrie damit begonnen, ihre Vorketten mit Blick auf Umweltschutz und soziale Anforderungen genauer in Augenschein zu nehmen sowie Methoden zu entwickeln, mit denen sie hier Fortschritte erzielen kann. Dabei wurde von Anfang an ein internationaler Ansatz verfolgt. GeSI, die Global e-Sustainability Initiative ([www.gesi.org](http://www.gesi.org)), wurde 2001 gegründet, die Electronic Industry Citizenship Coalition (EICC) 2004. Innerhalb dieser Initiativen und zwischen den beiden Gruppen wird das Ziel der Nachhaltigkeit in den internationalen Vorketten kooperativ verfolgt. Dabei haben schon andere Branchen wie z.B. die Textil- und Bekleidungsindustrie die Erfahrung gemacht, dass sich das Themenspektrum im Vergleich zur nationalen Sichtweise stark erweitert. Der Code of Conduct des EICC listet folgende Themen auf:

- *Arbeit*: Freie Wahl des Arbeitsplatzes, Vermeidung von Kinderarbeit, Begrenzung der Arbeitszeiten, auskömmliche Löhne, menschliche Behandlung und Vermeidung sexueller Belästigung, Nicht-Diskriminierung sowie das Recht zur gemeinsamen Interessenvertretung.
- *Gesundheit und Sicherheit*: Arbeitssicherheit, Notfallvorsorge und -maßnahmen, Umgang mit Arbeitsunfällen und Berufskrankheiten, Gefahrstoffmanagement, Umgang mit physisch anstrengender Arbeit, Verfügbarkeit von Trinkwasser, hygienischen Toiletten, Kantinen, Schlafräumen.
- *Ethik*: Geschäftliche Integrität, Bekämpfung von Korruption, Transparenz, Achtung geistigen Eigentums, fairer Wettbewerb, Schutz von „Whistleblowern“ (vgl. Glossar) und lokales Engagement.

Darüber hinaus werden Anforderungen an das Management im Allgemeinen und an das Umweltmanagement im Besonderen gestellt.

Studien und Case Studies von kritischen Nichtregierungsorganisationen (NGOs) machen deutlich, dass in vielen dieser Bereiche große Probleme vorliegen. MakeITfair (2008) portraitiert auf Basis von vertraulichen Interviews mit Angestellten eine Reihe von Fertigungsstätten in China und auf den Philippinen, u.a. folgende Fabrik für gedruckte Schaltungen in China:

Fabrik A - produziert gedruckte Schaltungen für Handys von Motorola, Samsung, Nokia und LG

Die Mehrheit der Beschäftigten ist zwischen 16 und 30, wobei die unter 18-jährigen nicht besonders vor schwerer Arbeit geschützt werden, wie es durch das chinesische Arbeitsrecht vorgeschrieben wäre. Frauen werden bevorzugt, da sie als leichter zu führen gelten. Die Löhne bewegen sich dicht über dem in China geltenden Mindestlohn (79 €/Monat) und erreichen incl. aller Zuschläge und Überstunden zwischen 158 und 211 €. Nach Abzug der gängigen Lohnstrafen bleiben oft nur 116 bis 169 € übrig. Die Arbeitszeiten liegen regelmäßig bei 11 Stunden täglich, incl. 3 Überstunden, und erreichen in Spitzenzeiten 12 bis 13 Stunden am Tag an 6 Tagen in der Woche.

Obwohl die Fabrik nach Angaben im Betriebshandbuch ISO 9.000 und ISO 14.000 Zertifikate besitzt, bestehen gravierende Mängel im Arbeitsschutz. Schutzbekleidung steht u.a. in der Lackiererei und beim Umgang mit Schwefelsäure nur eingeschränkt zur Verfügung und wird aufgrund des allgemeinen Arbeitsdrucks nicht immer angelegt. Transportarbeiter, die gedruckte Schaltungen transportieren, tragen oft keine Handschuhe, da dadurch das Risiko steigt, einmal etwas fallen zu lassen. Hierfür aber werden sie durch Lohnabzüge bestraft.<sup>15</sup>

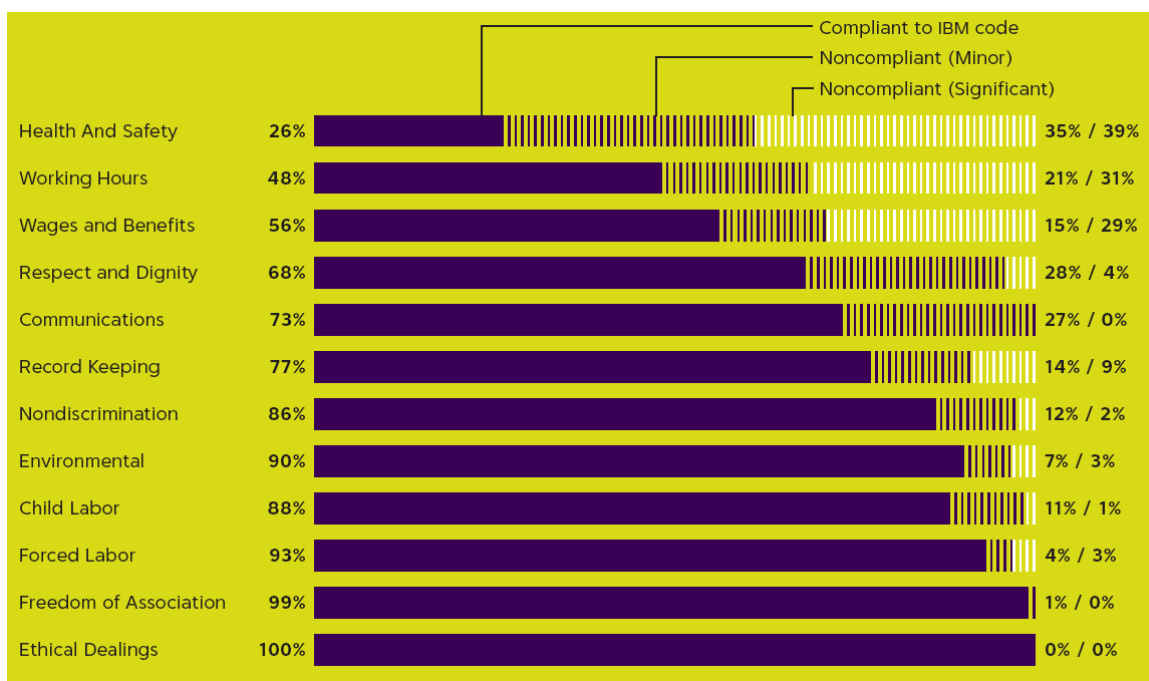
---

<sup>15</sup> Vgl. MakeITfair 2008: 32 ff.

Die Elektronikbranche selbst veröffentlicht zu diesen Fragen und Problemlagen bisher insgesamt wenige Informationen. Diese gehen zum großen Teil auf eine Reihe von Vorreiterunternehmen zurück, die in ihren Corporate Responsibility (CR)-Berichten Sachstandsinformationen publizieren.

Eine der Quellen ist der Global Citizenship Bericht 2007 von Hewlett Packard (HP) (Hewlett Packard 2008b). Bei mehr als 25 % der von HP in 460 Audits seit 2004 bewerteten Zulieferer wurden „wesentliche Nichtübereinstimmungen“ mit den Anforderungen im Bereich zumutbarer Arbeitszeiten dokumentiert, bei jeweils über 10 % der Zulieferer wurden „wesentliche“ bzw. „weniger wesentliche Nichtübereinstimmungen“ im Bereich der Löhne festgestellt, bei über 10 % der Zulieferer wurden „wesentliche Nichtübereinstimmungen“ im Bereich der Diskriminierung gefunden. Bei sämtlichen Einzelaspekten im Bereich Gesundheit und Sicherheit fanden sich jeweils 10 bis 25 % „wesentliche“ und zusätzlich 10 bis 25 % „weniger wesentliche Nichtübereinstimmungen“, in der Notfallvorsorge waren es sogar jeweils 25 bis 50 %. Genauso schlecht stand es um das Gefahrstoffmanagement. 25 bis 50 % der Zulieferer mit „wesentlichen“ und zusätzlich 25 bis 50 % mit „weniger wesentliche Nichtübereinstimmungen“ geben zu denken.

Ähnlich ist das Bild im IBM CR-Bericht 2007/2008. Auf Basis von 450 Audits bis 2007 stellt er fest, dass nur 26 % der Zulieferer den IBM-Anforderungen zu Gesundheit und Sicherheit entsprechen. Nur 48 % halten die Arbeitszeiten ein und nur 56 % zahlen Löhne in Übereinstimmung mit den IBM-Regeln. Die Abbildung zeigt das Bild im Überblick:



**Abbildung 3: Ergebnisse der IBM-Erstaudits (2004-2007) (Quelle: IBM 2008, 64).**

Einen weiteren Einblick gibt der Corporate Responsibility Bericht 2008 der Deutschen Telekom. Das Ergebnis der in 2007 durchgeführten drei Lieferantenaudits in China zeigt ähnliche Schwachstellen.



## Die verantwortlichen Akteure

Wer aber sind letztlich die in diesem globalen Markt verantwortlichen Konzerne? Drei große IT-Märkte bilden die Hardware-Seite der IT ab: Computertechnik, Handys und Unterhaltungselektronik:

Markt-position	Computer		Handys		LCD-TVs als Beispiel für Unterhaltungselektronik	
	Unternehmen	Marktanteil <sup>16</sup>	Unternehmen	Marktanteil <sup>17</sup>	Unternehmen	Marktanteil <sup>18</sup>
1.	HP	18,4	Nokia	39,5	Samsung	16,8
2.	Dell	13,6	Samsung	15,2	Sony	12,6
3.	Acer	12,5	Motorola	10,0	Phillips	12,1
4.	Lenovo	7,3	LG	8,8	Sharp	11,3
5.	Toshiba	4,6	Sony Ericsson	7,5	LG	7,8
<b>Summe</b>		56,4		81,0		60,6

**Tabelle 3: Marktanteile in Elektronikmärkten (Quelle: eigene Zusammenstellung).**

In den oben aufgeführten Initiativen zum Management der Vorketten GeSi und EICC sind die größten vier Unternehmen des Computermarktes und die größten drei Akteure des Handymarktes vertreten, die zusammen 51,8 % des Computer- und 64,7 % des Handymarktes repräsentieren. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass eine entsprechende Marktmacht zur Durchsetzung von Ansprüchen in den Vorketten besteht.

Im deutschen Computermarkt ist die Reihenfolge unter Beteiligung von Fujitsu Siemens Computers (FSC) und Medion eine andere: Acer 20,9 %, HP 13,0 %, FSC 10,1 %, Dell 9,4 % und Medion 6,9 %. Zusammen halten somit 5 Akteure 60,3 % des Marktanteils in Deutschland.

## Das Management internationaler Supply Chains im IT-Sektor

Auch in Bezug auf die wünschenswerten Maßnahmen herrscht ein hohes Maß an Übereinstimmung der verschiedenen Quellen. Die Entwicklung zu mehr Nachhaltigkeit der Zulieferer, die angestoßen werden soll, beginnt mit der Bekanntmachung und vertraglichen Verankerung des Themas „Social and Environmental Responsibility (SER)“ zwischen Kunde und Zulieferer.

Zweiter Schritt ist dann eine Selbstbewertung des Zulieferers auf der von GeSi und EICC gemeinsam eingerichteten Plattform E-TASC, auf der die Elektronikzulieferer ihre ausgefüllten Fragebögen jeweils einzeln für bestimmte Kunden freigeben können. Die Funktionalität von E-TASC stellt mit Hilfe eines Scoring-Modells dabei auch eine erste Abschätzung eines Risikoprofils des Zulieferers bereit. Der Dialog über den Fragebogen führt oft schon zu ersten Verbesserungen.

Als nächster Schritt sind persönlich durchgeführte Vor-Ort-Audits von Bedeutung. In einer Studie, die HP mit Projektpartnern in Osteuropa durchgeführt hat (Danish Commerce and Companies Agency 2008), wird dies deutlich gemacht. Der Kontakt beim Audit sowie im Kontext der kooperativen Entwicklung eines Verbesserungsprogramms macht dem Zulieferer die Ernsthaftigkeit deutlich, die auf Seiten des Kunden mit dem Thema verbunden wird. Dabei ist allerdings wichtig, dass der Kunde nicht widersprüchliche Signale aussendet. Nimmt z.B. der Auditor das Thema ernst, der Einkäufer hingegen nicht, ist der Zulieferer letztlich verunsichert, weiß nicht was er tun soll und tut im Zweifelsfall nichts. Für die OEM-Unternehmen ist also wichtig zu erreichen, dass SER in die Beschaffungsprozesse

<sup>16</sup> Gartner Presseerklärung 14.10.2008, Daten weltweit für das 3. Quartal 2008 in Prozent [%].

<sup>17</sup> Gartner Presseerklärung 27.8.2008, Daten weltweit für das 2. Quartal 2008 in Prozent [%].

<sup>18</sup> Digitimes Research nach www.prad.news.de vom 18.6.07 für das 1. Quartal 2007 in Prozent [%].

gleichwertig integriert wird und alle an der Beschaffung beteiligten Personen den Zulieferern die gleichen Prioritäten vermitteln.

Mit Blick auf die Ursachen, die nicht nur die Elektronikbranche, sondern auch die in diesem Prozess führende Textil- und Spielzeugbranche mit der Business Social Compliance Initiative (BSCI) (siehe beispielhaft BSCI 2008) für die Defizite sieht, reicht aber ein Selbstbewertungs- und Auditprozess nicht aus. Es gilt, das Verständnis der Zulieferer für die SER-Themen weiterzuentwickeln, sowie Wissen über die Probleme und Fähigkeiten zur Lösung in den Unternehmen in vielen verschiedenen Zulieferländern zu verankern. Letztlich müssen die Prioritäten der Managementsysteme verändert und diese selbst weiterentwickelt werden. Hierzu bedarf es eines Prozesses zum Capacity-Building (siehe Glossar), der mit einem breiten Programm an Informations- und Weiterbildungsmöglichkeiten jeweils kulturell anschlussfähig an die jeweilige Nation initiiert werden muss.

HP und seine Projektpartner in Osteuropa stellen diesen Prozess wie folgt dar:

The four phases of the SER program			
Phase 1: Introduction	Phase 2: Assessment	Phase 3: Validation	Phase 4: Continual Improvement
1. Preliminary risk assessment	Suppliers complete SER agreement and self-assessment	1. HP conducts on-site audits	1. HP involves suppliers in capability-building projects - often other organisations
2. `High-risk` suppliers introduced to HP's SER requirements	2. HP provides feedback that often leads to dialogue	2. In case of non-conformances, HP works with suppliers to establish a corrective action plan	
	3. HP determines if on-site audit is necessary	3. After implementation of corrective action plan, HP re-audits to verify that non-conformances and their causes have been addressed	

**Tabelle 4: Vier Phasen des Programms für Sozial- und Umweltverantwortung (SER) (Quelle: Danish Commerce and Companies Agency 2008, 25).**

Wo aber steht die Elektronikbranche in diesem Prozess? Bisher gibt es ca. 240 Unternehmen, die nach Angabe der GeSi an E-TASC partizipieren (Bawden 2009). Die zusammen ca. 1.000 Audits und Wiederholungsaudits, die die Elektronikbranche bisher durchgeführt hat, decken die geschätzte Zahl von vielen tausend Zulieferern weltweit noch nicht annähernd ab. Maßnahmen des Capacity Building (vgl. Glossar) haben ebenfalls schon eingesetzt, sind aber noch nicht sehr weit fortgeschritten. Aber die GeSi hat hohe Ziele. Noch 2009 soll eine „Joint-Audit-Procedure“ eingeführt und Auditberichte im Kreis der E-TASC Nutzer für alle nutzbar werden. Genauso steht eine Erhöhung der gemeinsamen Anstrengungen des Capacity-Building an (Bawden 2009).

Grundsätzlich entsteht der Eindruck, dass zumindest wesentliche Akteure aus der Industrie die Probleme einräumen und mit Maßnahmen reagieren, die mit ihrem Spektrum von der Selbstbewertung bis zum Capacity-Building qualitativ adäquat erscheinen. Die große Herausforderung liegt darin, die Maßnahmen in diesem Gesamtspektrum zum einen überhaupt und zum anderen in der erforderlichen Quantität durchzuführen. Den NGOs wäre darüber hinaus wichtig, dass die Überprüfung der Standards nicht nur von Unternehmen in Unternehmen durchgeführt wird, sondern dass auch von unabhängiger Seite und im Kontakt mit den Beschäftigten Überprüfungen stattfinden.

Deutschland hat von Januar bis September 2008 für 27,2 Mrd. € IKT- und CE-Produkte eingeführt, davon allein für 11 Mrd. € Ware aus China. Unter den 10 größten Lieferanten waren außerhalb Westeuropas darüber hinaus die USA mit 4,1 Mrd. € und Japan mit 2,2 Mrd. €, Korea mit 1,9 Mrd. €, die Tschechische Republik mit 1,4 Mrd. €, Ungarn mit 1 Mrd. € sowie Malaysia mit ebenfalls 1 Mrd. € vertreten (BITKOM 2008e). In diesen Ländern müssen insgesamt tausende von Lieferanten und Unterlieferanten eingebunden werden, wobei bisher niemand auch nur die Zahl der zu beteiligenden Unternehmen kennt. Diese in einen Prozess wie in Tabelle 4 dargestellt einzubinden, dürfte nicht unwesentliche Aufwände zur Folge haben und lange dauern.

Dabei sind deutliche Widersprüche zwischen Finanz- und Nachhaltigkeitszielen zu befürchten. Denn der starke Preiswettbewerb am Endverbrauchermarkt bringt die Unternehmen in das Dilemma, einerseits höhere Standards und andererseits niedrigere Kosten durchsetzen zu wollen. Aber viele der nötigen Maßnahmen bei den Zulieferern (z.B. Anpassung zu niedriger Löhne an die Mindestlohniveaus) sind ohne Weitergabe der Mehrkosten in der Produktkette kaum vorstellbar. Viele Endkunden kaufen IKT-Produkte aber bisher sehr preisorientiert – z.B. auch über das Internet. CSR-Aspekte spielen bei der Anschaffung von IKT durch Endkunden bisher kaum eine Rolle. Im Gegensatz zu Spielwaren und Textilien ist es für Endkunden bei IKT-Produkten auch bisher nicht so, dass eine ökologisch und sozial gute Lieferkette auch mit „gesünderen“ Produkten, z.B. weniger Schadstoffen, verbunden ist. Öffentliche Beschaffer stoßen auf vergaberechtliche Schwierigkeiten, denn gemäß EuGH-Urteilen dürfen nur solche Anforderungen in Ausschreibungen formuliert werden, die überprüft werden können. Dies ist hinsichtlich der Einhaltung sozialer Anforderungen bei der Lieferkette von Computern derzeit wohl kaum gewährleistet. Bei IKT-Produkten kann es daher durchaus schwierig werden, notwendige Mehrpreise an die Kunden weiterzugeben.

## **Lösungsstrategien**

Strategische Initiativen von Vorreiterunternehmen und die NGO-Kritik haben seit dem Jahr 2000 zu wesentlichen Schritten geführt, mit denen IT-Unternehmen einzeln sowie im Rahmen der Initiativen GeSi und EICC beginnen, ihre Zulieferketten nachhaltiger zu gestalten. Über den eingeschlagenen Weg mit seinem in Tabelle 4 dargestellten Maßnahmenspektrum herrscht weitgehend Konsens. Jedoch ist eine Verstärkung der Anstrengungen in einigen Punkten nötig:

- *Problembewusstsein bei allen Akteure schärfen:* Eine Reihe von Herstellern und Handelsunternehmen nehmen die Probleme in den Vorketten offenbar noch nicht ernst genug. Einige Akteure beklagen daher, dass vereinzelt noch Schönfärberei betrieben wird. Durch eine Verstärkung der Debatte über das Thema sollte erreicht werden, dass sich alle Akteure der Bedeutung des Problems bewusst werden.
- *Möglichst viele IT-Hersteller in Branchenaktivitäten einbinden:* Eine Reihe großer Elektronikhersteller, besonders in der Unterhaltungselektronik, sind noch nicht in die gemeinschaftlichen Aktivitäten von GeSi und EICC eingebunden. Die Einbindung dieser großen Hersteller und auch die bessere Einbindung kleiner und mittlerer Hersteller würde die Bedeutung der gemeinsamen Aktivitäten erhöhen.
- *Elektronikverarbeiter außerhalb der zentralen IT-Branchen in Branchenaktivitäten einbinden:* Neben den zentralen Elektronikbranchen gibt es weitere, deren Bedarf an Elektronikkomponenten in den letzten Jahrzehnten deutlich zugenommen hat. Hierzu gehören die Automobilbranche, der Maschinenbau und auch die Spielzeugindustrie. Auch diese Branchen sollten in die Aktivitäten zur Zulieferkette in geeigneter Form eingebunden werden.
- *Aktivitäten ernsthaft betreiben und langfristig durchhalten:* Letztendlich gilt es, die begonnenen Aktivitäten langfristig und konsequent durchzuhalten, um auf diese Weise das Ziel nachhaltiger Lieferketten in den Unternehmen der IT-Branche selbst, wie auch bei den Zulieferern im Wissen, Denken und Handeln zu verankern und hierzu insbesondere Dialoge zu führen und Maßnahmen des Capacity-Building zu betreiben. Dabei ist es zum einen wichtig, dass Thema nachhaltige Beschaffung in den Unternehmen so gut zu verankern, dass Nachhaltigkeits-Auditoren und kostenverantwortliche Einkäufer mit einer Stimme sprechen. Dabei ist es wichtig, langfristig durchzuhalten, da die angestrebten Veränderungsprozesse durch Schulungen und Maßnahmen des Capacity-Building Zeit benötigen.

## 6 HANDLUNGSBEDARFE: HERAUSFORDERUNGEN UND CHANCEN

Wie in Kapitel 1 ausgeführt wurde, ist mit Blick auf „Green IT“ klar zwischen „Green durch IT“ und „Green in der IT“ zu unterscheiden. In beiden Feldern liegen erhebliche Herausforderungen und Chancen für Klimaschutz und Ressourcenschonung.

### **Deutschland braucht einen Masterplan „Green durch IT 2020: Vom Potenzial zum Erfolg“**

Dass der intelligente Einsatz von IKT in erheblichem Umfang zur Energieeinsparung und zur Reduzierung von klimaschädlichen Treibhausgasemissionen beitragen kann, wurde mittlerweile hinlänglich herausgearbeitet. Die aufgezeigten Potenziale nutzen jedoch so lange nichts, bis sie tatsächlich realisiert werden. Bislang wird viel über die Potenziale geredet, aber wenig dafür getan, dass sie tatsächlich systematisch genutzt werden. Singuläre Förder- und Entwicklungsaktivitäten wie z.B. E-Energy sind wichtig, reichen aber bei weitem nicht aus, um die Intelligenz der IKT für Klimaschutz und Ressourcenschonung zu nutzen. Auf dem Dritten Nationalen IT-Gipfel 2008 wurde ein „Aktionsplan: Green IT-Pionier Deutschland“ vorgelegt, der eine erste Bündelung und Zusammenschau einzelner Initiativen vornimmt und einen ersten wichtigen Schritt bei der Erarbeitung einer nationalen „Green IT“-Strategie darstellt. Darüber hinaus braucht es aber in einem nächsten Schritt die Erarbeitung einer umfassenden und kohärenten nationalen Strategie und Roadmap für die Erschließung von Umweltentlastungspotenzialen durch den intelligenten Einsatz von IKT („Green durch IT“) sowie einen damit verbundenen nationalen Monitoringprozess. Deutschland benötigt also einen nationalen Masterplan „Green durch IT 2020“, der die Potenziale für Deutschland quantifiziert, klare langfristige Einsparziele setzt, diese mit konkreten Umsetzungsprogrammen und Meilensteinen untersetzt und in einem kontinuierlichen Monitoringprozess für die Erreichung der Ziele und für eine Abstimmung zwischen Politik, IKT-Wirtschaft und Anwendern sorgt.

### **Green in der IT: Leichter, leiser, eleganter: Chancen materialeffizienter IKT nutzen**

Mit Blick auf den Materialverbrauch von IKT-Geräten und Infrastrukturen bestehen Herausforderungen und Forschungsbedarfe in der Verbesserung der Datenlage und in Bewertungsverfahren zur Beurteilung der Materialeffizienz über den gesamten Produktlebenszyklus – insbesondere auch im Zusammenhang mit möglichen Zielkonflikten hinsichtlich der Energieeffizienz. Einige der hier relevanten Fragen werden derzeit im Rahmen des vom BMU und UBA geförderten Vorhabens „Materialeffizienz & Ressourcenschonung“ (MaRes) untersucht. Für die Politik und die IKT-Wirtschaft stellt sich vor allem die Herausforderung, einen Bewusstseinswandel zu erreichen und das Thema Materialeffizienz und Ressourcenschonung in den Köpfen von Herstellern, Händlern und Anwendern zu verankern. Zumeist bieten materialeffiziente IKT-Geräte wesentliche Vorteile für den Nutzer: Sie sind leichter und oftmals eleganter. Vielfach sind auch Vorteile wie z.B. der Verzicht auf einen Lüfter und ein niedrigerer Energieverbrauch mit dem niedrigen Materialeinsatz verbunden. Dies sind wichtige Ansatzpunkte, um materialeffiziente Geräte und Lösungen bei Verbrauchern und Nutzern bekannt und attraktiv zu machen. Auch wenn die weitere Verbesserung der Materialeffizienz auf der Geräte- und Komponentenebene notwendig ist, wird sie allein nicht reichen, da Effizienzsteigerungen mit Preissenkungen einhergehen und die kontinuierliche Leistungssteigerung zu immer neuen IKT-Diensten und Anwendungen führt. Daher gilt es in Zukunft besonders bei der Optimierung gesamter IKT-Nutzungssysteme anzusetzen.

### **Seltene Metalle: Materialrisiken der IKT durch das Schließen von Stoffkreisläufen mindern**

Forschungsbedarfe und Herausforderungen im Bereich seltener Metalle bestehen insbesondere hinsichtlich der Substitution und dem Recycling ausgewählter Rohstoffe (z.B. Indium in der Bildschirmproduktion, Germanium für Glasfaserherstellung und Tantal/Niob in mikroelektronischen Kondensatoren). Außerdem besteht anhaltender Forschungs- und Entwicklungsbedarf für die Optimierung ressourcenintensiver Produktions- und Verfahrenstechniken wie z.B. Sputtern und Dotieren. Auf wissenschaftlicher Ebene sind hierzu Ansätze entwickelt worden, die nun im industriellen Maßstab erforscht und realisiert werden müssen. Durch die Optimierung von Produktions- und Verfahrenstechnik können auch erhebliche Effizienzpotenziale realisiert und Umweltwirkungen verringert werden.

Eine besondere Herausforderung für die Politik besteht in der Schaffung von Rahmenbedingungen, die das Schließen von Stoffkreisläufen ermöglichen und so z.B. die Rückgewinnung von ökologisch relevanten Rohstofffraktionen aus Elektronikschrott fördern. Ebenso wichtig ist es, in Ländern ohne funktionierende Recyclingstrukturen diese zu etablieren bzw. Recyclingstandards zu verbessern. Hierzu ist der Transfer der besten verfügbaren bzw. angepassten Techniken notwendig. Damit würden die Stoffe unabhängig von Abfall- bzw. Produktexporten überall im Kreislauf geführt und gingen global nicht verloren.

### **Das Problemlösungspotenzial der IKT-Industrie in den Vorketten nutzen**

Große Herausforderungen für die IKT-Industrie liegen auch in der ernsthaften, branchenweiten Umsetzung verbindlicher Sozial- und Umweltstandards in den internationalen Vorketten. Neben den großen Herstellern gilt es dabei insbesondere auch die kleinen und mittleren Hersteller einzubinden und künftige Zulieferketten, die durch neue, wachsende Anwenderbranchen von IKT-Komponenten (z.B. Automobilindustrie und Maschinenbau) entstehen, zu berücksichtigen. Die Politik sollte die Bedeutung des Themas offensiv betonen und ihren Problemlösungswillen besonders auf internationaler Ebene deutlich machen. Für die Politik ergibt sich darüber hinaus sowohl auf nationaler, aber insbesondere auf internationaler Ebene die Aufgabe, Dialoge und Maßnahmen des Capacity-Building besonders in der Initialphase zu unterstützen.

## **Glossar**

### **Blade Server**

Sehr flache Serverbauweise, bei der die einzelnen Server (Blades) in der Regel nur eine eigene Hauptplatine mit Mikroprozessoren und Arbeitsspeicher besitzen. Mehrere Blades werden in einem gemeinsamen Baugruppenträger (Blade-Center oder Blade-Enclosure) betrieben, der ihnen Stromversorgung, Lüftung, Laufwerke, Netzwerkanschlüsse etc. bereitstellt.

### **Capacity Building**

Aufbau von Kapazitäten (Kompetenzen, technische und administrative Infrastruktur)

### **Cloud Computing**

Cloud Computing bezeichnet einen neuen Ansatz für IT-Lösungen, in dem die Computeranwender die Software und die dazu notwendige Hardware nicht mehr selbst betreiben, sondern hierzu auf einen Dienstleister zurückgreifen. Anwendungen und Daten befinden sich dabei nicht mehr auf dem lokalen Rechner. Sie werden über ein leistungsfähiges Netzwerk von einer Anzahl von entfernten Systemen bereitgestellt.

### **CRT**

Cathode Ray Tube (Kathodenstrahlröhre)

### **Desktopvirtualisierung (VDI - Virtual Desktop Infrastructure)**

Bei diesem Konzept erfolgt eine Virtualisierung des individuellen PC-Desktops im Rechenzentrum. Die Anwender können über Endgeräte (Terminals), z.B. Thin Clients, ihren persönlichen virtuellen Einzelrechner im Rechenzentrum zugreifen. Dabei bleibt ihnen der individuelle „Personal Computer“ mit seinen Einstellungen und Programmen erhalten.

### **Dotieren**

Einbringen von Fremdatomen in eine Schicht bzw. ins Grundmaterial von Bauteilen der Chipherstellung und der Mikroelektronik, durch das Dotieren erfolgt eine gezielte Eigenschaftsänderung der Schicht, z.B. ihrer Leitfähigkeit oder Kristallstruktur.

### **Flash-Speicher**

Digitale Speicherchips, bei denen auch ohne Stromzuführung die Daten erhalten bleiben. Flash-Speicher sind sehr energieeffizient.

### **Grid-Computing**

Grid-Computing ist ein Verbund von lose gekoppelten Computern. Dieser in seiner Zusammensetzung teilweise sehr heterogene Verbund simuliert einen virtuellen Computer, der seine Rechenleistung und Speicherkapazitäten einer Anwendung zur Verfügung stellt. Ein „Grid“ (Netz) wird meist für ganz bestimmte Tätigkeit ausgelegt z.B. zum Ausrechnen von sehr aufwendigen mathematischen Gleichungen.

### **IKT**

Informations- und Kommunikationstechnik

### **LCD**

Liquid Crystal Display (Flüssigkristallbildschirm)

## **LED**

Light Emitting Diode (Leuchtdiode)

## **Mainframe**

Großrechner, der auf Zuverlässigkeit und hohen Datendurchsatz ausgelegt ist. Die typischen Anwendungen eines Mainframes sind in Banken, Versicherungen, großen Unternehmen und in der öffentlichen Verwaltung gegeben.

## **OLED**

Organic Light Emitting Diode (Organische Leuchtdiode)

## **Ressourcen**

Natürliche Ressourcen umfassen die erneuerbaren und nicht erneuerbaren Rohstoffe, die Umweltmedien (Boden, Wasser, Luft), den physischen Raum (Fläche) sowie strömende Ressourcen wie zum Beispiel Erdwärme, Wind-, Gezeiten- und Sonnenenergie (EU 2003, EU 2005).

## **RFID**

Radio Frequency Identification (Identifizierung mit Hilfe von elektromagnetischen Wellen)

## **Server Based Computing/Server Centric Computing (SBC/SCC)**

Zentrale Bereitstellung von Anwendungen auf leistungsfähigen Servern. SBC ermöglicht es, mit Thin Clients oder anderen Endgeräten Anwendungen zu nutzen, die in einem zentralen Application Server ablaufen. Die Thin Clients/PCs werden dabei als Endgeräte (Terminals) verwendet, welche im Wesentlichen der Eingabe und Ausgabe von Daten (über Tastatur, Maus und Monitor) dienen.

## **Solid State Disk**

Speichermedium, das wie eine herkömmliche Festplatte eingebaut und genutzt werden kann, aber zur Speicherung Halbleiterspeicherbausteine mit großer Kapazität verwendet.

## **Sputtern**

Kurz für Sputterdeposition (Kathodenzerstäubung), ein physikalischer Vorgang, bei dem Atome aus einem Festkörper (Target) durch Beschuss mit energiereichen Ionen (vorwiegend Edelgasionen) herausgelöst werden. Die sich in der Gasphase befindlichen Atome werden z.B. für Beschichtungen genutzt.

## **Thin Client**

Computerendgerät, dessen Hardwareausstattung im Vergleich zum PC bewusst reduziert ist und das im Wesentlichen zur Ein- und Ausgabe von Daten dient. Die eigentliche Datenverarbeitung erfolgt auf einem zentralen Server, auf welchen der Thin Client zugreift.

## **USV**

Unterbrechungsfreie Stromversorgung

## **Virtualisierung**

Mit Virtualisierung können Computerressourcen zusammengefasst oder aufgeteilt werden. Virtualisierung abstrahiert von der tatsächlich vorhandenen Hardware und stellt logische Systeme zur Verfügung. Ein typisches Anwendungsgebiet ist die Servervirtualisierung, bei der ein Hardwareserver so aufgeteilt wird, dass dem Anwender mehrere logische Server zur Verfügung gestellt werden, auf denen z.B. verschiedene Betriebssysteme installiert werden können.

## **Whistleblower**

Informant, der Missstände, illegales Handeln (z. B. Korruption, Insiderhandel) oder allgemeine Gefahren, von denen er an seinem Arbeitsplatz erfährt, an die Öffentlichkeit bringt.



## Literatur

Bawden, Arnie (2009): Telefonat mit Arnie Bawden am 09. Januar 2009, Co-Chairman of GeSI's Supply Chain Working Group.

Behrendt, S.; Henseling, C.; Fichter, K.; Bierter, W. (2005): Chancenpotenziale für nachhaltige Produktnutzungssysteme im E-Business, IZT-Werkstattbericht Nr. 71, Berlin.

Behrendt, S.; Scharp, M.; Kahlenborn, W.; Feil, M.; Dereje, C. Bleischwitz, R.; Delzeit, R. (2007): Seltene Metalle, Maßnahmen und Konzepte zur Lösung des Problems konfliktverschärfender Rohstoffausbeutung am Beispiel Coltan, Umweltbundesamt, UBA TEXTE 08/07.

Bio Intelligence Service (2007): Preparatory Studies for Eco-design Requirements of EuPs, Lot 7: Battery chargers and external power supplies, Final Report, January 27, 2007.

BITKOM - Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V. (Hrsg.) (2008a): Blade-Server - Technologie, Einsatzgebiete und Betriebskonzepte, Berlin 2008.

BITKOM – Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V. (Hrsg.) (2008b): Energieeffizienz im Rechenzentrum. Ein Leitfaden zur Planung, zur Modernisierung und zum Betrieb von Rechenzentren, Berlin.

BITKOM - Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V. (Hrsg.) (2008c): Mehr als 100 Millionen Mobilfunkanschlüsse in Deutschland, Presseinformation, Berlin 27.4.2008.

BITKOM – Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V. (Hrsg.) (2008d): Energieeffizienz-Analysen in Rechenzentren, Messverfahren und Checkliste zur Durchführung, Berlin.

BITKOM – Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V. (Hrsg.) (2008e): Außenhandel ITK-Hardware + CE: Top 10-Länder Q3 2008, Statistische Information, Berlin. (Quelle: [www.bitkom.org/de/markt\\_statistik/804.aspx](http://www.bitkom.org/de/markt_statistik/804.aspx), letzter Abruf Februar 2009).

BITKOM – Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V. (Hrsg.) (2008f): Thin Client und Server Based Computing, Berlin.

BITKOM - Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V. Roland Berger (Hrsg.), (2007): Zukunft digitale Wirtschaft, Berlin 2007.

BMU - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.) (2008): Energieeffiziente Rechenzentren. Best Practice-Beispiele aus Europa, USA und Asien, Berlin, (Quelle: [www.borderstep.de](http://www.borderstep.de), letzter Abruf Februar 2009).

Buchert, M.; Hermann, A.; Jenseit, W., Stahl, H., Osyguß, B., Hagelüken, C. (2007): Verbesserung der Edelmetallkreisläufe: Analyse der Exportströme von Gebrauchtpkw und – Elektro(nik)geräten am Hamburger Hafen, Kurzbericht eines Forschungsvorhabens im Auftrag des Umweltbundesamtes, Förderkennzeichen 363 01 133, Umweltbundesamt, Ökoinstitut, Dessau, Darmstadt, 2007.

Burda Community Network GmbH: Typologie der Wünsche 2009 ([www.tdwi.de](http://www.tdwi.de))

Business for Social Responsibility (2008): Pilot Summary Report: Building Capabilities to Implement CSR Management Systems at ICT Suppliers in China. (Quelle: [www.bsr.org](http://www.bsr.org), letzter Abruf Februar 2009).

Business Social Compliance Initiative (2008): Annual Report 2007 – 2008. (Quelle: [www.bsci-eu.org](http://www.bsci-eu.org), letzter Abruf Februar 2009).

Cisco (2008): Cisco Visual Networking Index – Forecast and Methodology, 2007–2012, White Paper.

Clausen, J., Fichter, K., Hintemann R. (2009): Wie wird ein Computer grün? Ressourceneffiziente IT-Innovationen am Beispiel Schulen, in: Einblicke, Forschungszeitschrift der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, 1/2009, Oldenburg.

Computerwoche (2007): IBM ersetzt 3900 Server durch 30 Mainframes. (Quelle: [http://www.computerwoche.de/knowledge\\_center/green-it/597462/](http://www.computerwoche.de/knowledge_center/green-it/597462/), letzter Abruf 04. Februar 2009)

Climate Group (2008): SMART 2020: Enabling the low carbon economy in the information age. A report by the Climate Group on behalf of the Global eSustainability Initiative (GeSI).

Cremer, C. et al. (2003): Energy Consumption of Information and Communication Technology (ICT) in Germany up to 2010, Summary of the final report to the German Federal Ministry of Economics and Labour, Karlsruhe/Zurich, Januar 2003.

Danish Commerce and Companies Agency (2008): Small Suppliers in Global Supply Chains. How multinational buyers can target small and medium-sized suppliers in their sustainable supply chain management. Studie in Kooperation mit Hewlett-Packard und Zulieferern in Zentral und Osteuropa. (Quelle: [www.eogs.dk/sw28291.asp](http://www.eogs.dk/sw28291.asp), letzter Abruf Februar 2009).

Deutsche Telekom (2008): Corporate Responsibility Bericht 2008. Connected life and work. (Quelle: [www.telecom.de](http://www.telecom.de), letzter Abruf Februar 2009).

EICC (2005): Electronic Industry Code of Conduct. October 2005.

Erdmann, Lorenz; Hilty, Lorenz; Goodman, James und Arnfalk, Peter (2004): The Future of ICT on Environmental Sustainability. IPTS Technical Report Series, EUR 21384 EN. European Commission JRC-IPTS. Sevilla.

(EU 2005) Kommission der Europäischen Gemeinschaften: Thematische Strategie für eine nachhaltige Nutzung natürlicher Ressourcen, Mitteilung der Kommission an den Rat, das europäische Parlament, den europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen, KOM(2005)670, Brüssel 2005

Fichter, K. (2008): Energieverbrauch und Energiekosten von Servern und Rechenzentren in Deutschland, Trends und Einsparpotenziale bis 2013, Berlin (Quelle: [www.borderstep.de](http://www.borderstep.de), letzter Abruf Februar 2009).

Fichter, K. (2008b): Zukunftsmarkt energieeffiziente Rechenzentren, Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Berlin, 2008.

Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (ISI), Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung (IZT) (2009): Rohstoffbedarf für Zukunftstechnologien, Einfluss des branchenspezifischen Rohstoffverbrauchs in rohstoffintensiven Zukunftstechnologien auf die zukünftige Rohstoffnachfrage, Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie, Berlin, 2009.

Fraunhofer-Institut Umwelt-, Sicherheits-, Energietechnik UMSICHT (2006): Ökologischer Vergleich von PC und Thin Client Arbeitsplatzgeräten, Oberhausen.

Fraunhofer-Institut Umwelt-, Sicherheits-, Energietechnik UMSICHT (2008): Ökologischer Vergleich der Klimarelevanz von PC und Thin Client Arbeitsplatzgeräten 2008, Oberhausen.

Fraunhofer Institut für Mikrointegration und Zuverlässigkeit (IZM) und Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (ISI) (2009): Abschätzung des Energiebedarfs der weiteren Entwicklung der Informationsgesellschaft, Kurzfassung des Abschlussberichtes an das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Berlin, Karlsruhe, 12. Februar 2009.

Göbbling-Reisemann, S; v. Gleich, A.; Ruth, M.; Fischer, R.; Stockmar, D. (2007): Kupferzyklen Deutschland. Eine Studie zu Lebenszyklusdaten für Kupferprodukte in Deutschland, mit Fokus auf Datenqualität, Allokationsverfahren und Recyclingflüssen, Projektbericht im Rahmen des Forschungsvorhabens FKZ 01 RN 0401, Netzwerk Lebenszyklusdaten Arbeitskreis Metallische Rohstoffe, Bremen/Karlsruhe.

Graedel, T.E. (2008): Defining Critical Materials, Center for Industrial Ecology, Yale School of Forestry & Environmental Studies, Vortrag bei Wuppertal Colloquium Sustainable Growth, Sep. 17 – 19 2008.

Hagelüken, C.: Opportunities & challenges to recover scarce and valuable metals from electronic devices, Vortrag anlässlich der OECD-UNEP Conference on Resource Efficiency, Paris, 24.04.2008

Hewlett Packard (2008b): FY07 Global Citizenship Report. (Quelle: [www.hp.com](http://www.hp.com), letzter Abruf Februar 2009).

Hewlett Packard (2008a): Globale IT-Transformation von HP geht in die nächste Runde, Pressemitteilung vom 03.12.2008.

Hilty, Lorenz M. (2008): Information Technology and Sustainability, Essays on the Relationship between Information Technology and Sustainable Development, Books on Demand GmbH, Norderstedt/Germany.

Huisman, J., Magalini, F., Kuehr, R., Maurer, Cl., Delgado, C., Artim, E., Szlezak, J., Stevels, A.: 2008 Review of Directive 2002/96 on Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE), United Nations University (Management), Bonn 2007

IBM (2008): 2007–2008 Corporate Responsibility Report. (Quelle: [www.ibm.com](http://www.ibm.com), letzter Abruf 25. Februar 2009).

Koomey, G.J. (2007): Estimating Total Power Consumption by Servers in the U.S. and the World, Final report, February 15, 2007.

MakeITfair (2007a): Capacitating Electronics. The corrosive effects of platinum and palladium mining on labour rights and communities. SOMO-Center for Research on Multinational Corporations, Niederlande, November 2007.

MakeITfair (2007b): Connecting Components, Dividing Communities. Tin production for consumer electronics in the DR Congo and Indonesia. FinnWatch - December 2007.

MakeITfair (2007c): Gender Aspects. Production of Next-generation electronics in Poland. KARAT - December 2007.

MakeITfair (2007d): Powering the Mobile World. Cobalt production for batteries in the DR Congo and Zambia. SwedWatch - November 2007.

MakeITfair (2008): Silenced to deliver. Mobile Phone manufacturing in China and the Philippines. SwedWatch and SOMO-Center for Research on Multinational Corporations, September 2008.

Prangenberg, M. (2007): Energie- und Kostensparen mit Thin Clients – Praxiserfahrungen bei einem Finanzdienstleister, Commerz Real AG, Vortragsfolien, BITKOM Anwenderforum „IT-Infrastruktur & Energieeffizienz“ am 22.11.2007 in Düsseldorf

ProcureITfair (2008): The dark side of cyberspace. Jenny Chan, Charles Ho. December 2008.

Schütz, H.; Bringezu, S. (2008): Ressourcenverbrauch von Deutschland – aktuelle Kennzahlen und Begriffsbestimmungen, UBA-Texte 02/08, Dessau-Roßlau.

TechConsult (2009): Daten des E-Analysers (Quelle: [www.eanalyzer.biz](http://www.eanalyzer.biz), kostenpflichtige Datenbank).

The Climate Group (2008): SMART 2020: Enabling the low carbon economy in the information age. A report by the Climate Group on behalf of the Global eSustainability Initiative (GeSI).

Umweltbundesamt (Hrsg.): Computer, Internet und Co.: Geld sparen und Klima schützen, Verbraucherbroschüre, Dessau, 2009.

US EPA (2009): External Power Supplies, (Quelle: [http://www.energystar.gov/index.cfm?c=archives.power\\_supplies](http://www.energystar.gov/index.cfm?c=archives.power_supplies), letzter Abruf 04. Februar 2009)

Walle, M.; Jennings, N. (2001): Safety & health in small-scale surface mines, A handbook, International Labour Office, Geneva, 2001.

**Kontakt:**

Umweltbundesamt

Postfach 1406

06844 Dessau-Roßlau

Telefax: (0340) 21 03 22 85

E-Mail: [info@umweltbundesamt.de](mailto:info@umweltbundesamt.de)

Gedruckt auf Recyclingpapier aus 100 % Altpapier

© Umweltbundesamt

**Umwelt  
Bundes  
Amt**   
Für Mensch und Umwelt